

СПРАВОЧНИК
ТЕРМИСТА

А. А. Ш М Ы К О В
СПРАВОЧНИК
ТЕРМИСТА



А. А. ШМЫКОВ
канд. техн. наук

СПРАВОЧНИК ТЕРМИСТА

*Издание второе,
исправленное и дополненное*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1952

В справочнике в виде таблиц, формул и графиков приведены данные по применяемым в машиностроении маркам стали и процессам термической обработки деталей машин и инструментов, а также по печам, нагревательным установкам и приборам теплового контроля.

Справочник рассчитан на инженеров, техников и мастеров, и также может быть использован студентами при курсовом и дипломном проектировании.

Рецензенты:

канд. техн. наук Ю. А. Геллер

канд. техн. наук Н. Ф. Вязников

Редактор илж. Б. М. Глинер

Редактор графических материалов илж. В. Г. Карганов

*Редакция Энциклопедического справочника „Машиностроение“
И. о. зав. редакцией илж. М. Е. МАРКУС*

ПРЕДИСЛОВИЕ

На основе современных научных достижений в последние годы быстрыми темпами развивается наука о металлах и их термической обработке, основоположником которой является великий русский ученый Д. К. Чернов.

Качество деталей машин и инструментов, их высокие механические и требуемые техническими условиями физико-химические свойства в значительной степени зависят от термической и химикотермической обработки, применяемой на различных стадиях производства.

Современные процессы термической обработки металлов весьма разнообразны и разделяются на процессы, связанные:

а) с аллотропическими, структурными, карбидными превращениями, происходящими во всем объеме или только в поверхностных слоях обрабатываемых деталей при нагреве до определенной температуры, выдержке при ней и охлаждении с определенной скоростью (отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение и обработка при температуре ниже нуля);

б) с изменениями химического состава в поверхностных слоях обрабатываемых деталей с последующим их упрочнением (или без него) посредством химикотермической обработки (цементация, азотирование, цианирование, алитирование, хромирование, силицирование, борирование и т. д.).

В нашей стране современное состояние науки о термической обработке стали характеризуется следующим:

1. На основе работ советских ученых внесены принципиальные уточнения в так называемые S-образные кривые изотермического распада аустенита в области мартенситного превращения, а также выявлено влияние легирующих элементов на кинетику изотермического превращения аустенита.

2. На основе работ советских ученых (работы школы члена-корреспондента АН СССР Г. В. Курдюмова) с большой достоверностью выяснены природа и свойства мартенсита и характер превращений, происходящих при отпуске.

3. На основе работ советских ученых установлена количественная зависимость влияния легирующих элементов на прокаливаемость стали.

4. Изучение и разработка процессов термической обработки высокопрочных легированных сталей. Принципиально разрешена проблема легирования стали.

5. Широкое изучение и внедрение процессов поверхностной закалки при электронагреве токами высокой частоты. В этой области проводятся работы в ряде институтов и заводов.

6. Изучение превращений аустенита при температурах ниже нуля.

7. В области химико-термической обработки стали научными достижениями являются результаты изучения: а) диффузионных процессов; работами советских ученых установлена количественная характеристика процессов азотирования, изучены физические основы диффузионных процессов; б) влияния легирующих

элементов на процессы диффузии; в) ряда новых химико-термических процессов, например, силнирования, борирования, хромирования, вольфрамирания, молибденирования и т. п.; г) процессов окисления и обезуглероживания стали и методов защиты от них; работами советских ученых установлена кинетика процессов окисления и обезуглероживания сталей, количественная характеристика процессов и др.

В области металловедения и термической обработки металлов за последние годы произошли значительные изменения, способствовавшие повышению эффективности технологических процессов и повышению качества деталей машин и инструментов.

Московская конференция машиностроителей и Уральская конференция металлургов-термистов (г. Свердловск) отметили следующие достижения в области металловедения и термической обработки:

- а) широкая механизация и автоматизация процессов термической обработки;
- б) дальнейшее развитие процессов поверхностной закалки с применением различных методов нагрева — т. в. ч., в электролите и газокислородным пламенем;
- в) дальнейшее развитие изучения процессов, связанных с превращениями, происходящими в стали при нагреве и охлаждении;
- г) определены новые факторы, влияющие на прочность стали;
- д) определены факторы, влияющие на деформацию стали при термической обработке, и др.

Достижением является также выход в 1950—1951 гг. крупных трудов-монографий по металловедению и термической обработке, обобщающих опыт заводов, научно-исследовательских институтов и учебных заведений страны, а именно: „Проблемы металловедения и физики металлов“, Термическая обработка металлов, УралНИТОМАШ, Материалы конференции, Машгиз, 1950; А. Н. Минкевич „Химико-термическая обработка стали“, Машгиз, 1950; И. Н. Кидин „Термическая обработка стали при индукционном нагреве“, Металлургиздат, 1950 (за указанный труд И. Н. Кидину присуждена Сталинская премия); „Автомобильные конструкционные стали“, Справочник под редакцией А. П. Гуляева и И. С. Козловского, Машгиз, 1950; А. Д. Ассонов „Термическая обработка деталей машин“, Машгиз, 1951; С. Ф. Юрьев „Деформация стали при химико-термической обработке“, Машгиз, 1950; А. Г. Солодихин „Механизация процессов термической обработки“ (альбом чертежей) и др. Изданы также труды основоположника научного металловедения Д. К. Чернова (1950), избранные труды С. С. Штейнберга (1950) и сборник трудов П. П. Аносова, Н. В. Калакуцкого, А. А. Ржешотарского, Н. И. Беляева, А. Л. Бабошина и др. (1951).

В 1951 г. закончили работу Заочные курсы по металловедению и термической обработке ВНИТОМАШ. Машгизом издано 45 выпусков лекций указанных курсов.

Все больший масштаб приобретают научно-исследовательские работы в центральных заводских лабораториях и в научно-исследовательских институтах и высших учебных заведениях.

За работы, проведенные в 1950 г., правительство присудило Сталинские премии группе металлургов-термистов Московского автозавода имени И. В. Сталина — А. Д. Ассонову, В. И. Прядилову, В. Т. Чирикову, И. Е. Чернышеву, Д. И. Костенко и Н. К. Лабутину.

Сталинская премия присуждена гг. Волкову и Садовскому за разработку процесса светлой закалки стали в соляных ваннах и А. Н. Минкевичу за разработку и внедрение высокопроизводительных методов химико-термической обработки стали.

Дальнейшее развитие металлургии и машиностроения привело к необходимости изменения, уточнения и дополнения некоторых важнейших ГОСТ. Введены новые ГОСТ: 380-50, Сталь углеродистая горячекатанная обыкновенного качества; 2335-50, Поковки из углеродистой стали общего назначения; 2334-50, Поковки из легированной стали общего назначения; 5950-51, Сталь инструментальная легированная; 5952-51, Сталь инструментальная быстрорежущая; 5632-51, Сталь высоколегированная нержавеющая, жаропрочная и сплавы с высоким омическим сопротивлением; 5639-51, Сталь. Метод определения величины зерна; 5657-51, Сталь конструкционная. Испытание на прокаливаемость и другие.

Данное издание справочника является вторым (первое издание вышло в конце 1950 г.), исправленным и дополненным. Однако в нем, так же как и в первом издании, из-за недостаточного объема неполностью освещены вопросы теории процессов термической обработки и данные по оборудованию термических цехов.

При составлении справочника автором использованы различные наиболее достоверные литературные данные, материалы заводов и институтов и в некоторой части свои работы (ссылки на основные источники указаны в тексте).

В данном издании справочника приведены материалы по термической обработке конструкционных и инструментальных сталей, а также чугуна. Из-за ограниченного объема не приводятся данные о цветных сплавах и некоторых специальных марках стали; более подробные данные читатель может получить в Справочнике машиностроителя, т. 1 и 2, Машгиз, 1951.

Справочник состоит из пяти глав.

Глава I содержит краткие биографические данные о выдающихся русских ученых-металловедах и термистах.

В главе II приводятся краткие сведения о физических величинах и константах.

Глава III содержит сведения о химическом составе и свойствах стали и чугуна.

Глава IV является основной и содержит сведения по технологическим процессам термической обработки.

В главе V даются сведения по оборудованию — печам, нагревательным установкам и приборам для контроля тепловых процессов.

ВЫДАЮЩИЕСЯ РУССКИЕ УЧЕНЫЕ МЕТАЛЛОВЕДЫ-ТЕРМИСТЫ

Современное состояние науки о металлах и их термической обработке во многом обязано трудам русских ученых-исследователей и инженеров-производственников. Гений русской научной мысли проявился еще в период царского самодержавия, преодолевая иностранное влияние, сознательно поддерживаемое правящими классами. Ломоносов, Менделеев, Попов, Кулябин, Чернов являются гениальными пионерами науки.

В царской России при сравнительно слабо развитой промышленности вообще, и особенно машиностроительной русские ученые — Аносов, Чернов, Ржешотарский, Калакуцкий и др.—явились новаторами и основоположниками научного металловедения.

С особой силой талант русских ученых-металловедов проявился после Великой Октябрьской социалистической революции.

П. П. АНОСОВ

(1797—1851 гг.)

Заслугами П. П. Аносова, который в течение многих лет был начальником Златоустовского металлургического завода, являются:

1. Разработка методов изготовления и свойств булатов. П. П. Аносов пришел к убеждению, что булат является наиболее „совершенной“ сталью, сочетающей в себе высокую твердость, высокую упругость, хорошую вязкость и исключительные режущие свойства. Он считал, что булат может найти применение не только в военном деле, но и для изготовления инструментов и деталей машин. Труды П. П. Аносова о булатах опубликованы в Горном журнале: „О приготовлении литой стали“ (1837 г.) и „О булатах“ (1841 г.).

2. Разработка и внедрение в заводскую практику (1841 г.) микроскопического метода исследования металлов.

В своей работе „О булатах“ П. П. Аносов писал: „На выполированном и вы-



травленном куске видны были места в микроскоп узоры, подобные по расположению булатным*.

3. Определение зависимости между структурой стали и ее свойствами.

4. Изучение влияния различных элементов — углерода, марганца, хрома и титана на свойства стали (1841 г.). П. П. Аносов установил, что из всех элементов только углерод повышает твердость закаленной стали**.

5. Разработка процесса газовой цементации (1837 г.).

П. П. Аносов производил цементацию железа окисью углерода и при этом

* На Западе метод микроскопического анализа был применен англичанином Сорби лишь спустя 23 года (1864 г.) после опубликования работ Аносова.

** Это свойство углерода было вторично „открыто“ американцами Барнсом, Муром и Арчером в 1936 г., т. е. через сто лет после открытия, сделанного Аносовым.

указывал, что существовавший в то время взгляд на процесс цементации, как происходящий только за счет соприкосновения угля с железом, является неверным***.

б. Исследование процесса отжига и его влияния на свойства стали.

Труды П. П. Аносова имели большое значение для сельского хозяйства того времени. Аносовым разработан состав и изучены свойства стали для кос, а также разработана технология их изготовления.

За усовершенствование производства кос в 1838 г. „Московское общество сель-

ского хозяйства“ присудило П. П. Аносову золотую медаль.

Решением Советского правительства предусмотрено сооружение П. П. Аносову памятника в г. Златоусте. В учебных заведениях введены стипендии и учреждены премии его имени за лучшие работы в области металлургии, металловедения и термической обработки стали. Златоустовскому техникуму присвоено имя Аносова.

*** На Западе первые заметки по газовой цементации были опубликованы Брухом в 1906 г. („Metallurgie“).

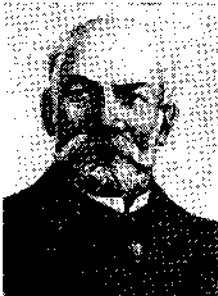
Д. К. ЧЕРНОВ

(1839—1921 гг.)

Дмитрий Константинович Чернов — отец металлографии, основоположник научного металловедения и современных методов термической обработки стали.

Основными его работами являются: „Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету“ (1868 г.); „Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок“ (1878 г.); „Об изготовлении стальных бронепробивающих снарядов“ (1885 г.).

В первом исследовании Д. К. Чернов экспериментально, без термопар и гальванометра, которые в то время еще не применялись в промышленности, показал, что во время нагрева и охлаждения стали происходят превращения при определенных температурах в зависимости от ее химического состава. Эти температуры были названы им „особыми точ-

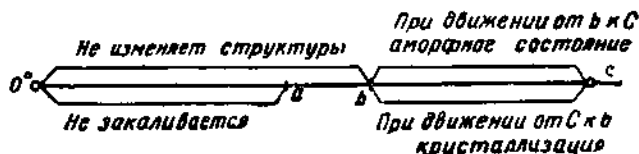


Д. К. Чернов является создателем атомистической теории аллотропии железа и стали.

Критические точки по Чернову связаны с перестройкой атомов в пространственной решетке, чем определяется физическая сущность превращений железа и стали.

Д. К. Чернов — создатель современного представления о теории процессов закалки и отпуска стали. „Так, например, подобно тому, как мы рассматривали изменение структуры

стали в зависимости от того или другого относительного расположения и группировки сложных частиц стали, можно рассматривать и явления закалки и отпуска как результат того или другого расположения и группировки атомов в сложной частице стали“. Открытые им точки на температурной шкале (фиг. 3) и указания о продолжительности процессов закалки и отпуска совпадают с современными данными: точка d (200°) близка к точке M_n



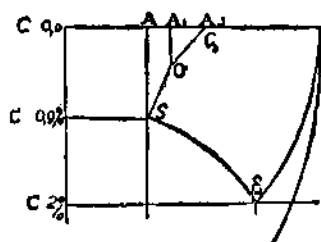
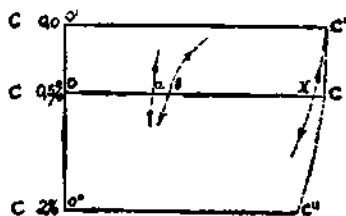
Фиг. 1.

ками“ и обозначены буквами a и c (фиг. 1 и 2). Эти точки и являются критическими точками аллотропического превращения стали по современной диаграмме „железо — углерод“.

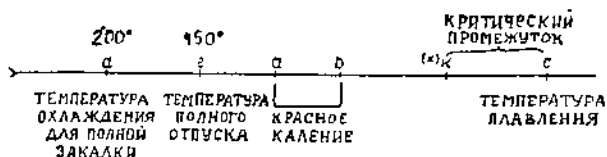
мартенситного превращения (C , S , Штейнберг); точка e (450°) указывает на окончание фазовых превращений при отпуске (распад аустенита, мартенсита и образовании феррита + Fe_3C); точки a и

b — критические точки аллотропических превращений; точки k и c определяют интервал плавления.

являются основой современных методов изотермической обработки стали и чугуна.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Д. К. Чернов сделал вывод, что структурный фактор обуславливает объемные изменения при закалке и отпуске.

„ Существует неразрывная связь между увеличением объема и твердостью стали и изменением во взаимной группировке атомов углерода и железа“. Впоследствии эта его идея была полностью подтверждена экспериментальными работами советского ученого М. Г. Окнова и др.

Во втором исследовании Д. К. Чернов впервые сформулировал теорию кристаллизации стали. В частности, им было дано правильное представление о центробежном литье.

Учение Д. К. Чернова о строении стального слитка является классическим и излагается в каждом учебнике по металлографии.

Развитые в дальнейшем акад. А. А. Бочваром работы Д. К. Чернова являются основой современного учения о кристаллизации стали.

В третьем исследовании об изготовлении бронепробивающих снарядов Д. К. Черновым предложен процесс изотермической обработки стали, резко повышающий прочность стали при одновременно высокой ее вязкости. Эти его работы, развитые в дальнейшем С. С. Штейнбергом и его учениками,

Проф. А. А. Ржешотарский (1847—1904 гг.) — продолжатель деятельности Д. К. Чернова на Обуховском заводе. В 1895 г. он организовал на этом заводе первую в России металлографическую лабораторию.

На основе работ металлографической лаборатории Ржешотарский издал в 1898 г. широко известный в свое время труд „Микроскопическое исследование железа, стали и чугуна“, положивший начало практическим руководствам по металлографии. В указанном труде он развил учение Д. К. Чернова о закалке стали и предложил, вопреки установившейся традиции, оценивая роль и значение трудов русских ученых металлургов, следующую терминологию в названии структур стали: железит — практически чистое железо (вместо феррита); сталит — неопределенное соединение углерода с железом (вместо перлита); закалит — главная составная часть закаленной стали (вместо мартенсита).

Н. В. Калакуцкий (1831—1889 гг.) впервые указал на существование в стальных изделиях внутренних напряжений и разработал метод их определения.

В своей работе „Исследование внутренних напряжений в чугуне и стали“ (1888 г.) он указал, что внутренние напряжения в зависимости от характера работы изделия могут быть полезными и вредными. „Нет никакого основания, ни расчета оставлять в металле вредные напряжения. Каждый завод должен для увеличения сопротивления выделяемых предметов пользоваться силами, заключенными внутри металлических масс, и сообразно этому видоизменять существующие или устанавливая новые способы фабрикации“.

Проф. **Н. И. Беляев** (1877—1920 гг.) разработал одну из важнейших областей металлографии — учение о макростроении стали, основы которой были заложены Д. К. Черновым. Н. И. Беляев совместно с Н. Т. Гудцовым провел классические работы по механическим свойствам стали с применением комплекс-

ных методов исследования („О пределе упругости стали“, ЖРМО № 3, 1914) и совместно с Б. В. Старком — первые работы по определению газов в стали.

С 1902 г. по 1916 г. Н. И. Беляев работал на бывшем Путиловском заводе. В 1904 г. он организовал на этом заводе металлографическую лабораторию, ставшую впоследствии образцовой, самой крупной и передовой не только в России, но и за ее пределами. Глубокое и систематическое изучение свойств стали привело Н. И. Беляева к убеждению в необходимости постройки в России завода по производству специальных сортов стали. По его проектам выстроен завод „Электросталь“, пущенный в эксплуатацию после Великой Октябрьской социалистической революции, в декабре 1917 г. Он был первым его техническим руководителем, создателем многих марок качественной стали (быстрорежущей, автомобильной, для самолетостроения и др.).

Н. С. КУРНАКОВ

(1861—1941 гг.)

Акад. Николай Семенович Курнаков — крупнейший металлург-теоретик, создатель науки о физических методах исследования сплавов и законах их образования. Им установлены фазы, обладающие сингулярными точками, а также химические соединения переменного состава. Данное Н. С. Курнаковым определение интерметаллического соединения признано классическим.

При изучении большого количества двойных и тройных систем Н. С. Курнаков сконструировал и построил особый самопишущий пирометр, нашедший широкое применение при изучении свойств сплавов как в отечественных, так и в зарубежных лабораториях.

Н. С. Курнакову принадлежит заслуга в создании при Академии наук школы специалистов по физико-химическому анализу металлов и сплавов. Им опубликовано 179 работ, из которых половина относится к изучению металлов и спла-



вов. Основные из них: „О взаимных соединениях металлов“ (1899 г.), „Нахождение сплава определенного состава по методу плавкости“ (1901 г.), „О номенклатуре интерметаллических соединений“ (1913 г.), „Соединение и химический индивид“ (1913 г.), „Сингулярные точки химических диаграмм“ (1921 г.), „Непрерывность химических превращений вещества“ (1922 г.), „Растворы и сплавы“ (1928 г.), „Топология

равновесной химической диаграммы“ (1932 г.).

Работы Н. С. Курнакова изданы также в виде двух капитальных сборников: „Введение в физико-химический анализ“ (изд. 1925, 1928, 1935 и 1940 гг.) и „Собрание избранных работ“ (1938—1939 гг.), которые в настоящее время являются руководящими материалами для каждой металлографической лаборатории.

Многочисленные работы Курнакова показывают, что металлография и наука о термической обработке являются ча-

стью науки — физической химии, и к нему как к физико-химику в полной мере приложимы слова великого Ломоносова: „Химик без знания физики, подобен человеку, который всего искать должен ошупом. И сиң две науки так соединены между собой, что одна без другой в совершенстве быть не могут“.

Все процессы химико-термической обработки — цементация, азотирование, цианирование и др., а также процессы

окисления металлов могут быть объяснены только на основе законов физической химии. Взаимосвязь внешней среды с поверхностью нагреваемого металла осуществляется как посредством химического взаимодействия, так и путем физической адсорбционной связи. Явления, протекающие при этом во внутренних слоях металла, осуществляются под воздействием физической адсорбционной связи.

С. С. ШТЕЙНБЕРГ

(1872—1940 гг.)

Член-корреспондент АН СССР Сергей Самойлович Штейнберг — создатель Уральской школы металлургов-термистов, занимающей одно из ведущих мест в наиболее прогрессивной советской науке. Начав свою практическую работу в должности мастера мартеновского цеха Юрезанского завода (1906 г.), С. С. Штейнберг, благодаря своему таланту и исключительному трудолюбию, стал крупнейшим ученым с мировым именем и развил советское металловедение и науку о термической обработке стали.

Особенно полно развернулась научная деятельность С. С. Штейнберга после Великой Октябрьской социалистической революции, когда началась социалистическая реконструкция промышленности всей страны и, в частности, Урала. Он является одним из организаторов Уральского научно-исследовательского института черных металлов, Уральского филиала Академии наук СССР и основателем лаборатории металловедения этого филиала.

Основной заслугой С. С. Штейнберга является изучение проблемы „аустенит и его превращения“, во всем многообразии связанных с этими превращениями явлений и получении конечных результатов.

Как работы Д. К. Чернова дали основы понимания аллотропических превращений, происходящих в сплавах железа с углеродом, так и работы С. С. Штейн-



берга по кинетике превращений переохлажденного аустенита дали основы современной практики термической обработки стали.

Центральным в этой проблеме является вопрос о закалке стали. Старые представления о процессе закалки как фиксации с помощью быстрого охлаждения определенных стадий распада переохлажденного твердого раствора на его составные части принципиально изменены. По Штейн-

бергу закалка не есть простая фиксация определенных стадий распада аустенита, а более сложное явление, слагающееся из диффузионных (переохлаждающихся) и бездиффузионных (непереохлаждающихся) процессов. Основным в новой теории является признание специфичности мартенситного превращения как бездиффузионного (скачкообразный переход количественных изменений в качественные). В этой связи принципиально важно уточнение так называемых S-образных кривых изотермического распада аустенита в области мартенситного превращения и уточнение положения и зависимости от различных факторов точки начала и конца мартенситного превращения (точки М по Штейнбергу).

Учениками С. С. Штейнберга при его непосредственном участии проведено большое количество работ для решения этой проблемы; при этом достигнуты результаты, имеющие практическое применение, — разработаны рациональные

методы отжига легированной стали, режимы изотермической закалки, дан анализ действия различных охлаждающих сред и методы расчета критической скорости охлаждения при закалке, разработаны новые способы закалки и многократный отпуск быстрорежущей стали, установлена необходимость дифференцированного подхода к назначению режимов термической обработки для стали различного металлургического типа и различных плавов, главным образом в зависимости от размера зерна.

Разработанная С. С. Штейнбергом диаграмма кинетики изотермического распада аустенита с положением мартенситной точки и установление кинетики распада аустенита и превращений мартенсита, происходящих при отпуске, дополненные исследованиями В. Г. Курдюмова, дают современное представление о теории закалки и отпуска стали.

С. С. Штейнберг был не только крупнейшим ученым, но и прекрасным педагогом и обладал крупным литературным талантом. С 1925 г. он заведывал кафедрой металлостроения и термической обработки Уральского индустриального института имени С. М. Кирова. Его перу принадлежит более ста работ. Из них классическим является трехтомный учебник по металлостроению. Помимо этого им был написан ряд популярных брошюр для мастеров и рабочих по самым разнообразным вопросам металлургии, например: „Электродуговая сталь“, „Ферросплавы“, „Высококачественный чугун“, „Трансформаторное железо“, „Слиток стали“, „Отжиг и закалка стали“, „Вредные примеси в стали“, „Шарикоподшипниковая сталь“ и др., а также отдельные лекции по термической обработке для стахановцев-термистов.

* * *

Акад. А. А. Байков (1870—1946 гг.) — ученик Д. И. Менделеева — изучил систему „медь — сурьма“ и дал общее определение закалки сплавов. А. А. Байков впервые экспериментально исследовал структуру аустенита и указал на непостоянство химического состава цементита (по Байкову цементит — твердый раствор железа в графите). В 1902 г. А. А. Байков создал в Ленинградском политехническом институте первую учебную металлографическую лабораторию и ввел курс металлографии, который до сих пор читается в каждом техническом

вузе. А. А. Байков — страстный патриот своей Родины. Умер он в 1946 г. на посту депутата Верховного Совета Союза ССР и вице-президента Академии наук Союза ССР (см. Избранные труды А. А. Байкова, т. 2, изд. Академии наук СССР).

*

Проф. А. Л. Бабошин (1872—1938 гг.) создал теорию отжига стали, установил научно обоснованные требования к рельсовой стали и разработал методы термической обработки рельсов, бандажей, паровозных и вагожных осей [по Бабошину (1904 г.) фактором, повышающим сопротивление рельсов сжатию, является не твердость, а предел упругости].

А. Л. Бабошин впервые описал структурно свободный цементит в котельном железе. Учебник А. Л. Бабошина „Металлография и термическая обработка железа, стали и чугуна“ в течение многих лет являлся основным пособием в подготовке инженеров металлостроителей-термистов.

Проф. А. М. Бочвар (1870—1947 гг.), основатель учебных и научно-исследовательских металлографических лабораторий МВТУ, провел наиболее полное исследование антифрикционных сплавов, в частности, баббитов. На основе этих исследований создан оригинальный стандарт советских баббитов, действующий до настоящего времени.

Проф. М. Г. Окнов (1878—1942 гг.) — продолжатель научной деятельности Д. К. Чернова и А. А. Ржешотарского. С 1903 по 1905 г. М. Г. заведывал металлографической лабораторией б. Обуховского сталелитейного завода, а с 1907 г. работал на кафедре общей металлургии в Петербургском политехническом институте. М. Г. Окновым создан курс металлографии чугуна и написан первый в мире учебник по этому курсу. Крупными, имевшими в свое время (1915—1931 гг.) мировое значение, являются его работы, посвященные изучению превращений в эвтектоидных сплавах во взаимосвязи с происходящими при этом объемными изменениями.

Труд М. Г. Окнова „Топливо и его сжигание“ долгое время являлся основным учебником для металлургических и машиностроительных вузов.

Проф. докт. техн. наук К. Ф. Грачев (1880—1948 гг.) — ученик А. М. Бочвара — крупный ученый-металловед, кузнец и термист, начавший свой творческий путь в лаборатории Брянского машиностроительного завода. К. Ф. Грачев (совместо с Н. А. Минкевичем) является основоположником широкого изучения свойств и применения легированной

специальной стали. Организовав в 1923 г. Комиссию по высококачественной специальной стали, он налаживает производство этой стали на Молотовском, Пензенском, б. Обуховском и других заводах. Книги К. Ф. Грачева „Специальные стали“ и „Металловедение“ долгое время служили учебными пособиями для студентов вузов и руководствами для инженеров-производственников.

Н. А. МИНКЕВИЧ

(1883—1942 гг.)

Проф. докт. техн. наук Николай Анатольевич Минкевич — крупнейший ученый-металловед, практик и непосредственный участник индустриализации нашей страны, участник строительства первенцев Сталинских пятилеток. Богатые дарования и совершенно исключительная трудоспособность Н. А. Минкевича не могли найти себе достойного применения в условиях дореволюционной России. Только после Октябрьской социалистической революции его деятельность приобрела широкий размах.

Н. А. Минкевич являлся руководителем и непосредственным участником работ по определению, назначению и разработке технологических процессов термической обработки стали для деталей новых машин: самолетов, автомобилей, тракторов и других изделий промышленности периода первых пятилеток.

Огромная по размаху и народнохозяйственному значению работа проделана Н. А. Минкевичем в области создания качественной металлургии, специального машиностроения и изыскания новых легированных марок стали. Им разработано большое количество малолегированных конструкционных и инструментальных (быстрорежущих) марок стали, содержащих минимум или совсем не содержащих ценных легирующих элементов — никеля, молибдена, вольфрама и др. За эти работы в 1941 г. Правительство удостоило Н. А. Минкевича звания лауреата Сталинской премии.

Н. А. Минкевич является пионером изучения и внедрения процесса газовой



цементации в практику советского машиностроения. В 1933 г. Н. А. Минкевич совместно с инж. С. Г. Шевахиным впервые провел работы по цементации стали парами нефтепродуктов, масел и других жидкостей, содержащих углерод. Проведенная им же совместно с проф. С. К. Ильинским и В. И. Просвириным работа по изучению процесса цементации газом пиролиза керосина легла в основу разработки конструкции печи и пиролизной установки, первые образцы которых были внедрены в практику на Московском автозаводе имени И. В. Сталина.

В настоящее время процесс газовой цементации является обычным для большинства наших машиностроительных заводов.

С 1921 г. и до последних дней жизни Н. А. Минкевич руководил кафедрами металлургии и термической обработки металлов в Московской горной академии и Московском институте стали, являясь прекрасным педагогом советской высшей школы. Его перу принадлежит до 80 научных работ, в том числе такие капитальные руководства, как „Сталь“, „Стальные и чугунные полуфабрикаты в авиастроении“, „Свойства, тепловая обработка и назначение стали и чугуна“, „Печи и оборудование термических цехов“ и др. Указанные книги по сих пор являются учебными пособиями для студентов вузов и настоящими руководствами для инженеров-производственников.

Оценивая заслуги Н. А. Минкевича, Правительство в 1934 г. присвоило ему

звание заслуженного деятеля науки и техники.

Горячий патриот своей Родины, Н. А. Минкевич проявил себя также и в качестве общественного деятеля. Дважды (в 1934 и 1939 гг.) он избирался депутатом Московского совета.

* *

Творческие возможности русского народа наиболее ярко проявились после Великой Октябрьской социалистической революции.

В период индустриализации страны широко развивается сеть научно-исследовательских институтов и заводских лабораторий, оборудованных по последнему слову техники.

Многие заводские лаборатории (например, ЧТЗ, УЗТМ, СТЗ, ХТЗ, ЗИС и др.), богато оснащенные оборудованием, являются крупнейшими научно-исследовательскими базами, внедряющими передовую технологию в промышленность.

В стране имеются специальные институты, призванные решать проблемы

металловедения и термической обработки. Академия наук Союза ССР и академии наук союзных республик ведут крупные исследовательские работы в области металлловедения и термической обработки. Большие работы ведутся в Уральском филиале Академии наук. Школа УФАИ является одной из ведущих школ металлловедения.

Имеющие большое научное и практическое значение работы проводятся в Академии наук, учебных и научно-исследовательских институтах Украинской ССР. Самостоятельные научные школы прогрессивного, имеющего мировое значение, советского металлловедения, созданы чл.-корр. АН СССР В. Г. Курдюмовым, акад. А. А. Бочваром и акад. Н. Т. Гудцовым.

Поддержка и внимание, оказываемые партией и правительством ученым и производственникам металловедам-термистам, открывают широкие возможности для дальнейшего развития прогрессивного советского металлловедения.

Глава II

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И КОНСТАНТЫ

В данной главе приведены физические величины и константы, имеющие общее значение.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И РАЗМЕРНОСТИ ВЕЛИЧИН

Обозначение	Наименование величины	Размерность	Размерность в англо-американских единицах	Переводной множитель
L, l	Длина	$мм$ $м$	inch (In) — дюйм foot (ft) — фут	25,4 0,305
F, f	Площадь	$см^2$ $м^2$	Sq. in — кв. дюйм Sq. ft — кв. фут	6,45 0,0929
V, v	Объем	$см^3$ $м^3$	Cu. in — куб. дюйм Cu. ft — куб. фут USA gall — галлон Cu. ft/lb	16,387 0,0283 0,00378 0,0624
\bar{v}	Удельный объем	$м^3/кг$		
G, g	Вес	$г$ $кг$	ounce (oz) — унция pound (lb) — фунт long ton — большая тонна	28,35 0,4536 1016,05
α, ν	Объемный вес	} $кг/м^3$	oz/cu. ft	1,0
γ	Удельный вес		lb/cu. ft	16,0
A	Атомный вес	—	—	—
M	Молекулярный вес	—	—	—
P, p	Давление	$мм$ вод. ст.	{ oz/Sq. in in of water — дюйм вод. ст. in of mercury — дюйм рт. ст.	44,0 25,4 345,5
		$мм$ рт. ст.		$\frac{lb}{Sq.in}$ $\frac{lb}{Sq.ft}$
		} $кг/см^2$	$\frac{lb}{Sq.in}$ $\frac{ton}{Sq.in}$	0,0703 157,5
Q, q	Количество тепла			BTU — британская единица
Q_H	Теплотворность низшая	} $ккал/кг$ $ккал/м^3$	$\frac{BTU}{lb}$	0,555
Q_B	То же высшая		{ $\frac{BTU}{Cu.ft}$	
q_D	Расход тепла удельный			$\frac{BTU}{Sq.ft}$
q_f	То же	$ккал/м^2$	$\frac{BTU}{Sq.ft}$	2,712
q_L		$м$	$\frac{BTU}{ft}$	0,825
I	Теплосодержание (энтальпия)	$ккал/кг$	$\frac{BTU}{lb}$	0,555
c	Теплоемкость удельная	$ккал/кг \cdot град$	$\frac{BTU}{lb \cdot degr F}$	1,0
λ	Коэффициент теплопроводности	$\frac{ккал}{м \cdot час \cdot град}$	$\frac{BTU}{ft \cdot h \cdot degr F}$	1,488

Продолжение

Обозначение	Наименование величины	Размерность	Размерность в англо-американских единицах	Переводной множитель
λ	Коэффициент теплопроводности	$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{BTU}}{\text{in} \cdot \text{h} \cdot \text{degr F}}$	17,88
	Коэффициент температуропроводности	м^2	$\frac{\text{ft}^2}{\text{h}}$	0,0929
K	Коэффициент теплоотдачи (телопередачи)	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{BTU}}{\text{Sq} \cdot \text{ft} \cdot \text{h} \cdot \text{degr F}}$	4,88
C_s	Коэффициент теплопередачи			
	Коэффициент лучеиспускания (константа излучения) абсолютно черного тела	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot (^\circ\text{K})^4}$	—	—
	Степень черноты серого тела $\epsilon = \frac{C}{C_s}$	—	—	—
ρ	Плотность	$\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^3}{\text{м}^3}$	$\frac{\text{lb} \cdot \text{сек}^3}{\text{ft}^3}$	52,7
μ	Коэффициент динамической вязкости	$\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$	$\frac{\text{lb} \cdot \text{сек}}{\text{Sq} \cdot \text{ft}}$	4,9
	Коэффициент кинематической вязкости	м^2	$\frac{\text{Sq} \cdot \text{ft}}{\text{сек}}$	0,0929
P	Производительность печи (станка, машины)	$\text{кг}/\text{час}$	$\frac{\text{lb}}{\text{h}}$	0,4536
P_f	Удельная производительность печи	$\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{час}$	$\frac{\text{lb}}{\text{Sq} \cdot \text{ft} \cdot \text{h}}$	4,88
P_v	То же	$\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{час}$	$\frac{\text{lb}}{\text{Cu} \cdot \text{ft} \cdot \text{h}}$	16,0
B	Расход топлива	$\text{кг}/\text{час}$	$\frac{\text{lb}}{\text{h}}$	0,4536
		$\text{м}^3/\text{час}$	$\frac{\text{Cu} \cdot \text{ft}}{\text{h}}$	0,0283
	Расход топлива удельный	$\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$	$\frac{\text{lb}}{\text{lb}}$	1,0
		$\text{м}^3/\text{кг}$	$\frac{\text{Cu} \cdot \text{ft}}{\text{lb}}$	0,0625
W	Расход электроэнергии	$\text{квт} \cdot \text{ч}$	kWh	—
θ_w	Расход электроэнергии удельный	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{lb}}$	2,2
η	Коэффициент полезного действия	$\%$	—	—
$\eta_{\text{д}}$	Коэффициент использования топлива	$\%$	—	—
D	Коэффициент диффузии	$\text{см}^2/\text{сек}$	$\frac{\text{Sq} \cdot \text{in}}{\text{сек}}$	6,45;
		$\text{см}^2/\text{час}$	$\frac{\text{Sq} \cdot \text{in}}{\text{h}}$	$1,791 \cdot 10^{-3}$
A	Работа	$\text{кг} \cdot \text{м}$	$\text{lb} \cdot \text{ft}$ BTU	0,138; 107,6
N, W	Мощность (производительность)	$\text{кг} \cdot \text{м}/\text{сек}$	$\frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{сек}}$	0,138

**СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ РАЗМЕРНЫМИ ЧИСЛАМИ
ТЕХНИЧЕСКОЙ (м, кг, час., ккал), ФИЗИЧЕСКОЙ [см, г (масса), сек., кал]
И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ (см, сек., вт) СИСТЕМАМИ МЕР**

<i>Количество тепла Q</i>			
		<i>дж</i>	<i>квт-ч</i>
1 ккал	1	4186	$1,163 \cdot 10^{-3}$
1 дж	$2,39 \cdot 10^{-4}$	1	$2,778 \cdot 10^{-7}$
1 квт-ч	860	$3,6 \cdot 10^6$	1
<i>Теплопроводность λ</i>			
	$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{вт}}{\text{см} \cdot \text{град}}$
$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	1	$2,788 \cdot 10^{-3}$	$1,163 \cdot 10^{-2}$
$\frac{\text{ккал}}{\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$	360	1	4,187
$\frac{\text{вт}}{\text{см} \cdot \text{град}}$	86,0	0,239	1
<i>Удельная теплоемкость с</i>			
	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \left(\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}} \right)$	$\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{квт-ч}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$
$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \left(\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}} \right)$	1	4186	$1,163 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	1	$2,778 \cdot 10^{-7}$
$\frac{\text{квт-ч}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	860	$3,6 \cdot 10^6$	1
<i>Динамическая вязкость μ</i>			
	$\frac{\text{кг} \cdot \text{час}}{\text{м}^2}$	$\text{Пуаз} = \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{сек}}$	$\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$
$\frac{\text{кг} \cdot \text{час}}{\text{м}^2}$	1	$3,532 \cdot 10^6$	3600
$\text{пуаз} = \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{сек}}$	$2,833 \cdot 10^{-6}$	1	0,0102
$\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$	$2,778 \cdot 10^{-4}$	98,1	1

Продолжение

Кинематическая вязкость ν и коэффициент температуропроводности a				
	$\text{м}^2/\text{час}$	$\text{см}^2/\text{сек}$	$\text{м}^2/\text{сек}$	
$\text{м}^2/\text{час}$	1	2,778	$2,778 \cdot 10^{-4}$	
$\text{см}^2/\text{сек}$	0,36	1	$1 \cdot 10^{-4}$	
$\text{м}^2/\text{сек}$	3600	10^4	1	

Коэффициент теплопередачи α , K и коэффициент лучеиспускания C^*				
	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{квт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$
$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	1	$2,778 \cdot 10^{-5}$	$1,163 \cdot 10^{-4}$	$1,163 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$	36 000	1	4,186	41,86
$\frac{\text{вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{град}}$	8 600	0,239	1	10
$\frac{\text{квт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$	860	0,0239	0,1	1

Единица работы A кгм = 2,34 ккал = $3,70 \cdot 10^{-6}$ л. с. = $2,724 \cdot 10^{-6}$ квт-ч = 9,81 джоуля.
 Единица мощности W кгм/сек = $9,81 \cdot 10^7$ эрг/сек = $1,33 \cdot 10^{-2}$ л. с. = $0,981 \cdot 10^{-2}$ квт.

* Коэффициент лучеиспускания в знаменателе размерности вместо $^{\circ}\text{C}$ содержит $(^{\circ}\text{K})^4$, например, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot (^{\circ}\text{K})^4}$.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ [177, т. 1]

Обозначение	Величина	Формула	Размерность
I, i	Сила тока	$I = \frac{U}{R}$	a (ампер)
Q, q	Количество электричества	$Q = I t$	κ (кулон, ампер-час)
U, u	Напряжение	$U = E = \frac{A}{Q} = \frac{P}{I}$	в (вольт)
E, e	Электродвижущая сила	$R = \frac{U}{Q} = \frac{\rho}{I^2}$	ом
R, r	Сопротивление	$r_t = r_0 (1 + \alpha t)$	
α	Температурный коэффициент сопротивления	$r_2 = r_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$	
$\rho_{\text{уд}}$, ρ	Удельное сопротивление	$\rho = \frac{R \cdot S}{l}$	$\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
γ	Удельная проводимость	$\gamma = \frac{1}{\rho}$	$\frac{\text{м}}{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}$
C	Емкость	$C = \frac{Q}{U}$	Φ (Фарада)
f, ν	Частота	$f = \frac{1}{T}$	гц (герц)
ω	Угловая частота	$\omega = 2\pi f$	$1/\text{сек}$

Продолжение

Обозначение	Величина	Формула	Размерность
P, N	Мощность	$N = UI \cos \varphi = I^2 R \cos \varphi$ (~ ток)	ват
A	Работа	$A = Nt$	ват-ч
B	Магнитная индукция	$B = \frac{F}{l}$	$\frac{B}{\text{см}^2} \left(\frac{\text{вебер}}{\text{см}^2} \right)$
Φ	Магнитный поток	$\Phi = B \cdot S$	B (вебер или вольт-секунда)
L	Индуктивность	$L = \frac{\Phi w}{I}$	гн
H	Напряженность магнитного поля	$H = \frac{Iw}{l}$	а/см
μ	Магнитная проницаемость	$\mu = \frac{B}{H}$	$\frac{\text{ом} \cdot \text{сек}}{\text{см}} \left(\frac{\text{гн}}{\text{см}} \right)$
R_m	Магнитное сопротивление	$R_m = \frac{l}{\mu S}$	$\frac{1}{\text{ом} \cdot \text{сек}}; \frac{1}{\text{гн}}$
F	Намагничивающая сила (м. д. с.)	$F = \frac{\Phi l}{\mu S}$	а (ампер)
H_c	Коэрцитивная сила	H (при $B = 0$)	а/см

ШКАЛЫ ТЕМПЕРАТУР [177, т. 1]

Температура — степень нагретости тела.

Основные постоянные точки международной стогоградусной температурной шкалы:

точка кипения кислорода	— 182,97°
плавления льда	0,000°
кипения воды	+ 100,000°
серы	+ 444,60°
затвердевания серебра	+ 960,5°
золота	+ 1063,0°

Шкала Цельсия (°C) практически не отличается от международной стогоградусной шкалы.

В шкале Фаренгейта (°F) нуль смещен в сторону понижения температуры на 32°; шкала между состояниями таяния льда (+ 32 °F) и кипения воды (+ 212 °F) разделена на 180 делений (град.).

По шкале Реомюра (°R) таяние льда — при 0°, кипение воды при + 80°.

Шкала Кельвина (°K, T_{abs}) — абсолютная температура, отсчитываемая от

абсолютного нуля, смещенного на 273,16°C в сторону убывания температуры; в технических расчетах принимают

$$T^\circ = t^\circ \text{C} + 273^\circ$$

$$\text{или } T^\circ = \frac{5}{9} t^\circ \text{F} + 255,2^\circ;$$

абсолютная температура в градусах Фаренгейта

$$T^\circ \text{F} = \frac{9}{5} T^\circ = t^\circ \text{F} + 459,4^\circ.$$

Если $t^\circ \text{C}$, $t^\circ \text{R}$ и $t^\circ \text{F}$ определяют одно и то же тепловое состояние, то

$$t^\circ \text{C} = \frac{5}{4} t^\circ \text{R} = \frac{5}{9} (t^\circ \text{F} - 32^\circ);$$

$$t^\circ \text{R} = \frac{4}{5} t^\circ \text{C} = \frac{4}{9} (t^\circ \text{F} - 32^\circ);$$

$$t^\circ \text{F} = \frac{9}{5} t^\circ \text{C} + 32 = \frac{9}{4} t^\circ \text{R} + 32^\circ.$$

Сравнение градусов Цельсия и Фаренгейта

-459,4 до 0			0—100						100—1000						1000—2000						2000—3000					
С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F
-273	-459,4		-17,8	0	32	10,0	50	122,0	38	100	212	260	500	932	538	1000	1832	816	1500	2732	1093	2000	3632	1371	2500	4532
-268	-450		-17,2	1	33,8	10,6	51	123,8	43	110	230	266	510	950	543	1010	1850	821	1510	2750	1099	2010	3650	1377	2510	4550
-262	-440		-16,7	2	35,6	11,1	52	125,6	49	120	248	271	520	968	549	1020	1868	827	1520	2768	1104	2020	3668	1382	2520	4568
-257	-430		-16,1	3	37,4	11,7	53	127,4	54	130	266	277	530	986	554	1030	1886	832	1530	2786	1110	2030	3686	1388	2530	4586
-251	-420		-15,6	4	39,2	12,2	54	129,2	60	140	284	282	540	1004	560	1040	1904	838	1540	2804	1116	2040	3704	1393	2540	4604
-246	-410		-15,0	5	41,0	12,8	55	131,0	66	150	302	288	550	1022	566	1050	1922	843	1550	2822	1121	2050	3722	1399	2550	4622
-240	-400		-14,4	6	42,8	13,3	56	132,8	71	160	320	293	560	1040	571	1060	1940	849	1560	2840	1127	2060	3740	1404	2560	4640
-234	-390		-13,9	7	44,6	13,9	57	134,6	77	170	338	299	570	1058	577	1070	1958	854	1570	2858	1132	2070	3758	1410	2570	4658
-229	-380		-13,3	8	46,4	14,4	58	136,4	82	180	356	304	580	1076	582	1080	1976	860	1580	2876	1138	2080	3776	1416	2580	4676
-223	-370		-12,8	9	48,2	15,0	59	138,2	88	190	374	310	590	1094	588	1090	1994	866	1590	2894	1143	2090	3794	1421	2590	4694
-218	-360		-12,2	10	50,0	15,6	60	140,0	93	200	392	316	600	1112	593	1100	2012	871	1600	2912	1149	2100	3812	1427	2600	4712
-212	-350		-11,7	11	51,8	16,1	61	141,8	99	210	410	321	610	1130	599	1110	2030	877	1610	2930	1154	2110	3830	1432	2610	4730
-207	-340		-11,1	12	53,6	16,7	62	143,6	100	220	413,6	327	620	1148	604	1120	2048	882	1620	2948	1160	2120	3848	1438	2620	4748
-201	-330		-10,6	13	55,4	17,2	63	145,4	104	222	428	332	630	1166	610	1130	2066	888	1630	2966	1166	2130	3866	1443	2630	4766
-196	-320		-10,0	14	57,2	17,8	64	147,2	110	230	446	338	640	1184	616	1140	2084	893	1640	2984	1171	2140	3884	1449	2640	4784
-191	-310		-9,4	15	59,0	18,3	65	149,0	116	240	464	343	650	1202	621	1150	2102	899	1650	3002	1177	2150	3902	1454	2650	4802
-184	-300		-8,9	16	60,8	18,9	66	150,8	121	250	482	349	660	1220	627	1160	2120	904	1660	3020	1182	2160	3920	1460	2660	4820
-179	-290		-8,3	17	62,6	19,4	67	152,6	127	260	500	354	670	1238	632	1170	2138	910	1670	3038	1188	2170	3938	1466	2670	4838
-173	-280		-7,8	18	64,4	20,0	68	154,4	132	270	518	360	680	1256	638	1180	2156	916	1680	3056	1193	2180	3956	1471	2680	4856
-169	-273	-439,4	-7,2	19	66,2	20,6	69	156,2	138	280	536	366	690	1274	643	1190	2174	921	1690	3074	1199	2190	3974	1477	2690	4874
-168	-270	-454	-6,7	20	68,0	21,1	70	158,0	143	290	554	371	700	1292	649	1200	2192	927	1700	3092	1204	2200	3992	1482	2700	4892
-162	-260	-436	-6,1	21	69,8	21,7	71	159,8	149	300	572	377	710	1310	654	1210	2210	932	1710	3110	1210	2210	4010	1488	2710	4910
-157	-250	418	-5,6	22	71,6	22,2	72	161,6	154	310	590	382	720	1328	660	1220	2226	938	1720	3128	1216	2220	4028	1493	2720	4928
-151	-240	-400	-5,	23	73,4	22,8	73	163,4	160	320	608	388	730	1346	666	1230	2246	943	1730	3146	1221	2230	4046	1499	2730	4946
-146	-230	-382	-4,4	24	75,2	23,3	74	165,2	166	330	626	393	740	1364	671	1240	2164	949	1740	3164	1227	2240	4064	1504	2740	4964

-459, до 0			0-100						100-1000						1000-2000						2000-3000					
С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F	С	С или F	F
-140	-220	-364	-3,9	25	77,0	23,9	75	167,0	171	340	644	399	750	1382	677	1250	2282	954	1750	3182	1232	2250	4082	1510	2750	4982
-134	-210	-346	-3,3	26	78,8	24,4	76	168,8	177	350	662	404	760	1400	682	1260	2300	960	1760	3200	1238	2260	4100	1516	2760	5000
-129	-200	-328	-2,8	27	80,6	25,0	77	170,6	182	360	630	410	770	1418	688	1270	2318	966	1770	3218	1243	2270	4118	1521	2770	5018
-123	-190	-310	-2,2	28	82,4	25,6	78	172,4	188	370	693	416	780	1436	693	1280	2336	971	1780	3236	1249	2280	4136	1527	2780	5036
-118	-180	-292	-1,7	29	84,2	26,1	79	174,2	193	380	716	421	790	1454	699	1290	2354	977	1790	3254	1254	2290	4154	1532	2790	5054
-112	-170	-274	-1,1	30	86,0	26,7	80	176,0	199	390	734	427	800	1472	704	1300	2372	982	1800	3272	1260	2300	4172	1538	2800	5072
-107	-160	-256	-0,6	31	87,8	27,2	81	177,8	204	400	752	432	810	1490	710	1310	2390	988	1810	3290	1266	2310	4190	1543	2810	5090
-101	-150	-238	0,0	32	89,6	27,8	82	179,6	210	410	770	438	820	1508	716	1320	2408	993	1820	3308	1271	2320	4208	1549	2820	5108
-96	-140	-220	0,6	33	91,4	28,3	83	181,4	216	420	788	443	830	1526	721	1330	2426	999	1830	3326	1277	2330	4226	1554	2830	5126
-90	-130	-202	1,1	34	93,2	28,9	84	183,2	221	430	806	449	840	1544	727	1340	2444	1004	1840	3344	1282	2340	4244	1560	2840	5144
-84	-120	-184	1,7	35	95,0	29,4	85	185,0	227	440	824	454	850	1562	732	1350	2462	1010	1850	3362	1288	2350	4262	1566	2850	5162
-79	-110	-166	2,2	36	96,8	30,0	86	186,8	232	450	843	460	860	1580	738	1360	2480	1016	1860	3380	1293	2360	4280	1571	2860	5180
-73	-100	-148	2,8	37	98,6	30,6	87	188,6	238	460	860	466	870	1598	743	1370	2498	1021	1870	3398	1299	2370	4298	1577	2870	5198
-68	-90	-130	3,3	38	100,4	31,1	88	190,4	243	470	878	471	880	1616	749	1380	2516	1027	1880	3416	1304	2380	4316	1582	2880	5219
-62	-80	-112	3,9	39	102,2	31,7	89	192,2	249	480	896	477	890	1634	754	1390	2534	1032	1890	3434	1310	2390	4334	1588	2890	5234
-57	-70	-94	4,4	40	104,0	32,2	90	194,0	254	490	914	482	900	1652	760	1400	2552	1038	1900	3452	1316	2400	4352	1593	2900	5252
-51	-60	-76	5,0	41	105,8	32,8	91	195,8	260	500	932	488	910	1670	766	1410	2570	1043	1910	3470	1321	2410	4370	1599	2910	5270
-46	-50	-58	5,3	42	107,6	33,3	92	197,6	266	510	950	493	920	1688	771	1420	2588	1049	1920	3488	1327	2420	4388	1604	2920	5288
-40	-40	-40	6,1	43	109,4	33,9	93	199,4	271	520	969	499	930	1706	777	1430	2606	1054	1930	3506	1332	2430	4406	1610	2930	5306
-34	-30	-22	6,7	44	111,2	34,4	94	201,2	277	530	1000	504	940	1724	782	1440	2624	1060	1940	3524	1338	2440	4424	1616	2940	5324
-29	-20	-4	7,2	45	113,0	35,0	95	203,0	282	540	1020	510	950	1742	788	1450	2642	1066	1950	3542	1343	2450	4442	1621	2950	5342
-23	-10	14	7,8	46	114,8	35,6	96	204,8	287	550	1040	516	960	1760	793	1460	2660	1071	1960	3560	1349	2460	4460	1627	2960	5360
-17,9	-0	32	8,3	47	116,6	36,1	97	206,6	292	560	1060	521	970	1778	799	1470	2678	1077	1970	3578	1354	2470	4478	1632	2970	5372
			8,9	48	118,4	36,7	98	208,4	297	570	1080	527	980	1796	804	1480	2696	1082	1980	3596	1360	2480	4496	1638	2980	5396
			9,4	49	120,2	37,2	99	210,2	302	580	1100	532	990	1814	810	1490	2714	1088	1990	3614	1366	2490	4514	1643	2990	5414
							100	212,0	307	590	1120	538	1000	1832				1093	2000	3632				1649	3000	5432

ТЕПЛОЕМКОСТЬ [133]

Истинная теплоемкость

$$c = \frac{dq}{dt}$$

Средняя теплоемкость

$$c_m = \frac{q}{t_2 - t_1} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} c dt$$

Для двухатомных газов

$$c = a + bt,$$

где a — теплоемкость газа при $t = 0^\circ \text{C}$;

$$c_m = a + \frac{b}{2}(t_2 + t_1).$$

Удельная теплоемкость единицы массы вещества

Атомная $c_A = cA$.

Весовая $c_{\text{ккал/кг}\cdot\text{град}}$; c_m $\text{ккал/кг}\cdot\text{град}$.

Молярная c или μc $\text{ккал/моль}\cdot\text{град}$.

Объемная C или c' $\text{ккал/л}\cdot\text{град}$.

Зависимость между молярной, весовой и объемной теплоемкостями:

$$\mu c = c \cdot \mu = c' 22,4;$$

$$c = \frac{\mu c}{\mu} = \frac{c'}{\gamma_H}; \quad c' = \frac{\mu c}{22,4} = c \gamma_H,$$

где μ — молекулярный вес вещества;

γ_H — удельный вес газа при нормальных условиях (0°C и 760 мм рт. ст.) и $22,4$ — объем моля при нормальных условиях.

Теплоемкость при постоянном давлении — $c_p, c'_p, \mu c_p$, при постоянном объеме — $c_v, c'_v, \mu c_v$.

Для идеального газа

$$\mu c_p - \mu c_v = A \mu R \approx 2$$

или

$$c_p - c_v = AR,$$

где

A — тепловой эквивалент работы;

R — газовая постоянная в кдж/кг ;

$^\circ \text{C}$ $\mu R = 848 \text{ кдж/моль}\cdot\text{град} =$

$= 1,985 \text{ ккал/моль}\cdot\text{град}$ — универсальная газовая постоянная одного моля газа.

Теплосодержание

$$i = ct; \quad i = \int_{t_1}^{t_2} c dt$$

ТЕПЛОЕМКОСТЬ И ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ГАЗОВ [133]

$t^\circ \text{C}$	Средняя объемная теплоемкость C_m в $\text{ккал/л}\cdot\text{град}$						Теплосодержание i_m в ккал/л^3					
	CO_2	H_2O	SO_2	N_2	O_2	Воздух	CO_2	H_2O	SO_2	N_2	O_2	Воздух
0	0,3801	0,3569	0,414	0,3103	0,3116	0,3097	0	0	0	0	0	0
100	0,4092	0,3596	0,433	0,3106	0,3145	0,3106	40,92	35,96	43,0	31,06	31,45	31,06
200	0,4290	0,3633	0,451	0,3115	0,3190	0,3123	85,80	72,70	90,0	62,30	63,80	62,46
300	0,4469	0,3684	0,468	0,3132	0,3240	0,3147	134,1	110,5	140,0	93,96	97,20	94,41
400	0,4628	0,3739	0,482	0,3154	0,3288	0,3175	185,1	149,6	193,0	126,2	131,6	127,0
500	0,4769	0,3796	0,495	0,3183	0,3336	0,3207	238,4	189,8	247,0	159,1	166,9	160,3
600	0,4895	0,3856	0,505	0,3214	0,3382	0,3241	293,7	231,4	303,0	192,8	203,1	194,5
700	0,5008	0,3920	0,514	0,3246	0,3426	0,3275	356,0	274,4	360,0	227,2	239,8	229,2
800	0,5110	0,3985	0,522	0,3277	0,3464	0,3307	408,8	318,8	418,0	262,2	277,1	264,6
900	0,5204	0,4050	0,529	0,3308	0,3498	0,3338	468,4	364,5	476,0	297,7	314,8	300,4
1000	0,5288	0,4115	0,535	0,3337	0,3529	0,3367	528,8	411,5	535,0	333,7	352,9	336,7
1100	0,5363	0,4180	0,540	0,3365	0,3557	0,3396	589,9	459,8	594,0	370,1	391,3	373,6
1200	0,5433	0,4244	0,544	0,3392	0,3584	0,3422	652,0	509,3	653,0	407,0	430,1	410,6
1300	0,5495	0,4306	—	0,3419	0,3608	0,3448	714,3	560,0	—	444,5	469,0	448,2
1400	0,5553	0,4367	—	0,3443	0,3631	0,3472	777,4	611,4	—	482,0	508,3	486,1
1500	0,5606	0,4425	—	0,3466	0,3653	0,3494	840,9	663,7	—	519,9	547,9	524,1
1600	0,5655	0,4482	—	0,3487	0,3673	0,3515	904,8	717,1	—	557,9	587,7	562,4
1700	0,5701	0,4537	—	0,3506	0,3693	0,3534	969,2	771,3	—	596,0	627,8	600,8
1800	0,5744	0,4590	—	0,3525	0,3712	0,3552	1034,0	826,2	—	634,5	668,2	639,4
1900	0,5783	0,4640	—	0,3543	0,3730	0,3570	1099,0	881,6	—	673,2	708,7	678,3
2000	0,5820	0,4689	—	0,3558	0,3747	0,3586	1164,0	937,8	—	711,6	749,4	717,2
2100	0,5855	0,4736	—	0,3574	0,3764	0,3602	1229,0	994,6	—	750,5	790,4	756,4
2200	0,5887	0,4780	—	0,3589	0,3781	0,3616	1295,0	1052,0	—	789,6	831,8	795,5

Средняя теплоемкость углеродистой стали c_m в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг град}}$

°C	Чистое железо	Содержание углерода в стали в %								
		0,22	0,30	0,54	0,61	0,80	0,92	1,0	1,23	1,40
100	0,111	0,1113	0,1115	0,1125	0,1142	0,1153	0,1181	0,1162	0,1173	0,1159
200	0,117	0,1148	0,1148	0,1149	0,1157	0,1160	0,1200	0,1185	0,1195	0,1200
300	0,122	0,1198	0,1200	0,1207	0,1217	0,1230	0,1240	0,1230	0,1233	0,1230
400	0,128	0,1229	0,1233	0,1248	0,1253	0,1255	0,1275	0,1260	0,1273	0,1256
500	0,134	0,1273	0,1278	0,1282	0,1286	0,1298	0,1318	0,1300	0,1310	0,1301
600	0,142	0,1354	0,1357	0,1366	0,1368	0,1373	0,1391	0,1380	0,1383	0,1375
700	0,143	0,1432	0,1436	0,1443	0,1446	0,1449	0,1467	0,1458	0,1460	0,1451
800	0,1503	0,1620	0,1648	0,1645	0,1636	0,1620	0,1643	0,1625	0,1676	0,1625
900	0,155	0,1678	0,1665	0,1647	0,1639	0,1620	0,1600	0,1606	0,1660	0,1607
1000	0,1613	0,1678	0,1670	0,1646	0,1640	0,1622	0,1561	0,1602	0,1579	0,1608
1100	0,1616	0,1678	0,1670	0,1650	0,1645	0,1629	0,1575	0,1610	0,1590	0,1616
1200	0,1623	0,1693	0,1676	0,1657	0,1650	0,1635	0,1575	0,1600	0,1584	0,1618

Истинная и средняя теплоемкость металлов в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг град}}$ [133]

Наименование металла	Истинная c при $t^{\circ}\text{C}$								
	-200	-100	0	20	100	200	300	500	1000
Алюминий	0,075	0,175	0,210	0,214	0,224	0,235	0,241	0,26	—
Хром	0,034	0,076	0,102	0,105	0,118	0,119	0,125	—	—
Железо	0,032	0,085	0,105	0,103	0,116	0,127	0,139	0,162	—
Медь	0,040	0,082	0,0905	0,0915	0,0947	0,0969	0,0994	0,1049	—
Магний	0,13	0,21	0,289	0,243	0,285	0,268	0,276	0,30	—
Марганец	—	0,095	0,113	0,116	0,123	—	0,14	—	—
Молибден	0,020	0,080	0,089	0,080	0,082	—	—	—	0,074
Никель	0,086	0,087	0,1056	0,1085	0,1116	0,123	0,136	—	—
Платина	0,018	0,028	0,0317	0,0318	0,0324	0,0326	0,0326	0,0335	0,035
Ртуть	0,0273	0,0322	—	0,0363	—	—	—	—	—
Серебро	0,0375	0,0616	0,0556	0,0569	0,0568	0,0595	0,061	0,063	0,074
Титан	—	—	—	0,145	—	—	—	—	—
Висмут	0,024	0,0273	0,0293	0,0295	0,0303	0,032	0,034	—	—
Цинк	0,038	0,035	0,091	0,092	0,095	0,099	0,1003	—	—

Продолжение

Наименование металла	Средняя c_m в интервале температур $t^{\circ}\text{C}$						
	-200-0	-100-0	0-100	0-200	0-300	0-500	0-1000
Алюминий	0,164	0,194	0,217	0,223	0,228	0,237	—
Хром	0,071	0,090	0,103	—	0,116	—	0,135
Железо	0,080	0,096	0,111	0,116	0,122	0,133	0,168
Медь	0,078	0,087	0,0928	0,0949	0,0958	0,0974	—
Магний	0,20	0,225	0,247	—	0,260	0,27	—
Марганец	—	0,105	0,119	—	0,127	—	—
Молибден	0,047	0,055	0,061	—	—	—	0,067
Никель	0,083	0,099	0,108	0,112	0,118	—	0,13
Платина	0,025	0,0305	0,0321	—	0,0328	0,0333	—
Серебро	0,0505	0,0539	0,0562	—	0,0572	—	—
Титан	—	—	0,1462	0,1503	0,1563	—	—
Висмут	0,027	0,0286	0,0298	0,0304	—	—	—
Цинк	0,082	0,088	0,093	0,095	—	—	—

Истинная удельная теплоемкость водных растворов в ккал/кг град

NaCl							
Весовое содержание NaCl в %	0,8	3,2	7,5	24,5			
Теплоемкость при температуре:							
$t = 6^{\circ} \text{C}$	—	0,96	0,91	0,805			
20°C	0,99	0,97	0,915	0,81			
33°C	—	0,97	0,915	0,81			
57°C	—	—	0,923	0,82			
NaOH (при 20°)							
Весовое содержание NaOH в %	0	1,1	2,2	18,2	30,8	47,0	57,2
Теплоемкость	1,0	0,985	0,97	0,835	0,80	0,784	0,782
KOH (при 20°)							
Весовое содержание KOH в %	0	1,6	4,9	13,5	23,7		
Теплоемкость	1,0	0,975	0,93	0,814	0,76		
HCl							
Весовое содержание HCl в %	0	16,8	28,9	33,6	41,4		
Теплоемкость при температуре:							
$t = 0^{\circ} \text{C}$	1,0	0,72	0,61	0,58	0,55		
10°C	—	0,72	0,605	0,575	—		
20°C	—	0,74	0,631	0,591	—		
40°C	—	0,75	0,645	0,615	—		
60°C	—	0,78	0,67	0,633	0,61		

Средняя удельная теплоемкость некоторых материалов в интервале температур $0 \rightarrow 100^{\circ} \text{C}$ c_m в ккал/кг град [133]

Материал	c_m	Материал	c_m
Бензин (при 10°)	0,34	Кокс	0,20
Бензол	0,44	Масло машинное	0,40
Бетон	0,21—0,27	Масло трансформаторное	0,45
Графит	0,19	Серная кислота	0,33
Дерево: луб	0,57	Сернистая кислота	0,32
сосна	0,65	Скипидар	0,42
Древесные опилки	0,24	Слюда	0,2—0,7
Древесный уголь (при 20°)	0,277	Стекло	0,12—0,20
Зола	0,20	Фарфор	0,25
Каменный уголь	0,31	Цемент	0,27
Керосин	0,50	Эбонит	0,59

ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ РЕАКЦИЙ [77]

Реакция	Тепловой эффект реакции		
	ккал/кг моль	ккал/кг	ккал/м ³
$C + O_2 = CO_2$	97 650	8 138	—
$C + \frac{O_2}{2} = CO$	29 970	2 498	—
$CO + \frac{O_2}{2} = CO_2$	67 680	2 417	3 021
$H_2 + \frac{O_2}{2} = H_2O_{ж}$	68 360	34 180	3 052
$H_2 + \frac{O_2}{2} = H_2O_{п}$	57 810	28 905	2 581
$H_2O_{п} \rightarrow H_2O_{ж}$	10 550	586	471
$S + O_2 = SO_2$	70 910	2 216	—
$H_2S + 1,5O_2 = SO_2 + H_2O_{ж}$	134 510	3 956	6 005
$H_2S + 1,5O_2 = SO_2 + H_2O_{п}$	123 960	3 646	5 534
$FeS + 1,5O_2 = FeO + SO_2$	165 280	1 377	—
$FeS + 1,5O_2 + SiO_2 = FeSiO_3 + 2SO_2$	180 893	2 826	—
$Fe + \frac{O_2}{2} = FeO$	64 430	1 150	—
$2Fe + 1,5O_2 = Fe_2O_3$	196 910	1 758	—
$3Fe + 2O_2 = Fe_3O_4$	265 960	1 583	—
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O_{ж}$	210 800	13 200	9 400
$C_n H_{2n+2}$ (горение, $H_2O_{ж}$)	$210\,800 + 157\,500 \times (\bar{n}-1)$	$6900 \frac{11,4\bar{n} + 4}{7\bar{n} + 1}$	$7000\bar{n} + 2400$
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O_{п}$	192 400	12 025	8 589
$C_n H_{2n+2}$ (горение, $H_2O_{п}$)	—	$8400 \times \frac{8,7\bar{n} + 2}{7\bar{n} + 1}$	$6600\bar{n} + 1950$
$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O_{ж}$	341 100	12 182	15 228
$C_n H_{2n}$ (горение, $H_2O_{ж}$)	—	—	$7000\bar{n} + 550$
$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O_{п}$	320 000	11 429	14 286

**ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ [177, т. 1, гл. III]**

Формула	Схема реакции образования	Тепловой эффект в ккал/г моля	Формула	Схема реакции образования	Тепловой эффект в ккал/г моля
Cu_2O	$2\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+ 40,8	FeO	$\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+64,3
CuO	$\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+ 37,8	Fe_2O_3	$2\text{Fe} + \frac{3}{2}\text{O}_2$	+198,5
Al_2O_3	$2\text{Al} + \frac{3}{2}\text{O}_2$	+378,0	Fe_3O_4	$3\text{Fe} + 2\text{O}_2$	+266,9
AlN	$\text{Al} + \frac{1}{2}\text{N}_2$	+ 78,0±1,0	Fe_3C	$3\text{Fe} + \text{C} (\beta\text{-граф.})$	- 5,4
V_2O_5	$2\text{V} + \frac{5}{2}\text{O}_2$	+302±10	Fe_2N	$2\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{N}_2$	+ 3,0
V_2O_4	$\text{V}_2\text{O}_5 + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+ 59,6	Fe_4N	$4\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{N}_2$	+ 1,0
V_2O_3	$2\text{V} + \frac{3}{2}\text{O}_2$	+437,7±7	FeS	$\text{Fe} + \text{S} (\text{ромб.})$	+ 23,1
VC	-	+ 49,5	FeS_2	$\text{Fe} + 2\text{S} (\text{ромб.})$	+ 35,5
VN	$\text{V} + \frac{1}{2}\text{N}_2$	+ 58,1±0,9	CoO	$\text{Co} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+ 57,5
Cr_2O_3	$2\text{Cr} + \frac{3}{2}\text{O}_2$	+268,0	Co_3O_4	$3\text{Co} + 2\text{O}_2$	+193,4
CrO_2	$\text{Cr} + \frac{3}{4}\text{O}_2$	+140,0	NiO	$\text{Ni} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+ 58,9
Cr_2C_6	-	-	SiO_2 (кварц)	$\text{Si} + \text{O}_2$	+208,3
Cr_2C	-	-	SiC	$\text{Si} + \text{C} (\beta\text{-граф.})$	+ 30,0
CrN	$\text{Cr} + \frac{1}{2}\text{N}_2$	+ 16,4±0,6	TaC	-	+ 38,0±5
MoO_3	$\text{Mo} + \text{O}_2$	+142,8	TaN	-	+ 58,0
MoO_2	$\text{Mo} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+175,6	TiO_2	$\text{Ti} + \text{O}_2$	+220,0
Mo_2C	-	- 4,2	TiC	$\text{Ti} + \text{C} (\beta\text{-граф.})$	+ 45,0
$\text{Fe}_3\text{Mo}_2\text{C}$	-	-	TiN	$\text{Ti} + \frac{1}{2}\text{N}_2$	+ 82,2
MoN	-	+ 17,0	ZrN	-	+ 82,5
Mo_2N	$2\text{Mo} + \frac{1}{2}\text{N}_2$	+274±3,0	ZrC	-	+ 58,0
WO_3	$\text{W} + \text{O}_2$	+131,4			
WO_2	$\text{W} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+194,9			
W_2C	$2\text{WO}_3 + 7\text{C} = \text{W}_2\text{C} + 6\text{CO}$	-			
$(\alpha - \text{W}_2\text{C})$					
$(\beta - \text{W}_2\text{C})$					
WC	-	- 14,5			
$\text{Fe}_3\text{W}_2\text{C}$	-	-			
MnO	$\text{Mn} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	+ 95,5			
MnO_2	$\text{Mn} + \text{O}_2$	+123,0			
Mn_2O_4	$3\text{Mn} + 2\text{O}_2$	+345,0			
Mn_2C	$3\text{Mn} + \text{C} (\beta\text{-граф.})$	+ 23,0			

КОНСТАНТЫ РАВНОВЕСИЯ ВАЖНЕЙШИХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ [177, т. 1] *

Реакция	Выражение для константы равновесия	Константа равновесия в функции температуры T в °K
$2C + O_2 = 2CO$ $C + O_2 = CO_2$	$K = \frac{P_{O_2}}{P_{CO}^2}$ $K = \frac{P_{O_2}}{P_{CO_2}}$	Реакции практически необратимы
$2CO + O_2 = 2CO_2$	$K = \frac{P_{CO}^2 \cdot P_{O_2}}{P_{CO_2}^2}$	$\lg K = -\frac{29\,850}{T} + 1,76 \lg T + 3,72$ $\lg K = -\frac{29\,072}{T} + 3,81$
$2CO = CO_2 + C$	$K = \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}}^{**}$	$(\beta\text{-граф.}) \lg K = -\frac{40\,800}{4,571T} + 4,864T - 0,301 \times$ $\times 10^{-2}T + \dots - 2,926$ $(C \text{ аморфн.}) \lg K = -\frac{37\,200}{4,571T} + 4,577T - 0,260 \times$ $\times 10^{-2}T + \dots - 3,133$ (Реакция обратима в условиях высоких температур $> 1500^\circ K$)
$2H_2 + O_2 = 2H_2O$	$K = \frac{P_{H_2}^2 \cdot P_{O_2}}{P_{H_2O}^2}$	$\lg K = -\frac{26\,320}{T} + 6,08$ $\lg K = -\frac{25\,300}{T} + 1,76 \lg T - 0,16$ (Реакция обратима в условиях высоких температур $> 1500^\circ K$)
$CO + H_2O = CO_2 + H_2$ (Реакция водяного газа)	$K = \frac{P_{CO} \cdot P_{H_2O}}{P_{CO_2} \cdot P_{H_2}}^{**}$	$\lg K = -\frac{2208,4}{T} - 5,1588 \cdot 10^{-5}T + \dots + 2,3$ $\lg K = -\frac{2285}{T} + 2,0$
$2H_2 + C = CH_4$	$K = \frac{P_{H_2}^2}{P_{CH_4}}$	$(\beta\text{-граф.}) \lg K = \frac{4,003}{T} - 1,75 \lg T + 0,63 \times$ $\times 10^{-3}T - 0,7$ $(C \text{ аморфн.}) \lg K = \frac{4,583}{T} - 1,75 \lg T +$ $+ 0,63 \cdot 10^{-3}T - 0,7$
$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$	$K = \frac{P_{N_2} \cdot P_{H_2}^3}{P_{NH_3}^2}$	$\lg K = \frac{4780}{T} + 3,52 \lg T + 0,8$
$2Fe + O_2 = 2FeO$	$K = P_{O_2}$	$\lg (P_{O_2})_{FeO} = -\frac{28\,740}{T} - 1,47 \lg T - 0,425 \times$ $\times 10^{-3}T + \dots + 12,914$

* См. С. Т. Ростовцев, Теория металлургических процессов, Металлургияиздат, 1945.

** См. табл. на стр. 164.

Продолжение

Реакция	Выражение для константы равновесия	Константа равновесия в функции температуры T в °K
$1/2\text{Fe} + \text{O}_2 = 1/2\text{Fe}_3\text{O}_4$	$K = P_{\text{O}_2}$	$\lg (P_{\text{O}_2})_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = -\frac{32\,250}{T} + 2,068 \lg T - 0,395 \times 10^{-3}T + \dots + 6,806$
$1/3\text{Fe} + \text{O}_2 = 1/3\text{Fe}_2\text{O}_3$	$K = P_{\text{O}_2}$	$\lg (P_{\text{O}_2})_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = -\frac{29\,160}{T} + 2,75 \lg T - 1,215 \times 10^{-3}T + \dots + 1,76$
$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	$K = \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}}$	Реакция практически необратима
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{CO} = 3\text{Fe} + 4\text{CO}_2$ при $t < 570^\circ\text{C}$	$K = \frac{P_{\text{CO}}^4}{P_{\text{CO}_2}^4}$	$\lg K = -\frac{170}{T} + 0,22$
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2$ при $t > 570^\circ\text{C}$	$K = \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}}$	$\lg K = +\frac{1373}{T} + 0,341 \lg T - 0,41 \times 10^{-3}T - 2,303$
$\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$	$K = \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}}$ *	$\lg K = -\frac{381}{T} + 2,11 \lg T - 0,395 \times 10^{-3}T - 5,357$
$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$	$K = \frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$	Реакция практически необратима
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2 = 3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O}$ при $t < 570^\circ\text{C}$	$K = \frac{P_{\text{H}_2}^4}{P_{\text{H}_2\text{O}}^4}$	
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 = 3\text{FeO} + \text{H}_2\text{O}$	$K = \frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$	
$\text{FeO} + \text{H}_2 = \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$	$K = \frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$ *	

* См. табл. на стр. 164.

**СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ.
ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ [177, т. 1]**

Элементы и соединения	Формула	Молекулярный вес	Плотность g/cm^3	Температура в °C	
				плавления	кипения
Водород	H	1,0081 *	—	-257	-263
Вода	H ₂ O	18,016	0,9168	0	100
Литий	Li	6,94 *	0,53	186	1372
Натрий	Na	22,997 *	0,97	97,7	892
Натрий азотистокислый	NaNO ₂	69,01	2,17	276,9	—
Натрий азотнокислый	NaNO ₃	85,01	2,25	308	—
Натрий тетраборнокислый, гидрат (бура)	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	381,43	1,72	711 **	—
Едкий натр	NaOH	40,01	2,37 **	322	1388
Натрий углекислый (кальцинированная сода)	Na ₂ CO ₃	106,0	2,5	852	—
Натрий углекислый, гидрат (сода)	Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	286,1	1,5	—	—
Натрий фтористый	NaF	42,0	2,73	992	1695
Натрий хлористый	NaCl	58,46	2,17	800	1440
Натрий цианистый	NaCN	49,01	—	562,3	—
Калий	K	39,096 *	0,86	62,2	774
Калий азотистокислый	KNO ₂	85,11	1,92	297,5	—
Калий азотнокислый	KNO ₃	101,11	2,10	336	—
Калий углекислый	K ₂ CO ₃	138,2	2,29	891	—
Калий едкий	KOH	56,11	2,12	360,4	1324
Калий цианистый	KCN	65,11	1,56	623,5	—
Калий хлористый	KCl	74,56	1,99	768,0	1415
Медь	Cu	63,57 *	8,945	1083	2360
Медь закись	Cu ₂ O	143,14	5,88	>1230	—
Медь окись	CuO	79,57	6,40	1148	—
Бериллий	Be	9,02 *	1,85	1285	2767
Кальций углекислый	CaCO ₃	100,07	2,71	1339	—
Кальций хлористый	CaCl ₂	110,99	2,15	774	—
Кальций хлористый, гидрат	CaCl ₂ · 6H ₂ O	219,05	1,65	29,5	—
Барий окись	BaO	153,4	5,72; 5,32	—	—
Барий углекислый	BaCO ₃	197,4	4,3	-1740	—
Барий хлористый, гидрат	BaCl ₂ · 2H ₂ O	244,4	3,10	960**	—
Цинк	Zn	65,38 *	7,14	419,4	907***
Цинк окись	ZnO	81,38	5,78	—	1800
Кадмий	Cd	112,41 *	8,65	320,8	768
Ртуть	Hg	200,61 *	13,596	38,85***	357,25
Бор	B	10,82 *	2,3	-2300	2550
Алюминий	Al	26,97 *	2,7	658	1800
Алюминий, гидроокись	Al(OH) ₃	77,99	2,42	—	—
Алюминий карбид	Al ₄ C ₃	143,87	2,36	—	—
Алюминий нитрид	AlN	40,98	—	—	—
Алюминий окись	Al ₂ O ₃	101,94	3,96	2050	2980
Алюминий хлористый	AlCl ₃	133,35	2,41	~190	183
Углерод	C	12,01 *	—	—	—
Углерод	Графит	—	2,5	>3500	—
Углерод	Алмаз	—	3,5	3500	4830
Углерод окись	CO	28	0,967	-207	-190
Углерод диокись	CO ₂	44	1,524	-57	-78,5
Цианистый водород	HCN	27,01	0,691	-13	+26,5
Ацетилен	CH ₂ = CH ₂	26,02	—	-81	-84
Бензол	C ₆ H ₆	78,05	0,88	-6	+80
Глицерин	C ₃ H ₅ (OH) ₃	92,06	1,26	-19	+290
Метан	CH ₄	16,03	0,415	-184	-161,4
Этан	C ₂ H ₆	30,05	—	-172	-93
Этиловый спирт	C ₂ H ₅ OH	46,05	0,79	-114	78

* Атомный вес.

** Для безводного соединения.

*** Температура возгонки.

**** Температура затвердевания.

Продолжение

Элементы и соединения	Формула	Моле- кулярный вес	Плотность г/см ³	Температура в °С	
				плавления	кипения
Кремний	Si	28,06 *	2,35—2,40	1427	2287
Кремний карбид (карборунд)	SiC	40,07	3,12	—	—
Кремний окись, кварц .	SiO ₂	60,06	2,65	—	2950
Олово	Sn	72,06 *	5,36	960	2760
Свинец	Pb	207,21 *	11,34	327	1744
Титан .	Ti	47,90 *	4,5	1813	5100
Цирконий .	Zr	91,92 *	6,4	1700	5050
Азот	N	14,008 *	—	-210****	-196
Аммоний хлористый (наша- тырь) .	NH ₄ Cl	53,59	1,53	33***	—
Фосфор	P	30,98 *	1,82	44	280
Сурьма .	Sb	121,76 *	7,62	630	1440
Висмут .	Bi	209,0 *	9,8	271	1450
Ванадий .	V	50,95 *	5,68	1710	~3000
Ниобий .	Nb	92,91 *	8,57	1950	~3700
Кислород .	O	16,00 *	1,13	-219	-183
Сера .	S	32,06	2,07 (ромб.) 1,96 (моноклин.)	112,8 119,0	— 444,5
Сера двуокись .	SO ₂	64,07	—	-72,7	-10
Кислота серная .	H ₂ SO ₄	98,09	1,85	10,49	338
Сернистый водорода	H ₂ S	34,09	—	-83	-60,2
Хром .	Cr	52,01*	7,14	1550	2480
" хлорный	CrCl ₃	158,4	2,92	—	—
Молибден .	Mo	95,95*	10,2	2620	4800
Вольфрам .	W	183,92*	19,3	3370	~5920
Вольфрам карбид .	W ₂ C	379,85	16,06	2877	~6000
" .	WC	192,93	15,07	2777	~6000
Марганец .	Mn	54,93*	7,44	1242	2151
Железо .	Fe	55,85*	7,86	1530	3000
закаись	FeO	71,84	5,7	1377	—
закаись-окись	Fe ₃ O ₄	231,52	5,16	1527	—
окись .	Fe ₂ O ₃	159,68	5,1	1565	—
сернистое .	FeS	87,91	4,84	1170—1197	—
Железо сернистое (пирит) .	FeS ₂	119,98	5,03	—	—
Железо карбид .	Fe ₃ C	179,52	7,66	—	—
Железосинеродистый калий (красная кровяная соль)	K ₃ Fe (CN) ₆	329,19	1,85	—	—
Железистосинеродистый калий (желтая кровяная соль) .	K ₄ Fe (CN) ₆	422,34	1,93	—	—
Кобальт .	Co	58,94*	8,9	1490	2900
Никель .	Ni	58,69*	8,9	1452	2900
Платина .	Pt	195,23*	21,45	1773	4389

* Атомный вес.

** Для безводного соединения.

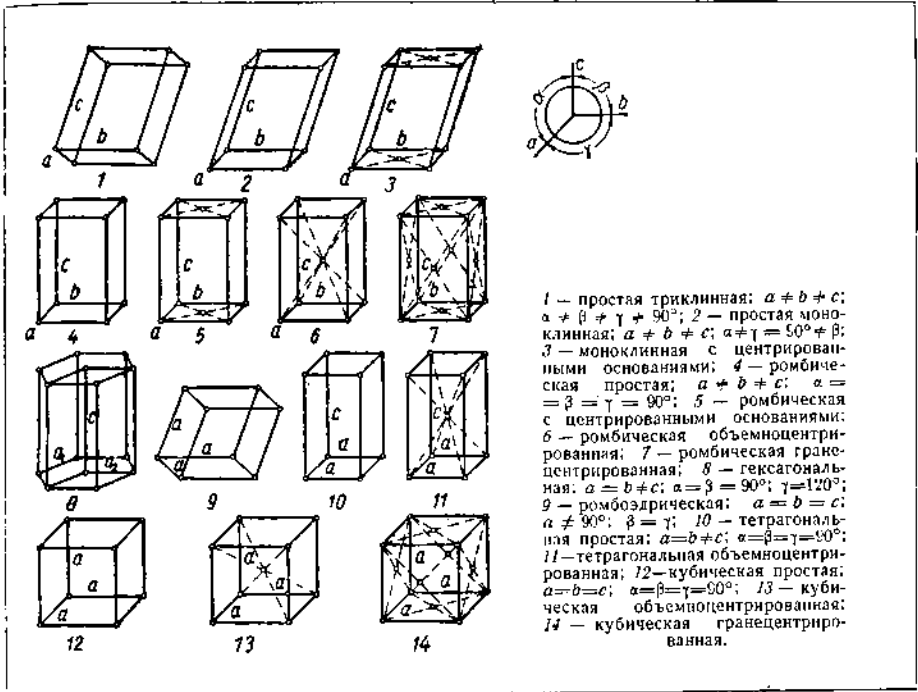
*** Температура возгонки.

**** Температура затвердевания.

УПРУГОСТЬ ВОДЯНОГО ПАРА И СОДЕРЖАНИЕ ВЛАГИ В 1 м³ ВЛАЖНОГО ГАЗА [76]

Температура в °С	Упружность водяного пара в мм рт. ст.	Содержание влаги в 1 м³ газа (влажного)		Температура в °С	Упружность водяного пара в мм рт. ст.	Содержание влаги в 1 м³ газа (влажного)		Температура в °С	Упружность водяного пара в мм рт. ст.	Содержание влаги в 1 м³ газа (влажного)	
		в г/м³	в %			в г/м³	в %			в г/м³	в %
-65	0,002	0,0024	0,0003	0	4,579	4,84	0,602	20	17,54	18,50	2,30
-60	0,007	0,008	0,001	1	4,926	5,21	0,648	22	19,83	21,00	2,61
-55	0,015	0,016	0,002	2	5,294	5,60	0,697	24	22,38	23,60	2,94
-50	0,029	0,032	0,004	3	5,685	6,01	0,748	26	25,21	26,70	3,32
-45	0,052	0,056	0,007	4	6,101	6,46	0,804	28	28,35	30,00	3,73
-40	0,093	0,097	0,012	5	6,543	6,91	0,860	30	31,82	33,70	4,19
-35	0,167	0,177	0,022	6	7,013	7,42	0,922	32	35,66	37,70	4,69
-30	0,28	0,30	0,037	7	7,513	7,94	0,988	34	39,90	42,20	5,25
-25	0,471	0,50	0,062	8	8,045	8,52	1,06	36	44,56	47,10	5,86
-20	0,772	0,81	0,101	9	8,609	9,10	1,13	38	49,69	52,70	6,55
-15	1,238	1,31	0,163	10	9,209	9,73	1,21	40	55,32	58,50	7,27
-10	1,946	2,06	0,256	11	9,844	10,40	1,29	45	71,88	76,00	9,46
- 8	2,321	2,45	0,305	12	10,52	11,10	1,38	50	92,51	97,90	12,18
- 6	2,761	2,84	0,363	13	11,23	11,90	1,48	55	118,00	125,00	15,50
- 5	3,008	3,18	0,395	14	11,99	12,70	1,58	60	149,0	158,0	19,7
- 4	3,276	3,46	0,430	15	12,79	13,50	1,68	65	187,5	198,0	24,7
- 3	3,566	3,77	0,469	16	13,63	14,40	1,79	70	233,7	247,0	30,7
- 2	3,879	4,10	0,510	17	14,53	15,30	1,93	75	289,1	306,0	38,0
- 1	4,216	4,46	0,555	18	15,48	16,40	2,04	80	355,1	376,0	46,7
- 0	4,579	4,84	0,602	19	16,48	17,40	2,17	90	525,8	555,0	69,1
				20	17,54	18,50	2,30	100	760,0	804,0	100,0

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЯЧЕЙКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК



ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ [40, вып. 11]

	Масса в г	Заряд в кулонах	Магнитный момент в гс/см ³	Условный радиус в см
Электрон	$9,109 \cdot 10^{-28}$	$-1,602 \cdot 10^{-19}$	$9,27 \cdot 10^{-21}$	$1,1 \cdot 10^{-13}$
Ядро атома протон	$1,6727 \cdot 10^{-24}$	$+1,602 \cdot 10^{-19}$	$2,785 \cdot 5,05 \cdot 10^{-24}$	$1,4 \cdot 10^{-13}$
нейтрон	$1,6749 \cdot 10^{-24}$	0	$-1,935 \cdot 5,05 \cdot 10^{-24}$	—
Атом водорода	$M_{\text{в.д.}} \cdot 1837,3 = 1,67 \cdot 10^{-24}$	0	—	$0,528 \cdot 10^{-8}$

Положение о том, что ядра атомов построены только из нейтронов и протонов, было впервые высказано советским физиком Д. Д. Ивановым в 1932 г., чем и было положено начало современному представлению о строении ядра атома.

В атоме каждого элемента ядро несет столько элементарных положительных зарядов и вне ядра движется столько электронов, сколько единиц содержит порядковый номер (Z) данного элемента в периодической системе Менделеева.

ВОЗМОЖНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И СОЧЕТАНИЯ КВАНТОВЫХ ЧИСЕЛ

	l	m	Число электронов N	Количество возможных комбинаций чисел при каждом значении числа l . Максимально возможное число электронов в слое (емкость слоя) $N = 2n^2$
1	0	0	2	$2 \cdot 1^2$
2	0 1	0 -1, 0, 1	2 6	$2 \cdot 2^2 = 8$
3	0 1 2	0 -1, 0, 1 -2, -1, 0, 1, 2	2 6 10	$2 \cdot 3^2 = 18$
4	0 1 2 3	0 -1, 0, 1 -2, -1, 0, 1, 2 -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	2 6 10 14	$2 \cdot 4^2 = 32$

Квантовые числа:

n — главное, определяющее в основном энергию электрона, равно одному из целых чисел $n = 1, 2, 3, \dots$;

l — второе, азимутальное число, определяющее момент количества движения электрона на орбите; $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$;

m_l — третье, или „магнитное“, характеризующее поведение орбиты в магнитном поле $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$;

m_s — четвертое, характеризующее собственный магнитный момент электрона, возникающий от вращения электрона вокруг его оси (так называемый „спин“); $m_s = +\frac{1}{2}$ или $-\frac{1}{2}$.

В спектроскопии слой, отвечающий главному квантовому числу $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ и 7 , обозначается соответственно K, L, M, N, O, P, Q ; подгруппы, соответствующие квантовому числу $l = 0, 1, 2, 3$, обозначаются соответственно малыми буквами s, p, d, f .

Главное квантовое число соответствует периоду системы Менделеева.

Период	I		II		III		IV			V		VI		VII				
Слой	K		L		M		N			O		P		Q				
Квантовые числа	n	1	2	3		4			5		6		7					
	l	0	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	0	1	2	0
Подгруппа		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	6s	6p	6d	7s
Максимальное число электронов		2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6		
Емкость слоя $N = n^2$		2	8		18		32			48		64		80		98		

Принятые обозначения. Например: кислород, $z = 8$; $1s^2 2s^2 2p^4$; железо, $z = 26$; $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ (показатель — число электронов в подгруппе).

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ

ПЕРИОДЫ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	0		
1	1 H ВОДОРОД 1,008						(H)	2 He Гелий 4,003		
2	3 Li ЛИТИЙ 6,940	4 Be БЕРИЛЛИЙ 9,012	5 B БОР 10,82	6 C УГЛЕРОД 12,010	7 N АЗОТ 14,008	8 O КИСЛОРОД 16,000	9 F ФТОР 18,998	10 Ne НЕОН 20,183		
3	11 Na НАТРИЙ 22,990	12 Mg МАГНИЙ 24,312	13 Al АЛЮМИНИЙ 26,982	14 Si КРЕМНИЙ 28,086	15 P ФОСФОР 30,974	16 S СЕРА 32,066	17 Cl ХЛОР 35,453	18 Ar АРГОН 39,948		
4	19 K КАЛИЙ 39,098	20 Ca КАЛЬЦИЙ 40,078	21 Sc СКАНДИЙ	22 Ti ТИТАН 47,88	23 V ВАНАДИЙ 50,942	24 Cr ХРОМ 52,00	25 Mn МАРГАНЦ 54,938	26 Fe ЖЕЛЕЗО 55,847	27 Co НИКОБЛЬ 58,933	28 Ni НИКЕЛЬ 58,69
	29 Cu МЕДЬ 63,546	30 Zn ЦИНК 65,38	31 Ga ГАЛЛИЙ 69,723	32 Ge ГЕРМАНИЙ 72,61	33 As АРСЕН 74,922	34 Se СЕЛЕН 78,96	35 Br БРОМ 79,904	36 Kr КРИПТОН 83,798		
5	37 Rb РУБИДИЙ 85,468	38 Sr СТРОНЦИЙ 87,62	39 Y ИТРИЙ 88,906	40 Zr ЦИРКОНИЙ 91,224	41 Nb НИОБИЙ 92,906	42 Mo МОЛИБДЕН 95,94	43 Tc ТЕХНЕЦИЙ	44 Ru РУТЕНИЙ 101,07	45 Rh РОДИЙ 102,905	46 Pd ПАЛЛАДИЙ 106,42
	47 Ag СЕРЕБРО 107,868	48 Cd КАДМИЙ 112,411	49 In ИНДИЙ 114,818	50 Sn ОЛОВО 118,710	51 Sb СВЯТОСЛАВ 121,757	52 Te ТЕЛЛУР 127,6	53 I ИОД 126,905	54 Xe КСЕНОН 131,29		
6	55 Cs ЦЕЗИЙ 132,905	56 Ba БАРИЙ 137,327	57-71 La ЛАНТАНЫ	72 Hf ГАФНИЙ 178,49	73 Ta ТАНТАЛ 180,948	74 W ВОЛЬФРАМ 183,84	75 Re РЕНИЙ 186,207	76 Os ОСМИЙ 192,22	77 Ir ИРИДИЙ 192,22	78 Pt ПЛАТИНА 195,084
	79 Au ЗОЛОТО 197,027	80 Hg РУТУТЬ 200,59	81 Tl ТАЛЛИЙ 204,384	82 Pb СВИНЕЦ 207,2	83 Bi ВИСМУТ 208,980	84 Po ПОЛОНИЙ 209	85 At АСТАТИН	86 Nt НЬОТОН		
7	87 Fr ФРАНЦИЙ	88 Ra РАДИЙ 226,075	89-103 Ac АКТИНИДЫ	104 Th ТОРИЙ 232,037						



VIII

ЛАНТАНИДЫ (ЛАНТАНОИДЫ)

58 Ce ЦЕРИЙ 140,13	59 Pr ПРАЗЕОДИМ 140,908	60 Nd НЕОДИМ 144,24	61 Pm ПРОМЕТЕЙ	62 Sm САМАРИЙ 150,36	63 Eu ЕВРОПИЙ 152,0	64 Gd ГАДОЛИНИЙ 157,25	65 Tb ТЕРБИЙ 158,925	66 Dy ДИСПРОЗИЙ 162,50	67 Ho ГОЛЬМИЙ 164,930	68 Er ЕРБИЙ 167,259	69 Tm ТУЛЬМИЙ 168,930	70 Yb ИТТЕРБИЙ 173,054	71 Lu ЛОТЕНЦИЙ 174,967
------------------------------------	---	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	--	--------------------------------------	--	---------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	--	--

АКТИНИДЫ (АКТИНОИДЫ)

90 Th ТОРИЙ 232,037	91 Pa ПАРОТАРИЙ 231	92 U УРАН 238,029	93 Np НЕПТУНИЙ	94 Pu ПУТОРИЙ	95 Am АМЕРИЦИЙ	96 Cm КУРОНИЙ	97	98	99
-------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----	----	----

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ВАЖНЕЙШИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ОБРАЗУЮЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ [52]

Элементы	Атомный вес A	Атомный объем V _A	Удельный вес (плотность) γ в г/см ³	Температура плавления T _п в °С	Теплота плавления q _п в ккал/кг	Теплоемкость при 20° С в ккал/кг град	Сжатие при кристаллизации в %	Коэффициент линейного расширения α 10 ⁶ в 1/град
Алюминий Al	27,0	10	2,70	658	94	0,21	6,6	24,0
Бериллий Be	9,0	4,9	1,85	1285	260	0,425	—	12,3
Ванадий V	51,0	8,5	5,68	1710	—	0,11	—	—
Висмут Bi	209,0	21,4	9,75	271	13,0	0,03	3,3	13,45
Вольфрам W	184,0	9,5	19,3	3370	45,7	0,036	—	4,0
Железо Fe _α	55,8	7,1	7,86	1530	65	0,102	—	11,9
Золото Au	197,2	10,2	19,32	1063	16,11	0,032	5,2	14,4
Калий K	39,1	41,0	0,86	62,2	14,5	0,18	2,5	83,0
Кадмий Cd	112,4	13,0	8,65	320,8	13,17	0,055	5,0	29,8
Кальций Ca	40,1	26,0	1,54	810	—	0,16	—	25,0
Кобальт (α) Co	58,9	6,8	8,90	1490	58,38	0,10	—	12,08
Кремний Si	28,1	11,6	2,35	1427	—	0,17	—	6,95
Литий Li	6,94	13,0	0,534	186	32,81	0,83	—	56,0
Магний Mg	24,3	14,0	1,74	650	70,0	0,24	4,2	25,7
Марганец (α) Mn	54,9	7,4	7,44	1242	64,8	0,11	—	23,0
Молибден Mo	96,0	9,3	10,2	2620	—	0,065	—	4,0
Мышьяк As	74,9	18,1	5,73	850	—	0,08	—	5,0
Медь Cu	63,57	7,15	8,94	1033	48,8	0,91	4,0	16,42
Натрий Na	23,0	23,7	0,97	97,7	27,53	0,29	2,5	71
Никель Ni	58,7	6,7	8,9	1452	73,8	0,106	—	13,7
Олово (ρ) Sn	118,7	16,3	7,3	231,9	14,40	0,53	2,8	22,4
Платина Pt	195,2	9,1	21,45	1773	24,10	0,03	—	8,80
Свинец Pb	207,2	18,3	11,34	327,4	6,32	0,03	3,4	29,50
Сера (ромб.) S	32,0	15,5	2,07	112,8	9,3	—	—	—
Серебро Ag	107,9	10,2	10,53	960,5	25,2	0,056	4,5	18,9
Сурьма Sb	121,76	18,0	7,62	630	39,4	0,05	1,4	11,29
Титан Ti	47,9	10,7	4,5	1813	—	0,11	—	—
Углерод C	12,0	—	—	—	—	—	—	—
Алмаз	—	3,42	3,52	3500	—	0,11	—	1,18
Графит	—	5,35	2,50	3500	—	0,16	—	7,86
Фосфор P	30,98	17,0	1,82	44	5,04	0,18	—	125,3
Цинк Zn	65,4	7,74	7,14	419,4	24,09	0,088	6,5	32,5
Хром Cr	52,0	7,5	7,14	1550	31,75	0,105	—	8,1

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ВАЖНЕЙШИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ОБРАЗУЮЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ [52]

Удельное электросопротивление 10 ¹⁰ ρ в Ом.мм ² /м	Механические свойства					Тип кристаллической решетки	Постоянная решетки в Å	Атомные радиусы в Å	
	HV	σ _{вр} в кг/мм ²	δ в %	φ в %	E в кг/мм ²				
2,7	20	6	40	85	7 200	Куб с центр. гранями	4,05	1,43	
2,5	140	—	—	—	30 000	Гексагональная	2,28	1,12	
—	—	—	—	—	—	Объемноцентр. куб	3,04	1,36	
115	9	Хрупкий			3 200	Ромбоэдрическая	4,74	—	
5,48	350	150	—	—	42 000	Объемноцентр. куб	3,150	1,41	
9,065	80	25—30	50—40	85	21 000	Объемноцентр. куб	2,86	1,26	
2,19	20	14	50	90	7 900	Куб с центр. гранями	4,08	1,46	
7,1	—	—	—	—	—	Объемноцентр. куб	—	2,38	
7,59	20	6	20	50	5 300	Гексагональная	2,96	1,54	
10,5	30	6	10	—	2 600	Куб с центр. гранями	5,56	1,97	
9,7	130	25	10	—	20 750	Гексагональная	2,51	1,25	
—	30	—	—	—	4 450	Тип алмаза	5,43	—	
8,55	—	—	—	—	—	Объемноцентр. куб	3,5	1,58	
4,46	25	8—22	3—12	2—19	4 360	Гексагональная	3,22	1,60	
4,4	20	Хрупкий			20 160	Объемноцентр. куб	8,89	1,27	
4,4	35	70	—	—	35 000	Объемноцентр. куб	3,143	1,39	
35	—	—	—	—	—	Ромбоэдрическая	5,6	—	
1,56	35	22	50	70	11 200	Куб с центр. гранями	3,60	1,28	
4,28	—	—	—	—	—	Объемноцентр. куб	—	1,92	
11,8	60	45—56	35—50	50—70	20 500	Куб с центр. гранями	3,54	1,25	
11,14	5	2	40	90	5 500	Центр. тетрагональн.	5,81	—	
10,06	—	—	—	—	17 000	Куб с центр. гранями	3,93	1,39	
20,4	4	1,8	45	90	780	Куб с центр. гранями	4,94	—	
—	—	—	—	—	—	Ромбическая	—	—	
1,47	25	13	50	90	8 100	Куб с центр. гранями	4,08	1,4	
39,0	30	Хрупкий			7 100	Ромбоэдрич. шестигр.	4,5	—	
35,7	—	—	—	—	8 400	Гексагональная плотная	2,97	1,47	
—	—	—	—	—	—	Решетка алмаза	—	—	
—	—	—	—	—	—	Тетраэдральная	3,56	—	
—	—	—	—	—	—	Гексагональная	2,47	—	
—	—	—	—	—	—	Ромбоэдрическая	5,96	—	
5,92	30	15	20	70	13 000	Гексагональная плотн	2,67	1,37	
2,6	Хрупкий					—	Объемноцентр. куб	2,895	1,30

СОСТАВ, СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЕ СТАЛИ

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ
„ЖЕЛЕЗО — УГЛЕРОД“

Диаграмма состояния системы „железо — углерод“ (фиг. 1) построена на основе открытия Д. К. Чернова в пределах концентрации углерода от 0 до 6,67%. Этому содержанию углерода соответствует химическое соединение Fe_3C . Диаграмма называется цементитной, так как в ней не отражены критические точки (линии), приводящие к образованию графита.

При нагреве и охлаждении железо претерпевает следующие аллотропические превращения:

При нагреве		При охлаждении	
$t^\circ C$	Состояние	$t^\circ C$	Состояние
До 768	α -железо (магнитное)	1539—1390	δ -железо
768—910	β -железо (немгнитное)	1390—898	γ -железо
910—1400	γ -железо	898—768	β -железо
1400—1535	δ -железо	< 768	α -железо

При температуре 768° железо претерпевает магнитное превращение: при нагревании теряет магнитные свойства, при охлаждении приобретает; модификации α и β имеют одинаковую кристаллическую решётку. Потеря или приобретение магнитных свойств объясняются внутриаомными изменениями.

Каждая из аллотропических модификаций железа обладает определенными параметрами кристаллической решётки, находящимися в прямолинейной зависимости от температуры; α , β и γ имеют одинаковую зависимость.

Параметры решётки:

$$a_{0-768^\circ} = 2,86 - 2,895 \text{ \AA};$$

$$\delta_{1400-1539^\circ} = 2,925 - 2,93 \text{ \AA};$$

$$\gamma_{910-1400^\circ} = \sim 3,65 - 3,678 \text{ \AA}.$$

По мере совершенствования методов исследования положение точек диа-

граммы состояния уточняется. Последние точные данные принадлежат проф. д-ру хим. наук И. И. Корнилову (Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Академии наук СССР).

Характерные точки диаграммы
состояния „железо — углерод“

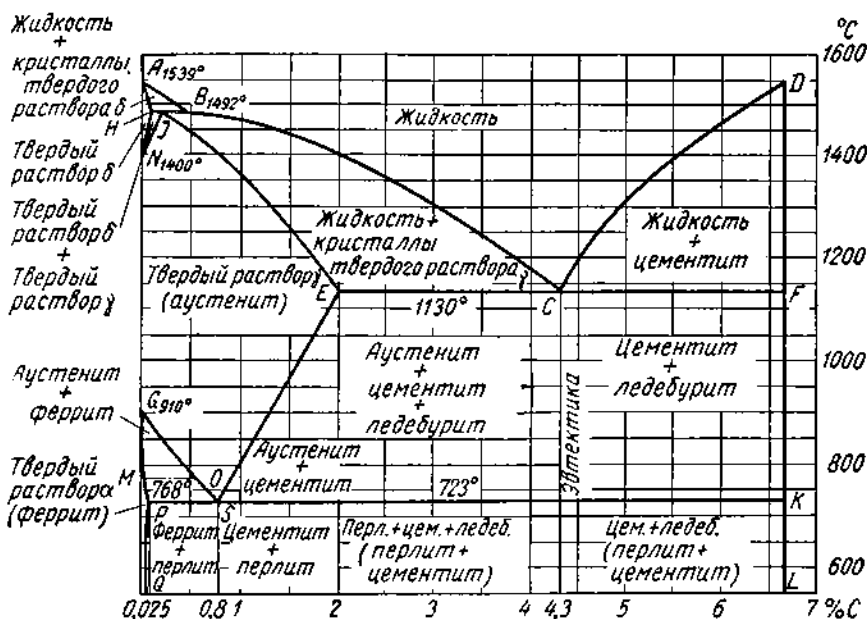
Точка	Температура t в $^\circ C$	Содержание углерода в $\%$
A	1539	0
B	1492	0,45
C	1130	4,3
D	~1600	6,67
E	1130	(100% Fe_3C)
F	1130	2,0 (1,7)
G	910	6,67
H	1492	0
J	1492	0,1
K	723	0,16
N	1400	6,67
O	723	0
P	723	0,04
R	723	0,80
Q	20	0,008

Фазы:

- жидкость — жидкий раствор углерода в железе;
- аустенит — твердый раствор углерода в γ -железе;
- феррит — твердый раствор углерода в α -железе;
- цементит — химическое соединение железа и углерода — Fe_3C ;
- графит — углерод, выделяющийся в сплаве в свободном состоянии.

Линии:

- ECF — начала затвердевания (или плавления) чугуна;
- GOS — начала выделения феррита;
- ES — начала выделения цементита из аустенита;



Фиг. 1. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов (структурные составляющие и фазы указаны для системы Fe — Fe₃C).

- GO — превращения $\beta \rightleftharpoons \gamma$;
 OS — превращения $\alpha \rightleftharpoons \gamma$;
 PSK — превращения перлита в аустенит и обратно (при нагреве и охлаждении);
 GPQ — ограничивающая область α -железа;
 MO — магнитного превращения $\alpha \rightleftharpoons \beta$.

Критические точки:

- A_{c1} (при нагреве) или A_{r1} (при охлаждении) — превращение перлита в аустенит и обратно;
 A_{c2} или A_{r2} — магнитное превращение $\alpha \rightleftharpoons \beta$;
 A_{c3} или A_{r3} — превращение $\beta \rightleftharpoons \gamma$ или $\alpha \rightleftharpoons \gamma$;
 A_{c4} или A_{r4} — превращение $\gamma \rightleftharpoons \delta$.
 Положение критических точек зависит от скорости нагрева или охлаждения.

СТРУКТУРЫ И ИХ СВОЙСТВА

Феррит (фиг. 2, а, см. вклейку) — твердый раствор углерода и легирующих элементов в α -железе — Fe _{α} (C) (почти чистое железо α ; содержание углерода $\leq 0,04\%$); механические свойства феррита: $\sigma_{\beta\rho} = 25 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_{\gamma} = 12 \text{ кг/мм}^2$;

$\delta = 50\%$; $\psi = 8\%$; $H_B = 80 \div 100$. Кристаллическая решетка феррита — кубическая объемноцентрированная, параметр решетки $a = 2,8 \text{ \AA}$.

Аустенит (фиг. 2, б) — твердый раствор углерода и легирующих элементов в γ -железе — Fe _{γ} (C) (содержание углерода $\leq 2,0\%$); кристаллическая решетка — кубическая гранцентрированная, $a = 3,63 \text{ \AA}$.

Цементит (фиг. 2, в) — химическое соединение железа и углерода — Fe₃C (6,67% C); $H_B > 700$; температура плавления 1600°; кристаллическая решетка — сложная ромбоэдрическая.

Перлит — эвтектичная смесь феррита и цементита — Fe _{α} (C) + Fe₃C. Температура равновесного превращения — 723°, концентрация углерода — 0,80%; твердость перлита зависит от формы перлита (в пределах 160—260 HB); при пластичной форме цементита перлит называется пластичным (2, г), при зернистой — зернистым (фиг. 2, д).

Ледобурит (фиг. 2, е) — эвтектическая смесь аустенита и цементита, образующаяся при кристаллизации жидкого сплава, содержащего 4,3% C при

1130°— $Fe_7(C) + Fe_3C$. При температуре ниже 723° ледебурит представляет собой смесь цементита и перлита— $Fe_3C + [Fe_2(C) + Fe_3C]$.

В зависимости от скорости охлаждения аустенит может переохлаждаться ниже температуры его равновесного состояния 723° с образованием неустойчивых структур.

Сорбит (фиг. 2, ж) — продукт превращения (распада) аустенита в интервале (районе) температур 600—650° — механическая смесь феррита и цементита, отличающаяся от перлита большей дисперсностью составляющих и более высокой твердостью.

Сорбит также является продуктом распада мартенсита при его нагреве (сорбит отпуска).

Троостит (фиг. 2, з) — продукт превращения аустенита в интервале температур 500—600° — механическая смесь феррита и цементита еще большей дисперсности и твердости, чем сорбит. Троостит также является продуктом распада мартенсита при его нагреве.

„Игольчатый троостит“ (фиг. 2, и) — продукт превращения аусте-

нита при температуре ниже 600° — представляет собой смесь пересыщенного (по углероду) феррита и цементита чаще игольчатого строения без дифференциации составных частей структуры.

Игольчатый троостит обладает более высокой твердостью, чем троостит.

Название структуры условное; исследование последнего времени показали, что „игольчатый троостит“ может иметь и зернистое строение. По свойствам и строению различают „игольчатый троостит“ верхний, получаемый в интервале температур распада 600—500°, и нижний, получаемый при температуре ниже 500°.

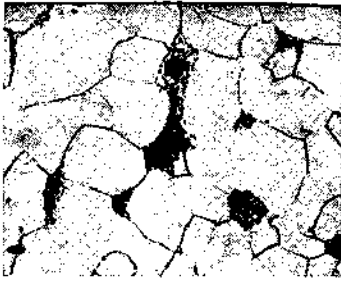
Мартенсит (фиг. 2, к) — раствор углерода и легирующих элементов в железе α — продукт бездиффузионного превращения аустенита в α -фазу (без выделения углерода)* — наиболее твердая из всех неустойчивых структур; имеет игольчатое строение. Содержание углерода в мартенсите равно исходному в аустените.

* По последним исследованиям чл.-кор. АН СССР Г. В. Курдюмова, мартенсит есть особая модификация аустенита.

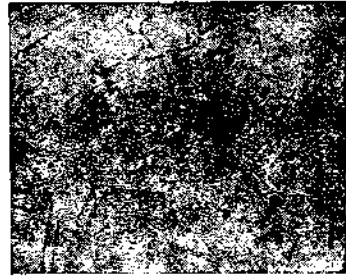
Свойства структурных составляющих стали и чугуна

[177, т. 3 и 4]

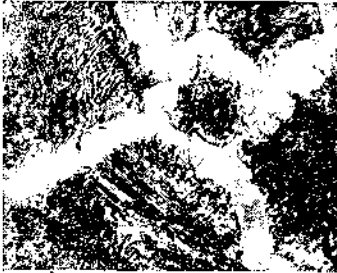
Свойства	Структурные составляющие				
	Аустенит	Феррит	Цементит	Перлит	Графит
Удельная теплоемкость c в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ при:					
100°	0,12	0,1167	0,140	—	0,2024
200°	—	0,1161	0,1488	—	0,2248
300°	—	0,1215	0,1490	—	0,2467
400°	—	0,1275	0,1505	—	0,2671
500°	—	0,1337	0,1524	—	0,2865
600°	—	0,1417	0,1557	—	0,3070
700°	—	0,1515	0,1559	—	0,3237
800°	—	0,1659	0,1649	—	0,3460
900°	—	0,1700	0,1710	—	0,3610
1000°	—	—	—	—	0,3755
1100°	—	—	—	—	0,3860
Коэффициент термического линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ в $\frac{\text{см}}{\text{см} \cdot \text{град}}$	17,0—24,0	12,0—12,5	6,0—6,5	10,0—11,0	7,5—8,0
Теплопроводность λ в $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	36,0	66,0	6,1	44,6	13,3
Теплопроводность λ в $\frac{\text{кал}}{\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$	0,10	0,180	0,017	0,122	0,035
Молекулярный или атомный вес	55,85	55,85	179,5	—	12,01



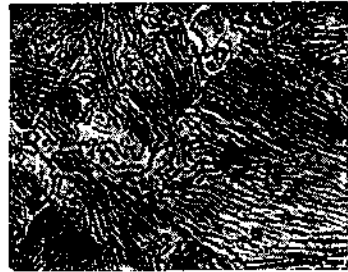
a



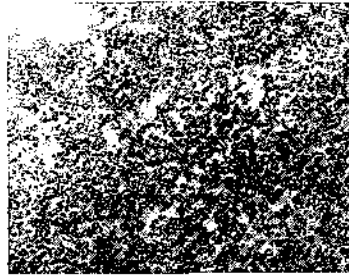
б



в

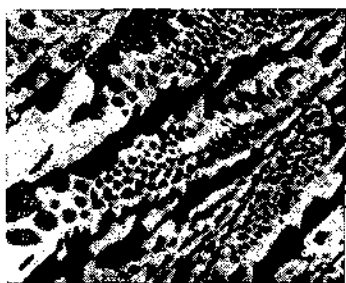


г



д

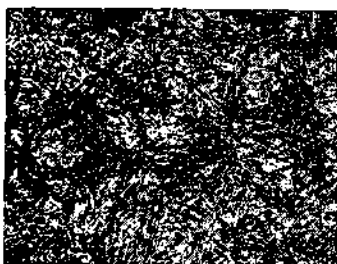
Фиг. 2. Структуры стали: *a* — феррит; *б* — аустенит; *в* — цементит (по границам зерен); *г* — перлит пластинчатый; *д* — перлит зернистый.



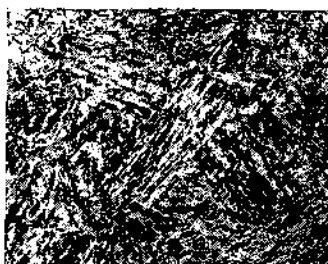
e



жс



з



и



к

Фиг. 2 (продолжение). Структуры стали: *e* — ледобурит; *жс* — сорбит; *з* — троостит; *и* — „игльчатый троостит“; *к* — мартенсит игльчатого строения.

Основные атомные и объемные характеристики фаз стали [173]

Фаза	Характеристика атомной решетки			Средний коэффициент расширения		Удельный объем в $\text{см}^3/\text{г}$ (привед. к $t = 20^\circ \text{C}$)	
	Тип решетки	Среднее число атомов в решетке	Параметр решетки в Å (привед. к $t = 20^\circ \text{C}$)	Линейный $\alpha \times 10^6$	Объемный $\beta \times 10^6$		
Феррит	Объемноцентрированный куб	2,000	2,861	14,5	43,5	0,12708	
Аустенит (γ -железо) 0,2% C 0,4% C 0,6% C 0,8% C 1,0% C 1,4% C	Гранецентрированный куб	4,000	3,5586	23,0	70,0	0,12227	
		4,037	3,5650			0,12270	
		4,089	3,5714			0,12313	
		4,156	3,5778			0,12356	
		4,224	3,5842			0,12399	
		4,291	3,5906			0,12442	
	4,427	3,6034	0,12528				
Мартенсит (α -железо) 0,2% C 0,4% C 0,6% C 0,8% C 1,0% C 1,4% C	Тетрагональный	2,000	<i>a</i>	<i>c</i>	11,57	35,07	0,12708
			2,861	2,861			0,12761
		2,018	2,858	2,885			0,12812
		2,036	2,855	2,908			0,12863
		2,056	2,852	2,932			0,12915
		2,075	2,849	2,955			0,12965
2,094	2,846	2,979	0,13061				
2,132	2,840	3,026					
Цементит (Fe_3C)	Орторомбический	12 (Fe) 4 (C)	<i>a</i> = 4,5144 <i>b</i> = 5,0767 <i>c</i> = 6,7297	12,5	37,5	0,13023	

Удельные объемы структурных составляющих стали

(по С. Ф. Юрьеву, фиг. 3)

$$\text{Феррит } (V_{\alpha})_t = 0,12708 + 5,528 \cdot 10^{-6} t.$$

$$\text{Аустенит } (V_{\gamma})_t, C_p \approx 0,12282 +$$

$$+ 8,56 \cdot 10^{-6} t + 2,15 \cdot 10^{-3} C_p.$$

$$\text{Мартенсит } (V_M)_t, C_p \approx 0,12708 +$$

$$+ 4,448 \cdot 10^{-6} t + 2,79 \cdot 10^{-3} C_p.$$

$$\text{Карбид } \text{Fe}_3\text{C } (V_k)_t = 0,13023 +$$

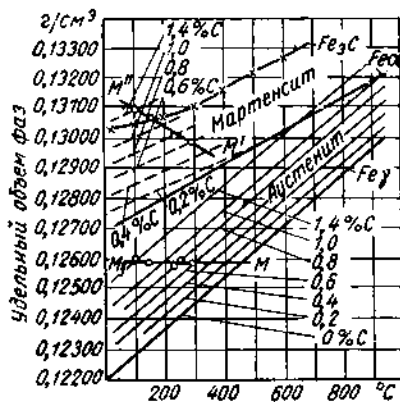
$$+ 4,884 \cdot 10^{-6} t.$$

Объемный эффект реакции мартенситного превращения

$$\left(\frac{\Delta v}{v}\right)_{M/A} = 2,5 + 1,08 C_p \%.$$

То же ниже точки M_n ($\Delta t = t_{\text{перехл.}} - t_{M_n}$).

$$\Delta V = 0,00426 + 0,64 \cdot 10^{-3} C_p - 4,11 \cdot 10^{-6} \Delta t \text{ см}^3/\text{г}.$$

 C_p — весовая концентрация углерода.

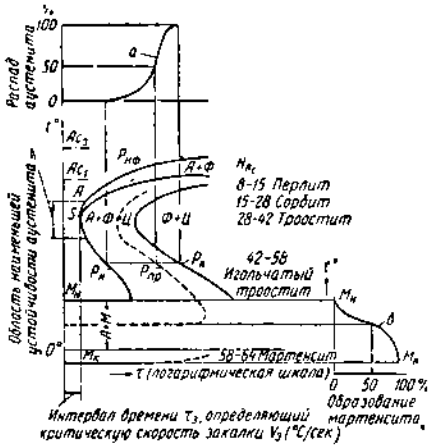
Фиг. 3. Диаграмма объемных состояний фаз (С. Ф. Юрьев [173]).

Твердость H_V структурных составляющих

Феррит	80—100
Цементит	320
Перлит пластинчатый	190—230
" зернистый	160—190
" сорбитообразный	230—260
Сорбит	270—320
Троостит	330—400
Троостомартенсит	400—600
Мартенсит	646—760
Аустенит	170—220

ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ РАСПАД АУСТЕНИТА

Типичная диаграмма изотермического распада аустенита приведена на фиг. 4. Характерные линии и точки диаграммы: линии P_{κ} и P_{κ} — начало и конец распада аустенита на феррит и цементит, которые при определенном сочетании и дисперсности образуют структуры перлит, сорбит и троостит.



Фиг. 4. Типичная кривая изотермического распада аустенита: а — кривая кинетики распада аустенита; б — кривая кинетики образования мартенсита.

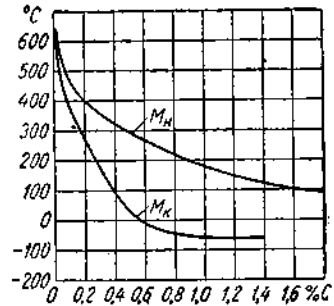
У доэвтектоидной стали линия P_{κ} в верхней части раздвигается; линия $P_{\text{нф}}$ — начало выделения феррита. Линия $P_{\text{пр}}$ характеризует промежуточное количество распавшегося аустенита (25, 50, 75% и т. д.). Кинетика распада аустенита характеризуется кривой а фиг. 4.

Точка S определяет температурную область наименьшей устойчивости аустенита в интервале времени τ_3 , соответствующую критической скорости закалки V_3 °C/сек.

Линии M_{κ} и M_{κ} — начало и конец превращения аустенита в мартенсит (мартенситные точки).

Количество образующегося мартенсита характеризуется кривой б, приведенной на фиг. 4. Температура начала и конца мартенситного превращения зависит от содержания углерода (фиг. 5) и легирующих элементов в стали (фиг. 6).

Температура начала мартенситного превращения (точка M_{κ}) для стали с содержанием 0,2–0,8% С с достаточным

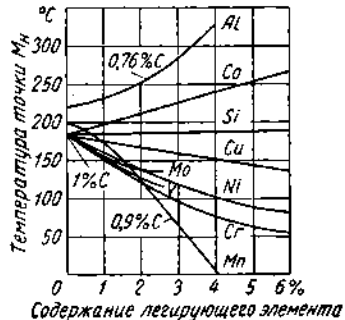


Фиг. 5. Влияние содержания углерода в стали на температуру начала и конца мартенситного превращения — точки M_{κ} и M_{κ} . Мартенситная диаграмма углеродистой стали [156].

для практики приближением может быть определена по формуле А. А. Попова [110]:

$$M_{\kappa} = 520 - 320(\%C) - 50(\%Mn) - 30(\%Cr) - 20(\%Ni + \%Mo) - 5(\%Si + \%Cu).$$

Температура конца мартенситного превращения некоторых марок сталей, легированных марганцем, хромом, ванадием и другими элементами, лежит



Фиг. 6. Влияние легирующих элементов на температуру начала мартенситного превращения — M_{κ} (Эюзин, Садовский и Баранчук).

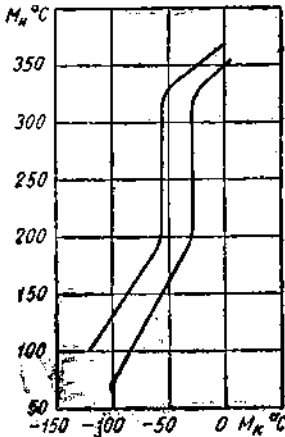
ниже 0° С. На фиг. 7 представлена взаимозависимость точек начала и конца мартенситного превращения, а на фиг. 8 — количество остаточного аустенита.

Влияние легирующих элементов на характер кривых изотермического распада аустенита представлено на фиг. 9 и 10. Комплексное влияние легирующих

элементов приводит к осложнению диаграмм изотермического распада аустенита.

Схемы диаграмм и кривые изотермического распада аустенита некоторых марок стали приведены на фиг. 11, 12 и 13.

В. П. Романовым (Кузнецкий металлургический комбинат имени И. В. Сталина) разработан новый метод изучения превращений аустенита



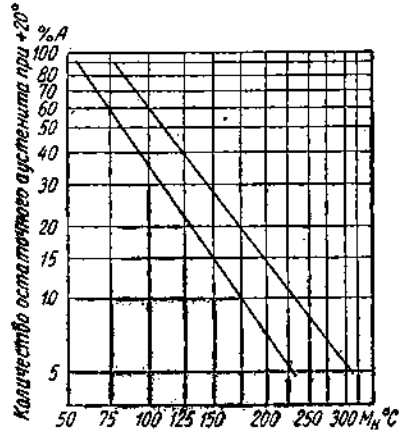
Фиг. 7. Взаимозависимость точек начала и конца мартенситного превращения стали марганцевистой, никелевой, хромистой с содержанием углерода 0,6 и 1,0%, молибденовой с содержанием углерода 1,0%, углеродистой стали и марки 18ХНВА (В. Г. Воробьев [153])^{*}.

стали при непрерывном охлаждении образцов и построения так называемых термо-кинетических кривых. Принцип изучения превращений аустенита на основе построения термо-кинетических кривых заключается в том, что структура и свойства стали изучаются на образцах, охлаждаемых с различной скоростью.

На кривых охлаждения в координатах — «температура — время» ($t-\tau$) отмечаются точки образования новых структур распада аустенита, представляющие собой области верхней и нижней зон образования новой структуры, которая, как отмечалось выше, условно названа «игольчатым трооститом» (при этом отмечено также получение зернистой формы этой структуры).

^{*} На фигурах указаны пределы значений (разброс экспериментальных точек).

Охлаждение образцов с различной скоростью и последующее исследование микроструктуры и физико-механических свойств позволяют точно определять границы превращений в зонах наименьшей устойчивости аустенита.



Фиг. 8. Количество остаточного аустенита при комнатной температуре в закаленной стали хромистой с содержанием углерода 0,6 и 1,0%, молибденовой с содержанием углерода 1,0% и углеродистой. Кривая подчиняется закономерности

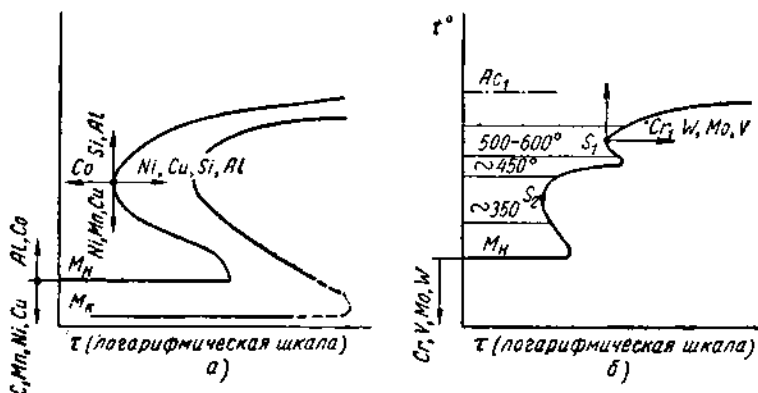
$$(1 - M_{20}) = e^{\frac{A}{T_M}}$$

где M_{20} — относительное количество мартенсита при 20°; T_M — абсолютная температура точки M_n ; A — относительное количество остаточного аустенита (В. Г. Воробьев [153])^{*}.

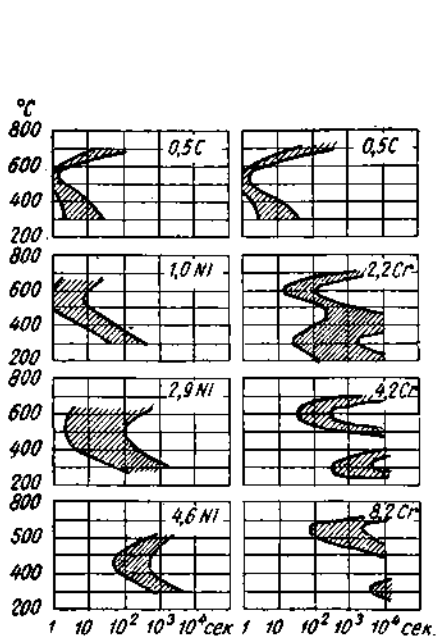
Влияние легирующих элементов на положение мартенситной точки M_n

[177, т. 3]

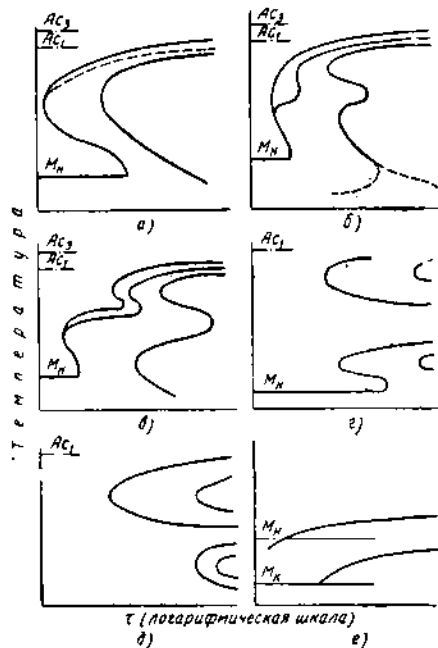
Легирующий элемент	Понижение (или повышение) мартенситной точки M_n в °C на 1% легирующего элемента при содержании углерода в %			
	0,4	0,8	1,0	1,2
Марганец	-50	—	-55	—
Хром	-8	-15	-22	-30
Никель	-12	—	-20	—
Молибден	-17	—	-40	—
Кремний	—	—	0	—
Кобальт	—	—	+12	—



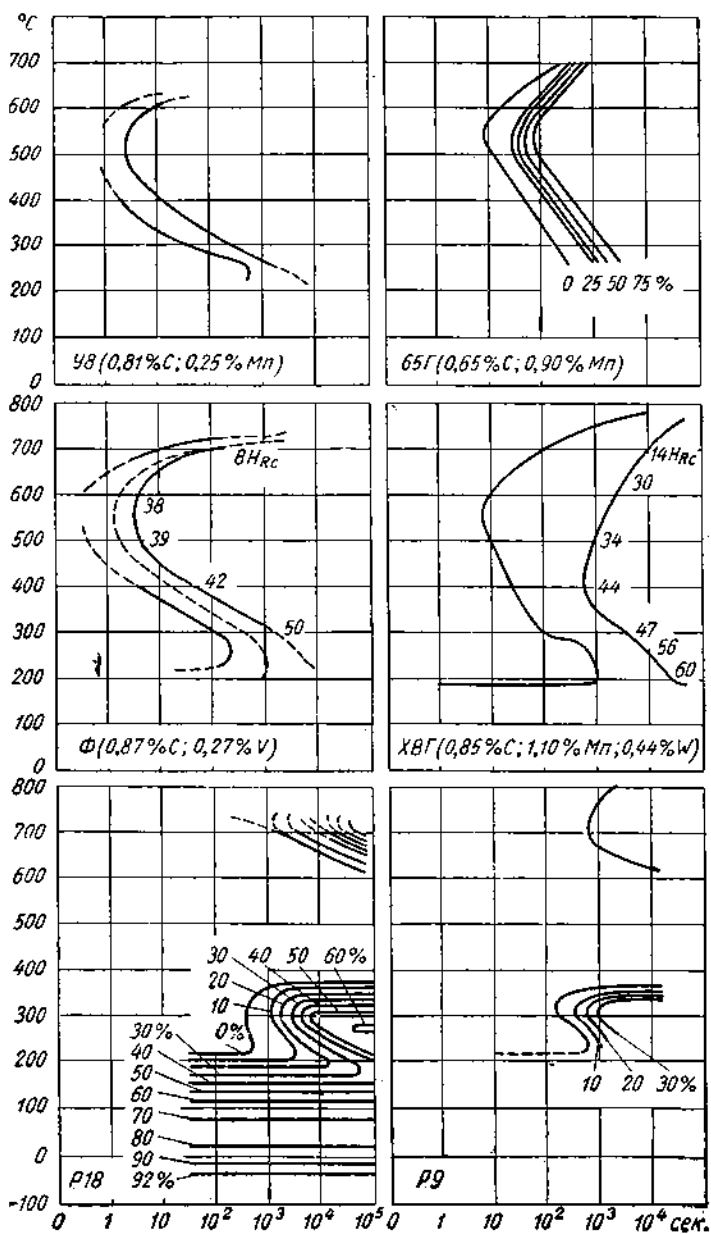
Фиг. 9. Влияние легирующих элементов на характер кривых изотермического распада аустенита: а — кривые для стали, содержащей элементы, не образующие карбидов; б — кривые для стали, содержащей карбидообразующие элементы.



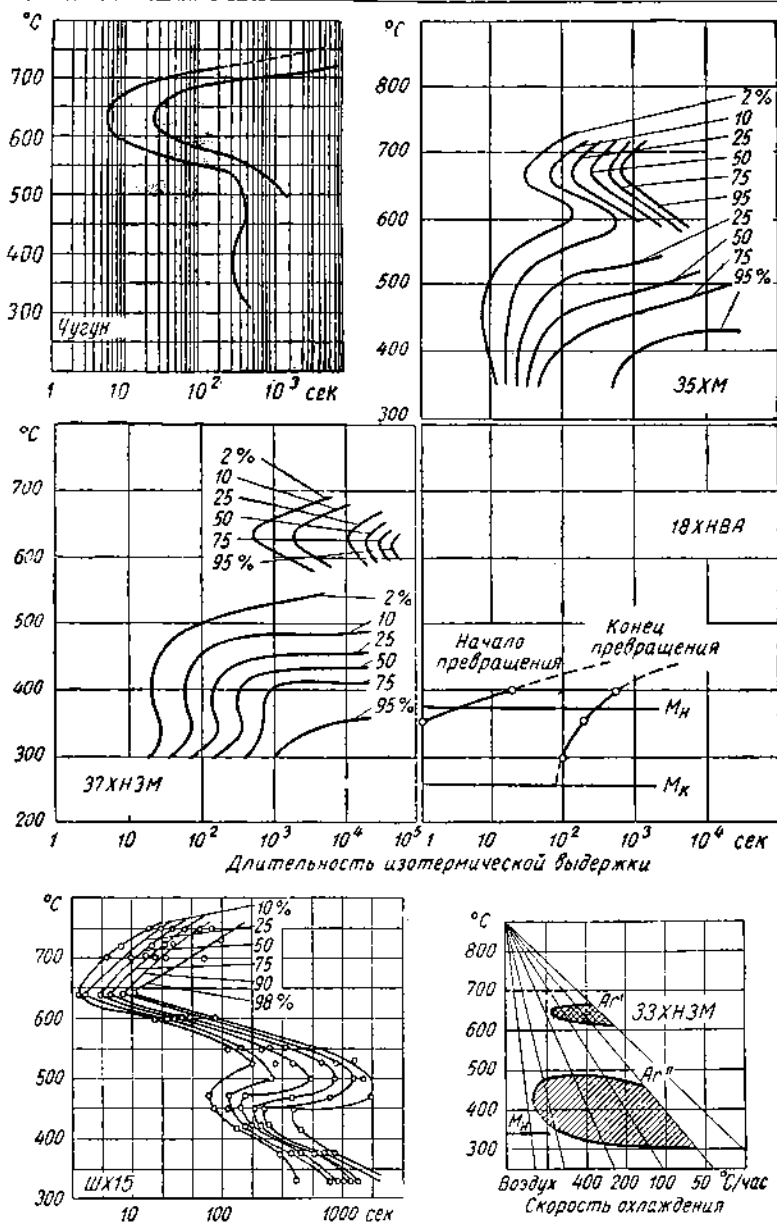
Фиг. 10. Влияние никеля и хрома на характер кривых изотермического распада аустенита стали с 0,5% С (Зюзин).



Фиг. 11. Схемы типичных диаграмм изотермического распада аустенита: а — для стали марок: 30—50; У8—У13; Х, Х05, Х09, ХГ, ХВГ, ХВ5, Ф, 50Г, 50Г2 и т. п.; б — 40ХН, 12ХН2, 35ХМ, 40Х, ШХ15, 40ХФ; в — 30Н, 12Х2Н4, 30ХМ, 35ХМ, 35ХНМ, 33ХН3М, 6ХНМ; г — железобальтовые сплавы, нержавеющей хромистая и хромомолибденовая сталь, быстрорежущая сталь марок Р18, Р9 и С — Cr — Mo — W — V — Co; д — быстрорежущая сталь типа С — Cr — Mo — W — V, железобальтовые сплавы (< 2,0% Co), сталь марки Х12М, е — сталь марок 18ХНВА, 18ХНМА.



Фиг. 12. Диаграммы изотермического распада аустенита стали различных марок.



Фиг. 13. Диаграммы изотермического распада аустенита доэвтектического чугуна состава: 2,9% С, 1,9% Si, 1,2% Mn (0,38% P, 0,2% S, 0,2% Ni) со степенью эвтектичности 0,82 (В. Ф. Сенкевич) [162] и стали марок: 35ХМ и 37ХНЗМ (Полоц, Нагорнов и др.), 18ХНВА (Гуляев и Дьяконова), ШХ15 (Сирота), типа 33ХНЗМ (Склоев).

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

Легирующие элементы стали и чугуна Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, W и др. помимо основного влияния на образование различных структур оказывают также комплексное влияние на физико-

механические и технологические свойства (многие из этих свойств являются функцией структуры).

Необходимо учитывать, что раздельное изучение влияния легирующих элементов в многокомпонентных марках стали дает лишь весьма приближенное представление об их свойствах.

Распределение легирующих элементов в стали

Характер распределения легирующих элементов в стали	Легирующие элементы	Химические соединения, или структурные формы
Находятся в свободном состоянии	Pb, Ag, Cu > 1,0%	Находятся в свободном состоянии в виде включений. В промышленных марках стали указанные легирующие элементы не встречаются. Cu при содержании < 1,0% применяется в малолегированной стали для строительных конструкций.
Дают с железом интерметаллические соединения	—	В промышленных марках стали легирующие элементы интерметаллических соединений не образуют Химические соединения с железом образуют при большом процентном содержании легирующих элементов, например, FeSi при $\geq 14\%$ Si, Fe ₃ P при $\geq 1,2\%$ P и т. д.
Реагируют с газовой фазой (кислородом), образуя оксиды и другие неметаллические соединения	Элементы, расположенные левее железа в периодической системе Раскислители: Mn; Si; Al; V; Ti и т. д.	Элементы, имеющие большее сродство к кислороду, чем к железу, образуют оксиды: MnO; SiO ₂ ; Al ₂ O ₃ ; V ₂ O ₅ ; TiO ₂ Элементы, имеющие большее сродство к сере, чем к железу, создают десульфацию $FeS + Mn \rightarrow MnS + Fe$
Растворяются в цементите или самостоятельно образуют карбиды	Элементы, расположенные левее железа в периодической системе; Mn; Cr; Mo; W; V; Nb; Ti; Zr и др.	Элементы, имеющие к углероду большее сродство, чем железо, помимо растворения в цементите образуют специальные карбиды: Mn ₃ C; Cr ₇ C ₃ или Cr ₇ C ₂₃ ; Mo ₂ C или Fe ₂ Mo ₂ C; W ₂ C; WC или Fe ₂ W ₂ C; VC; NbC; TiC; ZrC
Растворяются в феррите (железе)	Большинство легирующих элементов, кроме удаленных в периодической системе от железа и металлов (C, N, O, B и S) Элементы, расположенные левее железа, распределяются между ферритом и карбидной фазой Элементы, расположенные правее железа, — Ni, Co, Pt, Cu, а также Al и Si, только растворяются в феррите, не образуя карбидов	Указанные легирующие элементы находятся в отожженной стали в следующих структурных формах: алюминий — в феррите и оксидах; кремний — то же; фосфор — в феррите; титан — в феррите, карбидах и оксидах; ванадий — то же; хром — в феррите и карбидах; марганец — в феррите, карбидах, оксидах и сульфидах; кобальт — в феррите; никель — то же; медь — то же; молибден — в феррите и карбидах; вольфрам — то же Помимо этих элементов: углерод — в виде карбидов; азот — в виде нитридов; кислород — в виде оксидов; сера — в сульфидах

Влияние легирующих элементов на свойства стали
[37, 52, 177, т. 3, гл. VI*]

Элемент и его кристаллическая решетка	Растворимость в твердом растворе в %		Влияние на свойства феррита **	Влияние на свойства аустенита	Образование карбидов	Влияние на прочие свойства
	γ -Fe	α -Fe				
Алюминий Al; куб. границентрированная $a = 4,04\text{Å}$	1.1; увеличивается с повышением содержания углерода	30	Значительно повышается твердость H	Повышает точки A_1 и A_2 ; увеличивает содержание углерода в перлите — сдвигает точку S *** вправо, предупреждает рост зерна и уменьшает прокаливаемость при малом содержании, и наоборот: замедляет превращение аустенита; уменьшает критическую скорость закалки $v_{з.кр}$; резко повышает мартенситную точку M_s ; уменьшает количество остаточного аустенита — $A_{ост}$	—	Активно раскисляет; образует нитриды, является легирующим элементом азотируемой стали. Применяется в магнитных сплавах с высокой коэрцитивной силой
Марганец Mn; α -Mn и β -Mn; куб., $a = 6,29\text{Å}$, γ -Mn: тетрагональная границентрированная $a = 3,77\text{Å}$, $b = 3,53\text{Å}$	Неограниченная	12	Резко повышает $\sigma_{вр}$, σ_T , H , ρ , H_c ; снижает ψ , α_H , α , B , μ	Понижает все критические точки, сдвигает точку S влево; расширяет τ -область; увеличивает склонность к росту зерна; увеличивает прокаливаемость; замедляет превращение аустенита; уменьшает $v_{з.кр}$; резко понижает точку M_s (при 4% до 0°); резко увеличивает $A_{ост}$	Карбидное соединение Mn_3C	Противодействует красноломкости при повышении в стали содержания серы; увеличивает износостойчивость, особенно при высоком содержании углерода (например, сталь марки Г13). Снижает α_H , повышает $\sigma_{вр}$ стали в равновесном и высокоотпущенном состоянии. Увеличивает склонность к отпускной хрупкости

* См. также И. С. Гзев, Металлографический атлас, Металлургиздат, 1941.

** $\sigma_{вр}$ — предел прочности при растяжении; σ_T — предел текучести; ψ — сжатие поперечного сечения; H — твердость; β — коэффициент линейного расширения; α_H — ударная вязкость; ρ — удельное электросопротивление; H_c — коэрцитивная сила; B — магнитная индукция; μ — магнитная проницаемость.

*** Точка S диаграммы „железо — углерод“.

Элемент и его кристаллическая решетка	Растворимость в твердом растворе в %		Влияние на свойства феррита	Влияние на свойства аустенита	Образование нитридов	Влияние на прочие свойства
	γ -Fe	α -Fe				
Кремний Si решетка алмаза	2% замкнутая область	14,5 при 20°, 18,5 при 1030°	При содержании до 4,5% повышает μ ; снижает H_c ; остальное аналогично Mn	Повышает точки A_1 и A_3 ; сдвигает точку S влево; сужает γ -область; „выжимает“ ее при 10% (с повышением содержания углерода γ -область расширяется); увеличивает склонность к росту зерна и резко увеличивает прокаливаемость; замедляет превращение аустенита; уменьшает $v_{з, кр}$; не оказывает влияния на точку M_N ; несколько увеличивает $A_{ост}$	—	Активно раскисляет; является легирующим элементом стали со специальными электрическими и магнитными свойствами; у чугуна повышает износоустойчивость и является основным графитизирующим элементом; повышает $\sigma_{вр}$ и снижает α_H и δ стали в равновесном и высокоотпущенном состоянии
Никель Ni куб. гранецентрированная $a = 3,51\text{Å}$	Неограниченная	25	Повышает σ_T , H , ψ , ρ , H_c , снижает \bar{V} , ρ ; при содержании до 2% повышает α_K	Понижает точки A_1 и A_3 ; сдвигает точку S влево; неограниченно расширяет γ -область; слабо влияет на рост зерна; умеренно увеличивает прокаливаемость; замедляет превращение аустенита; уменьшает $v_{з, кр}$; понижает точку M_N ; увеличивает $A_{ост}$	—	Повышает прочность стали при одновременном повышении вязкости; переводит высокопрочные стали в аустенитный класс. В сочетании с хромом является наиболее распространенным легирующим элементом конструкционной стали
Кобальт Co; гексагональная; $a = 2,51\text{Å}$; $c/a = 1,63$	Неограниченная	80	Резко повышает твердость H	Повышает точки A_1 и A_3 ; сдвигает точку S влево; сужает в небольшой степени γ -область; слабо влияет на рост зерна; уменьшает прокаливаемость; ускоряет превращение аустенита; увеличивает $v_{з, кр}$; повышает точку M_N ; уменьшает $A_{ост}$	—	Иногда применяется в быстрорежущей стали для повышения ее красноточности. Применяется в магнитных сплавах с высокой коэрцитивной силой

Элемент и его кристаллическая решетка	Растворимость в твердом растворе в %		Влияние на свойства феррита	Влияние на свойства аустен	Образование карбидов	Влияние на прочие свойства
	γ -Fe	α -Fe				
Хром Cr; куб. объемноцентрированная; $a = 2,88\text{\AA}$	12,8 (20 при 0,5% C)	Неограниченная	Повышает ρ , H_c , $\sigma_{вр}$, σ_T , H ; снижает α , B , μ	Понижает точку A_1 и повышает точку A_2 ; сдвигает точку S влево; сужает γ -область, замыкает ее при $\sim 13\%$ и „выклинивает“ при $\sim 19\%$; препятствует росту зерна; резко увеличивает прокаливаемость; зоны наименьшей устойчивости аустенита при $700-500^\circ$; $400-250^\circ$; увеличивает $v_{з.кр}$; понижает точку M_n ; увеличивает $A_{ост}$	Карбидные соединения Cr ₂₃ C ₆ — куб. гранецентрированная; $a = 10,63\text{\AA}$; Cr ₇ C ₃ — гексагональная; $a = 4,53\text{\AA}$; $c = 13,98\text{\AA}$	Растворяется в цементите, замещая атом железа; повышает устойчивость против коррозии (при содержании $> 14\%$) и окисления; увеличивает износоустойчивость; повышает сопротивляемость снижению прочности при высоких температурах
Молибден Mo; куб. объемноцентрированная; $a = 3,14\text{\AA}$	3,5	5 при 20°; 38 при 1450°	Повышает H_c , $\sigma_{вр}$, σ_T ; снижает α , B , μ ; не оказывает влияния на ψ	Повышает точку A_1 , понижает точку A_2 , сдвигает точку S влево; сужает γ -область, замыкает ее при 2% и „выклинивает“ при 7%; препятствует росту зерна; увеличивает прокаливаемость; зона наименьшей устойчивости аустенита $\sim 600^\circ$ и 350° ; уменьшает $v_{з.кр}$; понижает точку M_n ; незначительно увеличивает $A_{ост}$	Фаза внедрения — Mo ₂ C; карбидное соединение Fe ₃ Mo ₂ C; Mo ₂ C — гексагональная; $a = 2,993\text{\AA}$, $c/a = 1,58$; Fe ₃ Mo ₂ C — куб.; $a = 11,05$	Повышает температуру роста зерна аустенита; уменьшает склонность стали к отпускной хрупкости; повышает красностойкость, является легирующим элементом быстрорежущей и конструкционной стали; в быстрорежущей стали повышает чувствительность к ее обезуглероживанию
Вольфрам W; куб. объемноцентрированная; $a = 3,15\text{\AA}$	1,5	6 при 20°; 32 при 1540°	Повышает $\sigma_{вр}$, σ_T , H ; снижает ψ , α , H_c	Повышает точки A_1 и A_2 ; сдвигает точку S влево; сужает γ -область и выклинивает ее при 6,5%; препятствует росту зерна аустенита; резко увеличивает прокаливаемость; зоны наименьшей устойчивости аустенита $500-400^\circ$ и $\sim 100^\circ$; резко уменьшает $v_{з.кр}$; понижает точку M_n ; незначительно увеличивает $A_{ост}$	Фазы внедрения — W ₄ C, WC и карбидное соединение Fe ₃ W ₂ C; W ₂ C — гексагональная; $a = 2,986\text{\AA}$, $c/a = 1,578$; WC — куб. объемноцентрированная; $a = 2,901$; Fe ₃ W ₂ C — куб.; $a = 11,04$	Резко повышает красностойкость; является основным легирующим элементом быстрорежущей стали; сплавы с 6–32% W (безуглеродистые) способны к дисперсионному твердению

Элемент и его кристаллическая решетка	Растворимость в твердом растворе в %		Влияние на свойства феррита	Влияние на свойства аустенита	Образование карбидов	Влияние на прочие свойства
	γ -Fe	α -Fe				
Ванадий V; куб. объемно-центрированная; $a = 3,03\text{\AA}$	1,25	Ограниченная (~ 28)	Повышает твердость H	Повышает точки A_1 и A_3 ; сдвигает точку S влево; сужает γ -область и „выклинивает“ ее; препятствует росту зерна аустенита; замедляет превращение аустенита; уменьшает v_2 $кр$; дает две зоны наименьшей устойчивости аустенита: $\sim 700^\circ$ и $\sim 500^\circ$; увеличивает прокаливаемость; понижает точку M_n	Фаза внедрения VC; куб. гранецентрированная; $a = 4,13\text{\AA}$	Повышает устойчивость против отпуска, является основным легирующим элементом быстрорежущей и некоторых марок конструкционной стали
Титан Ti; гексагональная; $a = 2,95\text{\AA}$; $c/a = 1,61$	0,75	Ограниченная (~ 22)	—	Резко повышает точки A_1 и A_3 ; резко сдвигает точку S влево; сужает γ -область и при 1% „выклинивает“ ее; препятствует росту зерна; повышает прокаливаемость в растворенном виде (карбиды снижают прокаливаемость); уменьшает v_2 $кр$	Фаза внедрения TiC — куб. гранецентрированная; $a = 4,32\text{\AA}$	Связывает углерод в карбиды; снижает твердость мартенсита и уменьшает прокаливаемость в среднехромистой стали; предотвращает получение аустенита после закалки в высокохромистой стали. Сталь с 2% Ti и 0,5% C не закаливается
Медь Cu; куб. гранецентрированная; $a = 3,60\text{\AA}$	5,9 при 820° ; до 21 при 1400°	3,5 при 820° ; 0,4 при 20°	—	Понижает точку A_3 , повышает прочность, повышает прокаливаемость	—	Увеличивает устойчивость против воздушной коррозии, повышает коэрцитивную силу в магнитных сплавах; в чугунах снижает температуру начала графитизации

ЗЕРНИСТОСТЬ СТАЛИ

Действительное зерно — размер зерна, полученный в стали в результате ее термической обработки.

„Наследственное“ зерно — размер зерна аустенита, полученный при определенной температуре нагрева, превышающей критическую для роста зерна.

Методы определения величины аустенитного зерна

А. Для доэвтектоидной стали (по ГОСТ 5639-51) размер зерна определяется по карбидной сетке, образовавшейся по границам зерен аустенита при цементации.

Цементация образцов (круглых $\varnothing 15-30$ мм или плоских $15-30$ мм) производится при $930 \pm 10^\circ$ в активном карбюризаторе в течение 8 час. с полученной глубины цементованного слоя $\geq 1,0$ мм, с последующим медленным охлаждением: углеродистой стали $< 100^\circ/\text{час}$, легированной $< 50^\circ/\text{час}$.

Травление шлифов: а) кипящим раствором пикрата натрия, б) 40% -ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте и в) 50% -ным раствором пикриновой кислоты в этиловом спирте.

Б. Для заэвтектоидной стали размер зерна определяется по карбидной сетке, получаемой после нагрева образцов до $930 \pm 10^\circ$, выдержки в течение 3 час. и охлаждения $80-100^\circ/\text{час}$ до 600° . Травление шлифов — аналогично методу цементации.

В. Для углеродистой и легированной конструкционной и инструментальной стали размер зерна определяется по сетке окислов, выявляемых методом горячего травления или окисления микрошлифов.

1. Метод горячего травления. Полированный шлиф нагревается в печи с защитной атмосферой, или в печи с применением защитных покрытий от окисления шлифа (засыпка стружкой из серого чугуна, бурой, древесноугольным порошком и т. п.), или в ванне из углекислой соли (Na_2CO_3), буры и др. при температуре $930 \pm 10^\circ$ в течение 3 час. с последующим горячим травлением в расплавленных солях следующего состава: $\frac{1}{8} \text{BaCl}_2 + \frac{1}{3} \text{NaCl} + \frac{1}{8} \text{CaCl}_2$ при температуре 930° в течение 2—5 мин. Охлаждение образцов в керосине.

В случае нечеткого выявления сетки шлиф дополнительно травится в 40% -ном растворе пикриновой кислоты в этиловом спирте.

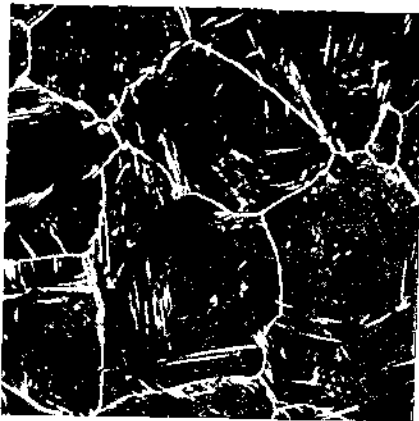
2. Метод окисления. Шлифы нагреваются в окислительной среде печи при $930 \pm 10^\circ$ в течение 3 час. После охлаждения образцы шлифуются, полируются и подвергаются травлению 150% -ным раствором соляной кислоты в этиловом спирте в течение 2—10 мин.

Размер зерна определяется под микроскопом при увеличении $\times 100$ путем сравнения видимых на шлифе зерен с эталонным изображением зерен (фиг. 14 см. вклейку).

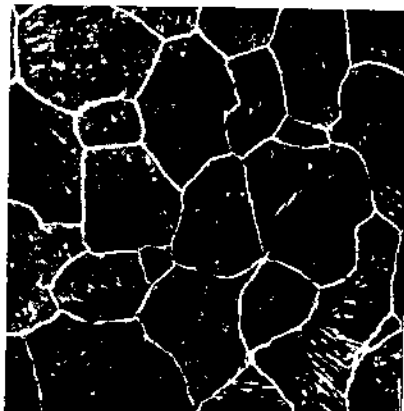
Геометрические параметры зерен различных номеров (по ГОСТ 5639-51)

№ зерна *	Площадь зерна в мк^2			Число зерен на площади 1 мк^2	Число зерен в 1 мм^2	Число зерен, видимых под микроскопом при увеличении $\times 100$, на площади 10 см^2		
	наименьшая	средняя	наибольшая			наименьшее	среднее	наибольшее
—1	160 000	256 000	320 000	4	5,6	0,28	0,38	0,57
0	80 000	128 000	160 000	8	16	0,56	0,75	1,2
1	40 000	64 000	80 000	16	45	1	1,5	2,4
2	20 000	32 000	40 000	32	128	2	3	5
3	10 000	16 000	20 000	64	350	4	6	10
4	5 000	8 000	10 000	128	1 020	8	12	20
5	2 500	4 000	5 000	256	2 900	16	24	40
6	1 200	2 000	2 500	512	8 200	32	48	80
7	600	1 000	1 200	1024	23 000	64	96	160
8	300	500	600	2048	65 000	128	192	320
9	150	250	300	4096	185 000	256	384	640
10	75	125	150	8200	520 000	512	758	1280

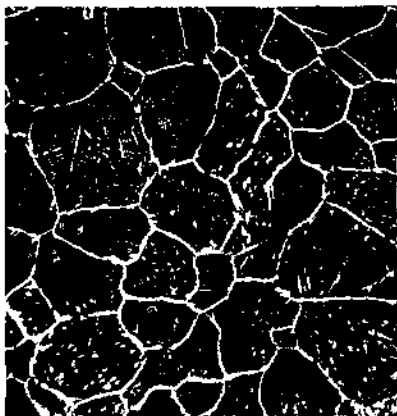
* При наличии в микроструктуре зерен двух номеров обозначение дается двумя номерами, из которых первый указывает преобладающую величину зерна.



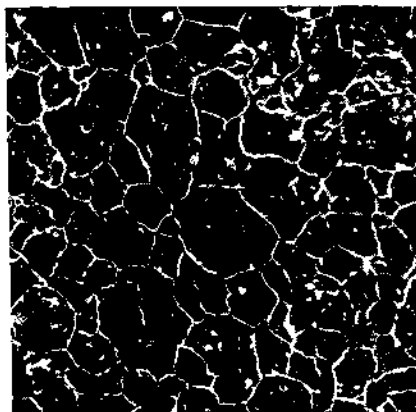
1



2

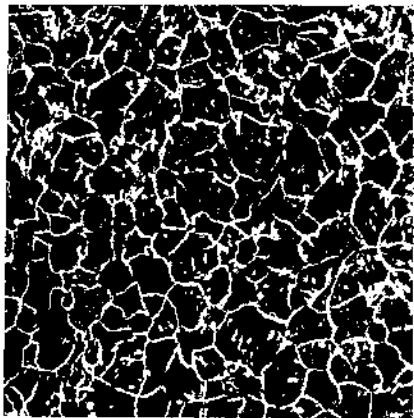


3

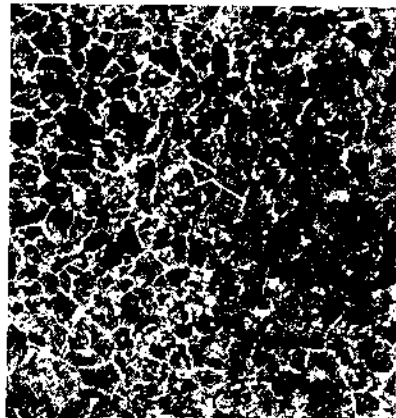


4

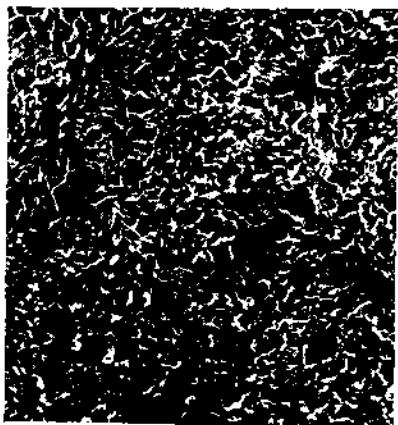
Фиг. 14. Шкала педичины аустенитного зерна [цифры указывают номер (балл) зерна]. $\times 100$.



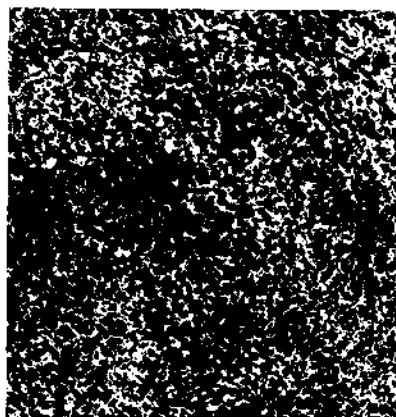
5



6



7



8

Фиг. 14. (продолжение). Шкала величины аустенитного зерна [цифры указывают номер (балл) зерна]. $\times 100$.

Номера зерен при различных увеличениях и соответствующие им номера зерен при стандартном увеличении $\times 100$ (по ГОСТ 5639-51)

Увеличение	№ зерна											
	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\times 100$												
$\times 50$	1	2	3	4	5	6	7	8				
$\times 200$					1	2	3	4	5	6	7	8
$\times 300$						1	2	3	4	5	6	7
$\times 400$							1	2	3	4	5	6

Примеры. При увеличении $\times 50$ № 4 соответствует стандартному № 2; при увеличении $\times 400$ № 2 соответствует стандартному № 6.

Помимо указанных стандартных методов, могут применяться и другие методы определения величины зерна, например:

а) Отжиг с последующим медленным охлаждением для заэвтектоидной стали — сетка цементита располагается по границам аустенитных зерен; нормализация для доэвтектоидной стали — сетка феррита располагается вокруг бывших зерен аустенита — или неполная закалка — тонкая сетка феррита вокруг мартенситных зерен; закалка со скоростью немного ниже критической для стали с любым содержанием углерода — тонкая оторочка троостита вокруг мартенситных зерен.

б) Изотермический отжиг для высокоуглеродистой стали. Нагрев до заданной температуры роста зерен аустенита с быстрым охлаждением до 700° и выдержкой при этой температуре. Продукты распада выделяются по границам зерен аустенита.

в) Специальное травление [реактив: 1 г пикриновой кислоты + 5 мг соляной кислоты (конц.) на 100 мг этилового спирта] закаленной на мартенсит стали.

ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ

Прокаливаемость — способность стали воспринимать закалку на глубине от поверхности (прокаливаемость — глубина ироникновения закалки).

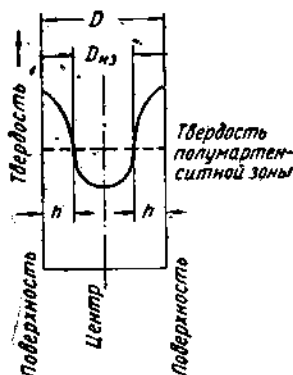
Вопрос о прокаливаемости стали является важнейшей проблемой современного металловедения и термической

обработки, особенно в связи с применением малолегированной стали.

Глубина прокаливаемости (закаленной зоны) — толщина от поверхности до слоя с полумартенситной структурой ($50\%_n$ мартенсита и $50\%_{10}$ троостита, фиг. 15 и 16).

$$h_3 = \frac{D_{нз}}{D},$$

где $D_{нз}$ — диаметр незакаленной сердцевины; D — диаметр образца (детали).



Фиг. 15. Распределение твердости по сечению закаленного образца (цилиндрической детали).

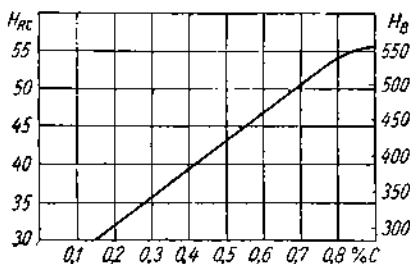
Оценка прокаливаемости легированных и высоколегированных марок стали при наличии нижней области наименьшей устойчивости аустенита производится по структуре игольчатого троостита [147].

Прокаливаемость зависит от легирующих элементов в стали, размера зерна, диаметра (размеров) детали и температуры закалки.

Физическим фактором, определяющим глубину прокаливаемости, является скорость распада аустенита в области его наименьшей устойчивости (500—700°) (см. фиг. 4).

Критический диаметр $D_{кр}$ — диаметр, при котором деталь прокаливается насквозь.

Влияние легирующих элементов на прокаливаемость стали изучено советскими исследователями проф. В. С. Мескиным и инж. Л. П. Копп. Приняв за основу величину критического диаметра



Фиг. 16. Твердость полуаустенитной зоны в зависимости от содержания углерода в стали.

и определяющую ее критическую твердость в центре образца, они установили коэффициенты повышения прокаливаемости (коэффициенты-множители) в зависимости от легирующих элементов стали.

Коэффициент повышения прокаливаемости стали $K_{кр}$ — отношение критического диаметра для стали, содержащей легирующий элемент, к критическому диаметру так называемой основы — стали, не содержащей данного легирующего элемента:

для хрома (до 1,6%)

$$K_{кр Cr} = 1 + 2,25 Cr,$$

для кремния (до 2,5%)

$$K_{кр Si} = 1 + 0,65 Si \quad (\text{при } \leq 1\% Si);$$

$$K_{кр Si} = 1,65 Si \quad (\text{при } > 1\% Si);$$

для марганца (до 1,5%)

$$K_{кр Mn} = 1 + 5,0 Mn \quad (\text{при } t_3 = 830^\circ);$$

$$K_{кр Mn} = 1 + 5,5 Mn \quad (\text{при } t_3 = 870^\circ),$$

где Cr, Si и Mn — содержание этих элементов в стали в %; t_3 — температура закалки.

Методы определения прокаливаемости: а) экспериментальное определение прокаливаемости (классический способ) путем измерения твердости в сечении закаленного образца (фиг. 17 и 18). Снижение твердости в поверхностных слоях стали марок У13 и В1 с повышением температуры объясняется влиянием остаточного аустенита;

б) по малому количеству образцов; закалка образцов 20×20 мм с температуры, например, 760, 800 и 860° при выдержке 20 мин. с охлаждением в воде (для стали марок У7-У13) при 20—25°;

в) расчет прокаливаемости по номограммам (см. ЭСМ, т. 3, разд. II, гл. IV стр. 288);

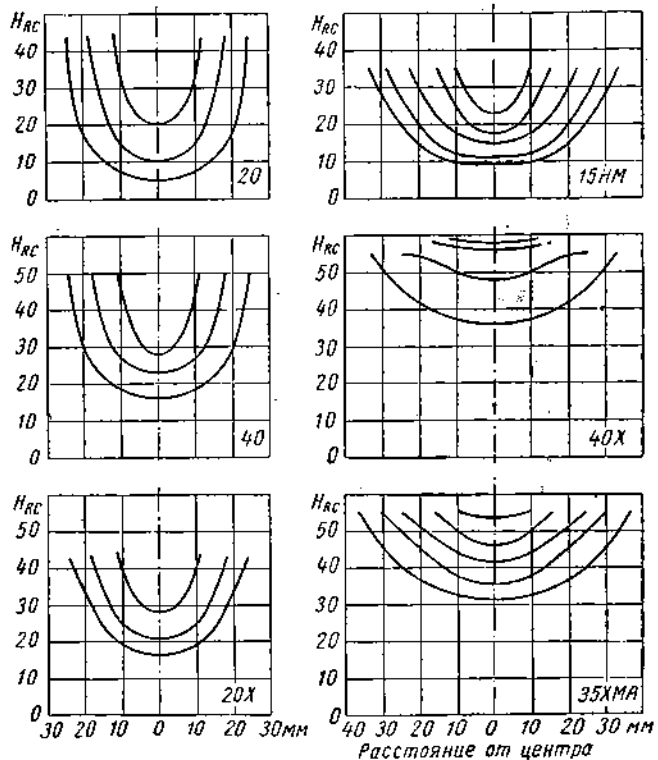
г) экспериментальное определение прокаливаемости высоколегированной стали путем нагрева образцов диаметром 25 мм, ввинченных в цилиндрический блок диаметром 150 мм, охлаждаемых на воздухе или водой с торца (метод Сомина [110]); при охлаждении на воздухе минимальная скорость охлаждения равна 10 град/мин (при 400°); при охлаждении водой с торца минимальная скорость охлаждения равна 10 град/мин, максимальная соответствует торцевой закалке;

Шкалы прокаливаемости стали марок У10А, У12А и Ф

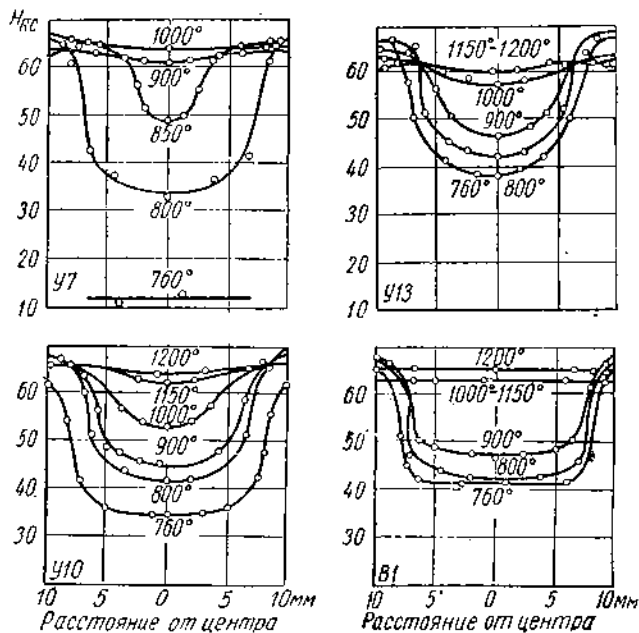
(по данным завода „Фрезер“)

Балл	Прокаливаемость по излому в мм при закалке с температуры*			Назначение стали
	760°	800°	850°	
0	До 0,5	0,5—1,0	1,0—2,0	Непригодна Развертки $d \leq 20$ мм
1	До 1,5	2,0—2,5	2,5—3,0	
II	2,0—3,0	3,0—4,0	4,0—5,0	Развертки $d > 20$ мм; метчики $d \leq 25$ мм
III	4,0—5,0	5,0—6,0	6,0—8,0	Метчики всех размеров

* Отнесение стали к тому или иному баллу производится испытанием при 760° и 800°.



Фиг. 17. Прокаливаемость по сечению некоторых марок конструкционной стали при закалке в воду (по данным Горьковского автозавода им. Молотова; Н. С. Зверев).



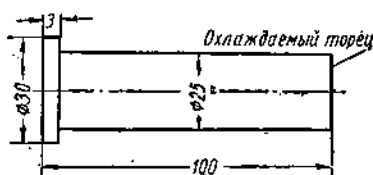
Фиг. 18. Прокаливаемость по сечению наиболее распространенных марок инструментальной стали (закалка в среды, соответствующие каждой марке; И. С. Таев „Металлографический атлас“).

д) экспериментальное определение прокаливаемости высоколегированной стали методом частичного или полного воспроизведения на образцах (например, ударных с надрезом) температурного режима охлаждения этой или иной части детали и последующего изучения вида излома образцов (метод Сахина [110]);

е) для определения прокаливаемости конструкционной углеродистой и средне-легированной стали в практике машиностроительных заводов широко распространён метод торцевой заковки, впервые применённый Д. К. Черновым в 1885 г., и затем в 1924 г. акад. Н. Т. Гудцовым и инж. Сильяициком при проведении ими экспериментов на Ленинградском Кировском заводе. Этот метод в настоящее время стандартизован (ГОСТ 5657-51).

Определение прокаливаемости методом торцевой заковки производится на

образцах диаметром 25 мм, длиной 100 мм; заковка водной с торца с последу-



Диаметр образца в мм	Диаметр головки в мм
25	30
20	25
12	17

Фиг. 19. Образец для испытания стали на прокаливаемость торцевым методом.

ющим определением твердости по длине образца через равные интервалы, начиная от закаленного торца (фиг. 19 и 20)

Шкалы прокаливаемости стали марки В1 в применении к различным инструментам

(по данным заводов „Фрезер“ и „Калибр“)

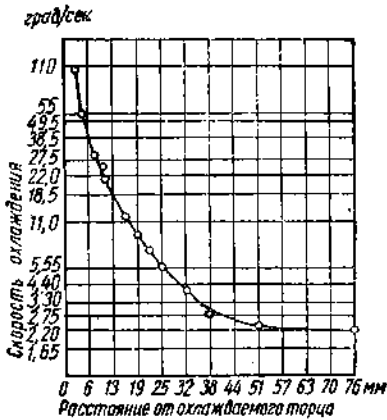
Балл	Прокаливаемость в мм по излому при закалке с температуры				Назначение по видам и размерам инструмента
	(760°)*	800°	850°	900°	
0	(0,0—0,5)	До 0,5 (0,5—1,0)	0,5—1,0 (1,0)	1,0—2,0 (1,0—3,0)	Непригодна
1	(0,5—1,0)	1,0—2,0	2,0—2,5 (2,0)	3,0—4,0	Развертки средних размеров (кроме штифтовых); метчики $d \leq 14$ мм; сверла $d < 20$ мм
2	(1,0—2,0)	2,0—3,5 (2,0—3,0)	4,0—5,0 (3,0—4,0)	5,0—6,0 (4,0—5,0)	Развертки всех размеров (кроме штифтовых) Сверла $d \leq 30$ мм; метчики $d \leq 25$ мм
3	(2,0—4,0)	4,0—6,0 (4,0—5,0)	6,0—8,0 (5,0—8,0)	Сквозная без перегрева	Сверла $d \leq 38$ мм; метчики всех размеров (и плашки); развертки штифтовые; плашки круглые
4	(3,0—5,0)	7,0—9,0	Сквозная без перегрева	Сквозная с небольшим перегревом	Сверла всех размеров; плашки круглые всех размеров; развертки штифтовые
5	(8,0—10,0)	Сквозная без перегрева	Сквозная с небольшим перегревом	Сквозная с перегревом и трещинами	Сверла крупных размеров; плашки круглые крупных размеров

* Цифры, заключенные в скобки, относятся к данным завода „Калибр“.

**Скорость охлаждения (средняя)
в сечениях круглых стальных
прутков, нагретых до температур
закалки [см. 177, т. 3]**

Диаметр образца в мм	Охлаждающая среда	Скорость охлаждения от 700° в град./сек		
		на по- верх- ности	на рас- стоянии полюсной радиуса от по- верх- ности	в центре
25	Вода	472	75	55
	Масло	65	30	25
50	Вода	305	25	18
	Масло	82	13	10
75	Вода	222	16	8
	Масло	17	6,5	5
100	Вода	8	7,5	4,5
	Масло	5,5	3,5	3

На основе исследований, проведенных в НАМИ (И. С. Козловский и Р. А. Брагилевская), по влиянию различных факторов на прокаливаемость



Фиг. 20. Скорость охлаждения при торцевой закалке в зависимости от расстояния от охлаждаемого торца образца.

стали при закалке торцевым методом образца диаметром 25 мм и длиной 100 мм установлено:

1. Оптимальной является высота свободной водяной струи, равная 65 мм; без особого влияния на результат возможно превышение этой величины вплоть до 130 мм.

**Скорость охлаждения (средняя),
обеспечивающая получение
твердости 50 H_{RC}**

Марка стали	Скорость охлаждения от 700° в град/сек	Расстояние в мм от ола- ждаемого торца образца <i>d</i> = 25 мм
35	87	3,5
45	50	5,0
30X	20	10,5
40X	16	12,0
40X	10	16,0
20X3	2,5	50,0
12XНЗ	10	16,0

2. Изменение диаметра струи в пределах от 6 до 15 мм не сказывается на результатах испытания.

3. Изменение рабочей высоты струи (расстояние от сопла до торца образца при диаметре струи 12,5 мм и свободной ее высоте, равной 65 мм) в пределах от 6 до 20 мм практически не сказывается на результатах испытания.

4. Температура воды в зависимости от химического состава стали может изменяться в пределах:

а) для нелегированных малоуглеродистых и среднеуглеродистых марок стали — от +5 до +30°;

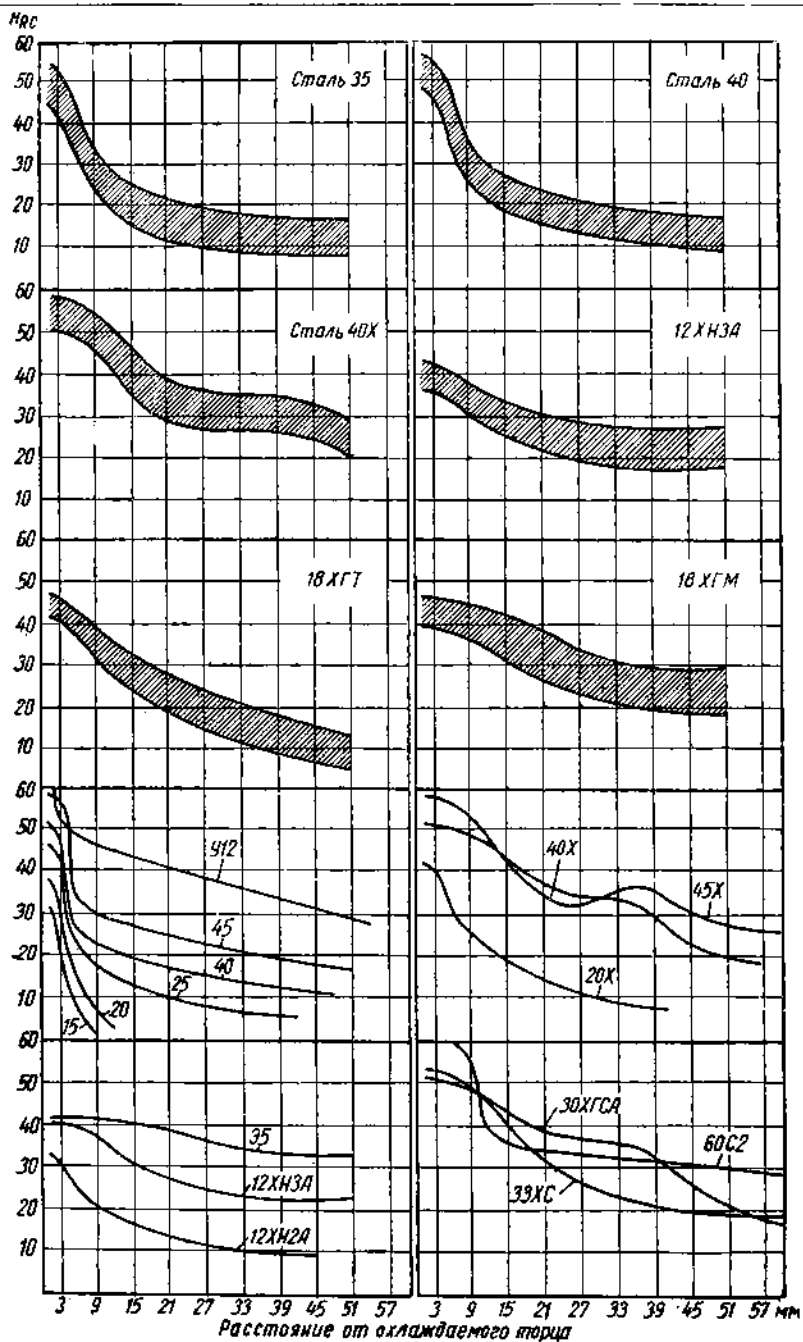
б) для стали типа 45 — от +5 до +40°;

в) для стали легированной малоуглеродистой типа 12XНЗА — от +5 до +64°.

Практически, при массовом испытании стали на прокаливаемость нагрев охлаждающей воды не следует допускать выше +30°.

5. Общая продолжительность нагрева образца в печи, имеющей оптимальную температуру закалки, обеспечивающая прогресс образца диаметром 25 мм, устанавливается равной 45 мин. (продолжительность переноса образца из печи в установку не более 5 сек.).

6. С целью устранения влияния обезуглероживания при проведении массовых испытаний достаточной является глубина сошлифовываемого слоя, равная 0,2 мм (сошлифовка при интенсивном охлаждении с двух сторон образца, измерения твердости через 1,5 мм по H_{RC}, нагрузка 150 кг; желательно производить нагрев образца в печи с контролируемой атмосферой; обязательной является защита от окисления и обезуглероживания торца образца).



Фиг. 21. Полосы прокаливаемости некоторых марок стали (И. С. Козловский и Р. А. Брагилевская).

7. Предварительная термическая обработка практически не оказывает влияния на результаты испытания.

Показатели прокаливаемости некоторых марок стали [см. 177, т. 3]

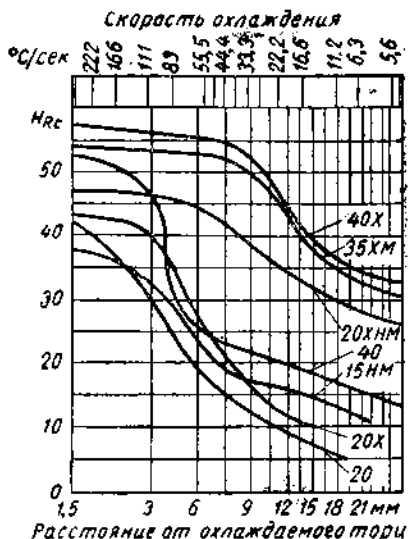
Марка стали	Температура закалки в °С	Обозначение прокаливаемости	Величина зерна
A12	870	$I_{50} = 2$	1-3
55	850	$I_{45} = 3$	5-7
45	840	$I_{50} = 3+4$	6
У12А	770	$I_{50} = 3$	—
30Х	860	$I_{45} = 5+7$	8
40Х *	850	$I_{50} = 6+9$	3-4
40СХ	950	$I_{50} = 12$	8
30ХН3	840	$I_{45} = 10$	—
20Х3	830	$I_{50} = 34$	4-5
18ХГМ	960	$I_{50} = 7$	—
18ХНВА	850	$I_{45} = 24$	5-6
12ХН3А	780	$I_{50} = 4.5 + 16.5$	7-8

* В обозначениях, например, $I_{50}=6+9$ принята твердость $50 H_{RC}$ на расстоянии $l=6+9$ мм

от охлаждаемого конца образца [в США принято обозначение $J_{50} = 6+9$; обозначение по НАМИ для этой же стали: П_{40Х} = $(6+9)_{50}$].

Прокаливаемость стали марок 20Х3, 18ХГМ, 18ХНВА и 12ХН3А определялась после цементации при 950° в течение 8 час.

образцов диаметром 60—80 мм при тепловой изоляции их поверхности путем применения трех-четырёх железных эк-



Фиг. 22. Кривые прокаливаемости некоторых марок стали (по данным Горьковского автозавода им. Молотова; Н. С. Зверев).

Оптимальные условия охлаждения образцов

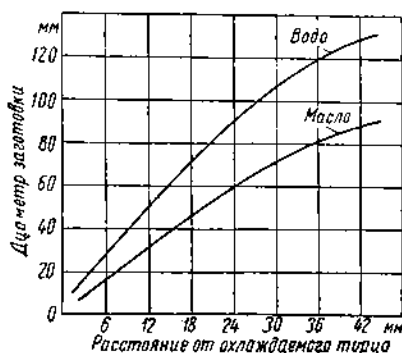
Диаметр образца в мм	Диаметр сопла в мм	Высота свободной струи в мм	Расстояние от сопла до торца в мм
25	12,5	65	12,5
20	12,5	65	12,5
12	6	100	10
6	3	200	6

Полосы и кривые прокаливаемости некоторых марок стали приведены на фиг. 21 и 22.

Эквивалентная твердость сердцевины круглых образцов в зависимости от среды охлаждения приведена на фиг. 23.

Для определения прокаливаемости высоколегированной глубокопрокаливающейся стали А. Л. Немчинским [109] разработан способ торцевой закалки

ранов с воздушными прослойками. Экраны предохраняют теплоотдачу с поверхности образцов при охлаждении, что дает более точные показания твердости.



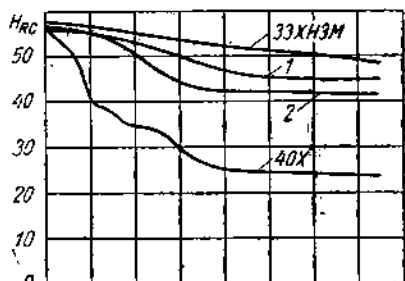
Фиг. 23. Эквивалентность твердости сердцевины круглых стальных деталей и расстояния от охлаждаемого торца в зависимости от среды охлаждения при закалке (И. С. Козловский).

На фиг. 24 приведены кривые прокаливаемости некоторых легированных марок стали.

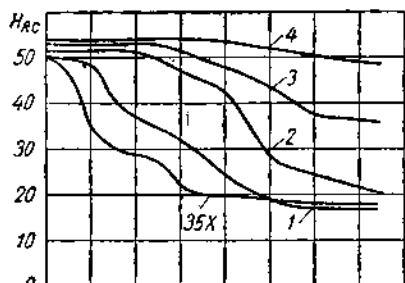
Закаливаемость стали — способность стали воспринимать закалку с получением на поверхности максимальной

но возможной твердости при структуре мартенсита.

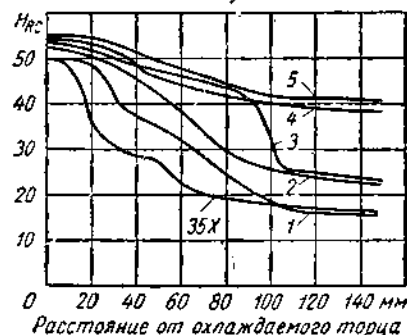
На основании многочисленных исследований установлена зависимость твердости на поверхности от содержания углерода (фиг. 25). Эта зависимость



а)



б)



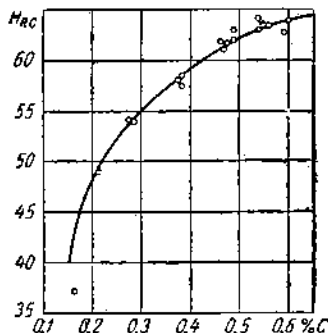
в)

фиг. 24. Влияние легирующих элементов на прокаливаемость. Кривые прокаливаемости получены по методу Немчинского на образцах диаметром 70 мм, длиной 150 мм.

а) 1 — сталь типа 33XНЗМ с содержанием 1,4% Cr, 1,48% Ni и 0,17% Mo; 2 — сталь типа 33XНЗМ с содержанием 1,9% Cr, 3,5% Ni и 0,58% Mo.

б) 1 — сталь типа 35X с содержанием 1,85% Cr; 2 — то же 3,0% Cr; 3 — то же 4,61% Cr ($t_{3,880^\circ}$); 4 — то же 4,61% Cr ($t_{3,950^\circ}$).

в) 1 — сталь типа 35X с содержанием 1,85% Cr; 2 — то же плюс 1,05% Si; 3 — то же плюс 0,99% Mn и 1,25% Si; 4 — то же плюс 1,91% Mn; 5 — то же плюс 1,58% Ni (П. В. Склянов [155]).



Фиг. 25. Зависимость максимальной твердости закаленной стали от содержания углерода.

действительна для конструкционных углеродистых и легированных марок стали.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК СТАЛИ

Классификация стали

[52; 177, т. 3, гл. VI]

Сталь можно классифицировать по следующим признакам: а) способу получения; б) химическому составу; в) структуре; г) качеству; д) методу придания формы и размеров; е) применению.

Классификация стали по способу получения

В жидком состоянии — мартеновская основная, мартеновская кислая; бессемеровская; электродная кислая и основная; тигельная.

В твердом состоянии — электролитическое железо.

Классификация стали по химическому составу

По химическому составу сталь подразделяется на углеродистую и легированную.

Принятые ГОСТ обозначения марок стали: первые две цифры обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента; Г — марганец, С — кремний, Х — хром, Н — никель, В — вольфрам, Ф — ванадий, М — молибден, Ю — алюминий, Т — титан; цифры за буквами обозначают процентное содер-

жание соответствующего элемента, округленное до целого числа.

Высококачественная сталь, более чистая по содержанию серы и фосфора и обладающая более высокими механическими свойствами, обозначается буквой А в конце индекса.

Классификация стали по химическому составу

Тип стали	Содержание легирующих элементов в %	Марка стали (пример)	ГОСТ
Углеродистая			
Конструкционная	а) Мп до 0,8 при С до 0,75 б) Мп до 1,2 при С ~ 0,75 в) Мп до 1,8 при С до 0,55	20, 45 и др. 65Г 50Г2	} B-1050-41 B-1414-42
Инструментальная	а) Мп до 0,4 при С > 0,6 б) Мп до 0,6 при С > 0,6	У8 У8Г	
Легирующая			
а) низколегированная	Общее содержание легирующих элементов < 3,0 %	40Х, 40ХГ, 40ХГМ	} 4543-48
б) среднелегированная	Общее содержание легирующих элементов от 3 до 5%	20ХН3, 20ХНМ, 7Х3, ШХ15	
в) высоколегированная	Общее содержание легирующих элементов > 5,5%	18ХНВ, 35ХН3, Х12, 4ХНВ, Р18	} 4543-48 5950-51 5952-51

Классификация стали по структуре

Класс стали	Краткая характеристика	Примеры типов стали по химическому составу
<i>В равновесном состоянии (после медленного охлаждения)</i>		
Довзтектоидная	В структуре избыточный (довзтектоидный) феррит	Углеродистая, < 0,83% С низколегированная
Завзтектоидная	В структуре избыточные карбиды (вторичные, выделившиеся из аустенита)	Высокоуглеродистая, 0,83—1,7% С и серье- и высоколегированная
Ледебуритная	В структуре первичные карбиды	Высоколегированная
Ферритная	α-фаза устойчива	} Высоколегированная, содержащая элементы, «выклинивающие» γ-область, —Cr, W, Mo, V, Ti, Si, Al и др.
Полуферритная	α ↔ γ частичное	
Аустенитная	γ-фаза устойчива	} Высоколегированная, содержащая элементы, расширяющие γ-область, —Ni, Mn, Co
Полуаустенитная	γ ↔ α частичное	

Продолжение

Класс стали	Краткая характеристика	Примеры типов стали по химическому составу
<i>В закаленном состоянии (после охлаждения на воздухе) *</i>		
Перлитная	При охлаждении происходит распад аустенита на перлит-ферритную смесь в области наименьшей устойчивости аустенита	Сталь углеродистая, низко- и средне-легированная
Мартенситная	При охлаждении происходит переохлаждение аустенита до температуры мартенситного превращения (до точки M_n)	Высоколегированная конструкционная - 18ХНВА, легированная инструментальная—Х12, Х12М быстрорежущая
Аустенитная	Температура начала мартенситного превращения M_n ниже нуля	Сталь ЭИ256 (Г13) жаростойкая, теплоустойчивая и др.
Карбидная **	В структуре карбиды	Сталь, содержащая в составе карбидобразующие элементы, например, Cr, W, Mo, Ti
<p>* При изменении скорости охлаждения принятые классы по структуре становятся условными. Так, при увеличении скорости охлаждения в стали перлитного класса можно получить мартенситную структуру, и наоборот—при замедленной скорости в стали мартенситного класса можно получить перлитную структуру.</p> <p>** Сталь карбидного класса может иметь перлитную, мартенситную, аустенитную структуру.</p>		

Классификация стали по качеству

Группа	Наименование группы стали	Краткая характеристика стали
1	Обыкновенного качества	Углеродистая — широкого переоблегчения
2	Повышенного качества (ПК)	Углеродистая — котельное железо, сталь для бандажей, для паровозных и вагонных осей, для изготовления проволоки
3	Качественная (К)	Углеродистая, низко- и среднелегированная конструкционная, например, 40Х, 20НМ и др. (ГОСТ 4543-48), рессорно-пружинная, инструментальная, штамповая и др.
4	Высококачественная (ВК)	Углеродистая и легированная (с индексом А по ГОСТ 4543-48), высоколегированная, шарикоподшипниковая и др. Высококачественную сталь определяют минимальное содержание S и P и особые требования по чистоте (неметаллическим включениям)

Классификация стали по методу придания формы и размеров

Л и т а я — стальное фасонное литье.
К о в а н а я — поковки свободной ковки и штамповки.

К а т а н а я — прокат различного профиля — прутки, лента, лист, проволока, специальные профили и т. п.

Классификация стали по применению

Сталь конструкционная подразделяется по признакам:

а) *химического состава* — на углеродистую и легированную;

б) *технологическим* — на цементуемую ($\leq 0,25\% C$); улучшаемую (0,35—0,60% C); автоматную, с повышенным содержанием серы и фосфора.

По применению для различных деталей машин сталь подразделяется на строительную; для авиационной; для автотракторостроения; сельскохозяйственного машиностроения; станкостроения; для вагоностроения и т. п.; бандажную; для паровозных и вагонных осей; заклепочную; шарикоподшипниковую; рессорно-пружинную и т. п.

Сталь инструментальная подразделяется на: инструментальную углеродистую и легированную (режущий и измерительный инструмент, штампы холодного деформирования металлов, штампы горячего деформирования металлов) и инструментальную быстрорежущую.

Сталь с особыми свойствами: нержавеющая и кислотостойкая; окислительная и жаропрочная; сплавы с высоким омическим сопротивлением; сталь со специальными физическими свойствами и др.

Химический состав и механические свойства углеродистой стали обыкновенного качества (по ГОСТ 380-50) [180]

Сталь группы А подразделяется на марки по механическим свойствам, гарантируемым в состоянии поставки

Механические свойства стали группы А обыкновенного качества (по ГОСТ 380-50)

Марки	$\sigma_{вР}$ в кг/мм ²	δ в %			σ_T в кг/мм ²	Норма испытания на загиб*
		при $\sigma_{вР}$	δ_{10}	δ_5		
Ст. 0	32-47	32-47	18	22	19	$d = 2a$
Ст. 1	32-40	32-40	28	33	—	$d = 0$
Ст. 2	34-42	34-42	26	31	22	$d = 0$
Ст. 3**	38-47	38-40	23	27	24	$d = 0$
		41-43	22	26		
		44-47	21	25		
Ст. 4	42-52	42-44	21	25	26	$d = 2a$
		45-48	20	24		
		49-52	19	23		
Ст. 5	50-62	50-53	17	21	28	$d = 3a$
		54-57	16	20		
		58-62	15	19		
Ст. 6	60-72	60-63	13	15	31	—
		64-67	12	14		
		68-72	11	13		
Ст. 7	≥ 70	70-74	9	11	—	—
		75-79	8	10		
		> 80	7	9		

* Обозначения: d — толщина оправки; a — толщина образца при испытании загиб в холодном состоянии на 180°.

** При толщине от 12 до 25 мм ударная вязкость сортовой и фасонной стали при испытании на продольных образцах $a_H = 10$ кг/см²; листовой и широкополосовой стали на продольных образцах $a_H = 8$ кг/см²; то же на поперечных образцах $a_H = 7$ кг/см².

Химический состав стали группы Б [180] (по ГОСТ 380-50)

Марка стали	Химический состав в %				
	C	Mn	Si	S не более	P не более
<i>Сталь мартеновская</i>					
МСт. 0	До 0,23	—	—	0,060	0,070
МСт. 1	0,07-0,12	0,35-0,50	—	0,055	0,050
МСт. 2	0,09-0,15	0,35-0,50	—	0,055	0,050
МСт. 3	0,14-0,22	0,40-0,65	0,12-0,30	0,055	0,050
МСт. 4	0,18-0,27	0,40-0,70	0,12-0,30	0,055	0,050
МСт. 5	0,28-0,37	0,50-0,80	0,17-0,35	0,055	0,050
МСт. 6	0,38-0,50	0,50-0,80	0,17-0,35	0,055	0,050
МСт. 7	0,50-0,63	0,55-0,85	0,17-0,35	0,055	0,050
<i>Сталь бессемеровская (конверторная)</i>					
БСт. 0	До 0,14	—	—	0,070	0,090
БСт. 3	До 0,12	0,25-0,55	0,10-0,35	0,065	0,085
БСт. 4	0,12-0,20	0,35-0,55	0,10-0,35	0,065	0,085
БСт. 5	0,17-0,30	0,50-0,80	0,10-0,35	0,065	0,085
БСт. 6	0,26-0,40	0,60-0,90	0,10-0,35	0,065	0,085

В кипящей стали содержание кремния — следы для всех марок стали, содержание марганца для стали марок МСт. 1, МСт. 2 и МСт. 3 от 0,30 до 0,50%.

НАЗНАЧЕНИЕ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И

ГОСТ или ТУ	Назначение	Марка стали	Химический			
			C	Mn	Si	
<i>Сортовая и фасонная</i>						
499-41	Заклепочная общего назначения	Ст. 2 Ст. 3				По ГОСТ
ОСТ 12535-38	Заклепочная мостостроительная Конструкционная мостостроительная	Ст. 2 мост. Ст. 3 мост.	— —	— —	— —	
5058-49	Заклепочная низколегированная (она же для металлических конструкций)	НЛ1 (СХЛ3) НЛ2 (СХЛ2)	≤ 0,15 0,12—0,18	0,5—0,8 0,5—0,8	0,3—0,5 0,3—0,5	
538-41	Для котельных связей и анкеров	Ст. 1 Ст. 2 Ст. 3	По ГОСТ 380-50			— — —
ТУ 106	Связевая для морских котлов	Ст. ЗТС	0,12—0,20	≤ 0,65	< 0,4	
		Ст. 4Т	0,18—0,26	≤ 0,60	< 0,4	
		Ст. 5К	≤ 0,30	≤ 0,80	< 0,4	
5521-50	Для судостроения	Ст. 1С	0,07—0,12	0,35—0,50	Следы	}
		Ст. 2С	0,09—0,15	0,35—0,50	"	
		Ст. 3С	0,14—0,22	0,35—0,60	0,12—0,35	
		Ст. 4С	0,18—0,27	0,40—0,70	0,12—0,35	
		Ст. 4Ф	0,18—0,27	0,40—0,70	0,12—0,35	
		Ст. 4Л	0,18—0,27	< 0,70	0,12—0,35	
		Ст. 5С	0,28—0,35	< 0,80	0,17—0,35	
		Ст. 5С пов.	0,28—0,32	< 0,80	0,17—0,35	

* Технологические пробы: на осадку по ОСТ 1686 в холодном состоянии X_x и в горячем состоянии d_x ; на незакаливаемость по ОСТ 1684— d_3 .

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЫ СТАЛИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА [180]

состав в %			Механические свойства			Технологические пробы *
S	P	Прочие	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_{10}/δ_5 в %	
не более			$\sigma_{вр}$	σ_T	δ_{10}/δ_5	
<i>сталь общего назначения</i>						
380-50			34—42 38—47	— —	26/31 22/26	$X_x = 0,4; X_z = 1,3$ $X_x = 0,5; X_z = 1,3$
0,05	0,04	—	34—42	—	26/31	$X_x = 0,4; X_z = 0,33;$ $d_3 = a$
0,05	0,045	—	38—45	23	24/28	$d_x = 0; d_z = 0; d_3 = 3$
0,045	0,04	} 0,5—0,8 Cr 0,3—0,7 Ni 0,3—0,5 Cu	≥ 42	≥ 30	20. $a_n = 10$	$X_{x,z} = 0,5; d_x = a$ $d_x = 2a$
0,045	0,04		48—63	35/34	18. $a_n = 8$	
0,05	0,05	—	32—40	—	28/33	$X_x = 0,3$
0,05	0,05	—	34—42	—	26/31	$X_x = 0,4$
0,05	0,05	—	38—47	—	24/28	$X_x = 0,4$
0,04	0,04	—	38—41	—	25	$d_3 = 0; X_z = 0,25$
			41—43	—	24	
			43—45	—	23	
0,04	0,04	—	41—48	—	23	$d_3 = 0; X_z = 0,25$
			0,05	0,05	—	47—52 52—56
} 0,05	0,05	—	32—40	—	28/33	}
			34—42	21	26/31	
			38—40	22	23/27	
			41—43	22	22/26	
			44—47	22	21/25	
			42—47	24	21/25	
			45—48	24	20/24	
			49—52	24	19/23	
			41—47	24	20/24	
			42—50	25	20/24	
			50—53	27	17/21	
			54—57	27	16/20	
58—62	27	15/19				
50—62	30	18/22	$d_x = 0$ $d_x = 0$ $d_x = 0,5a$ $d_x = 2a$ $d_x = 2a$ $d_x = 2a$ $d_x = 2a$ $d_x = 3a$ $d_x = 2a$			

X_z : на загиб на 180° при толщине оправки d и толщине образца a в холодном состоянии по ОСТ 1683—

ГОСТ или ТУ	Назначение	Марка стали	Химический состав в %		
			C	Mn	Si
ТУ 577 (ТУ 681 для листов)	Для судостроения: полособульбовая (и листовая)	Для полос (листов) толщиной < 6 мм от 6 до 8 мм от 8 до 14 мм	≤ 0,20 ≤ 0,22 ≤ 0,28	1,3—1,65 1,3—1,65 1,3—1,65	0,4 0,4 0,4
Ст. 1718-39	То же марганцовистая нормальная	—	≤ 0,3	≤ 1,65	≤ 0,4
ТУ 612	То же для сварных конструкций марганцовистая	Для толщин ≤ 10 мм 10—30 мм	≤ 0,22 ≤ 0,26	1,3—1,65 1,3—1,65	≤ 0,4
<i>Сталь разнородная</i>					
ОСТ НКТП 4197	Для гаек	Фосфористая	0,06—0,12	≤ 0,55	≤ 0,20
ГОСТ 5687-51	Лемешная для машиностроения	Л-53** Л-65***	0,47—0,59 0,60—0,70	0,5—0,8 0,3—0,6	0,15—0,4 0,15—0,4
924-41	Для цепей горновой сварки		≤ 0,18	0,3—0,6	Следы
<i>Катаная</i>					
502-41	Катаная проволока	БимСт. 0*** МСт. 1 БимСт. 2 МСт. 3	По ГОСТ 380-50		
4231-42	Катанка телеграфная	Обыкновенная Медистая	≤ 0,11 ≤ 0,11	≤ 0,5 ≤ 0,5	0,2 Сн 0,2—0,4 С

* Технологические пробы: на осадку по ОСТ 1686 в холодном состоянии X_x и в горячем состоянии по ОСТ 1683 — d_x ; на незакаливаемость по ОСТ 1684 — d_z .

** При C > 0,54%, Mn < 0,70%.

*** При C > 0,65%, Mn < 0,50%.

**** Для стали МСт.0 C < 0,20%, а для стали БСт.0 C < 0,12%.

Продолжение

состав в %		Механические свойства			Технологические пробы *	
S	P	Прочие	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²		δ_{10}/δ_5 в %
не более						
0,045	0,04	≤ 0,5 Ni; ≤ 0,2 Cr	55—70	35	18	$d_x = 3a$
0,045	0,045	≤ 0,5 Ni; ≤ 0,2 Cr	60—70	40	16	$d_x = 3a$; $d_z = 2a$
0,045	0,04	≤ 0,5 Ni; ≤ 0,3 Cr	55—70	35	18	$d_x = 3a$
<i>назначения</i>						
0,06	0,20— 0,25	—	—	—	—	—
0,05 0,05	0,05 0,045	—	—	—	—	255 НВ
0,04	0,04	—	37—45	24	—	$d_x = 0,5a$
<i>Катаная</i>						
—	—	—	—	—	—	—
0,05 0,05	0,045 0,045	{ ≤ 0,15 Cr ≤ 0,20 Ni }	< 32	$p = 0,133$ ом $p = 0,141$ ом	Число перегибов: ∅ 5,5 мм — 12 ∅ 6,0 " — 11 ∅ 6,5 " — 9 ∅ 7,0 " — 8	

X_z : на загиб на 180° при толщине оправки d и толщине образца a в холодном состоянии по

Продолжение

ГОСТ или ТУ	Назначение	Марка стали	Химический состав в %			Механические свойства			Технологические пробы *			
			С	Мn	Si	S не более	P не более	Прочие		$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_{10}/δ_5 в %
5520-50	Для котлостроения	Ст. 2	—	—	—	0,045	0,045	—	34—42	—	26/31	$d_x = 0; d_x = a$ при $a > 30$ мм $d_x = 0,5a; d_x = 1,5a$ при $a > 30$ мм $d_x = 0; d_x = a$ при $a > 30$ мм $a_H = 8$ $a_H = 7$ $d_x = a; d_x = 2a$ при $a > 30$ мм $a_H = 7$ $a_H = 6$ $d_x = 2a; d_x = 3a$ при $a > 30$ мм $a_H = 6$
		Ст. 3	0,12—0,23	—	—				38—40	—	23/27	
		15К	0,12—0,20	$\leq 0,65$	0,15—0,3				41—43	—	22/26	
									44—47	—	21/25	
		20К	0,16—0,24	$\leq 0,65$	0,15—0,3				36—38	22	24/28	
									39—40	22	23/27	
25К	0,20—0,28	$\leq 0,80$	0,15—0,3	41—42	22	22/26						
				43—44	25	21/25						
399-41	Котельная и топочная для паровозов **	Ст. 3Т	0,12—0,22	—	—	0,04	0,04	—	36—38	$a_H^{**} = 8$	26	$d = 0$ $d = 0,5a$
									38—40	8	25	
		Ст. 3К	0,12—0,22	—	—	0,05	0,05	—	40—42	7	24	
									42—46	7	23	
								38—40	7	24		
								40—42	7	23		
								42—44	6	22		
								>44	6	21		
ОСТ НКТП 4034	Котельная и топочная для котлов морских и речных судов	Ст. 3ТС	0,12—0,20	—	—	0,04	0,04	—	38—41	—	25	$d_3 = 0$ $d_2 = a$ $d_x = 1,5a$
		Ст. 4Т	$\leq 0,26$	0,6	—	0,04	0,04	—	41—43	—	24	
		Ст. 5К	$\leq 0,30$	—	—	0,05	0,05	—	43—45	—	23	
ТУ 773	Топочная для с.-х. локомотивов	Ст. 3	по ГОСТ 380-50			0,04	0,04	—	38—40	—	25	—
			40—42	—	24				—			
			42—46	—	23				—			

* Технологические пробы: на осадку по ОСТ 1686 в холодном состоянии X_x и в горячем состоянии ОСТ 1683 — d_x , на незакаливаемость по ОСТ 1684 — d_3 .

** Ударная вязкость определяется для листов $s < 10$ мм; при $s > 15$ мм допускается понижение

в X_x ; на загиб на 180° при толщине оправки d и толщине образца a в холодном состоянии по δ_{10} на 0,25% на каждый миллиметр увеличения толщины свыше 15 мм.

ГОСТ или ТУ	Назначение	Марка стали	Химический		
			C	Mn	Si
ТУ 714	Листовая для котлостроения $s = 60 + 120 \text{ мм}$	Ст. 2 Ст. 3 Ст. 4	По ГОСТ 380-50		
ТУ 977	Для обечаек и днищ сварных коллекторов судовых паровых котлов **	Среднемарганцовистая	0,2—0,27	1,2—1,5	$\leq 0,36$
ОСТ 10222-39	Качественная для судостроения	Марганцовистая	$\leq 0,32$	1,3—1,65	$\leq 0,45$
Ст. 1718-39	Нормальная широкополосная (универсальная) для судостроения	То же	$\leq 0,3$	$\leq 1,65$	$\leq 0,4$
МПТУ 2120-49	Трамвайные желобчатые	Среднемарганцовистые	0,40—0,55	1,2—1,6	0,15—0,35
4224-48 МПТУ 2222-49	Рельсы железнодорожные широкой колес до 45 кг/лог. м *** То же типа Р50	M62 Б48 M70	0,55—0,72 0,42—0,55 0,63—0,78	0,6—0,9 0,6—1,1 0,65—1,0	0,13—0,28 0,10—0,30 0,13—0,28
ТУ 712 (МПТУ 2309-49)	То же узкой колес	Категория А М Б Категория Б М Б	0,3 0,2 0,3 0,2 (0,14)	— — — —	— — — —
4133-48	Накладки рельсовые широкой колес	МСт. 6 МСт. 7	По ГОСТ 380-50		
3280-46	Подкладки рельсовые широкой колес	М Б	$\geq 0,16$ $\geq 0,12$	— —	— —

* Технологические пробы: на осадку по ОСТ 1686 в холодном состоянии X_x и в горячем состоянии ОСТ 1683 — d_v , на незакаляемость по ОСТ 1684 — d_3 .

** При $\bar{s} > 40 \text{ мм}$ и $l > 5 \text{ м}$ $\sigma_{вр} > 54 \text{ кг/мм}^2$ и $\sigma_T > 34 \text{ кг/мм}^2$, при $350^\circ \sigma_T > 26 \text{ кг/мм}^2$.

*** Поверхность головок рельс закаливается на глубину 4—10 мм на длине 150—200 мм от торца.

Продолжение

Состав в %			Механические свойства			Технологические пробы *
S	P	Прочие	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_{10}/δ_5 в %	
не более			$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_{10}/δ_5 в %	
0,05	—	$\leq 0,3\%$ Cr, Ni и Cu (каждого)	—	По ГОСТ 380-41 с уменьшением на 2 кг/мм ²	с уменьшением на 3%	—
0,045	0,04	$\leq 0,5\%$ Cr, Ni и Cu (каждого)	57 при 350°—52	37 $a_n = 7$ при 350° $\sigma_T = 27$	19 $\psi \geq 40$	—
0,045	0,04	$\leq 0,5$ Ni $\leq 0,2$ Cr	60—75	40	16	$d_x = 3a$
0,045	0,04	$\leq 0,5$ Ni, $\leq 0,2$ Cr	60—75	40	16	$d_x = 3a$ $d_3 = 2a$
0,04	0,04	—	80 _I , 70 _{II}	—	—	—
0,05 0,06 0,05	0,05 0,08 0,045	— — —	> 72 > 70 > 75	При $C \geq 0,64$ — твердые При $C \geq 0,50$ — твердые		321 — 401 НВ — средняя твердость закаленных концов ($> 302 \text{ НВ}$, $< 418 \text{ НВ}$)
0,065 0,070 0,070 0,075	0,065 (0,06) 0,090 0,070 (0,075) 0,10	— — — —	} 50 }	— —	— —	125 НВ —
—	—	—	70	50	10	—
—	0,05 0,085	— —	— —	— —	— —	—

ни X_x ; на загиб на 180° при толщине оправки d и толщине образца a в холодном состоянии по

ГОСТ или ТУ	Назначение	Марка стали	Химический		
			C	Mn	Si
<i>Бандажи черные паровоз</i>					
398-41	Для пассажирских локомотивов всех типов Вагонные бандажи всех типов Тендерные бандажи всех типов Ведущие бандажи товарных локомотивов	I	0,50—0,65	0,6—0,9	0,15—0,35
		II	0,55—0,70	0,6—0,9	0,15—0,35
		III	0,60—0,75	0,6—0,9	0,15—0,35
		IV	0,65—0,80	0,5—0,8	0,15—0,35
ОСТ НКТП 3113	Бандажи всех типов узкой колес	—	—	—	—
ГОСТ 5257-50	Бандажи трамвайные	—	0,60—0,75	0,6—0,9	—
<i>Колеса цельно</i>					
ОСТ НКТП 7550	Колеса вагонов и тендеров	—	—	—	—
<i>Осевая</i>					
74—40	Для вагонных и тендерных осей широкой колес	Плавочный анализ	0,3—0,45	0,5—0,9	0,15—0,35
		Контрольный анализ в заготовке	0,3—0,48	0,5—0,9	0,15—0,35
ГОСТ 4728-49	Для паровозных осей широкой колес и моторных электровагонов	—	0,35—0,45	0,5—0,8	0,15—0,35

* Технологические пробы: P — вес бабы при испытании на удар под копром; f — стрела про $A > 15$ г кгм, где g — вес бандажа в кг; Q — сумма работы ударов; R — радиус колеса в мм; S — тол.
** Механические свойства определяются на образцах, вырезанных из заготовок сечением 100×100
*** Механические свойства определяются на образцах, вырезанных из припусков к оси со стороны

состав в %			Механические свойства			Технологические пробы *
S	P	Прочие	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	$\delta_{10}\delta_5$ в %	
не более						
<i>ные, тендерные и вагонные</i>						
0,05	0,05	$\leq 212H_B$	75	$\psi = 16$	13	} $P = 1000$ кг $f \geq 0,75 \frac{D}{\sigma_{вр}}$
0,05	0,05	—	80	$\psi = 14$	10	
0,05	0,05	—	85	$\psi = 14$	10	
0,05	0,05	$\leq 255H_B$	90	$\psi = 12$	8	
0,05	0,05	—	70	$\psi = 15$	12	$P = 500$ кг
0,05	0,05	$\leq 229H_B$	≥ 85	$\psi = 14$	10	$P = 1000$ кг $f = 0,75 \frac{D}{\sigma_{вр}}$
<i>катаные</i>						
—	—	—	75—90	$\psi = 13$	10	$P = 1000$ кг $Q = 1,32 RS$
<i>заготовка</i>						
0,05	0,05	$\leq 0,3$ Cr $\leq 0,5$ Ni $\leq 0,2$ Cu $\leq 0,1$ Mo	{ 52—55,9**	$a_H > 3,5$	23	$a_{H(ср)} = 6,0$ (среднее из 4-х образцов)
0,05	0,05	$\leq 0,35$ Cr $\leq 0,6$ Ni $\leq 0,25$ Cu $\leq 0,1$ Mo	{ 56—58,9 59—61,9 >62	$\begin{matrix} \cdot > 3,0 \\ \cdot > 2,5 \\ \cdot > 2,0 \end{matrix}$	22 21 20	5,0 4,0 3,5
0,05	0,05	$\leq 0,3$ Cr $\leq 0,3$ Ni $\leq 0,3$ Cu	{ 55—58*** 58,1—61,0 >61	$\begin{matrix} \cdot > 3,5 \\ \cdot > 3,0 \\ \cdot > 2,5 \end{matrix}$	23 22 21	$a_{H(ср)} = 7,0$ 6,0 5,0

гиба; D — диаметр бандажа; при этом высота падения бабы определяется по работе одного удара щипца диска колеса в мм.
мм, длиной ≥ 300 мм в нормализованном состоянии.
Усадочного конца после нормализации с высоким отпускном.

Химический состав и механические свойства качественной, углеродистой стали (по ГОСТ В-1050-41) [181]

Марка стали	Химический состав в %		Нормы твердости $\leq H_B^*$	Механические свойства ***			
	С	Mn		$\sigma_{вР}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_2 в %	ψ в %
				не менее			
05	$\leq 0,06$	$\leq 0,20$	—	—	—	—	—
08кп	0,05—0,12	$\leq 0,03 Si^{**}$ 0,25—0,50 $\leq 0,03 Si$	131	32	18	33	60
10	0,05—0,15	0,35—0,65	137	32	18	31	55
15	0,10—0,20	0,35—0,65	143	35	21	27	55
20	0,15—0,25	0,35—0,65	156	40	24	25	55
25	0,20—0,30	0,50—0,80	170	43	26	22	50
30	0,25—0,35	0,50—0,80	179	48	28	20	50
35	0,30—0,40	0,50—0,80	187	52	30	18	45
40	0,35—0,45	0,50—0,80	217/197	57	32	17	45
45	0,40—0,50	0,50—0,80	241/207	60	34	15	40
50	0,45—0,55	0,50—0,80	241/217	63	35	13	40
55	0,50—0,60	0,50—0,80	255/229	64	36	12	35
60	0,55—0,65	0,50—0,80	255/229	65	37	10	35
65	0,60—0,70	0,50—0,80	255/229	66	38	10	30
70	0,65—0,75	0,50—0,80	269/229	67	39	8	30
15Г	0,10—0,20	0,70—1,00	163	40	23	24	55
20Г	0,15—0,25	0,70—1,00	197	43	25	22	50
30Г	0,25—0,35	0,70—1,00	217/187	55	29	15	45
40Г	0,35—0,45	0,70—1,00	229/207	60	33	14	45
50Г	0,45—0,55	0,70—1,00	255/229	65	37	11	40
60Г	0,55—0,65	0,70—1,00	269/229	70	38	9	35
65Г	0,60—0,70	0,90—1,20	269/229	75	40	8	35
70Г	0,65—0,75	0,90—1,20	269/229	80	42	7	30
10Г2	0,05—0,15	1,20—1,60	197/—	43	25	22	50
30Г2	0,25—0,35	1,40—1,80	241/207	60	35	15	45
35Г2	0,30—0,40	1,40—1,80	241/207	63	37	13	40
40Г2	0,35—0,45	1,40—1,80	255/217	67	37	12	40
45Г2	0,40—0,50	1,40—1,80	269/229	70	41	11	40
50Г2	0,45—0,55	1,40—1,80	269/229	75	43	10	35

* В числителе указана норма твердости в горячекатанном состоянии, в знаменателе — в отожженном.

** Все остальные марки стали содержат 0,17—0,37% Si. Сталь марки 08кп содержит S и P по $\leq 0,040\%$; сталь марок 10 до 20Г включительно и 10Г2 содержат S и P по $\leq 0,045\%$; сталь марок 30Г2 до 50Г2, а также 30Г — 70Г содержит $\leq 0,040\%$ P и $\leq 0,045\%$ S; содержание Cr и Ni допускается не более 0,30% каждого (для стали 8кп Cr $\leq 0,15\%$).

*** Механические свойства определяются на нормальных разрывных образцах по ГОСТ 1497-42, вырезанных из нормализованных заготовок диаметром 25 мм.

КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ (по ГОСТ 2335-50)

Класс	Марка стали	Максимальный диаметр поковки в мм	Механические свойства					Твердость	
			$\sigma_{вР}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ в %	ψ в %	a_H в кг/см ²	НВ	диаметр отпечатка
			не менее					не более	не менее
I	15	100	35	25	27	55	6,5	143	5,0
		100-300	34	17	25	50	6,0		
		300-500	33	15	24	45	5,5		
II	20	100	40	22	24	53	5,5	156	4,8
		100-300	38	20	23	50	5,0		
		300-500	37	19	22	45	5,0		
		500-750	36	18	20	40	4,5		
III	25	100	43	24	22	50	5,0	170	4,5
		100-300	40	22	20	48	4,0		
IV	30	100	48	25	19	48	4,0	179	4,5
		100-300	47	24	19	46	3,5		
		300-500	46	23	18	40	3,5		
		500-750	45	22	17	35	3,0		
V	35	100	52	27	18	43	3,5	187	4,4
		100-300	50	26	18	40	3,0		
		300-500	48	24	17	37	3,0		
		500-750	46	23	16	32	2,5		
VI	40	100	56	28	17	40	3,0	207	4,2
		100-300	54	27	17	36	3,0		
		300-500	52	26	16	32	2,5		
		500-750	50	25	15	30	2,5		
VII	45	100	60	30	15	38	3,0	217	4,1
		100-300	58	29	15	35	2,5		
		300-500	56	28	14	32	2,5		
		500-750	54	27	13	30	2,0		
VIII	50	100	62	32	13	35	3,0	229	4,0
		100-300	60	30	12	33	2,5		
		300-500	58	29	12	30	2,5		
IX	55	100	66	33	12	30	3,0	229	4,0
		100-300	64	32	11	28	2,5		
		300-500	62	31	10	25	2,5		
X	60	100	65	35	10	28	—	229	4,0

* Значения механических свойств относятся к нормальному цилиндрическому пятикратному разрывному образцу и нормальному ударному (ГОСТ 1524-42).

Группы поковок по эксплуатационным требованиям

Группа	Характеристика группы	Обязательные показатели механических свойств	Порядок испытания
Н	Неответственные поковки, изготавливаемые из стали одной марки, независимо от плавки	НВ	> 10% от партии, составленной из поковок одного чертежа
О	Ответственные поковки, изготавливаемые из стали одной плавки	σ_T , δ или σ_T , ψ	3-5% от партии, составленной из поковок одного чертежа, одной марки и одной плавки, независимо от числа поковок из одного слитка
ОО	Особо ответственные поковки	σ_T , δ , a_H или σ_T , ψ , a_H	Испытывается каждая поковка

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКО- И ТОЛСТОЛИСТОВОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 914-47) [181]

Марка стали	Механические свойства				Твердость *	
	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ² **	δ_{10} в % не менее для листов толщиной в мм			HВ	HRC
		< 1,5	1,5-2,0	> 2,0 **		
05	23	26	28	30	—	—
08 КП	28-38	26	28	30	100	55
08 и 10 КП	28-42	24	26	27	108	61
15 КП	32-45	23	25	26	117	66
20	35-50	22	23	24	127	71
25	40-55	21	22	23	138	76
30	45-60	19	20	21	150	80
35	50-65	16	17	18	161	84
40	52-67	15	16	17	167	85
45	55-70	13	14	15	174	87
50	55-75	11	12	13	184	90

* Относится только к толстолистовой стали (ГОСТ 4014-48).

** Относится как к тонко-, так и к толстолистовой стали.

По штампуемости тонколистовая сталь подразделяется на ВГ — весьма глубокая штампуемость, Г — глубокая и Н — нормальная; по состоянию поверхности подразделяется на 4 группы: I — особо высокой отделки, II, III и IV (см. ГОСТ 914-47). Толстолистовая сталь по штампуемости подразделяется на Г — глубокая штампуемость и Н — нормальная. Легированная тонколистовая сталь поставляется по ГОСТ 1542-42.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АВТОМАТНОЙ СТАЛИ (по ГОСТ В-1414-42)*

Марка стали	Химический состав в %				
	C	Si	Mn	S	P
A12 .	0,08-0,16	0,15-0,35	0,6-0,9	0,08-0,20	0,08-0,15
A15 .	0,10-0,20	0,15-0,35	0,7-1,0	0,08-0,15	< 0,06
A15Г	0,10-0,20	0,15-0,35	1,0-1,4	0,08-0,15	< 0,06
A20 .	0,15-0,25	0,15-0,35	0,6-0,9	0,08-0,15	< 0,08
A30 .	0,25-0,35	0,15-0,35	0,7-1,0	0,08-0,15	< 0,06
A35 .	0,30-0,40	0,15-0,35	0,8-1,2	0,08-0,15	< 0,06
A40 .	0,35-0,45	0,15-0,37	1,20-1,55	0,12-0,30	< 0,05
У7АВ .	0,70-0,80	< 0,30	0,4-0,7	0,16-0,24	0,04-0,08

* Марки А40 и У7АВ по ТУ завода-поставщика.

В стали У7АВ допускается до 0,25 Сг и до 0,25 Ni; в стали А12 при Р < 0,10% должно быть S > 0,10%. По требованию потребителей допускается в стали А20 и А35 до 0,20% S, в стали А12-0,08 + 0,15% S.

В прокате для сталей А12, А20 и А35 допускаются следующие отклонения по химическому составу: -0,02, +0,05% С; -0,05; +0,10% Mn; ± 0,05% Si; -0,01, +0,02% S; -0,02, +0,01% P; в горячекатаном состоянии сталь этих марок поставляется без отжига.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОРТОВОЙ АВТОМАТНОЙ СТАЛИ (по ГОСТ В-1414-42)

Марка стали	Сталь горячекатанная			Сталь холоднокатаная нагартованная			
	Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	Относительное удлинение δ_5 в %	Относительное сужение ψ в %	Диаметр прутка в мм	Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	Относительное удлинение δ_5 в % не менее	Твердость по Бринеллю, диаметр отпечатка в мм
A12 и A15 .	42-60	22	35	До 20 20-30 Свыше 30	60-85 55-80 50-75	6 6 6	3,95-4,60 4,05-4,70 4,20-4,80
A15Г и A20 .	50-65	19	30	—	—	—	—

Примечания: 1. Механические свойства для марок А30, А35 и А40 определяются соглашением сторон.

2. Обрабатываемость резанием автоматной стали марки А12 в 2,5-3 раза выше по сравнению с углеродистой сталью с таким же содержанием углерода (например, марка 15).

3. Механические свойства проволоки из стали У7АВ (в состоянии поставки) следующие:

Диаметр проволоки в мм	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	δ в % не менее
До 4,0 вкл.	75-95	4
Свыше 4,0	65-90	7

Свинец в количестве до 0,2% улучшает обрабатываемость автоматной стали, не оказывая влияния на ее механические свойства.

ОТЛИВКИ ФАСОННЫЕ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 977-41)

Обозначение марки	Качество *	Химический состав в %								σ _в в кг/мм ²	σ _т в кг/мм ²	δ в %		
		C	Mn	Si	P		S					δ ₅	δ ₁₀	
					Способ выплавки стали									
					основ- ной	кислый	бессе- меров- сняя	основ- ной	кислый					бессе- меров- сний
Не более										не менее				
15-4020	Нормаль- ное	0,10-0,20	0,50-0,90	0,17-0,37	0,05	0,06	0,09	0,05	0,06	0,07	40	20	25	
25-4518		0,20-0,30									45	18	23	
35-5015		0,30-0,40									50	15	19	
45-5512		0,40-0,50									55	12	15	
55-6010		0,50-0,60									60	10	12	
15-4024	Повышен- ное	0,10-0,20	0,50-0,90	0,17-0,37	0,05	0,06	0,08	0,05	0,06	0,06	40	20	21	30
25-4522		0,20-0,30									45	23	22	27
35-5019		0,30-0,40									50	25	19	24
45-5516		0,40-0,50									55	28	16	20
55-6012		0,50-0,60									60	30	12	15
15-4028	Особое	0,10-0,20	0,50-0,90	0,17-0,37	0,04	0,05	-	0,04	0,05	-	40	23	28	35
25-4525		0,20-0,30									45	27	25	31
35-5022		0,30-0,40									50	29	22	27

* Отливки подвергаются термической обработке в соответствии с техническими условиями заказа

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 4543-48)

Тип стали	Марка стали	Химический состав в %			
		C	Mn	Cr	Прочие
Хромистая	15X (A) *	0,12-0,20 (0,18)	0,3-0,6	0,7-1,0	-
	20X (A)	0,15-0,25 (0,17-0,24)	0,5-0,8	0,7-1,0	-
	30X (A)	0,25-0,35 (0,33)	0,5-0,8	0,8-1,1	-
	35X	0,30-0,40	0,5-0,8	0,8-1,1	-
	38XA	0,34-0,42	0,5-0,8	0,8-1,1	-
	40X	0,35-0,45	0,5-0,8	0,8-1,1	-
	45X (A)	0,40 (0,42) -0,50	0,5-0,8	0,8-1,1	-
	50X (A)	0,45 (0,47) -0,55	0,5-0,8	0,8-1,1	-
	20X3 **	0,17-0,24	0,2-0,6	2,6-3,2	0,15-0,35 Si
	Хромомарганцевая	15XГ (A)	0,12-0,20 (0,18)	1,1-1,4	0,4-0,7
20XГ (A)		0,15 (0,18) -0,25	0,9-1,2	0,9-1,2	-
40XГ (A)		0,35 (0,37) -0,45	0,9-1,2	0,9-1,2	-
35XГ2 (A)		0,30 (0,32) -0,40	1,6-1,9	0,4-0,7	-
Хромованадиевая	15XФ (A)	0,12-0,20 (0,18)	0,3-0,6	0,8-1,1	0,10-0,20V
	20XФ (A)	0,15 (0,17) -0,25	0,4-0,7	0,8-1,1	0,10-0,20
	40XФА	0,37-0,45	0,5-0,8	0,8-1,1	0,10-0,20
	50XФА	0,46-0,54	0,5-0,8	0,8-1,1	0,10-0,20
Хромомолибденовая	12XM	≤ 0,16	0,4-0,7	0,8-1,1	0,40-0,55Mo
	15XMA	0,10-0,18	0,4-0,7	0,8-1,1	0,40-0,55
	20XM (A)	0,15-0,25 (0,17-0,24)	0,4-0,7	0,8-1,1	0,15-0,25
	30XM (A)	0,25-0,35 (0,25-0,33)	0,4-0,7	0,8-1,1	0,15-0,25
	35XM (A)	0,30 (0,32) -0,40	0,4-0,7	0,8-1,1	0,15-0,25
	35X2MA	0,32-0,40	0,4-0,7	1,6-1,9	0,15-0,25
Хромомарганцево-молибденовая	18XГМ (A)	0,16-0,24	0,9-1,2	0,9-1,2	0,20-0,30
	40XГМ (A)	0,37-0,45	0,9-1,2	0,9-1,2	0,20-0,30
	(38XГМ) ЭИ275*	0,35-0,42	0,7-1,0	1,5-1,8	0,25-0,40
Молибденовая	15M (12MA)	0,10-0,18 (0,16)	0,4-0,7	≤ 0,30	0,40-0,55
	20M (A)	0,15-0,25 (0,17-0,24)	0,4-0,7	≤ 0,30	0,40-0,55
	30M (A)	0,25-0,35 (0,26-0,34)	0,5-0,8	≤ 0,30	0,40-0,55

Продолжение

Тип стали	Марка стали	Химический состав в %			
		С	Mn	Cr	Прочие
Хромомарганцевая с титаном	ЭИ274**	0,13—0,18	1,4—1,7	1,5—1,8	0,06—0,12 Ti
	18Х1Т	0,16—0,24	0,8—1,1	1,0—1,3	0,08—0,15 Ti
Никелевая	25Н (А)	0,20 (0,22)—0,30	0,5—0,8	≤ 0,30	0,5—0,9Ni
	30Н (А)	0,25 (0,27)—0,35	0,5—0,8	≤ 0,30	0,8—1,2
	13Н2А**	0,10—0,16	0,25—0,55	0,2—0,5	1,7—2,2
	13Н5А**	0,10—0,17	≤ 0,6	≤ 0,25	4,5—5,0
	21Н5А**	0,18—0,25	≤ 0,6	≤ 0,25	4,5—5,0
Никельмолибденовая	15НМ (А)	0,10—0,18 (≤ 0,17)	0,4—0,7	≤ 0,30	1,5—2,0 0,2—0,3Mo
	20НМ	0,17—0,25	0,4—0,7	≤ 0,30	1,5—2,0Ni
	40НМ (А)	0,37—0,45	0,5—0,8	≤ 0,30	0,2—0,3Mo 1,5—2,0Ni 0,2—0,3Mo
Хромоникелевая	20ХН (А)	0,15—0,25 (0,23)	0,4—0,7	0,45—0,75	1,0—1,5Ni
	40ХН (А)	0,35 (0,37)—0,45	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,5
	45ХН	0,40—0,50	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,5
	50ХН	0,45—0,55	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,5
	12ХН2 (А)	≤ 0,17 (0,11—0,17)	0,3—0,6	0,6—0,9	1,5—2,0
	12ХН3 (А)	≤ 0,17 (0,11—0,17)	0,3—0,6	0,6—0,9	2,75—3,25
	20ХН3А	0,17—0,25	0,3—0,6	0,6—0,9	2,75—3,25
	30ХН3 (А)	0,25 (0,27)—0,35	0,3—0,6	0,6—0,9	2,75—3,25
	37ХН3А	0,33—0,41	0,25—0,55	1,2—1,6	3,0—3,50
	12ХН4 (А)	≤ 0,17 (0,11—0,17)	0,3—0,6	1,25—1,75	3,25—3,75
	20ХН4 (А)	0,15—0,22	0,3—0,6	1,25—1,75	3,25—3,75
	25ХН4А **	0,17—0,27	0,3—0,6	0,80—1,10	4,0—4,5
Э6**	0,25—0,33	0,25—0,6	0,7—1,1	3,3—4,0	
35ХН3А**	0,33—0,38	0,25—0,55	1,2—1,6	3,0—3,5	
Кремниомолибденовая	55СМА**	0,5—0,6	0,3—0,5	< 0,30	0,8—1,0 Si 0,4—0,6Mo
Хромомарганцево-никелевая	38ХГН**	0,35—0,42	0,8—1,1	0,5—0,8	0,7—1,1 Ni 0,05—0,10Mo
Хромокремнистая	33ХС (А)	0,29—0,37	0,3—0,6	1,3—1,6	1,0—1,3Si
	37ХС (40СХ)	0,32—0,42	0,3—0,6	1,3—1,6	1,0—1,3
	40ХС (А)	0,37—0,45	0,3—0,6	1,3—1,6	1,2—1,6 (1,0—1,3)
Кремнемарганцевая	27СГ	0,22—0,32	1,1—1,4	≤ 0,3	1,1—1,4
	35СГ	0,30—0,40	1,1—1,4	≤ 0,3	1,1—1,4
Хромокремнемарганцевая	20ХГС (А)	0,15—0,25 (0,17—0,24)	0,8—1,1	0,8—1,1	0,9—1,2
	25ХГС (А)	0,22—0,30 (0,29)	0,8—1,1	0,8—1,1	0,9—1,2
	30ХГС (А)	0,25—0,35 (0,28—0,39)	0,8—1,1	0,8—1,1	0,9—1,2
	35ХГС (А)	0,30—0,40 (0,32—0,39)	0,8—1,1	1,1—1,4	1,1—1,4
	ЭИ196**	0,13—0,18	0,9—1,1	0,5—0,7	0,6—0,9
	Хромоалюминиевая	35ХЮА	0,31—0,39	0,3—0,6	1,35—1,65
Хромомолибденоалюминиевая	38ХМЮА	0,35—0,42	0,3—0,6	1,35—1,65	0,7—1,1 Al 0,15—0,25 Mo
Хромомолибденованадиевая	35ХМФА	0,30—0,38	0,4—0,7	1,0—1,3	0,20—0,30 Mo 0,10—0,20 V
	25Х2МФА	0,22—0,29	0,4—0,7	1,5—1,8	0,20—0,30Mo 0,15—0,30 V
	Э10**	0,22—0,30	0,4—0,7	1,6—1,8	0,25—0,35 Mo 0,20—0,30 V
Хромоникельванадиевая	20ХН4ФА	0,17—0,24	0,25—0,55	0,7—1,1	3,75—4,25 Ni 0,15—0,30 V

** По техническим условиям завода. [181]

Продолжение

Тип стали	Марка стали	Химический состав в %			
		С	Mn	Cr	Прочие
Хромоникельволь- фрамовая	18XНВА	0,14—0,21	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,5 Ni 0,8—1,2 W
	25XНВА	0,21—0,28	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,5 Ni 0,8—1,2 W
Хромоникелемолиб- деновая	12X2Н3МА	0,10—0,17	0,3—0,6	1,45—1,75	2,75—3,25 Ni 0,20—0,30 Mo
	18X2Н4МА	0,15—0,22	0,4—0,7	1,45—1,75	3,25—3,75 Ni 0,20—0,30 Mo
	20XНМ **	0,15—0,22	0,4—0,7	0,4—0,6	1,6—2,0 Ni 0,20—0,30 Mo
	33XН3МА	0,29—0,37	0,5—0,8	0,8—1,1	2,50—3,00 Ni 0,20—0,30 Mo
	40XНМА	0,36—0,44	0,5—0,8	0,6—0,9	1,25—1,75 Ni 0,15—0,25 Mo
Хромоникелемолибде- нованадиевая	30XН2МФА	0,26—0,33	0,3—0,6	0,6—0,9	2,0—2,5 Ni 0,20—0,30 Mo 0,15—0,30 V
	45XНМФА	0,42—0,50	0,5—0,8	0,8—1,1	1,3—1,8 Ni 0,20—0,30 Mo 0,10—0,20 V
	ЭИ355**	0,15—0,20	0,6—0,9	1,8—2,2	2,2—2,6 Ni 0,20—0,30 Mo ≤ 0,10 V

* Обозначение марок стали, например, 15X (А) . . . 45X (А) и т. д., указывает, что данные марки относятся как к качественной, так и к высококачественной стали. Указанное в скобках содержание углерода относится к высококачественной стали, например, 15XA содержит 0,12—0,18% С. В качественной стали содержится S и P по 0,040%; в высококачественной S ≤ 0,030%, P ≤ 0,035% (в стали никелевой, ЭИ275, ЭИ274, 35XН3А, ЭИ10 и ЭИ355 S и P по ≤ 0,035%); Si = 0,17 + 0,37% во всех марках стали (когда кремний не является легирующим элементом); Cr ≤ 0,30% и Ni ≤ 0,40% во всех марках стали (когда Cr и Ni не являются легирующими элементами) за исключением стали марок 15М (А), 20М (А), 27СГ, 15ХМА, в которых Ni ≤ 0,30% и ЭИ275, ЭИ274, в которых Ni ≤ 0,050%; Si ≤ 0,30% в качественной стали и ≤ 0,25% в высококачественной.

** По техническим условиям завода [181].

НОРМЫ ТВЕРДОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ НА ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ ОБРАЗЦАХ (по ГОСТ 4543-48) [177, т. 3; 181]

Марка стали	Нормы твердости H _B (не более) **	Закалка t в °С, охлаждающая среда (м — масло, в — вода) **	Отпуск t в °С	Механические свойства ****				
				σ _{sp} в кг/мм ²	σ _T в кг/мм ²	δ ₅ в %	ψ в %	α _K в кДж/см ²
не менее								
15X (А) *	179	860 _I , 780 _{II} , в	200	70	50	10 (11)	45 (50)	7 (8)
20X .	179	860 _I , в или м	200	80	60	10	40	6
30X .	187	860 _I , м	500	90	70	11	45	6
35X .	197	860 _I , м	500	95	75	10	45	6
38XA	207	860 _I , м	500	95	80	12	50	9
40X .	217	850 _I , м	500	100	80	9	45	6
45X .	229	840 _I , м	500	105	85	8	40	5
50X .	229	830 _I , м	500	110	90	8	40	4
20X3	219	880 _I , 860 _{II} , м	200	110	90	7,5	50	8
15XФ	187	860 _I , 780 _{II} , в	200	75	55	12	50	8
20XФ .	197	880 _I , в или м	500	80	60	12	50	8
40XФА	241	880 _I , м	650	90	75	10	50	9

Продолжение

Марка стали	Нормы твердости H_B (не более) ***	Закалка t в °С, охлаждающая среда (М — масло, В — вода) **	Отпуск t в °С	Механические свойства ****				
				$\sigma_{\text{вп}}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_2 в %	ψ в %	σ_H в кг/мм ²
				не менее				
50ХФА	255	860, М	475	130	110	10	45	—
20ХМ	197	880, В или М	500	80	60	12	50	—
30ХМ (А)	229	880, М	560	95	75	11 (12)	45 (50)	8 (9)
35ХМ (А)	241	850, М	560	95	80	11 (12)	45 (50)	7 (8)
35Х2МА	269	870, М	620	105	90	8	45	8
25Н**	207	860, В или М	650	50	30	20	50	7
30Н**	207	850, М	650	63	35	16	40	5
15НМ	197	860 _I , 780 _{II}	200	85	65	11	50	8
20ХГ	187	860, М	180	80	60	12	50	—
35ХГ2	229	870, М	600	85	70	12	45	8
40ХГ**	255	850, М	540	100	80	10	40	7
18ХГМ	217	960, М	190	110	90	10	50	9
40ХГМ	241	850, М	600	100	80	10	45	9
27СГ	217	920, М	420	100	80	12	40	5
35СГ	229	900, М	590	85	65	15	40	6
15ХН	197	860 _I , 780 _{II} , М или В	180	80	60	10	45	8
20ХН	197	840, М или В	500	80	60	10	50	8
40ХН	207	820, М	500	100	80	10	45	7
45ХН	207	820, М	530	100	80	10	45	7
50ХН	207	820, М	500	110	85	8	40	5
12ХН2 (А)	207	860 _I , 780 _{II} , М или В	200	80	60	12	50	8 (9)
12ХН3 (А)	217	860 _I , 780 _{II} , М	150	95	70	10 (11)	50 (55)	8 (9)
20ХН3А	241	820, М	500	95	75	11	55	10
30ХН3	241	820, М	530	100	80	9	45	8
37ХН3А	269	820, М	530	115	100	10	50	6
25ХН4А	269	820, М	530	100	80	8	45	7
12Х2Н4 (А)	269	880 _I , 780 _{II} , М	200	110	85	10	50	8 (9)
20Х2Н4 (А)	269	880 _I , 780 _{II} , М	200	120	110	9	45	7 (8)
33ХС	241	920, В или М	630	85	65	13	50	6
37ХС (40СХ)	255	900, М	630, М	90	70	12	50	7
40ХС	255	900, М	540, М	125	105	12	40	5
20ХГС (А)	207	880, М	500	80	60	10	40	6
25ХГС (А)	217	880, М	520	80	60	10	40	6
30ХГС (А)	229	880, М	520	110	85	10	45	4, 5 (5)
35ХГС (А)	241	3из0	—	165	130	9	40	6
35ХМФА	229	880 → 280 — 310	630	110	95	10	50	9
18ХНВА	269	950 _I , 850 _{II} , возд.	160	115	85	12	50	10
25ХНВА	269	850, М	560	110	95	11	45	9
12Х2Н3МА	269	860, М	180	100	80	9	50	9
18Х2Н4МА	269	950, возд.	200	115	85	10	45	10
40ХНМА	269	850, М	600	100	85	12	55	10
20ХН2МФА	241	860, М	680	90	80	10	40	9
45ХНМФА	269	860, М	460, М	150	135	7	35	4
35ХЮА	220	940, М	650	95	75	10	50	8
38ХМЮА	220	940, М	650	100	85	15	50	9
20ХН4ФА	—	850, М	510, М	110	90	10	50	8

* Указанные в скобках данные относятся к высококачественной стали.

** Данные по Энциклопедическому справочнику „Машиностроение“, т. 3, гл. VII, стр. 384.

*** Указана твердость стали в отожженном состоянии.

**** $\sigma_{\text{вп}}$, σ_T , δ и ψ по ГОСТ 1497-42; σ_H по ГОСТ 1524-42 на образцах, изготовленных из термически обработанных по указанному режиму заготовок для цементуемой стали сечением 15 мм и для перемешиваемой — 25 мм.

Указанные механические свойства характеризуют сталь только в образцах небольшого сечения и не определяют свойств этой же стали в деталях большого сечения. Этими данными пользуются для контроля качества стали, поставляемой металлургическими заводами.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРДЦЕВИНЫ ЦЕМЕНТУЕМОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ И НИЗКОГО ОТПУСКА [133]

Марка стали	Термическая обработка		Механические свойства *					Н _B	
	Закалка		Отпуск в °С **	$\sigma_{вР}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %		α_H в кг/мм ²
	f °С **	Среда							
10 .	780		180	40	25	25	55	—	137
	800		200						
20 .	780		180	50—60	28—35	18	45	—	145—160
	800		200						
15Г	780		180	50	30	17	45	—	140—160
	800		200						
20Г	850		300	125—130	—	6,5	57—60	8,0—9,0	364
15Х	780		180	62	38	15	45	6	179
	800		200						
20Х	780		180	65	40	13	40	5	197
	800		200						
20ХЗ	860		190	110	90	7	50	9	285—415
	870		210						
20ХГ	800		180	80	60	10	40	6	229
	820		200						
15ХФ	780		190	80	60	9	50	7	241—255
	800		210						
15ХМА	840		150	125	—	—	—	14	—
18ХГМ	820		190	110	90	7	50	9	285—388
	830		210						
ЭИ274	800		180	110	90	10	50	9	321—364
	820		200						
18ХГТ	800		180	115	95	10	50	8	332—375
	820		200						
13Н2А	800		160	60	40	15	50	11	180—302
	820		180						
15НМ	780		190	85	75	10	50	9	241—255
	800		210						
12ХН2А	780		180	80	60	12	50	9	229
	800		200						
12ХН3А	780		180	85	70	10	50	8	241
	800		200						
20ХН3А	780		180	—	—	—	—	10—13,7	383—398
	800		200						
12Х2Н4А	780		160	100	80	10	55	10	321—426
	800		180	130	110	9	45	8	
20Х2Н4А	780		160	125—145	115	7	45	8	321—444
	800		180	145—160	130	7	40	7	
18ХНВА	810		150	115	85	11	50	12	331—388
18ХНМА	820		180						
12Х2Н3МА	780		180	120	95	10	50	9	328—386
	800		200						

* При испытании на стандартных образцах.

** Указаны пределы температур.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ (по ГОСТ 2334-50)

№ по пор.	Класс поковки	Показатели механических свойств *					Твердость	
		$\sigma_{\text{вР}}$ в кг/мм ²	$\sigma_{\text{Т}}$ в кг/мм ²	δ в %	ψ в %	$a_{\text{Н}}$ в кг.м/см ²	НВ	диаметр отпечатка
		не менее						
1	КТ-35	60	35	12	40	5	179—207	4,5—4,2
2	КТ-40	65	40	12	40	5	187—212	4,45—4,15
3	КТ-45	70	45	12	40	5	196—229	4,30—4,0
4	КТ-50	75	50	10	40	5	207—235	4,20—3,95
5	КТ-55	80	55	10	40	5	217—248	4,10—3,85
6	КТ-60	85	60	10	40	4,5	229—262	4,00—3,75
7	КТ-65	90	65	8	35	4,5	241—277	3,90—3,65
8	КТ-70	95	70	8	35	4,5	248—286	3,85—3,60
9	КТ-75	100	75	8	35	4,0	262—302	3,75—3,50
10	КТ-80	105	80	8	35	4,0	269—311	3,70—3,45

* Обозначения: К — сталь качественная; Т — термически обработанная; двухзначная цифра — значение предела текучести.

** Значения механических свойств относятся к нормальному продольному цилиндрическому пятикратному образцу и нормальному ударному образцу (ГОСТ 1524-42). Для радиальных и тангенциальных образцов показатели механических свойств уменьшаются против норм (см. ГОСТ).

Группы поковок по эксплуатационным требованиям

Группа	Характеристика групп	Обязательные показатели механических свойств	Порядок испытания
Н	Неответственные поковки, изготавливаемые из стали одной марки	НВ	> 10% от партии одного чертежа и одной марки стали
О	Ответственные, изготавливаемые из стали одной плавки	$\sigma_{\text{Т}}$, δ или $\sigma_{\text{Т}}$, ψ	> 5% от партии одного чертежа, одной марки и одной плавки
ОО	Особо ответственные поковки, подлежащие поштучным испытаниям	$\sigma_{\text{Т}}$, δ , $a_{\text{Н}}$ или $\sigma_{\text{Т}}$, ψ , $a_{\text{Н}}$	Испытывается каждая поковка

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА * КАЛИБРОВАННОЙ ХОЛОДНОТЯНУТОЙ СТАЛИ

(по ГОСТ 1051-50) [181]

Марка стали **	Сталь нагретая				Сталь отожженная				Сталь для холодной высадки			
	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	δ_5 в % \geq	ψ в % \geq	$H_B \leq$	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	δ_5 в % \geq	ψ в % \geq	$H_B \leq$	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	δ_5 в % \geq	ψ в % \geq	$H_B \leq$
10 .	42	8	50	187	30	26	55	143	45	24	60	131
15 .	45	8	45	197	35	23	55	149	55	18	50	131
20 .	50	7,5	40	207	40	21	50	163	—	—	—	—
25 .	55	7	40	217	42	19	50	170	—	—	—	—
30 .	57	7	35	229	45	17	45	179	—	—	—	—
35 .	60	6,5	35	229	48	15	45	187	—	—	—	156
40 .	62	6	35	241	52	14	40	197	—	—	—	—
45 .	65	6	30	241	55	13	40	207	—	—	—	163
50 .	67	6	30	255	57	12	40	217	—	—	—	—
15Г .	50	7,5	40	207	40	21	50	163	—	—	—	—
50Г .	70	5,5	30	269	60	10	35	229	—	—	—	—
50Г2 .	75	5	25	285	65	9	30	241	—	—	—	—
15Х .	—	—	—	217	—	—	—	179	—	—	—	—
20Х .	—	—	—	229	—	—	—	179	—	—	—	—
30Х . .	—	—	—	241	—	—	—	187	—	—	—	—
35Х .	—	—	—	255	—	—	—	207	—	—	—	—
40Х .	—	—	—	269	—	—	—	217	60	14	50	179
45Х, 30ХН, 40ХФ, .	—	—	—	269	—	—	—	229	—	—	—	—
30ХГСА и 20ХНЗ .	—	—	—	255	—	—	—	207	—	—	—	—
20ХЗ .	—	—	—	217	—	—	—	187	45	20	60	143
15ХФ .	—	—	—	269	—	—	—	207	—	—	—	—
40ХН .	—	—	—	269	—	—	—	217	—	—	—	—
50ХН, 12ХНЗ .	—	—	—	—	—	—	—	255	—	—	—	—
12Х2Н4 и 40ХНМ . . .	—	—	—	—	—	—	—	269	—	—	—	—
35Х2Н4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Механические свойства — $\sigma_{вр}$, δ и ψ по требованию заказчика; твердость H_B в состоянии поставки. Глубина обезуглероженного слоя должна быть не более 1,5% диаметра

** Марки стали с суженными пределами химического состава в %:

10 — 0,05—0,15 С; \leq 0,5 Мп; \leq 0,03 Si

15 — 0,15—0,22 С; \leq 0,5 Мп; \leq 0,07 Si

20 — 0,15—0,25 С; \leq 0,5 Мп; \leq 0,20 Si

35 — 0,30—0,40 С; \leq 0,6 Мп; \leq 0,20 Si

40Х — 0,34—0,42 С; 0,5—0,8 Мп; \leq 0,20 Si; 0,8—1,1 Cr

15ХФ — 0,12—0,20 С; 0,3—0,6 Мп; \leq 0,20 Si; 0,8—1,1 Cr; 0,1—0,2 V.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И НОРМЫ ТВЕРДОСТИ ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 801-47) [181]

Марка стали	Химический состав в %							Твердость стали																															
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Отожженной H _B	Холоднотянутой после закали H _{RC}																														
									шлифованной	нешлифованной																													
	не более										не менее																												
ШХ6	1,05—1,15	0,20—0,40	0,15—0,35	0,90—1,20	0,30	0,027	0,020	207—170	62	59																													
ШХ9	1,00—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	1,30—1,65	0,30	0,027	0,020	207—170	62	59																													
ШХ15	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	1,30—1,65	0,30	0,027	0,020	207—170	62	60																													
ШХ15СГ	0,95—1,10	0,90—1,02	0,40—0,65	1,30—1,65	0,30	0,027	0,020	207—170	62	—																													
ШХ10*	0,32—0,42	0,40—0,70	0,17—0,37	0,8—1,20	≤ 0,20	0,030	0,030	—	—	—																													
<p>Обезуглерожженный слой в горячекатанной стали не должен превышать следующих норм:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Диаметр или толщина заготовки в мм.</td> <td>До 15</td> <td>15—30</td> <td>30—50</td> <td>50—70</td> <td>70—100</td> <td>100—150</td> </tr> <tr> <td>Глубина слоя в мм.</td> <td>0,25</td> <td>0,50</td> <td>0,75</td> <td>1,0</td> <td>1,25</td> <td>1,50</td> </tr> </table> <p>В холоднотянутой стали обезуглерожженный слой не должен превышать 1% диаметра или толщины; для шлифованной стали обезуглерожженный слой не допускается.</p> <p>Оценка качества по неметаллическим включениям при плавочном контроле на заготовке 90×90 мм производится по баллам. Допускаются следующие предельные нормы баллов:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Вид стали</td> <td>Оксиды</td> <td>Сульфиды</td> <td>Карбиды</td> <td>Сумма баллов</td> </tr> <tr> <td>Электросталь отожженная</td> <td>2,5</td> <td>2,5</td> <td>1,5</td> <td>5,5</td> </tr> <tr> <td>То же, неотожженная</td> <td>3,0</td> <td>3,0</td> <td>3,0</td> <td>6,0</td> </tr> </table>											Диаметр или толщина заготовки в мм.	До 15	15—30	30—50	50—70	70—100	100—150	Глубина слоя в мм.	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50	Вид стали	Оксиды	Сульфиды	Карбиды	Сумма баллов	Электросталь отожженная	2,5	2,5	1,5	5,5	То же, неотожженная	3,0	3,0	3,0	6,0
Диаметр или толщина заготовки в мм.	До 15	15—30	30—50	50—70	70—100	100—150																																	
Глубина слоя в мм.	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50																																	
Вид стали	Оксиды	Сульфиды	Карбиды	Сумма баллов																																			
Электросталь отожженная	2,5	2,5	1,5	5,5																																			
То же, неотожженная	3,0	3,0	3,0	6,0																																			
* По ГОСТ 808-49 на проволоку для витых роликов (сталь ШХ10 содержит ≤ 0,25 Сн).																																							

ХАРАКТЕРИСТИКА СТАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ И ПРОВОЛОКИ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ШАРИКО- И РОЛИКОПОДШИПНИКОВ [181]

ГОСТ или ТУ	Назначение	Размеры $b \times a$ в мм	Марка стали	Механические и прочие свойства															
<i>Лента</i>																			
ТУМ1-68-47	Для изготовления раз- резных колец	2,9 × 130 3,25 × 130 3,8 × 130	65Г	$\sigma_{вр} < 85$; $\delta \geq 12$ при $l = 11,3\sqrt{F}$; 90—100 H_{RB} . Излом мелкозернистый; микро- структура — зернистый перлит; обезуглеро- женный слой $\leq 0,04$ мм															
ТУМ1-71-47	То же	0,7 × 25,0 0,75 × 38,1 1,0 × 38,0 2,38 × 50,8	65Г	$\sigma_{вр} = 65 + 85$; $\delta \geq 7$ при $l = 11,3\sqrt{F}$, 90 H_{RB} (для ленты $b = 1,0$ и 2,38 мм). Излом — мелкозернистый; обезуглерожен- ный слой $\leq 0,02$ мм на сторону															
<i>Проволока</i>																			
808-49	Плоская проволока для витых роликов	$\emptyset \nabla \wedge 2,5$ $\emptyset \nabla \wedge 2,5$	ШХ10*	$\sigma_{вр} = 58 + 83$; $\delta > 7$ } 45 H_{RC} $\sigma_{вр} = 52 + 77$; $\delta > 12$ }															
4605-49	Для заклепок и распо- рок сепараторов для заклепок для распорок	$\emptyset \nabla \wedge 1,4$ $\emptyset \nabla \wedge 1,4$ $\emptyset \nabla \wedge 4,0$ $\emptyset \nabla \wedge 4,0$	15 20	$\sigma_{вр} = 45 + 60$; $\delta > 3$ $\sigma_{вр} = 40 + 55$; $\delta > 3$ $\sigma_{вр} = 65 + 80$; $\delta > 3$ $\sigma_{вр} = 60 + 75$; $\delta > 3$															
4727-49	Для шариков и роликов	$\emptyset \nabla \wedge 10$ $\emptyset \nabla \wedge 10$	ШХ6** ШХ9**	$\sigma_{вр} = 60 + 73$; 62 H_{RC} Излом мелкозернистый. Микроструктура — мелкозернистый перлит (не допускаются участки пластинчатого перлита и карбидная сетка) Обезуглероженный слой $< 1\%$ на диаметр															
<p>* Механические свойства определяются на образцах с расчетной длиной 100 мм; при этом $l = ab - 0,18b$, где a — ширина, b — толщина проволоки. Твердость определяется после закалки, производимой по режиму: $3\ 840^\circ$, $\tau = 45$ мин., m; $O_n\ 180^\circ$, $\tau = 2$ часа.</p> <p>** Неметаллические включения в баллах:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Оксиды</th> <th>Сульфиды</th> <th>Карбиды</th> <th>Сумма баллов</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ШХ6</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>0,5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>ШХ9</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>						Оксиды	Сульфиды	Карбиды	Сумма баллов	ШХ6	2	2	0,5	4	ШХ9	2	2	1	4
	Оксиды	Сульфиды	Карбиды	Сумма баллов															
ШХ6	2	2	0,5	4															
ШХ9	2	2	1	4															

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ (по ГОСТ В-2052-43) [181]

Марка стали	Химический состав в %				
	C	Mn	Si	Cr	Прочие
65 .	0,60—0,70	0,50—0,80	0,17—0,37	≤0,3	Ni ≤0,3
70 .	0,65—0,75	0,50—0,80	0,17—0,37	≤0,3	≤0,3
75 .	0,70—0,80	0,45—0,75	0,15—0,30	≤0,3	≤0,5
85 .	0,80—0,90	0,45—0,75	0,15—0,30	≤0,3	≤0,5
65Г .	0,60—0,70	0,70—1,00	0,17—0,37	≤0,3	≤0,3
55ГС .	0,50—0,60	0,60—0,90	0,50—0,80	≤0,3	≤0,5
55С2* .	0,50—0,60	0,60—0,90	1,50—2,00	≤0,3	≤0,5
60С2* .	0,55—0,65	0,60—0,90	1,50—2,00	≤0,3	≤0,5
60С2А* .	0,55—0,65	0,60—0,90	1,60—2,00	≤0,3	≤0,5
63С2А* .	0,60—0,65	0,60—0,90	1,80—2,20	≤0,3	≤0,3
70С3А .	0,65—0,75	0,60—0,90	2,40—2,80	≤0,3	≤0,5
70С2ХА* .	0,65—0,75	0,40—0,60	1,40—1,70	0,2—0,4	≤0,3
50ХГ* .	0,45—0,55	0,70—1,00	0,15—0,30	0,90—1,20	≤0,5
55СГ .	0,50—0,60	0,8—1,0	1,3—1,8	≤0,3	≤0,3
60СГ .	0,55—0,65	0,8—1,0	1,3—1,8	≤0,3	≤0,3
60СГА .	0,55—0,63	0,8—1,0	1,3—1,8	≤0,3	≤0,3
50ХГА* .	0,45—0,55	0,80—1,00	0,15—0,30	0,95—1,20	≤0,2
60С2ХА .	0,55—0,65	0,45—0,70	1,40—1,80	0,70—1,00	≤0,3
50ХФА .	0,45—0,55	0,30—0,60	0,15—0,30	0,75—1,10	≤0,3
60С2ХФА .	0,55—0,65	0,45—0,70	1,40—1,80	0,90—1,20	0,15—0,25 V ≤0,3;
65С2ВА .	0,60—0,70	0,70—1,00	1,50—2,00	≤0,3	0,10—0,20 V ≤0,3;
60С2Н2А .	0,55—0,65	0,45—0,70	1,40—1,80	≤0,3	0,8—1,2 W 1,40—1,80
С-65А** . . .	0,65—0,70	0,40—0,55	0,15—0,25	≤0,12	≤0,20; ≤0,05; Al; 0,15 Св
50ХФА** .	0,48—0,55	0,80—1,00	0,15—0,30	0,95—1,20	≤0,20; 0,15—0,25 V
ЭИ142** .	0,65—0,75	0,40—0,60	1,40—1,70	0,2—0,4	≤0,2
ЭИ272** .	0,37—0,47	0,50—0,80	1,60—2,00	≤0,25	≤0,3

В стали марок 65 и 70 содержится по ≤0,045% S и P; 75—60С2 и 50ХГ ≤0,045% S и ≤0,040% P; С-65А — по ≤0,025% S и P; 60С2А, 70С3А, 50ХГА, 60С2ХА, 50ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А и 60С2ХФА ≤0,030% S, ≤0,035% P; 50ХГФА и ЭИ272 — по ≤0,040% S и P; 70С2ХА — по ≤0,030% S и P.

* Данные марки стали изготавливаются также по ГОСТ 4555-48 с содержанием Ni ≤0,3% и P ≤0,30% (для стали 50ХГА, 60С2А, 50ХГФА); сталь марки 70С2ХА по ГОСТ 2283-43.

** По техническим условиям заводов [181].

**НОРМЫ ТВЕРДОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ
НА ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ ОБРАЗЦАХ**
[177, т. 3]

Марка стали	Нормы твердости НВ не более	Термическая обработка (температура в °С и охлаждающая среда)		Механические свойства			
		Закалка (м—масло)	Отпуск	$\sigma_{вр}$	σ_T	δ_5	ψ
				в кг/мм ²	в кг/мм ²	в %	в %
Не менее							
65 .	255	830, м	380	100	80	9	35
70 .	269	820, м	380	105	85	8	30
75 .	285	810, м	380	110	90	7	30
85 .	302	810, м	380	115	100	6	30
65Г .	269	820, воздух	—	70	38	8	35
55ГС .	285	850, воздух	—	65	35	10	35
60СГА .	285	850, воздух	—	160	140	5	25
55С2, 55СГ .	285	890, м	400—510	130	120	6	30
60С2, 60СГ .	285	860, м	400—510	130	120	5	25
60С2А, 63С2А .	302	860, м	400—510	160	140	5	20
70С3А .		830, м	400—510	180	160	5	25
50ХГ .		850, м	490	130	110	5	35
50ХГА .		850, м	490	130	120	6	35
50ХФА .		860, м	400—450	130	110	10	45
60С2ХА .		860, м	420	180	160	5	20
60С2ХФА .		840, м	450	190	170	5	20
65С2ВА .		840, м	450	190	170	5	20
60С2Н2А .		840, м	400	175	160	5	20
С-65А		—	—	—	150	130	4
50ХГФА	302	860, м	490	130	120	5	35

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 5950-51)

Группа стали	Марка	Химический состав в % [*]					Твердость		
		C ***	Mn	Si	Cr	Прочие	в состоянии поставки (после отжига или высокого отпуска) H_B	После закалки	
								$t^{\circ}C$, охлаждающая среда	H_{RC}
Хромистая	X12	2,00—2,30	< 0,35	< 0,40	11,5—13,0	—	269—217	950—1000, м	60
	X12M	1,45—1,70	< 0,35	< 0,40	11,0—12,5	0,15—0,30V 0,40—0,60Mo	255—207	950—1000, м	58
	XГ	1,30—1,50	0,45—0,70	< 0,35	1,30—1,60	—	241—197	800—830, м	61
	X	0,95—1,10	< 0,40	< 0,35	1,30—1,60	—	229—187	830—860, м	62
	X09	0,95—1,10	< 0,40	< 0,35	0,75—1,05	—	229—179	830—860, м	62
	9X	0,80—0,95	0,25—0,35	0,25—0,45	1,40—1,70	—	217—179	820—850, м	62
	X05	1,25—1,40	0,20—0,40	< 0,35	0,40—0,60	—	241—187	780—810, в	64
	7X3	0,60—0,75	0,20—0,40	< 0,35	3,20—3,80	—	229—187	850—880, м	54
8X3	0,76—0,85	0,20—0,40	< 0,35	3,20—3,80	—	255—207	850—880, м	55	
Хромокремнистая	9XC	0,85—0,95	0,30—0,60	1,20—1,60	0,95—1,25	—	241—197	820—860, м	62
	6XC	0,60—0,70	< 0,40	0,60—1,00	1,00—1,30	—	229—187	840—860, м	56
	4XC	0,35—0,45	< 0,40	1,20—1,60	1,30—1,60	—	207—170	880—900, м	47
Хромокремнемарганцевая	XГC	0,95—1,10	0,80—1,20	0,5—1,0	1,4—1,8	—	255—207	820—860, м	62
Ванадиевая	Ф	0,95—1,05	0,20—0,40	< 0,35	—	0,20—0,40V	217—179	780—820,	62
Хромованадиевая	8XФ	0,75—0,85	0,20—0,40	< 0,35	0,50—0,80	0,15—0,30V	207—170	800—850,	61
	85XФ	0,80—0,90	0,30—0,60	< 0,35	0,45—0,70	0,15—0,30V	—	—	42
Вольфрамовая	B1	1,05—1,25	0,20—0,40	< 0,35	0,10—0,30	0,80—1,20W 0,15—0,30V**	229—187	800—850, в	62
Хромовольфрамовая	3X2B8	0,30—0,40	0,20—0,40	< 0,35	2,20—2,70	7,50—9,00W 0,20—0,50V	255—207	1075—1125, м	46
	4X8B2	0,35—0,45	0,20—0,40	< 0,35	7,00—9,00	2,00—3,00W	255—207	1025—1075, м	45
	XB5	1,25—1,50	< 0,30	< 0,30	0,40—0,70	4,50—5,50W 0,15—0,30V**	285—229***	800—820, в	65

Группа стали	Марка	Химический состав в %					Твердость		
		С	Mn	Si	Cr	Прочие	в состоянии поставки (после отжига или высокого отпуска) H_B	После закалки	
								$^{\circ}C$, охлаждающая среда	H_{RC}
Хромовольфрамкремнистая	4XВ2С	0,35—0,44	0,20—0,40	0,60—0,90	1,00—1,30	2,00—2,50W	217—179	860—900, в	53
	5XВ2С	0,45—0,54	0,20—0,40	0,50—0,80	1,00—1,30	2,00—2,50W	255—207	860—900, м	55
	6XВ2С	0,55—0,65	0,20—0,40	0,50—0,80	1,00—1,30	2,20—2,70W	285—229	860—900, м	57
Хромовольфраммарганцевая	XВГ	0,90—1,05	0,80—1,10	0,15—0,35	0,90—1,20	1,20—1,60W	255—207	800—830, м	62
	9XВГ	0,85—0,95	0,90—1,20	0,15—0,35	0,50—0,80	0,50—0,80W	241—197	800—830, м	62
	5XВГ	0,55—0,70	0,90—1,20	0,15—0,35	0,50—0,80	0,50—0,80W	217—179	850—900, м	57
Хромоникелевая	5XНМ	0,50—0,60	0,50—0,80	< 0,35	0,50—0,80	1,40—1,80Ni 0,15—0,30Mo	241—197	830—860, м	47
	5XНТ	0,50—0,60	0,50—0,80	< 0,35	0,9—1,25	1,40—1,80Ni 0,08—0,15Ti	< 241	—	—
Хромомарганцеволибденовая	5XГМ	0,50—0,60	1,20—1,60	0,25—0,65	0,6С—0,90	0,15—0,30Mo	241—197	820—850, м	50

* Содержание S и P $\leq 0,030\%$ каждого; содержание Ni для X12 и X12M $\leq 0,35\%$; для 9X, 7X3, 8X3, 9XC, 4XC, XГC, 8XФ, Ф, 3X2B8, 4XВ2С, 5XВ2С, 6XВ2С, XВГ, 5XВГ, 5XГМ $\leq 0,25\%$; для штампового инструмента $\leq 0,30\%$; для остальных марок стали $\leq 0,25\%$. По требованию потребителя — для стали X1,2—1,3% С, для стали 8XФ 0,65—0,80% С, для стали 85XФ $\leq 0,02\%$ S и $\leq 0,2\%$ Ni, для стали 3X2B8 0,40—0,50% С; для стали 9X в случае ее применения для валков холодной прокатки диаметром > 300 мм $\leq 1,9\%$ Cr при 0,78—0,92% С.

** Обязательное содержание V оговаривается в заказе.

*** Для полос и квадратов твердость стали XB5 321—255 H_B .

**** Глубина обезуглероживающего слоя горячекатанной и кованой стали на сторону от фактического размера стали не должна превышать для стали размером от 8 до 10 мм 0,35 мм

• 10	• 15	• 0,40
• 16	• 30	• 0,50
• 31	• 50	• 0,65
• 51	• 70	• 1,0
• > 71		• 1,5%

Глубина обезуглероживания холоднокатанной стали IV и V классов точности $\leq 1,5\%$ на сторону от фактического диаметра или толщины (для стали, легированной кремнием $\leq 2,0\%$).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ (по ГОСТ В-1435-42) И ТВЕРДОСТЬ В ЗАКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ (177, т. 3, гл. VII); [181]

Марка стали	Химический состав в %*		Термическая обработка.** Закалка (в—вода м—масло)	Твердость H_{RC} (после закалки)
	С	Мп		
У7	0,60—0,74	≤ 0,40	800—830°, в	61—63
У8	0,75—0,85	≤ 0,40	790—820°, в	61—63
У8Г	0,80—0,90	0,35—0,60	800—830°, в→м	61—63
У9	0,86—0,94	≤ 0,35	780—810°, в→м	62—64
У10	0,95—1,09	≤ 0,30	770—790°, з→м	62—64
У10Г	0,95—1,09	0,15—0,40	760—810°, м	61—63
У10	1,10—1,25	≤ 0,30	760—780°, в→м	62—65
У13	1,26—1,40	≤ 0,40	—	—

* Высококачественная инструментальная углеродистая сталь обозначается У7А, У8ГА, У13А. В качественной стали $S \leq 0,035\%$ и $P \leq 0,012\%$, в высококачественной стали $S \leq 0,020\%$ и $P \leq 0,030\%$. В качественной стали и в стали У8ГА и У10ГА $Si \leq 0,35\%$; во всех остальных марках высококачественной стали $Si \leq 0,030\%$. В стали У8, У8Г, У10Г, У8ГА и У10ГА $Cr \leq 0,30\%$ во всех остальных марках стали $Cr \leq 0,20\%$. Во всех марках стали $Ni \leq 0,25\%$.

** Температура отжига 750—760° для стали марок У7—У9 и 760—780° и У10—У13; охлаждение со скоростью 50° в час до 500—550°, далее на воздухе.

Охлаждение после закалки в→м означает до 200—250° в воде или в 5%ном водном растворе поваренной соли с последующим охлаждением в масле. Инструмент диаметром до 6—8 мм может охлаждаться в масле или расплавленной соли (селитре) при 150—160° и далее на воздухе. Температура отпуска принимается от 160° и выше в зависимости от требуемой твердости инструмента.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ (по ГОСТ 5952-51)

Марка стали	Химический состав в %*				Твердость в состоянии поставки H_B	Твердость стали в состоянии закалки и отпуска H_{RC}
	С**	Сг	W	V		
P18	0,7—0,8	3,8—4,4	17,5—19,0	1,0—1,4	285—207	} 62
P9	0,85—0,95	3,8—4,4	8,5—10,0	2,0—2,6	∅ 3,6—4,2 мм ∅ 3,8—4,2	

* В обеих марках стали содержание Мп ≤ 0,4%, Si ≤ 0,4%, Mo ≤ 0,3%; S ≤ 0,03%; P ≤ 0,03%. Если в стали обеих марок молибден содержится более 0,3%, то содержание вольфрама в стали снижается против указанного в таблице на основании соотношения: 1% Mo заменяет 2% W; к марке стали в этом случае добавляется буква М (P18М или P9М). Содержание молибдена допускается: в стали марки P18М в пределах 0,3—1,0%, P9М 0,3—0,6% (см. ГОСТ 5650-51, 4405-48, 2689-44).

** Наибольшая глубина обезуглероженого слоя (феррит + переходная зона) горячекатанной кованой стали не должна превышать на сторону следующих значений (в мм) в зависимости от размеров.

Размер в мм	Марки стали		Размер в мм	Марки стали	
	P18; P9	P18М; P9М		P18; P9	P18М; P9М
от 6—15	0,40	0,45	60—70	0,80	1,10
15—30	0,50	0,60	70—80	1,0	1,35
30—50	0,70	0,85	80—100	1,35	1,60

Обезуглероженой слой на шлифованной стали не допускается.

НАЗНАЧЕНИЕ МАРОК СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ИНСТРУМЕНТА [181 *]

Тип инструмента	Марка стали
<i>1. Режущий инструмент</i>	
1) Резцы	
Резцы обдирочные и фасонные высшей производительности, работающие по стали при $\geq 300 H_B$.	P18, P9
То же при $\geq 300 H_B$, а также резцы для полубдирочных и чистовых работ	P9
То же для обработки стали при $\leq 220 H_B$, цветных металлов и серого чугуна	P9; XB5
Резцы токарные, строгальные, долбежные для ремонтных и лекальных работ	9XC, X, X09, XB5
2) Сверла	
Сверла, работающие в тяжелых условиях с большой скоростью	P9, B1
Сверла $\varnothing < 12$ мм, обрабатывающие мягкие материалы	Y12A, Y10A
Сверла $\varnothing < 25$ мм с относительно малым короблением при закалке	9XC, X, X09
Сверла $\varnothing < 25$ мм с относительно малым короблением при закалке и сверла длинные	X, XBГ
3) Фрезы	
Фрезы высокой производительности для обработки стали при $> 250 H_B$	P18, P9
То же при $< 250 H_B$, цветных металлов и серого чугуна (шлифованные фрезы)	P9
То же, нешлифованные фрезы	P9
Фрезы для обработки твердых металлов при умеренной скорости резания	XB5
Фрезы с малой деформацией при закалке и работающие с умеренной скоростью резания	9XC, 9XBГ, P18
4) Долбки	
5) Зенкеры, развертки	
Зенкеры высокой производительности, работающие по твердой стали	P9
То же, развертки	P9
Зенкеры и развертки высокой производительности	P9
То же, работающие с умеренной скоростью резания	9XC, Y12A
То же, с малой деформацией при закалке	X, 9XC
То же, длинные и тонкие	9XBГ, 9XC
6) Метчики	
Метчики машинные высокой производительности	P18
То же, работающие с умеренной скоростью резания	Y12A, Y10A
Метчики с малой деформацией при закалке	X, 9XBГ, X09
Метчики длинные, не деформирующиеся при закалке	9XBГ
7) Расточные пластины, перовые сверла	
Пластины и сверла высокой производительности для обработки стали при $\leq 250 H_B$.	P9
То же для обработки стали и чугуна при $\leq 250 H_B$.	9XC
8) Гребенки	
Гребенки винторезные	9XBГ, X, X09
Гребенки для обработки твердых металлов при умеренной скорости резания	XB5, XГ
с получением в обрабатываемой детали размеров высокой точности	P9
Гребенки высокой производительности	
9) Протяжки (брош)	
Протяжки высокой производительности	P18, P9
Протяжки, не деформирующиеся при закалке	9XBГ, XBГ
Цилиндрические небольших размеров, работающие с умеренной скоростью	9XC, X

Продолжение

Тип инструмента	Марка стали
10) Плашки	
Плашки ответственного назначения Плашки круглые То же крупных размеров Плашки круглые, не деформирующиеся при закалке	P18, P9 У12А, У10А, В1 Х, 9ХС, ШХ15 ХВГ, 9ХВГ, 9ХС
11) Пилы	
Сегменты к пилам Ножовки и рамные пилы .	P9 85ХФ
12) Деревообделочный инструмент	
Топоры, стамески, долоты Фрезы, зенковки, цековки Сверла спиральные Пилы продольные и дисковые	У7, У8 У8, ШХ6, 9Х В1, Х09, ШХ6, У10 У8, ШХ6, 5ХВ2С, 85ХФ
II. Инструмент, деформирующий металл в холодном состоянии	
Штампы простой формы, обрезные и вырубные штампы без резких переходов, холодновысадочные пуансоны и штемпели мелких размеров Штампы вытяжные крупных размеров, обрезные и вырубные штампы сложной формы, холодновысадочные пуансоны и штемпели крупных размеров	У10, У10А, У12
Холодновысадочные штампы, не деформирующиеся при закалке Штампы для прессования Ножи Штампы сложной конфигурации формовочные, крупные гибочные с минимальной деформацией при закалке Накатные ролики	Х12, Х12М, Х09, Х, ХГ, 9ХС, 6ХС, Ф 9ХС, 9ХВГ 30ХГС, 5ХВ2С 5ХВГ, 5ХВ2С, 6ХВ2С Х12 и Х12 (1,45—1,7%С) Х, ШХ15, ХВГ, 5ХВ2С, У10, У8
III. Инструмент, деформирующий металл в горячем состоянии	
Штампы кузнечные, обжимки, бойки Штампы молотовые, пуансоны Штампы ковочных машин для первых формирующихся операций, а также для резки горячей стали Матрицы для штамповки болтов и заклепок Штампы и ножи для резки при повышенных температурах Пуансоны прошивные и протяжные Матрицы горячей высадки для горизонтально-ковочных машин, пуансоны, ножи ковочных машин	У7 5ХГМ, 5ХНМ, 5ХНТ 6ХВ2С, 5ХВ2С 4ХВ2С 4ХС 35ХГСА 7ХЗ, 8ХЗ, 3Х2В8
IV. Прессформы для литья под давлением	
Формы для литья под давлением сплавов на медной основе и алюминиевых сплавов, литниковые буксы, стержни Плиты и литниковые буксы форм литья под давлением цинковых сплавов и литниковые буксы оловянно-свинцовистых сплавов Формы для литья под давлением магниевых и алюминиевых сплавов Плиты и стержни для форм литья под давлением оловянно-свинцовистых сплавов .	3ХВ8, 3Х13, 3Х2В8 5ХНМ, 5ХНТ 4ХВ2С, 4ХВС, 5ХВС, 4Х8В2 У8А, У10А
V. Измерительный инструмент	
Калибры резьбовые и калибры высокой точности (I—III классов) То же, длинные и сложной формы, не деформирующиеся при закалке Калибры IV и V классов точности с резкими переходами То же простой формы Плоские шаблоны и скобы .	ХГ, 9ХС (Х, ШХ15) 9ХВГ ХГ, Х У10, У12 08, 10; 15, 20 (с последующей цементацией)
VI. Кузнечно-слесарный монтажный инструмент	
Пневматический инструмент Зубила, молотки, кувалды То же, ответственного назначения Пробойники Обжимки для заклепок Шаберы слесарные Кернеры, борозки Державки для резцов Хвостовая часть сварных инструментов	4ХВ2С У7, 60, 65 4ХС Х09, ХС5, У8А У8, У7 У12, У10 У8, У7 45, 50, 40Х, 45Х 50, 55

* Таблица уточнена на основе приложения к ГОСТ 5950-51.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛИ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ [181]

ГОСТ или ТУ	Марка стали	Химический состав в %						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Прочие	
ТУ 471-48 завода Электросталь*	ЭИ256 (Г13)	1,0—1,4	11,0—14,0	≤ 0,7	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,10P	
	ЭИ349 (сваривающаяся со стеклом)	≤ 0,15	0,4—0,8	≤ 0,4	25,0—30,0	≤ 0,6	≤ 0,02 S ≤ 0,03 P	
То же	ЭИ94 (сердечниковая)	0,70—0,90	13,0—15,0	≤ 0,7	≤ 0,5	2,75—3,75	≤ 0,01P	
	55Г9Н9 (немагнитная)	0,45—0,55	8,0—9,0	0,17—0,37	≤ 0,20	8,0—9,0	≤ 0,05P	
	ЭИ269 (немагнитная)	0,50—0,60	4,0—5,5	≤ 0,6	≤ 0,25	18,5—21,5	≤ 0,05P	
	ЭИ423 (немагнитная)	0,60—0,70	8,0—9,0	0,2—0,4	2,5—3,2	8,0—9,0	≤ 0,08P	
	ЭИ429	0,15—0,25	6,0—7,0	≤ 0,05	11,0—15,0	10,0—13,0	—	
	ЭИ25 (элинвар)	≤ 0,40	0,3—0,6	≤ 0,5	7,3—8,3	36,5—38,5	≤ 0,03P	
ТУ 235 ММП	А (железо)	0,70—0,80	2,0—3,0	≤ 0,6	7,0—9,0	33,0—35,0	3,0—4,0Mo; ≤ 0,04P	
		≤ 0,025	≤ 0,035	≤ 0,030	—	—	≤ 0,025S; ≤ 0,015P; ≤ 0,15Cu	
	ТУ завода Серп и молот*	Э	≤ 0,040	≤ 0,20	≤ 0,20	—	—	≤ 0,030S; ≤ 0,025P; ≤ 0,015Cu

В марках стали, в которых не указано содержание S и P, допускается S ≤ 0,030%, и P ≤ 0,035%.

ОТЛИВКИ ФАСОНЫЕ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ
(по ГОСТ 2176-43 коррозионностойкие, жаростойкие и износостойкие)
Химический состав, механические и физические свойства

Свойства *	Марки		Свойства *	Марки	
	X28	X34		X28	X34
Химический состав в %			$\sigma_{вр}$ при $t = 800^\circ$ 900° 1000° 1100°	220—320	250—320
C	0,5—1,0	1,5—2,2		15—18	20—22
Cr	26—30	32—36		9—11	12—15
Si	0,5—1,3	1,3—1,7		5—7	10—12
Mn	0,5—0,8	0,5—0,8		3—4	6—8
P	≤ 0,1	≤ 0,1	Физические свойства		
S	≤ 0,08	≤ 0,1	γ в кг/дм ³	7,3—7,4	
Механические свойства **			$(0-200^\circ) \alpha \cdot 10^6 \frac{М.М}{М.град}$	9,4—10,0	
$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	≥ 35	≥ 40	Линейная усадка в %	1,5—1,8	
$\sigma_{вн}$ в кг/мм ²	≥ 55	≥ 50	E в кг/мм ²	18 000—22 000	
f при $t = 600$ в мм	≥ 6	≥ 5	Температура плавления в °C	1350—1450	

* Коррозионная стойкость в агрессивных средах см. ГОСТ 2176-43.
** См. ГОСТ 2055-43.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ, КИСЛОСТОЙКОЙ И ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 5632-51)

Название стали или сплава (тип стали или сплава)	Марка стали или сплава *	Химический состав в %							
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Прочие	S	P
								не более	
Группа I									
Нержавеющие									
Хромистая	1X13 (ЭЖ1)	≤ 0,15	≤ 0,6	≤ 0,6	12,0—14,0	≤ 0,6	—	0,030	0,035
	2X13 (ЭЖ2)	0,16—0,34	≤ 0,6	≤ 0,6	12,0—14,0	≤ 0,6	—	0,030	0,035
	3X13 (ЭЖ3)	0,25—0,34	≤ 0,6	≤ 0,6	12,0—14,0	≤ 0,6	—	0,030	0,035
	4X13 (ЭЖ4)	0,35—0,45	≤ 0,6	≤ 0,6	12,0—14,0	≤ 0,6	—	0,030	0,035
	X14 (ЭИ241)	≤ 0,15	≤ 0,7	≤ 0,7	13,0—15,0	≤ 0,6	—	0,2—0,4	0,035
	X18 (ЭИ229)	0,9—1,0	≤ 0,8	≤ 0,7	17,0—19,0	≤ 0,6	—	0,030	0,030
Кислотостойкие									
Хромоникелевая	X17 (ЭЖ17)	≤ 0,12	≤ 0,8	≤ 0,7	16,0—18,0	≤ 0,6	—	0,030	0,035
	X25 (ЭИ181)	≤ 0,20	≤ 1,0	≤ 0,8	23,0—27,0	≤ 0,6	—	0,030	0,035
	X28 (ЭЖ27 и ЭИ349)	≤ 0,15	≤ 1,0	≤ 0,8	27,0—30,0	≤ 0,6	—	0,030	0,035
	X17H2 (ЭИ268)	0,11—0,17	≤ 0,8	≤ 0,8	16,0—18,0	1,5—2,5	—	0,030	0,035
	0X18H9 (ЭЯ0)	≤ 0,07	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0—20,0	8,0—11,0	—	0,030	0,035
	1X18H9 (ЭЯ1)	≤ 0,14	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0—20,0	8,0—11,0	—	0,030	0,035
Хромоникелитановая	2X18H9 (ЭЯ2)	0,15—0,25	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0—20,0	8,0—11,0	—	0,030	0,035
	1X18H9T (ЭЯ1T)	≤ 0,12	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0—20,0	8,0—11,0	(C — 0,03)·5 до 0,8Ti	0,030	0,035
Хромоникелениобиевая	X18H11B (ЭИ398 и ЭИ402)	≤ 0,10	≤ 1,0	≤ 2,0	17,0—20,0	9,0—13,0	8C до 1,5Nb	0,030	0,035
	X13H4Г9 (ЭИ100)	0,15—0,30	≤ 0,8	8,0—10,0	12,0—14,0	3,7—5,0	—	0,030	0,060
Хромомарганцевоникелевая	X18H12M2T (ЭИ171 и ЭИ448)	≤ 0,12	≤ 0,8	≤ 2,0	16,0—19,0	11,0—14,0	2,0—3,0Mo 0,3—0,6Ti	0,030	0,035
	То же	X18H12M3T (ЭИ183, ЭИ432 и ЭИ397)	≤ 0,12	≤ 0,8	≤ 2,0	16,0—19,0	11,0—14,0	3,0—4,0Mo 0,3—0,6Ti	0,030

* В скобках указаны прежние обозначения марок стали или сплава.

Название стали или сплава (тип стали или сплава)	Марка стали или сплава *	Химический состав в %						S	P
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Прочие		
Группа II									
Окалиностойкие до температуры 850—900°									
Хромокремнистая Хромокремнистоалюминиевая	X6C (ЭСХ6)	≤ 0,15	1,5—2,0	≤ 0,7	5,0—6,5	≤ 0,6	—	0,030	0,030
	X9C2 (ЭСХ8)	0,35—0,50	2,0—3,0	≤ 0,7	8,0—10,0	≤ 0,6	—	0,030	0,030
	X12ЮС (ЭИ404)	0,07—0,12	1,2—2,0	≤ 0,7	11,5—14,0	≤ 0,5	1,0—1,8Al	0,030	0,035
Окалиностойкие до температуры 1000—1100° **									
Хромокремнистая Хромотитановая Хромоникелевая	X25C3H (ЭИ261)	≤ 0,35	2,5—3,5	≤ 0,7	23,0—27,0	0,7—1,3	—	0,030	0,035
	X25T (ЭИ439)	≤ 0,15	≤ 1,0	≤ 0,8	23,0—27,0	≤ 0,6	4C + 0,8Ti	0,030	0,035
	X23H13 (ЭИ319)	≤ 0,30	≤ 1,0	≤ 2,0	22,0—25,0	12,0—15,0	—	0,030	0,035
Хромоникелекремнистая То же	X23H18 (ЭИ417)	≤ 0,20	≤ 1,0	≤ 2,0	22,0—25,0	17,0—20,0	—	0,030	0,035
	X20H14C2 (ЭИ211)	≤ 0,20	2,0—3,0	≤ 1,5	19,0—22,0	12,0—15,0	—	0,030	0,035
	X25H20C2 (ЭИ283)	≤ 0,20	2,0—3,0	≤ 1,5	23,0—27,0	18,0—21,0	—	0,030	0,035
	X18H25C2 (ЭЯ3С)	0,30—0,40	2,0—3,0	≤ 1,5	17,0—20,0	23,0—26,0	—	0,025	0,035
Жаропрочные до температуры 600—650° ***									
Хромомолибденовая Хромокремнистомолибденовая То же	X5M (ЭХ5М)	≤ 0,15	≤ 0,5	≤ 0,6	4,0—6,0	—	0,5—0,6Mo	0,030	0,030
	X6СМ (ЭСХ6М)	≤ 0,15	1,5—2,0	≤ 0,7	5,0—6,5	—	0,45—0,6Mo	0,030	0,035
	X7СМ	≤ 0,15	1,5—2,0	≤ 0,7	6,5—8,0	—	0,45—0,6Mo	0,030	0,035
Хромоникелекремнистая	X10С2М (ЭИ107)	0,35—0,45	1,9—2,6	≤ 0,7	9,0—10,5	≤ 0,5	0,7—0,9Mo	0,030	0,030
	X13H7C2 (ЭИ72)	0,25—0,37	2,0—3,0	≤ 0,7	11,5—14,0	6,0—7,5	—	0,030	0,030
Жаропрочные до температуры 700—800° ****									
Хромоникелевольфрамовая То же	4X14H14B2M (ЭИ69)	0,40—0,50	≤ 0,8	≤ 0,7	13,0—15,0	13,0—15,0	2,0—2,75W 0,25—0,40Mo	0,030	0,030
	1X14H14B2M (ЭИ257)	≤ 0,15	≤ 0,8	≤ 0,7	13,0—15,0	13,0—15,0	2,0—2,75W 0,45—0,60Mo	0,030	0,035
Хромоникелекремнистольфрамовая	X14H14CB2M (ЭИ240)	0,40—0,50	2,75—3,25	≤ 0,7	13,0—15,0	13,0—15,0	1,75—2,75W 0,25—0,40Mo	0,030	0,030

* В скобках указаны прежние обозначения марок стали или сплава.

** К этой группе относятся также стали X25 и X28.

*** Также сталь 1X18H9T.

**** Также сталь 1X18H12M3T.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ, ОКАЛИНОСТОЙКИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ МАРОК СТАЛИ [133, 140]

Марка стали	Термическая обработка	Механические свойства					
		$\sigma_{ср}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	a_H в кг/см ²	H_B
1X13 (Ж1)	Отж, 860°	40	20	23	70	10	179
	Отж, 780°	50	30	25	—	—	163
	H, 1050°; O 720°	70	—	23,5	67	15	207
	З, 1050—1100°, м	63	40	14	43	—	163
	З, 1050°, возд.	100	80	8	50	7	250—310
2X13 (Ж2)	З, 1050°, возд. O 600°	75	55	12	55	8	210—250
	З, 1000°, возд. O 730°	60	42	20	60	9	190—220
	Отж, 860°	50	25	22	65	9	187
	З, 1050°, возд.; O 700°	65	45	16	55	8	—
	З, 1050°, возд; O 500°	90—125	70—95	7	45	5—7	285—341
3X13 (Ж3)	Отж, 860°	55	30	20	60	7	207
	З, 1050, возд; O 600°	95	80	9	45	5	241—302
	З, 980—1050°, м; O 600°	85	65	12	45	5	241—302
4X13 (Ж4)	Отж, 860°	48—56	—	20—25	—	—	—
	З, 1050°, возд; O 600°	95	75	9	40—45	3	460—550
X17 (Ж17)	Отж, 760—780° (гор. прок.)	63	49	23	50	—	170—150
X18 (ЭИ229) X28 (Ж27)	Отж, 760—780 (хол. прок.)	49	35	32	70	—	170—150
	З, 1000—1050°, м; O 200—300°	—	—	—	—	—	≤255
	З, 850°, в (гор. прок.)	58	39	26	61	—	159
X6M	З, 950°, возд; (гор. прок.)	46	34	5	6	—	137
	Отж, 850°	46	26	26	76	17,6	—
	З, 900°, возд.	117,5	94,7	10	51,6	4,5	—
X19C2M (ЭИ107)	З, 900°, м; O 600°, возд.	93	80	$\delta_{10}=8,5$	61,8	6,35	—
	З, 950°, м; O 650°, м	70	50	18	40	6,0	207
	З, 950°, м; O 800°, возд.	57	—	$\delta_{10}=17,8$	—	—	153
	З, 1100—1150°, м; O 750—780°, в или м	90	70	15 (7)	35 (30)	3,0	208—321
	X9C2 (CX3)	Отж, 950°	86,8	68,8	23,2	53,5	—
З, 1000°, м; O 820°, в		87,9	69,5	25,0	59,6	7,24	~ 280
OX18H9 (Я0)	З, 1050°, в	56—70	22	45	60	11	140—175
1X18H9 (Я1)	З, 1100°, в	60—65	20—25	45	60	11	—
1X18H9T (Я1T)	З, 1050—1100°, в	54	22	40	60	11	140—170
X17H2 (ЭИ268)	З, 1150°, в	58	25	40	—	11	137
	З, 950—975°, м; O 275—350°	110	—	10	—	5	—
	З, 1100—1150°, в	55	20	40	55	—	—
X18H11B (ЭИ398)	З, 1100—1150°, в	55	20	40	55	—	—
2X18H9 (Я2)	З, 1100—1150°, в	60—75	≥ 28	45—52	54—70	—	160—200
X18H25C2 (Я3C)	З, 1000°, в	65	40	20	35	6	163—241
X23H13 (ЭИ319)	З, 1100—1150 в или возд.	65	30	35	50	—	—
X23H18 (ЭИ417)	З, 1100—1150°, м, возд., в H, возд.	55 67,3	30 —	35 10	50 63	—	145—210 145—210
X25H20C2 (ЭИ283)	З, 1100—1150°. в	60	30	35	50	—	—
X20H14C2 (ЭИ211)	З, 1100—1150°, в	60	30	35	50	—	—
X13H4Г9 (ЭИ100)	З, 1120—1150°, в	65	25	40	55	10	—
4X14H14B2M (ЭИ69)	Отж., 880°	72	40	20	40	6	179—269
X14H14CB2M (ЭИ240)	З, 1170—1200°,	70	—	35	—	10	150—216
	Без термической обработки	70	40	20	40	—	179—269
	З, 1100—1150°, возд.	56	22	40	55	12,5	—
X18H12M3T (ЭИ183)	З, 1100—1150°, в	55	22	40	55	12,5	—

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ,
ОКАЛИНОСТОЙКИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ МАРОК СТАЛИ
ПРИ НИЗКИХ И ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ [140]**

Марка стали	Температура в °С	Механические свойства			
		$\sigma_{др}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %
1X13 (Ж1)	-40	53,9	30	—	—
	100	68	52	14	—
	200	64	49	12	—
	300	60	48	12	—
	400	56	43	14	—
	500	42	30	18	—
	600	20	16	56	—
	700	10	7	63	—
	800	4	1	66	—
2X13 (Ж2)	100	69	52	13	—
	200	63	49	12	—
	300	60	48	11	—
	400	56	43	13	—
	500	43	30	18	—
3X13 (Ж3) 4X13 (Ж4)	100	77	—	25	54
	200	74	—	21	58
	300	71	—	19	57
	500	60	—	22	65
X17 (Ж17)	100	46	30	27	—
	200	47	27	26	—
	300	45	26	25	—
	600	20	15	60	—
X28 (Ж27)	400	50	38	18	52
	600	42,5	33	16	57
	700	19	13	29	78
	800	8	6	43	83
	900	4	2,5	48	91
X10C2M (ЭИ107)	20	109	—	δ_{10} 11,6	—
	600	50	—	15,8	—
	700	17,9	—	27,6	—
	800	11,6	—	31,2	—
	900	3,8	—	48,0	—
X9C2 (СХ8)	20	90	84	19	—
	200	84	55	16	—
	400	83	49	17	—
	600	54	40	14	—
	800	7	4	24	—
0X18H9 (Я0) 1X18H9 (Я1)	540	47	—	68,3	49,5
	700	33,7	—	56,1	40
	750	21,6	—	64,6	57,5
	870	11,3	—	38,1	37
2X18H9 (Я2)	-196	170	42	51	—
	-153	132	20	—	—
	540	47	68,5	50	—
	650	39	56,0	40	—
	760	22	65,5	58	—
	870	11,5	35,6	37	—

Продолжение

Марка стали	Температура в °С	Механические свойства				
		$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ϕ в %	
1X18H9T (Я1Т)	-196	175,5	—	—	26,9	44,7
	-70	118,6	—	—	33,4	59,1
	20	66,1	24,4	—	—	59,9
	400	48,7	13,1	—	—	40
	700	30,3	12,1	$\sigma_{пЛ}^* = 3,1$	—	43,5
	800	18,3	10	$\sigma_{пЛ} = 0,6$	—	52
X18H25C2 (Я3С)	15	69,4	—	—	28,8	48,9
	500	65,3	—	—	29,4	38,5
	600	55,8	16	$\sigma_{пЛ} = 9,1$	18,7	30,5
	700	36,1—43,2	13	$\sigma_{пЛ} = 3,65$	22,8	40,5
	800	20	—	—	28,7	56,5
	900	11,2	4	—	24,8	52,5
4X14H14B2M (ЭИ69)	500	64,3	—	—	26	33
	600	56,1	$\sigma_{пЛ} = 5,3$	—	21	34
	700	39,3	2,3	—	19	36
	800	25,3	0,55	—	25	59
	900	15,5	0,13	—	47	67

* $\sigma_{пЛ}$ — предел ползучести в кг/мм² при величине деформации 10—7 мм/мм час.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ И КИСЛОТОСТОЙКОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 5582-50)

Марка стали	Термическая обработка	Механические свойства	
		$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	δ_5 в %
		не менее	
1X13	Отж, 740—780°, в	40	21
2X13	Отж, 740—780°, в	50	20
3X13	Отж, 740—780°, в	50	15
4X13	Отж, 740—780°, в	60	15
X17	Отж, 760—780, возд.	50	18
X26, X25T	З, 760—780°, возд. или в	54	17
X28	З, 760—780°, возд. или в	50	17
0X18H9	З, 1050—1100°, возд. или в	54	45
1X18H9	З, 1080—1120°, в или возд.	55	35
2X18H9	З, 1100—1150°, в	60	38
1X18H9T	З, 1050—1120°, в или возд.	54	40
X17H2	З, 950—975° м.: O275—350	110	10
X18H11Б	З, 1080—1130 в или возд.	54	40
X23H13	З, 1100—1150°, в	55	35
X23H18	З, 1100—1150°, в	58	40
X25H20C2	З, 1100—1150°, в	55	35
X20H14C2	З, 1100—1150°, в	60	40
X18H12M3T	З, 1080—1130°, в или возд.	54	35
X18H12M2T	З, 1080—1130°, в или возд.	54	35
X13H4Г9	З, 1100—1150°, в	65	40

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ КИСЛОУСТОЙКОЙ И ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 4986-49)

Марка стали *	Состояние материала при поставке **	Термическая обработка (рекомендуемая)	Механические свойства	
			$\sigma_{ар}$ в кг/мм ²	δ_{10} в %
<i>Лента</i>				
1X13	Мягкая (М)	Отж.	40	21
2X13	(М)	Отж.	50	20
3X13	(М)	Отж.	50	20
0X18H9	(М)	З, 1050—1080°, в.	54	45
	Полумягкая (ПМ)	без термообработки	75—95	25
1X18H9	(М)	З, 1050—1080°, в.	54	35
	Полумягкая (ПМ)	без термообработки	80	20
	Нагартованная (Н)	То же	100	13
	Особо нагартованная (ОН)		115	8
2X18H9	(М)	З, 1120—1150°, в. или возд.	58	35
	(ПМ)	без термообработки	80	20
	(Н)	То же	100	13
	(ОН)		115	8
1X18H9T	(М)	З, 1050—1100°, в. или возд.	54	40
	(М)	З, 1080—1130°, в.	54	40
X18H12M2T	(Н)	без термообработки	100	13
	(М)	З, 1080—1130°, в. или возд.	54	40
X18H11B	(Н)	без термообработки	100	13
	(М)	З, 1120—1150°, в.	60	40
X13H4Г9	(ПМ)	без термообработки	80	20
	(Н)	То же	100	15
	(ОН)		115	8
X23H18	(М)	З, 1100—1150°, в. или возд.	58	45
<i>Проволока</i>				
1X18H9 и 2X18H9	Холоднотянутая \varnothing 0,2, 0,25,	—	Факультативно	
	0,3 и 0,4 мм	—	> 110	> 8 на длине $l=100$ мм

* Марки стали по ГОСТ 5632-51.

** Лента из стали марок 1X13, 2X13 и 3X13 (по требованию) должна выдерживать поперечный загиб на 180° вокруг оправки, толщина которой равна толщине ленты.

Лента и проволока из стали марок 1X18H9 — X18H11B и X13H4Г9 должны выдерживать испытание на интеркристаллическую коррозию методом кипячения образцов в течение 36 час. в растворе медного купороса и 10%-ной серной кислоты. Образец после кипячения при загибе на 90° не должен давать трещин.

Сталь марки 1X13 — мартенситного (или полуферритного) класса, марки 2X13 и 3X13 — мартенситного класса, остальные марки аустенитного класса.

**ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕРНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ
ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ, КИСЛОТОСТОЙКОЙ,
ОГНЕСТОЙКОЙ И ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ (по ГОСТ 5632-51)**

Марка стали	Основные свойства	Примерное назначение
Группа 1. Нержавеющая и кислотостойкая стали		
1X13	Хорошо сопротивляется атмосферной коррозии. Наибольшей стойкостью отличается после термической обработки и полировки	Детали с повышенной пластичностью и подвергающиеся ударным нагрузкам (турбинные лопатки, клапаны гидравлических прессов, арматура крекинг-установок, болты, гайки, предметы домашнего обихода)
2X13, 3X13, 4X13	То же. Удовлетворительно сопротивляется атмосферной коррозии	Те же детали, но с повышенной твердостью. Обрабатываемые на автоматах детали (зубчатки, шестерни, винты, гайки и другие детали с резьбой)
X18	Не ржавеет	Шарикоподшипники для нефтяного оборудования, ножи, втулки, вентили и другие детали, подвергающиеся сильному износу с повышенной стойкостью против коррозии
X17, X17M2	Кислотостойки, окислительностойки	Оборудование азотнокислых заводов. Оборудование кухонь и консервных заводов, предметы домашнего обихода
X25, X23	Кислотостойки, окислительностойки	Аппаратура для растворов гипохлорита натрия, дымащейся азотной и фосфорной кислот
1X18H9, 2X18H9	Кислотостойки	В авиации — детали самолетов, дирижаблей, поплавки гидросамолетов; в архитектуре — материал для отделки зданий и художественных украшений; немагнитные части аппаратуры управления судов
0X18H9	Не ржавеет, кислотостойка, не подвержена интеркристаллитной коррозии	Присадочный материал для газовой и электродуговой сварки хромоникелевой стали
1X18H9T	Кислотостойка, не подвержена интеркристаллитной коррозии	В промышленности азотной, лакокрасочной, угольной, молочной, пивоваренной, пищевой. Патрубки и коллекторы выхлопной системы авиамоторов
X18H11B	Кислотостойка	Сварная аппаратура, которая после сварки не может быть термически обработана
X13M4G9	Хорошо сопротивляется коррозии. Подвержена интеркристаллитной коррозии	Заменители холоднокатанной стали марок 1X18H9 и 2X18H9 для прочных и легких конструкций, соединяемых точечной электросваркой
X18H12M2T, X18H12M3T	Кислотостойки, не подвержены интеркристаллитной коррозии	Аппаратура, требующая устойчивости против сернистой, кипящей фосфорной, муравьиной и уксусной кислот; для горячих растворов белильной извести и сульфатного шелока

Продолжение

Марки стали	Основные	Примерное назначение
Группа II. Окалиностойкая и жаропрочная сталь		
X6C	Окалиностойка при температуре до 750°	Детали котлов и печей, работающие с повышенной нагрузкой
X9C2	То же до 800°	Клапаны авиамоторов и детали, работающие при пониженной нагрузке
X12ЮС	То же до 900°	Детали, работающие при пониженной нагрузке
X18H25C2, X25H20C2	То же до 1100°, жаропрочны, кислотостойки	Детали, работающие при сильно нагруженном состоянии: печные конвейеры, ящики для цементации, крепежные детали
X20H14C2	То же до 1000°, жаропрочная, кислотостойкая	Подвески и опоры в котлах (в печах)
X23H13	То же	Трубы, сварочная проволока
X23H18		Детали установок для пиролиза газов
X25	Окалиностойка при температуре до 1100°	Детали, работающие при пониженной нагрузке
X25T	То же при 1100°	Чехлы к термопарам
1X18H9T	Жаропрочна при температуре до 600°, не подвержена интеркристаллической коррозии	Патрубки и коллекторы выхлопной системы моторов
X5M	Жаропрочна при температуре до 650°	Трубы, детали насосов, задвижки; подвески и опоры котлов, работающие в нагруженном состоянии
X6CM, X7CM	То же до 650°, окалиностойки	Трубы, применяемые для крекинг-процессов в условиях сернистой коррозии, части насосов, задвижки, щетки
4X14H14B2M	То же до 800°, окалиностойка	Клапаны моторов, детали паровых и газовых трубопроводов
1X14H14B2M	То же	Детали пароперегревателей
X10C2M	То же до 650°, окалиностойка	Клапаны моторов
X13H7C2	То же	Выпускные клапаны моторов
X18H12M3T X14H14CB2M	} То же до 800°, окалиностойки	

Марка стали	Критические точки в °С				Модуль нормальной упругости $E \cdot 10^{-3}$ в кг/мм ²					Коэффициент расширения $\beta \cdot 10^6$	
	A_{c1}	A_{c2}	A_{r1}	A_{r2}	20		450°	500°	20—200°		
65Г	724	750	694	721	21,1 (Н)	20,79	20,89 (З+Об)	20,89	11,1	11,9	
10Г2 30Г2	720 718	830 804	620 627	710 727	21,11	—	—	—	—	—	
35Г2 40Г2	713 713	794 780	630 627	710 710	20,8	—	—	—	—	—	
45Г2	713	766	627	704	—	—	—	—	25—100° 11,3	25—600° 12,2	
50Г2	710	760	596	680	—	—	—	—	— 11,3	100—200° 12,7	
15Х 20Х	735 766	870 838	720 702	729	20,7	—	—	—	— 11,3	20—200° 11,6	
30Х 35Х	740	815	670	—	—	100°	300°	500°	13,4	13,3	
40Х	743	782	693	730	20,0	—	—	—	—	—	
45Х 50Х	721	771	660	693	350°	425°	500°	575°	—	20—300°	
20ХФ	766	840	704	782	20°	—78°	—	—	—	20—200°	
40ХФ	754	790	702	746	20,17	—	—	—	—	25—300°	
15М 30М	730 740	930 815	610 666	830 760	—	—	—	—	—	—	
20ХМ	743	818	504	746	—	—	—	—	—	—	
30ХМ	757	807	693	763	20°	100°	300°	500°	—	20—200°	
35ХМ 35Х2М	745 715	820 776	620 607	705	21,95	21,6	20,5	18,6	12,3	12,5	
35ХС 40ХС	760 755	860 850	—	—	22,3	22,0	21,1	19,25	11,7	12,7	
25СГ 35СГ	750 750	880 830	—	—	21,4	21,15	20,5	18,9	11,5	12,6	
20ХГС 25ХГС 30ХГС	755 750 750	840 835 830	690 680 670	—	—	—	—	—	—	—	

Продолжение

линейного (средний) α в $\frac{мм}{м \cdot град}$		Коэффициент теплопроводности λ в $\frac{ккал}{м \cdot час \cdot град}$				Теплоемкость (средняя) c в $\frac{ккал}{кг}$				Удельный вес γ в $кг/дм^3$		
20—300°	20—400°	200°		300°		400°		500°				
12,9	13,5	—	—	—	—	—	—	0,115	0,116	0,126	0,137	7,81
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,8
—	—	200°	300°	400°		—		—	—	—	—	7,79
—	—	32,5	32,0	30,9		—		—	—	—	—	7,8
300—400°	300—500°	—	—	—		—		—	—	—	—	7,8
16,3	16,5	—	—	—		—		—	—	—	—	7,8
25—600°	300—600°	100°	200°	400°		500°		—	—	—	—	7,78
14,7	16,5	34,7	34,3	31,0		30,0		—	—	—	—	7,78
20—400°	20—600°	—	—	—		—		—	—	—	—	7,83
13,2	14,2	—	—	—		—		—	—	—	—	7,83
14,8	14,8	39,6	36,4	300°	400°	—		—	—	—	—	7,82
—	—	—	—	33,4	29,8	—		—	—	—	—	7,82
—	—	—	—	—		—		—	—	—	—	7,82
20—400°	20—600°	—	—	—		—		—	—	—	—	—
13	13,7	—	—	—		—		—	—	—	—	—
25—600°	500—600°	45,0	41,9	39,0		36,0		—	—	—	—	7,81
14,5	16,5	—	—	—		—		—	—	—	—	—
—	—	—	—	—		—		—	—	—	—	—
—	—	39,6	37,8	37,1		34,2		—	—	—	—	—
20—400°	20—600°	50°	300°	—		—		—	—	—	—	—
13,9	14,4	36,8	35,0	—		—		—	—	—	—	—
13,9	14,4	100°	200°	300°	400°	—		—	—	—	—	—
—	—	35,7	35,0	33,8		33,0		—	—	—	—	—
14,0	14,8	200°	300°	400°	600°	—		—	—	—	—	7,74
—	—	31,7	30,6	29,8		28,8		—	—	—	—	7,78
14,1	14,6	39,0	36,8	35,3		31,3		—	—	—	—	7,8
—	—	—	—	—		—		—	—	—	—	7,76
—	—	—	—	—		—		—	—	—	—	7,75

Марка стали	Критические точки в °C				Модуль нормальной упругости $E \cdot 10^{-3}$ в кг/мм ²				Коэффициент расширения $\beta \cdot 10^6$	
	A_{c1}	A_{c2}	A_{r1}	A_{r2}						
35ХМН	800	940	730	—	—	—	—	—	—	—
35ХМФ	755	835	600	—	21,7	21,3	20,35	18,35	11,3	11,7
25Н 30Н 40Н	730	820	660	—	21,5	21,0	20,2	18,5	12,2	12,2
	655	—	562	—	—	—	—	—	—	—
20ХН 30ХН	733	804	666	790	—	—	—	—	—	—
	730	793	660	738	—	—	—	—	—	—
40ХН 50ХН	731	769	660	702	—	—	—	—	11,8	12,3
	735	750	657	690	—	—	—	—	—	—
12ХН2	732	794	671	763	—	—	—	—	12,6	13,8
12ХН3 20ХН3	715	830	670	—	20,4	—	—	—	11,8	13,0
	700	760	500	630	20,3	—	—	—	—	—
30ХН3	715	775	590	—	21,2	21,0	20,2	18,4	11,6	13,2
37ХН3	710	770	640	—	19,9	—	—	—	11,7	20—300° 12,8
12Х2Н4	710	820	660	—	20,4	—	—	—	100°	200°
									11,8	13,0
18ХНВ	700	810	350	—	20,0	—	—	—	14,5	14,5
25ХНВ	700	720	300	—	20,0	—	—	—	10,7	13,1
33ХН3М	720	790	400	—	21,1	20,7	19,6	17,6	20—100°	20—200°
									10,8	11,6
ШХ9	730—750	875—890	710—690	—	21,0— 22,0	—	—	—	100°	200°
									13	13,9

Продолжение

Линейного (средний) $\frac{ММ}{М \text{ град}}$		Коэффициент теплопроводности λ в $\frac{ККАЛ}{М \text{ час град}}$				Теплоемкость (средняя) c в $\frac{ККАЛ}{КГ}$				Удельный вес γ в $\frac{Г}{СМ^3}$
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
13,9	14,3	36,0	35,3	35,1	35,0	—	—	—	—	—
13,8	14,4	43,2	41,8	39,6	36,0	—	—	—	—	7,8
		—	—	—	—	—	—	—	—	7,84
—	—	26,2	22,6	21,6	20,8	—	—	—	—	7,87
13,4	14,0	—	—	—	—	—	—	—	—	7,82
14,8	14,3	85°	125°	480°	910°	58°	490°	920°	—	7,88
		18,7	20,6	26,6	18,3	0,108	0,057	0,038	—	
14,7	15,6	60°	500°	750°	910°	380°	425°	—	—	7,88
		26,6	22,0	18,3	16,1	0,157	0,154	—	—	
13,4	13,5	200°	300°	400°	600°	—	—	—	—	7,83
		32,5	31,0	30,0	28,0	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,8
400°	600°	60°	500°	750°	910°	380°	425°	—	—	7,84
14,7	15,6	26,6	22,0	18,0	15,5	0,157	0,154	—	—	
14,3	14,2	70°	230°	530°	900°	70°	280°	535°	900°	7,94
		20,5	21,6	24,1	20,9	0,116	0,123	0,185	0,173	
14,6	13,2	40°	200°	500°	950°	70°	535°	900°	—	7,9
		23,4	22,6	22,0	19,8	0,111	0,180	0,197	—	
20—400°	20—600°	100°	200°	300°	400°	—	—	—	—	—
13,3	13,7	35,1	32,5	29,2	26,2	—	—	—	—	—
400°	600°	34,6 (отж.) 31,6 (З)		—	—	45°	525°	980°	—	7,8
15	15,2	—	—	—	—	0,122	0,188	0,174	—	

Марка стали	Критические точки в °С				Модуль нормальной упругости $E \cdot 10^{-3}$ в кг/мм ²				Коэффициент расширения $\beta \cdot 10^6$	
	A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}	A_{r3}						
ШХ15	727	~900	694	—	21,0	—	—	—	14	15,1
55С2 60С2	775 750	840 820	—	—	20,0	—	—	—	—	—
50ХГ	750	775	—	—	21,3 (Н)	—	—	—	50—150° 11,3	450— 550° 14,8
50ХФ	752	788	688	745	21,2	—	—	—	20—100° 12,4	20—200° 12,8
ЭИ256 (Г12)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1Х13 (Ж1)	730	850	700	820	21,0	—	—	—	100° 11,2	200° 12,6
2Х13 (Ж2)	820	950	780	—	21,0	—	—	—	0—100° 9,6	0—200° 10,4
3Х13 (Ж3)	800	—	—	—	21,0	—	—	—	11,0	11,3
Х9С2 (СХ8)	900	970	810	870	—	—	—	—	100° 11,1	200° 12,7
Х10С2М (ЭИ107)	850	950	700	845	—	—	—	—	20—100° 10,0	20—800° 11,0
1Х18Н9 (Я1) 1Х18Н9Т (Я1Т)	—	—	—	—	20,0	—	—	—	16	0—200° 16,8
Х18Н25С2 (Я3С)	—	—	—	—	21,0	—	—	—	100° 14,2	200° 17,5
4Х14Н14В2М (ЭИ69)	—	—	—	—	—	—	—	—	20—300° 17	20—500° 18

Продолже

Линейного (средний) $\frac{мм}{м \cdot град}$		Коэффициент теплопроводности λ в $\frac{ккал}{м \cdot час \cdot град}$				Теплоемкость (средняя) c в $\frac{ккал}{кг}$				Удельный вес γ в кг/см ³
15,6	15,8	34,6 (Отж.) 31,6 (З)		—	—	45° 0,122	525° 0,188	980° 0,174	— —	7,8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,68
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,8
20—400°	20—600°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13,9	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	15,9	16,1	16,3	17,2	20° 0,12	—	—	—	8,0
400°	500°	30°	280°	660°	765°	85°	585°	900°	—	7,75
14,1	14,3	19,8	18,7	20,8	19,5	0,107	0,22	0,20	—	—
0—300°	0—500°	20°	100°	—	—	20°	—	—	—	7,75
10,9	11,3	21,6	25,2	—	—	0,11	—	—	—	—
11,5	11,7	18,0	—	—	—	0,117	—	—	—	7,76
400°	600°	135°	255°	560°	770°	40°	280°	570°	760°	7,62
14,3	14,2	14,0	15,8	18,0	18,0	0,113	0,117	0,218	0,205	—
—	—	20°	—	—	—	—	—	—	—	7,62
—	—	21,6	—	—	—	—	—	—	—	—
0—300°	0—400°	14,0	—	—	—	20°	—	—	—	7,9
17,5	18,1	—	—	—	—	0,12	—	—	—	—
400°	600°	110°	200°	570°	700°	—	—	—	—	—
19,3	19,3	13,0	14,8	20,6	22,7	—	—	—	—	—
20—700°	20—900°	15°	1000°	—	—	—	—	—	—	8,0
18	19	11,9	27,0	—	—	—	—	—	—	—

ЧУГУН

Отливки из серого чугуна (по ГОСТ 1412-48).

Механические свойства

Марки отливок	$\sigma_{\text{вР}}$ в кг/мм ²	$\sigma_{\text{вВ}}$ в кг/мм ²	f в мм при l в мм		$\sigma_{\text{вСЖ}}$ в кг/см ² *	H_B^{***}
	не менее		600	300	не менее	
СЧ 00**	—	—	—	—	—	—
СЧ 12-28	12	28	6	2	50	143—229
СЧ 15-32	15	32	8	2,5	65	163—229
СЧ 18-36	18	36	8	2,5	70	170—229
СЧ 21-40	21	40	9	3	75	170—241
СЧ 24-44	24	44	9	3	85	170—241
СЧ 28-48	28	48	9	3	100	170—241
СЧ 32-52	32	52	9	3	110	197—248
СЧ 36-56	35	56	9	3	120	197—248
СЧ 38-60	38	60	9	3	130	207—262

* Факультативно.

** Испытания не производятся.

*** В местах, подлежащих механической обработке, для отливок, получаемых в металлических формах, допускается пониженная твердость при условии соответствия других механических свойств (см. ГОСТ 3443-46, 1855-46, 2716-44, 2670-44, 2612-44, 2055-43).

Класс, разряд и вид структуры металла отливок из серого чугуна (по ГОСТ 3443-46)

Класс структуры определяется по среднему проценту площади основной металлической массы, занятой перлитом на микрошлифе.

Класс	Количество перлита в %	Количество связанного углерода в %
П.	100	(>0,8)
П99.	98—99	(>0,8)
П95.	90—97	(>0,7)
П85.	75—89	(0,6—0,7)
П65.	55—74	(0,4—0,6)
П40.	25—54	(0,2—0,4)
П15.	<25	(<0,2)

Разряд определяется по среднему проценту площади, занятой графитом в поле зрения микроскопа.

Разряд	Количество графита
Г02	<3
Г05	3—5
Г08	6—8
Г11	9—11
Г14	12—15
Г17	>15

Вид структуры определяется по степени изолированности графитовых включений или их колоний (обособленность колоний).

Вид структуры	Характер распределения
Г5	В виде изолированных включений Значительная степень изолированности Средняя степень изолированности Малая степень изолированности В виде сплошного поля включений
Г4	
Г3	
Г2	
Г1	

Примерная характеристика структуры металла отливок из серого чугуна различных марок (по ГОСТ 1412-48)

Марки отливок	Для отливок со структурой класса				
	П40	П65	П85	П95	П99
СЧ 15—32	Г11 ≥Г3	Г11 ≥Г3	Г11 ≥Г1	—	—
СЧ 18—36	Г11 ≥Г4	Г11 ≥Г3	Г11 ≥Г2	—	—
СЧ 21—40	Г08 Г4 и Г5	Г08 Г4 и Г5	Г08 ≥Г3	Г08 ≥Г2	—
СЧ 24—44	Г08 Г5	Г08 Г4 и Г5	Г08 ≥Г3	Г08 ≥Г4	Г08 ≥Г3
СЧ 28—48	—	—	Г05 Г5	Г05 Г4 и Г5	Г05 ≥Г3
СЧ 32—52	—	—	—	Г05 Г5	Г05 ≥Г5

ОТЛИВКИ ИЗ АНТИФРИКЦИОННОГО СЕРОГО ЧУГУНА (по ГОСТ 1585-42*)

Обозначение марок	Химический состав в %									H _B
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	
СЧЦ1 СЧЦ2	3,2—3,6	2,2—2,4	0,6—0,9	0,15—0,25	0,20—0,55	0,20—0,55	0,3—0,4	0,2—0,3	0,10—0,15	170—229

* См. также ГОСТ В-1412-42.

ОТЛИВКИ ИЗ КОВКОГО ЧУГУНА (по ГОСТ 1215-41)

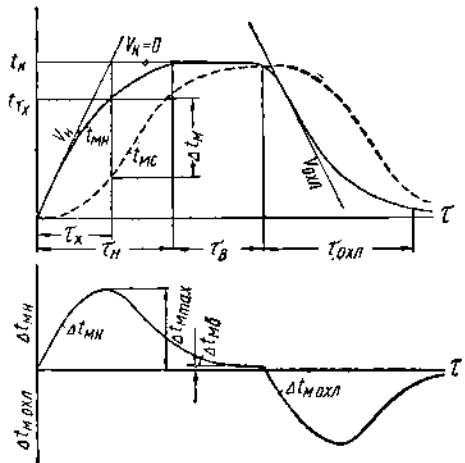
Марка чугуна	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	δ в % на образце		H _B
		∅ 16 мм	∅ 12 мм	
		не менее		
После отжига в нейтральной среде				
КЧ 37-12	37	12	—	149
КЧ 35-10	35	10	—	149
КЧ 33-8	33	8	—	149
КЧ 30-6	30	6	—	163
После отжига в окислительной среде				
КЧ 40-3	40	3	4	201
КЧ 35-4	35	4	5	201
КЧ 30-3	30	3	4	201

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ

Под процессом термической обработки следует понимать изменение внутреннего строения (микроструктуры) металла под воздействием изменяющихся температурных условий, как следствие этого, получение определенных физико-механических свойств металла: При определении каждого из процессов термической обработки вначале дается сущность происходящих физических изменений (содержание), а затем описывается способ осуществления процесса.

Выбор рациональных тепловых режимов термической обработки и определение путей их интенсификации могут быть произведены только на основе анализа физических закономерностей при нагреве, выдержке и охлаждении.

Понятие средней скорости, которым часто пользуются практики, может быть отнесено к времени τ_x или темпера-



Фиг. 1. Тепловой график «температура — время»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ СТАЛИ

Каждый из процессов термической обработки состоит из трех стадий (фиг. 1):

- 1) нагрев с определенной скоростью (v_N) до требуемой по процессу температуры — период нагрева (τ_N);
- 2) выдержка при этой температуре — период выдержки (τ_B);
- 3) охлаждение ($\tau_{охл}$) с заданной по процессу скоростью ($v_{охл}$).

Скорость нагрева и скорость охлаждения изменяются от максимальных значений в начальный и до нуля в конечный моменты.

Кривые фиг. 1 характеризуют процесс нагрева при постоянной или повышающейся до определенных значений температуры внешней среды и при понижающемся тепловом потоке $q \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{час}}$.

$$t_\tau = t_N \left(1 - e^{-\frac{t - \tau}{\tau_x}} \right) \quad \text{при } \tau = \tau_x$$

$$t_{\tau_x} = t_N \frac{e - 1}{e} = 0,63 t_N$$

$$v_N = \left(\frac{dt}{d\tau} \right)_{\tau=0} = \frac{t_N}{\tau_x}; \quad v_\tau = \frac{dt}{d\tau} = v_N e^{-\frac{\tau}{\tau_x}};$$

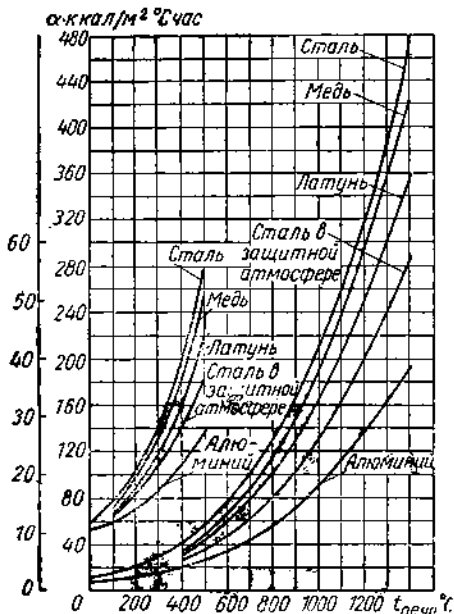
при $\tau = \tau_x, \quad v_\tau = 0,37 v_N$

t_{MN}, t_{MC} — температура поверхности и сердцевины металла; $\Delta t_{MN}, \Delta t_{MC}$ — разность температур между поверхностью и сердцевиной в период нагрева: максимальная, в конце выдержки и в период охлаждения.

постоянная скорость нагрева $v = \text{const}$ может быть также получена при повышающемся тепловом потоке — q .

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРИ НАГРЕВЕ, ВЫДЕРЖКЕ И ОХЛАЖДЕНИИ МЕТАЛЛА ([144], [44])

Параметр	Зависимость	
	прямая	обратная
Скорость нагрева v_n и скорость охлаждения $v_{охл}$	<p>От внешних условий</p> <p>а) Потока тепла через 1 м^2 поверхности металла в единицу времени $q \text{ ккал/м}^2\text{час}$</p> <p>б) Коэффициента теплоотдачи $a \text{ ккал/м}^2\text{час}\cdot\text{град}$ (табл. на стр. 114 фиг. 2)</p> <p>в) Разности температур между внешней средой и нагреваемым металлом $(t_{вс} - t_{мн})$</p> $\tau = \frac{gc}{ae} \ln \frac{t_{вс} - t_{мн}}{t_{вс} - t_{мк}}$	<p>От требуемого количества тепла</p> $Q = \pm V \gamma c (t_{мк} \pm t_{мн}) \text{ ккал/час}$
Разность температур между поверхностью и сердцевиной Δt_m	<p>От физико-механических свойств (табл. на стр. 102—100)</p> <p>а) Коэффициента температуропроводности</p> $a = \frac{\lambda}{c\gamma} \text{ м}^2/\text{час}$ <p>б) Допустимого напряжения $\sigma \text{ кг/мм}^2$</p> $v_{н1} = \frac{5,6a\sigma}{R^2 \beta E} = \frac{2,1 \cdot a\sigma}{X^2 \beta E}$ $v_{н2} = \frac{400a}{R^2} = \frac{200a}{X^2}$	<p>а) Коэффициента линейного расширения $\alpha, \beta \text{ мм/м}\cdot\text{град}$</p> <p>б) Модуля упругости $E \text{ кг/мм}^2$</p> <p>От размеров сечения X^2 и $R^2 \text{ м}$</p> <p>$v_{н1}$ и $v_{н2}$ — скорость нагрева стали в упругом и пластическом состоянии (соответственно)</p>
	<p>От формы деталей — отношения поверхности к объему</p> $\frac{F}{V} \text{ (табл. на стр. 115)}$	<p>От внешних условий</p> <p>а) Скорости нагрева (охлаждения) $v_n, v_{охл}$</p> <p>б) Потока тепла q</p> <p>От размеров сечения детали X^2 и R^2</p> <p>От физико-механических свойств</p> <p>Допустимого напряжения $\sigma \text{ кг/мм}^2$</p> $\Delta t_m = \frac{qX}{2\lambda} = \frac{X^2 v}{2a} \quad z = \frac{1,05c^*}{\beta E} = \frac{1,4z^{**}}{\beta E}$
Продолжительность выдержки τ_g (для выравнивания температуры между поверхностью и сердцевиной при Δt_g в конце выдержки)	<p>От размеров детали X^2 и R^2</p> $\tau_g = k_1 \frac{R^2}{a} = k_2 \frac{X^2}{a}$ <p>при $\Delta t_g = 5^\circ \quad k_1 = 0,6; \quad k_2 = 1,2$</p> <p>$\Delta t_g = 10^\circ \quad k_1 = 0,4; \quad k_2 = 0,9$</p> <p>$\Delta t_g = 20^\circ \quad k_1 = 0,3; \quad k_2 = 0,65$</p>	<p>От физических свойств — коэффициента температуропроводности a</p>
<p>* При нагреве пластин.</p> <p>** При нагреве цилиндра.</p>		



Фиг. 2. Коэффициент теплопередачи для нагрева различных металлов в электрических печах. Кривые построены по формуле:

$$\alpha_d = 0,03c_{прив} \left(\frac{\tau}{100} \right)^3 + (10 \div 15). \quad [176]$$

Коэффициент теплопередачи

$\alpha \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}} \right)$ для пламенных печей*

Температура металла в °C	Коэффициент α при температуре печи в °C			
	50	1000	1100	1200
0	200	230	260	380
200	190	220	250	365
400	180	210	240	350
600	165	195	230	340
800	155	185	220	325
1000	—	170	210	315
1200	—	—	—	300

* Для электрических печей см. фиг. 2.

Зависимость продолжительности нагрева от эффективности внешней среды (750° C, стальной образец Ø 50 мм) [177, т. 7, гл. XI]

Тепловой агрегат	Продолжительность нагрева τ_n в мин.
Свинцовая ванна	6,0
Соляная	6,6
Пламенная печь	27,0
Электрическая печь	31,8

Продолжительность нагрева и выдержки в мин. в зависимости от сечения детали (для углеродистой стали*, Гипроавтопром)

Сечение детали в мм	Закалка**				Отпуск***			
	Пламенная печь		Соляная ванна		Пламенная печь		Соляная ванна	
	Нагрев	Выдержка	Нагрев	Выдержка	Нагрев	Выдержка	Нагрев	Выдержка
25	20	5	7	3	25	10	10	5
50	40	10	17	8	50	15	25	6
75	60	15	24	12	75	20	35	9
100	80	20	33	17	100	25	45	12
125	100	25	40	20	125	30	55	14
150	120	30	50	25	150	40	65	15
175	140	35	55	30	175	45	70	20
200	160	40	65	35	200	50	90	20

* Для легированной стали продолжительность должна быть увеличена на 25—40%.

** Температура печи на 10—30° выше заданной температуры закалки.

*** Продолжительность высокого отпуска легированной стали обычно принимается равной 1—3 часам.

Продолжительность нагрева в мин. стальных деталей в зависимости от эффективности внешней среды и отношения $\frac{F}{V}$ [132]

Внешняя среда	Температура внешней среды в °С	Отношения $\frac{F}{V}$					
		4	1	0,66	0,5	0,4	
Расплавленный свинец	400—850	0,6—0,8	1,2—1,6	3—4	1,1—6,8	7,8—11,0	11—15
Расплавленная соль — 100% NaCl	850	—	4	15	32	—	—
	950	—	3	11	22	—	—
	1050	—	2	7	14	—	—
Расплавленная соль NaNO ₃ + KNO ₃ (1 : 1)	300	—	3,5	8	14	—	—
	450	—	2,5	6	10	—	—
	600	—	1,4	4	7	—	—
Масло (машинное)	100	—	14	23	32	—	—
	200	—	11	18	24	—	—
	300	—	8	14	19	—	—
—	—	$\frac{F}{V} = 0,12$ (шар $\varnothing 50$ мм)			$\frac{F}{V} = 0,08$ квадратная заготовка 50×50 мм; $l = 150$ мм		
Электрическая печь	300		33			60,0	
	500		25			45,5	
	750		20			26,0	
	900		15			22,0	

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ

Характеристика процессов термической обработки стальных деталей и инструментов и установление научно обоснованной терминологии произведены на основе проекта ГОСТ [145]. В определение терминов введено принципиальное изменение, заключающееся в том, что процессы характеризуются по изменению материальной (физической) сущности под воздействием температуры, т. е. по содержанию (а не по форме, выражением которой является то, что процессы термической обработки осуществляются путем нагрева, выдержки и охлаждения).

В определении раскрывается сущность процесса термической обработки (отжига, закалки и т. п.), и указывается — как осуществляется процесс.

Процессы термической обработки разделены на две основные группы:

I. Процессы, обуславливающие превращения, происходящие во всем или

только в части объема стали при нагреве до определенных температур, выдержке при этих температурах и охлаждении с заданной скоростью; сюда относятся процессы: отжиг, нормализация, закалка (в том числе и поверхностная), отпуск, низкотемпературная обработка и старение;

II. Процессы химико-термической обработки, обуславливающие изменения химического состава стали в поверхностных слоях. Сюда относятся цементация (науглероживание), азотирование, цианирование и др.

Применяемые на машиностроительных заводах процессы термической обработки с целью их систематизации подразделены по следующим признакам:

- по условиям нагрева и выдержки;
- по условиям охлаждения;
- по условиям воздействия внешних факторов (химическая среда, давление и т. п.);
- по условиям изменения структуры или твердости на поверхности и по сечению детали;
- по условиям применимости.

Процессы, обуславливающие превращения во всем объеме нагреваемой детали (изделия)

Отжиг рекристаллизационный

Отжиг рекристаллизационный ($Отж_{р}$) процесс термической обработки, обуславливающий исправление искажений кристаллической решетки, полученных при холодном деформировании металла.

Рекристаллизационный отжиг осуществляется путем нагрева стали до температуры на $150-250^{\circ}$ выше температуры начала роста зерен ($T_p \approx 0,4T_{пл}$), выдержки при этой температуре и последующего медленного охлаждения. Рекристаллизация вызывает рост деформированных зерен, снятие наклепа и внутренних напряжений при коагуляции цементита и образовании зернистого перлита.

Рекристаллизационный отжиг применяется для изделий при холодном их деформировании — при производстве холоднокатанной стальной ленты и деталей глубокой вытяжки — как промежуточный процесс с целью увеличения пластичности стали.

По классификации А. А. Бочвара рекристаллизационный отжиг относится к 1-й группе и называется отжигом 1-го рода.

Отжиг

Отжиг ($Отж$) — процесс термической обработки, обуславливающий получение равновесных (устойчивых) структур распада аустенита во время

или выше температуры в интервале превращений, продолжительной выдержки при этой температуре и последующего медленного охлаждения с заданной скоростью (фиг. 3). В процессе отжига происходит изменение дисперсности фаз и изменение формы и размера зерен аустенита; в результате получается равновесная структура феррито-цементитной смеси, снижается твердость и повышаются пластичность и вязкость.

Отжиг применяется для слитков, проката, отливок, поковок из легированной стали, заготовок из инструментальной и быстрорежущей стали, штамповых кубиков с целью снятия внутренних напряжений, улучшения обрабатываемости резанием, устранения структурной неоднородности и подготовки к последующей термической обработке.

По классификации А. А. Бочвара отжиг относится ко 2-й группе и называется отжигом 2-го рода или фазовой перекристаллизацией.

Отжиг подразделяется:

А. По условиям нагрева и выдержки:

отжиг полный — $Отж_{п}$,

отжиг неполный — $Отж_{н-п}$,

отжиг диффузионный — $Отж_{д}$.

Б. По условиям охлаждения:

отжиг изотермический — $Отж_{изо}$,

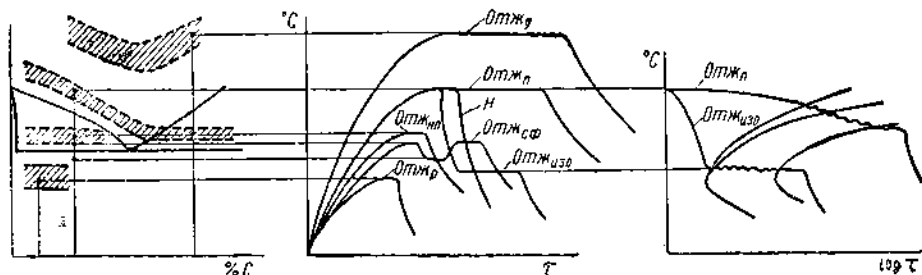
нормализация — $Н$.

В. По условиям воздействия внешних факторов:

отжиг светлый — $Отж_{св} (H_{св})$.

Г. По условиям изменения структуры:

отжиг сфероидизирующий — $Отж_{сф}$,



Фиг. 3. Схематическое изображение тепловых режимов процесса отжига.

охлаждения с определенных температур при нагреве в интервале превращений или выше. Отжиг осуществляется путем нагрева стальных деталей (изделий) до

Отжиг полный ($Отж_{п}$) осуществляется путем нагрева до температуры на $30-50^{\circ}$ выше точки $A_{с2}$, выдержки при этой температуре и после-

дующего медленного охлаждения с заданной скоростью.

Отжиг неполный ($Отж_{н-п}$) осуществляется путем нагрева до температуры в интервале превращений, кратковременной выдержки при этой температуре и последующего медленного охлаждения. При неполном отжиге происходит только частичное изменение указанных свойств. Неполный отжиг применяется для заэвтектоидной стали или сортового проката и поковок из доэвтектоидной стали с целью снятия внутренних напряжений и улучшения обрабатываемости резанием.

Отжиг диффузионный ($Отж_{д}$) осуществляется путем нагрева до температуры на $150-250^{\circ}$ выше точки A_{c3} , длительной выдержки при этой температуре и последующего охлаждения с заданной скоростью. В процессе диффузионного отжига происходят изменение дисперсности фаз и интенсивный рост зерен аустенита. Диффузионный отжиг применяется для слитков и крупных стальных отливок с целью выравнивания химической неоднородности и уменьшения ликвации.

Отжиг изотермический ($Отж_{изо}$) осуществляется путем нагрева до температуры выше интервала превращений, выдержки при этой температуре и последующего ускоренного охлаждения до температуры интервала наименьшей устойчивости аустенита с выдержкой при этой температуре (одно- или двухступенчатой) и последующего охлаждения на воздухе. По результатам изменения физико-механических свойств изотермический отжиг аналогичен полному отжигу, но продолжительность его резко сокращена.

Нормализация (H) является разновидностью полного отжига и отличается от него тем, что охлаждение деталей после выдержки производится на воздухе.

Нормализация применяется для поковок и штамповок из углеродистой и легированной конструкционной стали с малым и средним содержанием углерода, а также для цементуемых деталей.

Отжиг светлый ($Отж_{св}$) (нормализация светлая) осуществляется по любому из указанных выше тепловых режимов, но с применением защитных атмосфер или в печах с частичным вакуумом.

Светлый отжиг применяется для холоднокатанной ленты, прутков, проволоки, для деталей холодной штамповки, а также для деталей перед операциями гальванических покрытий с целью защиты поверхности металла от окисления и обезуглероживания.

Отжиг сфероидизирующий ($Отж_{сф}$) (сфероидизация) осуществляется путем нагрева с периодическим изменением температуры около (выше или ниже) точки A_{c1} (перлитного превращения). При этом получается коагуляция цементита с образованием зернистого перлита при снижении твердости и повышении пластичности и вязкости, а также уничтожается карбидная сетка у заэвтектоидной стали. Сфероидизация применяется главным образом с целью улучшения обрабатываемости стали ($C > 0,65\%$) резанием.

В практике машиностроительных заводов применяется процесс термической обработки, имеющий целью только снятие внутренних напряжений. Этот процесс условно называется отжиг низкий — $Отж_{н}$. Осуществляется низкий отжиг путем нагрева ниже температуры A_{c1} , выдержки при ней и медленного охлаждения обычно вместе с печью.

Закалка

Закалка (З) — процесс термической обработки, обуславливающий получение неравновесных структур превращения или распада аустенита, при резком его переохлаждении со скоростью выше критической. Закалка осуществляется путем нагрева деталей (изделий) до температур в интервале превращений или выше, выдержки при этих температурах и последующего охлаждения со скоростью выше критической (в интервале наименьшей устойчивости аустенита, фиг. 4).

Для большинства деталей (изделий) после закалки обязательно применяется процесс отпуска. Закалка с последующим высоким отпуском называется улучшением. Результатом закалки является получение структур мартенсита и троостита.

Являясь основным процессом термической обработки стальных деталей, инструментов и приспособлений, закалка применяется с целью получения высокой твердости и требуемых физико-механических свойств.

Закалка подразделяется:

А. По условиям нагрева и выдержки:
закалка полная — Z_p ,

закалка неполная — $Z_n - n$

Б. По условиям охлаждения и изменения структуры:

закалка изотермическая на мартенсит — $Z_{изо-м}$,

закалка изотермическая на троостит — $Z_{изо-т}$,

закалка изотермическая на сорбит — $Z_{изо-с}$,

закалка прерывистая — $Z_{пр}$,

закалка с подстуживанием — $Z_{пст}$,

закалка с самоотпуском — $Z_{со}$.

Закалка изотермическая на мартенсит ($Z_{изо-м}$) — осуществляется путем нагрева до температуры в интервале превращений или выше (в зависимости от содержания углерода в стали), выдержки при этой температуре и последующего быстрого охлаждения. Охлаждение производится в среде, обеспечивающей скорость выше критической в интервале наименьшей устойчивости аустенита, с выдержкой в этой среде при температуре на $20-30^\circ$ выше температуры начала мартенситного превращения (M_n), при продолжительности меньшей, чем соответствующая началу распада аустенита, и последую-

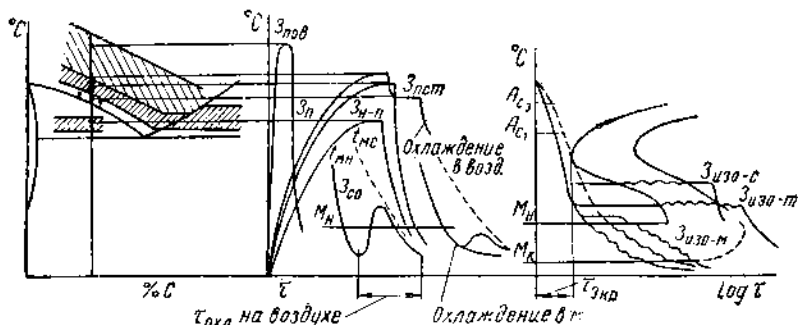


Fig. 4. Схематическое изображение тепловых режимов процесса закалки.

В. По условиям воздействия внешних факторов:

закалка светлая — $Z_{св}$,

закалка чистая — $Z_{ч}$,

закалка под давлением — $Z_{двл}$.

Г. По условиям изменения структуры или твердости на поверхности и по сечению:

закалка местная — дифференциальная — $Z_{м-д}$,

закалка поверхностная — $Z_{пов}$.

Закалка полная (Z_p) — осуществляется путем нагрева до температуры на $20-50^\circ$ выше интервала превращений — точки A_{c3} (остальное аналогично основному определению процесса).

Закалка неполная ($Z_n - n$) — осуществляется при нагреве до температуры в интервале превращений (выше точки A_{c1}); при этом наряду с неустойчивыми структурами остаются без изменения избыточные фазы (феррит для доэвтектоидной и карбиды для заэвтектоидной стали).

Неполная закалка применяется для заэвтектоидных сталей.

При быстром охлаждении до нормальной температуры. После закалки обязательно является процесс отпуска.

Изотермическая закалка применяется для инструментов из быстрорежущей и высоколегированной стали, для деталей шарико- и роликоподшипников, шестерен и т. п. с целью получения требуемых механических свойств при минимальной деформации.

Изотермическая закалка — новый прогрессивный процесс термической обработки.

Закалка изотермическая на троостит ($Z_{изо-т}$) — осуществляется путем нагрева до температуры выше интервала превращений, выдержки при этой температуре, последующего быстрого охлаждения в среде, обеспечивающей скорость выше критической (в интервале наименьшей устойчивости аустенита) и выдержки в этой среде при температуре на $20-100^\circ$ выше температуры начала мартенситного превращения (M_n) при продолжительности, обеспечивающей полный распад аустенита.

Результатом процесса является полу-

чение структуры „игльчатого троостита“ при повышенных значениях пластичности и вязкости и одновременно прочности. Отпуск после закалки на троостит является необязательным.

Закалка изотермическая на сорбит ($Z_{изо} - с$) — осуществляется так же, как процесс изотермической закалки на троостит с выдержкой при температуре на 50—100° ниже температуры наименьшей устойчивости аустенита при получении требуемой твердости без последующего отпуска.

Результатом процесса является получение структуры сорбита при повышении пластичности и вязкости и одновременно достаточно высокой прочности при минимальной деформации деталей. Продолжительность общего цикла обработки резко сокращается. В применении к термической обработке проволоки этот процесс называется патентированием, осуществляемым путем нагрева до температуры на 20—30° выше A_{c3} , выдержки при этой температуре и охлаждения в расплавленном свинце при 540—560° без последующего отпуска.

Закалка прерывистая ($Z_{пр}$) — аналогичная по условиям нагрева полной или неполной закалке при охлаждении в воде с выдержкой в промежуток на воздухе или в масле (в → бездух, в → м). Прерывистая закалка применяется для крупных и сложных по конфигурации деталей или инструментов с целью уменьшения внутренних напряжений и деформации при закалке.

Закалка с подстуживанием ($Z_{пт}$) — осуществляется путем нагрева до температуры на 50—100° выше точки A_{c3} , выдержки при этой температуре с последующим замедленным охлаждением (подстуживанием) до температуры, близкой к A_{c3} , и дальнейшим охлаждением со скоростью выше критической.

Закалка с подстуживанием применяется для деталей из мелкозернистой стали, а также для цементованных деталей при непосредственной закалке из цементационной печи с целью уменьшения в структуре закаленного слоя остаточного аустенита и снижения внутренних напряжений и деформации при закалке. Технологический процесс осуществляется, например, по схеме: цементация при 920—940°, подстуживание до 780—800°, непосредственная закалка с последующим низким отпуском.

Закалка с самоотпуском ($Z_{св}$) — процесс, сходный с полной или

неполной закалкой, но при продолжительности охлаждения в закалочной среде, обеспечивающей только частичное охлаждение с поверхности. Дальнейшее охлаждение на воздухе создает условия самоотпуска закаленного слоя детали за счет остаточной внутренней теплоты.

Закалка с самоотпуском применяется преимущественно при местной и дифференциальной закалке деталей несложной конфигурации с целью уменьшения внутренних напряжений и деформаций при закалке, а также с целью снижения трудоемкости термической обработки.

Закалка светлая ($Z_{св}$) — при любой разновидности процесса закалки — осуществляется с применением защитных атмосфер при нагреве и охлаждении в светлокислом масле.

Светлая закалка применяется для пружин, шестерен, валов и других деталей, работающих при знакопеременных нагрузках, с целью защиты от окисления и обезуглероживания и получения возможно более высоких значений предела выносливости.

Светлая закалка применяется также во всех других случаях с целью защиты стальных деталей от окисления и обезуглероживания.

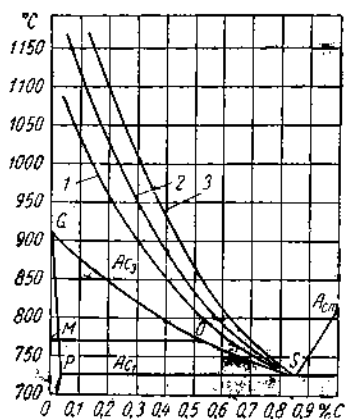
Закалка чистая ($Z_{ч}$) — процесс, аналогичный светлой закалке, но при применении любых закалочных сред, оставляющих обычно на поверхности деталей цвета побежалости или пригар масла.

Закалка под давлением ($Z_{двл}$) — вид закалки, характеризующийся применением более или менее значительного (100—200 кг/м²) всестороннего давления в процессе охлаждения изделий в штампах.

В результате получается изменение скорости фазовых превращений, что улучшает механические свойства стали и повышает режущие свойства инструментов.

Закалка местная (дифференциальная) ($Z_{м-д}$) — любой из указанных выше видов процесса, применяемый только для части детали, — местное повышение твердости, износостойчивости или прочности.

Закалка поверхностная ($Z_{пов}$) — осуществляется путем нагрева деталей со скоростью выше 1000 град/мин



Фиг. 5. Смещение температур полной закалки при изменении скорости нагрева доэвтектоидной стали. 1—200° C/сек; 2—550° C/сек; 3—700° C/сек. [155].

В качестве источника нагрева применяются электроды и газовое пламя.

Поверхностная закалка применяется как вид дифференциальной (местной) закалки деталей машин и инструментов и обеспечивает высокую твердость, износоустойчивость, повышенный предел выносливости (достигающий 130% от предела выносливости при сквозной закалке).

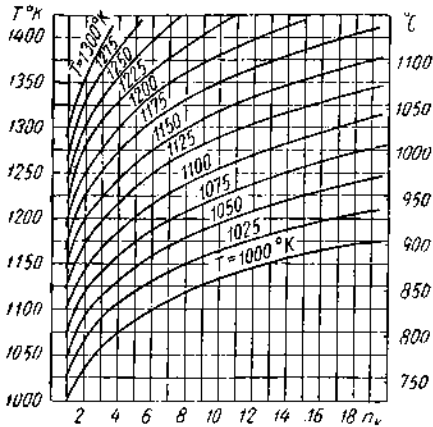
Наиболее распространенной в промышленности является поверхностная закалка при электронагреве токами высокой частоты (т. в. ч.)

Следствием высокой скорости нагрева т. в. ч. является повышение температуры закалки и резкое расширение ее интервала (фиг. 5 и 6). Это в свою очередь приводит к получению после закалки мелкозольчатой структуры мартенсита, а также повышенной твердости (превышение твердости по сравнению с закалкой при нагреве в печах на 2—6 единиц HRC , фиг. 7 и 8).

Основные закономерности режима и характеристика способа поверхностной закалки при электронагреве т. в. ч. приведены в таблицах на стр. 121—125.

Классификация способов нагрева при поверхностной закалке

Источник тепловой энергии	Способ нагрева	Назначение процесса
Электроэнергия	1. Индукционный, токами: а) промышленной частоты б) средней частоты в) высокой частоты	1. Для нагрева под закалку деталей из конструкционной стали и инструментов из углеродистой и легированной стали
	2. Контактный способ нагрева	2. Для нагрева под закалку деталей простой конфигурации — цилиндрических, плит и т. п., а также для отпуска закаленных деталей
	3. В электролите	3. Для деталей простой конфигурации
	4. Непосредственный за счет пропускания тока через деталь (напряжение тока в пределах 5—15 в, сила тока в зависимости от размеров деталей).	4. Для нагрева деталей простой конфигурации — цилиндрических, проволоки и т. п., а также для нагрева заготовок под ковку (Горьковский автозавод)
Газообразное топливо	1. Ацетилено-кислородны	1—2. Для нагрева под закалку шестерен большого модуля, валов, валков холодной прокатки, плит и т. п.
	2. Газо-кислородным пламя	
	3. Керамическими горелками при микрофакельном сжигании газов	3. Для нагрева под закалку, а также под нормализацию, отжиг и отпуск



Фиг. 6. Кривые подобия для расчета температур нагрева при различных скоростях нагрева (Г. Ф. Головин [155]).

Кривые на фиг. 61 построены по уравнению подобия

$$T_1^2 e^{-\frac{1}{kT_1}} = T^2 e^{-\frac{1}{kT} n_v}$$

где T — температура заковки при известном режиме в °K;
 T_1 — температура заковки при искомом режиме;
 n_v — фактор подобия скорости нагрева.
 $n_v = \frac{v_1}{v}$

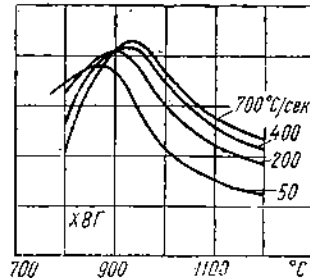
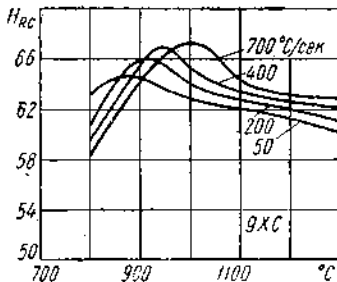
Пример: при $v = 200^\circ/\text{сек}$, $T = 1073^\circ$ (800°C); требуется определить T_1 при $v_1 = 700^\circ/\text{сек}$.

$$n_v = \frac{v_1}{v} = \frac{700}{200} = 3,5$$

по графику $T_1 = 1150^\circ$ (875°C).

Найденная температура заковки совпадает с температурой по кривой 3 фиг. 5 для стали с содержанием углерода 0,52%.

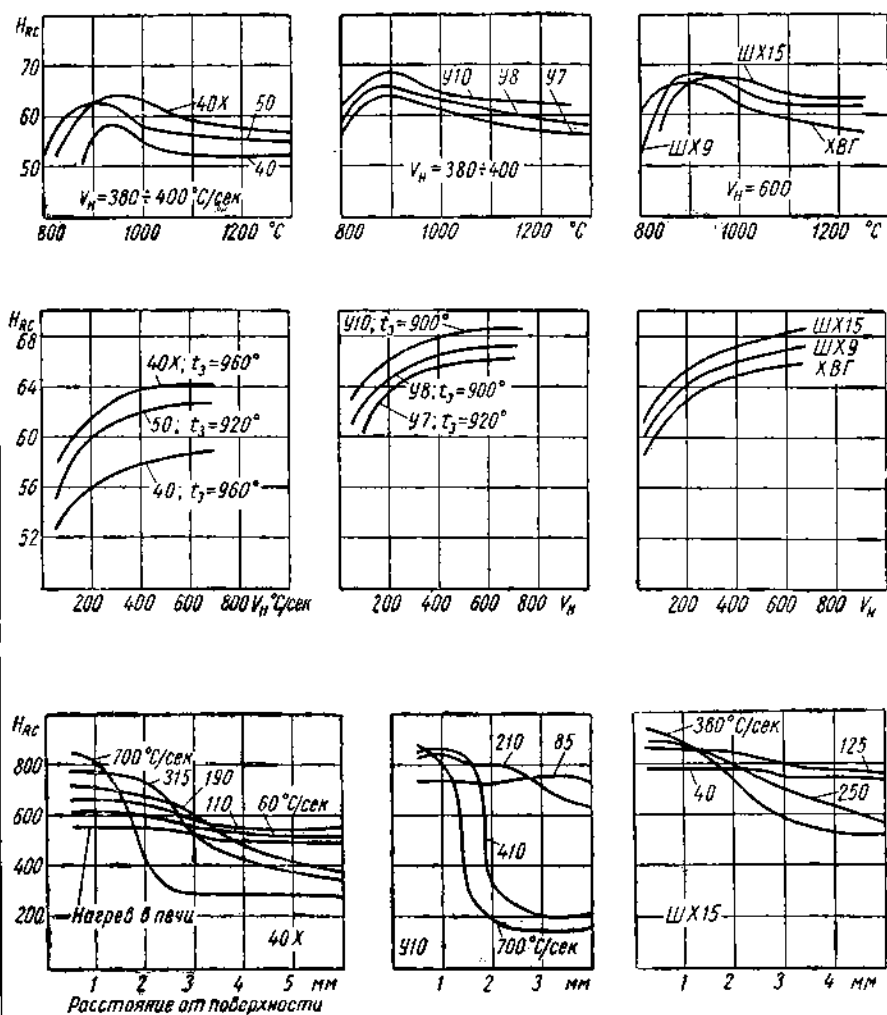
Данный метод подобия действителен только для расчета нагрева токами высокой частоты.



Фиг. 7. Изменение поверхностной твердости стали марок 9ХС и ХВГ в зависимости от температуры заковки при различных скоростях нагрева [59].

Рекомендуемые температуры нагрева т. в. ч. под заковку [59]

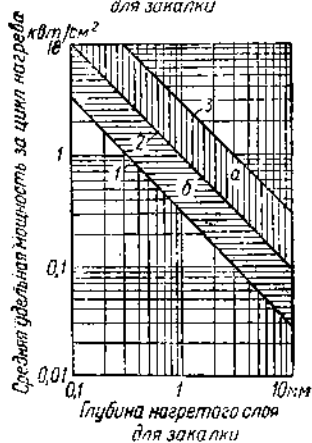
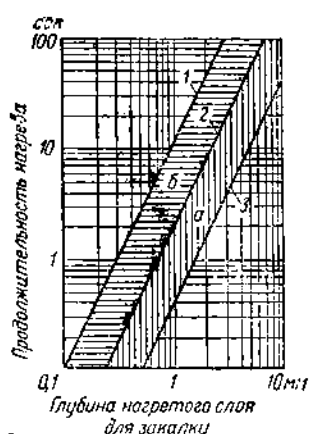
Марка стали	Температура нагрева под заковку в °C	Скорость нагрева в град/сек	Марка стали	Температура нагрева под заковку в °C	Скорость нагрева в град/сек
40 .	900—940	380—400	У10 .	830—960	380—400
45 .	840—920	380—400	ШХ15 .	920—1040	600
50 .	860—900	380—400	ШХ9 .	900—1000	600
40X .	940—980	380—400	ХВГ .	840—960	600
У7 .	880—960	380—400	9ХС .	880—1000	600
У8 .	860—960	380—400			



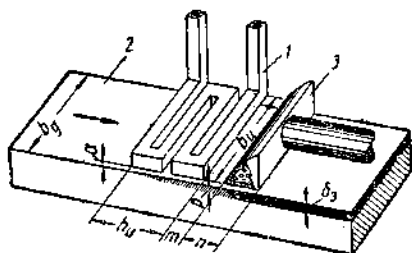
Фиг. 8. Влияние различных факторов нагрева т. в. ч. на твердость стали. Верхний ряд — зависимость твердости на поверхности от температуры нагрева; средний ряд — зависимость твердости на поверхности от скорости нагрева v_n в град/сек; нижний ряд — изменение твердости по сечению при различных скоростях нагрева [59].

Основные закономерности режима поверхностной закалки при электронагреве Г. В. Ч. [79]

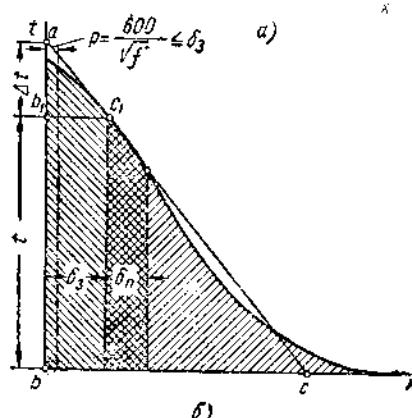
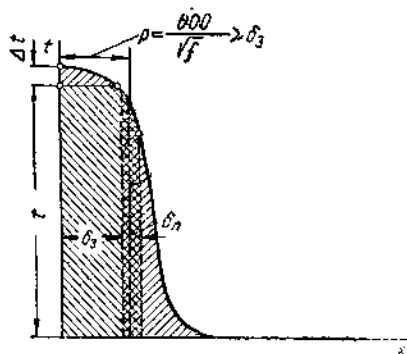
Параметр	Уравнение (формула)	Обозначение и размерность
Глубина проникновения тока в металл в мм	$p_{20^{\circ}} = 5,03 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$	μ — магнитная проницаемость $\frac{\text{ом} \cdot \text{сек}}{\text{см}}$; ρ — удельное электросопротивление; $\rho = \frac{RS}{l}$ если R — в омах, S — в мм ² и l — в м.
То же для эвтектоидной стали при 20° и 1000°	$p_{20^{\circ}} \approx \frac{2^{\circ}}{\sqrt{f}}$ $p_{1000^{\circ}} \approx \frac{600}{\sqrt{f}}$	$\rho \left[\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right]$ если R — в микромах (10 ⁻⁶ ом), S — в см ² , l — в см;
То же для красной меди при 20° и 1000°	$p_{20^{\circ}} \approx \frac{1}{\sqrt{f}}$ $p_{1000^{\circ}} \approx \frac{230}{\sqrt{f}}$	$\rho \left[\frac{\text{мкОм} \cdot \text{см}^2}{\text{см}} \text{ или } \frac{\text{мкОм} \cdot \text{см}}{\text{см}} \right]$ $100 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = \frac{\text{мкОм} \cdot \text{см}^2}{\text{см}}$ $\rho_l = \rho_0 (1 + \alpha_f l) = \rho_0 + \rho_0 \alpha_f l$ $\alpha_f = \frac{\rho_f - \rho_0}{\rho_0 l} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dl}$
Частота тока в гц для деталей сложной конфигурации	$f \approx \frac{5 \cdot 10^6}{\delta^2}$	Для дзвтектоидной стали отожженной: $\rho_{20^{\circ}} = 10,5 + 3,0C + 3,0C^2$ мк ом см; закаленной с 850° $\rho_{20^{\circ}} = 10,3 + 1,6C + 23,6C^2$ мк ом см; для многих марок стали при нагреве до 900° $\rho = 120 + 130$ мк ом см; δ — глубина закаленного слоя в мм.
То же для деталей простой конфигурации	$f \approx \frac{5 \cdot 10^4}{\delta^2}$	$\sqrt{\rho \mu}$ — коэффициент поглощения мощности; q — удельный расход электроэнергии в кат сек/см ² ; S — поверхность нагрева в см ² ;
То же для шестерен с модулем M при равномерном нагреве	$f \approx \frac{2 \cdot 10^5}{M^2}$	t — продолжительность нагрева в сек. Δt — перепад температуры в слое в °C; λ — коэффициент теплопроводности стали в $\frac{\text{вт}}{\text{см} \cdot \text{град}}$
Удельная мощность при нагреве в ат/см ² (фиг. 9)	$\Delta P = 2 \cdot 10^{-4} \rho \sqrt{\rho \mu f}$	$K_{\text{ит}}$ — коэффициент избыточного тепла; $K_{\text{ит}} = \frac{\text{тепло общее}}{\text{тепло закаленного слоя}}$
То же для углеродистой стали при $t > 768^{\circ}$	$\Delta P = 2 \cdot 10^{-6} \rho \sqrt{f}$	$\frac{1}{K_{\text{ит}}} = \text{коэффициент полезного использования тепла}$
То же при нагреве стали от 20 до 300° (нагрев по теплоемкости) (фиг. 16, а)	$\Delta P \approx \frac{5000\delta}{t}$ ($\rho > \delta$; $K_{\text{ит}} \approx 1,5 + 2,0$)	
То же (нагрев по теплопроводности) (фиг. 10, б)	$\Delta P = \frac{\lambda \Delta t}{\delta} \approx \frac{1,3 \Delta t}{\delta}$ ($\rho < \delta$; $\lambda \approx 0,3$); $K_{\text{ит}} \approx 1 + \frac{1}{2 \Delta t} = 2,5 + 5,1$	
Общая затрата энергии в кат/сек Мощность генератора в кат	$Q = qS$ при $\delta \approx 3$ мм $q = 5,0$; $= \frac{Q}{t} = S \Delta P$	



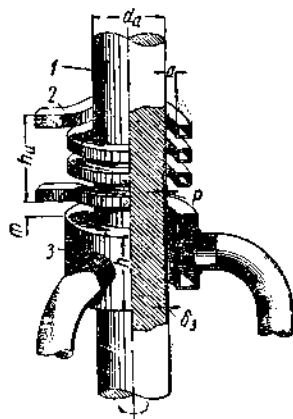
Фиг. 9. Режим индукционного нагрева углеродистой конструктивной стали: *a* — зона рациональных режимов нагрева; *b* — зона режимов нагрева, дающая большую ширину переходной зоны закалки ($\delta_{пер} > \delta_{зак}$ [79]).



Фиг. 11. Взаимное расположение индуктора 1, плиты 2 и водяного душа 3 в процессе непрерывно-последовательной закалки.



Фиг. 10. Характер изменения температуры при индукционном нагреве.



Фиг. 12. Взаимное расположение цилиндрического гладкого вала 1, индуктора 2 и водяного душа 3 в процессе непрерывно-последовательной закалки.

Характеристика способов поверхностной закалки при электронагреве т. в. ч. [79]

Способ закалки	Основные размеры в мм	Необходимая мощность генератора в квт	Продолжительность нагрева τ в сек. или скорость перемещения v в мм/сек
Одновременный нагрев и закалка всей поверхности и последовательная обработка отдельных участков	Расстояние от индуктора до поверхности нагреваемой детали $a=2+5$	$P_{\Gamma} = \Delta P$ ΔP в квт/см ²	1. Для устранения эксцентриситета вращение 5-10 оборотов за цикл нагрева. При $h_{II} > 2d_a$ влияние эксцентриситета снижается. 2. Для шестерен $< 0,25 m^2$ (при модуле $M > 4$)
Непрерывно-последовательная обработка (метод „перемещения“) (фиг. 11 и 12)	$a = 2+5$. Расстояние душа от индуктора $m \approx 5\delta$, высота душа $h \geq 10\delta$. При нагреве по теплопроводности при $\delta \geq p$ $h_{II} \geq (15+25)\delta$. При нагреве по теплоемкости при $\delta < p$ $h_{II} = (5+10)\delta$. $h_{II} = \frac{P_{\Gamma} \cdot 10}{\pi d_a \Delta P}$ ширина индуктора. $b_{II} = b_{\delta} - 2a$; L — длина нагрева	$P_{\Gamma} = \pi d_a \Delta P h_{II}$ (d_a в см) для $\delta \leq 5$ мм при $\delta \geq p$ и при $\Delta p \approx \frac{2}{\delta}$ квт/см ² (δ в мм) $P_{\Gamma} = 10d_a$	При $\delta = 1+5$ $v_{\min} = \frac{5}{\delta}$; $v = 2+20$; $\tau = \frac{h_{II}}{v}$ Скорость нагрева до точки Кюри: $v'_{II} = \frac{t'' L}{\tau_{II} h_{II}}$ То же выше точки Кюри: $v''_{II} = \frac{(t'' - t') L}{[\tau''_{II} - \tau'_{II}] h_{II}}$

Зависимость продолжительности нагрева и удельной мощности от требуемой глубины закаленного слоя и частоты тока приведена на фиг. 13.

Резкое повышение скорости процесса, снижение трудоёмкости и снижение себестоимости термической обработки, а также возможность установки оборудования в потоке механической обработки делают процесс поверхностной закалки наиболее прогрессивным в условиях социалистических методов организации труда.

Электронагрев токами высокой частоты является важнейшим этапом технического прогресса термической обработки металлов.

Этим прогрессом мировая наука и техника обязана открытию в 1895 г. нашим гениальным соотечественником А. С. Поповым передачи на расстоянии импульсов электромагнитных волн.

Впервые токи высокой частоты для закалки были применены в 1926 г. в лаборатории проф. В. П. Вологодина.

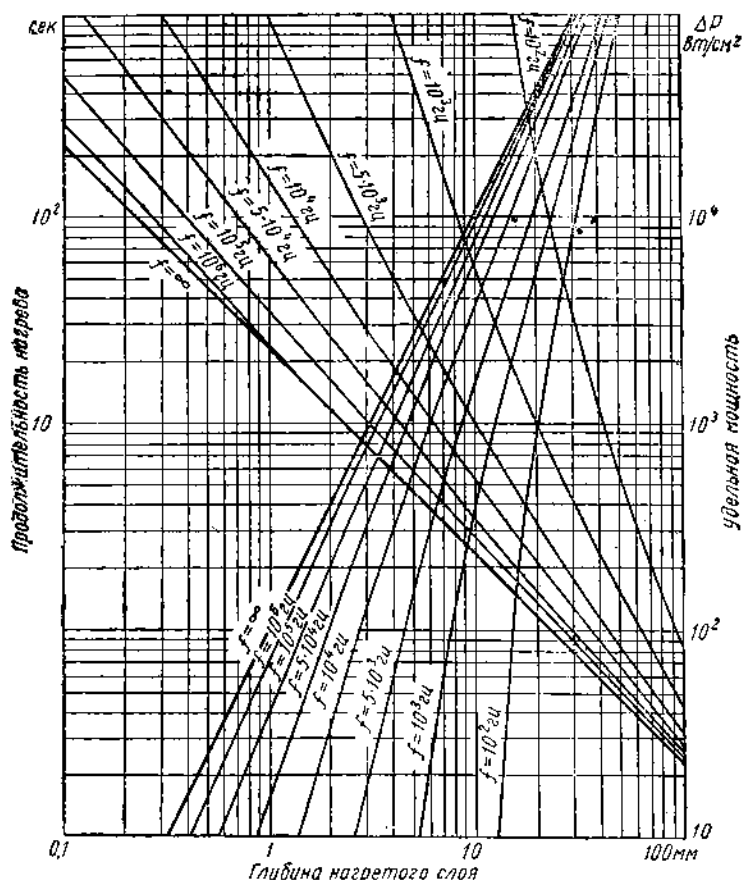
В 1935 г. В. П. Вологдиным и Б. Н. Романовым были осуществлены работы по индукционному нагреву металлов токами высокой частоты для поверхностной закалки.

В 1936 г. в лаборатории ленинградского завода „Светлана“ были начаты работы по изучению способов индукционного нагрева металлов и проектирование промышленных агрегатов с ламповыми генераторами.

Партия и правительство приняли ряд решений по широкому внедрению в промышленность электронагрева.

В настоящее время процесс поверхностной закалки т. в. ч. распространён в больших масштабах на ряде машиностроительных заводов страны.

Лаборатории заводов и институтов, а также специальный Институт электронагрева, проводят работы по дальнейшему расширению области применения электронагрева т. в. ч. в промышленности.



Фиг. 13. График для ориентировочного определения режимов индукционного нагрева под закалку эвтектоидной стали [79].

В 1931 г. проф. Н. В. Гевелинг разработал способ поверхностной закалки стальных деталей с нагревом за счет тепла, выделяемого при контактом электронагреве переменным током промышленной частоты (50 гц) напряжением $U = 2 \div 8$ в.

Схема распределения температуры в нагреваемой детали приведена на фиг. 14.

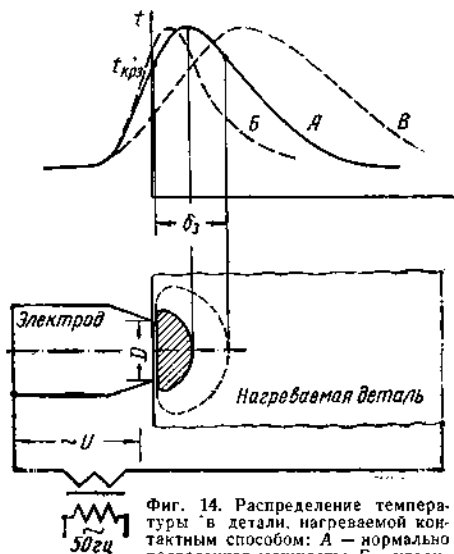
В качестве электродов обычно применяются медные ролики, катящиеся по поверхности детали (фиг. 15).

Контактный способ нагрева применяется также и для отпуски мест, подлежащих механической обработке (например, сверлению) после поверхностной закалки.

Соотношение между глубиной закаленного слоя, шириной катящего ролика и силой тока

(Ю. М. Богатырев)

Глубина закаленного слоя δ в мм	Ширина катящего ролика l в мм	Сила тока во вторичной цепи трансформатора в а
1,5—2,5	8—10	6 000—7 000
3,0—4,5	12—15	9 000—14 000
>5,0	>18	20 000—25 000

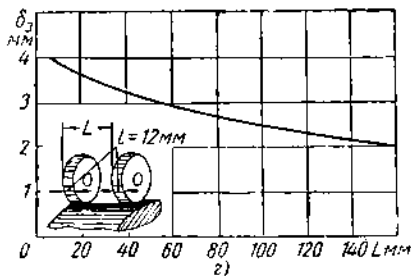
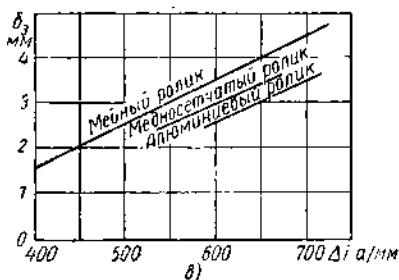
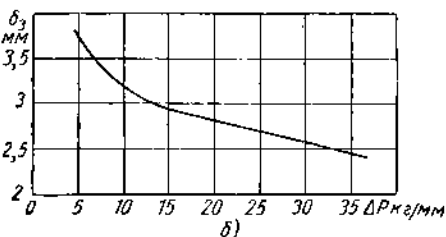
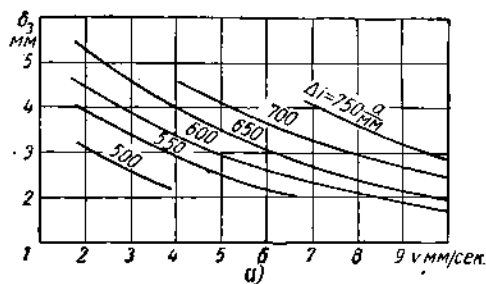


Фиг. 14. Распределение температуры в детали нагреваемой контактным способом: А — нормально подводимая мощность; В — увеличенная мощность и сокращенная продолжительность нагрева; В — недостаточная мощность.

Продолжительность нагрева в сек.

$$\tau = \frac{S}{\Delta l v}$$

где S — поверхность детали, подвергаемая закалке, в $см^2$; Δl — переме-



Фиг. 15. Зависимость глубины закаленного слоя от различных факторов: а — от скорости вращения v калящего ролика при различных значениях удельной плотности тока; б — от удельного давления ΔP на ширину ролика; в — от материала калящего ролика; г — от расстояния между роликами (по Ю. М. Богатыреву).

ние калящего ролика за один оборот в $см$; при ширине калящего ролика l $см$ рекомендуется брать $\Delta l = (0,6 \div 0,65) l$; v — скорость вращения детали в $см/сек$.

Новым прогрессивным методом нагрева стальных деталей, применяемым, в частности, для их закалки, является электронагрев в электролите, разработанный инж. И. З. Ясногородским [179].

Электронагрев в электролите осуществляется при пропускании электрического тока через электролит; при этом электроток вызывает на одном из электродов — катоде — выделение водорода, который служит электроотрицательным, что производит интенсивный нагрев электрода — стальной детали. При отключении тока после нагрева происходит закалка деталей в том же электролите.

Нагрев при определенной интенсивности тока происходит в две фазы: в первой в продолжение тысячной доли секунды происходит местное появление искровых разрядов и разобшение электролита и электрода, создаваемое выделяющимися пузырьками водорода; во второй — газовый слой, окружающий электрод, приобретает особую устойчи-

вость, в результате чего нагрев катода проходит ровно и устойчиво. Устойчивое состояние газового слоя на катоде тем больше, чем меньше длительность первой фазы; это достигается путем применения таких электролитов, в которых при данном напряжении и данной силе тока выделяется больше водорода.

Наибольший эффект нагрева катода (стальной детали) получается в результате применения водных растворов — Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NaOH , KOH , MgCl_2 , BaCl_2 .

Ввиду того, что электросопротивление электролитов уменьшается с повышением температуры, рекомендуется проведение процесса при определенной постоянной температуре в пределах 20—60°.

Наиболее рациональным является применение постоянного тока напряжением более 120 в (чаще применяется 250 в), сила тока при этом может быть в пределах 2—20 а, плотность тока 3,0—7,0 а/см². Для возникновения эффекта нагрева катода величины плотности тока на обоих электродах — катоде и аноде —

могут быть весьма близкими, при несколько большей плотности на катоде.

Регулирование скорости нагрева осуществляется изменением: а) состава и концентрации электролита, б) напряжения и плотности тока и в) скорости вращения или передвижения нагреваемых деталей.

Пример режима закалки образцов из стали марки 40 диаметром 10 мм приведен в таблице. В результате применения указанного режима получается закаленный слой, структура которого состоит из мартенсита.

Электронагрев в электролите осуществляется следующими методами:

а) Концевой нагрев — нагрев свободного конца и нагрев при изолированном торце. Нагреваемая деталь, являющаяся катодом, погружается в электролит на определенную глубину, в первом случае свободно, во втором — при изоляции торца обычно шамотной подставкой; в первом случае применяется плотность тока, равная 4,0—6,5 а/см², во втором — 3,0—4,0 а/см² (при напряжении 200—220 в для элек-

Свойства электролитов, применяемых при электронагреве [179]

Соли электролита	Появление искровых разрядов (1-я фаза)			Появление эффектов нагрева катода (2-я фаза)		
	Концентрация электролита в %	Сила тока при напряжении 220 в в а	Электропроводность электролита при 18°	Концентрация электролита в %	Сила тока при напряжении 220 в в а	Электропроводность при 18°
MgCl_2	1,5	3—4	120	22	6—7	1300
Na_2CO_3	1	3—4	130	4	6—8	400
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1	2	90—100	8	6	550
BaCl_2	1	—	90	3	—	150
Na_2SO_4	1	—	80	10	—	687

Режим нагрева под закалку в электролите образца из стали 40 диаметром 10 мм [179]

Концентрация раствора Na_2CO_3 в %	Глубина погружения катода в мм	Напряжение в в	Сила тока в а	Плотность тока в а/см ²	Продолжительность нагрева в сек.	Глубина закаленного слоя в мм
5	2	220	6	4,55	8	3,3
10	2	220	8	6,05	4	3,0
10	2	180	6	4,55	8	3,6
5	3	220	8	4,60	5	3,6
10	3	220	10	5,8	4	3,6
5	5	220	12	5,1	5	7,0
10	5	220	14	6,0	4	6,2
10	5	180	12	5,1	7	6,0

тролита 5–10%-ный раствор Na_2CO_3 .

б) Местный поверхностный нагрев — погружением в электролит, в струе электролита, контактированием с простым изолятором.

в) Последовательный нагрев и нагрев при неподвижном экранированном катоде.

Нагрев под закалку газово (ацетилено)-кислородным пламенем — «пламенная закалка» — нашел применение в промышленности ранее других способов. Более совершенные методы нагрева, например, электроннагрев т. в. ч., вытеснили в отечественном машиностроении нагрев газовым пламенем, так как последний не обеспечивает требуемую на поверхности температуру закалки. Замена ацетилена светильным газом и разработка в последние годы нового способа сжигания газов — микрофакельного сжигания в керамических горелках — создают условия успешной конкуренции «пламенной закалки» с электронагревом во многих случаях практики.

В практике применяются следующие способы поверхностной закалки при нагреве газовым пламенем:

1) одновременный нагрев и закалка сразу всей подлежащей обработке поверхности; способы стационарный и

вращательный; последний применяется при нагреве цилиндрических деталей (10–20 оборотов за цикл нагрева, 75–150 об/мин); 2) непрерывно-последовательный нагрев и закалка при перемещении — поступательный способ; 3) комбинированный способ.

Характеристика газовых горелок, применяемых для поверхностной закалки

1. Горелки инжекторные низкого давления (давление газа 0,05–0,1 ат, кислорода 3,0–3,5 ат).

2. Горелки безинжекторные высокого давления (давление газа 0,5–1,5 ат, кислорода 1,0–3,0 ат). К ним относятся:

А. Горелки многопламенные: а) плоские, б) кольцевые, в) плоские многорядные, применяемые при закалке методом перемещения, горелки и водяной душ в одном корпусе.

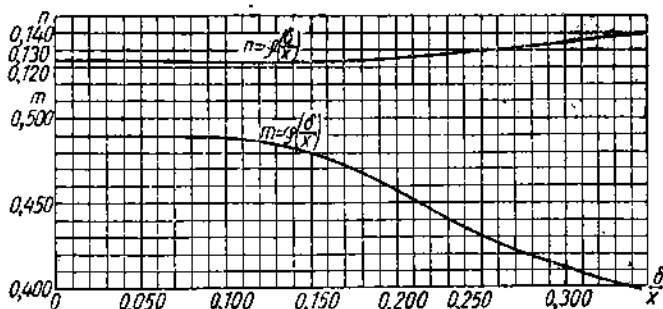
Диаметр сопла $d_c = 0,6 \div 1,0$ мм; расстояние между соплами ~ 5,0 мм.

Диаметр (внутренний) горелки в мм: $D_{г. вн} = D_{\delta} + [2 \cdot 5d_c + (2 \div 6)]$; D_{δ} — диаметр нагреваемой детали в мм.

Б. Горелки щелевые (широкофакельные). Длина щели $L \leq 800$ мм; ширина 0,15–0,25 мм.

Выбор и расчет технологических параметров пламенной закалки (непрерывно-поступательный способ) [35]

Параметр	Формула для определения параметра *	Обозначение и размерность величины, входящих в формулу
Скорость истечения w_0 м/сек	$w_0 = \left(\frac{n}{A_0 \delta} \right)^{1,49}$ $w'_0 = \left(342 \frac{n}{\delta} \right)^{1,49}$ $w_0 = \left(\frac{m}{A_0} \sqrt{\frac{v}{B_0}} \right)^{1,49}$ $= 118 (m \sqrt{v})^{1,49}$	$n = f \left(\frac{\delta}{x} \right)$; $m = \varphi \left(\frac{\delta}{x} \right)$ δ — глубина закаленного слоя; x — размер сечения детали



Продолжение

Параметр	Формула для определения параметра*	Обозначение и размерность величин, входящих в формулу
Скорость движения горелки v мм/сек	$v = \frac{A_0^2 B_0 w_0^{1,34}}{m^2}; v' = \frac{w_0^{1,34}}{600 m^2}$	Для глубины закаленного слоя $\delta = 1,3 + 3,0$ мм; $w_0 \approx 50 + 175$ мм/сек; A_0 — коэффициент скорости истечения; B_0 — коэффициент скорости движения горелки; для ацетилено-кислородного пламени $A_0 = 0,00203$, $B_0 = 194$
Глубина закаленного слоя δ мм	$\delta = \frac{n}{m} \sqrt{\frac{B_0}{v}} = \frac{n}{m} \sqrt{\frac{194}{v}};$ $\delta = \frac{n}{A_0 w_0^{0,67}};$	
Число открытых рабочих отверстий горелки	$K_1 = 0,4 \frac{aL}{d}$ $K_1' = L$	a — число рядов отверстий; L — ширина зоны горелки в мм
Шаг отверстий l в мм	$l = 2,5 d_c$	d_c — диаметр отверстий в мм
Расход кислорода V_K л/час	$V_K = \frac{2,83 K_1}{1 + \frac{1}{c}} d_c^2 w_0$ $V_K' = 1,09 K_1 w_0$	c — отношение расхода кислорода к расходу ацетилена; $c = 1,5$
Расход горючего газа V_2 л/час	$V_2 = \frac{1}{c} V_K$ $V_2' = \frac{V_K}{1,5}$	
Контрольное давление кислорода ΔP_K кг/см ²	$\Delta P_K = \frac{V_K}{670 F_1} - 1 \pm 0,08$	F_1 — приведенное сечение инжектора в мм ² , определяемое тарированием: $F_1 = 7,14 \frac{V_B}{\tau \sqrt{H}};$ V_B — объем воды, вытекающей из инжектора с неизменной высотой l время τ сек.
То же ацетилена из баллона ΔP_2 кг/см ²	$\Delta P_2 = \frac{V_2}{710 F_1} - 1 \pm 0,15$	
То же из генератора $\Delta P_2'$ мм рт. ст.	$\Delta P_2' = 0,59 \Delta P_0 - 0,41 \Delta P_{\infty} \pm 1$	ΔP_0 и ΔP_{∞} — показания контрольного манометра при нейтральном пламени и закрытом ацетилене

* Знак „штрих“ относится к ацетилено-кислородному пламени.

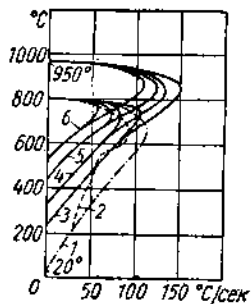
Расход газа и продолжительность нагрева при пламенной закалке (соотношение расходов кислорода и ацетилена $s = 1,5$, глубина закалки $\delta = 1,3 \div 3,0$ мм) [35]

Параметр	Газ	Метод обработки	
		Одновременный нагрев и закалка	Непрерывно-последовательный нагрев и закалка
Расход газа в л/час	Ацетилен	$V_z = 360 \frac{S}{\sqrt{\delta^3}}$	$V_z = 1900 \frac{L}{\sqrt{\delta^3}}$
	Кислород	$V_k = 543 \frac{S}{\sqrt{\delta^3}}$	$V_k = 2900 \frac{L}{\sqrt{\delta^3}}$
Удельный расход газа в л/см ³	Ацетилен	$\Delta V_z = 0,7 \sqrt{\delta}$	$\Delta V_z = 0,45 \sqrt{\delta}$
	Кислород	$\Delta V_k = 1,05 \sqrt{\delta}$	$\Delta V_k = 0,7 \sqrt{\delta}$
Продолжительность нагрева в сек.	—	$\tau = 78^3$	
Скорость перемещения горелок относительно детали или детали относительно горелок в мм/сек	—	—	$v = \frac{12}{\delta^3}$

S — нагреваемая поверхность в см²; L — ширина зоны нагрева в см.
Ацетилен — C_2H_2 — образуется при воздействии воды на карбид кальция:
 $CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2$.
Из 1 кг карбида кальция получается 0,25—0,30 м³ ацетилена. Теплотворность ацетилена $Q_N = 13\,000$ ккал/м³.

Закалочные среды

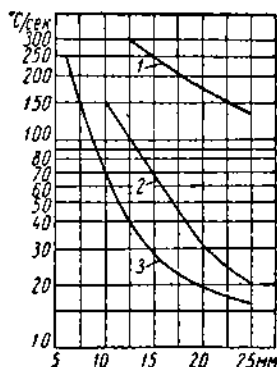
Закалочная среда должна обеспечить энергичное охлаждение стальных деталей в интервале наименьшей устойчивости аустенита и должна создавать



Фиг. 16. Сравнительная охлаждающая способность масел и расплавленной соли (охлаждение стального шарика диаметром 12 мм): 1 — растительное масло; 2 — минеральное масло; 3 — расплавленная соль при температуре 250°C; 4 — то же при 350°C; 5 — то же при 450°C; 6 — то же при 550°C.

минимальную скорость охлаждения в зоне мартенситного превращения ниже температуры 300° (фиг. 16).

Практически наиболее часто применяются следующие закалочные среды: вода при температуре 15—25°;



Фиг. 17. Средняя скорость охлаждения (до полного охлаждения) с 700° стали марки 50 в зависимости от диаметра образцов для охлаждающих сред: 1 — вода при 15° (циркулирующая); 2 — селитра при 175° (перемешиваемая $\tau_{охл} = 30$ сек.); 3 — масло при 55° (циркулирующее).

8—10%—ный водный раствор каустической соды (NaOH) и 10%—ный водный раствор поваренной соли (NaCl) при температуре 15—25°; масла (веретенное 3 и машинное Л) при температуре 20—60° закаливающая способность масла не уменьшается вплоть до 120°).

При изотермической закалке в качестве закалочных сред применяют расплавленные соли.

Сравнительная охлаждающая способность различных закалочных сред приведена ниже и на фиг. 16.

В качестве закалочных сред применяются также коллоидные растворы, например: 1) жидкое стекло с модулем 2,5—3,0 и удельным весом 1,12—1,2; 2) вода + (0,25—1,25%) пленки альгината натрия; 3) вода + (10—25%) ацетата кальция.

Скорость охлаждения стали в различных закаливающих средах

Закаливающая среда	Скорость охлаждения в °С/сек в интервале температур		Закаливающая среда	Скорость охлаждения в °С/сек в интервале температур	
	650—550°	300—200°		650—550°	300—200°
Вода при 18°	600	270	Вода дистиллированная	250	200
" " 28°	500	270	Эмульсия масла в воде	70	200
" " 50°	100	270	Мыльная вода	30	200
" " 74°	30	200	Минеральное машинное масло	150	30
10%—ный водный раствор едкого натра при 18°	1200	300	Трансформаторное масло	120	25
10%—ный водный раствор поваренной соли при 18°	1100	300	Сплав 75% Sn, 20% Cd (~175°)	450	50
10%—ный водный раствор соды при 18°	800	270	Медные плиты	60	30
10%—ный водный раствор серной кислоты при 18°	750	300	Железные плиты	35	15

Сравнительная охлаждающая способность закалочных сред

Закалочная среда		Относительная охлаждающая способность при температуре		
		20°	60°	99°
Вода	Спокойная	1,0	0,44	0,07
	Проточная	1,01	0,46	0,08
Водный раствор NaCl	5% Спокойный	1,12	0,62	—
	10% Проточный	1,14	0,72	0,14
	10% Проточный	1,23	—	—
Водный раствор NaOH	5% Спокойный	1,17	0,78	—
	10% Проточный	1,20	0,90	0,20
	10% Проточный	1,20	—	—
Масло	Трансформаторное	0,17	Повышается То же	—
	Минеральное (машинное, олеонафт и др.)	0,21—0,44		
	Мазут	0,36		
Расплавленные соли	С циркулирующей	Растительное (хлопковое, льняное и др.)	0,15—0,30	—
		При 200°	0,25—0,30	При 260°
Свинец	Спокойный	При 335°	—	—
Воздух	Спокойный	0,03	—	—

Характеристика закалочных масел

Параметры физико-химических свойств	Автол 4-6	Веретенное (ГОСТ 1837-42)		Машинное (ГОСТ 1707-42)		
		2	3	Л	С	СУ
Удельный вес в $кг/дм^3$	0,911	0,876—0,891	0,881—0,901	0,886—0,916	0,886—0,926	—
Вязкость при 50°:						
а) кинематическая в $м/сек$	25,0—29,0	11,8—14,0	19,0—23,0	29—33	41—53	45—57
б) соответствующая ей условная в °Е	3,5—4,0	2,0—2,2	2,8—3,2	4,0—4,5	5,5—7,0	6,0—7,5
Температура вспышки по Бренкену в °С не ниже	180	165	170	180	190	200
Температура застывания в °С не выше	-30	-30	-20	-15	-10	-20
Кислотное число в $мг$ КОН на 1 г масла не более	0,15	0,14	0,14	0,20	0,35	0,15
Содержание золы в % не более	0,01	0,007	0,007	0,007	0,007	0,005
Содержание механических примесей в % не более		Отсутствие		0,007	0,007	0,007
Содержание водорастворимых кислот и щелочей		Отсутствие				

Закалочные среды для изотермической закалки

Состав	Температура плавления в °С	Температура применения в °С
55% KNO_3 + 45% $NaNO_2$ *	137	150—500
55% $NaNO_3$ + 45% $NaNO_2$	221	230—550
55% KNO_3 + 45% $NaNO_3$	218	230—550
$NaNO_2$	317	325—600
KNO_3	337	350—600
$NaNO_3$	—	—
100% КОН (или NaOH) **	360 (322)	330—450

* См. примечание к таблице на стр. 136.

** Процесс светлой изотермической закалки в расплавленной щелочи КОН или NaOH разработан тт. Волковым и Садовским.

Продолжительность и скорость охлаждения в масле образца $\varnothing 22,2$ мм стали 20 с 845° [133]

Вид закалки	Температура закалочного масла в °С	Продолжительность охлаждения τ в сек. и средняя скорость охлаждения $v_{охл}$ в град/сек. до температуры t в °С							
		700		540		370		200	
		τ	$v_{охл}$	τ	$v_{охл}$	τ	$v_{охл}$	τ	$v_{охл}$
Обычная	30	9,1	15,9	14,6	20,9	22,5	21,0	37,5	17,2
	40	9,0	16,1	13,2	23,2	20,2	23,5	36,3	17,8
	60	8,5	17,0	13,5	22,6	21,2	22,4	38,5	16,8
Изотермическая (ступенчатая)	120	7,3	19,9	13,5	22,6	24,5	19,3	53,8	12,0
	150	6,0	24,2	12,5	24,4	26,0	18,3	64,0	10,1
	180	6,3	23,0	13,0	23,5	26,0	18,3	84,0	7,7
	200	6,3	23,0	13,3	23,0	24,8	19,1	—	—
	230	6,3	23,0	13,0	23,5	28,7	16,5	—	—

Среды для нагрева под закалку. Состав солей и сплавов, применяемых в соляных печах-ваннах

Наименование	Химическая формула и процент основного вещества	ГОСТ или ТУ
Селитра калиевая 3-й сорт .	KNO_3 — 98,0	1949-43
Селитра натриевая сорт Б .	$NaNO_3$ — 98,0	328-41
Нитрит натрия 2-й сорт	$NaNO_2$ — 95,0	18880-39
Кальций хлористый технический (плавлен- ный) 1-й сорт	$CaCl_2$ — 67,0	450-41
То же 2-й сорт .	$CaCl_2$ — 67,0	450-41
То же обезвоженный 2-й сорт	$CaCl_2$ — 83,0	ТУМХП 1129-44
Калий хлористый 2-й сорт	KCl — 95,0	} 4568-49
3-й	KCl — 88,0	
Кали едкое, техническое твердое, сорт А	KOH — 92,0	} ОСТ НКТП 3901
Б	KOH — 88,0	
Сода кальцинированная	Na_2CO_3 — 98,0	5100-49
природная 1-й сорт	Na_2CO_3 — 80,0 Na_2CO_3 — 72,0	} ТУ МХП 1240-45
Барий хлористый технический, сорт А .	$BaCl_2 \cdot 2H_2O$ — 95,0	
Б . .	$BaCl_2 \cdot 2H_2O$ — 94,0	} 742-41
Бура техническая 1-й сорт	$Na_2B_4O_7$ — 50,2	
2-й	$Na_2B_4O_7$ — 49,2	} ОСТ 10111-39
Калий железистосинеродистый техниче- ский 1-й сорт .	$K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ — 96,0 $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ — 93,0	
Натрий железистосинеродистый техни- ческий 1-й сорт .	$Na_2Fe(CN)_6 \cdot 10H_2O$ — 97,0	
То же 2-й сорт .	$Na_2Fe(CN)_6 \cdot 10H_2O$ — 95,0	} ОСТ 10177-39
3-й	$Na_2Fe(CN)_6 \cdot 10H_2O$ — 90,0	
Сода каустическая твердая, сорт А	$NaOH$ — 95,0	} 2263-43
Б	$NaOH$ — 92,0	
Цианамид кальция технический 1-й сорт	$Ca(CN)_2$ — 18,0	} В-1780-42
2-й	$Ca(CN)_2$ — 15,0	
Цианплав (черный цианид) рядовой 1-й сорт	$NaCN$ — 47,0	} 452-41
То же 2-й сорт .	$NaCN$ — 42,0	
молотый 1-й сорт . .	$NaCN$ — 47,0	
2-й	$NaCN$ — 42,0	

Характеристика смесей солей, применяемых для соляных печей — ванн

Состав смеси	Содержание в весовых процентах	Температура плавления в °С	Удельный вес при температуре в °С		Температура применения в °С
			Температура	Удельный вес	
NaCl * KCl	44 56	660	{ 25 870	2,08 1,88	720—900
NaCl* BaCl ₂	22,5 77,5	635	—	—	665—870
NaCl BaCl ₂	55 45	540	25	2,3	570—900
NaCl * CaCl ₂	27,5 72,5	500		—	550—800
BaCl ₂ CaCl ₂	50 50	595		—	630—850
NaCl Na ₂ CO ₃	35 65	620		—	650—900
NaCl Na ₂ CO ₃	50 50	560	25	2,3	590—900
NaCl * K ₂ CO ₃	50 50	560	—	—	590—820
KCl * Na ₂ CO ₃	50 50	577	{ 25 760	2,24 1,76	650—870
KCl BaCl ₂	50 50	640	—	—	670—870
NaCl * KCl Na ₂ CO ₃	10 45 45	595	—	—	630—850
NaCl * KCl BaCl ₂	37 41 22	552	{ 25 760	3,07 2,32	590—880
KCl NaCl CaCl ₂	50 20 30	530	—	—	560—870
NaCl BaCl ₂ CaCl ₂	21 31 48	435	—	—	480—780
NaCN Na ₂ CO ₃ BaCl ₂	80 15 5	540	25	1,3	650—900

* Эвтектические смеси

Продолжение

Состав смеси	Содержание в весовых процентах	Температура плавления в °С	Удельный вес при температуре в °С		Температура применения в °С
			Температура	Удельный вес	
NaCN Na ₂ CO ₃ NaCl	75 10 15	590	25 850	1,62 1,25	700—850
NaCN Na ₂ CO ₃ NaCl	45 10 45	675	25 850	1,88 1,37	750—850
NaCN Na ₂ CO ₃ NaCl	30 45 25	625	25 850	2,09 1,52	700—850
NaCN KCN	75 25	593	—	—	850—900
NaCN * KCN	53 47	445	—	—	500—550
NaNO ₂ ** KNO ₃	50 50	143	25 315	2,22 1,85	160—550
NaNO ₂ ** KNO ₃	50 50	225	25 425	2,27 1,89	280—550
NaNO ₂ ** KNO ₃	50 50	220	—	—	280—550

* Эвтектические смеси.
 ** При температуре выше 550° селитра разлагается. При перегреве селитры вступает в химическое соединение (экзотермическое) с железом и чугуном, что связано с опасностью взрыва. Опасен местный перегрев селитры.
 Недопустимо и весьма опасно соединение селитры с сажей, углем и водой (влажными деталями).
 При расплавлении объем селитры увеличивается.
 П р и м е ч а н и е. Подробное исследование свойств солей, применяемых при термической обработке стали, проведено д-р. техн. наук В. М. Вишняковым.

Отпуск

Отпуск (О) — процесс термической обработки, обуславливающий превращение неустойчивых структур закаленного состояния в более устойчивые. Отпуск осуществляется путем нагрева деталей машины и инструментов до температуры ниже интервала превращений, выдержки при этой температуре и последующего охлаждения.

В результате отпуска получают более устойчивые структуры по схеме мартенсит → троостит → сорбит и, как

следствие этого, получают требуемые механические свойства или снятие внутренних напряжений.

Так, например, при отпуске закаленной углеродистой стали происходят следующие изменения: в интервале температур 80 — 170° — переход тетрагонального мартенсита закалки в кубический мартенсит отпуска (и, как следствие, увеличение ударной вязкости) с выделением карбида — Fe₃C; в интервале 200 — 270° — превращение остаточного аустенита в отпущенный мартенсит (со снижением ударной вязкости); в интервале

250—400°—образование троостита и при температуре выше 400°—коагуляция цементита—образование сорбита.

Указанная схема изменений действительна и для легированной стали перлитного и мартенситного классов, с той лишь разницей, что эти изменения происходят при иных (более высоких) температурах.

Отпуск применяется в сочетании с процессами: нормализацией (частично), закалкой, цементацией (для стали, сохраняющей остаточный аустенит в цементованном слое) и цианированием.

По условиям нагрева и выдержки отпуск подразделяется на:

- отпуск высокий — O_v
- " низкий — O_n
- " многократный — $O_{мкр}$

Отпуск высокий (O_v)—нагрев до температуры в интервале 350—650°, выдержка при этой температуре и охлаждение с любой скоростью для стали, не чувствительной (по хрупкости) к скорости охлаждения. Для стали, чувствительной к скорости охлаждения, после выдержки при температуре высокого отпуска применяется ускоренное охлаждение в масле или воде.

Высокий отпуск применяется для деталей, изготавливаемых из улучшаемой конструкционной стали, для инструментов из быстрорежущей стали, а также для цементуемых марок стали (сразу же после цементации), содержащих большое количество остаточного аустенита в слое.

Температура высокого отпуска лежит выше температуры интервала отпускной хрупкости (снижение ударной вязкости некоторых марок стали). Для марок стали, чувствительной к скорости охлаждения (снижение ударной вязкости при малой скорости охлаждения), после отпуска применяется охлаждение деталей в воде.

Отпуск низкий (O_n)—нагрев до температуры в интервале 150—200°, выдержка при этой температуре и охлаждение с любой скоростью.

Низкий отпуск применяется после закалки для деталей, подвергнутых цементации, цианированию и поверхностной закалке, а также для инструментов, изготовленных из углеродистой и легированной инструментальной стали с целью снятия внутренних напряжений.

Отпуск многократный ($O_{мкр}$)—вид отпуска, характеризующийся много-

кратным (2—4 раза) повторением нагрева до заданной температуры с последующим полным охлаждением. Многократный отпуск применяется главным образом для инструментов из быстрорежущей стали.

В результате многократного отпуска достигается более полное превращение остаточного аустенита, что приводит к повышению твердости и стойкости режущего инструмента.

Низкотемпературная обработка

Низкотемпературная обработка (*Н-то*) (обработка холодом*)—процесс термической обработки, обуславливающий возможно более полное превращение остаточного аустенита в мартенсит у стали, температура конца мартенситного превращения которой лежит ниже нормальной (P18, P9, XГ, ШХ15, науглеродженный слой стали 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 18ХНВА и т. п.).

Металлы и сплавы, применяемые для нагрева под отпуск стальных деталей*

Состав	Температура плавления в °С	Температура практического применения в °С
100% Pb (С ₁) технически чистый**	327	335—930
100% Sn (С ₂) технически чистое	232	240—1000
63% Sn + 37% Pb	183	190—350
91% Sn + 9% Zn (СВ ₂)	200	205—400
32,5% Sn + 67,5% Pb	225	245—400
15% Sn + 85% Pb	280	300—500

* Указанные металлы и сплавы могут также применяться при изотермической закалке. С целью снижения испарения поверхность ванны покрывается древесным углем или легкоплавкой солью.
** Свинец применяется также для нагрева стальных деталей под закалку.

В результате низкотемпературной обработки повышается твердость и стойкость режущего инструмента, происходит стабилизация размеров и повышается износостойчивость и предел выносливости цементованных деталей машин, вместе с тем снижается их ударная вязкость.

Низкотемпературная обработка впервые была предложена проф. А. П. Гуляевым.

Характеристика масел, применяемых для отпуска

Физико-химические свойства	Цилиндровое 6 (ГОСТ 3191-46)	Валор (ОСТ 788-43)	Валор С (МНП 220-46)	Вискозин (ГОСТ 1859-42)
Вязкость при 100°С условная в °Е	4,5—6,0	5,5—7,5	< 7,5	3,0—4,0
Температура вспышки по Бренкену в °С не ниже	300	310	310	240
Температура застывания в °С не выше	+ 17	—	—	—

Эффективность низкотемпературной обработки некоторых марок стали (В. Г. Воробьев [155])

Марка стали	Границы превращения		Количество остаточного аустенита после закалки А в %**		Прирост твердости после охлаждения до M_K в единицах H_{RC}
	M_N в °С*	M_K в °С	При + 20°С	После охлаждения до M_K	
У7	300—255	—55	До 5	1	До 0,5
У8	255—230	—55	3—8	1—6	До 1,0
У9	230—210	—55	5—12	3—10	1,0—1,5
У10	210—175	—60	6—18	4—12	1,5—3,0
У12	175—160	—70	10—25	5—14	3—4
X05	150—140	—95	15—30	2—14	4—7
X09	175—160	—85	10—27	5—14	2—4
7Х	280—230	—55	3—10	1—3	До 1,0
9Х	220—180	—70	6—18	4—13	1,0—2,5
Х	175—145	—90	10—28	5—14	3—6
7ХЗ	240—185	—60	4—17	2—12	1,0—2,5
9ХС	210—185	—60	6—17	4—12	1,5—2,5
ШХ15	180—145	—90	9—28	4—14	3—6
ХВГ	155—120	—110	13—45	2—17	До 10
ХГ	120—100	—120	22—60	До 20	До 15
15Х—20Х***	175—150	—85	10—25	5—12	3—5
20ХЗ***	140—120	—100	17—40	До 15	До 10
60Г—70Г	290—230	—55	До 8	До 6	До 1,0
15Н2А***	160—140	—95	12—30	3—14	4—7
13Н5А и 21Н5А***	120—100	—120	22—60	До 20	До 15
18ХНВА***	130—120	—100	20—45	До 15	До 10

* Интервал значений M_N указан для отклонений химического состава по техническим условиям.

** Указанное количество аустенита относится к температурам закалки, обеспечивающим образование гомогенного аустенита; охлаждающие среды — обычные для данных марок стали.

*** Данные относятся к цементованному слою.

Влияние низкотемпературной обработки ($t = -183^\circ$) на механические свойства и износоустойчивость некоторых марок легированной стали [8]

Марка стали	Механические свойства*										
	До низкотемпературной обработки					После низкотемпературной обработки					Увеличение износоустойчивости в %
	$\sigma_{0,2}$ в кг/мм ²	Стрела прогиба γ в мм	a_K в кг/мм ²	H_{RC}	Величина износа в мм ³	$\sigma_{0,2}$ в кг/мм ²	Стрела прогиба γ в мм	a_K в кг/мм ²	H_{RC}	Величина износа в мм ³	
12Х2Н4А	222	2,6	15,3	58—59	5,75	191	2,2	13,1	58—64	3,99	32
18ХГТ	252	2,95	3,35	57—58	2,85	230	2,75	2,4	60—63	2,38	16
18ХНМА	257	4,07	10,5	46—50	3,85	186,3	2,90	7,27	60—61	2,38	38
18ХГМ	202	2,4	3,5	58,5—59,5	3,90	177	1,68	1,82	60—61	2,45	37

* Образцы размером 10×10×120 мм подвергались газовой цементации на глубину 1,5 мм с последующей непосредственной закалкой и низким отпуском при температуре 150°.

Старение

Старение (*Ст*) искусственное — процесс термической обработки, обусловливающий изменение тетрагональности мартенсита в закаленной стали*.

В результате старения происходит стабилизация размеров изделий.

Искусственное старение применяется для измерительных инструментов — калибров, скоб и т. п. и деталей точного машиностроения.

Температура искусственного старения 150—180°, продолжительность 5—20 час.

Процесс старения протекает также и при нормальной температуре, но при гораздо большей длительности.

* Процесс старения алюминиевых сплавов по физической сущности отличается от процесса старения стали.

Процессы химико-термической обработки

Химико-термическая обработка — изменение химического состава в поверхностных слоях металла (с последующим изменением микроструктуры) под воздействием внешних сред и температуры и, как следствие этого, получение определенных физико-механических свойств поверхности и сердцевины во взаимодействии.

Химико-термическая обработка применяется с целью повышения предела выносливости конструкционной стали при циклических нагрузках повышения износоустойчивости трущихся поверхностей деталей и с целью противодействия влиянию внешних сред при нормальной и высокой температуре (устойчивость против коррозии и жаростойкость).

Влияние химико-термической обработки на предел выносливости хромоникельмолибденовой стали [177, т. I]

$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	Форма образца	Напряженное состояние	K_{σ} или K_{ϵ}	Химико-термическая обработка		Предел выносливости в кг/мм ²		Коэффициент повышения предела выносливости
				Вид	δ в мм	без обработки	после обработки	
127—130	Круглый, гладкий, Ø 14 мм	Изгиб Кручение	1,0 1,0	Цементация *	0,2	62	70	1,13
					0,2	25	31,5	1,26
127—130	То же с поперечным отверстием Ø 2 мм	Изгиб Кручение	1,82 2,06	Цементация * после сверления отверстия	0,2—0,3 0,2—0,3	34 12	44 29	1,29 2,41
70—120	Круглый гладкий, Ø 7,5—14 мм	Изгиб	1,0	Азотирование	0,2—0,8	—	—	1,2—1,5
70—120	Круглый обработанный, Ø 5 мм с треугольным надрезом глубиной 0,3 мм и углом при вершине 60°	Растяжение	1,6	Азотирование	0,35—0,5	21,5	54,0	2,5 (влияние надреза полностью скомпенсировано)
70—120	Круглый, Ø 10 мм с надрезом, профиль которого совпадает с профилем метрической нарезки 10 мм	Изгиб	3,06	Азотирование	0,35—0,5	12,5	50,25	4,0 (влияние надреза полностью скомпенсировано)

* После цементации — закалка и низкий отпуск.

**Предел выносливости при изгибе
цианированных, цементованных
и азотированных образцов $\varnothing 10$ мм**
[40, вып. 26]

Марка стали	Термическая обработка образцов			σ_{-1} в кг/мм ²	σ_{RA}
	Режим	τ в час.	δ мм		
10	З, 0	—	—	25,2	—
	Ц, 900°	4	0,36	43,2	80—81
	Цнр, 820°	0,25	0,08	38,8	74
	Цнр, 820°	1	0,18	45,3	78
12ХНЗА	З, 830°	—	—	40—42	—
	Он, 150—170°	—	—	—	—
	Цнр, 850°	0,33	0,15	46,0	78—80
	Цнр, 850°	1	0,33	54,0	80—81
38ХМЮА	З, 0	—	—	48—49	—
	Аз, 540°	15	0,15	60,0	80—81
	Аз, 540°	25	0,32	62,0	80—81

Любой из процессов химико-термической обработки осуществляется при взаимодействии внешних газовых или жидких сред с поверхностью металла при абсорбции и диффузии активного элемента в атомарном состоянии в глубь металла. Комплексное рассмотрение явлений, протекающих во внешней среде, на поверхности и внутри металла является научно обоснованным методом изучения процесса и нахождения путей его интенсификации при воздействии на явления, протекающие с наименьшей скоростью и тормозящие тем самым развитие процесса в целом.

Аналитическими и экспериментальными исследованиями установлена применимость законов Фика к случаю диффузии различных элементов в твердых растворах:

$$1) \quad dm = -D \frac{dc}{dx} dF dt,$$

где D — коэффициент диффузии в см²/сек ($\frac{см^2}{24 \text{ часа}}$);

$$D = A e^{-\frac{Q}{RT}} \quad \delta = \frac{Q}{Nn} \quad \delta z e^{-\frac{Q}{RT}}$$

Q — теплота диффузии; R — газовая постоянная ($R = 1,987$); δ — межатомное

расстояние металла, в котором происходит диффузия; N — число Авогадро; n — постоянная Планка; A — коэффициент

$$\ln D = \ln A - \frac{Q}{R} \frac{1}{T} \quad (\text{см. фиг. 20}).$$

Из первого закона Фика вытекает параболическая зависимость глубины слоя x в мм от продолжительности процесса τ в час.

$$x = \sqrt{2\tau};$$

$$2) \quad \frac{dm}{d\tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right).$$

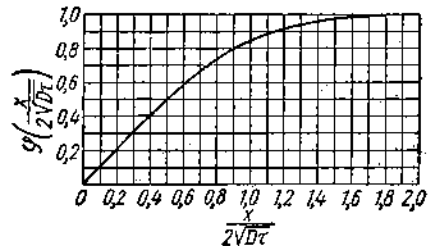
Решение этого уравнения приводит к выражению

$$C_x = C_f + (C_0 - C_f) \varphi \left(\frac{x}{2\sqrt{D\tau}} \right);$$

$$\frac{C_x - C_f}{C_0 - C_f} = \varphi \left(\frac{x}{2\sqrt{D\tau}} \right);$$

C_0 — начальное содержание в стали диффундирующего элемента; C_x — содержание диффундирующего элемента на глубине x от поверхности; C_f — содержание диффундирующего элемента в поверхностной тонкой зоне;

$\varphi \left(\frac{x}{2\sqrt{D\tau}} \right)$ — интеграл Гаусса (фиг. 18), по значению которого на основании по-



Фиг. 18. Значение функции $\varphi \left(\frac{x}{2\sqrt{D\tau}} \right)$.

слойного химического анализа определяется коэффициент диффузии D элемента.

Цементация

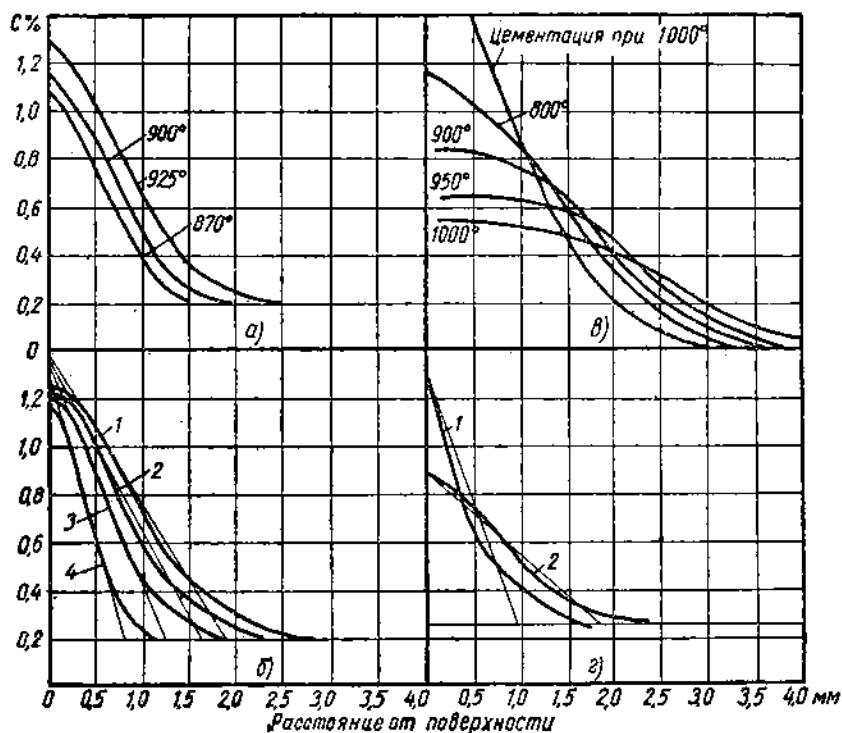
Цементация (науглероживание) (Ц) — процесс химико-термической обработки стальных деталей, обуславливающий

насыщение их поверхности углеродом на определенную глубину.

Цементация осуществляется путем нагрева стальных деталей в присутствии науглероживающей среды до температуры аустенитного состояния стали при оптимальном значении абсорбции угле-

поверхности к сердцеvine и изменение в этой связи после термической обработки механических свойств слоя и детали в целом — повышение износостойкости, предела выносливости и предела прочности поверхностного слоя.

Распределение концентрации углерода



Фиг. 19. Распределение концентрации углерода по глубине слоя в зависимости от факторов: а — температуры процесса (сталь 20); б — продолжительности процесса (1—8,3 часа, 2—6,3 часа, 3—4,3 часа, 4—2,3 часа) (сталь 20); в — температуры выдержки без карбюризатора при $\tau_{\text{в}} = 10$ час. (сталь 08) после цементации при 1000°C ; г — продолжительности выдержки без карбюризатора; 1 — $\tau_{\text{в}} = 3$ часа 10 мин.; 2 — $\tau_{\text{в}} = 4$ часа 45 мин. после предварительной цементации.

рода. При этой температуре осуществляется выдержка, продолжительность которой зависит от требуемой глубины слоя, после чего следует охлаждение с различной скоростью, начиная с замедленной и кончая непосредственной закалкой.

Цементованные детали подвергаются закалке и низкому отпуску.

В результате цементации происходит изменение концентрации углерода от

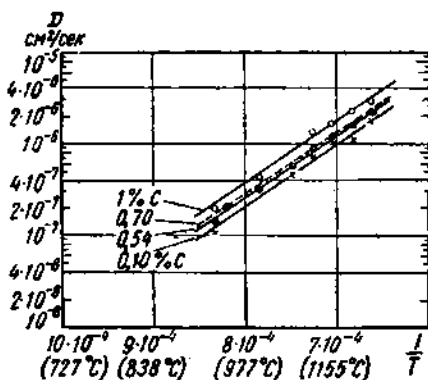
по глубине является функцией температуры, продолжительности, активности карбюризатора и других факторов (фиг. 19).

Скорость диффузии углерода в феррите наименьшая, а в аустените — наибольшая, поэтому процесс цементации стали проводится при температурах выше A_{c3} (900 — 940°), при этом температура является одним из факторов повышения эффективности процесса.

Числовые значения коэффициента диффузии углерода в аустените зависят:

а) от температуры

$$D = 0,12 e^{-\frac{32\,000}{RT}} \quad (\text{фиг. 20});$$

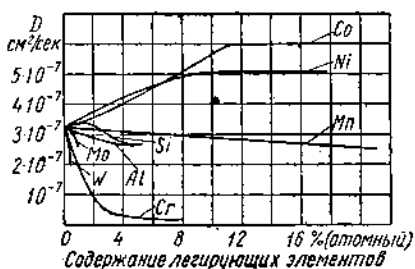


Фиг. 20. Числовые значения коэффициента диффузии углерода в аустените.

б) от начального содержания углерода в стали

$$D = (0,07 + 0,06\%_0 C) e^{-\frac{32\,000}{RT}}$$

$$D = (0,04 + 0,08\%_0 C) e^{-\frac{31\,350}{RT}}$$



Фиг. 21. Влияние легирующих элементов на коэффициент диффузии углерода в аустените (1000°; 0,4% C).

в) от легирующих элементов. Для конструкционной легированной стали эта зависимость приведена на фиг. 21 и в таблицах.

Влияние легирующих элементов на коэффициент диффузии углерода в аустените [40, вып. 24]

Элемент	Содержание элемента в %	Температура диффузии в °C	Коэффициент диффузии углерода $D \cdot 10^7$ см ² /сек при содержании углерода в %		
			0,2	0,4	0,7
C		1000	2,45	3,36	4,11
		1100	6,06	7,95	10,5
		1200	13,1	17,3	23,1
Ni	4,0	1000	2,67	3,4	4,5
		1100	6,54	8,3	11,0
		1200	14,03	17,9	23,7
	9,5	1000	—	4,2	5,6
		1100	—	10,1	13,4
		1200	—	21,9	29,2
18,0	1000	3,6	4,8	6,7	
	1100	8,6	11,4	15,9	
	1200	17,5	23,3	32,3	
Mn	1,0	1000	2,62	3,3	4,2
		1100	6,47	8,1	10,4
		1200	14,5	18,2	23,2
	12,0	1000	2,42	2,9	3,9
		1100	6,45	7,7	10,4
		1200	14,8	17,7	24,9
19,0	1000	2,4	2,6	2,9	
	1100	6,8	7,34	8,2	
	1200	16,7	18,3	24,0	
Cr	1,0	1000	1,39	1,9	2,26
		1100	3,7	5,8	6,05
		1200	8,9	12,1	14,3
	2,5	1000	0,41	0,64	0,82
		1100	1,19	1,82	2,4
		1200	2,81	4,40	5,6
7,0	1000	2,62	3,94	5,49	
	1100	8,0	12,1	16,6	
	1200	21,6	32,0	43,4	
Mo	0,9	1000	2,3	3,5	5,05
		1100	6,1	9,3	13,4
		1200	14,3	21,8	31,4
	1,55	1000	1,85	2,47	3,24
		1100	5,01	6,7	8,8
		1200	11,6	15,6	20,4
Co	6,0	1000	3,9	4,9	6,2
		1100	9,3	11,4	14,8
		1200	20,4	25,7	32,4
	11,0	1000	3,9	5,42	7,65
		1100	9,5	13,2	18,7
		1200	19,1	26,7	37,7
21,0	1000	—	5,6	7,81	
	1100	—	12,8	17,8	
	1200	—	27,0	37,6	

Продолжение

Элемент	Содержание элемента в %	Температура диффузии в °С	Коэффициент диффузии углерода $D \cdot 10^7 \text{ см}^2/\text{сек}$ при содержании углерода в %		
			0,2	0,4	0,7
W	0,5	1000	2,18	3,06	4,36
		1100	5,4	7,6	10,8
		1200	11,7	16,4	23,4
	1,05	1000	2,08	2,78	3,46
		1100	5,2	6,97	8,7
		1200	11,6	15,5	19,3
1,95	1000	1,4	2,0	2,8	
	1100	3,68	5,26	7,36	
	1200	8,5	12,1	16,9	
Si	1,6	1000	2,08	2,76	3,8
		1100	5,24	7,0	9,58
		1200	11,5	15,3	21,0
	2,55	1000	1,6	2,58	3,2
		1100	4,08	6,5	8,07
		1200	8,9	14,4	17,9
Al	0,7	1000	2,7	3,26	—
		1100	6,6	8,0	—
		1200	14,4	17,3	—
	1,7	1000	2,23	2,97	—
		1100	5,6	6,4	—
		1200	12,4	14,3	—
2,45	1000	1,9	2,58	—	
	1100	4,8	6,4	—	
	1200	10,6	14,1	—	

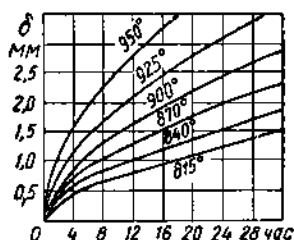
Влияние легирующих элементов на диффузионные константы при диффузии углерода в γ -железо (0,40% C) [40, вып. 24]

Элемент	%%	$A \text{ в см}^2/\text{сек}$	$Q \frac{\text{кал}}{\text{г.атом}}$
C	0,0	0,07	31 350
	1,0	0,11	34 300
	2,5	0,14	37 900
	7,0	0,18	38 900
Mn	0,0	0,07	31 350
	1,0	0,08	31 600
	12,0	0,19	33 900
	19,0	0,41	36 100
Ni	0,0	0,07	31 350
	4,0	0,07	31 000
	9,5	0,07	30 350
	18,0	0,06	29 800
Co	0,0	0,07	31 350
	6,0	0,08	30 500
	11,0	0,07	29 900
	21,0	0,05	28 850

Кремний тормозит процесс науглероживания стали из-за образования пленки окислов на поверхности детали.

За глубину цементованного слоя наиболее правильно принимать сумму заэвтектоидной, эвтектоидной и половины переходной зон. Это соответствует (после закалки) полумартенситной структуре твердостью 40—45 HR_C и содержанию углерода $\sim 0,45-0,50\%$.

Глубина цементованного слоя δ в мм в зависимости от продолжительности



Фиг. 22. Зависимость глубины цементованного слоя δ от продолжительности процесса.

цементации τ в час. является параболической функцией

$$\delta = \sqrt{2\tau c}; \quad \delta = 800 \sqrt{\tau} \cdot 10^{-\frac{6700}{T}}$$

(фиг. 22).

Цементации подвергаются детали машин: шестерни, распределительные валики, поршневые пальцы, валы, лемехи и отвалы плугов и т. п.; измерительный инструмент: калибры, лекала, шаблоны и т. п.

Цементуемые марки стали: 10—25, 15Г, 20Г, 15Х, 20Х, 20ХЗ, 21Х, 25Н, 15ХГ, 20ХГ, 18ХГМ, 18ХГТ, 15ХФ, 20ХФ, 12ХМ, 20ХМ, 15НМ, 20НМ, 20ХН, 12Х2Н4, 20Х2Н4.

С целью повышения общей прочности деталей современной тенденцией является применение цементуемых марок стали с повышенным содержанием углерода до 0,30%.

Цементация подразделяется по условиям воздействия внешних факторов на:

- цементацию твердым карбуризатором $C_{тв}$
- цементацию газовую $C_{г}$
- жидкостную $C_{ж}$

Цементация твердым карбуризатором ($C_{тв}$) осуществляется путем нагрева стальных деталей в твердом карбуризаторе.

Детали упаковываются в ящики с запылкой твердым карбюризатором, содержащим 20—35% свежего и 80—65% отработавшего карбюризатора. При упаковке деталей в ящики между деталями принимается расстояние 5—15 мм, между деталями и дном ящика 20—30 мм, между деталями и боковыми стенками 15—25 мм, между деталями и верхней крышкой 25—40 мм.

При цементации твердым карбюризатором активным элементом, производящим науглероживание, является окись углерода. Соли — BaCO_3 и CaCO_3 являются активизаторами, ускоряющими процесс образования окиси углерода.

При высокой активности внешней среды и при высокой скорости реакций взаимодействия окиси углерода с поверхностью стальных деталей процесс науглероживания подчиняется указанным ниже закономерностям.

Состав твердого древесноугольного (березового) карбюризатора (ГОСТ 2407-51)

Составляющие	Состав карбюризатора в %		
	1-й сорт	2-й сорт	Полукоксый ГОСТ 5535-50
BaCO_3	20—25	20—25	10—15
CaCO_3	3,5	5,0	3,5
S	0,06	0,1	0,35
SiO_2	0,5	1,5	—
Влага	5,0	5,0	6,0
Летучие	10	10	—
Зернистость:			
Фракции \varnothing от 3,5 до 10 мм	92	80	80
от 10 до 14 мм	6	15	15
< 3,5 мм	2	5	5

Продолжительность процесса цементации твердым карбюризатором в зависимости от требуемой глубины цементованного слоя

Глубина слоя в мм	Общая продолжительность процесса в час.
0,4—0,7	4,5—5,5
0,6—0,9	5,5—6,5
0,8—1,2	6,2—10
1,0—1,4	8—11,5
1,2—1,6	10—14
1,4—1,8	11,5—16
1,5—1,9	13—18
1,6—2,0	14—19
1,8—2,2	16—22
2,0—2,4	19—24

Ящики и крышки к ним изготавливаются стальными, чугунными и из жароупорного сплава. Стойкость сварных стальных ящиков 150—200 час., литых стальных и чугунных — 250—500 час. и из жароупорного сплава 4000—6000 час.

Для повышения эффективности процесса применяются специальные ящики, изготовленные с учетом конфигурации деталей.

Контроль результатов цементации осуществляется на образцах — прутках \varnothing 8—10 мм из той же стали, что и цементуемые детали. При цементации низко- и среднеуглеродистых марок стали могут применяться образцы из стали марки 20.

Образцы закладываются в ящики вместе с деталями и вынимаются в конце процесса цементации. По излому после закалки судят о глубине слоя и величине зерна: в металлографической лаборатории определяется более точно глубина слоя и микроструктура (наличие и характер распределения цемента).

Цементация газовая C_2 осуществляется путем нагрева и выдержки стальных деталей в присутствии газового карбюризатора — смеси газов, содержащих в своем составе метан — CH_4 , окись углерода — CO , непредельные углеводороды и др.

Впервые процесс газовой цементации был разработан русским ученым Аносовым в 1837 г. В 1933—1934 гг. проф. Н. А. Минкевич и его ученики провели исследования по цементации стальных деталей парами масел, а затем под руководством Н. А. Минкевича в ЦНИИТМАШ был разработан и внедрен на Московском автозаводе имени Сталина в 1934 г. процесс цементации газом пиролиза и крекинга керосина.

Газовая цементация является наиболее прогрессивным, в сравнении с цементацией твердым карбюризатором, процессом вследствие его меньшей продолжительности.

Разработка Стальпроектком современных безмуфельных печей для газовой цементации и многооперационных агрегатов позволяет в более широких масштабах внедрять этот процесс на отечественных машиностроительных заводах.

Активным науглероживающим элементом при газовой цементации является

Глубина цементованного слоя в мм в зависимости от продолжительности и температуры процесса газовой цементации

Продолжительность процесса в час,	Температура в °С									
	760	800	820	850	875	900	925	950	980	1000
1	0,20	0,25	0,30	0,30	0,46	0,53	0,63	0,74	0,86	1,00
2	0,28	0,36	0,69	0,53	0,63	0,76	0,89	1,04	1,22	1,42
3	0,36	0,43	0,53	0,63	0,79	0,94	1,09	1,30	1,50	1,75
4	0,41	0,51	0,61	0,74	0,89	1,07	1,27	1,50	1,75	2,00
5	0,46	0,56	0,69	0,84	1,00	1,20	1,42	1,68	1,96	2,26
6	0,48	0,61	0,76	0,91	1,09	1,32	1,55	1,83	2,13	2,46
7	0,53	0,66	0,78	1,00	1,19	1,42	1,68	1,98	2,31	2,55
8	0,56	0,71	0,86	1,04	1,27	1,52	1,80	2,11	2,46	2,80
9	0,61	0,74	0,91	1,12	1,35	1,60	1,90	2,23	2,55	3,05
10	0,64	0,79	0,96	1,17	1,42	1,70	2,00	2,36	2,79	3,20
11	0,66	0,84	1,02	1,22	1,50	1,78	2,11	2,46	2,82	3,35
12	0,69	0,86	1,07	1,30	1,55	1,85	2,21	2,50	3,05	3,55
13	0,71	0,89	1,09	1,35	1,62	1,93	2,29	2,54	3,06	3,56
14	0,74	0,94	1,14	1,40	1,68	2,00	2,39	2,79	3,30	3,81
15	0,79	1,00	1,20	1,45	1,73	2,10	2,47	2,81	3,38	3,92
16	0,81	1,00	1,22	1,50	1,80	2,13	2,54	2,85	3,50	4,06
17	0,84	1,02	1,27	1,52	1,85	2,21	2,55	3,05	3,55	4,17
18	0,85	1,06	1,30	1,57	1,90	2,29	2,69	3,17	3,72	4,32
19	0,86	1,09	1,35	1,62	1,96	2,34	2,70	3,30	3,81	4,40
20	0,89	1,12	1,37	1,68	2,00	2,39	2,80	3,31	3,89	4,55
21	0,91	1,14	1,40	1,70	2,06	2,46	2,90	3,41	3,98	4,62
22	0,94	1,17	1,42	1,75	2,11	2,51	2,96	3,50	4,06	4,73
23	0,97	1,19	1,47	1,77	2,16	2,54	3,05	3,55	4,17	4,83
24	0,99	1,22	1,50	1,83	2,19	2,62	3,10	3,66	4,29	5,00
	1,00	1,24	1,52	1,85	2,23	2,66	3,16	3,73	4,33	5,10

ся метан; некоторое участие принимает также и окись углерода.

Детали загружаются при помощи приспособления, на котором они располагаются на расстоянии 5—10 мм одна от другой. Загруженное приспособление устанавливается в цементационную печь.

Благодаря такой загрузке деталей (без упаковки в ящики) и большой активности внешней газовой среды (метана) эффективность процесса газовой цементации резко повышается.

Газовый карбюризатор получают следующими методами.

а) Из жидких нефтепродуктов, в частности из керосина, путем его

пиролиза при температуре в пределах 700—800° без доступа воздуха.

Состав газа варьирует в широких пределах в зависимости от температуры пиролиза:

25—80% H_2 ; 50—100% CH_4 ; 25—5% C_2H_6 ; остальные CO , CO_2 , N_2 и O_2 в пределах до 3% каждого в зависимости от подсоса воздуха в реторту пиролизной установки. С повышением температуры пиролиза увеличивается содержание H_2 и снижается содержание тяжелых углеводородов C_nH_m ; помимо газа в реторте пиролизной установки выделяются смолы и сажа.

Наличие в составе пиролизного газа тяжелых углеводородов и метана приводит к выделению большого количества сажи и смолы (коксоустихля) веществ в муфеле цементационной печи. Поэтому пиролизный газ может применяться в качестве газового карбюризатора в мелких печах, при малом расходе газа и обязательно при интенсивной его циркуляции в муфеле печи (печи шахтные, с вращающейся ретортой и т. п.).

б) Из керосина путем его пиролиза и последующего крекирования пиролизного газа при 900—940° в смеси с водяным паром (см. табл. на стр. 170). Схема приготовления газового карбюризатора по данному методу следующая.

1. Пиролиз керосина при 740—760°, состав газа (ПГН):

20—25% H_2 ; 55—40% CH_4 ; 25—20% C_2H_6 , остальное CO , CO_2 , O_2 и N_2 до 6,0% в сумме, в зависимости от подсоса воздуха в реторту (трубы) пиролизной установки.

2. Очистка пиролизного газа от смол и частично тяжелых фракций углеводородов водой, а затем соляровым маслом.

3. После очистки часть пиролизного газа ($\sim 25\%$) подвергается крекированию в смеси с водяным паром при $900-940^\circ$.

Состав крекинг-газа (КГН):
 $60-70\%$ H_2 ; $15-6\%$ CH_4 ; $\leq 1,5\%$ C_2H_6 ; $16-26\%$ CO ; остальное CO_2 , O_2 и N_2 в сумме до 8% .

4. Очистка крекинг-газа водой и осушка 10% -ным водным раствором хлористого кальция. Подушенный крекинг-газ в смеси с пиролизным в соотношении $\sim 60:40$ подается в цементационные печи.

в) Из бензола C_6H_6 или пиробензола (ТУ 52—42 Главнефтебшты) путем его ввода в муфель цементационной печи каплями или при предварительном его испарении в отдельной реторте.

Пиробензол в качестве газового карбюризатора применяется главным образом в шахтных печах при циркуляции атмосферы в муфеле печи.

г) Из бензола или пиробензола с предварительным его испарением в смеси с водой. Водяной пар служит разбавителем, предупреждающим выделение в муфеле печи смолистых веществ и сажи.

д) Из углеводородных газов — природного, нефтяного, сжиженных, а также светильного и коксового путем их крекирования при $900-1100^\circ$ в смеси с воздухом (при $\alpha \leq 0,25$). Состав крекинг-газа углеводородов (КГУ): $30-40\%$ H_2 ; $2-4\%$ CH_4 ; $18-22\%$ CO ; остальное N_2 ; к крекинг-газу указанного состава при вводе в муфель цементационной печи добавляется $1-5\%$ исходного газа.

е) Из любых углеводородных газов путем их частичного сжигания при $\alpha = 0,5 \div 0,6$ с последующим добавлением при вводе в муфель цементационной печи $5-10\%$ исходного газа.

ж) Цементация генераторным (безсернистым) газом в смеси с углеводородами — бензолом, природным, светильным и сжиженными газами.

Цементация жидкостная $Ц_{ж}$ осуществляется путем нагрева стальных деталей в расплавленных солях, содержащих в своем составе NaCN или SiC (табл. на стр. 148).

Особенностями процесса жидкостной цементации являются: ускорение процесса науглероживания, равномерность

нагрева цементуемых деталей, возможность непосредственной закалки из цементирующей ванны, отсутствие окисления и обезуглероживания и т. п. Процесс является новым и, вследствие его высокой эффективности, прогрессивным.

Впервые жидкостная цементация в ваннах, содержащих SiC, была разработана проф. С. С. Штейнбергом. Этот метод нашел применение для цементации болтов и других мелких деталей. В этом случае цементация производится при температуре $840-860^\circ$ в ваннах, состоящих из $75-80\%$ Na_2CO_3 , $15-20\%$ NaCl и $\sim 10\%$ SiC.

Цементация в ваннах, содержащих NaCN, разработана и применяется на Московском мотозаводе. Оптимальный режим жидкостной цементации конструкционных сталей в ваннах с NaCN следующий:

температура процесса $850-950^\circ C$
 глубина цементованного слоя $0,5-2,0$ мм
 продолжительность процесса $1,0-6,0$ час.
 содержание углерода в поверхностном слое $0,8-1,0$ %
 содержание азота в поверхностном слое $\leq 0,2\%$
 максимальная глубина азотирования $0,10-0,25$ мм

Характеристика цементованного слоя при жидкостной цементации стали 20 [120]

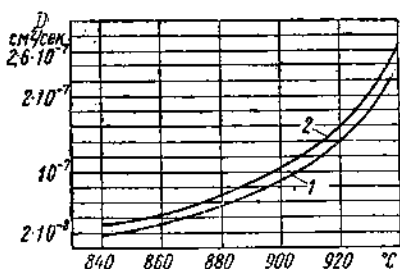
(содержание в ванне 35% NaCN, $t = 840^\circ$, $\tau = 3$ часа)

Глубина от поверхности в мм	Содержание в %	
	углерода	азота
0,125	0,82	0,19
0,25	0,80	0,14
0,37	0,64	0,06
0,50	0,48	0,03
0,63	0,40	0,01

Продолжительность процесса жидкостной цементации в зависимости от требуемой глубины цементованного слоя

Глубина цементованного слоя в мм	Продолжительность процесса в час.	Глубина цементованного слоя в мм	Продолжительность процесса в час.
0,4—0,7	1—2	1,2—1,6	4—6,5
0,6—0,9	1,5—3	1,4—1,8	5—8
0,8—1,2	2—4	1,5—1,9	6—9
1,0—1,4	3—5	1,6—2,0	7—10

Значения коэффициента диффузии углерода в зависимости от температуры жидкостной цементации приведены на фиг. 23.



Фиг. 23. Коэффициент диффузии углерода в зависимости от температуры жидкостной цементации: 1 — сталь 15; 2 — Cr — Mn сталь (0,18% C; 1,38% Mn; 1,3% Cr [120]).

Условия смешивания различных солей с цианистыми солями, применяемыми при жидкостной цементации

Допустимость смешения*	Соли	Результат смешения
Недопустимо	NaOH	Разложение NaCN
	NaNO ₃ , KNO ₃ , NaNO ₂ , KNO ₂	Взрыв, выплескивание солей из ванны** (при NaCN ≥ 5%)
Допустимо	NaCl, KCl, BaCl ₂ , Na ₂ CO ₃	Цианистые соли растворяются

* Категорически недопустимо попадание в расплавленные соли воды.
 ** При изотермической закалке применяется перенос деталей через нейтральные ванны из смеси хлористых и углекислых солей — NaCl, KCl, BaCl₂, Na₂CO₃ и т. п.

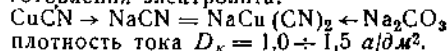
В цементованном слое как по концентрации, так и по глубине слоя преобладающим является содержание углерода. После жидкостной цементации и последующей закалки поверхностная твердость деталей равна 60—62 HRC.

Защита стальных деталей от цементации меднением*.

Схема технологического процесса меднения: 1. Изоляция воском мест

2. Монтаж детали на приспособления.
3. Обезжиривание химическое или электролитическое.
4. Промывка в холодной проточной воде.
5. Травление химическое или электролитическое.
6. Промывка (двукратная) в холодной проточной воде.
7. Меднение в цианистом электролите.
8. Промывка в холодной проточной воде.
9. Демонтаж приспособлений.
10. Снятие воска.
11. Протирка и сушка.
12. Технический контроль.

Меднение. Состав электролита: медь цианистая CuCN — 45 г/л; натрий цианистый NaCN — 70 г/л; натрий углекислый Na₂CO₃ — 20 г/л. Способ приготовления электролита:



Требуемая толщина покрытия для защиты стали от цементации — 20—40 мк.

Определение продолжительности покрытия толщиной более 5 мк производится по данным таблицы путем пропорционального увеличения, например для требуемой глубины $\delta = 20 \text{ мк}$ при $D_k = 1,0 \text{ а/дм}^2$ и при $\eta = 65\%$

$$\tau = \frac{20 \cdot 11 \cdot 100}{5 \cdot 65} = 68 \text{ мин.}$$

Продолжительность меднения (в мин.) для защиты от цементации (выход по току $\eta = 100\%$, электролит цианистый)

Толщина слоя δ в мк	Плотность тока D_k в а/дм ²					
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5
1	23	9	4,5	3	2	1,5
2	45	18	9	6	4,5	3
3	68	27	13,5	9	7	4,5
4	90	36	18	12	9	6
5	113	45	23	15	11	7,5

Температура электролита $30 \pm 5^\circ$. Анодом служат пластины электролитной меди. Практический средний катодный выход по току — 65%. Толщина слоя покрытия δ за время $\tau = 1$ час составляет 17—26 мк.

$$\delta = \frac{D_k \tau E \eta}{\gamma} \text{ (см. таблицу);}$$

E — электрохимический эквивалент в г/а-час; γ — удельный вес осаждаемого металла (меди) в г/см³.

* См. Г. Т. Бахвалов и др., Защитные покрытия металлов в машиностроении, Машгиз, 1949, также [177, т. 14].

Состав ванн для жидкостной цементации* [120]

Характеристика ванн	Ванны с $BaCl_2$ **															
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4			№ 5		№ 6				
	Наплавка (100%)	Свежая ванна	Наплавка (100%)	Свежая ванна	Наплавка (100%)	Свежая ванна	Наплавка		Свежая ванна	Наплавка цианной солью (100%)	Свежая ванна	Наплавка				
							нейтральной соли (20%)	цианной солью (80%)				нейтральной соли (80%)	цианной солью (35%)***	цианной солью (65%)	Свежая ванна	
Состав в весовых процентах	$\left\{ \begin{array}{l} NaCN \\ NaCl \\ BaCl_2 \\ Na_2CO_3 \end{array} \right.$	80	68—80	50	45—50	15	15	—	80	64	50	50	—	10—15	80	7—10
		—	—	15	15	—	—	50	—	10	15	15	50	—	—	30
		—	5—8	35	35	85	85	—	5	+	35	35	50	85—90	5	60
		15	15—27	—	—	—	—	50	15	22	—	—	—	—	15	0,5—1,0
Содержание $NaCN$ в работающей ванне в %		30—50		22—30		10—15		50—70			18—20			8—10		
Минимально допустимое содержание $NaCN$ в %		30		20		7		50			18			7		
Применяется для получения цементованного слоя глубиной в мм до:		1,4		1,8		2,0		0,8			1,0			2,0		
Допустимая рабочая (оптимальная) температура в °С		850—930 (900)		850—950 (900—930)		900—950 (930—950)		860—930 (900—930)			900—930			900—950 (930—950)		

* С целью уменьшения потерь тепла через зеркало ванны обязательным является покрытие его чешуйчатым графитом.
 ** Ванны № 1, 2 и 3 Московского завода (Хинский). Наиболее употребительной является ванна № 2.
 *** Существует модификация цианной соли, в которой вместо $NaCN$ применяется $Ca(CN)_2$ в количестве 2—5%.

Характеристика ванн	Ванны с BaCl ₂				Ванны с NaF				Ванны с BaCl ₂ и SrCl ₂					
	№ 7				№ 8	№ 9	№ 10	№ 11	№ 12		№ 13	№ 14		
	Наплавка			Свежая ванна	Работающая ванна, состав в %									
	нейтральными солями (55%)	цианистой солью (35%)	цианистой солью (10%)											
Наплавка		нейтральными солями (50%)	активными солями (50%)	Свежая ванна	Работающая ванна	Работающая ванна								
Состав в весовых процентах	NaCN	—	10—15	80	10—15	17—20	18—30	16—20	20—30	—	35—40	17—20	17—23	7,5—12
	NaCl	50	—	—	25—30	—	—	9	18	20	—	10	20—30	до 15
	KCl	—	—	—	—	27	24	—	—	25	5	15	—	5,5—20
	BaCl ₂	50	85—90	5	55—60	—	—	—	—	55	45	50	15—40	45—55
	SrCl ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	2,5—3,5	до 3,5	2—10
	NaF	—	—	—	—	3	3	5	5	—	—	—	—	—
	Na ₂ CO ₃	—	—	15	1,0—1,5	45	35	42	—	—	—	—	<30	<30
	Прочие	—	—	—	—	1,0SiC 0,7C	1,0SiC 0,7C	14 BaCO ₃ 8K ₂ CO ₃	32BaCO ₃	—	—	—	—	—
Содержание NaCN в работающей ванне в %	10—15				17—20	18—30	16—20	20—30	7,0—8,5			17—23	7,5—12	
Минимально допустимое содержание NaCN в %	10				14	12	15	20	7			17	7,5	
Применяется для получения цементованного слоя глубиной в мм до:	2,0				1,25	0,5	1,7	0,8	1,5			0,8	2,3	
Допустимая рабочая (оптимальная) температура ванны в °С	900—950 (930—950)				900—930	870—900	850—930 (900—930)	850—910	900—925			850—900	870—950	

Азотирование

Азотирование (Az)—процесс химико-термической обработки стальных деталей, обуславливающий их насыщение азотом на определенную глубину от поверхности.

Азотирование осуществляется путем нагрева стальных деталей в присутствии аммиака NH_3 до температуры в пределах 520—650°.

При указанной температуре проводится или изотермическая, или ступенчатая (при разных температурах) выдержка в зависимости от требуемой глубины азотированного слоя с последующим охлаждением с любой скоростью.

Азотирование является конечным процессом цикла термической обработки и применяется с целью повышения износостойчивости и предела выносливости деталей машин.

Процесс азотирования впервые разработал русский ученый Н. П. Чижевский, опубликовавший с 1907 по 1913 гг. 14 работ, посвященных изучению влияния азота на свойства железа, стали и некоторых других металлов.

Широкому внедрению процесса азотирования в отечественное машиностроение способствовали работы Н. А. Минкевича, И. Е. Конторовича, С. Ф. Юрева и В. И. Просвирина.

Подробные исследования по выяснению физических основ процесса азотирования проведены в последние годы Ю. М. Лахтиным [38].

При взаимодействии азота с металлами образуются нитриды, а при взаимодействии азота с железом — фазы внедрения.

Распределение фаз по глубине слоя от поверхности в качестве примера приведено на фиг. 24: при температуре ниже 591° — $\epsilon - \gamma' - \alpha$; выше 591° — $\epsilon - \gamma' - \gamma - \alpha$.

Диффузия азота подчиняется ранее указанной закономерности

$$D_N = A e^{-\frac{Q}{RT}} \text{ и } \delta = V \sqrt{2pt} \text{ (фиг. 25).}$$

Коэффициент диффузии азота снижается с повышением содержания углерода в стали.

Углерод тормозит диффузию азота в ϵ - и α -фазах.

Атомно-кристаллические и концентрационные характеристики основных фаз азотированного слоя

Наименование фазы *	Стехиометрическое соотношение	Предела изменения концентрации азота 100·C _N в %	Тип решетки	Характер атомных газов	Изменение параметра решетки при 20° в А	Коэффициент расширения β·10 ⁶	Значение удельного объема фаз v _c [173]
α-фаза — твердый раствор азота в α-железе	—	0,42 (при 591°) — 0,015 (при 20°)	Кубическая, объемноцентрированная	Твердый раствор азота в железе	(a) _α = (2,861 + 2,62) C _N	13,3	0,12715 + 0,222 C _N + 5,077 · 10 ⁻⁶
γ'-фаза — соединение переменного состава	Fe ₃ N (при 5,9% N ₂)	5,50—5,93 (при 591°)	Кубическая, грандицентрированная	Твердый раствор азота в железе (фаза внедрения)	(a) _{γ'} = (3,59 + 4,05) C _N	7,9	0,11813 + 0,274 C _N + 2,737 · 10 ⁻⁶
ε-фаза — соединение переменного состава	Fe ₂ N (при 11,2% N ₂)	8,0—11,2 и выше	Гексагональная, плотная	Твердый раствор азота в Fe ₂ N	(a) _ε = (2,51 + 2,4) C _N (c) _ε = (4,21 + 2,0) C _N	22,2	0,11052 + 0,388 C _N + 7,368 · 10 ⁻⁶

* При температуре выше 591° образуется γ'-фаза — твердый раствор азота в γ-железе; при 501° и концентрации азота 2,35% γ'-фаза образует азотистый ферритон α + γ'.

Влияние азотирования на предел выносливости стали [73]

Марка стали	Термическая обработка	Механические свойства						
		H_V	$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	δ в %	ψ в %	a_N в кг/мм ²	σ_{-1} в кг/мм ² *	$\sigma_{-1к}$ в кг/мм ² **
18ХНМА	З, 860°, возд.; O _г , 520°	345	121,5	15,2	61,0	10,0	54,0	22,7
	З, 860°, возд.; O _г , 520°; Аэ 520°; $\delta = 0,45$ мм	677-727	121,5	15,2	61,0	10,0	69,4	51,7
ЭИ355	З, 860°, возд.; O _г , 520°	345	125,0	14,8	57,2	6,6	50,0	17,8
	З, 860°, возд.; O _г , 520°; Аэ 520°; $\delta = 0,35$ мм	766-825	125,0	14,8	57,2	6,6	67,4	65,5

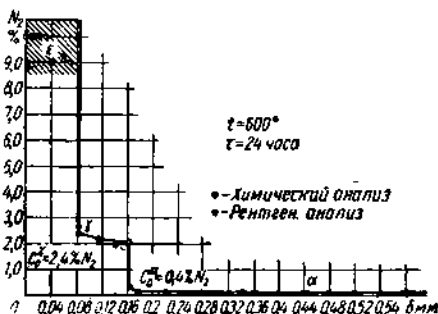
* σ_{-1} при изгибе гладкого образца $\varnothing 7,52$ мм.

** $\sigma_{-1к}$ при изгибе образца с надрезом глубиной 0,24 мм, $r = 0,05$ мм, угол надреза 60°.

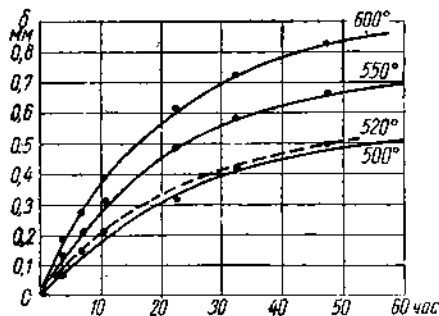
Кристаллическая структура нитридов

Стехиометрическая формула	$\frac{r_N}{r_M}$	Характеристика решетки	
		Тип решетки	Параметры решетки в Å
ZrN	0,43	K12-6	$a = 4,59$
ScN	0,47	K12-6	$a = 4,44$
NbN	0,49	K12-6	$a = 4,41$
TiN	0,51	K12-6	$a = 4,23$
W ₂ N	0,51	K12-6	$a = 4,118$
WN	0,51	Г8	—
MoN	0,52	Г8-6	$a = 2,86$
Mo ₂ N	0,52	K12-6	$c : a = 0,98$
			$a = 4,128 + 4,16$
VN	0,53	K12-6	$a = 4,13$
MnN	0,53	K12-6	$a = 4,194 + 4,207$
Mn ₂ N	0,53	Г12-6	$a = 2,773 + 2,883$
			$c : a = 1,616 + 1,601$
Mn ₃ N	0,53	K12-6	$a = 3,84$
CrN	0,56	K12-6	$a = 4,14$
Cr ₂ N	0,56	Г12-6	$a = 2,747 + 2,77$
			$c : a = 1,616$
Fe ₂ N	0,56	Г12-6	$a = 2,695 + 2,767$
Fe ₃ N	0,56	K12-6	$c : a = 1,61 + 1,62$
			$a = 3,79 + 3,83$
			$a = 3,11$
AlN*	—	—	$c : a = 1,6$

* Нитрид AlN является фазой замещения; остальные нитриды являются типичными фазами внедрения



Фиг. 24. Изменение концентрации азота по глубине азотированного слоя [73].



Фиг. 25. Зависимость глубины азотированного слоя δ от продолжительности процесса (сталь 3ХМЮА, пунктирная кривая соответствует стали марок 18ХНМА, ЭИ355 и 40ХНМФА).

Коэффициент диффузии азота для отдельных фаз при азотировании стали [73]

Фаза	$D = f(T) \text{ см}^2/\text{сек}$	Коэффициент А	Температура диффузии, град/атом
ϵ	$D_{\epsilon} = 2,770 e^{-\frac{35250}{RT}}$	0,277	35250
γ	$D_{\gamma} = 0,335 \cdot 10^{-2} e^{-\frac{34660}{RT}}$	$0,335 \cdot 10^{-2}$	34660
α	$D_{\alpha} = 4,67 \cdot 10^{-4} e^{-\frac{17950}{RT}}$	$4,67 \cdot 10^{-4}$	17950

Легирующие элементы — переходные металлы (вольфрам, молибден, хром, марганец и никель), а также кремний в сильной степени уменьшают глубину азотированного слоя.

Алюминий, наоборот, способствует повышению концентрации азота, увеличению глубины слоя и повышению его твердости. Наибольший эффект твердости получается при азотировании стали, содержащей алюминий, молибден и ванадий.

В практике отечественных заводов для азотируемых деталей применяется сталь марки 38ХМЮА (см. гл. III). В последнее время с целью повыше-

ния предела выносливости азотированию подвергаются также стали хромистые, хромоникелевые, хромоникельвольфрамовые, хромоникельмолибденовые и др., например марок 18ХНВА, 18ХНМА, ЭИ355. Азотирование этих марок стали дает повышение твердости до 800 Н_у.

Азотирование подразделяется:

по условиям нагрева и выдержки на азотирование изотермическое — $Az_{изот}$; азотирование многоступенчатое $Az_{м-ст}$; по условиям воздействия внешних сред на:

азотирование газовое — $Az_г$;

азотирование жидкостное — $Az_{ж}$;

по условиям применяемости на:

азотирование прочностное — $Az_{пр}$;

азотирование антикоррозионное —

$Az_{акр}$.

Азотирование газовое $Az_г$ осуществляется путем нагрева стальных деталей в герметически закрытых муфелях или печах в присутствии аммиака NH₃, диссоциация которого допускается вплоть до 65% ($\alpha_{NH_3} = 15 \div \pm 65\%$, нормально 15—30%). Давление аммиака в муфеле 80—120 мм вод. ст.

Азотирование жидкостное $Az_{ж}$ осуществляется путем пропу-

Режимы азотирования — $Az_{пр}$ * [73]

Режим азотирования	Вариант	1-я ступень			2-я ступень			3-я ступень			Глубина азотированного слоя в мм	Твердость на поверхности Н _у
		t °C	α_{NH_3} в %	$\tau_{в}$ в час.	t °C	α_{NH_3} в %	$\tau_{в}$ в час.	t °C	α_{NH_3} в %	$\tau_{в}$ в час.		
$Az_{изот}$ — изотермическое **	I	480—520	15—25	До 80	—	—	—	—	—	—	0,5—0,7	1050—1150
	II	540—560	30—50	35—65	—	—	—	—	—	—	0,5—0,6	950—1000
$Az_{м-ст}$ — двухступенчатое ***	I	500—510	≤ 25	18—20	550—575	35—55	20—24	—	—	—	0,5—0,7	900—1000
	II	540	30	10	570	30	8	—	—	—	0,35—0,45	900—1000
$Az_{м-ст}$ — трехступенчатое		500—520	20—35	15—18	600—620	50—70	18—20	550—570	35—50	4—5	0,5—0,8	950—1050

* С целью понижения хрупкости (фиг. 27) азотированного слоя после азотирования применяется процесс деазотирования при температуре 560—580° в течение 2—5 час. под потоком диссоциированного аммиака или в атмосфере воздуха.

** Режим азотирования гильзы цилиндра.

*** Режим азотирования шестерен.

скания аммиака через соляную ванну с погруженными в нее деталями.

Для защиты деталей от коррозии через соль пропускается постоянный ток плотностью 0,1—0,25 а/дм² (деталь анод, графит — катод).

В настоящее время в промышленности применяется только газовое азотирование.

Азотирование изотермическое $Az_{изо}$ характеризуется выдержкой при одной из наиболее приемлемых, с точки зрения получения конечных результатов (высокая твердость 1050—1150 Н_V при отсутствии хрупкой ε-фазы), температур в пределах 480—560°.

Азотирование многоступенчатое $Az_{м-ст}$ характеризуется ступенчатой выдержкой при различных температурах. Многоступенчатое азотирование применяется с целью повышения эффективности процесса (увеличение глубины слоя при минимальной продолжительности).

Азотирование прочностное $Az_{пр}$ применяется с целью повышения износоустойчивости и предела вы-

носливости деталей в результате образования нитридов и нитридных фаз внедрения и как следствие — резкого повышения твердости (700—1150 Н_V).



Фиг. 26. Технологические режимы антикоррозионного азотирования (медленное охлаждение после азотирования; при охлаждении в масле кривая 2 сдвигается вправо).

Азотирование антикоррозионное $Az_{акр}$ разработанное советскими исследователями В. Д. Яхниной,

Режимы антикоррозионного азотирования — $Az_{акр}$ [73]

Азотируемые детали	Марки стали	t в °C		Степень диссоциации NH ₃ в %	Продолжительность процесса в мин.		Закалочная среда	Глубина азотированного слоя в мм
		азотирования	нагрева под закалку		азотирования	закалки		
Разные малоответственные детали	Малоуглеродистые	620	—	35—40	75—120	—	—	0,025—0,04
		650	—	50	40—70	—	—	0,015—0,025
		700	—	70	30—60	—	—	0,04—0,06
Мелкие детали (шестерни, валики, винты, штифты и др. сечением до 15 мм)	У7, У8, У10	780—790	—	70—75	2—10	—	Вода или масло	—
	ШХ15	830	—	70—80	2—10	—	Масло	—
Крупные детали (шестерни, вали, винты и др.) *	У7, У8, У10	600—700	780—790	70—80	5—30	5—7	Масло	—
	ШХ15	600—700	830	70—80	5—30	5—7		

* Отпуск после азотирования и закалки в зависимости от требуемой твердости производится при различных температурах в струе аммиака (при низком отпуске — без аммиака).

В. И. Просвириным и А. В. Рябченко-вым, заменяет собой, а во многих случаях превосходит гальванические покрытия, применяемые с целью защиты стальных и чугунных деталей от коррозии (см. фиг. 26).

Контроль азотированного слоя

Твердость — приборами с алмазной пирамидой (НВ или РВ) при нагрузке 1—10 кг или 15, 30 и 60 кг.

Глубина:





а) по излому контрольного образца;
б) по макроструктуре при травлении реактивами: 4%⁰-ный раствор пикрино-

фильтр смачивается дистиллированной водой и накладывается на испытуемую поверхность детали. После 2—3 мин. выдержки фильтр снимается, промывается холодной водой и сушится.

Поры в азотированном слое выявляются в виде синих точек на фильтре (реакция между железом и железосинеродистым калием).

Методы защиты от азотирования [73]

1. Лужение оловом (гальваническим путем) при толщине покрытия 0,02—0,05 мм.

Группа	Вид отпечатка	Определение	Примечание
I		Нехрупкий	Во всех случаях допустимо
II		Слегка хрупкий	
III		Хрупкий	Недопустимо на шлифованных поверхностях
IV		Очень хрупкий	Во всех случаях недопустимо

Фиг. 27. Шкала хрупкости азотированного слоя (ВИАМ).

вой кислоты в спирте или смесь спиртовых растворов — 4%⁰-ной азотной кислоты и 4%⁰-ной пикриновой кислоты (10 : 2);

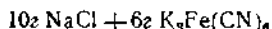
в) по микроструктуре (реактив тот же);

г) по кривым изменения твердости от поверхности к сердцевине.

Хрупкость — по характеру отпечатка от алмазной пирамиды прибора НВ или РВ (фиг. 27).

Пористость (при антикоррозионном азотировании) травлением.

Реактив:



растворяются в дистиллированной воде, при 60° добавляется 2,5 г агар-агара.

Реактив наносится кистью на одну сторону беззольного фильтра, и фильтр просушивается. Перед испытанием

2. Никелирование при плотном и мелкозернистом слое никеля толщиной 0,025—0,1 мм.

3. Обмазки:

а) смесь — 3 части порошка олова, 1 часть порошка свинца и 1 часть хрома (для связывания) — растирается, после чего разбавляется хлористым цинком;

б) 6 частей SnO, 1 часть глицерина и небольшое количество раствора соляной кислоты с нашатырем; покрытые этой пастой детали просушиваются при 200° и поверх покрытия накладывается тонкая алюминиевая фольга;

в) свинцово-оловянная пыль (60 : 40) разбавляется 13 частями смеси, состоящей из 5 частей растительного масла, 1 части стеарина, 4 частей свиного сала, 2 частей пульверизированной смолы и 1 части хлористого цинка.

Износоустойчивость стали, подвергнутой цианированию [40, вып. 26]

Марка стали	Термическая обработка		Средняя потеря в весе при износе в мз за 50 час.	
	Режим	HRC	Круглые образцы	Призматические образцы
У10	З; О	61—62	1,65	1,5
12ХНЗА	Ц; $\delta = 0,8 \div 1,0$ мм; З; О	61—63	0,87	0,93
12ХНЗА	Цнр; $\delta = 0,4 \div 0,5$ мм; З; О	60—62	0,46	0,4
20	Цнр; $\delta = 0,4 \div 0,5$ мм; З; О	60—62	0,37	0,4

Цианирование

Цианирование *Цнр* — процесс химико-термической обработки, обуславливающей поверхностное насыщение стали углеродом и азотом одновременно и повышение в этой связи механических свойств и износоустойчивости.

Цианирование осуществляется путем нагрева стальных деталей в активных углерод- и азотсодержащих средах до температур, соответствующих максимальной абсорбции и диффузии углерода или азота, выдержки при этой температуре в зависимости от требуемой глубины слоя и последующей заковки или охлаждения на воздухе.

При высоких температурах преобладает насыщение стали углеродом, при низких — азотом.

Цианирование подразделяется: по условиям нагрева на: цианирование высокотемпературное — *Цнр_{в-т}*;

цианирование низкотемпературное — *Цнр_{н-т}*;

по условиям воздействия внешних факторов на:

цианирование жидкостное — *Цнр_ж*;

цианирование газовое — *Цнр_г*;

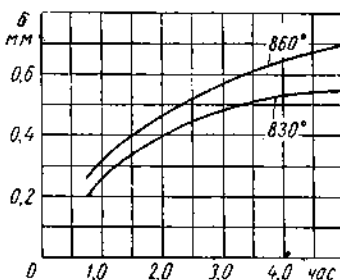
цианирование в твердой среде — *Цнр_т*.

Высокотемпературное жидкостное цианирование *Цнр_{в-т. ж}* ведется в ваннах двух видов — с цианидом натрия или калия (NaCN, KCN) и с цианидом кальция [Ca(CN₂)].

а) Ванны, содержащие NaCN (или KCN).

Детали, предназначенные для цианирования, перед загрузкой их в ванну должны быть тщательно просушены во

избежание выплескиваний расплавленных солей. Температура процесса не

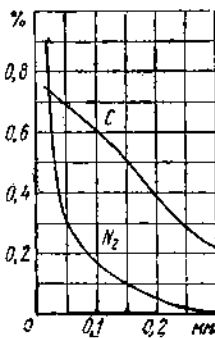


Фиг. 28. Зависимость глубины цианирования слоя стали марки 15 от продолжительности процесса (ванна с 50% NaCN; К. И. Терехов).

должна превышать 850°, так как это ведет к быстрому истощению ванны.

Практически применяемые температуры лежат в пределах 750—850° в зависимости от марки стали, требуемой глубины цианированного слоя и конфигурации цианируемых деталей.

Глубина цианированного слоя является параболической функцией продолжительности процесса (фиг. 28). Распределение концентрации углерода и азота по фиг. 29. Структура слоя состоит: в поверхностных слоях из карбонитридных фаз Fe₂(NC) и Fe₄(NC) типа



Фиг. 29. Концентрация углерода и азота по глубине цианированного слоя (ванна 36—40% NaCN, t = 850°, τ = 2 часа; К. И. Терехов).

и γ' , в переходной зоне из мартенсита и троостомартенсита.

Для ведения процесса цианирования стали необходимо непрерывное окислительное ванны.

Цианирование стали при проведении его в герметически закрытом тигле без доступа воздуха и других окислителей идет чрезвычайно медленно и дает очень слабый эффект.

Состав ванны высокотемпературного цианирования

Состав ванны в %			Температура плавления в °C
NaCN	Na ₂ CO ₃	NaCl	
20	40	40	} 580—610
25	15—20	55—60	
30	20—25	45—50	
40	30	30	

Для освежения ванны применяется технический высокопроцентный цианистый натрий, содержащий 85% NaCN, 2% NaCNO, 10% Na₂CO₃ и 1% NaCl, или среднепроцентный, содержащий 40—50% NaCN, 25—30% NaCl и 15—20% Na₂CO₃.

Минимальное содержание группы CN в работающей ванне должно поддерживаться на уровне 12—14% или, в пересчете на цианистый натрий или калий, 22—26% NaCN или 30—35% KCN.

Концентрация NaCN (или KCN) во время работы уменьшается и, кроме того, уровень соли в тигле снижается благодаря механическим потерям ее на «унос» с цианируемыми деталями и испарению.

Это требует добавления цианистых солей в ванну с расчетом получения в ней оптимального содержания 25% NaCN или 35% KCN.

б) Ванны, содержащие Ca(CN)₂.

Активный цианплав* состоит из 30—35% Ca(CN)₂, 2—5% CaCN₂, 10—12% NaCN, 30—35% NaCl, 14—16% CaO, 4—5% C.

Рабочая ванна состоит из нейтральной части — 50—56% CaCl₂ (обезвоженного), 33—36% NaCl и активной части (цианплав — 7—10%); через каждые 2,0—2,5 часа при работе ванны в нее необходимо вводить 2—4% цианплова.

Низкотемпературное жидкостное цианирование Цнр_{н-т,жс} применяется с целью повышения режу-

щих свойств инструментов, изготовленных из быстрорежущих и высоколегированных марок стали.

Состав ванны для низкотемпературного цианирования инструмента (содержание солей в %)

Тип ванны	Активная часть	Нейтральная часть		Твердость H _V после цианирования инструментов из стали марки P9
		Na ₂ CO ₃	NaCl	
1	50—55	25—30	15—20	} 950—1100
2	25—35	45	25	
3	85—90	10—15	—	1000—1100

Инструменты подвергаются цианированию после их окончательной термической и механической обработки.

Температура цианирования для инструментов из стали P9 находится в пределах 550—560°.

Глубина цианированного слоя зависит от содержания в ванне NaCN. Для ванн, содержащих не менее 50% NaCN или 60% KCN, рекомендуемая продолжительность процесса для различных видов инструментов приведена в таблице.

Глубина цианированного слоя быстрорежущей стали в зависимости от продолжительности выдержки при низкотемпературном цианировании

Продолжительность выдержки в мин.	Глубина слоя в мм при содержании в ваннах NaCN		
	90%	50%	30%
5	0,008	0,006	0,006
15	0,020	0,018	0,015
30	0,035	0,030	0,030
45	0,037	0,035	0,035
60	0,045	0,043	0,040
120	0,055	0,055	0,052
360	0,080	0,075	0,070

Низкотемпературное цианирование инструментов из быстрорежущей стали впервые было разработано проф. Д. А. Прокошкиным и доц. В. Я. Дубовым.

Продолжительность жидкостного цианирования инструментов на глубину 0,02—0,03 мм*

Инструмент	Диаметр в мм	Продолжительность выдержки в мин. для сталей марок Р18 и Р9	Инструмент	Диаметр в мм	Продолжительность выдержки в мин. для сталей марок Р18 и Р9	
Протяжки	5—10	8	То же с шагом резьбы 1,5—2 мм	—	8	
	10—15	12		То же с шагом резьбы больше 2 мм	—	10
	15—20	14	Резьбонарезные фрезы с нешлифованным зубом и шагом резьбы до 1 мм**		40—50	10
	20—30	15			50—70	11
	30—40	18		70—90	12	
> 40	20—30	90—100		13		
> 40	20—30	14—15		> 100	14—15	
Сверла, развертки и зенкеры	3—5	6	Резьбонарезные фрезы с нешлифованным зубом и шагом резьбы 1—1,5 мм	40—50	12	
	5—10	8		50—70	13	
	10—15	10		70—90	14	
	15—20	12		90—100	15	
	20—30	15		> 100	16—18	
Метчики с шагом резьбы до 1 мм	30—40	17	То же с шагом резьбы больше 2 мм	40—50	14	
	> 40	18—25		50—70	15	
	4—5	4		70—90	17	
	6—10	5		90—100	18	
	10—15	6		> 100	19—20	
Метчики с шагом резьбы 1,0—1,5 мм	15—20	7	Червячные и шлицевые фрезы с нешлифованным зубом и модулем до 1,0**	50—60	18	
	20—30	8		60—80	19	
	30—40	9		80—100	20	
	> 40	10—12		100—120	22	
	> 40	11		> 120	23—25	
Метчики с шагом резьбы 1,75—2 мм	4—6	6	То же с модулем выше 1,0	50—60	22	
	6—10	7		60—80	24	
	10—15	8		80—100	26	
	15—20	9		100—120	30	
	20—30	10		> 120	32—40	
Метчики с шагом резьбы больше 2 мм	30—40	11	Фрезы цилиндрические фасонные и торцевые с шлифованным зубом	до 40	10—12	
	> 40	12—14		40—60	16	
	4—6	7		60—80	20	
	6—10	8		> 80	25—30	
	10—15	9		Дисковые фрезы	Толщина	
15—20	11	1—2	6			
20—30	12	2—5	8			
30—40	13	5—10	12			
> 40	14	10—15	15			
Гребенки резьбовые с шагом резьбы до 1 мм	> 40	15—20	То же с модулем 1,5—2 мм	> 15	18—23	
	—	6—8		Сечение в мм		
То же с шагом резьбы 1—1,5 мм	—	8—10	Резцы для шестерен с модулем 0,5—3,0	—	10—13	
	—	10—12		Фасонные тангенциальные резцы	25×30	15
То же с шагом резьбы 1,5—2 мм	—	12—15	30×45		18	
	—	—	40×40		22	
То же с шагом резьбы больше 2 мм	—	—	40×50		26	
	—	—	40×60		26	
Плашки плоские с шагом резьбы до 1 мм	—	—	Токарные и строгальные резцы	6×10 и 8×12	10	
	—	—		10×16	12	
То же с шагом резьбы 1—1,5 мм	—	—		16×24	14	
	—	—		20×30	16	
—	—	—		30×45	20	

* Продолжительность выдержки в этой таблице дана исходя из работы ванн, содержащих не менее 50% NaCN или 60% KCN, при температурах 550—560° для режущего инструмента из стали Р9.

** Для инструментов (фрез) с шлифованным зубом продолжительность выдержки на 22—30% меньше.

Таблица составлена по уточненным данным Д. А. Прокошкина и В. Я. Дубового.

Помимо вышеуказанных ванн для высоко- и низкотемпературного цианирования применяются также ванны на основе $K_4Fe(CN)_6$.

нита или нитромартенсита в поверхностной зоне и мартенситовой или троостомартенситовой зоны, расположенной под первой зоной.

Состав ванн жидкостного цианирования на основе $K_4Fe(CN)_6$

Состав ванны в %				Температура плавления в °С	Примечание
$K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$	NaCl	BaCl ₂	KOH		
30—50	70—50	—	—		} Для высокотемпературного цианирования
30—50	—	70—50	—		
90	—	—	10	500	} Для низкотемпературного цианирования
80	—	—	20	490	

Цианирование газовое *Цнр_г* является наиболее совершенным процессом одновременного насыщения стали углеродом и азотом.

а) Высокотемпературное газовое цианирование применяется для изделий из конструкционной стали с целью повышения их поверхностной твердости, износоустойчивости и предела выносливости.

В качестве цианирующей среды для высокотемпературного газового цианирования деталей машин и инструментов (которое ведется при температурах 700—750 или 800—880°) применяется смесь, состоящая из 70—80% науглероживающего газа и 20—30% аммиака.

Науглероживающим газом может служить газ, полученный пиролизом керосина или мазута, природный газ с добавкой газа, полученного крекингом керосина или мазута, а также светильный газ.

Газовое цианирование применяется для деталей, изготавливаемых из среднеуглеродистой легированной стали типа 40X, 35Г и т. п. При этом чем ниже содержание углерода в стали, тем более глубоким должен быть цианированный слой. Требуемая глубина цианированного слоя зависит также от степени нагруженности деталей при эксплуатации и от сечения детали.

После цианирования с этого же нагрева производится закалка деталей, после чего микроструктура поверхностного слоя состоит из нитроаусте-

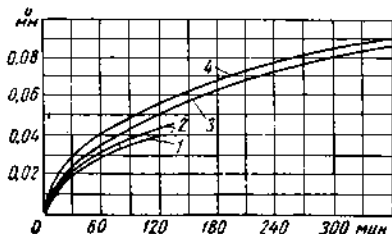
Состав смеси для газового цианирования

Название науглероживающего газа	Количество газа в смеси в %	
	Науглероживающий газ	Аммиак
Газ пиролиза керосина — ПГК	65—75	25—35
Генераторный газ (каменноугольный)	85—90	10—15
Светильный газ	70—75	25—30
Природный газ	60—70	30—40
Природный газ	25	} 25
Крекинг-газ углеводородов КГУ	50	
Природный газ	35	} 25
Продукты частичного сжигания ПС-06	40	
КГУ	75	} 25
Природный газ	35	
КГУ	60	} 5
Природный газ	50—60	
Пиробензол *	капель в минуту	0,5—1,0 л/мин

* Состав газа в рабочем объеме печи при 900°: 10—15% CH₄; 50—60% H₂; 5—8% CO; ~1,0% CO₂.

б) Низкотемпературное газовое цианирование применяется для повышения режущих свойств и стойкости инструментов, изготовленных из быстрорежущей стали (фрезы, резцы, плашки, гребенки, зенкеры, зенковки, развертки, сверла,

протяжки, метчики). Перед цианированием инструменты проходят полную термическую и механическую обработку. Глубина цианированного слоя получается равной 0,02—0,4 мм (фиг. 30); поверхностная твердость цианированных ин-



Фиг. 30. Зависимость глубины цианированного слоя стали P18 от продолжительности процесса при температуре цианирования 560°. Содержание в ванне NaCN: 1—10%; 2—18%; 3—50%; 4—90% (Д. А. Прокошкин).

струментов находится в пределах 980—1150 Н_V (66—70 H_{RC}). Перед цианированием инструменты должны быть тщательно очищены от окалины, соли и масла.

Температура цианирования инструментов должна совпадать с температурой их отпуска или быть ниже ее на 5—10°; так, для стали P9 температура цианирования равна 550—560.

Продолжительность процесса цианирования в зависимости от диаметра или толщины цианируемых инструментов колеблется в пределах от 45 мин. до 2½ час.

Продолжительность газового цианирования инструментов в среде, содержащей 25—30% аммиака и 65—75% пиролизного газа (по Ю. А. Геллеру и В. С. Бабаеву) (продолжительность выдержки указана после нагрева инструмента)

Инструмент	Диаметр или толщина в мм	Выдержка в мин.
Фрезы резьбовые: а) с шлифованным зубом (шаг 1—1,5 мм)	25—35	50—60
	35—50	60—75
	50—75	75—90
б) с нешлифованным зубом (шаг до 1 мм)	25—35	90—100
	35—50	60—75
	50—75	75—90
в) с нешлифованным зубом (шаг 1—1,5 мм)	25—35	90—100
	35—50	100—120
	>50	75—90

Продолжение

Инструмент	Диаметр или толщина в мм	Выдержка в мин.
Фрезы торцевые, цилиндрические и червячные: а) шлифованные	До 50	90—100
	50—75	100—120
б) нешлифованные	>75	120—150
	До 50	100—120
Фрезы дисковые и шлифовальные	50—75	120—150
	>75	150—160
Зенкеры и развертки	4—6	50—60
	6—10	75—90
Метчики: а) с шагом до 1 мм	>10	90—120
	10—15	60—75
	15—20	75—90
	20—30	90—120
б) с шагом 1—1,5 мм	>30	120—150
	10—15	20—40
Резцы тангенциальные	15—20	40—60
	20—30	60—75
	>30	75—90
	10×10	90—120
Сверла	25×25	90—100
	10—15	120—150
Сверла	15—20	50—60
	20—30	60—75
	30—40	75—100
	>40	100—120

Цианирование в твердой среде *Цирт* применяется для режущих инструментов, прошедших окончательную термическую и механическую обработку.

Цианизатор состоит из смеси (по весу) 60—70% просушенного древесного угля (с величиной зерна 1—5 мм); 10—30% просушенной порошкообразной Na₂CO₃ и 20—40% K₄Fe(CN)₆ или K₃Fe(CN)₆ в порошке*, предварительно просушенной при 100—200°.

Инструмент упаковывается в ящики с засыпкой цианизатором: на дно ящика насыпают слой цианизатора в 20—30 мм; расстояние между инструментами и стенками ящика равно 20—30 мм; расстояние между инструментами 15—20 мм.

Цианирование инструмента ведется при температурах на 10—15° ниже температуры отпуска, т. е. для инструментов из стали и P9 — при температуре 550—560; продолжительность выдержки при процессе цианирования приведена в таблице.

* Калиевые соли могут быть заменены натриевыми Na₂Fe(CN)₆ или Na₄Fe(CN)₆.

Продолжительность цианирования инструментов в твердом цианизаторе на глубину слоя 0,02—0,03 мм

Инструмент	Диаметр в мм	Продолжительность выдержки в час.
Резьбовые фрезы, шаг резьбы 2 мм	35—40	1,5—2,0
Резьбовые фрезы, шаг резьбы 2,5—3,5 мм	35—40	2,5—3,0
Червячные фрезы, шаг резьбы 4,25 мм	—	3,0
Метчики, шаг резьбы < 2 мм	До 10	1,5—2,0
Метчики, шаг резьбы > 2 мм	10—25	2,0—3,0
Сверла	До 5	0,5—1,0
	5—10	1,0—2,0
	10—25	2,0—3,0
Перовые черновые сверла	70	1,5—2,0
Перовые комбинированные чистовые сверла	60—70	2,5—3,0
Долбяки	90	1,5—2,0
Резцы наварные обдирочные	—	1,0—1,5
Резцы прорезные	—	1,5—2,5
Резцы дисковые резьбовые	—	2,0—3,0

После выдержки при температуре процесса охлаждения инструментов до температуры 100—200° производят в ящиках вне печи.

Твердость цианированных инструментов 1000—1100 Н_У для стали Р9.

В практике применяется также цианирование пастами.

Для конструкционной стали паста вышеуказанного состава разводится 15% -ным раствором технической патоки или канцелярского клея до состояния краски.

Пасту наносят на деталь слоем в 3—4 мм (для глубины цианируемого слоя в 1,0—1,5 мм). Детали загружают в пустые цементационные ящики с песочным затвором. Процесс ведется при

920—930° с требуемой продолжительностью выдержки (например для пасты Сталит-2 продолжительность 1,5—2,0 часа при $\delta = 1,3$ мм).

Состав паст для цианирования конструкционной стали [40, вып. 26]

Наименование составляющих паст	Содержание в % (весовых)				
	Сталит 1	Сталит 2	Паста 3	Паста 4	Паста 5
Сажа (голландская) или кокс (торфяной, малосернистый)	30—60	30—60	35	45	40
BaCO ₃	—	—	15	20	15
Na ₂ CO ₃ и K ₂ CO ₃	20—40	20—40	20	20	20
K ₄ Fe(CN) ₆	5—10	5—10	15	15	20
Щавелевокислый натрий или калий	—	5—10	—	—	—
Плав ГИПХ	5—10	5—10	—	—	—
Муравьинокислый никель или щавелевокислый кобальт	—	5—10	—	—	—
Феррохром	—	—	15	—	—
Песок	—	—	—	—	5

Для инструментальной и быстрорежущей стали при цианировании применяется паста состава (В. А. Иванов): 50% порошка древесного угля, 25% Na₂CO₃ и 25% K₄Fe(CN)₆, разведенная в 15% -ном водном растворе патоки. Паста наносится на инструмент слоем толщиной в 6—8 мм. После просушки пасты инструмент улаковывается в железный ящик с засыпкой чугушной стружкой. Продолжительность цианирования инструментов из углеродистой и легированной стали 2 часа при температуре отпуска. Инструмент из углеродистой и легированной стали нагревается до 780—820° в продолжение 2—3 час., закаливается и затем подвергается низкому отпуску.

Характеристика процессов диффузионной металлизации

[40, вып. 28] [94]

№ по пор.	Процесс	Температура в °С	Состав применяемых смесей	Глубина слоя δ в мм в зависимости от продолжительности процесса τ в час.	Примечание
Аллитрование *					
1	Аллитрование в твердой среде при нагреве деталей в жароупорных вращающихся ретортах	900—950	49% Al (порошок или пудра), 49% Al ₂ O ₃ , 2% NH ₄ Cl. Предохранение от окисления производится введением N ₂ или H ₂	$\delta = 0,1 \div 1,0$ мм при $\tau = 2 \div 12$ час.	
2	Аллитрование в твердой среде при упаковке деталей в ящики	1050—1080	35—50% Al (пудра), 65—50% обожженной белой порошкообразной глины. При повторном использовании добавляется 5—10% Al (пудра)	$\delta = 0,6 \div 1,65$ мм при $\tau = 6 \div 15$ час. (после прогрева). Концентрация Al на поверхности ~25%	Алюминий диффундирует в металл и, кроме того, наплавляется тонким слоем на поверхности Коэффициент диффузии алюминия в железе: $D_{900^\circ} = 0,33 \times 10^{-7}$ см ² /сек
3	То же (по ЦНИИТМАШ)	975—1000; предварительная выдержка при 750°, охлаждение в печи до 500—400°	37—47% Fe, 2—4% Cu, 0,5—0,25% NH ₄ Cl, остальное Al. Порошкообразная смесь, зерна ~ 0,5 мм. При повторном использовании добавляется 10—30% свежего состава	$\delta = 0,1 \div 0,5$ мм при $\tau = 5 \div 6$ час, при диффузионном отжиге при 900° с выдержкой 3 часа	Зазор между деталями 25—40 мм, от стенок ящика и дна 30—40 мм, верх 50—60 мм, ящик с двойной крышкой, с засыпкой между стенками песком. Стойкость деталей обеспечивается при температуре 850—950°
4	Аллитрование газовое	600 один конец реторты, 900—1000 другой конец реторты	а) 45% Al (порошок или пудра), 45% Al ₂ O ₃ , 10% NH ₄ Cl, остальное Fe б) 55% Al, 3,4% Cu, остальное Fe. Поток газовой смеси H ₂ + AlCl ₃ по направлению к деталям	При $t = 900^\circ$ и $\tau = 120$ мин. $\delta = 0,08$ мм; при $t = 1000^\circ$ и $\tau = 120$ мин. $\delta = 0,15$ мм; при $t = 1050^\circ$ и $\tau = 120$ мин. $\delta = 0,22$ мм. Твердость 340—390 Н _V	—
5	Аллитрование в расплавленном алюминии	750—800	92—94% Al, 6—8% Fe	$\delta = 1,0$ мм при выдержке в сплаве 45—60 мин. с последующим отжигом при 1100—1150° в течение 1,5 час.	На поверхности деталей образуется хрупкое соединение FeAl ₃ (разлагающееся при длительном отжиге). Малая стойкость стальных тиглей

* Технология аллитрования аустенитной стали не отличается от аллитрования углеродистой стали: глубина слоя не ниже 0,10 мм; максимальная концентрация алюминия 28—30% (безуглеродистый твердый раствор).

Продолжение

№ по пор.	Процесс	Температура в °С	Состав применяемых смесей	Глубина слоя δ в мкм в зависимости от продолжительности процесса τ в час	Примечание
6	Алирование электролитическое в расплавленных солях	700—800	75% AlCl_3 , 25% NaCl или 50% AlCl_3 , 50% NaCl	—	Анодом служит алюминиевая ванна, катодом — стальная деталь. Плотность постоянного тока — 0,5—1,0 а/дм^2
7	Алирование распыливанием жидкого алюминия	—	Нанесение слоя алюминия	$\delta = 0,25 \pm 0,5$ мкм с последующим отжигом при 950—1000°	—
Хромирование					
1	Хромирование в твердых средах	1050—1150 (925—1050)	а) 50—55% феррохрома (50—75% Cr , 4% C); 45—50% Al_2O_3 ; 2% NH_4Cl ; б) 65—70% феррохрома; 30—35% силикагеля ($\geq 80\%$ SiO_2 ; 2—3% NH_4Cl); в) 60—65% феррохрома; 30—36% белой глины; 5% HCl	Глубина слоя 0,1—0,3 мкм, $\tau = 6-15$ час, При 980°: $\tau = 1, \delta = 0,03$; $\tau = 2, \delta = 0,05$; $\tau = 4, \delta = 0,08$; $\tau = 6, \delta = 0,10$;	Концентрация 50—60% Al на глубине слоя 0,1 мкм; $D_{1150^\circ} = 0,06 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$; $D_{1200^\circ} = 0,16 \times 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$
2	Жидкостное хромирование	950—1000	Расплав содержащий NaCl , CrCl_2 и феррохром. Например: 80% BaCl_2 + 20% CaCl_2 + добавка 10—15% CrCl_2 (А. Н. Минкевич)	—	Возможна непосредственная закалка изделий из ванны
3	Газовое хромирование	950 (950—1050)	Пропускание паров CrCl_2 . Пары CrCl_2 получаются пропусканьем осушенных H_2 и HCl через феррохром при 950°	$\delta = 0,06 \pm 0,10$ мкм, $\tau = 3 \pm 5$ час.	—
<p>Алирование, главным образом в твердой среде и газовое, применяется для таких деталей, как топливники газогенераторов; колосники чугунные; пароперегревательные и обдувочные трубы; цементационные ящики; чехлы для термомпар; электронагреватели и т. п.</p>					

Продолжение

№ по пор.	Процесс	Температура в °С	Состав применяемых смесей	Глубина слоя δ в мм в зависимости от продолжительности процесса τ в час.	Примечание
Силицирование					
1	Силицирование в твердой среде с пропусканием газообразного хлора	1100—1200	а) Хлор пропускается через реторту, заполненную карборундом или ферросилицием + 2% NH_4Cl вместе с деталями б) Хлор пропускается через реторту, заполненную на 70—90% ферросилицием, например, ферросилиция — 75%, шамота — 20%, NH_4Cl — 5%. Введение в состав смесей NH_4Cl ускоряет процесс	$\delta = 0,5 \pm 0,7$ мм, $\tau = 2-4$ часа. Силицируются стали с содержанием $\leq 0,5\%$ С	Кремний диффундирует в γ -Fe: в пределе образуется α -фаза. $D_{1150^\circ} = 1,25 \times 10^{-7}$ см ² /сек. Максимальная концентрация кремния 12—15%; твердость слоя 280—250 НВ. Высокая сопротивляемость слоя коррозии в воде, морской воде, кислотах: азотной, серной и соляной; сопротивляемость окислению до 980°
2	Силицирование газовое	925—1050	То же, что и в первом случае, но детали располагаются в отдельной реторте с пропусканием через нее слабого тока хлора; в результате взаимодействия с SiC образуется SiCl ₄	$t = 1100^\circ$ $\tau = 1, \delta = 0,8;$ $\tau = 2, \delta = 1,5;$ $\tau = 3, \delta = 2,0;$ $t = 980^\circ$ $\tau = 1, \delta = 0,3;$ $\tau = 3, \delta = 0,7;$ $\tau = 5, \delta = 0,9$	—
Хромосилицирование					
1	В газовой среде. CrCl ₂ и SiCl ₄	950—1000	Пропускание хлора или HCl + H ₂ или только H ₂ через смесь ферросилиция и феррохрома в соотношении 1:1; образуется смесь, содержащая CrCl ₂ и SiCl ₄	Например, для стали марки 30 Глубина слоя при выдержке 8 час., при использовании H ₂ — $\delta = 0,07 \pm 0,10$ мм; HCl + H ₂ — $\delta = 0,20 \pm 0,25$ мм; Cl ₂ — $\delta = 0,50$ мм	Смесь HCl + H ₂ взрывоопасна. Хромосилицированный слой обладает большей вязкостью, чем силицированный
Хромоалитирование					
1	В газовой среде, содержащей CrCl ₂ и AlCl ₃	950—980	а) Пропускание H ₂ через реторту, содержащую 40% Al, 45% Al ₂ O ₃ , 10% NH_4Cl ; при 600—650° образуется газ AlCl ₃ б) Пропускание смеси H ₂ + HCl через реторту, содержащую феррохром с шамотом при 950—1000°; образуется газ CrCl ₂	Например, для низкоуглеродистой стали при выдержке 8 час., при 980° глубина слоя 0,3—0,4 мм, при выдержке 3 часа: при 1000° — 0,17 мм, 1050° — 0,38 мм, 1100° — 0,78 мм	Хромоалитирование изделий производится в отдельной реторте Стойкость против окисления при температуре 1100—1200°

Контролируемые атмосферы

Защита стали от окисления и обезуглероживания при нагреве является первоочередной задачей технологов-термистов и имеет большое народнохозяйственное значение.

Защита стали от окисления и обезуглероживания позволяет ликвидировать потерю металла от угара (2-3% при термической обработке), снизить трудоемкость механической обработки за счет сокращения припусков, исключить операции очистки деталей от окалины и, наконец, повысить предел выносливости деталей, работающих при циклических нагрузках.

В зависимости от конечных условий взаимодействия газов со сталью атмосферы разделяются на: 1) защитные от окисления и обезуглероживания, применяемые при светлом отжиге и нормализации, светлой и частой закалке, пайке меди, спекании и т. п.; 2) науглероживающие, применяемые при газовой цементации и газовом цианировании, и 3) специальные, применяемые при азотировании, газовом хромировании и др.

Результаты взаимодействия газов со сталью и металлами вообще при нагреве определяются явлениями, протекающими во внешней по отношению к нагреваемому металлу среде, явлениями, протекающими на поверхности металла (на разделе фаз), и диффузионными (абсорбционными) явлениями, протекающими в объеме металла (в твердой фазе). Сущность процесса (окисление и восстановление окислов, науглероживание и обезуглероживание и т. п.) определяется взаимодействием внешней среды с поверхностью металла.

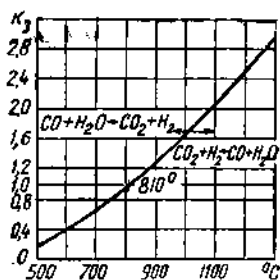
Главнейшие реакции взаимодействия газов со сталью приведены на фиг. 31-34.

Классификация контролируемых атмосфер приведена в таблице на стр. 170, а их применение — в таблице на стр. 168.

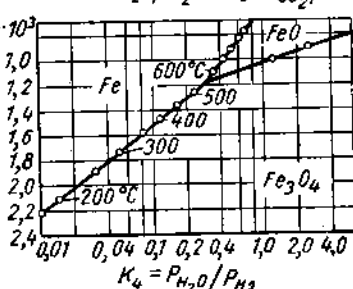
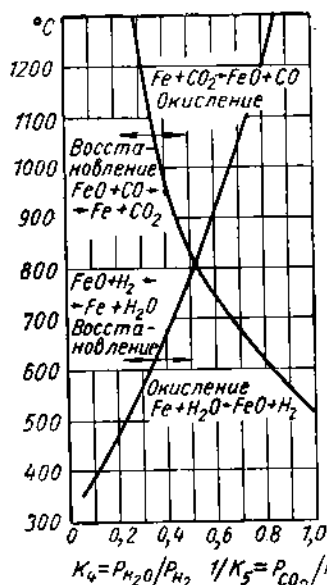
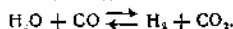
Наибольшее распространение в промышленности имеют атмосферы, получаемые путем сжигания (при $\alpha = 0,25 \div 1,0$) (фиг. 35) газов с последующей очисткой от двуокиси углерода этанолламинами и осушкой силикагелем или активированной окисью алюминия (атмосферы типа $\text{CO} - \text{CO}_2 - \text{H}_2 - \text{N}_2$).

Главнейшие реакции взаимодействия газов со сталью и константы их равновесия

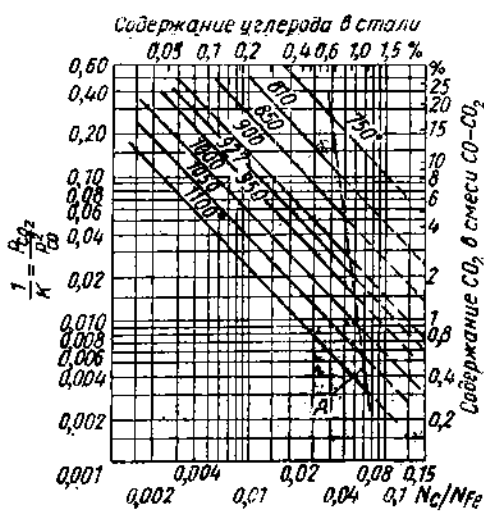
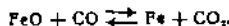
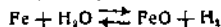
Температура в °С	$2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$	$\text{C} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_4$	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$		$\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} = \text{FeO} + \text{H}_2$		$\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$	
	$K_1 = \frac{P_{\text{CO}}^2}{P_{\text{CO}_2}}$	$K_2 = \frac{P_{\text{H}_2}^2}{P_{\text{CH}_4}}$	$K_3 = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot P_{\text{CO}}}{P_{\text{H}_2} \cdot P_{\text{CO}_2}}$	$\frac{1}{K_3}$	$K_4 = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2}}$	$\frac{1}{K_4}$	$K_5 = \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}}$	$\frac{1}{K_5}$
400	9,0 · 10 ⁻⁵	5,6 · 10 ⁻²	0,081	12,3	0,107	9,35	—	—
450	7,3 · 10 ⁻⁴	0,164	0,135	7,38	0,158	6,33	0,87	1,15
500	4,7 · 10 ⁻³	0,422	0,205	4,88	0,214	4,67	0,952	1,05
550	0,0230	0,977	0,292	3,45	0,283	3,53	1,02	0,98
600	0,0960	2,09	0,394	2,55	0,334	2,99	1,18	0,848
650	0,343	3,92	0,513	1,96	0,377	2,65	1,36	0,735
700	1,06	7,15	0,650	1,56	0,425	2,35	1,52	0,657
750	2,96	12,3	0,794	1,27	0,463	2,16	1,72	0,582
800	7,48	20,1	0,950	1,05	0,500	2,00	1,89	0,529
850	17,46	31,8	1,12	0,891	0,564	1,83	2,05	0,487
900	37,76	48,3	1,31	0,765	0,590	1,69	2,20	0,455
950	76,70	71,0	1,49	0,668	0,625	1,60	2,38	0,420
1000	146,5	102,4	1,69	0,589	0,666	1,50	2,53	0,393
1050	—	—	1,90	0,527	0,750	1,41	—	—
1100	461,4	192	2,11	0,474	0,740	1,35	2,85	0,350
1150	—	—	2,30	0,433	—	—	—	—
1200	1244	335	2,51	0,395	0,793	1,26	3,16	0,317
1250	—	547	2,71	0,363	—	—	—	—
1300	2951	547	2,94	0,339	0,343	1,18	3,46	0,289



Фиг. 31. Кривая равновесия реакции водяного газа



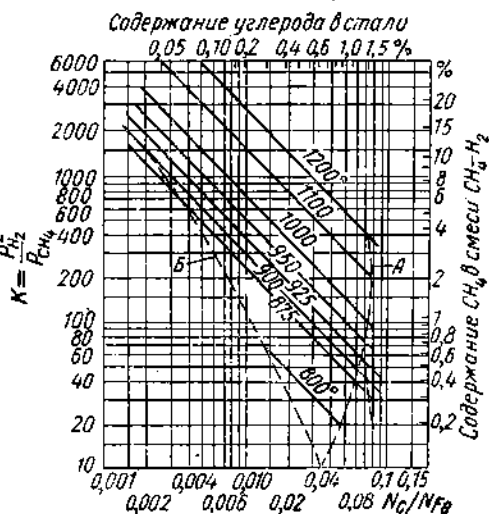
Фиг. 32. Кривые равновесия реакций



Фиг. 33. Кривые равновесия системы $CO - CO_2 - Fe - Fe_3C$ для реакций: $Fe + 2CO \rightleftharpoons C(Fe_3) + CO_2$

$K = \frac{N_{Fe} P_{CO}^2}{N_{C} P_{CO_2}}$ $3Fe + 2CO \rightleftharpoons Fe_3C + CO_2$

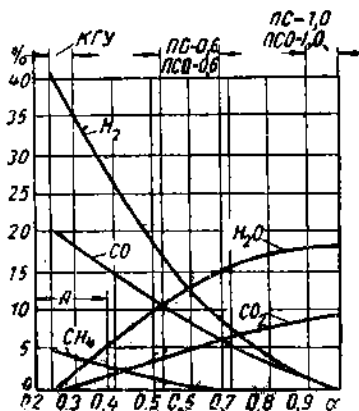
(кривая А): $P_{CO} + P_{CO_2} = 1.0$



Фиг. 34. Кривые равновесия системы $CH_4 - H_2 - Fe - Fe_3C$ для реакции: $C(Fe_3) + 2H_2 \rightleftharpoons Fe + CH_4$

$K = \frac{N_C \cdot P_{H_2}^2}{N_{Fe} \cdot P_{CH_4}}$ $Fe_3C + 2H_2 \rightleftharpoons 3Fe + CH_4$

(кривая А): $P_{H_2} + P_{CH_4} = 1$ (кривая Б для системы $CH_4 - H_2 - Fe_3C$).



Фиг. 35. Состав продуктов частичного сжигания газов в зависимости от коэффициента избытка воздуха α (А — внешний нагрев камеры сжигания).

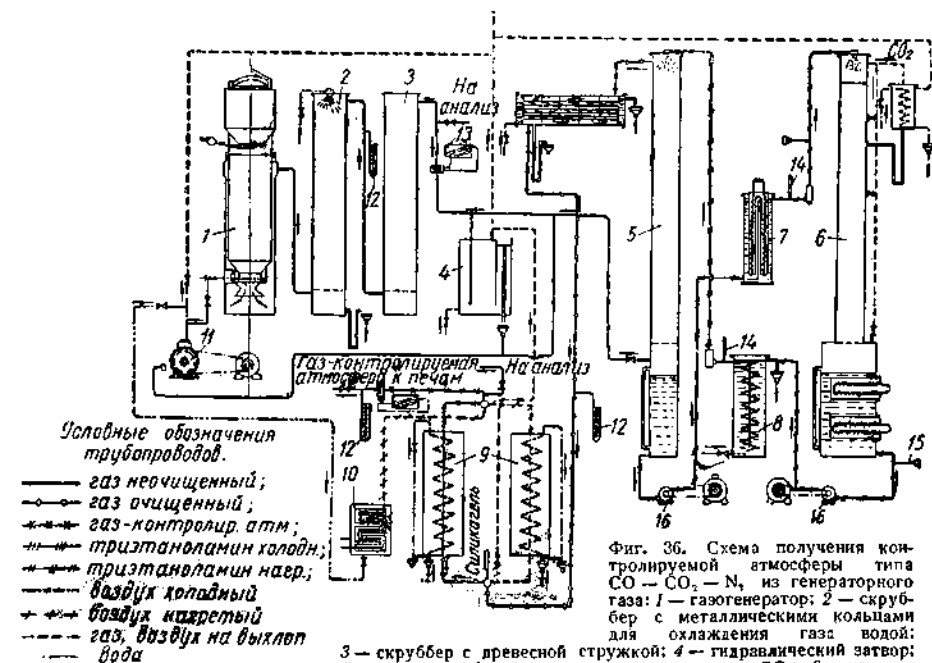
На фиг. 36 приведена технологическая схема получения атмосферы ПСО-1,0 из генераторного газа.

На указанной схеме типичными для приготовления атмосфер ГГО и ПСО (типа $\text{CO}-\text{CO}_2-\text{N}_2$ и $\text{CO}-\text{CO}_2-\text{H}_2-\text{N}_2$) являются элементы установки — абсорбер для поглощения двуокиси углерода водным раствором моно-, ди- или триэтаноламина и абсорбер для осушки газа силикагелем или алюмогелем.

В обоих элементах установки поглощение газа CO_2 и водяного пара происходит при низких температурах (15—30°), а восстановление поглотителей происходит при повышении температуры для этаноламина до 90—100°, а силикагеля до 150—200°.

Процессы поглощения газа CO_2 и водяного пара, а также восстановление поглотителей — этаноламина и силикагеля происходят непрерывно.

При получении контролируемых атмосфер большое значение имеет также очистка газов от кислорода в колонках, заполненных активными средами.



Фиг. 36. Схема получения контролируемой атмосферы типа $\text{CO}-\text{CO}_2-\text{N}_2$ из генераторного газа: 1 — газогенератор; 2 — скруббер с металлическими кольцами для охлаждения газа водой; 3 — скруббер с древесной стружкой; 4 — гидравлический затвор; 5 — колонка абсорбера для очистки газа от CO_2 ; 6 — колонка абсорбера для восстановления абсорбента; 7 — подогреватель абсорбента; 8 — охладитель абсорбента; 9 — абсорбер (колонка с силикагелем); 10 — воздушонагреватель; 11 — воздуходувка; 12 — манометры; 13 — приборы для определения расхода газа; 14 — термометры; 15 — регулятор температуры; 16 — насосы для перекачивания абсорбента.

3 — скруббер с древесной стружкой; 4 — гидравлический затвор; 5 — колонка абсорбера для очистки газа от CO_2 ; 6 — колонка абсорбера для восстановления абсорбента; 7 — подогреватель абсорбента; 8 — охладитель абсорбента; 9 — абсорбер (колонка с силикагелем); 10 — воздушонагреватель; 11 — воздуходувка; 12 — манометры; 13 — приборы для определения расхода газа; 14 — термометры; 15 — регулятор температуры; 16 — насосы для перекачивания абсорбента.

Сравнение различных осушителей газов (воздуха)

Осушитель	Отношение часового объема осушаемого газа к объему осушителя в $л^3/л^3$	Общий объем газа в $л$ на $1 см^3$ осушителя	Остаточная влажность газа		
			$г/м^3$	$‰$	Точка росы в $°C$
$SiSO_2$ безводный	36-50	0,45-0,70	2,8	0,36	-6
$CaCl_2$ гранулированный	65-165	6,1-24,2	1,5	0,185	-14
$CaCl_2$ технический безводный	115-150	4,0-5,8	1,25	0,155	-15,5
$ZnCl_2$	120-335	0,8-2,1	0,98	0,12	-18
$Ba(ClO_4)_2$ безводный	26-36	2,3-3,7	0,82	0,10	-20
$NaOH$	75-170	2,3-8,9	0,80	0,10	-20
$CaCl_2$ безводный	75-240	1,2-7,8	0,36	0,046	-20
$Mg(ClO_4)_2 \cdot 3H_2O$	65-160	4,0-7,2	0,031	0,004	Ниже -50
KOH	55-65	3,2-7,2	0,014	0,0019	То же
Силикагель	43-59	2,1-5,2	0,006	0,0008	"
$CaSO_4$ безводный	75-150	1,2-18,5	0,005	—	"
CaO	60-90	7,6-10,7	0,003	—	"
$Mg(ClO_4)_2$ безводный	43-53	2,8-5,9	0,002	—	"
Al_2O_3 активированный	36-63	5,6-6,2	0,001	—	"
BaO	63-66	10,6-25,0	0,00065	—	"

Физические свойства силикагеля марки КСМ Воскресенского химкомбината (ГОСТ 3956-47)

Насыпной вес	0,72 $г/см^3$	Влагоемкость при 20°	8-10%
Удельная поверхность	350-450 $м^2/г$	Точка росы осушенного газа	
Удельный вес: кажущийся	1,28 $г/см^3$	(содержание влаги 0,03 $г/см^3$)	-52° до -54°
истинный	2,20 " "	Скорость движения газа	0,2 $л/мин$ на $1 см^2$ площади сечения адсорбера
Пористость	41,8%		
Размер зерен ϕ 5-6 $м.м.$	3,72% (весовых)	Температура восстановления	180-200°
ϕ 3-5	81,5% " "		
ϕ 2-3	12,7% " "		
ϕ 6 и ϕ 2 $м.м.$	Остальное		

Физические свойства и динамическая активность некоторых подобных активному глинозему адсорбентов водяного пара

Наименование адсорбента	Насыпной вес в $кг/л$	Прочность на истирание в весовых %	Динамическая активность (влагоемкость) в весовых %	Точка росы в $°C$
Активная окись алюминия (Физико-химический институт им. Л. Я. Карлова)				
Образец № 2	0,74	95,4	14,7	-55
№ 3	0,65	98,5	10,4	-55
Боксит (ВНИГИ)	1,2	85,4	10,7	-60
Активная окись алюминия (НИУИФ)	0,62	98,0	17,1	-48
Гидроокись алюминия (НИУИФ)				
непрокаленная	0,65	98,8	14,3	-48
прокаленная	0,59	86,6	12,5	-56
Алюмосиликагель (НИИ МХП)	0,5	90,0	20,4	-55
То же (ВХК)	0,77	98,7	23,0	-49-55
Алюмогель (химзавод)	0,4	93,0	13,0	-55
Глинозем (ВАЗ)	0,83	90,4-96,0	11,5	-53
Активный глинозем (ВНИИХИММАШ)*	0,85	94-97	11,5	-58-60

* При 20° и скорости воздуха 0,2 $л/мин$ на $1 см^2$ по свободному сечению при высоте слоя 1000 $м.м.$

Активный глинозем является наиболее эффективным адсорбентом, удовлетворяющим требованиям приготовления защитных атмосфер (системы H_2 - N_2).

Физические свойства активного глинозема

Насыпной вес	0,85 кг/л
Удельная поверхность (удельная поверхность силикагеля марки КСМ-350 — 450 м ² /г)	270 м ² /г
Удельный вес: кажущийся	1,6 г/см ³
истинный	3,6 г/см ³
Общий объем воздушного пространства	76,0% (объемных)
Эффективный диаметр пор	25Å
Размер зерен	Ø 5—6 мкм — 12% (весовых) Ø 3—5 мкм — 88% (весовых)

Размер зерен в мкм	Влагоемкость в %	Теплопроводность λ в ккал/м час град
2,4—4,7	0	0,094
	15	0,105
4,7—9,5	0	0,105
	15	0,112

Влагоемкость при 5°	10—13%
50°	4,4—7,8%
Температура восстановления (десорбции)	300—350° С

Тонкая очистка газов от кислорода

I. Препарат Научно-исследовательского и проектного института азотной промышленности для поглощения кислорода состоит из $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, силикагеля и NaOH , приготовленного и прокаленного особым способом.

Адсорбент представляет собой шарики Ø 3—4 мм, восстановленные водородом при 200° после их приготовления.

Рабочая температура колонки при очистке газа равна 200°; газ очищается до содержания кислорода < 0,001%.

II. Препараты: Ni—Al на пемзовой основе, Fe_2O_3 и MnO на шамотной основе и окись меди.

Окись меди при 350—450° дает степень очистки газа от кислорода до 0,002% при продолжительности контакта до 100 мин. и 0,000X при ≥ 160 мин.

Для более высокой степени очистки, обеспечивающей при 200—250° С содержание кислорода на выходе 0,0000X%, может применяться препарат, приготовленный из CuCO_3 — $\text{Cu}(\text{OH})_2$ растворением в аммиаке и осаждением на инфузورной земле.

Применение контролируемых атмосфер

Операция термообработки	Обрабатываемый металл	Температура процесса в °С	Требуемый вид поверхности	Рекомендуемые типы атмосферы
Отжиг	Малоуглеродистая сталь	650—750	Светлый	ДА; ДА-0,8; ПСО-1,0; ПС-0,6; ГГ; ГГО ПСО-1,0; ПС-0,6; ГГО
	Средне- и высокоуглеродистая сталь	650—800		
	Средне- и высокоуглеродистая легированная сталь	700—870	Светлый или чистый	
	Быстрорежущая сталь и инструментальная сталь, содержащая молибден	760—870	То же	ПСО-1,0; ПСО-0,6; ГГО; КГУ
	Хромистая и хромоникелевая нержавеющая сталь	980—1150		
	Медь	200—650	Светлый	ДА ПС-1,0; ГГ; ПС-0,6 Чистый ПС-1,0; ГГ; ПС-0,6 ПС-0,6; ГГ ПС-0,6; ГГ
	Латунь	425—735	Чистый	
	Медноникелевые сплавы	420—760	Светлый	
	Кремнезистые сплавы	650—760		
	Чугун ковкий ферритный и перлитный	700—950	Светлый или чистый	ПС-0,6; ГГ; КГУ-1000; КГУ; ПС-0,6 исходный газ

ДУФЕЛАМИ

ДА и Д-0,8 в печах с термометрическими

Продолжение

Операция термообработки	Обрабатываемый металл	Температура процесса в °С	Требуемый вид поверхности	Рекомендуемые типы атмосферы
Нормализация	Малоуглеродистая сталь .	870—1000	Светлый или чистый	ПС-0,6; ГГ
Нормализация	Средне- и высокоуглеродистая сталь и легированная сталь	800—1100	Светлый или чистый	ПС-0,6; ПСО-1,0; ГГ-ВО; ГГО; КГУ
Закалка	Средне- и высокоуглеродистая сталь	760—980	Светлый или чистый	КГУ-ВО; КГУ; ПСО-0,6 + добавка исходного газа; ГГ-ВО; ГГО
	Средне- и высокоуглеродистая легированная сталь	760—980	То же	КГУ-ВО; КГУ; ПСО-0,6 и ПСО-1,0 + добавка исходного газа; КГУ-1000; КГУ
	Быстрорежущая сталь .	980—1350		
Отпуск	Все классы стали	650	Светлый или чистый	ПС-0,6; ПС-1,0; ГГ
Пайка	Малоуглеродистая сталь	1150	Светлый	ПС-0,6; ГГО КГУ-ВО; КГУ; ПС-0,6; ПСО-1,0; ГГО ДА ДА
	Средне-, высокоуглеродистая и легированная сталь	1160		
	Высокоуглеродистая и высокохромистая сталь	1150		
	Нержавеющая сталь	1160		
Пайка	Медь и латунь (пайка фосфористой медью или серебром)	650—870	Светлый	ПС-1,0; ПС-0,6
Спекание металлов (с восстановлением окислов)	Малоуглеродистые сплавы .	980—1150	Светлый или чистый	КГУ-ВО; КГУ
	Высокоуглеродистые и специальные сплавы	980—1150	То же	КГУ-ВО; КГУ КГУ-ВО; КГУ; ПСО-0,6
	Цветные сплавы .	760—980		
Газовая цементация	Все цементуемые марки стали	900—980	Чистый или светлый	ПС-0,6 или ПСО-0,6 + добавка исходного газа КГН; ПГН+КГН ГГО + добавка углеродородов; КГУ + добавка исходного газа
Газовое цианирование	Среднеуглеродистые и легированные стали	750—870	Чистый или светлый	То же, что и для газовой цементации + аммиак в количестве 10—30%
	Быстрорежущие стали	540—660	То же	

Характеристика контро

Тип атмосферы	Наименование и метод получения атмосферы	Условное обозначение атмосферы	Коэффициент избытка воздуха α	Примерный состав в %					Точка росы в °С	Выход газа в м³/кг или в м³/м³	Главные элементы установок для получения атмосферы	
				CO₂	CO	H₂	CH₄	N₂				
H₂—H₂O—N₂	Продукты диссоциации аммиака с последующей осушкой	ДА	—	—	—	75	—	25	—55 до —60	2,64	Испаритель, диссоциатор и адсорбер	
	Продукты частичного сжигания диссоциированного аммиака	ДА-0,8	0,70—0,95 0,88	—	—	1—15 10	—	Остальное 90	—40	4,4—3,9 4,1	Испаритель, диссоциатор, камера частичного сжигания, скруббер-охладитель, рефрижератор и адсорбер	
CO—CO₂—N₂	Генераторный газ, полученный в газогенераторе с внешним обогревом, при температуре процесса во всем объеме генератора $\geq 1200^\circ$	ГГ-ВО	—	$\leq 0,5$	32—34	Следы	—	Остальное	+15	5,0	Газогенератор, водяной скруббер-охладитель	
	Генераторный газ древесный, древесноугольный, камешноугольный (бессернистый)	ГГ	—	$\leq 7,0$	24—30	4—6	1—2	„	+15	5,0	То же	
	То же, очищенный от CO₂ и осушенный	ГГО	—	Следы	28—32	4—7	2—3	„	—40	4,6	Газогенератор, скруббер-охладитель, абсорбер для поглощения CO₂ и адсорбер	
CO—CO₂—H₂—N₂	Продукты сжигания газов	ПС-1,0	0,95	9—11 10,5	$\leq 0,5$ 1,5	$\leq 0,5$ 1,2	—	Остальное	+15 +4	—	Камера сжигания и скрубберы-охладители	
	То же, очищенные от CO₂ и осушенные	ПСО-1,0	0,95	$\leq 0,2$ 0,2	≤ 3 1,5	≤ 3 1,2	—	94,0 97,1	—40 —40	—	Камера сжигания, охладители, абсорбер и адсорбер	
	Продукты частичного сжигания газов	ПС-0,6	0,55—0,65	4—6 5	8—15 10,0	10—16 12,5	≤ 2 0,5	Остальное 70,7	+15 +4	—	То же, что для атмосферы ПС-1,0	
	То же, с последующей очисткой от CO₂ и осушкой	ПСО-0,6	0,55—0,65	—	10—16 11	12—18 16	≤ 2 1,0	Остальное 72	—40 —40	—	То же, что для атмосферы ПСО-1,0	
	Крекинг-газ углеводородных газов при внешнем подогреве крекинг-камеры до температуры $\geq 1000^\circ$	КГУ-ВО	0,25—0,28	—	18—28 19,0 20,7	30—40 38,0 38,5	≤ 2 1,3 0,8	Остальное 41,7 40,0	—5 —	} $\sim \alpha V_{\text{г}} + 1$	Крекинг-генератор, скрубберы для охлаждения и очистки газа, рефрижератор	
Продукты сжигания газов (или генераторный газ) с последующей очисткой от CO₂ и осушкой путем пропускания через реторту с древесным углем при 1000—1200°	ПС-эндо ГГ-эндо	0,6—0,65	—	23—28 25—30	12—16 8—10	—	Остальное „	— —	Камера сжигания с ретортой, заполненной древесным углем, охладитель			
CO—CO₂—CH₄—H₂—N₂	Крекинг-газ углеводородных газов при внешнем подогреве крекинг-камеры до температуры ≤ 1000	КГУ	0,25—0,28 0,25—0,28	—	18—22 20,3	36—40 36	2—4 3,8	Остальное 39	+15 +15	} $\sim \alpha V_{\text{г}} + 1$	Крекинг-генератор, скрубберы для охлаждения и очистки газа То же	
	Крекинг-газ нефтепродуктов (керосина, масел и т. п.)	КГН	0,25—0,28	$\leq 1,5$	12—15	10—14	8—10 10—12 C _n H _m	Остальное	+15			2,6—2,8
	Пирол-газ нефтепродуктов (керосина, мазута и т. п.) без доступа воздуха при 650—850°	ПГН	—	—	—	≤ 2	20—25	40—55 20—25 C _n H _m	„	+15	} $\frac{1,1 \text{ (при ПГН : КГН = 0,4 : 0,6)}}{—}$	Пирол-крекинг-установка
	Крекинг-газ нефтепродуктов (крекирование пирол-газа в смеси с водяным паром при температуре 900—950°)	КГН	ПГН: H₂O = = 1 : 1,25	—	$\leq 1,0$	16—26	60—70	6—15 $\leq 1,5$ C _n H _m	„	+15		

дируемых атмосфер

Тип атмосферы	Наименование и метод получения атмосферы	Условное обозначение атмосферы	Коэффициент избытка воздуха α	Примерный состав в %					Точка росы в °С	Выход газа в м³/кг или в м³/м³	Главные элементы установок для получения атмосферы	
				CO₂	CO	H₂	CH₄	N₂				
H₂—H₂O—N₂	Продукты диссоциации аммиака с последующей осушкой	ДА	—	—	—	75	—	25	—55 до —60	2,64	Испаритель, диссоциатор и адсорбер	
	Продукты частичного сжигания диссоциированного аммиака	ДА-0,8	0,70—0,95 0,88	—	—	1—15 10	—	Остальное 90	—40	4,4—3,9 4,1	Испаритель, диссоциатор, камера частичного сжигания, скруббер-охладитель, рефрижератор и адсорбер	
CO—CO₂—N₂	Генераторный газ, полученный в газогенераторе с внешним обогревом, при температуре процесса во всем объеме генератора $\geq 1200^\circ$	ГГ-ВО	—	$\leq 0,5$	32—34	Следы	—	Остальное	+15	5,0	Газогенератор, водяной скруббер-охладитель	
	Генераторный газ древесный, древесноугольный, камешноугольный (бессернистый)	ГГ	—	$\leq 7,0$	24—30	4—6	1—2	„	+15	5,0	То же	
	То же, очищенный от CO₂ и осушенный	ГГО	—	Следы	28—32	4—7	2—3	„	—40	4,6	Газогенератор, скруббер-охладитель, абсорбер для поглощения CO₂ и адсорбер	
CO—CO₂—H₂—N₂	Продукты сжигания газов	ПС-1,0	0,95	9—11 10,5	$\leq 0,5$ 1,5	$\leq 0,5$ 1,2	—	Остальное	+15 +4	—	Камера сжигания и скрубберы-охладители	
	То же, очищенные от CO₂ и осушенные	ПСО-1,0	0,95	$\leq 0,2$ 0,2	≤ 3 1,5	≤ 3 1,2	—	94,0 97,1	—40 —40	—	Камера сжигания, охладители, абсорбер и адсорбер	
	Продукты частичного сжигания газов	ПС-0,6	0,55—0,65	4—6 5	8—15 10,0	10—16 12,5	≤ 2 0,5	Остальное 70,7	+15 +4	—	То же, что для атмосферы ПС-1,0	
	То же, с последующей очисткой от CO₂ и осушкой	ПСО-0,6	0,55—0,65	—	10—16 11	12—18 16	≤ 2 1,0	Остальное 72	—40 —40	—	То же, что для атмосферы ПСО-1,0	
	Крекинг-газ углеводородных газов при внешнем подогреве крекинг-камеры до температуры $\geq 1000^\circ$	КГУ-ВО	0,25—0,28	—	18—28 19,0 20,7	30—40 38,0 38,5	≤ 2 1,3 0,8	Остальное 41,7 40,0	—5 —	} $\sim \alpha V_{\text{г}} + 1$	Крекинг-генератор, скрубберы для охлаждения и очистки газа, рефрижератор	
Продукты сжигания газов (или генераторный газ) с последующей очисткой от CO₂ и осушкой путем пропускания через реторту с древесным углем при 1000—1200°	ПС-эндо ГГ-эндо	0,6—0,65	—	23—28 25—30	12—16 8—10	—	Остальное „	— —	Камера сжигания с ретортой, заполненной древесным углем, охладитель			
CO—CO₂—CH₄—H₂—N₂	Крекинг-газ углеводородных газов при внешнем подогреве крекинг-камеры до температуры ≤ 1000	КГУ	0,25—0,28 0,25—0,28	—	18—22 20,3	36—40 36	2—4 3,8	Остальное 39	+15 +15	} $\sim \alpha V_{\text{г}} + 1$	Крекинг-генератор, скрубберы для охлаждения и очистки газа То же	
	Крекинг-газ нефтепродуктов (керосина, масел и т. п.)	КГН	0,25—0,28	$\leq 1,5$	12—15	10—14	8—10 10—12 C _n H _m	Остальное	+15			2,6—2,8
	Пирол-газ нефтепродуктов (керосина, мазута и т. п.) без доступа воздуха при 650—850°	ПГН	—	—	—	≤ 2	20—25	40—55 20—25 C _n H _m	„	+15	} $\frac{1,1 \text{ (при ПГН : КГН = 0,4 : 0,6)}}{—}$	Пирол-крекинг-установка
	Крекинг-газ нефтепродуктов (крекирование пирол-газа в смеси с водяным паром при температуре 900—950°)	КГН	ПГН: H₂O = = 1 : 1,25	—	$\leq 1,0$	16—26	60—70	6—15 $\leq 1,5$ C _n H _m	„	+15		

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕЖИМЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Схемы прохождения деталей по цехам
(основных объектов производства)

Маршрут деталей *	Факторы, определяющие назначение схемы	Объекты термической обработки (примерные)
К — T ₁ — М — Сб Л — T ₁ — М — Сб	Заданная твердость деталей $\leq 270-300 H_B$, позволяющая производить последующую механическую обработку резанием Отсутствие требований по поверхностному упрочнению детали	Штампованные траки тракторов, шатуны карбюраторных автомобильных и тракторных моторов, подвески рессор, малонагруженные шестерни станков, вагонные оси и т. п.
К — T ₁ — Сб Л — T ₁ — Сб	Отсутствие механической обработки, любая заданная твердость детали	Рессоры; пружины горячей навивки; литые траки тракторов и другие детали, изготавливаемые из стали марки ЭИ256 (Г13)
К — T ₁ — М — — T ₂ — М — Сб	Заданная твердость детали больше $270-300 H_B$ Требования, предъявляемые в отношении свойств поверхностного слоя (цементация, азотирование и т. п.) Требования по механическим свойствам	Коленчатые и распределительные валы двигателей; тяжело нагруженные шестерни всех машин; шпиндели станков и др.
К — T ₁ — М — — ГП — T ₂ — ГП — — М — Сб	Требование местной защиты при химико-термической обработке (цементации и азотировании) гальваническим покрытием Требование обезжиривания поверхности детали и последующего гальванического покрытия	Валик водяного насоса двигателя; тяжело нагруженные шестерни со шлицевыми отверстиями; гильзы цилиндра двигателей (азотируемые) и т. п.
К — T ₁ — М — T ₂ — — М — T ₂ — — М — Сб	Снятие припуска на механическую обработку после цементации, перед закалкой, при отсутствии защиты мест, не подлежащих цементации, например, высверливание отверстий, нарезание шлицев	Поршневые пальцы мотора, шестерни со шлицевыми отверстиями и т. п.
T ₁ — М — T ₂ — М — Сб	Поступление на завод-изготовитель заготовок, не обработанных термически (поковок или проката)	Гильзы цилиндра из трубной заготовки; нормали из пруткового материала (стали)
М — T ₁ — М — — T ₂ — М — Сб	Аналогично схеме К — T ₁ — М — T ₂ — М — Сб, но при изготовлении деталей из пруткового материала	
М — T ₂ — М — Сб	Изготовление деталей из пруткового материала (стали)	Нормали: болты, шпонки, валы и валики, поршневые пальцы
М — T ₂ — Сб	Отсутствие требований по чистоте поверхности	Пальцы траков тракторов; нормали — болты и гайки, сухари, валики, втулки
ХП — T ₁ — ХП — Сб	Глубокая вытяжка — штамповка деталей из листового материала	Корпус масляного фильтра мотора; фара автомобиля и др.
ХП — T ₂ — Сб	Требуемая твердость не менее $256 H_B$	

* Обозначения цехов: К — кузнечный, T₁ и T₂ — 1-й и 2-й термические, М — механический, Сб — сборочный, Л — литейный, ГП — цех гальванических покрытий, ХП — холоднопрессовый.

Схемы технологических процессов термической обработки

Схема	Применение
1. Отж или $H - M$	Для поковок или отливок из углеродистой стали при $H_B < 207$
2. $Z - O_B - M$	Для поковок или отливок из легированной стали при $H_B < 270 - 300$
3. Отж или $H - Z - O_B - M$	Для поковок сложной конфигурации крупногабаритных из среднеуглеродистой качественной стали при $H_B < 270 - 300$
4. Z	Для отливок (траков) из стали марки ЭИ256 (Г13)
5. $H - M - Ц - Z - O_H - M$	Для цементуемых деталей из углеродистой стали
6. $H - M - Ц - Z$, или $H - Z - O_H$	То же из качественной высоколегированной стали, деталей ответственного назначения
7. $H - M - Ц - O_B - Z - O_H$	То же из стали, имеющей большое количество остаточного аустенита в цементованном слое после закалки. Сталь марок 20X2H4, 18XHBA и т. п.
8. Отж или $H - M - Ц - Z - H-то - O_H$	То же
9. $H - M - Ц (З) - O_H$	То же для шестерен из стали 18XГТ, 20X2H4, 18ХМВА (дает минимальное коробление)
10. $H - M - Цвр - O_H$	Для всех цинкуемых деталей машин из сталей марок 40, 40Х и т. п.
11. Отж или $H - M - Z - O_B$	Для большинства улучшаемых деталей, для штампов горячего и холодного деформирования металлов, для инструментов из быстрорежущей стали
12. Отж - $M - Z - O_B - H-то - O_H$	Для инструмента из быстрорежущей стали и для стали, содержащей после закалки большое количество остаточного аустенита
13. $H - M - Z_{пов} - O_H$	Для деталей, не требующих упрочнения сердцевины
14. $Z - O_B - M - Z_{пов} - O_B$	Для деталей ответственного назначения, требующих упрочнения сердцевины — коленчатые валы, шестерни и т. п.
15. $M - Цвр - O_H$	Для болтов, гаек, шайб и других нормалей
16. $M - Ц (З) - O_H$ или $M - Ц - Z - O_H$	То же
17. $XП - Z^H - O_B$	Для деталей холодной штамповки, для болтов, и других нормалей
18. $XП - H - XП - H$	Для деталей холодной штамповки промежуточный отж — нормализация
19. Отж (H) - $M - Z - O_B - M - Aз$ или $H - O_B - M - Z - O_B - M - O_B - Aз$	Для азотируемых деталей
20. $H - A - Ц - M - Z - O_H$	Для деталей, имеющих припуск, снимаемый механической обработкой после цементации
21. Отж - $M - Z - O_B - M - Цвр$	Для режущего инструмента из быстрорежущей и высоколегированной стали (X12)

Примечание. Для схем 5—8 и 10 термическая обработка поковок (отливок) может быть проведена, в зависимости от марки стали, при применении только нормализации или нормализации плюс высокий отпуск, или только отжига.

Типовые режимы термической обработки наиболее употребительных марок конструкционной стали

Марка стали	Предварительная термическая обработка поковок (отливок):	Окончательная термическая обработка:
10* и 15	$H, 900-920^\circ; < 143^* H_B$	I $Ц, 900-940^\circ; Z, 790^\circ; в; O_H, 150-180^\circ; H_{RC} > 56; < 30$ (сердцевина) II $Цвр, 820-860^\circ; в; O_H, 150-180^\circ$
20	$H, 880-900^\circ; < 156^* H_B$	I $Ц, 900-940^\circ; Z, 790^\circ; в; O_H, 150-180^\circ; H_{RC} > 56; < 30$ (сердцевина) II $Цвр, 820-860^\circ; в; O_H, 150-180^\circ$

* Может применяться и как окончательная термическая обработка.

Продолжение

Марка стали	Предварительная термическая обработка поковок (отливок)	Окончательная термическая обработка
35	H , 850–870°; $\leq 187 H_B^*$	Z , 840° в; O_B , 540–580°; 228–269 H_B Z , 830–850°
40**	I H , 840–860°; $\leq 207 H_B^*$ II Z , 850° в; O_B , 560–580°, возл.: 156–196 H_B	Z , 840° в; O_B , 300–400°; 364–444 H_B O_B , 400–450°; 321–415 H_B O_B , 510–550°; 241–286 H_B O_B , 540–580°; 228–269 H_B O_B , 580–640°; 192–228 H_B
45	I H , 830–850°; $\leq 217 H_B^*$ II Z , 820–840° в; O_B , 580–640°, возл.: 192–228 H_B	Z , 810–830°, в или 840°, м O_B , 510–560°; 241–286 H_B O_B , 560–600°; 192–235 H_B
50	I H , 820–840°; $\leq 228 H_B$ II H , 850°; O_B , 660° возл.: $\leq 228 H_B^*$ III Z , 850° в; O_B , 590–600°; $\leq 228 H_B$	Z , 820–840° в; O_B , 560–620°; $\leq 241 H_B$ O_B , 450°; $\sim 269 H_B$ O_B , 550°; $\sim 248 H_B$ O_B , 650°; $\sim 228 H_B$
60	I Отж, или H , 810°; 187–207 H_B	Z , 820–840°, м или в; O_B , 550–620°; 207–241 H_B O_B , 400°; 321 H_B O_B , 500°; 286 H_B O_B , 600°; 223 H_B
85	I Отж, 800–820° II H , 740–760°; O_B , 650–680°; $\leq 228 H_B$	Z , 800° м или в; O_B , 340–380°; 47–54 H_{RC} O_B , 480–520°; 38–48 H_{RC} O_B , 520–580°; 30–43 H_{RC} O_B , 560–600°; 25–33 H_{RC}
35Г2	I Отж, 775°; 179 H_B II H , 840–860°; 241 H_B III Z , 800–820° в; O_B , 620–645°; 255–302 H_B	Z , 810° в; O_B , 620–640°; 223–302 H_B Z , 820–840° ; O_B , 550–620°; 217–241 H_B O_B , 350°; 415 H_B O_B , 450°; 321 H_B O_B , 550°; 269 H_B O_B , 650°; 217 H_B
45Г2	I Отж, 775–800°; 187 H_B II H , 830–850°; $\leq 241 H_B$ III Z , 830–850° м; O_B , 550–600° ; 269–321 H_B	Z , 840° м; O_B , 620–640° в; 225–302 H_B ; O_B , 300°; 447 H_B ; O_B , 400°; 401 H_B ; O_B , 500°; 321 H_B O_B , 600°; 268 H_B

* Может применяться и как окончательная термическая обработка.

** См. табл. на стр. 177

Продолжение

Марка стали	Предварительная термическая обработка поковок (отливок)	Окончательная термическая обработка
50Г	I Отж, 775—800°; 187 H_B II Н, 820—840°; < 241 H_B III Н, 860°; O_B , 660° IV З, 840° в; O_B , 560—570°; 207—228 H_B	З, 830°, м; O_B , 550—650°; 241—286 H_B (З, 840, в; O_B , 550—620°) O_B , 400°; 321 H_B O_B , 500°; 286 H_B ; O_B , 600°; 223 H_B
60Г	I Отж, 775—800°; < 228 H_B II Н, 840°; III З, 830—850°, м; O_B , 610—670°	З, 800—820°, м; O_B , 480—530°; 269—321 H_B O_B , 650—680°, 179—229 H_B
65Г	I Отж, 775—800°; < 229 H_B II Н, 840° III З, 830—850°, м; O_B , 610—670°	З, 800°, м; O_H , 280—320°; 47—54 H_{RC}
15Х 20Х	I Н, 880—900°; < 179 H_B II З, 860°, м; O_B , 500°	I Цм, 900—920°; З, 800—820°, м; O_H , 180—200° II Цм, 900—920°; З, 780—800°, в; O_H , 180—200°; > 58—60 H_{RC} ; 20—32 (сердце- вина) III Цм, 900—920°; З ₁ , 850—870°, в или Н; З _{II} , 780—800°, в; O_H , 180—220°; 58—60 H_{RC}
40Х (38ХА)	I Н, 850—870°; < 207 H_B II Н, 885—940°; III Н, 850°; O_B , 660°	I З, 850—870°, м; O_B , 425°; 363 H_B ; O_B , 540°; 293 H_B ; O_B , 650°; 223 H_B II З, 850° в; O_B , 550—580°; 235—248 H_B O_B , 600—620°; 196—212 H_B III Цнр, 810—830°, м; O_H , 180—200°; 48—56 H_{RC}
45Х	Н, 840—860°; < 228 H_B	I З, 840°, м; O_B , 485°, в; 302—341 H_B ; O_B , 580—620° в.; 255—285 H_B ; O_B , 600—650°, в; > 241 H_B
25СГ 35СГ	I Н, 930°; 187—228 H_B II Н, 930°; O_B , 600°; 163 H_B III З, 910—930°, в; O_B , 580—620°; 229 H_B	I З, 920°, в; O_H , 230°; 388—407 H_B ; O_B , 475°; 302—363 H_B ; O_B , 680°; 217—255 H_B
40СХ	I Отж, 880°; 241—269 H_B II Н, 900°; O_B , 660°	I З, 900—920°, м или в; O_H , 240—260°; 388—555 H_B ; O_B , 450—500°; 341—415 H_B ; O_B , 560—610; 269—321 H_B ; O_B , 600—650°; 255—302 H_B ; O_B , 630—680°; 241—285 H_B II З, 880—900°, м O_H , 250—280°; > 47 H_{RC} O_H , 280—320°; 47—54 H_{RC} O_B , 430—470°; 38—43 H_{RC} O_B , 580—620°; 33—37 H_{RC} O_B , 650—690°; 20—30 H_{RC}

Продолжение

Марка стали	Предварительная термическая обработка поковок (отливок)	Окончательная термическая обработка
40ХН	Отж, 820–850°; $\leq 207 H_B$	З, 820–840°, м; O_a , 550–600°, в или м; 255–286 H_B
12ХН2	Н, 885–940°; $\leq 207 H_B$	I З, 815–870°, м; O_a , 425°; 311 H_B ; O_a , 540°; 248 H_B ; O_a , 700°; 174 H_B II ЦМ, 900–920°; З, 760–780°, м; O_H , 180–200°; $\geq 58, 23-28 H_{RC}$ (сердцевины) ЦМ, 900–920°; ЗI, 850–870°, м или Н; ЗII, 760–780°, м; O_H , 180–200°; $\geq 58 H_{RC}$
12ХН3	Н, 885–940°; 156–228 H_B	I ЦМ, 900°; З, 760–800°, м; O_H , 150–180°; $\geq 58 H_{RC}$, 26–40 H_{RC} (сердцевины) II ЦМР, 840–860°; O_H , 150–180°
12ХН4	I Н, 885–940°; 187–255 H_B II Н, 920–950°; O_a , 640–660°; $\leq 268 H_B$	I ЦМ, 900°; З, 800°, м O_H , 180°; ≥ 60 ; 35–45 H_{RC} (сердцевины) II ЦМ, 910°; O_a , 600–650°; З, 800°, м; O_H , 180°; $\geq 60 H_{RC}$ III З, 815–845°, в, м; O_H , 200°; 335 H_B O_a , 500°; 250 H_B O_a , 650°; 175 H_B
18ХНВА 18ХНМА	Н, 950°; O_a , 650°; 197–269 H_B	I ЦМ, 900°; З, 760–780°, м; O_H , 150–170°; $\geq 58 H_{RC}$, 35–47 H_{RC} (сердцевины) II З, 860–900°; возд.; O_H , 180–220°; 311–387 H_B III З, 850°, возд.; O_a , 550–590°, в; 302–341 H_B
35ХМ	I Н, 880°; 241–285 H_B II З, 850°, в; O_a , 600–640°; 207–241 H_B	I З, 850–870°, м или в; O_a , 600–640°, в или м; $\geq 221 H_B$ II З, 850°, в; O_a , 550–560° возд.; 241–285 H_B
35ХГ2	Н, 870°	З, 840°, м; O_a , 620–640°; 228–269 H_B
20ХГС	—	З, 880, м; O_a , 500–520°; $\geq 228 H_B$
30ХГС	—	З, 870, м; O_a , 640–660, в или м; $\geq 235 H_B$
35ХГС	—	З, 860–880°, м; O_a , 500–550°, в или м; $\geq 235 H_B$

Продолжение

Марка стали	Предварительная термическая обработка поковок (отливок)	Окончательная термическая обработка
38ХМЮА	H , 930—970°; $O_{\text{в}}$, 600—650°	Z , 930—950°, м; $O_{\text{в}}$, 600—675°, мех. обр. $O_{\text{в}}$, 550—600°, $\tau = 3 + 10$ час., A_3 , 500—650°
45ХНМФА	$O_{\text{тж}}$, 850—860°	Z , 860—880, м; $O_{\text{в}}$, 390—420°; 415—477 H_B $O_{\text{в}}$, 460—530°; 363—444 H_B $O_{\text{в}}$, 550—600°; 321—363 H_B $O_{\text{в}}$, 600—650°; 260—321 H_B

Примечание. В данной таблице температуры отжига, нормализации и закалки даны применительно к деталям сечением ≤ 120 мм; для более крупных сечений указанные температуры должны несколько повышаться.

Механические свойства закаленной стали марки 40 в зависимости от типа закалочной среды и температуры отпуска [133]

Показатель прочности	Температура отпуска в °С	Закалка		
		при 850° в масле 45°	при 820° в воде 35°	при 820° в 8%-ном растворе NaOH 35°
σ_T в кг/мм ²	300	68	100	112
	400	62	90	95
	500	55	75	80
$\sigma_{\text{вр}}$ в кг/мм ²	300	88	105	126
	400	78	100	110
	500	68	85	100
δ_2 в %	300	16	9	5
	400	18	12	12
	500	20	14	14

Термическая обработка заготовок $\varnothing 25$ мм, образцов $\varnothing 20$ мм.

Механические свойства стали марки 40Х в зависимости от температуры отпуска после закалки с 860° в масле [133]

Температура отпуска в °С	Механические свойства		
	$\sigma_{\text{вр}}$ в кг/мм ²	ϕ в %	a_K в кг/мм ²
После закалки	180	9	1,2
	150	32	5,75
	175	—	8,54
	200	41	5,37
	225	41	4,42
	250	44	4,18
	275	44	2,51
300	167	47	2,80

Типовые режимы термической обработки инструментальной стали

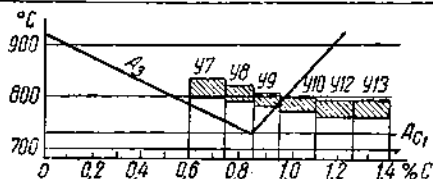
Марка стали	Предварительная термическая обработка	Окончательная термическая обработка
P18	$O_{\text{тж}}$, 830—850°; $H_{\text{зо}}$, 720—750°; $\tau_{\text{н}} = 5 \div 6$ час.; 217—255 H_B	Быстрорежущая сталь I Z , 800—850°; 1280—1310°; 60—63 H_{RC} II Z , 350—400°; 800—850°; 1260—1300°; 63—65 H_{RC} I—II $O_{\text{в}}$, 550—570° трехкратный; 63—65 H_{RC} $C_{\text{вр}}$, 550—560°; 1050—1200 H_V
		I Z , 800—850°; 1230—1260° (резцы); 61—63 H_{RC} II Z , 350—400°; 800—850°; 1210—1240°; 62—64 H_{RC} I—II, $O_{\text{в}}$, 550—570° трехкратный, 63—65 H_{RC} $C_{\text{вр}}$, 550—560°; 1050—1200 H_V (67—72 H_{RC})

Продолжение

Марка стали	Предварительная термическая обработка	Окончательная термическая обработка
Легированная инструментальная <i>Ледобуртная</i>		
X12	<i>Отж.</i> , 850—870°; <i>Изо.</i> , 720—750°; $\tau_B = 4 \div 5$ час.; 228—255 H_B	I З, 1000—1050° — м, распл. соль или возд.; 60—63; $H_{RC} O_B$, 400—425°; трехкратный; 60—63 H_{RC}
X12M	<i>Отж.</i> , 850—870°; <i>Изо.</i> , 720—750°; $\tau_B = 4 \div 5$ час.; 217—255 H_B	II З, 1115—1130° — м, распл. соль или возд.; 45—50; $H_{RC} O_B$, 500—520°; трехкратный; 60—63 H_{RC}
XB5	<i>Отж.</i> , 800—820°; <i>Изо.</i> , 670—700°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 207—255 H_B	I З, 820—860°, м или в; 64—67 H_{RC} ; $O_H \approx 100^\circ$; 65—67 H_{RC} ; (O_H , 130—150°)
<i>Заэвтектоидная и эвтектоидная сталь</i>		
X, ШХ15 ШХ12	<i>Отж.</i> , 770—790°; <i>Изо.</i> , 670—700°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 197—228 H_B	З, 835—855°, м или в; 62—С H_{RC} O_H , 160—180°; $\geq 61 H_{RC}$
X, Х09, ШХ9	<i>Отж.</i> , 770—780°; <i>Изо.</i> , 690—720°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 187—228 H_B	З, 825—840°, м или в; 62—63°; O_H , 160—180°; $\geq 61 H_{RC}$; O_H , 220—240°; 58—60 H_{RC}
9XC	<i>Отж.</i> , 780—810°; <i>Изо.</i> , 690—730°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 207—241 H_B	З, 850—870°, м или распл. соль; 62—64 H_{RC} O_H , 230—260°; $\geq 61 H_{RC}$ O_H , 275—320°; 55—60 H_{RC} (O_H , 170—190°)
XГ	<i>Отж.</i> , 790—810°; <i>Изо.</i> , 700—730°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 217—255 H_B	З, 840—860°, м; 63—66 H_{RC} O_H , 160—180°; $\geq 61 H_{RC}$ O_H , 220—240°; 58—60 H_{RC}
XBГ	<i>Отж.</i> , 770—790°; <i>Изо.</i> , 700—730°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 197—227 H_B	З, 820—840°, м или распл. соль; 62—64 H_{RC} O_H , 160—180°; $\geq 61 H_{RC}$
9XBГ	<i>Отж.</i> , 770—790°; <i>Изо.</i> , 690—720°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 187—228 H_B	З, 810—830°, м или распл. соль; 61—64 H_{RC} O_H , 160—180°; $\geq 61 H_{RC}$
7X3	<i>Отж.</i> , 780—800°; <i>Изо.</i> , 700—730°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 207—241 H_B	З, 820—860°, м; 627—652 H_B ; O_B , 480—550°; 360—420 H_B (штампы)
X05, ШХ6	<i>Отж.</i> , 770—790°; <i>Изо.</i> , 670—700°; $\tau_B = 3 \div 4$ час.; 217—255 H_B	I З, 800—825°, м; 62—65 H_{RC} O_H , 160—180°; $\geq 61 H_{RC}$ O_H , 230—275°; 56—60 H_{RC} II З, 780—800°, в; 63—65 H_{RC} O_H , 160—180° (150—250°) $\geq 61 H_{RC}$ (для мелкого и простой формы инструмента)

Продолжение

Марка стали	Предварительная термическая обработка	Окончательная термическая обработка
В1	Отж, 750—770°; Изо, 670—700°; $\tau_{\text{в}} = 3 \div 4$ час.; 187—228 H_B	I З, 810—830°, м; 60—62 H_{RC} $O_{H'}$, 150—170° II З, 790—810°, ; 65—67 H_{RC} $O_{H'}$, 150—170° $O_{H'}$, 220—240° (для плашек)
Ф	Отж, 740—780°	I З, 820—840°, м; 60—62 H_{RC} $O_{H'}$, 150—170° II З, 790—820°, 63—65 H_{RC} $O_{H'}$, 150—170°
<i>Довлектоидная</i>		
5ХНМ	Отж, 760—790°; 207—241 H_B или $O_{\text{в}}$, 650—690°; 187—228 H_B	З, 820—860°, м; 512—578 H_B (52—58 H_{RC}); $O_{\text{в}}$, 520—550°; 320—410 H_B
5ХГМ	То же	З, 820—850°, м; 512—578 H_B ; $O_{\text{в}}$, 540—560°; 300—380 H_B
4ХВ2С и 5ХВ2С	Отж, 800—820°; 207—241 H_B или $O_{\text{в}}$, 690—730°; 190—235 H_B	З, 850—900°, м; 460—555 H_B (48—56 H_{RC}); $O_{\text{в}}$, 550—600°; 300—350 H_B
4ХС, 35ХГС	Отж, 840—870°; 207—241 H_B или $O_{\text{в}}$, 700—740°; 196—235 H_B	З, 850—900°, м; 444—555 H_B (47—54 H_{RC}) $O_{\text{в}}$, 600—660°; 280—310 H_B З, 890—920° (для 35ХГС)
30ХГС	То же	З, 890—920°, м; 418—512 H_B ; $O_{\text{в}}$, 520—560°; 280—320 H_B
3Х2В8 или 2Х13 и 4Х13	—	З, 1050—1100°, м; 477—512 H_B $O_{H'}$, 600—620°; 360—470 H_B ; $O_{\text{в}}$, 300°. $\tau = 5$ час. (для 2Х13 и 4Х13)
35ХЮА 38ХМЮА	Отж, 840—870°; 207—241 H_B ; Отж, 780—900°; 207—241 или $O_{\text{в}}$, 700—740°; 187—235 H_B	З, 890—940°, м; 444—555 H_B (418—512 H_B для 35ХЮА, $O_{\text{в}}$, 575—625; 310—350 H_B
Углеродистая		
У7 — У8	Отж, 750—770°; Изо, 600—650°; $\tau_{\text{в}} = 1 \div 2$ час.; 170—187 H_B	З, 780—830°, в или м, через воду в масло, 60—63 H_{RC} $O_{H'}$, 160—180°; $\geq 61 H_{RC}$
У9 — У13	Отж, 750—770°; Изо, 620—680°; $\tau_{\text{в}} = 1 \div 2$ час.; 179—207 H_B	З, 760—810°, в; через воду в масло, 62—64 H_{RC} $O_{H'}$, 160—180°; $O_{H'}$, 100° (резцы) $\geq 61 H_{RC}$ (см. Фигуру)



Температуры закалки углеродистой инструментальной стали

Технология термической обра-

Процесс термической обработки (в скобках указаны встречающиеся на практике термины, обозначающие данный процесс)	Марка или тип чугуна	Режим термической обработки		
		Условия нагрева	Температура нагрева в °С	Выдержка
1. Термическая обработка для				
Отжиг низкотемпературный — <i>Отж_{н-т}</i> (Отжиг для снятия внутренних напряжений, стабилизирующий отжиг, стабилизация, старение, искусственное старение)	Серый чугун (детали сложной конфигурации)	Медленное (70—100°/час)	500—550°	Достаточная для прогрева всех частей детали при заданной температуре (1—8 час. в зависимости от конфигурации и массивности детали)
2. Термическая обработка, связанная с разложением цементита				
Отжиг графитизирующий низкотемпературный — <i>Отж_{граф. н-т}</i> (Отжиг для уменьшения твердости, смягчающий отжиг, отжиг для улучшения обрабатываемости, низкий отжиг, отжиг и др.)	Серый чугун; (графитизирующая сталь) ковкий чугун, антифрикционный ковкий чугун (при недоведении до конца или отсутствии второй стадии графитизации); сверхпрочный чугун со сферическим графитом *	Медленное, для деталей сложной конфигурации; ускоренное для деталей простой конфигурации	Несколько ниже A_1 ** 650—750° (700—750°)	Достаточная для полного или требуемого частичного распада эвтектоидного цементита (для серого чугуна $\tau_{\sigma} = 1-4$ часа, для ковкого $\tau_{\sigma} =$ до 60 час.)
Отжиг графитизирующий — <i>Отж_{граф}</i> *** (Отжиг на ковкий чугун, томление, графитизирующий отжиг)	Белый чугун, отбеленный чугун, серый чугун и чугун с глобулярным графитом	Медленное для деталей сложной конфигурации; ускоренное для деталей простой конфигурации	900—1050° (1-я стадия графитизации) 800—700° (2-я стадия графитизации)	Достаточная для полного распада свободного цементита и установления структуры: аустенит — углерод отжига (1-я стадия графитизации)

* Первый вид термической обработки чугуна не связан с фазовыми превращениями, все остальные
 ** Критическая точка A_1 для чугуна, с достаточной для практики точностью может быть установлена
 *** Графитизирующий отжиг применяется также для отбеленного или половинчатого чугуна с целью охлаждения замедленно при прохождении интервала критических температур или ускоренное на воздухе перлит (сорбит) + графит.

ботки чугуна (М. Н. Кунявский)

Охлаждение	Структурные фазовые превращения	Исходная структура	Конечная структура после термической обработки	Назначение термической обработки
снятия внутренних напряжений *				
Медленное (20—50°/час) до окончательного перехода в область упругих деформаций, — до ~ 200°. Далее охлаждение на воздухе	Нет	Любая	Практически такая же, как исходная	Снятие напряжений, повышение прочности, вязкости, исключение коробления и трещин при механической обработке и в эксплуатации
связанная с разложением цементита				
Медленное для деталей сложной конфигурации и ускоренное для деталей простой конфигурации	Распад эвтектоидного цементита	а) Перлит + графит б) перлит+графит в) перлит + феррит + графит	Перлит+феррит+графит феррит+графит феррит+графит	Улучшение обрабатываемости резанием, снятие внутренних напряжений; в случае ковкого и сверхпрочного чугуна с глобулярным графитом — повышение пластичности, ударной вязкости и антифрикционных свойств, а также повышение магнитных характеристик
Замедленное ($\leq 250-300^\circ/\text{час}$) до интервала критической температуры; в интервале 800—700° очень медленное (2—3°/час) или длительная выдержка несколько ниже A_1 . После 2-й стадии графитизации охлаждение до 650° медленное и далее на воздухе	Распад эвтектического, вторичного и эвтектоидного цементита	Ледебурит + перлит	Феррит + углерод отжига	Превращение хрупкого и твердого чугуна в мягкий и пластичный ковкий чугун

виды процессов термической обработки связаны с фазовыми превращениями.
 по эмпирической формуле: $A_1 = 730 - 28 \text{ Si} - 25 \text{ Mn}$, где Si и Mn — процентное содержание Si и Mn.
 снятия отбела по режиму: $t = 850-950^\circ$; $\tau = 0,5-5,0$ час. для установления структуры аустенит+графит; (нормализация графитизирующая); конечная структура — перлит+феррит + графит, феррит + графит или

Процесс термической обработки (в скобках указаны встречающиеся на практике термины, обозначающие данный процесс)	Марка или тип чугуна	Режим термической обработки		
		Условия нагрева	Температура нагрева в °С	Выдержка
Отжиг графитизирующий неполный — <i>Отж_граф_н-п</i> (Отжиг на перлитный ковкий чугун, отжиг на перлито-ферритный ковкий чугун, спец. виды ковкого чугуна, антифрикционный ковкий чугун и др.)	Белый чугун	Медленное для деталей сложной конфигурации; ускоренное для деталей простой конфигурации	900—1050° (1-я стадия графитизации) 800—700° (2-я стадия графитизации)	Достаточная для полного распада свободного цементита и установление структуры: аустенит — углерод отжига (1-я стадия графитизации)
Отжиг графитизирующий со сфероидизацией — <i>Отж_граф_сф.</i> (Отжиг на зернистый перлит, специальный ковкий чугун, отжиг на сфероидизированный перлитный ковкий чугун)	То же	То же	900—1050° (1-я стадия графитизации)	То же
Отжиг графитизирующий сверхускоренный — <i>Отж_граф_с-у*</i> (Сверхускоренный отжиг, дисперсионный отжиг, скоростной отжиг с предварительной закалкой)	То же	Предварительный нагрев до 900—950°; $\tau_{\theta} = 0,5-1,0$ час., закалка в масле, воде или в расплавленных солях (250—300°) или нормализация при 900—950°	900—1050°	То же, но выдержка в 6—7 раз меньшая

3. Термическая обработка для увеличения

Нормализация — <i>Н</i> а) серого чугуна (Термическая обработка для повышения твердости, упрочнение серого чугуна и др., сорбтизация)	Серый чугун, модифицированный серый чугун	Медленно для деталей сложной конфигурации и ускоренно для деталей простой конфигурации	850—950°	Достаточная для насыщения аустенита углеродом (0,5—3,0 часа)
б) ковкого чугуна	Ковкий чугун	В зависимости от конструкции деталей	860—920°	То же (1,0—2,0 часа)

* Применяется также сверхускоренный графитизирующий высокотемпературный (1100—1150°) отжиг = 1—10 мин. при нагреве в соляных ваннах, до 30 мин. при электронагреве токами промышленной частоты

Продолжение

Охлаждение	Структурные фазовые превращения	Исходная структура	Конечная структура после термической обработки	Назначение термической обработки
Ускоренное до интервала критических температур, неполная выдержка во второй стадии графитизации	Распад эвтектического, вторичного и частично эвтектоидного цементита	Ледебурит + перлит	Перлит + углерод отжига или перлит + феррит + углерод отжига	То же, и повышение сопротивляемости износу при повышении твердости и прочности
Охлаждение ниже A_1 , длительная выдержка для сфероидизации эвтектоидного цементита	Распад эвтектического и вторичного цементита; сфероидизация эвтектоидного цементита	Ледебурит + перлит или ледебурит + перлит + графит	Зернистый перлит + графит	Улучшение обрабатываемости резанием, повышение прочности и вязкости
То же, что при <i>Отж_граф_с-у*</i> выдержка в 7—10 меньшая	Распад эвтектического и вторичного и эвтектоидного цементита	Ледебурит + перлит	Феррит + углерод отжига; включения углерода отжига в 1500—2000 раз больше, а их размер мельче	Превращение хрупкого и твердого белого чугуна в мягкий и пластичный ковкий чугун

количества связанного углерода

Ускоренное, обеспечивающее превращение аустенита в перлит (на воздухе) для деталей простой конфигурации, замедленное с 600—550° для деталей сложной конфигурации	Насыщение аустенита углеродом и распад аустенита	Феррит + графит, или феррит + перлит + графит	Перлит + графит, или сорбит + графит	Повышение прочности и износоустойчивости После нормализации применяется также высокий отпуск
На воздухе	Образование аустенита; превращение аустенита в перлит	Феррит + углерод отжига или феррит + перлит + углерод отжига	Перлит или сорбит + углерод отжига	Повышение прочности и износоустойчивости После нормализации применяется высокий отпуск при 650—680° с выдержкой 1,0—1,5 часа

при нагреве в соляных ваннах или при электронагреве т. в. ч.: продолжительность выдержки $\tau =$ сотни и 3—6 сек. при электронагреве т. в. ч. с предварительной закалкой.

Процесс термической обработки (в скобках указаны встречающиеся на практике термины, обозначающие данный процесс)	Марка или тип чугуна	Режим термической обработки		
		Условия нагрева	Температура нагрева в °С	Выдержка
4. Термическая обработка, связанная с				
Закалка — Z (Улучшение)	Серый и ковкий чугун	В зависимости от конструкции деталей	830—900°	Достаточная для растворения углерода в γ -железе (0,5—3,0 часа)
Закалка изотермическая — $Z_{изо}$	Белый, серый и ковкий чугун	То же	830—900°	10—90 мин.
Закалка поверхности — $Z_{пов}^*$	Серый и ковкий и модифицированный чугун	Нагрев поверхностного слоя газовым пламенем, т. в. ч., в электролите	900—1000°	При $W_y = 1,0 \text{ кг/см}^2$ $\tau = 6-8 \text{ сек.}$ $a = 3-4 \text{ мм}$
Отпуск — O	Все типы чугуна в закаленном состоянии	При загрузке в печь с температурой отпуска	Выше A_1 в зависимости от требуемой твердости	0,5—2,0 часа (до 3 час.)
5. Химико-термическая обработка, связанная				
Отжиг обезуглероживающий — $Отж\ обез.$	Белый чугун	Медленно в окислительной среде (с упаковкой в смесь 25% свежей + 75% отработанной железной руды)	900—1050°	Достаточная для обеспечения требуемого обезуглероживающего слоя ($\delta = 1,5-2,5 \text{ мм}$ за 60—90 час.)
6. Химико-термическая обработка с насыщением				
Азотирование — Az Азотиrowание — $Az_{кр}$ Аллитирование — $Alт$ Хромирование — $Хр$			См. табл. характеристики	

* Применяется также сверхускоренный графитизирующий высокотемпературный (1100—1150°) отжиг $\tau = 1-10 \text{ мин.}$ при нагреве в соляных ваннах, до 30 мин. при электронагреве токами промышленной частоты

Продолжение

Охлаждение	Структурные фазовые превращения	Исходная структура	Конечная структура после термической обработки	Назначение термической обработки
получением неравновесных структур				
В воде или в масле	Превращение аустенита в неравновесные структуры	Перлит + графит (или углерод отжига в ковком чугуне)	Мартенсит, троостит + графит или углерод отжига	Повышение твердости, прочности и износоустойчивости
В расплавленной соли при 200—400°	Изотермический распад аустенита	Перлит + графит; феррит + графит; феррит + перлит + графит (или углерод отжига)	Игольчатый троостит + графит	То же, при сохранении пластичности
В воде, масле или масляной эмульсии	Превращение аустенита в неравновесные структуры	Перлит + графит (или углерод отжига в ковком чугуне)	В поверхностном слое — мартенсит или троостит-мартенсит	Повышение твердости и износоустойчивости поверхности (48—53 HRC)
На воздухе	Распад неравновесных структур в более равновесные; превращение остаточного аустенита	Мартенсит + остаточный аустенит + троостит + графит	Троостит + сорбит; сорбит	Снижение твердости, снятие закалочных напряжений; повышение вязкости и пластичности
с обезуглероживанием поверхностного слоя				
Вместе с печью	В поверхностном слое до 1,5—2,5 мм полное обезуглероживание; в центре разложение цемента и частичный распад аустенита	Ледебурит + перлит	В поверхностном слое — феррит, в сердцевине — перлит + углерод отжига или перлит + феррит + углерод отжига	Превращение твердого и хрупкого белого чугуна в мягкий, легко обрабатываемый с повышенной прочностью и удовлетворительной пластичностью
поверхностного слоя специальными элементами процессов диффузионной металлизации (стр. 161)				

при нагреве в соляных ваннах или при электронагреве т. в. ч.; продолжительность выдержки сотни и 3—6 сек. при электронагреве т. в. ч. с предварительной закалкой.

Режимы отжига для снятия внутренних напряжений в чугуных деталях

(По заводским данным)

Наименование деталей	Вес детали в т	Толщина стенки в мм	Примерный химический состав в %							Температура загрузки в °С	Скорость нагрева в °С/час	Температура выдержки в °С	Продолжительность выдержки в час	Продолжительность охлаждения в час	Выдача на воздух при температуре в °С
			С _{общ}	Si	Mn	S	P	Cr	Ni						
Станины, каретки, супорты, салазки	—	—	3,2	1,65	0,7	0,095	0,19	0,37	0,25	200—230	170	350—600	2,5—3,0	6—8	150
Корпус редуктора, корпус задней бабки, крышка корпуса передней бабки	—	—	3,4	2,25	0,6	0,1	0,25	—	—	200—230	170	350—600	2,5—3,0	6—8	150
Столы, салазки, чугунные вкладыши	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400—500	—	400—500	5—6	—	200
Станины	1,2—2,0	8—60	2,9	1,35	0,8	0,12	0,2	—	—	12—20	100	52—550	4,5	Сутки, вместе с печью	30—60
Головки цилиндров, корпус выхлопного коллектора, корпус всасывающего коллектора	4—35	—	3,4	2,4	0,7	0,12	0,14	0,25	0,2	200—300	80	600	2,5	5	150
Установочные плиты, крышки редукторов, станины станков	—	—	3,2	1,8	0,7	0,12	0,15	—	—	—	—	500—550	—	13	100
Поршни	0,2	15—30	3,1	1,4	0,8	0,12	0,2	—	—	100—300	100	500	3	—	200—300
Крышки и обечайки для поршневых колец	0,045—0,25	13—40	2,1	1,4	0,8	0,12	0,2	—	—	100—300	100	500	2	—	200—300
Масленник	0,002—0,01	6—8	3,1	1,7	0,6	0,11	0,3	—	—	100—300	100	350—600	0,5—1,0	—	260—300
Разметочные плиты, станины, рамы рольгангов, рамы газозащитных камер	1,5—15	70—100	3,1	1,7	0,6	0,14	0,3	—	—	100—300	100	550—600	10	8	150
		40—70	3,2—3,4	1,1—1,7	0,6—0,8	0,1	0,4	—	—	200	60	470	8	8	150
		10—40	3,2—3,4	1,1—1,7	0,6—0,8	0,1	0,4	—	—	150	70	425	6	7	150

Влияние режима отжига на остаточные напряжения и механические свойства

(чугун состава 3,42% C_{общ}, 2,64% C_{гр}, 0,78% C_{св}, 1,48% Si, 0,89% Mn, 0,17% P, 0,11% S, 0,16% Cr, 0,31% Ni)

Нагрев со скоростью 120—140° С в час, охлаждение до 200° С со скоростью 12—15° в час

Температура нагрева в °С	Выдержка в час	Остаточные напряжения в кг/см.кв.*	Снятые напряжения в %	Твердость H _B		α _н в кг.ж/мм.кв
				на поверхности	на глубине 25 мм	
Без термической обработки		2,3	0	228—265	178	26,4
450	3	2,2	10	117—241	170	25,6
450	6	2,04	12	217—228	170	25,6
450	9	1,7	26	217—235	187	77,5
500	3	1,71	25	217—241	187	88,3
500	6	1,53	40	217—241	178	55,8
500	9	1,03	53	217—241	182	—
550	3	1,19	48	217—255	178	26,2
550	6	0,87	62	217—228	170	23,3
550	9	0,82	64	179—187	182	21,7
600	1	1,2	48	—	170	24,7
600	3	0,32	64	196—207	170	23,3
600	6	0,47	73	—	170	—
600	9	0,41	83	139—179	156	20,9

* Остаточные напряжения определялись путем замера деформации на продольно разрезанных образцах размером 50×75×300 мм.

Влияние режима термической обработки на длительность графитизации чугуна

Отжиг белого чугуна	Продолжительность графитизации в час.	
	I стадия	II стадия
Графитизирующий (обычный)	15—30	35—60
С предварительной нормализацией	10—15	15—20
С предварительной закалкой в масле	4—8	8—12
С предварительной закалкой в воде	1—5	6—10

Содержание связанного углерода, твердость и микроструктура серого чугуна после нормализации

(0,05% C_{св}; 23,8 H_{Sh}; феррит+графит)

Температура нагрева в °С	Количество связанного углерода C _{св}		Твердость H _{Sh}		Микроструктура	
	При выдержке в час.					
	1	3	1	3	1	3
800	0,43	0,50	33,4	34,1	Сорбитообразный перлит+15% феррита + графит	Следы феррита вокруг пластинок графита + сорбитообразный перлит
850	0,50	0,52	34,	34,4	Сорбитообразный перлит + следы феррита вокруг графита	То же
900	0,55	0,63	34,6	34,8	Сорбитообразный перлит + графит	Сорбитообразный перлит + графит
950	0,59	0,61	35,4	35,9	То же	То же

Типовые режимы термической обработки коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания

[177, т 7]

Марка стали	Предварительная термическая обработка в поковке					Окончательная термическая обработка				
	Нормализация в °С	Закалка		Отпуск в °С	Твердость НВ	Закалка		Отпуск в °С	Твердость	
		Температура в °С	Охлаждающая среда			Температура в °С	Охлаждающая среда		шеек Н _{RC}	сердцевины Н _B
40	840—860	—	—	—	149—197	Шеек в закалочной машине (810—820) Шеек — током высокой частоты (860—880)	Раствор каустической соды Вода	450—470	402—444 Н _E	250—280
45	850—870	820—840	Вода	590—620	207—281			170—190	55—60	255—285
Cr-Mo, Cu-Ni*	1060	—	—	—	—	870	Воздух	620	—	302—341
1%ХНМА	940—960 O ₂ , 640—660	—	—	—	197—269	870—900	Воздух или масло	180—220	—	311—375
Cr-Mo **	—	820—850	Масло	570—650	250—280	Шеек — газо-кислородным пламенем	Вода	Самоотпуск	52—54	250—280
50	—	810—820	Вода	550—630	320—350	Шеек — током высокой частоты	Вода	180—190	50—58	320—350
Cr-Ni	—	810—830	Масло	480—530	220—240	Азотирование шеек на глубину 0,2—0,3 мм	—	—	520—590 Н _B	220—240
Cr-Ni-Mo ****	920—940	—	—	—	—	820—870 после цементации шеек на глубину 2,5—3,5 мм	Масло	190—210	59—62	—

* Литой вал из стали состава: 0,55—0,60% С; 0,60—0,80% Mn; 0,30—0,40% Si; 1,0—1,25% Cr; 0,9—1,1% Mo; 0,7—1,0% Cu; 0,55—0,65% Ni.
 ** 0,38—0,45% С; 0,9—1,2% Cr; 0,15—0,25% Mo.
 *** 0,40—0,45% С; 1,2—1,5% Cr; 1,0—1,3% Ni.
 **** 0,18—0,22% С; 1,7—2,1% Ni; 1,8—2,1% Cr; 0,20—0,35% Mo.
 Для крупных коленчатых валов из стали 40 и 45 применяется режим: Н, 870—900°; O₂, 560—600°; 207—281 Н_B.

Типовые режимы термической обработки клапанов двигателей внутреннего сгорания [177, т. 7]

Марка стали	Термическая обработка всего клапана						Термическая обработка ножки клапана				Характеристика клапана
	Отжиг в °С	Закалка		Отпуск		Твердость <i>HВ</i>	Закалка		Отпуск в °С	Твердость <i>HRC</i>	
		Температура в °С	Охлаждающая среда	Температура в °С	Охлаждающая среда		Температура в °С	Охлаждающая среда			
40ХН	—	840	Масло	550—600	—	25—30 <i>HRC</i>	—	—	—	—	Всасывающий
Х10С2М	—	1040—1080	Воздух	760—800	Вода	255—302	—	—	—	—	Выпускной
	—	870—880 ***	Масло	600—620	Воздух	241—302	840—860	Масло	—	42—56	
Сильхром *	750—880	1030—1070	Масло или воздух	800—840	—	202—293	—	—	—	—	—
20ХНФА	—	840—860	Масло	620—650	Вода	255—302	—	—	—	—	Всасывающий
40ХНМА	<i>H</i> , 860—880	840—860	—	560—680	—	241—341	—	—	—	—	—
40Х	—	850—860	—	600—620	—	≥ 238	850	Масло	—	45—50	—
Х9С2	—	1040—1060	—	680—700	Воздух	25—35 <i>HRC</i>	На контактной сварочной машине	—	—	≥ 45	Выпускной
	810—830	—	—	—	—	255—302	1050—1100	—	550	40—45	—
Сильхром **	780—800	930—950	Масло	780—800	Воздух	248—293	930—950	Масло или воздух	—	—	Всасывающий

* Состав стали: 0,4—0,5% С; 10% Cr; 2,5—3,0% Si.

** Состав стали: 0,4% С; 2,2% Cr; 4% Si.

** Клапан сварной, тарелка из стали Х10С2М, стержень из стали 40Х; нагревом до 870—880° достигается закалка стержня и отжиг тарелки.

Типовые режимы термической обработки распределительных валов двигателей внутреннего сгорания [177, т. 7]

Марка стали	Цементация в °С	Закалка		Отпуск в °С	Твердость H_{RC}	
		Температура в °С	Охлаждающая среда		поверхностная	сердечные
20	900—950	760—780	Раствор NaOH	200—220	58—60	—
15X	900—920 $\delta = 1,5 \div 1,7$ $\tau = 12$ час.	780 $\tau = 40$ мин.	Вода	200 $\tau = 1$ час	58—62	—
A20	900—920	770—790	Вода	170—190	60—65	28—34
13H2A	900—920	760—800	Масло	160—180	58	≤ 30
40	—	850	Раствор NaOH	200	50—60	—
40	H, 850—870	815	3—6%-ный раствор NaOH при 25—40°	680	187—228 H_B	—
		—	—	—	156—185 H_B	—
40	—	—	Вода	—	53—60 (кулачки) 35—60 (шестерни) < 50 (шейки)	—

Типовые режимы термической обработки шатунов двигателей внутреннего сгорания [177, т. 7]

Марка стали	Предварительная термическая обработка				Окончательная термическая обработка				
	Нормализация		Отжиг		Закалка		Отпуск		Твердость H_B
	Температура в °С	Охлаждающая среда	Температура в °С	Охлаждающая среда	Температура в °С	Охлаждающая среда	Температура в °С	Охлаждающая среда	
40	850—870	Воздух	—	—	810—820	Вода	590—620	Вода	207—281
40	—	—	—	—	820—840	5%-ный раствор NaCl	500—520	Воздух	255—286
40	850—870	Воздух	—	—	810—820	Вода	560—620	—	217—241
Cr-Mo *	—	—	800—820	—	820—850	Масло	570—650	—	230—300
18XНМА	940—960	Воздух	640—660	Воздух	870—900	Воздух или масло	180—220	—	320—400
45Г2	3, 850	Масло	О _г 650	—	—	—	—	—	228—269
35Г2	—	—	—	—	800—820	Вода	610—650	Вода	250—300
40XНМА	—	—	820—860	—	820—840	Масло	560—620	Воздух	250—300
	860—880	Воздух	—	—	840—860	—	630—650	Вода	241—285

* 0,38—0,49% С, 0,9—1,2% Cr, 0,15—0,25% Mo.

Типовые режимы термической обработки шестерен коробок скоростей, редукторов, демультипликаторов, дифференциалов (автомобильных, тракторных, станочных, дизельных и др.) [177, т. 7; 5]

Марка:	Предварительная термическая обработка (в поковке)			Окончательная термическая обработка				Твердость H_{RC}	
	Нормализация в °С	Отпуск в °С	H_B не более	Цементация в °С	Отжиг в °С	Закалка в °С	Отпуск в °С	поверхности	сердцевина
15ХНМ	—	—	—	900—920	—	780, м; $\tau = 35$ мин.	200	58—62	—
15ХН	—	—	—	900—920	—	780, м	200	56—62	—
40ХС	—	—	—	—	—	880—900 м	580—620	33—37	—
40СХ	—	—	—	—	—	900—920 м	560—610	30—35	—
40ХН	3, 800—820	650—660	179—241	—	—	Цир, 820 ($\delta = 0,1 \div 0,15$ мм)	200	50—54	—
50ХН	900—920	700—710	179—207	—	—	Цир 800—820,	220—240	48—52	—
20ХЗ	900—950	640—660	—	Газовая 910—930	—	820—830, подстужив.	180—200	56—62	30—45
12ХНЗА	880—900	—	255	900—820	—	с температуры цементации 760—800, м	150—180	58	26—40
	900—920	670—680	160—207	900—920	—	З ₁ 850, м; З _{II} 800, м	200—220	57	—
12Х2Н4А	920—950	640—660	269	900—920	—	790—810, м	650—630	<28 (хвостовик)	—
18ХНМА	935—960	640—660	255	900—920	640—660	840—860, м	170—190	60	35—45
18ХНВА	940—96°	610—620	269	920—930	—	800—830 (соляная ванна)	180—200	54	35—47
18ХГТ	950—970	—	207	900—920	—	830—850,	160—Н-то— —180°—О _H 160	—	—
12Х2Н4А	920—950	640—660	269	910	—	820, м	200—220	≥56	—
20Х2Н4	950—970	640—660	269	920	—	820, м	200	56—60	35—45
12Х2Н4А	920—940	630—650	269	Газовая 910—930	—	800—880, подстужив.	190—210	58—62	35—45
						с температуры цементации, м	Н-то (-70—80) О _H , 190—210	56—62	22—40
45 . . .	—	—	—	—	—	820—840, в	570—610	192—240 H_B	—
12ХН2А	890—910	—	—	900—920	—	770—810	180—200	56	217 H_B
20ХФА *	900	—	146—207	900—920	($\delta = 1,2 \div +1,5$ мм)	840—860 (соляная ванна с 5—10% NaCN)	190—210	58—65 (зуб) 28—43	—
20ХНМ **	900	—	—	900—930	($\delta = 1,5 \div +1,8$ мм)	840—860 (м, в штампе)	~200	(хвостовик) 58—65	—
35ХМА	Отж, 90,	—	170—207	—	—	810—830	~200	48—55	285—414 H_B
18ХГМ **	850—860	—	187—228	880—900	($\delta = 0,7 \div +0,9$ мм)	830 (м при 180° и м при 60°)	200	58—63 (зуб)	—
40Х .	850—870	—	187—241	—	—	850, в	550—600	285—321 H_B	—

* Коническая ведущая шестерня заднего моста (ГАЗ ММ).

** Шестерня ведомая главной пары заднего моста (ГАЗ 51).

*** Шестерня ведущая главной передачи заднего моста (МЗМА).

Типовые режимы термической обработки валов и осей [177, т. 7]

Наименование	Марка стали	Предварительная термическая обработка			Окончательная термическая обработка						
		Нормализация в °С	Отпуск в °С	Твердость НВ	Цементация в °С	Цилиндрованн в °С	Закалка		Отпуск в °С	Твердость	
							Температура в °С	Охлаждающая среда		НВ	HRC
Главные и промежуточные валы коробов передач	18ХНМА	Отж 640—660	—	269	—	—	860—890	Масло	180—200	363—444	—
	40Х	—	—	—	—	—	815—830	—	190—200	—	46—53
	40	—	—	—	—	—	820—840	Вода	530—550	269—302	—
	50ХН	900—920	680—700	180—207	—	—	800—820	Масло	440—460	—	35—48
	18ХГМ	880—900	550—600	163—207	900—920	—	810—830	—	210—230	—	56—60
	18ХГТ	950—970	—	158—207	900—920	—	830—850	—	200—220	—	>56
Валики переключения коробов перемены передач	46СХ	—	—	—	—	—	890—910	—	600—640	255—302	—
	40Х	—	—	—	—	810—820	—	200	—	—	45—53
	35	—	—	—	—	—	830—850	Вода	550—600	—	25—35
	40	—	—	—	—	Местное	—	Раствор NaOH	190—200	—	45—58
	20	—	—	—	900—910	800—810	790—810	Вода	180—200	—	56—63
	15	—	—	—	—	820—840	780—800	—	180—200	—	>56
Валик водяного насоса	15Х	900—920	—	143—179	900—920	($\delta = 0,15 + 0,35 \text{ мм}$)	760—780	—	200—220	—	58—63
	1Х13	—	—	—	—	—	1100	Масло	350—400	—	56—62
Оси железнодорожных вагонов	45Г	800—830	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Оси паровозов, электровозов, тепловозов	40	860—880	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Оси различных машин и механизмов (сечением выше 10 мм)	35	850—870	—	179	—	—	—	—	—	—	—
	45	830—850	—	217	—	—	—	—	—	—	—
	35Г2	840—860	—	241	—	—	—	—	—	—	—
	30Х	—	—	—	—	—	800—870	Вода	540—560	212	—
	30Н	850—870	—	140	—	—	—	—	—	—	—

Типовые режимы термической обработки крепежных деталей

[177, т. 7]

Деталь	Марка стали	Закалка		Отпуск		Твердость	
		Температура в °С	Охлаждающая среда	Температура в °С	Охлаждающая среда	H _B	H _{RC}
Болты	15	<i>Цнр</i> 780—890	Вода	180—200	Воздух	—	> 56
	40X		Масло	590—630	Вода	241—285	—
	40XH	800—820	"	410—430	"	—	33—38
	40CX	900—920	"	560—600	"	269—231	—
	30	<i>Цнр</i> 830—850	NaOH	190—210	"	По напильнику	
	45		Вода	540—570	Воздух	241—285	—
	18XHMA	860—890	Масло	170—200	"	300—444	—
	Cr-Mo *	830—860	"	630—680	"	187—217	—
	Ni-Mo **	800—830	"	550—600	Вода	240—285	—
	37XH3A	850—860	"	650—670	"	—	33—37
	20XГС	880—890	"	500—520	"	230—269	—
	Гайки	45	<i>Цнр</i> 810—830	Вода	530—570	Воздух	—
35		"		540—560	Вода	—	24—30
A12		840—860	"	150—180	По напильнику		
40XH		790—810	Масло	540—560	"	—	25—30
40XC		880—900	"	650—690	Вода	255—285	26—30
Винты	10	<i>Цнр</i> 840—860	Вода	—	—	По напильнику	
	0CX		Масло	560—610	Вода	209—321	—

* 0,22—0,29% С; 0,9—1,2% Cr; 0,15—0,25% Mo.

** 0,43—0,48% С; 1,65—2,0% Ni; 0,2—0,3% Mo.

Типовые режимы термической обработки рессор и пружин

[177, т. 7]

Марка стали	Закалка		Отпуск в °С	Твердость H_B
	Температура в °С	Охлаждающая среда		
60С2	830—850	Масло	400—450	387—418
60С2 *	850—870	Вода или масло	470—490	387—477
	880—900	Масло	430—450	46—50
50ХФ	860—880		350—400	387—418
50ХФА *	840—860		430—450	40—47 H_{RC}
50ХГФА	850—880		550	363—415
50ХГ	840—860		450—480	387—418
55	780—820	Вода	430—450	320—400
55С2	840—860	Масло	480—500	364—418
	840—860		500—560	331—388
	900—920		550—600	353—415
55С *	780—820	Вода	400—510	320—400
	830—850	Масло или вода	420—450	364—450
У7А *	810—830	Масло	380—420	40—46 H_{RC}

* Относится к пружинам.

Типовые режимы термической обработки автомобильных деталей

(см. также [8])

Деталь	Марка стали	Предварительная термическая обработка		Окончательная термическая обработка	
		Режим	Твердость H_B	Режим (температура в °С, продолжительность, глубина слоя, охлаждающая среда)	Твердость H_{RC}
Втулка ушка рессоры (ГАЗ 51)	10	—	—	Цнр, 815, $\tau = 10$ мин., NaOH	По напильнику
Шайба диафрагмы	08кп	—	—	Цнр, 850, $\tau = 15$ мин., м	То же
Вилка подшипника выключенн сцепления	08кп	—	—	Цнр, 850, $\tau = 60$ мин., м; $\delta = 0,2$ мм	

Продолжение

Деталь	Марка стали	Предварительная термическая обработка		Окончательная термическая обработка	
		Режим $t^{\circ}\text{C}$	Твердость H_V	Режим (температура в $^{\circ}\text{C}$, продолжительность, глубина слоя, охлаждающая среда)	Твердость H_{RC}
Палец задней рессоры	20	—	—	Цнр, 850, $\tau = 25$ мин., м; $\delta = 0,1$ мм, м; O_N , 20'	≤ 35
Палец поршневой	20	—	—	Ц, 920, $\tau = 7$ час., $\delta = 0,8 \div 1,1$ мм Э, 860, в; O_B , 450–500; $Z_{пов}$, в; O_N , 20'	58–63
Собачка рычага ручного тормоза	25	—	—	Цнр, 800, $\tau = 45$ мин., $\delta = 0,15$ мм, NaOH	По напильнику; ≤ 45 (сердцевина)
Вилка переключения	35	H , 870	170–207	Цнр, 800, $\tau = 25$ мин., м; $\delta = 0,12$ мм	По напильнику
Фланец кожуха полуоси заднего моста каружный (ГАЗ ММ)	40	H , 840	156–207	$Z_{пов}$, $\tau = 12,5$ сек., $\delta = 3,0 \div 4,5$ мм (цилиндрической части, $l = 52$ мм)	53–60
Ось ленивца (ЗИС)	40	—	—	Э, 830–840, в; O_B , 530–680, в	207–265 H_V
Поршневой палец (ГАЗ)	45	—	—	$Z_{пов}$, в, $\delta = 1,0 \div 1,5$ мм; O_N , 180	58–65
Передняя ось	45	Э, 830–840, в; O_B , 600–630	217–263	—	—
Палец передней рессоры	45	—	—	$Z_{пов}$, в, $\delta = 1,8 \div 2,7$ мм	56–62
Палец задней рессоры	45	—	—	$Z_{пов}$, в, $\delta = 2,0 \div 3,5$ мм	56–62
То же	15X	—	—	Цнр, 840, $\tau = 25$ мин., O_N , 200	По напильнику
То же (ЗИС)	50Г	—	—	Э, 830, в; O_B , 380–400	42–47
Диск сцепления ведомый	50	—	—	Э, 810–830, м; O_B , 390–410	38–52
То же (МЗМА)	85	—	—	Э, 770–790, м (в штампе); O_B , 550–600	—

Продолжение

Деталь	Марка стали	Предварительная термическая обработка		Окончательная термическая обработка	
		Режим °С	Твердость H_B	Режим (температура в °С, продолжительность, глубина слоя, охлаждающая среда)	Твердость H_{RC}
Головка поршня уплотняющая амортизатора (ГАЗ)	15Г	—	—	$Ц, 900, \delta = 0,9 \div 1,2 \text{ мм};$ $З, 830, \text{ м}; O_H, 200$	58—65
Сухарь клапана (МЗМА)	20Г	—	—	$Ц, 900-920, \delta = 0,5 \div$ $\div 0,8 \text{ мм}; З, 780-800;$ $NaOH; O_H, 190-210$	< 40 сердцевины По напильнику
Зубчатый обод маховика (ГАЗ)	50Г	—	—	$З, 840, \text{ м}; O_{\delta}, 550$	241—286 H_B
Лонжерон (ЗИС)	30Г2	—	—	$З, 900-920, \text{ м};$ $O_{\delta}, 650-680$	269 H_B
Сухарь тяги рулевого управления (ГАЗ)	A12	—	—	$Ц_{\text{нр}}, 815; \tau = 40 \text{ мин.};$ $NaOH; \delta = 0,15 \text{ мм}$	< 45
Шестерня привода масляного насоса	A12	—	—	$Ц_{\text{нр}}, 815; \tau = 40 \text{ мин.};$ $\text{ м}; O_H, 200$	По напильнику < 35, сердцевины
Палец шаровой вилки выключателя сцепления (ЗМА)	A2L	H	—	$Ц_{\text{нр}}, 850; \tau = 25 \text{ мин.};$ $NaOH; \delta = 0,15-0,25 \text{ мм},$ $O_H; 200$	По напильнику
Фланец упорный распределительного вала (ГАЗ)	65Г	—	—	$З, 815, \text{ м}; O_{\delta}, 400$	40—50
Шайба ведущей шестерни (ГАЗ-51)	65Г	—	—	$З, 790, \text{ м}; O_{\delta}, 425$	40—45
Пружина клапана (ЗИС)	65Г	—	—	$O_{\delta}, 370-400$	42—48
Толкатель клапана (ГАЗ)	15X	H, 870	143—197	$Ц, 910; \tau = 8 \div 9,5 \text{ час.};$ $\delta = 0,9 \div 1,2 \text{ мм}; З, 850,$ $\text{ м}; O_H, 200$	40—55
Крестовина кардана (ГАЗ)	15X	H, 900	146—207	$Ц, 900; \tau = 12 \div 14 \text{ час.};$ $\delta = 1,3 \div 1,6 \text{ мм}; З, 830,$ $\text{ м}; O_H, 200$	57—65
То же (ЗМА)	15X	H, 850—870	156—197	$Ц, 905-915; \tau = 5 \text{ час.};$ $\delta = 0,9 \div 1,1 \text{ мм};$ $З, 790-810, \text{ м};$ $O_H, 190-210$	57—65
Каретка 1-й и 2-й скорости (ЗИС)	20ХЗ	H, 960—970; $O_{\delta}, 620-640$	149—207	$Ц, 890-910; \delta = 0,7 \div 1,1 \text{ мм},$ $З, 840-860, \text{ м}; O_H, 200$	56—62

Продолжение

Деталь	Марка стали	Предварительная термическая обработка		Окончательная термическая обработка	
		Режим (°С)	Твердость H_B	Режим (температура в °С, продолжительность, глубина слоя, охлаждающая среда)	Твердость H_{RC}
Стакан роликотподшипника	15ХФ	<i>H</i>	—	<i>Ц</i> , 900; $\tau = 6$ час.; $\delta = 0,6 \div 0,8$; <i>З</i> , 780, в; <i>О_н</i> , 200	56—62
Полуось заднего моста	40ХА	<i>H</i> , 850—870	187—241	<i>З</i> , 875; раств. КОН; <i>О_в</i> , 480	48—52 302—364 <i>H_B</i>
Ось шестерни заднего хода (ЗИС)	15ХФ	—	—	<i>Ц</i> , 920; $\tau = 10$ час.; $\delta = 0,7 \div 1,2$ мм; <i>З</i> , 910, м; <i>О_н</i> , 210	56—62
Палец шаровой реактивного рычага (ЗМА)	12ХНЗА	—	—	<i>Ц</i> , 900; $\tau = 5$ час. 20 мин.; $\delta = 0,95 \div 1,15$ мм; <i>З</i> , 800, м; <i>О_н</i> , 200	57—62; 33—40 (хвостовик)
Палец с шаровой головкой	20Х	—	—	<i>Ц</i> , 910—930; <i>З</i> , 850—870, м; <i>О_н</i> , 200	56—64
Переключение рулевой тяги (ЗИС)	12ХНЗА	—	—	<i>З</i> , 800—820 (шаровой головки) м; <i>О_н</i> , 200	56—62
Траки гусеницы	27СГ	<i>H</i> , 930—950; <i>З</i> , 920—940, в; <i>О_в</i> , 660—680	212—241	—	—
Вилка скользящая карданного вала (ГАЗ)	30Х	—	—	<i>З</i> , 830, в; <i>О_в</i> , 600	255—302 <i>H_B</i>
Червяк рулевого управления (ГАЗ)	35Х	—	—	<i>Ц_{нр}</i> , 805; $\tau = 50$ мин.; $\delta = 0,25$ мм; <i>О_н</i> , 200	По напильнику ≤ 35 (сердцевина)
Червяк руля	30ХНЗА	—	—	<i>Ц_{нр}</i> , 840—850; $\tau = 60$ мин.; $\delta = 0,23 \div 0,35$ мм; <i>З</i> , 800, м; <i>О_н</i> , 160	45—52
То же	15Х	—	—	<i>Ц</i> , 900; $\tau = 7$ час.; $\delta = 0,8 \div 1,0$ мм; <i>З_{нлс}</i> ; <i>О</i> , 350; $\tau = 30$ мин.	45—50
Валик водяного насоса (МЗМА)	35ХЮА	<i>З</i> 930—950, м; <i>О_в</i> , 650—680	—	<i>Аз</i> , 615—640—610; $\tau = 25$ —10 час.; $\delta = 0,4 \div 0,5$ мм	—

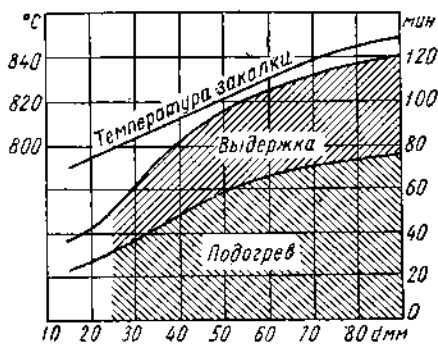
Режим закалки автомобильных деталей при электронагреве т. в. ч. с охлаждением в воде
(по данным московского ЗИС и [8])

Наименование детали	Марка стали	Режим обработки				Результат обработки		Поверхность, подвергаемая закалке
		Частота тока в пер/сек	Емкость в МФ	Продолжительность нагрева в сек.	Продолжительность охлаждения в сек.	Глубина закаленного слоя в мм	Твердость после закалки H_{RC}	
Коленчатый вал	45	3000	31,2	3,3—4,0	8,0—8,2	2,5—4,5	56—62	1-я — 6-я шатунные шейки 2, 3 и 6-я коренные шейки 7-я коренная шейка 4-я коренная шейка
		3000	31,2	4,1—4,3	8,0—8,2			
		3000	42,9	5,5—5,6	8,0—8,2			
		3000	39,0	5,7—5,8	8,0—8,2			
Распределительный вал	45	3000	44,1	3,1—5,5	5,5—8,5	2,5—8,0	56—62	Кулачок 1-я — 4-я шейки Эксцентрик Шестерня
		3000	44,1	4,3—4,5	5,0—5,4	2,5	56—62	
		3000	44,1	3,5—3,7	4,5—4,7	2,5	56—62	
		3000	44,1	4,1—4,3	1,8—2,0	—	40—56	
Коленчатый вал компрессора	45	3000	35,1	2,5—2,9	3,8—4,4	1,5—3,0	56—62	—
Ось шестерни заднего хода	45	8000	31,2	8,0—8,2	8,0—8,5	1,0—3,0	56—62	—
Стержень переключения 2-й и 3-й передач	45	8000	26,8	2,5—2,7	2,0—3,0	1,0—2,5	56—62	Зона отверстий
Вилка выключения сцепления	45	8000	18,6	1,8—2,3	2,0—2,5	1,0—4,0	56—62	Рожки
		8000	27,9	3,1—3,5	4,0—4,5			
Ось ведомой шестерни масляного насоса	45	8000	39,0	2,0—2,2	3,0—3,5	1,0—2,5	56—62	—
Вал масляного насоса	45	8000	40,5	3,2—3,4	3,0—3,5	1,0—2,5	56—62	—
Валик привода распределителя	45	8000	22,4	3,2—3,4	2,5—3,5	1,0—2,5	56—62	—
Ось педалей сцепления и тормоза	45	8000	29,3	4,0—4,2	5,0—5,5	1,0—3,0	56—62	—

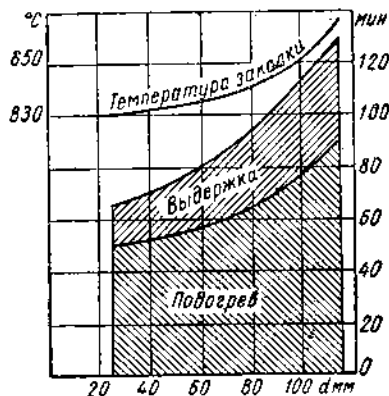
Вторичный вал коробки передач	40X (улучшенная)	8000	41,2 35,1 35,1 35,1	3,1—3,5 Скорость перемещения индуктора 6,2 мм/сек (закалка последовательная)	6,8—7,2	1,5—4,0	56—62 50—62 56—62 50—62 45—62	Хвостовик Шейка \varnothing 45 мм " \varnothing 51 " Шлицевая часть Шейка \varnothing 45 мм
Ось колодок тормоза переднего колеса	45	8000 8000	18,6 28,6	1,3—1,7 2,1—2,5	1,6—1,8 2,0—3,0	1,0—2,5 1,0—2,5	56—62 56—62	Хвостовик Цилиндрическая часть
Ось колодок тормоза заднего колеса	45	8000 8000	51,9 18,6	2,6—3,0 1,3—1,7	4,0—5,0 1,6—1,8	1,0—2,5	56—62	Цилиндрическая часть Хвостовик
Палец передней рессоры	45	8000	38,2	3,0—3,2	4,0—4,5	1,0—2,5	56—62	—
Палец задней рессоры задний	45	8000	31,0	5,0—5,2	6,0—7,0	1,0—2,5	56—62	—
Палец кронштейна задней рессоры	45	8000	31,2	7,4—7,6	7,0—8,0	1,0—3,0	56—62	—
Ось педали сцепления	45	8000	32,8	5,5—5,9	6,8—7,8	1,0—2,5	56—62	—
Колодка переднего и заднего тормоза	Ковкий ферритный чугун	8000	28,6	120—125	25—30	\geq 2,0	\geq 45	—
Кулак разжимной переднего тормоза правый и левый	45	3000 8000	42,1 30,6	7,6—7,8 7,6—7,8	7,8—9,0 7,0—8,5	До 5 1,5—3,5	56—62 56—62	Кулак Шейка
Кулак разжимной заднего тормоза правый и левый	45	8000 8000 8000	42,1 30,6 30,6	7,6—7,8 7,6—7,8 7,6—7,8	7,8—9,0 7,8—9,0 7,8—9,0	До 5 1,5—3,5 1,5—3,5	56—62 56—62 56—62	Кулак Шейка у кулака Шейка у шлицев
Втулка распорного подшипника ведомой шестерни	Ковкий ферритный чугун	8000	47,0	75,0	10,0—15,0	3,0—10,0	45—62	—
Ось колодки ручного тормоза	45	8000	—	2,5	6,0	1,0—3,5	56—62	—
Зубчатый венец маховика	45	250×16^a	14000	19,0—26,0	5,0—7,5	1,0—3,5	48—60	—
Крюк буксирный	45	8000	37,1	39,0—40,0	17,0—18,0	\geq 6,0	\geq 45	—

Режим термической обработки деталей шарико- и роликоподшипников (по данным 1-го ГПЗ [119])

Диаметр в мм	Оборудование и условия загрузки деталей	Режим термической обработки				
Кольца						
До 20—25	Нагрев в цианистой ванне состава 7—12% KCN (NaCN), 88—92% (Na ₂ CO ₃ + NaCl); 1:1, загрузка связками $p = 10-12$ кг (при обязательном требовании чистоты поверхности кольца нагреваются в ретортной печи)	Э, 820—835°; $\tau = 15-30$ мин.; м. 40—60°; промывка в 5—8%ном растворе Na ₂ CO ₃ ; нейтрализация: $O_N 150-160^\circ$; $\tau = 1,5-2,0$ часа; 62—65 HRC				
> 25 до 200	Нагрев в печи непрерывного действия конвейерной $F = 420 \times 3500$ мм, трехзонной $W_I = 60$ квт, $W_{II} = 35$ квт, $W_{III} = 25 + 30$ квт, $v = 120$ в; выдержка при нагреве может меняться от 20 до 100 мин.; $P = 150-280$ кг/час Загрузка колец в 2—3 ряда, при высоте 70—75 мм (для ответственных колец 55—60 мм). При увеличении загрузки τ_H увеличивается на 15—20%; охлаждающая среда — масло, 25—40° С (Крупные кольца $\varnothing 180-200$ мм снимаются с конвейера печи вручную)	Размер колец в мм		t_H в °С		
		Толщина стенки	Наружный диаметр			
		2,0—3,0 3—9 9—15 15—25 20—27	30—60 30—80 80—120 100—240 200—240	815—825 830—840 835—845 840—850 845—855	15—30 20—40 30—50 40—60 50—75	
Твердость 62—66 HRC Отпуск. Кольца подшипников массовых серий 160°, $\tau = 2$ часа Крупные кольца из стали марки ШХ15-160°, $\tau_I = 3$ часа, $\tau_{II} = 2$ часа Крупногабаритные кольца из стали марки ШХ15СГ—170—180°, $\tau_I = 5$ час., $\tau_{II} = 5$ час., после шлифовки 150—160°, $\tau = 3$ часа Кольца прецизионных подшипников 160°, $\tau = 3$ часа, после шлифовки 150°, $\tau = 1,5-2$ часа + старение Отпуск в печах-ваннах седитровых или масляных, а также в печах с циркуляцией атмосферы						
Ролики						
15—30 Сталь марки ШХ15	I. Та же печь, охлаждающая среда — масло, 25—40° II. Печь с пульсирующим подом $W = 80$ квт; $P = 40-100$ кг/час	\varnothing в мм	t в °С	τ_H в мин. (фиг. 37)		
		15—20 20—25 25—30	835—845 840—850 845—855	30—40 35—45 45—60		
4—28	Ретортная печь с диаметром реторты 280 мм $W_I = 29$ квт, $W_{II} = 13$ квт, $v = 220$ в; охлаждающая среда — масло, 25—45°	Марка стали	\varnothing в мм	t в °С	τ_H в мин.	P в кг/час
		ШХ6 ШХ9 ШХ15	4—10 10—15 15—22 22—28	825—835 835—845 840—850 845—855	20—25 25—35 30—45 35—50	45—50 50—55 50—55 50—60



Фиг. 37. Температура нагрева и продолжительность нагрева и выдержки для закалки роликов в зависимости от их наибольшего диаметра d .



Фиг. 38. Температура нагрева и продолжительность нагрева и выдержки для закалки шариков в зависимости от их диаметра d .

Продолжение

Диаметр в мм	Оборудование и условия загрузки деталей	Режим термической обработки				
		Марка стали	\varnothing в мм	t в $^{\circ}\text{C}$ $\pm 10^{\circ}$	τ_H в мин.	Охлаждающая среда
28—80	Конвейерная, карусельная или с пульсирующим полом при индивидуальной закалке	ШХ15	28—33	830	50—55	3—5%-ный водный раствор Na_2CO_3
			34—38	835	50—60	
39—45	840		55—65	Масло		
46—55	845		55—65			
	Печь-ванна соляная	ШХ15СГ	45—50	810	45—55	Масло
			51—55	815	50—55	
			56—65	820	60—75	
			66—80	825	65—75	
$\geq 55-60$	Печь-ванна соляная	$t_I = 730 \div 750^{\circ}$, $\tau_H = 12 \div 14$ мин., $t_{II} = 850 \div 865^{\circ}$, $\tau_H = 7 \div 10$ мин., вода или керосин (для конических роликов) Отпуск для всех роликов $150-160^{\circ}$, $\tau = 2 \div 4$ часа; после шлифовки для особо точных роликов 150° , $\tau = 1,5-2$ часа				
Шары						
До $17/32''$ (13 мм)	Ретортная печь	\varnothing в дюйм-мах	t в $^{\circ}\text{C}$	τ_H в мин.	Охлаждающая среда	
						До $1/8$
$1/8-3/16$	815—820	20—22	масло, $25-45^{\circ}$			
$3/16-1/2$	820—830	22—25				
$1/2-3/4$	825—835	25—30				

Продолжение

Диаметр в мм	Оборудование и условия загрузки деталей	Режим термической обработки			
		Ø в дюймах	t в °C ± 10	τ _н в мин. (см. фиг. 39)	P в кг/час
7/16—1 1/2"	То же. закалка в 3,5—5%ном водном растворе Na ₂ CO ₃ , ≤ 40—45°	9/16—2 1/32	820	25	60—65
		1 1/16—2 1/32	825	25	65—70
		1 1/8—1 1/16	830	30	70—75
		1 1/4—1 1/8	835	30—35	75—80
		1 1/2—1 1/4	840	35—40	75—80
1 1/2—2"	Ретортная или карусельная печь, закалка в 3,5—5%ном водном растворе Na ₂ CO ₃	1 1/2—2"	840—855	40	—
Отпуск: шары до 1 1/2" 150—160°, τ _н = 1,5 ± 2 часа 1 1/2—1 1/2" 150—160°, τ _н = 2,5 ± 3 часа 1 1/2—3" 150—160°, τ _н = 3,5 ± 4 часа 3—3" 150—160°, τ _н = 4 часа					

Массивные кольца

Нагрев под закалку (охлаждающая среда — керосин) в соляных печах-ваннах (25% BaCl₂ + 75% NaCl) с тиглем Ø 630—500 мм, h = 700—600 мм или электродных соляных печах-ваннах с рабочим объемом 500×500×700 мм, расстояние между электродами 225 мм по треугольнику, u = 6 ÷ 12 в, W = 80 квт

Тип подшипника	Размеры в мм			Количество загружаемых изделий	t _I в °C	τ _I в мин.	t _{II} в °C	τ _{II} в мин.
	D _{нар}	d _{вн}	h					
Упорные	460	50	—	—	760—780	25	865—870	15—18
	580	64	—	—	760—780	30	865—870	18—20
Радиальные цилиндрические роликовые	260	225	85	3	790—800	30	860—870	12—13
	320	275	100	2		30		13—14
	440	395	135	2		30		13—14
	530	470	135	1		25		12—13
Роликовые бочкообразные	225	170	120	3	790—800	30	860—870	14—15
	260	190	135	3		30		11—15
	285	220	120	3		30		15—16
	360	325	120	3		30		13—14
	440	390	145	2		25		12—13
Цилиндрические с витыми роликами	320	280	150	3		20		8—10

Продолжение

Детали подшипников из цементуемой стали

Цементации подвергаются детали подшипников, испытывающие при эксплуатации высокие динамические нагрузки

Применяемые марки стали: 12ХН3, 12ХН4, 18ХГТ

Жидкостная цементация

Состав солей: 6—10% NaCN, 55—60% BaCl₂,
15—20% KCl, 10—15% NaCl

Цементация: $t_I = 250-400^\circ$; $t_{II} = 900-930^\circ$; $\tau = 4-6$ час.

Отжиг по одному из двух вариантов:

1. $t = 900-930^\circ$, $\tau = 5$ час. } Охлаждение в соляной ванне
2. $t = 970-1000^\circ$, $\tau = 20$ мин. } при $220-230^\circ$

Цементация твердым карбюризатором

Кольца

Цементация

Нагрев		Выдержка		Глубина слоя	
t в $^\circ\text{C}$		\varnothing в мм		Диаметр колец в мм	δ в мм \geq
700	6	} 500 800 1100	5	} 500 500—700 700—900 ≥ 900	4
700—800	3		8		5
800	6		8		6
800—940	5		11		7

Закалка

Нагрев		Выдержка		Охлаждающая среда
t в $^\circ\text{C}$		t в $^\circ\text{C}$		
До 670—700	60	780 для колец тонкого сечения	40	масло, $\leq 60^\circ$, кольца вынимают из масла при 100° , при охлаждении кольца вращают
, 780—800	40	800 для колец толстого сечения		

Отпуск

$t = 160 + 170^\circ$, $\tau = 4-6$ час. для тонких сечений; $\tau = 6-8$ час. для толстых сечений

Через 16—24 час. кольца вновь подвергаются отпуску по вышеуказанному режиму

После шлифовки кольца для снятия напряжений вновь подвергаются отпуску $t = 150 + 160^\circ$, $\tau = 3$ часа

Газовая цементация

Цементация колец производится в ретортных и шахтных печах

Карбюризатор: в шахтных печах — пиробензол;

в ретортных — смесь состава 65% керосина, 35% вазелина

Цементация: $t = 940^\circ$

Закалка: $t = 820 + 830^\circ$, $m, 50^\circ$

Отпуск: $t = 160 + 170^\circ$, $\tau = 2,5 + 3,0$ часа

Твердость на поверхности 61—65 H_{RC} , в сердцевине 35—45 H_{RC}

Типовые режимы термической обработки деталей станков [91]

Детали и условия их работы	Марка стали		Режим термической обработки				Твердость	
	основная	заменяющая	Нормализация в °С	Закалка		Отпуск в °С	H _B	H _{RC}
				в °С	охлаждающая среда			
I. Шестерни, работающие при низких скоростях и малых удельных давлениях (сменные шестерни)	45	Ст.650	850—870 —	— 820—840	— в	— 520—550	170—217 220—250	— —
Шестерни, работающие при повышенных изгибающих усилиях и небольших скоростях	40X	—	—	830—850	—	600—650	230—260	—
Шестерни, работающие при больших окружных скоростях и больших усилиях при отсутствии ударных нагрузок	40X	35XМ	—	820—840	м	180—200	—	45—50
Шестерни коробок скоростей, работающие при больших окружных скоростях и средних удельных давлениях с ударными нагрузками, а также шестерни и шпиндели прецизионных станков	12ХНЗ	—	Ц, 880—920	780—800	—	H=180—200 τ = 1 час, 180—200	—	60—63
Шестерни повышенной точности, работающие при небольших скоростях и средних давлениях	35XМ	—	—	850—870	м	500—550	241—280	—
Шестерни, работающие при высоких давлениях и средних окружных скоростях	35XМ	—	—	850—870	—	200—220	—	45—53
Шестерни крупные малонагруженных тяжелых станков	50Г2	45Г2	810—840	—	—	—	217—241	—
То же при средних давлениях и средних окружных скоростях	50Г2	45Г2	—	810—830	—	500—600	269—321	28—35
II. Шпиндели малонагруженные небольшого сечения, работающие в подшипниках качения	45	Ст. 6, 50	—	820—840	—	520—550	220—250	—
То же сложной конфигурации	40X	45X	—	830—850	м	600—650	230—260	—
То же, работающие в условиях больших нагрузок	40X	—	—	820—840	—	450—500	—	35—42
Шпиндели, работающие в подшипниках качения при средних нагрузках и средних окружных скоростях	40X	35XМ	—	820—840	—	180—200	—	40—50
Шпиндели и валы тяжелых станков, работающих в подшипниках качения	50Г2	45Г2	810—840 830—850	— —	— —	— —	217—241 217—241	— —

Продолжение

Детали и условия их работы	Марка стали		Режим термической обработки				Твердость	
	основная	заменяющая	Нормализация в °С	Закалка		Отпуск в °С	H_B	H_{RC}
				в °С	охлаждающая среда			
III. Валики валиков простой конфигурации, работающие при небольших окружных скоростях и нагрузках	45	Ст. 6, 50	—	820—840		500—550	220—250	—
То же повышенной прочности	40X	45X (при $d > 100$ мм)	—	830—850		600—650	230—260	—
IV. Червяки, работающие при средних нагрузках	40X	—	—	820—840		600—650	230—260	—
V. Цанги	У8	—	—	780—800	в или в→м	180—200	—	57—60
	9XC	—	—	840—870		350—400	—	~40
						(Хвостовая часть) 230—260	—	58—62
						400—450	—	40—45
						(Хвостовая часть)		
VI. Ролики, копиры	ШХ15	—	—	835—850	м	200—220	—	59—63
VII. Ходовые винты	ХГ	—	—	830—840	м 140°	200—210 $\tau=3+5$ час., Ст. 150°, $\tau=48$ час.	—	56—60
	ХГ	—	—	840—850	м 140°	$H_{-то} - 160°$ $\tau=1$ час., 180—200; Ст. 150°, $\tau=24$ часа	—	58—62
VIII. Роторы гидронасоса, установочные кольца, втулки, муфты, оправки и др.	40X	—	—	820—840		180—200	—	45—50
XI. Винты, болты, гайки, шайбы, проставочные кольца и др.	35	40	—	850—860	в	200—300	—	30—40

Условия поверхностной закалки с электронагревом т. в. ч. шестерен станков с модулем 3,25—4,5, изготавливаемых из стали марки 45 [91]

Характеристика шестерен			Условия индукционного нагрева			
Наружный диаметр в мм	Ширина зуба в мм	Модуль в мм	Мощность в квт	Удельная мощность в квт/см ²		Удельный расход электроэнергии в квт·сек/см ²
99	36	3,25	71,4	0,7	18	12,0
152	15	3,25	63,0	0,9	15	14,0
93,5	22	4,25	61,2	1,0	15	33,4
153,0	26	4,25	80,0	0,66	45	29,0
42*	30	3,5	46,2	1,2	6	7,3

Отпуск при 200° (*320°); твердость 53—55 H_{RC} (* 45 H_{RC}).

Рекомендуемые марки стали, технические условия и схемы термической обработки деталей сельскохозяйственных машин [98]

Типовые детали	Марка стали или чугуна	Технические условия и схемы термической обработки	Твердость	
			закаленной зоны	незакаленной зоны
Лемехи плугов тракторных	Л65 (ГОСТ 5687-51)	O $З_M (20-45 \text{ мм})$	450-650 H_B	$\leq 255 H_B$
Лемехи плугов конных	Л53 (ГОСТ 5687-51)	$З_M (20-35 \text{ мм})$ То же		
Лемехи лущильников и предплужников	50	350-450 H_B	250-350 H_B	
Лемехи копача	50	350-450 H_B	$\leq 300 H_B$	
Лемехи картофелеуборочных машин	Л65	350-550 H_B	$\leq 250 H_B$	
Отвалы плугов	МСт. 2 или 15	$Ц; З \delta = 1,2 \pm 1,8 \text{ мм}$ (для конных плугов) $\delta = 1,5 \pm 2,2 \text{ мм}$ для тракторных, $\delta = 1,0 \pm 1,5 \text{ мм}$ для предплужников	$\geq 450 H_B$ $\geq 50 H_{RC}$	-
Отвалы окучника	Ст. 6	$З$ $\delta_1 = 2,4 \pm 0,3 \text{ мм}$ $\delta_2 = 2,2 \pm 0,3 \text{ мм}$ $\delta_3 = 7,0 \pm 0,3 \text{ мм}$ $З_M (\geq 20 \text{ мм})$	450 H_B $\geq 60 H_{RC}$	-
Отвалы копача	50	$З, O$	$\geq 300 H_B$ 250-350 H_B	-
Лапы культиваторов	65Г-70Г для лап, подрезающих растения; МСт. 3, МСт. 6 для рыхлительных лап	$З_M, O$ (зоны, прилегающей к левую)	$\leq 350-500 H_B$	$\leq 350 H_B$
Лалы свеклоуборочных машин	Л53	$З_M, O$	То же	То же
Диски плугов, лущильников, борон и сеялок	65Г-70Г	$З$ или $З_M$	321-415 H_B	-
Диски полевые (тракторных и конных плугов и лущильников)	МСт. 6 или Л53	$З_M, O$ (100-200 мм)	404-555 H_B	$\leq 280 H_B$
Сегменты и вкладыши (режущих аппаратов уборочных машин)	У9	$З_M, O$	50-60 H_{RC}	$\leq 35 H_B$
Вкладыши самоходного комбайна (дет. 6111)	35	$Ц (20 \text{ мм})$ $\delta = 0,6 \pm 1,0 \text{ мм}$	45-50 H_{RC}	-
Ножи кормообработывающих машин (силосорезок, соломорезок и корнерезок)	У9 или 65Г-70Г	$З_M, O$	450-550 H_B 47-56 H_{RC}	$\leq 38 H_{RC}$
Ножи свеклоуборочных машин	У9	$З, O$	45-65 H_{RC}	-
Ножи жмыходробилки	15	$Ц, З$	90-96 H_{Sh}	-
Ножи узловязателя сноповязалок	У9	$З_M, O$	50-58 H_{RC}	15-35 H_{RC}
Ножи и гребени аппарата для стрижки овец	У12А или У13	$З, O$	60-65 H_{RC}	-

Продолжение

Типовые детали	Марка стали или чугуна	Технические условия и схемы термической обработки	Твердость	
			закаленной зоны	незакаленной зоны
Зубья барабанов молотилок саблевидные	МСт. 6 или 45	$3_M, O$	400–510 H_B	$\leq 300 H_B$
Косы сельскохозяйственные	У7А или У8А	$3, O$	40–50 H_{RC}	—
Зубья поперечных граблей	65Г или 70Г	$3, O^*$	341–444 H_B в верхней части и середине	$> 269 H_B$ на пальце
Наральники пружинных борон Наральники сошников сеялок	Л53 Ст. 5	$3_M, O^{**}$ $3_M, O$	350–500 H_B $> 350 H_B$	$\leq 300 H_B$ —
Крылья отвала окучника	Ст. 6	$3, O$	$> 300 H_B$	—
Боковина сошника и загор- тачи картофелесажалки	65Г	$3_M, O$	350–500 H_B	$\leq 350 H_B$
Молотки дробилки	МСт. 2	$Ц, 3_M (50 \text{ мм})$	56–62 H_{RC}	—
Пилы хлопкоочистительных машин	85	$3, O$	30–35 H_{RC}	—
Оси тракторных плугов и лушнъянков	Л53	$3_M, O$	300–450 H_B	—
Звенья цепи элеватора кар- тофелеуборочных машин Цепи приводные втулочно- роликковые: пластинки	65Г 40, 45, 50	То же $3, O$	38–45 H_{RC} 40 H_{RC}	$\leq 30 H_{RC}$ —
валики	10, 15, 20 40, 45, 50	$Ц, 3$ $3, O$	40–50 H_{RC}	—
втулки и ролики	10, 15, 20	$Ц, 3^{***}$	35–45 H_{RC}	—

* При нагрузке 15 кг деформация 500–600 м.м; остаточная деформация ≤ 30 м.м.** При нагрузке 128 кг деформация > 200 м.м; остаточная деформация < 4 м.м.

*** Предельная нагрузка на цепи при шаге 38 м.м—3000 кг; при шаге 41,3 м.м—3500 кг.

Продолжение

Типовые детали	Марка стали или чугуна	Технические условия и схемы термической обработки	Твердость	
			закаленной зоны H_{RC}	незакаленной зоны
Пластика и собачки автомата плуга	МСт. 2	Ц, З	45—50	—
Пластины трения режущих аппаратов уборочных машин	У9	З, М, О	48—58	$\leq 35 H_{RC}$
Палец бруса косилок	МСт. 6 или 45	З, О	230—320 H_B	—
Палец гололки шатуна ветродвигателя	МСт. 2	Ц, З	45—50	—
Рессоры сидений	65Г или 70Г	З, О	280—370 H_B	—
Детали самоходного комбайна: гистерни (6116)	40	З, О	45—50	—
(6244)	40Х	То же	48—53	—
(6164, 6165, 6245)	40Х	Ц, М, $\delta = 0,15 \text{ мм}$, З, О	48—53	20—40 H_{RC} (на шлицах)
Вал ведущий (6119—6120)	40	З, О	35—40	—
Вал приемочный (6159)	40Х	То же	255—285 H_B	—
Вал сцепления (6163)	40Х	То же	18—22	—
Полуоси (6242 и 6243)	40Х	З, О	369—415 H_B	—
Палец (6185)	40	З, О	35—40	—
Втулка и ролик цепи (6240 и 6256)	35	Ц, М, $\delta = 0,2 \div 0,3 \text{ мм}$, З, О	35—40	—
Золотник (6124)	35	З, О	35—40	—
Валик цепи (6316, 6317)	45	З, О	40—45	—
Эксцентрик тормоза (6337)	40	З, О	25—35	—
Звездочки двухрядные (6364, 6359, 4679)	40	З, О	45—50	—
Вал трехзвездочный и сухарь (6157)	40	З, О	45—50	—
Сухарь и пробка (6335 и 6336)	Ст. 3	Ц, М, $\delta = 0,1 \div 0,2 \text{ мм}$, З, О	30—35	—
Детали комбайна „Сталинец-6“:				
Ось полевого колеса хедера	Ст. 6	З, О	280—350 H_B	—
Звездочка вала барабана	15	Ц, $\delta = 1,0 \div 1,5 \text{ мм}$; З	54—62	—
Крестовина кардана	МСт. 2	Ц, З	45—55	—
Звездочки всех типов, кулачковая муфта, муфта сцепления и направляющая пятка ножа	Сч. 15—32 (МСч, 28—48 Сч. 21—40)	З, О или З, М, О	321—415 H_B	—
Детали сплотовязалки:				
Червяк и зубчатка дисков пальца	МСт. 2	Ц, З	40—50	—
Челюсть крючка вязателя	65Г	З, М, О	30—40	—
Чистка диска вязателя и держатель шпигата	У9	З, М, О	40—50	—
Зубчатка для цепных передач вала барабана комбайна	10 или 25	Ц, З	54—62	—
Цепи приводные крючковые из штампованных звеньев (с шагом 38 мм)	30Г	З, О	38—45	—
Звенья цепей *	КЧ 33—8, КЧ 35—10	{ Н З, О	145—204 или 187—255 285—350 H_B	—

* Предельная нагрузка на цепи при шаге 30 мм—600 кг; при шаге 38 мм ≥ 900 кг.

Типовые режимы термической обработки инструментов из быстрорежущей стали

[177, т. 7]

Марка стали	Отжиг*		Закалка			Отпуск			Диаметр обозначение
	Температура в °С	Температура в °С		Охлаждающая среда	Твердость H_{RC}	Температура в °С	Кратность	Твердость H_{RC}	
		резцов	фасонного инструмента						
P9	870—890	1240—1260	1210—1240	Масло при 200—250°, далее на воздухе; селитра при 450—550°, далее на воздухе	62—63	550—570	2—3	62—64	535—545
P18	870—890	1280—1310	1260—1290		62—63	540—550	2—3	63—65	550—560

* Отжиг: нагрев до указанной в таблице температуры, выдержка при ней 3—4 часа, охлаждение до 750—760° со скоростью 20—40° в час, охлаждение с 750—760° до 600 со скоростью 6—10° в час и далее на воздухе. Твердость 207—255 H_B . Отжиг изотермический: нагрев до указанной в таблице температуры, выдержка при ней 3—4 часа, охлаждение до 720—700° со скоростью 40—50° С в час, выдержка при этой температуре 2—4 часа и далее охлаждение на воздухе. Твердость до 260 H_B .

Нагрев под закалку производится с подогревом в двух интервалах температур: первый 600—650°, второй 850—900°. Продолжительность нагрева зависит от размеров инструмента. Выдержка при многократном отпуске равна 1 час, а при однократном—3—6 час.

Типовые режимы термической обработки режущего и измерительного инструмента из легированной стали

[177, т. 7]

Марка стали	Критическая точка A_c в °С	Отжиг			Закалка			Отпуск в °С
		Температура в °С	Твердость H_B		Температура в °С	Охлаждающая среда	Твердость H_{RC}	
			Диаметр отпечатка в мм	Число твердости				
X12	800	850—870 или	3,7—4,1	269—217	900—950	Масло или струя воздуха	—	220—260
X12M		780—800	3,8—4,2	255—207	1000—1030		Спокойный воздух или масло	—
XГ	740	780—800 или 710—730	3,9—4,3	241—197	800—820 820—840	Масло	62—64 62—64	525, двукратный 170—200 170—200
X	750	780—800 или 710—730	4,0—4,4	299—187	820—840		62—64	170—200
9X	740	780—800 или 710—730	4,1—4,5	217—179	820—840	Масло или вода	64—66	—
X05	730	730—800	3,9—4,3	241—197	760—780	Вода	63—65	Кипячение в воде
9XC	770	820—840	4,0—4,4	229—187	840—860	Масло	62—64	150—200
4XC	765	840—860	4,2—4,6	207—170	850—870 890—920	Вода Масло	— 62—64	—
Ф	730	760—780 или 680—720	4,1—4,5	217—179	790—810	Вода	63—65	150—200
B1	740	780—800 или 680—720	4,0—4,4	229—187	780—820 820—860	Масло	65—67 63—65	150—180**
XB5	760	780—800 или 730—750	3,6—4,0	285—229	800—820 850—860	Вода Масло	65—67 62—65	150—170
XBГ	750	780—800 или 700—720	3,8—4,2	255—207	790—820	"	63—65	190—210

* Для получения вторичной твердости и увеличения красностойкости (режущий инструмент).
** Для плашек температура отпуска 220—240°.

Формулы (практические) для определения продолжительности подогрева и окончательного нагрева под закалку различных инструментов

[177, т. 7, гл. XI]

Вид инструмента	Подогрев τ в мин. до температуры в $^{\circ}\text{C}$		Окончательный нагрев под закалку τ в мин.
	550—600	800—850	
Метчики, развертки, сверла, круглые протяжки и прочий стержневой инструмент	$\tau = bD$	$\tau = cD$	$\tau = aD$
Фрезы, насадные развертки, насадные зенкеры, у которых $\frac{D-d}{2} < h$.	$\tau = b \frac{D-d}{2}$	$\tau = c \frac{D-d}{2}$	$\tau = a \frac{D-d}{2}$
Круглые и накатные плашки, фрезы при $\frac{D-d}{2} > h$, молотовые штампы и штампы для холодного деформирования стали	$\tau = bh$	$\tau = ch$	$\tau = ah$
Круглые протяжки из легированной стали при нагреве в электропечи	$\tau = (d+4) b$	—	$\tau = d+4$
То же шпоночные протяжки	$\tau = (h+4) b$	—	$\tau = h+4$

D — диаметр режущей части инструмента в мм; d — диаметр отверстия инструмента в мм
 h — высота и толщина в мм; b, c, a — коэффициенты (см. табл. ниже).

Значение коэффициентов a, b и c (в мм/мин) для расчета продолжительности нагрева по формулам вышеприведенной таблицы

Материал инструмента	Коэффициенты	Тип печи	
		Соляная ванна	Периодического действия
Углеродистая сталь	a	0,10—0,17	0,7—0,8
	b	0,30—0,35 (без подогрева) 0,30—0,40	1,2—1,5 (без подогрева) 1,4—2,5
Легированная сталь	a	0,15—0,20	1,0—1,2
	b	0,30—0,40	1,4—2,5
Высоколегированная сталь X12 и X12M	a	0,17—0,18	0,4—0,5
	b	0,30—0,40	1,4—2,5
	c	0,30—0,35	0,8—1,1
Быстрорежущая сталь P18 и P9	a	0,09—0,12	0,25
	b	0,35—0,50	2,0—2,5
	c	0,30—0,35	0,8—1,1

Для свинцовой ванны — коэффициент a , для углеродистой стали — 0,1 (без подогрева).

Типовые режимы термической обработки инструментов, деформирующих металл давлением [177, т. 3 и 7]

Марка стали	Режим термической обработки				Отпуск t , °C	Твердость
	Отжиг		Закалка			
	Температура в °C	Твердость (σ), H_B	Температура в °C	Охлаждающая среда		
в холодном состоянии						
У10А	680—720	(4,7—4,3) 163—217	770—800	Вода	200—360	H_{RC} 60—44
Х	780—800	(4,4—4,0) 187—229	820—840	Масло	200—260	59—53
9ХС	820—840	(4,3—3,9) 197—241	820—850		275—320	65—60
6ХС	760—780	($\geq 3,9$) < 241	840—860		180—200	56—54
ХГ	790—810	(4,3—3,9) 197—241	820—840		200—260	58—55
4ХВ2С	760—780	(4,2—3,6) 207—285	860—900		240—270	58—54
5ХВ2С		(4,5—4,1) 179—217			220—260	48—41
Ф	760—780	(4,5—4,1) 179—217	790—810	Вода	240—260	55—52
5ХВГ	~790	(4,1—3,7) 217—269	850—900	Масло	400—350	50—47
X12	850—870	(4,2—3,8) 207—255	950—1000		400—525	60—57
X12М	780—800		1025—1050		400—525	60—57
в горячем состоянии *						
У7А	680—720	≥ 207	800—830	Вода	200—420	H_B 600—321
5ХНМ	700	197—241	820—860	Масло	500	364—418
6ХНМ	700	207—255	820—860		525	340—387
5ХГМ	700	197—241	820—850		540	364—418
6ХВ2С	760	229—285	880—900		550—600	375—321
5ХВ2С	760	207—255	860—880		550—600	364—311
4ХВ2С	760	179—217	850—900		550—600	351—302
4ХС	800	174—207	890—900		600—660	311—277
35ХГСА	820	187—255	900—940		650—670	311—277
7ХЗ	760	187—229	860—880		480—550	418—364
8ХЗ	760	207—255	820—860		480—550	444—337
5ХВГ	790	197—241	810—830		540—600	418—321
3Х2В8	820	187—229	1050—1100		600—620	477—364

* Охлаждение при отжиге со скоростью 50° в час. до 350—400°, далее — на воздухе.

Типовые режимы термической обработки стали, применяемой для прессформ литья под давлением [177, т. 3 и 7]

Марка стали	Режим термической обработки					Твердость H_{RC}
	Отжиг		Закалка		Отпуск в °С	
	Температура в °С	Твердость (ρ), H_B	Температура в °С	Охлаждающая среда		
3X2B8 .	850—860	(4,2—3,8) 207—255	1050—1100	Масло	575—600	44—40
4XB2C	800—820	(4,5—4,1) 179—217	860—900		190—210	—
5XB2C	800—820	(4,2—3,8) 207—255	860—900		240—270	—
3X13	860	($\geq 4,2$) ≤ 207	1050	Масло или воздух	600	40—43
5XHM	830—860	(4,3—3,9) 197—241	820—850	Масло	520—650	39—35
У8А .	750—760	(4,9—4,4) 156—187	800—820	Вода	На требуемую твердость	
У10А .	760—780	(4,7—4,3) 163—197	780—800		То же	

Технологический процесс катодного травления стальных деталей (Автозавод имени Сталина)

Операция	Состав электролита в г/л	Режим
Обезжиривание анодное	NaOH—85 Na ₃ PO ₄ —30	$t=80^\circ$; $D=7$ а/дм ² ; $\tau=10-15$ мин.; катоды железные
Промывка	—	$t=50+60^\circ$; $\tau=1,0$ мин.
"	—	$t=15+20^\circ$; $\tau=1,0$ мин.
Травление катодное	H ₂ SO ₄ —50 HCl—30 NaCl—22	$t=60+70^\circ$; $D=7+10$ а/дм ² ; $\tau=10+15$ мин.; анод—кремнистый чугун (2,0—2,4% Si) и сурьмянистый свинец*
Промывка	—	$t=50+60^\circ$; $\tau=1,0$ мин.
"	—	$t=15+20^\circ$; $\tau=1,0$ мин.
Анодное снятие свинцовой пленки	NaOH—85 Na ₃ PO ₄ —30	$t=50+60^\circ$; $D=5+7$ а/дм ² ; $\tau=3-12$ мин.; катоды железные
Промывка	—	$t=15+20^\circ$; $\tau=1,0$ мин.
"	—	$t=90+95^\circ$; $\tau=1,0$ мин.

* Стойкость анодов из кремнистого чугуна 4—6 месяцев; полоски из сурьмянистого свинца завешиваются на анодные штанги, поверхность их составляет 1—2% от поверхности чугунных анодов.

КОНТРОЛЬ ТВЕРДОСТИ

Соотношение между величинами твердости при испытании различными приборами приведено в табл. на стр. 215.

Определение твердости стальным шариком (ОСТ 10241-40 для H_B до 450) прибором типа ПБМ.

$$H_B = \frac{P}{F} = \frac{P}{D^2} \left(\frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right),$$

где D — диаметр шарика в мм; d — диаметр отпечатка в мм.

Толщина испытуемой детали должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка, а выдержка под нагрузкой — от 15 до 60 сек., в зависимости от материала. Этим методом испытываются главным образом поковки, отливки.

Соотношение между пределом прочности при растяжении и твердостью H_B : для ковanej и катаной стали $\sigma_{пр} = 0,36 H_B$, для серого чугуна

$$\sigma_{пр} = \frac{H_B - 40}{6} \text{ и для стального литья } \sigma_{пр} = (0,3 \div 0,4) H_B.$$

Определение твердости твердомером с алмазной пирамидой ТП (НВ)

$$H_V = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}$$

d — диагональ отпечатка в мм; α — угол при вершине между противоположными гранями пирамиды. При $\alpha = 136^\circ$

$$H_V = 1,8544 \frac{P}{d^2}.$$

Рекомендуемая нагрузка P — по таблице. Стандартная нагрузка — 50 кг. При испытании тонких слоев диффузионных поверхностных гальванических покрытий может также применяться нагрузка менее 5 кг.

Рекомендуемая нагрузка при контроле твердомером с алмазной пирамидой ТП (НВ)

Толщина детали в мм	Твердость H_V			
	25—50	50—100	100—300	300—900
	Рекомендуемая нагрузка P в кг			
0,3—0,5	—	—	—	5; 10
0,5—1,0	—	—	5; 10	10; 20
1—2	5; 10	5; 10	10; 20	10; 20
2—4	10; 20	20; 50	20; 50	20; 50
>4	20; 50	30; 50	50 и выше	50; 100; 120

Этим методом испытываются азотированные и цианированные детали, а также детали, поверхностно закаленные на малую глубину.

Определение твердости алмазным конусом или стальным шариком (для

Толщина испытуемой детали и выдержка под нагрузкой при испытании прибором ПБМ

Материал	Твердость H_B	Толщина испытуемого металла в мм	Диаметр шарика в мм	Нагрузка P в кг	Выдержка под нагрузкой в сек.
Черные металлы	150—450	>6	10	3000	15
		3—6	5	750	15
		<3	2,5	187,5	15
	<150	>6	10	3000	30
		3—6	5	750	30
		<3	2,5	187,5	30
Медь, латунь, бронза, магниевые сплавы	31,8—130	>6	10	1000	30
		3—6	5	250	30
		<3	2,5	62,5*	30
Алюминий, подлинниковые сплавы	3—35	>6	10	250	60
		3—6	5	62,5*	60
		<3	2,5	15,6*	60

* Нестандартная нагрузка.

$H_B > 450$) на приборе типа ТК (РВ) (твердомер конусный)

$$H_R = K - \frac{h}{c},$$

где $K = 130$ при испытании стальным шариком (шкала В); $K = 100$ при испытании алмазным конусом (шкалы С и А); c — цена деления индикатора, равная 0,002 мм; h — глубина вдавливания шарика или конуса.

Обозначения шкал по ОСТ 10242-40.

Применяемые нагрузки: обычный прибор ТК $P_0 = 10$ кг; $P = 60$; 100 или 150 кг.

Прибор для определения твердости в тонких слоях $P_0 = 3$ кг; $P = 15, 30$ и 45 кг и соответственно шкалы 15—Т, 30—Т и 45—Т при испытании стальным шариком $\varnothing 1,588$ мм и 15—N, 30—N и 45—N — алмазным конусом.

Определение твердости по методу упругого отскока бойка H_{Sh} прибором ШРС.

Мера твердости — высота отскока h стального бойка весом 2,5 г, падающего на испытуемую деталь с высоты $H = 254$ мм. Шкала прибора имеет 140 равных делений; деление 100 соответствует твердости закаленной на мартенсит высокоуглеродистой стали. При испытании

Характеристика прибора ТК (РВ)

Обозначение шкалы	Твердость H_B	Наконечник	Нагрузка в кг	Пределы шкалы	Обозначение твердости
В	60—230	Стальной шарик $\varnothing 1,588$ мм	100	25—100	H_{RB}
С	230—700	Алмазный конус (Угол конуса 120°)	150	20—67	H_{RC}
А	>700	То же	60	Свыше 70	H_{RA}

Расстояние между центрами соседних отпечатков и до края изделия при испытании берется по шкалам А и С > 2,5; по шкале В > 4 мм.

мягких металлов применяется стальной боек с тупым наконечником, при этом

$$H'_{Sh} = \frac{H_{Sh}}{0,56}.$$

Техническая характеристика приборов для контроля твердости [61, а]

Параметры	ПБМ*	ПБ-750А	ПБ-3	ТК* (РВ) (ТУ ММ и П 20/Х 1951 г.)	ТП* (НВ) (ТУ ММ и П 23/VIII 1950 г.)
Предварительная нагрузка в кг	—	—	—	10	—
Основная нагрузка в кг	3000; 1000; 750; 250 и 187,5	750; 250; 187,5; 62,5	3000; (1000; 750; 500)	150, 100 и 60	120; 100; (62,5); 50; 30; 20; (15,6); 10 и 5
Максимальное отклонение величины нагрузки в %	± 1	—	—	± 1	± 1
Диаметр испытательных шариков в мм	10,5 и 2,5	5 и 2,5	10 и 5	—	—
Наибольшая высота испытуемого изделия в мм	250	120	160	200	180
Расстояние от центра отпечатка до станины прибора в мм	120	75	100	135	130
Продолжительность одного испытания в сек.:					
для стали	16—18	—	—	—	—
для цветных металлов	36—38 (60)	—	—	—	—
Мощность электромотора в кат	0,25	—	—	—	—
Габаритные размеры в мм:					
длина	710	360	700	480	450
ширина	430	150	220	205	210
высота	885	446	600	625	675
Вес прибора (нетто) с грузами в кг	260	36	120	65	80
Условное обозначение единиц твердости	H_B	H_B	H_B	H_R	H_V

* См. Прейскурант на приборы и лабораторное оборудование, ММПИ, Машгиз, 1951.

Для углеродистой стали действительно следующее соотношение:

$$H_B \approx 7H_S; \sigma_{sp} \approx 2,5H_{Sh}.$$

Этим методом контролируются главным образом цементованные или поверхностно закаленные детали при толщине сечения деталей более 2 мм.

Соотношение чисел твердости, определенных различными методами

Твердость по прибору ПЕМ, при испытании стальным шариком $\varnothing 10$ мм при $P = 3000$ кг		Твердость по прибору ТК (РВ)		Твердость по прибору ТП (НВ) при испытании пирамидой H_V	Твердость по методу упругого отскока (по прибору ШПС) H_{Sh}
Диаметр отпечатка в мм	H_B	При испытании алмазным конусом при $P = 150$ кг (шкала С); H_{RC}	При испытании стальным шариком $\varnothing 1,588$ мм при $P = 109$ кг (шкала В); H_{RB}		
2,00	946	—	—	—	—
2,05	898	—	—	—	—
2,10	875	—	—	—	—
2,15	817	—	—	—	—
2,20	782	72	—	1220	107
2,25	744	69	—	1114	100
2,30	713	67	—	1021	96
2,35	683	65	—	940	92
2,40	652	63	—	867	88
2,45	627	61	—	803	85
2,50	600	59	—	746	81
2,55	578	58	—	694	78
2,60	555	56	—	649	75
2,65	532	54	—	606	72
2,70	512	52	—	587	70
2,75	495	51	—	551	68
2,80	477	49	—	534	66
2,85	469	48	—	502	64
2,90	444	47	—	474	61
2,95	430	45	—	460	59
3,00	415	44	—	435	57
3,05	402	43	—	423	55
3,10	387	41	—	401	53
3,15	375	40	—	390	52
3,20	364	39	—	380	50
3,25	351	38	—	361	49
3,30	340	37	—	344	47
3,35	332	36	—	335	46
3,40	321	35	—	320	45
3,45	311	34	—	312	44
3,50	302	33	—	305	42
3,55	293	31	—	291	41
3,60	286	30	—	285	40
3,65	277	29	—	278	39
3,70	269	28	—	272	38
3,75	262	27	—	261	37
3,80	255	26	—	255	36
3,85	248	25	—	250	36
3,90	241	24	100	240	35
3,95	235	23	99	235	34
4,00	228	22	98	226	33
4,05	223	21	97	221	33
4,10	217	20	97	217	32
4,15	212	19	96	213	31
4,20	207	18	95	209	30

Продолжение

Твердость по прибору ПЕМ, при испытании стальным шариком $\varnothing 10$ мм при $P = 3000$ кг		Твердость по прибору ТК (РВ)		Твердость по прибору ПТ (НВ) при испытании пирамидой НУ	Твердость по методу упругого отскока (по прибору ШРС) H_{Sh}
Диаметр отпечатка в мм	НВ	При испытании алмазным кон- нусом при $P = 150$ кг (шкала С); H_{RC}	При испытании стальным ша- риком $\varnothing 1,588$ мм при $P = 100$ кг (шкала В); H_{RB}		
4,25	202	—	94	201	30
4,30	196	—	93	197	29
4,35	192	—	92	190	29
4,40	187	—	91	186	28
4,45	183	—	89	183	28
4,50	179	—	88	177	27
4,55	174	—	87	174	27
4,60	170	—	86	170	26
4,65	166	—	85	166	26
4,70	163	—	84	163	25
4,75	159	—	83	159	25
4,80	156	—	82	156	24
4,85	153	—	81	153	24
4,90	149	—	80	149	23
4,95	146	—	79	146	23
5,0	143	—	78	143	22
5,05	140	—	77	140	21
5,10	137	—	75	137	21
5,15	134	—	74	134	19
5,20	131	—	73	131	19
5,25	128	—	72	128	19
5,30	126	—	71	126	19
5,35	124	—	70	124	19
5,40	121	—	68	121	19
5,45	118	—	67	118	19
5,50	116	—	65	116	19
5,55	114	—	64	114	18
5,60	112	—	63	112	18
5,65	109	—	61	109	18
5,70	107	—	60	107	18
5,75	105	—	58	105	18
5,80	103	—	57	103	18
5,85	101	—	56	101	17
5,90	99	—	55	99	17
5,95	97	—	53	97	17
6,00	95	—	51	95	17

Удельный расход материалов, применяемых при термической обработке

(отнесенный к весу нагреваемых
изделий)

1. Газы — защитная атмосфера в муфельных или герметически закрытых печах при светлом отжиге — 4—6 м³/т; продувка муфеля 4—6-кратным объемом; расход газа при выдержке 1,5—2,0 м³/час

(при давлении в муфеле 20—40 мм вод. ст.); при охлаждении — до 0,5 м³/час (при 10—30 мм вод. ст.).

2. То же в печах непрерывного действия — 0,20—0,25 м³/кг; на печь 40 60 м³/час при давлении на поду ~ 0,5 мм вод. ст.

3. Закалочные среды. Масла — веретенное 2, машинное Л, льняное и др. — 1,0—2,0%; 10%-ный водный раствор NaOH ~ 0,1%.

Вода — 6—8 л/кг; $q_s = 1,5 f$ л/сек при поверхностной закалке душем, f — площадь отверстий душа в см².

4. *Нагревательные среды.* Свинец до 50%; соли NaCl, KCl, BaCl₂ и др. ~ 2,0%; цианистые соли, добавляемые в количестве 2—5% для предупреждения обезуглероживания ~ 0,1%; масло Вapор ~ 1,0%; масло Вискозин ~ 2,0%; селитра калиевая и натриевая до 1,2%.

5. *Карбюризаторы для цементации.* Твердый при соотношении свежего к отработанному 25÷30: 75÷70 от 3 до 5%; вес карбюризатора в ящике до 10% от веса деталей.

Керосин — 0,02—0,03 кг/кг, выход пирол-газа из 1 кг керосина 0,6 м³. Содировое масло для очистки пирол-газа 0,3 л/100 кг деталей или 0,3 л/м³ пирол-газа. Хлористый кальций (10%-ный водный раствор) для осушки крекинг-газа — 0,05 л/м³ газового карбюризатора.

Пиробензол в шахтных печах:

Размеры муфеля в мм		
Диаметр	Высота	Расход в г/час
350—450	600—700	200—300
450—500	900—1200	350—450
600—600	1200—1500	500—700

6. *Цианизаторы:* цианистый натрий ~ 2%, освежение ванн свежей цианистой солью ~ 5% от веса солей в ванне, нейтральные соли: CaCl₂ ~ 5,0%, NaCl ~ 3,0%; плав ГИПХ — 1,5—2,0%.

7. *Аммиак при азотировании.* 5—10 г/кг деталей массивных, 20—50 (до

80) г/кг деталей с большой удельной поверхностью.

8. *Приспособления, поддоны и ящики.* Ящики и поддоны для цементации: из листовой стали $\delta = 5\div 10$ мм — стойкость 200—250 час., ~ 5%; стального литья — стойкость до 500 час., ~ 6—8%, из листовой жароупорной стали $\delta = 5\div 10$ мм — стойкость 2500—3000 час., ~ 0,5—1,0%; жароупорного литья — стойкость 4000—5000 час.

9. *Материалы, применяемые при очистке деталей от окалины и промывке деталей:*

а) при промывке — сода Na₂CO₃ (10%-ный водный раствор) ~ 0,25—0,5%; каустическая сода NaOH ~ 0,5—1,0%; вода 20—30%; пар 10—15%;

б) при песко-дробеструйной очистке от окалины — песок речной 5—8% дробь и стальной песок ~ 0,05—0,1%;

в) при травлении — техническая серная кислота или соляная кислота 3—4% без применения регуляторов и ~ 2% с применением регуляторов.

То же при электрическом травлении 1—1,5% с осаждением свинца и 0,5—0,8% без осаждения свинца. Известь 0,1—0,2%, сода Na₂CO₃ 0,025—0,035% (8% в начале процесса и 1% в конце), каустическая сода NaOH 0,04—0,05 (10% в начале процесса и 1% в конце).

Поваренная соль NaCl 0,01—0,015% без осаждения свинца и 0,10—0,15% с осаждением свинца; хлорное железо 0,015—0,018%; пар 160—200 кг/т; вода 15—20%.

Глава V

ПЕЧИ, НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ПРИБОРЫ ТЕПЛОвого КОНТРОЛЯ

Ввиду ограниченного объема в данном издании справочника приводятся материалы только по печам, нагревательным установкам и кратко по приборам теплового контроля.

Приведена характеристика только того оборудования, какое изготавливается в централизованном порядке различными заводами и организациями.

ПЕЧИ

Печи классифицируются:

1. По источникам тепловой энергии и способам ее использования.
2. По конструктивным особенностям и способам механизации.
3. По особенностям рабочего объема и применению внешних сред.
4. По назначению для различных процессов термической обработки.

I. Классификация термических печей по источникам тепловой энергии и способам ее использования

Вид тепловой энергии	Способ использования
А. Электроэнергия (электрические печи)	а) Металлические нагреватели б) Карборундовые нагреватели в) Электроды
Б. Газообразное топливо (печи с газовым обогревом)	а) Пламенное сжигание низкого давления б) Поверхностное беспламенное сжигание в) Микрофакельное сжигание (керамические горелки) г) Сжигание в радиационных трубах д) Атмосферное сжигание е) Диффузионное сжигание
В. Жидкое топливо (печи, работающие на жидком топливе)	а) Форсунки высокого давления б) Форсунки низкого давления
Г. Твердое топливо (печи, работающие на твердом топливе)	а) Индивидуальные газогенераторы б) Топки: горизонтальные и наклонные колосники; топки простые и полугазовые в) Пылеугольные топки

II. Классификация термических печей по конструктивным особенностям и способам механизации

Тип печей	Конструктивные особенности	Способы
А. Периодического действия	1. С горизонтальным неподвижным подом	Ручная загрузочная тележка; ручной толкатель; приспособления на кране, крановой балке и монорельсе; загрузочно-выгрузочная машина
	2. Шахтные	Кран, крановая балка, монорельс ручной, электрический и пневматический подъемник

Продолжение

Тип печей	Конструктивные особенности	Способы механизации
А. Периодического действия	3. Печи-ванны	Кран, крановая балка, монорельс, ручной, электрический и пневматический подъемник
	4. С выдвижны	Крановая балка. Для пода: лебедка, реду- ктор-рейка, кран
	5. С поднимающимся полом	Пневматический или гидравлический подъемник. Для пода: толкатель, редуктор-рейка
	6. Колпаковые (колокольные) с неподвижным основанием (подом)	Кран
	7. То же с передвижным основанием (подом)	Специальный подъемник для камеры нагрева; для пода: лебедка, толкатель, редуктор-рейка
	8. С передвижной камерой нагрева	Для передвижения камеры нагрева—ручной механизм и механизм от электромотора
Б. Непрерывного действия	9. Горизонтально- и вертикально-протяжные (для проволоки и ленты)	Механизмы с намоточными барабанами
	10. С наклонным подом	Механизмы-толкатели (вертикальные), подъемники и т. п.
	11. Толкательные	Толкатели ручные, механические — рычажные и винтовые, пневматические и гидравлические. Коэффициент трения 1,0; нагрузка на поддон ~ 250 — 400 кг/м ²
	12. Конвейерные	Конвейеры — пластинчатые, сетчатые, ленточные, цепные и подвесные. Нагрузка на конвейер 200—350 кг/м ² , на крюк подвесного конвейера — 15—25 кг
	13. С роликовым подом	Проталкивание толкателями деталей, загруженных в ящики; вращение роликов от механизма
	14. С вращающейся ретортой	Вращение от электромотора цепной передачей через редуктор
	15. С вибрирующим подом	Рычажный или эксцентриковый механизм, периодически встряхивающий под печи

Продолжение

Тип печей	Конструктивные особенности	Способы механизации
Б. Непрерывного действия	16. С шагающим подом	Эксцентриковый механизм, поднимающий и опускающий четырехугольную жесткую раму
	17. С вращающимся подом или сводом	Механизм непрерывного вращения от электромотора или периодического вращения от гидравлического и пневматического толкателя
	18. Механизированные печи-ванны	Механизм с червячным валом, механизм со спиралью, конвейер. Карусель с подъемником

III. Классификация термических печей по особенностям рабочего объема и применению внешних сред

Тип печей по применению внешних сред	Особенности рабочего объема печей				
А. Печи с воздушной атмосферой и продуктами горения *	вт — с верхним расположением топков нт — с нижним расположением топков бт — с боковым расположением топков вц — с выносными топками и циркуляцией атмосферы ц — с циркуляцией атмосферы м — муфельные				
Б. Печи с искусственной атмосферой, получаемой в печи	мв — муфельные с частичным вакуумом мг — с газирующими муфелями гз — с газовой завесой				
В. Печи с контролируемой атмосферой, получаемой вне печи	м — муфельные б-м — безмуфельные				
Г. Печи-ванны: а) Масляные б) Свинцовые в) Соляные	<table style="border: none;"> <tr> <td style="border: none;">}</td> <td style="border: none;">т — тигельные</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">{</td> <td style="border: none;">т — тигельные б-т — бестигельные</td> </tr> </table>	}	т — тигельные	{	т — тигельные б-т — бестигельные
}	т — тигельные				
{	т — тигельные б-т — бестигельные				
* Пламенные печи имеют отвод продуктов горения: а) в дымовую трубу через боров; б) в вентиляционную систему и в) непосредственно в пех.					

Классификация термических печей по назначению и рекомендации их для различных процессов термической обработки

Типы печей по технологическим процессам	Рекомендации по классификационным признакам		
	I	II	III
Отжигательные	Б а, б, г; В а, б; А а; Г а, б, в	А 1, 2, 4, 5; Б 9, 11, 16, 17	А вт, нт, бт; Б мв
Для светлого отжига	А а; Б г	А б, 7; Б 12, 13	В м, б-м
Для патентирования проволоки	А а; Б а, б, ; В б	Б 9	А вт, нт, вц
Нормализационные	Б а, б; В б; А а; Г а, б	А 1, 2, 4; Б 10-17	А от, нт, бт
Для светлой нормализации	А а; Б г	А 2; Б 11-14	В м, б-м
Закалочные	А а; б, в; Б а, б, в; В б; Г а, б	А 1-4; Б 9-18	А вт, нт, бт, вц, м; Б мг, гз; Г бт, вт, вб-т
Для чистой и светлой заковки	А а, б; Б б, г	А 1, 2; Б 11-15 17 и 18	В м, б-м; Г в
Отпускные	А а, в; Б а, б, г, д; В б	А 1-4; Б 10-14, 17 и 18	А вц, ц, м; Г бт, вт, вб-т
Для цементации твердым карбюризатором	Б а, б; В б; Г а, б; А а	А 1; Б 11, 14, 17	А вт, нт, бт
То же газовой	Б а, б, г; В б; А а	А 2, 6, 7; Б 11, 14	В м, б-м
Для цементации жидкостной	А в; Б а; В б	А 3; Б 18	Г вт, вб-т
Для азотирования: газового жидкостного	А а; Б г А в; Б г	А 2, 8; Б 11 А 3; Б 18	В м Г вт
Для цианирования: жидкостного газового твердым цианизатором	Б а, б; А а, в; В б А а; Б а, б, г Б а, б; В б; А а; Г а	А 3; Б 18 А 2, 6, 7; Б 11, 14 А 1; Б 11, 14, 17	Г вт, вб-т В м, б-м А вт, нт, бт

Техническая характеристика электропечей (трест „Электропечь“)

Тип печей		Мощность в кет*	Напряжение в в	Число фаз	Размеры рабочего пространства печи в мм			Максимальная производительность в кг/час	Рабочая температура в °С	Габаритные размеры по площади в м В×L×Н
Старое обозначение	Новое обозначение				ширина, диаметр	длина	высота			
ПНД-10	Н-14	15	60	1	150	330	150	25	1150	1,3×1,1×2,14
КН-15	Н-15	15	380/220	1/3	200	400	180	900	950	1,1×1,7×1,5
—	КН-15Б	15	380/220	1/3	300	650	250	50	950	1,8×1,64
—	КН-15В	15	75	1	300	460	150	35	1200	1,04×1,32
ПН-12	Н-30	30	380/220	1/3	450	950	450	125	950	1,27×2,0×1,65
—	ПН-12Б	30	380/220	1/3	450	900	400	140	950	1,9×1,91
ПН-13	Н-45	45	380/220	3	600	1200	550	275	950	1,4×2,2×1,75
ПН-14	Н-60	60	380/220	3	750	1500	550	290	950	2,3×2,8×2,3
ПН-15	Н-75	75	380/220	3	900	1800	600	350	950	2,4×3,1×2,4
—	ПН-15Б	75	380/220	3	900	1800	600	380	950	2,38×2,94
—	Г-30	30/12	50—80	3	300	400	250	60	1300	1,4×1,6×1,8
—	Г-50	50/18	50—80	3	450	700	350	130	1300	1,5×1,8×1,9
ПН-22	Ш-30	30	380/220	1/3	∅ 450	—	800	140	950	2,15×1,68×2,0
ПН-31	—	24	220	1	∅ 400	—	500	100	660	1,04×1,27×1,92
—	ПН-31Б	24	380/220	1	∅ 400	—	500	100	690	1,5×1,4×1,9
ПН-32	—	36	380/220	3	∅ 500	—	650	280	670	1,54×1,54×2,1
ПН-31	—	75	380/220	3	∅ 950	—	1220	550	650	2,53×3,7×3,04
—	Ц-25	25	380	1	∅ 300	—	450	50	950	1,4×1,8×2,0
—	Ц-35	35	380	1	∅ 300	—	600	100	950	1,4×1,8×2,1
—	Ц-60	60	380/220	3	∅ 450	—	600	150	950	1,6×2,0×2,2
—	Ц-75	75	380	3	∅ 450	—	900	220	950	1,6×2,0×2,6
—	Ц-90	90	380/220	3	∅ 600	—	900	400	950	1,8×2,2×2,7
—	Ц-105	105	380/220	3	∅ 600	—	1200	500	950	1,8×2,2×3,0
ПА-32-3	А-20	20	220	1	∅ 500	—	530	25	600	1,3×1,5
ПШ-312	Ш-35	35/10	380/220	1/3	300	300	1200	125	950	1,43×1,60×2,32
—	Г65	65	380/220	—	300	300	1470	—	1300	—
ПШ-320	Ш-55	55/15	380/220	1/3	300	300	2040	230	950	1,43×1,43×3,05
ПШ-625	Ш-70	70	380/220	1/3	∅ 600	—	2500	330	950	2,35×3,2×4,2
ВС-21	В-10	10/6	220	1	∅ 200	—	350	30	850	0,80×0,95×1,82
—	ВС-21Б	11/7	120	1	∅ 200	—	400	30	850	0,98×1,31×1,80
ВЦ-22	В-20	20/7	220	1	∅ 300	—	535	80	850	1,19×1,38×2,0
ВЦ-23	В-30	30/9	380/220	1/3	∅ 400	—	555	130	850	1,31×1,45×2,26
—	С-20	20/10	17,5—5,5	1	∅ 220	—	460	90	1300	∅ 1,1×2,3
—	С-25	25/15	17,5—5,5	1	∅ 380	—	475	90	850	∅ 1,1×2,3
—	С-45	45/20	17,5—5,5	1	∅ 340	—	600	200	1300	∅ 1,1×2,3
—	С-50	50/10	17,5—5,5	3	600	990	450	100	600	1,75×1,7×1,3
—	С-100	100/15	17,5—5,5	3	600	900	450	160	850	2,1×1,7×1,5
СП2-35	—	35/15**	24,2—8,0	3	Между гранями—220	—	420	30	1300	0,75×0,85×1,81
СП3-75	—	75/25**	17,5—5,5	3	То же—340	—	580	55	1300	1,10×1,27×2,58
—	Б-70 ***	70/17	380/220	3	∅ 310	2000	—	160	920	—
—	П650 ****	650	380	3	∅ 6700	1600	—	садка 30 м	950	—
—	ШО-130 ¹	13 [^]	380/220	3	∅ 950/470	—	1850	1,0т	850	∅ 2,0×4,2
—	НШ-100 ²	100	380/220	3	970	1800	600	100	850	2,3×4,7×2,5

* В знаменателе дроби указана мощность холодного хода печи.

** Печи применяются с трансформаторами (см. табл. на стр. 225), печи Н-14, КН-15В и ВС-21Б применяются со специальными трансформаторами.

*** Для шариков ∅ 5 мм.

**** Для отжига ковкого чугуна, с подъемным подом.

¹ Для светлого отжига проволоки и ленты.² Для нагрева под закалку штампов.

Техническая характеристика серии конвейерных закалочно-отпускных электрических печей
(трест „Электропечь“)

Наименование показателей	Агрегаты							
	I величины				II величины			
А. Закалочные печи								
Тип	K70	K80	K100	K120	K160	K180	K200	
Мощность в квт	70	80	100	120	160	180	200	
Размеры рабоч. пространства в мм:								
ширина	400	400	400	400	600	600	600	
длина	2050	2700	3350	4000	4000	4650	5300	
высота	415	415	415	415	415	415	415	
Количество тепловых зон	2	2	3	3	3	3	4	
Мощность в квт:								
W _I	50	60	50	60	90	90	90	
W _{II}	20	20	30	40	40	60	60	
W _{III}	—	—	20	20	30	30	30	
W _{IV}	—	—	—	—	—	—	—	460
Мощность холостого хода в квт	32	34	36	38	46	50	54	
Производительность в кг/час	120	150	200	250	360	410	460	
Длина ленты конвейера в м	—	7,6	8,88	10,2	10,2	11,48	—	
Габаритные размеры (B×L×H) в м	2,35×4,2×2,0	2,35×5,2×2,0	2,35×5,8×2,0	2,3×6,2×2,0	2,55×6,18×2,0	2,55×6,83×2,0	—	
Б. Отпускные печи								
Тип	K45	K55	K65	K75	K95	K105	K125	K055
Мощность в квт	45	50	60	70	95	105	125	55
Размеры рабоч. пространства в мм:								
ширина	400	400	400	400	600	600	600	600
длина	2800	3450	4100	4750	4750	5400	5700	6120
высота	415	415	415	415	415	415	415	415
Количество тепловых зон	2	2	3	3	3	4	4	3
Мощность в квт:								
W _I	30	35	30	35	60	45	55	35
W _{II}	15	15	15	17,5	15	30	35	10
W _{III}	—	—	15	17,5	20	15; W _{IV} 15	17,5; W _{IV} 17,5	10
W _{IV}	—	—	—	—	—	—	—	—
Мощность холостого хода в квт	2,9	31	33	35	43	45	48	165
Производительность в кг/час	120	160	200	250	360	410	460	250
Длина ленты конвейера в м	—	10,0	11,28	12,6	—	13,76	16,48	—
Габаритные размеры (B×L×H) в м	2,35×4,8×2,0	2,35×5,4×2,0	2,35×6,1×2,0	2,35×6,77×2,0	—	2,55×7,42×2,0	2,55×8,7×2,0	—

Примечание. Напряжение для всех печей 380 или 220 в; температура закалочных печей 875°; отпускных 600°, для печи K055 200°; скорость конвейерной ленты — 0,042±0,01 м/мин, для печи K055—0,034±0,051 м/мин.

Техническая характеристика толкательных закалочно-отпускных электрических печей (трест „Электропечь“)

Агрегат	Тип печи	Мощность в <i>квт</i> *	Размеры рабочего пространства в <i>м</i>			Мощность зон в <i>квт</i>			Количество приспособлений **		Производительность печи			Температура в °С	Габаритные размеры в <i>м</i>			
			ширина	высота	длина	I	II	III	полдонов	башмаков	Емкость с поддонами в <i>кг</i>	Емкость деталей в <i>кг</i>	Производительность при $\tau = 4$ час. в <i>кг/час</i>		B	H	Г. механизма	З с механизмами
1-й величины	T-80	80	600	400	3350	55	25	—	10	40	1050	800	200	950	1,64	1,75	3,95	8,1
	T-55	55	600	400	4000	35	20	—	13	52	1365	1040	200	650	1,64	1,75	4,6	7,6
	T-100	100	600	400	4000	52	24	24	12	48	1250	940	235	950	1,64	1,75	4,6	8,75
	T-75	75	600	400	4650	38	18,5	18,5	15	60	1575	1200	235	650	1,64	1,75	5,25	8,25
	T-120	120	600	400	4650	60	30	30	14	56	1500	1120	280	950	1,64	1,75	5,25	9,4
	T-85	85	600	400	5300	45	20	20	17	68	1785	1360	280	650	1,64	1,75	5,9	8,9
2-й величины	T-170	170	900	500	5300	85	42,5	42,5	16	64	2250	1680	420	950	1,94	1,85	5,9	10,05
	T-115	115	900	500	6600	60	27,5	27,5	21	84	2940	2205	420	650	1,94	1,85	7,2	10,2
	T-200	200	900	500	5950	110	45	45	18	72	2600	1960	490	950	1,94	1,85	6,55	10,7
	T-135	135	900	500	7250	70	32,5	32,5	23	92	3335	2350	490	650	1,94	1,85	7,85	10,35
	T-220	220	900	500	6600	130	45	45	20	80	2950	2240	560	950	1,94	1,85	7,2	11,35
	T-145	145	900	500	7900	75	35	35	25	100	3675	2800	560	650	1,94	1,85	8,5	11,5
3-й величины	T-240	240	1200	500	5300	135	52,5	52,5	8	96	3450	2820	705	950	2,24	1,85	5,9	—
	T-166	166	1200	500	6600	85	40	40	10	120	3750	3150	705	650	2,24	1,85	7,2	—
	T-270	270	1200	500	5950	140	65	65	9	108	3750	3160	790	950	2,24	1,85	6,55	—
	T-185	185	1200	500	7250	95	45	45	11	132	4125	3465	790	650	2,24	1,85	7,85	—
	T-300	300	1200	500	6600	166	72	72	10	120	4200	3540	885	950	2,24	1,85	7,2	—
	T-195	195	1200	500	7900	100	47,5	47,5	12	144	4560	3840	885	650	2,24	1,85	8,5	—
4-й величины	T-320	320	1500	600	5300	166	77	77	8	128	4700	4040	1010	950	2,54	1,95	5,9	—
	T-215	215	1500	600	6600	110	52,5	52,5	10	160	5250	4500	1010	650	2,54	1,95	7,2	—
	T-360	360	1500	600	5950	180	90	90	9	144	5350	4580	1150	950	2,54	1,95	6,55	—
	T-235	235	1500	600	7250	120	57,5	57,5	11	176	5885	5060	1150	650	2,54	1,95	7,85	—
	T-400	400	1500	600	6600	210	95	95	10	160	6000	5160	1232	950	2,54	1,95	7,2	—
	T-265	265	1500	600	7900	135	65	65	12	192	6540	5640	1230	650	2,54	1,95	8,5	—

* Напряжение сети 380/220 в, число фаз — 3.

** Количество направляющих у печей, агрегатов 1-й и 2-й величины — 2 с расстоянием между направляющими 450 мм, у печей агрегатов 3-й величины — 2 и 4 с расстоянием 620 и 450 мм; у печей агрегатов 4-й величины — 4 с расстоянием 450 мм; размер полдонов по длине для печей агрегатов 1-й и 2-й величины — 340 мм, для 2-й и 3-й величины — 680 мм; длина башмаков для всех печей — 170 мм.

Техническая характеристика сухих трансформаторов, предназначенных для питания электрических печей [183]

Тип	Номинальная мощность в кВА	Число фаз	Напряжение в в		Номинальная сила тока на высокой стороне в а		Номинальная сила тока на низкой стороне в а	Габаритные размеры в мм В×L×Н
			первичное	вторичное	при 220 в	при 380 в		
I. Однофазные								
ТПО-22 (СВО-2)	2	1	220	10-5	—	—	—	280×340×250
ТПО-102 (ТПО-10)	10	1	220	15-14-13-12-11	—	—	—	356×570×780
ТПО-170* (СВО-17)	17	1	380 (220)	75	77	44,7	227	384×630×645
ТПО-202	20	1	220	120-104,8-90,2-74,7- -60-52,7-45,1-37,3	—	—	—	360×570×830
ТПО-203	20	1	380	То же	—	—	—	То же
ТПО-502** (СВО-50)	50	1	220	17,25-14,6-12,6-11,1- -10-7,8-5,5	220	—	4500	775×1095×1210
ТПО-503 (СВО-50)	50	1	380	То же	—	132	—	То же
II. Трехфазные								
ТПТ-350** (СВТ-35)	35	3	380/220	17-15-14-12-10-6,5	—	53,3	835 А1450	510×1020×836
ТПТ-600 (СВТ-60)	60	3	380/220	17-15-13-11-10-7,7- 5,5	155	92	3120	825×1450×1210
ТПТ-640*** (СВТ-64)	64	3	380/220	163-131,5-124-111,5-102	127	97	300	625×1080×1145
III. Автотрансформаторы								
АПТ-332	33	3	220	163,5-150-140-133-122- 114-52	—	—	—	410×670×820
АПТ-333	33	3	380	163,5-150-140-133-122- 114-52	—	—	—	410×670×820
АПО-1803	180	1	380	500-475-450-415-400- 250-210	—	—	—	630×905×1200

* Применяются для печи Н-14.

** Применяются для электродных печей-ванн.

*** Применяются для высокотемпературных печей.

Техническая характеристика закалочных баков (трест „Электropечь“ [183, 61 г.])

Тип	Ширина конвейерной ленты в мм	Размеры бака в мм			Емкость бака в м ³	Производительность (средняя) в кг/час	Скорость конвейера в м/мин	
		ширина	длина	высота				
I. Конвейерные								
ЗБК-400	I исполнение*	400	1150	3600	1100	5,0	—	0,75
(ЗБ-400)	II исполнение	400	1100	4800	1200	5,4	250	0,04—0,34
ЗБК-600	I То же	600	1150	3600	1100	5	400	0,75
(ЗБ-600)	II	600	1300	6000	1350	8,2	—	0,04—0,31
ЗБК-800		800	1950	6000	—	10	2000	—
II. Толкательные**								
ЗБТ-600 (ЗБ-600Т)	}	600×350	2100	1690	2080	4,5	350	—
ЗБТ-1200 (ЗБ-1200Т)		1200×350	2360	2360	2170	6,8	750	—

* I исполнение с охлаждением закалочной жидкости через змеевик и с вентилятором для циркуляции жидкости.
** Для толкательных закалочных баков приведены размеры загрузочного стола и габаритные размеры.

Техническая характеристика моечных машин (трест „Электropечь“) [183]

Тип	Емкость (количество раствора) в м ³	Ширина конвейера в мм	Скорость конвейера в м/мин	Температура жидкости в °С	Производительность в кг/час	Габаритные размеры в м В×Л×Н
I. Конвейерные						
ММК-400 (ММ-400)	1,2	400	0,75	90	250	1,68×3,98×2,25
ММК-600 (ММ-600)	1,2	600	0,75	90	450	То же
ММК-800 (ММ-800)	2,2	800	—	90	2000	1,45×4,52×2,39
II. Толкательные						
ММТ-600 (ММ-600Т)	0,58	600×2380* h-400	—	90	350	1,81×2,38×1,65
ММТ-1200 (ММ-1200Т)	0,80	1200×2380* h-400	—	90	750	2,35×2,38×1,66

* Размеры камеры.

Характеристика щитов управления (трест „Электропечь“)

Тип	Максимальная мощность в кВт при напряжении:		Рабочий ток в а
	350 в	220 в	
ЩУ-12, ЩУ-22, ЩУ-32	60	29	75
ЩУ-13, ЩУ-23, ЩУ-33	99	57	150
ЩУ-14, ЩУ-24, ЩУ-34	198	114	300
ЩУМ-12, ЩУМ-22, ЩУМ-32	50	29	75
ЩУМ-13, ЩУМ-23, ЩУМ-33	99	57	150
ЩУМ-14, ЩУМ-24, ЩУМ-34	198	114	300

Обозначения: ЩУМ — щит управления с магнитным пускателем типа П-322; первые цифры: 1 — потенциометр, 2 — электрический регулятор, 3 — милливольтметр; вторые цифры: 2 — магнитная станция второй величины, 3 — то же третьей величины, 4 — то же четвертой величины.

Химический состав и свойства металлических электронагревателей

Максимальная рабочая температура в °С не более	Наименование и марка материала (сплава)	Химический состав в %	Свойства
700	Адитированное железо	$\leq 0,2\text{C}$	$\gamma = 7,86; \rho = 0,12+0,15;$ $\alpha_f = (7-10) \cdot 10^{-3};$ $\beta = 11,7 \cdot 10^{-6}$
500	Константан	60—57 Cu; 30—40 Ni; 1,0—1,4 Mo	$\gamma = 8,7; \rho = 0,44+0,52;$ $\alpha_f = 0,5 \cdot 10^{-4}; \beta = 14 \cdot 10^{-6};$ $c = 0,098; \lambda = 20,0$
850	X13Ю4 (ЭИ60) (фехраль)	$\leq 0,15\text{C}; \leq 0,7\text{Mn};$ $\leq 1,0\text{Si}; 12,0-15,0\text{Cr};$ $\leq 0,6\text{Ni}; 3,5-5,5\text{Al}$	$\gamma = 7,4; \rho = 1,25+1,35 (1,8);$ $\alpha_f = 0,1 \cdot 10^{-3}$
1000	0X17Ю5 (ЭИ318)	$\leq 0,06\text{C}; \leq 0,7\text{Mn}; \leq 0,6\text{Si};$ 16,0—19,0 Cr; $\leq 0,6\text{Ni};$ 4,0—6,0 Al	$\gamma = 7,0+7,2; \rho = 1,3+1,5 (1,24);$ $\alpha_f = 0,8 \cdot 10^{-4};$ $\beta = (14,5+15,0) \cdot 10^{-6}$
1200	0X25Ю5 (ЭИ292)	$\leq 0,06\text{C}; \leq 0,7\text{Mn};$ $\leq 0,6\text{Si}; 23,0-27,0\text{Cr};$ $\leq 0,6\text{Ni}; 4,5-6,5\text{Al}$	$\gamma = 6,9+7,2; \rho = 1,4+1,6 (1,35)$ $\alpha_f = 0,5+10^{-4}$ $\beta = (14,5+15,0) \cdot 10^{-6}$
850	1X17Ю5 (ЭИ341)	$\leq 0,12\text{C}; \leq 0,7\text{Mn};$ $\leq 1,2\text{Si}; 16,0-19,0\text{Cr};$ $\leq 0,6\text{Ni}; 4,0-6,0\text{Al}$	$\gamma = 7,0-7,2;$ $\rho = 1,15+1,25 (1,24);$ $\alpha_f = 0,4 \cdot 10^{-4}$ $\beta = (14,5+15,1) \cdot 10^{-6}$

Продолжение

Максимальная рабочая температура в °С не более	Наименование и марка материала (сплава)	Химический состав в D ₁₀	Свойства
1150	1Х25Ю5 (ЭИ-340)	$\leq 0,12$ С; $\leq 0,7$ Mn; $\leq 1,2$ Si; 23,0–27,0 Cr; $\leq 0,6$ Ni; 4,5–6,5 Al	$\gamma = 7,0 \div 7,2$; $\rho = 1,25 \div 1,45$ (1,35). $\alpha_f = 0,3 \cdot 10^{-4}$; $\beta = (14,5 \div 15,5) \cdot 10^{-6}$.
1000	Нихром Х15Н60	$\leq 0,15$ С; $\leq 1,5$ Mn; $\leq 1,0$ Si; 15,0–18,0 Cr; 55,0–61,0 Ni; остальное Fe	$\gamma = 8,4$; $\rho = 1,0 \div 1,15$ (1,10) $\alpha_f = 0,1 \cdot 10^{-3}$
1100	Нихром Х20Н80	$\leq 0,15$ С; $\leq 1,5$ Mn; $\leq 0,5$ Si; 20,0–23,0 Cr; 75,0–78,0 Ni; остальное Fe	$\gamma = 8,4$; $\rho = 1,10 \div 1,20$ (1,15); $\alpha_f = 0,1 \cdot 10^{-3}$; $\beta = 14 \cdot 10^{-6}$; $c = 0,105$
1300	Кантал	20,0 С; 5,0 Al; 3,0 Со; остальное Fe	$\gamma = 7,1 \div 7,25$; $\rho = 1,3 \div 1,45$; $\alpha_f = (0,6 - 0,9) \cdot 10^{-4}$; $\beta = (14 \div 15) \cdot 10^{-6}$; $c = 0,118$; $\lambda = 11,0$
1300	Мегапир	$\leq 0,1$ С; 30,0 Cr; 5,0 Al; остальное Fe	$\gamma = 7,1$; $\rho = 1,4$; $\alpha_f = 0,4 \cdot 10^{-4}$; $\beta = 15,5 \cdot 10^{-6}$; $c = 0,118$ $\lambda = 11,0$
1350	Сплав № 3 ИОНХ	$\leq 0,5$ С; $\leq 0,5$ Mn; $\leq 0,8$ Si; 23,0–27,0 Cr; 6,0–8,0 Al; 0,2–0,9 Ti	$\gamma = 6,8 \div 7,0$; $\rho = 1,45 \div 1,6$. $\beta = (16,5 - 17,2) \cdot 10^{-6}$
1400	Платина (для лабораторных печей)	—	$\gamma = 21,4$; $\rho = 0,1$; $\alpha_f = 4,0 \cdot 10^{-3}$; $c = 0,032$; $\lambda = 60,0$
1400	Молибден (для лабораторных печей)	—	$\gamma = 23,0$; $\rho = 0,045$; $\alpha_f = 5,5 \cdot 10^{-3}$

Примечание. Сплавы Х13Ю4, 0Х17Ю5, Х17Ю5, Х25Ю5, 0Х25Ю5, Х15Н60 и Х20Н80 по ГОСТ 5632-61.

Химический состав, свойства и размеры карборундовых электронагревателей

Наименование показателей	Карборундовые I (типа силит)	Наименование показателей	Карборундовые I (типа силит)
Химический состав в %	94,4 SiC; 3,6 SiO ₂ ; 0,3 C; 0,2 Al; 0,6 Fe; 0,3 Si; 0,6 (CaO + MgO)	Максимальная температура применения в °С	1400
γ в кг/дм ³	3,27—3,30	ρ в $\frac{\text{О.М. ММ}^2}{\text{М}}$	1000—2000
λ 1000—1400° в $\frac{\text{ккал}}{\text{М час град}}$	20	Мощность стержней в Вт	270—7530 (при 1100°)* 60—1760 (при 1400°)* 4760—26000 (при 1100°)** 1040—5650 (при 1400°)**
a в $\frac{\text{ММ}}{\text{М град}}$	5,6·10 ⁻⁶	Размеры стержней в мм: диаметр d	6—25* 22—30 **
c в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг град}}$	0,17	длина общая L	210—1200 * 405—1320 **

* С утолщенными концами (33 размера).
** С лобовым контактом (9 размеров).

Характеристика карборундовых нагревателей для печей Г30 и Г50 треста „Электропечь“

Наименование показателей	Тип печи	
	Г30	Г50
Диаметр в мм	25	30
Длина в мм	400	500
Длина выводных концов в мм	400	400
Мощность в кВт: при температуре	1250° С	5,66
	1300° С	4,40
	1350° С	3,14
Удельная поверхностная нагрузка в Вт/см ²	1,3	1,3

Удельное электросопротивление карборундовых электронагревателей в % в зависимости от температуры [176]

Тип нагревателей	Температура в °С							
	0	200	400	600	800	1000	1200	1400
Карборундовые I (типа силит)	100	88	75	70	63	58	53	49
Карборундовые II (типа глобар)	100	82	65	61	62	63	64	65
Электрографит	100	82	77	78	82	88	92	96

Механические свойства и удельное электросопротивление нихромов в зависимости от температуры [176]

Марка нихрома	Параметры	Свойства при температуре в °C								
		γ	200	400	500	600	700	800	900	1000
Железо-никель-хромовый нихром: (20% Cr, 30% Ni, 50% Fe)	а) $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	—	—	—	60	50	42	35	17	8
	б) Скорость крипа 10 ⁶ —10 ⁸ ССД при нагрузке в кг/мм ²	—	—	—	—	—	3,8	2,2	1,0	0,2
	в) Допускаемая нагрузка в кг/мм ²	—	—	—	—	—	2,5	1,2	0,5	0,15
	г) Удельное электросопротивление ρ в $\frac{\text{ОМ}\cdot\text{ММ}^2}{\text{М}}$	1,06	1,13	1,20	—	1,24	—	1,28	—	1,32
Х13Н60	а) $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	—	—	—	50	43	30	15	5	—
	б) Скорость крипа 10 ⁶ —10 ⁸ ССД при нагрузке в кг/мм ²	—	—	—	—	—	2,7	0,8	0,2	—
	в) Допускаемая нагрузка в кг/мм ²	—	—	—	—	—	2,0	0,6	0,15	—
	г) Удельное электросопротивление ρ в $\frac{\text{ОМ}\cdot\text{ММ}^2}{\text{М}}$	1,13	1,16	1,18	—	1,20	—	1,21	—	1,23
Х20Н80	а) $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	—	—	—	72	64	48	30	10	5
	б) Скорость крипа 10 ⁶ —10 ⁸ ССД при нагрузке в кг/мм ²	—	—	—	—	—	3,5	2,0	0,9	0,15
	в) Допускаемая нагрузка в кг/мм ²	—	—	—	—	—	2,5	1,2	0,5	0,1
	г) Удельное электросопротивление ρ в $\frac{\text{ОМ}\cdot\text{ММ}^2}{\text{М}}$	1,1	1,12	1,15	—	1,15	—	1,15	—	1,15

Расчет металлических нагревательных электросопротивлений

Исходные данные:

N_y — установленная мощность (общая) в *квт*; число фаз — одна или три (для печей мощностью до 15 *квт* рекомендуется применять однофазное соединение); n — число параллельных линий в фазе; U_A — линейное напряжение в сети в *в*.

Материал электросопротивления (см. табл. на стр. 227) и его сечение (круг или лента).

Последовательность расчета. Определяются:

1. Мощность фазы $N_{\phi} = N_y$ (для однофазного соединения);

$N_{\phi} = \frac{N_y}{3}$ (для трехфазного).

2. Мощность параллельной ветви $N_{п.в} = \frac{N_{\phi}}{n}$.

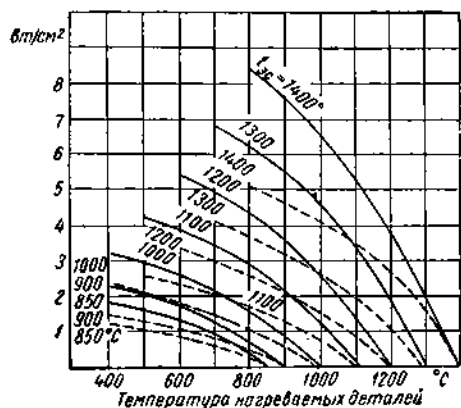
3. Фазовое напряжение $U_{\phi \lambda} = \frac{U_A}{\sqrt{3}}$;

$U_{\phi, \Delta} = U_A$ (для печей $\cos \varphi = 1$).

4. Сила тока:

$$\text{линейная } I_{\lambda, \lambda} = \frac{N_y}{\sqrt{3} U_A};$$

$$I_{\lambda, \Delta} = \frac{N_y}{U_A}; \quad I = \frac{N}{U};$$



Фиг. 1. Удельная поверхностная мощность для свободно излучающих спиральных проволочных и ленточных электросопротивлений при нагреве стали (пунктирные кривые соответствуют нагреву стали в защитной атмосфере). На кривых приведены значения температуры электросопротивлений [86]

в фазе $I_{\phi, \lambda} = I_n; I_{\phi, \Delta} = \frac{I_n}{\sqrt{3}}$;

в параллельной ветви $I_{n, s} = \frac{I_{\phi}}{n}$.

5. Сопротивление в омах:

общее $R = \frac{U_n^2}{10^3 \cdot N_y}$;

фазовое $R_{\phi} = \frac{U_{\phi}^2}{10^3 \cdot N_{\phi}}$;

параллельной ветви

$$R_{n, s} = \frac{U_{\phi}^2}{10^3 \cdot N_{n, s}}$$

6. 1-й вариант. Размеры электро-сопротивления в мм:

а) для круглого сечения (провода)

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^5 \rho_t N_{\phi}^2}{\pi^2 \nu U^2}}$$

б) для ленты сечением $a \times b$ мм

$$a = \sqrt[3]{\frac{10^5 \cdot N_{\phi}^2 \rho_t}{2 U_{\phi}^2 k (1+k) \nu}}$$

где $k = \frac{b}{a}$; ρ_t — удельное электро-сопротивление при температуре t в $\text{ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$; ν — удельная поверхностная мощность;

$$\nu = \frac{N_{\phi}}{F_c \cdot 10^3} \text{ в } \text{вт}/\text{см}^2;$$

F_c — поверхность электросопротивления фазы; $F_c = \pi d L_{\phi}$ в см .

Значения ν (фиг. 1)

Температура печи в °C	ν в $\text{вт}/\text{см}^2$	Температура печи в °C	ν в $\text{вт}/\text{см}^2$
< 300	4,0	800—900	1,5
300—400	3,5	900—1000	1,0
400—600	3,0	1000—1100	0,8
600—800	2,0	1100—1200	0,5

Значения удельной поверхностной мощности, определяемые по кривым фиг. 1, должны быть практически уменьшены на 15%, а для заэкранированных нагревателей на 40—50%.

в) длина электросопротивления в м

$$L_{\phi} = \frac{R_{\phi} S}{\rho_t} = \frac{10^2 N_{\phi}}{\pi d \nu}$$

$L_{\phi} = L_{n, s} \cdot n$; $L_{\text{общ}} = 3L_{\phi}$ (для трехфазного соединения);

S — сечение в мм^2 ;

г) вес нагревателя в кг

$$G = 10^{-3} \cdot L_{\text{общ}} \cdot g$$

g — вес 1 пог. м в г.

2-й вариант:

1) выбирается стандартное сечение электросопротивления и по расчетному значению R (п. 5) определяются длина и вес (пп. 6в и 6г);

2) по выбранным размерам определяется удельная мощность ν ;

3) полученное значение ν сравнивается с принятыми нормами (см. фиг. 1).

Нагреватели применяются в виде круглых спиралей или зигзагов ленты (фиг. 2).

Для круглых спиралей:

Коэффициент сердечника

$$k = \frac{D}{d} = 5 \div 8.$$

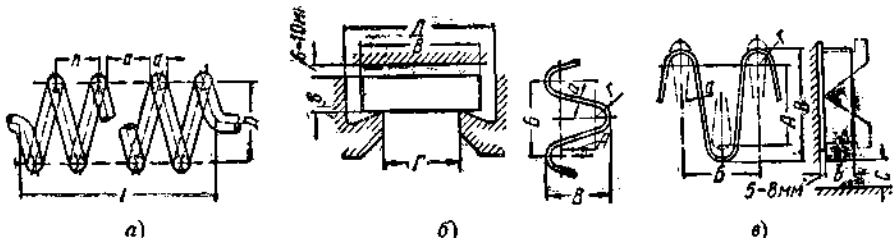
Коэффициент плотности намотки

$$m = \frac{h}{d} = 2 \div 4.$$

Расстояние между витками $a = (1 \div 3)d$.

Число витков

$$n = \frac{1000 L}{\pi D} = \frac{1000 G}{h}$$



Фиг. 2. Форма наиболее употребительных электросопротивлений: а — круглая спираль; б — ленточный нагреватель, расположенный горизонтально; в — ленточный нагреватель, расположенный вертикально.

Длина спирали

$$l = \frac{Lh}{\pi D} = \frac{Lm}{\pi k};$$

L — общая длина нагревателя

$$\text{Мощность спирали } N_c = \frac{0,1 U l v}{m}$$

Температура спирали в $^{\circ}\text{C}$

$$t_c = t_n \left(1 + \frac{d^2}{2,1h} \right);$$

t_n — температура прямой проволоки.

Для ленточных электросопротивлений по И. И. Корнилову:

а) при горизонтальном расположении
 $A = \Gamma - 2(r + a)$; $B = (2 + 5)s$; $B = B$;
 $\Gamma = 0,6B$; $D = (1,3 + 1,4)B$; $r \leq 6a$;

б) при вертикальном расположении для нагрева до 1000°C $A = B - 2(r + a)$;
 $B = (2 + 4)s$; $B \leq 200$; $C = 35$ мм;
 $r = 6a$;

для нагрева $1000 - 1350^{\circ}$ A и B аналогичны предыдущему; $B \leq 150$; $C = 45$ мм;
 $r = 6a$.

Расчет неметаллических нагревательных элементов

Удельная поверхностная нагрузка . . в $\text{вт}/\text{см}^2$
 при температуре $< 1000^{\circ}$ 30—35

1100—1200	21
1200—1250	18
1250—1300	14
1300—1350	10
1350—1400	5

$$\text{Мощность стержня } N_{cm} = F_{cm} \cdot \frac{U^2}{R}$$

$$\text{Сопротивление стержня } R_{cm} = \frac{\rho l_{cm}}{S}$$

Диаметр стержня в мм

$$d_{cm} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^6 N_{cm}^2 \rho l}{U^2 \pi^2}}$$

$$\text{Длина стержня в м } l_{cm} = \frac{N_{cm} 10^2}{\pi d}$$

Для силовых стержней

$$F_{cm} = \frac{V}{10n} = \pi d l_{cm};$$

F_{cm} — поверхность стержня в см^2 ; V — объем рабочего пространства печи в см^3 ;
 n — число стержней.

Формулы электрического сопротивления и потребляемой мощности печей для основных схем включения нагревательных элементов

Схема включения нагревательных элементов	Число нагревательных элементов	Общее сопротивление в омах	Мощность в квт
Последовательно		$R = nr$	$N = \frac{U^2}{10^3 \cdot nr}$
Параллельно		$R = \frac{r}{n}$	$N = \frac{nU^2}{10^3 \cdot r}$
Последовательно-параллельно (параллельно l групп; каждая группа из m нагревательных элементов, включенных последовательно)	ml	$R = \frac{mr}{n}$	$N = \frac{nU^2}{10^3 \cdot mr}$
Параллельно-последовательно (последовательно l групп; каждая группа из m нагревательных элементов, включенных параллельно)	ml	$R = \frac{nr}{m}$	$N = \frac{mU^2}{10^3 \cdot nr}$
Звезда	3	$R = r$	$N = \frac{U_A^2}{10^3 \cdot r}$
Треугольник	3	$R = \frac{r}{3}$	$N = \frac{3U_A^2}{10^3 \cdot r}$
Двойная звезда	6	$R = \frac{r}{2}$	$N = \frac{2U_A^2}{10^3 \cdot r}$
Двойной треугольник	6	$R = \frac{r}{6}$	$N = \frac{6U_A^2}{10^3 \cdot r}$

Размеры (в мм) типовых печей периодического действия (Союзтеплострой)

Тип печи	Размеры камеры нагрева $B \times L$	Размеры пода $B \times L$	Площадь пода (в м ²)	Размеры рабочего окна (ширина \times высота)	Высота от пода до свода камеры нагрева
I	560 \times 580	350 \times 580	0,2	360 \times 290	350
II	700 \times 810	470 \times 810	0,38	470 \times 290	440
III	810 \times 930	580 \times 930	0,54	470 \times 405	520
IV	930 \times 1150	700 \times 1150	0,81	580 \times 405	530

Высота от пола до пода для всех печей — 1000 мм.

Техническая характеристика печей-ванн (Союзтеплострой)

Условное обозначение		Размеры, объем и вес тигля				Производительность (средняя) в кг/час	Расход топлива (удельный) в ккал/кг		
	мазутны	диаметр в мм	глубина в мм	полезный объем в мм	вес в кг		при 600°	при 850°	
ПТВГ-1	ПТВМ-1	200	350	8,5	49	20	500	1200	
		200	535	14,3	73		350	900	
ПТВГ-2	ПТВМ-2	250	350	13,2	62	35	400	1000	
		250	535	22,0	86		50	330	800
		250	610	26,0	95		60	300	750
ПТВГ-3	ПТВМ-3	300	535	31,0	130	70	300	750	
		300	610	37,0	146		80	280	700
ПТВГ-4	ПТВМ-4	400	535	59,0	160	100	310	750	
		400	610	69,0	210		125	280	700

Габаритные размеры печей в м: 1 — \varnothing 0,91, $h = 2,1$; 2 и 3 — \varnothing 1,06, $h = 2,2$; 4 — \varnothing 1,17, $h = 2,2$.

Удельная производительность (нетто, кг/м²час) печей для различных процессов термической обработки (ориентировочно)

Тип печи	Процессы термической обработки						
	Отжиг при $t \leq 6$ час.	Нормализация	Закалка	Отпуск (высокий и низкий)	Цементация		Газовое цинкование
				Газовая	твердым карбонизатором		
Периодического действия (камерные) с горизонтальным подом	40—60	120—160	120—160	100—140	—	8—12	—
С выдвигаемым подом	35—50	60—80	60—80	60—80	—	8—12	—
Непрерывного действия:							
толкательные	60—70	150—200	150—200	140—180	40—50	15—18	80—100
конвейерные	—	180—220	180—220	150—200		—	
с вращающимся подом	—	180—200	180—200	150—180	—	15—18	—
С вращающимися роликами	40—100 (ковкий чугун)	180—220	180—220	150—200	—	—	—

Размеры рабочего пространства наиболее распространенных печей

Тип печи	Эскиз типовой печи	Размеры
Печи периодического действия		<p>Площадь пола F м²</p> $F = L \cdot B$ $B = B' - 2c$ $c = 0,08 \div 0,1$
Печи-ванны		<p>Объем рабочего пространства V м³</p> $V \approx \frac{\pi D^2}{4} (H - c)$ $c = 0,05 \div 0,07$
Печи шахтные		$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H$ $D = D' - 2c$ $c = 0,1 \div 0,15$
Печи непрерывного действия: а) толкательные		<p>$F = L \cdot b$ Размер поддона $l \times b$, число поддонов m</p> $m = \frac{L + c}{l}$ $c = 0,1 \div 0,15$
б) конвейерные		$F = L_1 \cdot b$ <p>$F = L_1 \cdot b$ (при сквозном конвейере); b — ширина конвейера</p>

Приведенные в таблице размеры рабочего пространства печей условно принимаются за основу при определении удельной производительности печей. $P_f = \frac{P}{F}$ кг/м² час; $P_v = \frac{P}{V}$ кг/м³ час.

Расчет производительности и количества оборудования

Пок	Уравнение (формула)	Обозначение и размерность величин
Производительность брутто в кг/час	$P_b = \frac{m(gn + \xi_1)}{\tau} = \frac{60(gn + \xi_1)}{Z}$	m — количество приспособлений, помещающихся в рабочем объеме печи; n — количество деталей, укладываемых на приспособления; g — вес детали в кг; ξ_1 — вес приспособлений в кг;
То же нетто в шт/час	$P_n = \frac{mgn}{\tau} = \frac{60gn}{Z}$ $P = \frac{m\eta}{\tau} = \frac{60\eta}{Z}$	τ — общая продолжительность процесса в час; Z — темп толкания (для толкательных и печей с пульсирующим подом); $Z = \frac{60\tau}{m}$ в мин.;
Удельная производительность печи в кг/м ² час	$P_f = \frac{P_b}{F}$	F — площадь пода печи в м ² ;
То же в кг/м ³ час	$P_v = \frac{P_b}{V}$	V — объем рабочего пространства печи в м ³ ;
Производительность конвейерных печей и других агрегатов в кг/час	$P = 60q\omega = \frac{qL}{\tau}$	F_1 — рабочая площадь конвейера печи в м ² ; L — длина конвейера (рабочая) в м; q — нагрузка деталей на 1 м длины конвейера в кг/м; ω — скорость движения конвейера (ленты) в м/мин;
Удельная производительность конвейерной печи в кг/м ² час	$P_f = \frac{P}{F_1}$	n_1 — количество одновременно протягиваемых; бунтов проволоки (ленты);
Производительность проходных печей (для проволоки, ленты)	$P_n = \frac{60n_1 \xi_2 \omega}{\tau} = \frac{n_1 \xi_2 L}{\tau}$	ξ_2 — вес 1 пог. м проволоки (ленты) в кг; $\Pi_ц$ — программа цеха (месячная или годовая) по данному процессу в кг;
Количество печей (оборудования) расчетное	$n_p = \frac{\Pi_ц}{P_n} : \Phi (1 - \tau_в)$	Φ — фонд времени оборудования (месячный или годовой) в час; $\tau_в$ — доля времени на выполнение вспомогательных операций;
То же, фактически установленное	$n_\phi = \frac{L_p}{k}$	k — коэффициент загрузки оборудования; $k = 0,8 \div 0,9$, для уникального оборудования k может быть любым

Вспомогательное время на переналадку режима печей

Операция	Продолжительность процесса τ час.	Доля времени в зависимости от количества переналадок и циклов в сутки					
		$\tau_в = \frac{\tau n_ц^*}{24}$					
		Количество циклов					
		1	2	3	4	5	
Нагрев в печах непрерывного действия	12	0,5	—	—	—	—	
	8	0,38	0,66	—	—	—	
	То же, а также нагрев в камерных печах и печах-ваннах при конвейерном способе работы	4	0,16	0,32	0,48	0,64	—
		2	0,08	0,13	0,24	0,32	0,40
		1	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20
Нагрев в печах с выдвижным подом	12	0,25	—	—	—	—	
	8	0,16	0,33	—	—	—	
	6	0,12	0,24	0,36	—	—	
Нагрев в камерных печах при работе партиями							
		$\tau_в = 0,1 \div 0,2$					

* При расчете на любое другое время работы оборудования Φ (месяц, смена)
$$\tau_в = \frac{\tau n_ц}{\Phi}$$

Фонд времени работы оборудования

Число рабочих дней в году	Продолжительность работы в сутки	Потеря времени на капитальный ремонт в % ^{***}	Фонд времени оборудования Ф в час.	
			годовой	месячный
306	8	3	2375	198
	16	3	4749	396
	24	5	4651	387
		5	6947	581
		8	6777	566
		10	6610	551
360*	24	8	7949	662
		10	7776	648

* С данным фондом времени работают печи непрерывного действия для цементации и печи с длительным тепловым режимом (отжиг, азотирование и т. п.).

** Потери времени на ремонт: для механического оборудования и печей, работающих в одну смену, — 3%; для печей, работающих в две смены, — 5%; и механического оборудования, работающего в три смены, — 5%; для круглосуточно работающих печей периодического действия — 8%; непрерывного действия механизированных — 10%.

Тепловой расчет печей

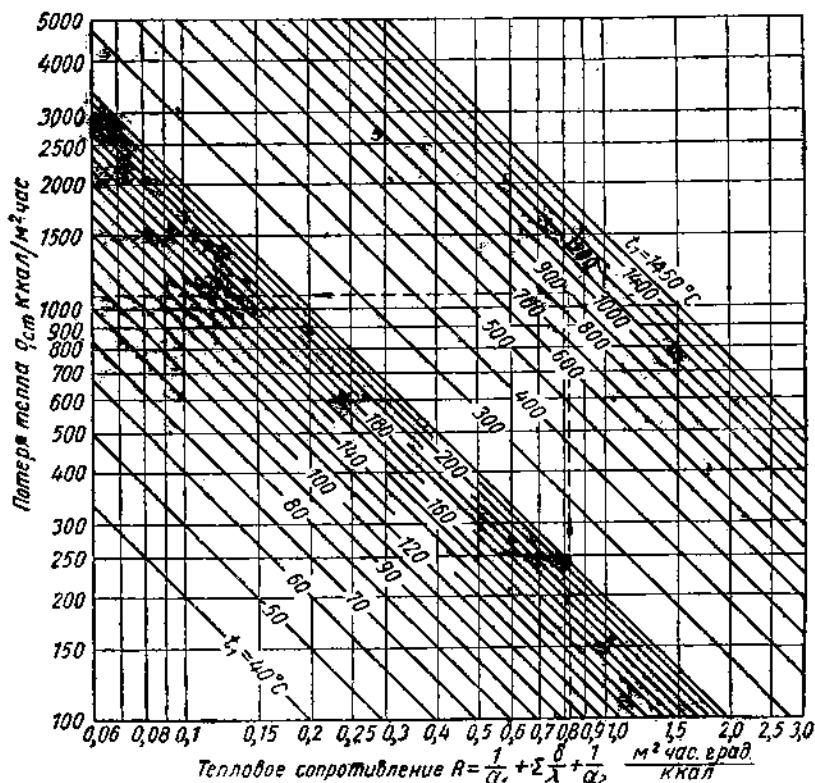
Параметр	Уравнение (формула)	Обозначение и размерность величин
А. Пламенных		
Общее уравнение теплового баланса	$BQ_N = \frac{Q_n + 1,05 Q_{вп}}{\eta_{ц}}$	Q_N — теплотворность топлива (низшая) в ккал/кг , ккал/м^3 ; $a = \frac{P_N}{P_б} = 1,0 \div 0,5$;
Тепло на нагрев металла (полезное тепло)	$Q_n = \frac{1}{a} P_N c (t_{мк} - t_{мн}) = \frac{m (g_n + g_s)}{\tau_n} c (t_{мк} - t_{мн})$	P_N и $P_б$ — производительность печи (нетто и брутто) в кг/час ;
Внешние потери тепла	$Q_{вп} = Q_{ст} + Q_A + Q_{акк} + \dots$	$m (g_n + g_s)$ — емкость печи в кг ; m — количество приспособлений в печи;
Потери тепла стенками печи	$Q_{ст} = \frac{t_1 - 20}{R} F \text{ (фиг. 3)}$	g и g_s — вес деталей и вес приспособлений в кг ;
Потери тепла лучеиспусканием через открытые окна	$Q_A = 4,0\varphi \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - 75 \right] F_{ок} \tau$	φ — количество деталей на приспособлении;
Потери тепла на аккумуляцию кладкой, конвейерами, тележками и т. п.	$Q_{акк} = G (t_{кк} - t_{кн})$	τ_n — продолжительность нагрева в час.;
Коэффициент использования топлива	$\eta_{ц} = 1 - \frac{1}{i_0} = \frac{t + nt_{вг}}{i_{0нз} + i_в + i_m}$	t_1 и T_1 — температура печи в $^{\circ}\text{C}$ и $^{\circ}\text{K}$;
Расход топлива	$B = \frac{Q_n + 1,05 Q_{вп}}{Q_N \eta_{ц}}$	$F = \sqrt{F_в \cdot F_N}$ — поверхность стенок печи (средняя в м^2); $F_в$ и F_N — то же внутренних и наружных в м^2 ;
Коэффициент полезного действия печи	$\eta = \frac{Q_n \cdot 100}{B Q_N}$	$\frac{1}{K} = \frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}$ в $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}{\text{ккал}}$;
Удельный расход топлива	$e = \frac{B}{P_N} = \frac{105 c t \left(\frac{1}{a\eta} - \frac{\tau_в}{\eta} \right)^*}{Q_N (1 - \tau_в)}$	$\frac{1}{a_1} \approx 0,01 + 0,05$; $\frac{1}{a_2} \approx 0,12 + 0,08$;
		a_1 и a_2 — коэффициенты теплоотдачи;
		$\sum \frac{\delta}{\lambda} \approx 2,5 + 0,8$;
		δ — толщина стенок печи в м ;
		λ — коэффициент теплопроводности в $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$;
		$\varphi = 0,55 \div 0,65$ — коэффициент диафрагмирования;

* Учтена потеря тепла на разогрев печи в количестве 5% от $Q_{вп}$.

Продолжение

Параметр	Уравнение (формула)	Обозначение и размерность величин
Б. Электрических		
Уравнение теплового баланса	$Q = Q_n + 1,05Q_{вл}^*$	$i_{кк}, i_{км}$ — теплосодержание кладки или металла в конце и начале нагрева.
Коэффициент полезного действия печи	$\eta = \frac{Q_n \cdot 100}{Q}$	i — теплосодержание продуктов горения при температуре выхода из печи в $\text{ккал}/\text{м}^3$; $i_0 = \frac{Q_n}{V_{пг}} = c t_{пг}$ — начальное теплосодержание продуктов горения в $\text{ккал}/\text{м}^3$;

* Расчет $Q_{вл}$ аналогичен расчету для пламенных печей.



Фиг. 3. Номограмма для определения потерь тепла через стенки печи в зависимости от температуры наружной поверхности и температуры между слоями.

Продолжение

Параметр	Уравнение (формула)	Обозначение и размерность величин
Расход электроэнергии	$W = 1,16 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{\alpha} P_H \Delta t_M + 1,05 Q_{вн} \right) = 1,16 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{\alpha} m (ng + g_s) \Delta t_M + 1,05 Q_{вн} \right]; \tau_H$	$V_{пг}$ — объем продуктов горения в м ³ ; $i_g = \alpha c t$ — теплосодержание подогретого воздуха в ккал/м ³ ; $i_m = \frac{V_g}{V_{пг}}$ — избыток воздуха; количество воздуха, приходящееся на 1 м ³ продуктов горения, в м ³ /м ³ ; $i_m = g c t$ — теплосодержание подогретого топлива (газа); $g = \frac{1}{V_{пг}}$ — количество топлива, приходящееся на 1 м ³ продуктов горения, в м ³ /м ³ ; Q'_H — количество топлива, потребное на нагрев металла (брутто), в ккал; τ_g — вспомогательное время на переналадку процесса (доля от полного времени) табл. на стр. 235
Удельный расход электроэнергии	$\theta = \frac{1,16 \cdot 10^{-3} 110 c t \left(\frac{1}{\alpha \eta} - \frac{\tau_g}{\eta} \right)}{1 - \tau_g}$	
Мощность печи (установленная) в квт	$N_y = (1,25 + 1,40) W$	

Примечание. Тепловой расчет и особенно сравнение показателей работы печей различной конструкции необходимо производить при переменной удельной производительности P_f кг/м² час. При постоянном коэффициенте использования топлива ($\tau_H = \text{const}$ при $i = \text{const}$) расход топлива есть прямолинейная функция от производительности; коэффициент полезного действия повышается, а удельный расход топлива уменьшается с увеличением производительности.

При повышении производительности печи, достигаемой за счет увеличения температуры продуктов горения (увеличения i), расход топлива общий и удельный увеличиваются, а к. п. д. падает.

Физические свойства некоторых материалов [40]

Наименование материала	γ в кг/м ³	λ ккал/м час·град	c ккал/кг·град	$\alpha \cdot 10^8$ в м ² /час
Асбест листовой . . .	770	0,10	0,195	0,712
Асбест. волокно . . .	470	0,095 (50°)	0,195	1,04
Бетон	2300	1,10	0,27	1,77
Гипс	1650	0,25	—	—
Глина огнеупорная . .	1845	0,89 (450°)	0,26	1,855
Дерево дуб:				
волокну	800	0,178	0,42	0,53
Земля сухая	1500	0,169	—	—
" влажная	1700	0,565	0,48	0,593
Каменный уголь	1400	0,16	0,312	0,37
Кирпич и изоляционные материалы		(см. табл. на стр. 252—257)		
Лед	920	1,935	0,54	3,89
Мрамор	2700	1,12 (90°)	0,10	4,15
Песок сухой	1500	0,28	0,19	9,85
" влажный	1650	0,97	0,50	1,77
Пробковая пластинка . .	190	0,035	0,45	0,42
Резина	1200	0,14	0,33	0,353
Стекло	2500	0,64	0,16	1,6
Стеклоплатная вата . .	200	0,032	0,16	1,0
Шлаковая вата	250	0,06 (100°)	0,06	—
Алюминий	2670	175	0,22	328
Бронза	8000	55	0,091	75
Латушь	8600	73,5	0,090	95
Медь	8800	330	0,091	418
Сталь	7900	39,0	0,11	45
Чугун	7220	54	0,12	625
Воздух	—	0,021	—	—

Степень черноты полного нормального излучения для некоторых материалов [87]

Наименование материала	Температура в °С	Степень черноты ϵ
Алюминий полированный	225—575	0,039—0,057
" шероховатый	26	0,055
" окисленный при 600°	200—600	0,11—0,19
Железо полированное	425—1000	0,144—0,377
" окисленное	100	0,736
" окисленное гладкое	125—525	0,78—0,82
" литое необработанное	925—1115	0,87—0,95
Стальное литое полированное	770—1040	0,52—0,56
Сталь листовая шлифованная	940—1100	0,55—0,61
" окисленная	200—600	0,80
Чугун окисленный	200—600	0,64—0,78
Окись железа	500—1200	0,85—0,95
Натунь тусклая	50—350	0,22
" окисленная	200—600	0,61—0,59
Медь окисленная	200—600	0,57—0,67
" расплавленная	1075—1275	0,16—0,13
Никелевая проволока	185—1000	0,096—0,186
Нихром	125—1035	0,64—0,76
Платиновая лента	930—1115	0,12—0,17
" проволока	225—1375	0,073—0,182
Свинец окисленный	25	0,281
"	200	0,63
Оцинкованное железо блестящее	28	0,228
" окисленное	24	0,276
Асбестовый картон	24	0,96
Бумага	20	0,924
Вода	0—100	0,96—0,963
Гипс	20	0,903
Дерево (дуб)	20	0,895
Кирпич красный	20	0,93
" шамотный глазурированный	1100	0,75
" огнеупорный	—	0,8—0,9
Лак белый эмалевый	23	0,906
" черный блестящий	25	0,875
" матовый	40—95	0,96—0,98
" белый	40—95	0,80—0,95
" алюминиевый	20	0,39
Мрамор серый	22	0,931
Резина мягкая	24	0,859
Стекло гладкое	22	0,937
Сажа	95—270	0,952
Толь	20	0,910
Уголь	125—625	0,81—0,79
Штукатурка известковая	10—90	0,91

Тепловые параметры жидкостей [87]

Наименование жидкости	γ	t °С	λ	c	$\alpha \cdot 10^3$
	в кг/м^3		в $\frac{\text{ккал}}{\text{м час град}}$	в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг град}}$	в $\text{м}^2/\text{час}$
Аммиак	617	20	0,49	1,13	0,703
То же	665	—32	0,48	1,10	0,656
Бензин	900	0	0,125	0,43	0,323
То же	900	50	0,095	0,44	0,24
Бензол	900	0	0,13	0,40	0,30
Керосин	850	0	0,104	—	—
То же	850	200	0,077	—	—
Крекинг-мазут (Г) озный	—	27	0,117	—	—
То же	—	47	0,115	—	—
Мазут А	—	32	0,102	—	—
То же	—	65	0,099	—	—
Нефтяное мас	890	200	0,039	0,58	0,173
Смола	1200	80	0,12	—	—

Коэффициент теплопроводности жидкостей $\lambda \cdot 10^2 \frac{\text{ккал}}{\text{м час град}}$ [87]

Наименование жидкости	Температура в °С						
	0	25	50	75	100	125	150
Спирт метиловый	18,4	18,12	17,8	17,6	—	—	—
Спирт этиловый	16,25	15,75	15,25	14,75	—	—	—
Ацетон . . .	15,0	14,5	14,0	13,55	13,0	—	—
Нитробензол .	13,25	12,9	12,6	12,3	12,0	11,7	—
Бензол . . .	13,0	12,45	11,9	11,35	10,8	10,35	—
Глицерин	23,8	24,05	24,35	24,6	24,85	25,1	25,4
Вазелиновое масло	10,75	10,65	10,5	10,4	10,2	10,1	9,95
Касторовое масло	15,8	15,55	15,25	15,0	14,7	14,45	14,2

Коэффициент теплопроводности газов при атмосферном давлении [87]

t в °С	$\lambda \cdot 10^3$ в ккал/м час град					
	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Воздух	H ₂
0	12,6	13,9	20,9	21,2	21,0	150,0
100	18,6	20,6	27,1	28,3	27,6	186,0
200	25,6	28,4	33,1	35,0	33,8	222,0
300	33,6	37,3	38,6	41,3	39,6	258,0
400	40,6	47,3	43,6	47,3	44,8	294,0
500	47,2	58,4	48,0	52,9	49,4	330,0
600	53,4	70,7	51,9	58,0	53,5	366,0
700	59,2	84,2	55,2	62,6	57,2	402,0
800	64,6	98,8	58,0	66,8	60,6	438,0
900	69,6	114,5	60,3	70,5	63,7	474,0
1000	74,2	131,0	62,2	73,8	66,5	510,0

Тепловая характеристика термических печей (к. п. д.)

(при производительности брутто)

Процесс термической обработки	Тип печей	К. п. д. в %	
		электрических	пламенных
Отжиг (при длительности $\tau = 4 + 6$ час.)	Периодического действия, камерные	50—70	10—12
	То же шахтные	55—70	11—13
	с выдвижным подом	45—60	8—12
	Непрерывного действия	60—75	12—15
Отжиг холоднокатанной стальной ленты и прутков	С выдвижным подом	45—55	6—9
	Коллаковые	60—75	16—22

Продолжение

Процесс термической обработки	Тип печей	К. п. д. в %	
		электрических	пламенных
Нормализация и закалка	Периодического действия, камерные	65—75	15—20
	То же, шахтные .	65—75	15—22
	Непрерывного действия толкательные	70—80	18—25
	То же конвейерные .	70—80	18—25
	с вращающимся подом	70—80	18—25
Азотирование	Периодического действия шахтные .	40—45	—
	То же с передвинутой камерой	40—45	—
Закалка и цианирование	Печи-ванны	60—70	6—8
Цементация твердым карбюризатором	Периодического действия камерные	60—75	12—15
	Непрерывного действия .	65—80	15—22
	С вращающейся ретортой .	65—75	15—20
Цементация газовая	Периодического действия шахтные и непрерывного действия муфельные .	65—75	18—25
	То же безмуфельные	—	20—25

ТОПЛИВО

Теплотворность твердого и жидкого топлива

А) по Кнорре *

Древесное топливо

$$Q_g = 9250 C + 27\,700 H - 3460 O \text{ ккал/кг.}$$

Торф и мазут

$$Q_g = 8880 C + 26\,640 H - 3330 O \text{ ккал/кг.}$$

Бурый уголь

$$Q_g = 8700 C + 26\,100 H - 3260 O \text{ ккал/кг.}$$

Битуминозные каменные угли

$$Q_g = 8550 C + 25\,600 H - 3200 O \text{ ккал/кг.}$$

Антрациты

$$Q_g = 8400 C + 25\,100 H - 3150 O \text{ ккал/кг.}$$

Б) по Дюлонгу

$$Q_g = 80,8 C + 344,6 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 25 S \text{ ккал/кг.}$$

В) по Менделееву

$$Q_g = 81 C + 300 H + 26 (S - O) \text{ ккал/кг.}$$

Г) по Фондрачеку

$$Q_g = (89,1 - 0,062 C^2) C + 270 (H - 0,1 O) + 25 S \text{ ккал/кг,}$$

где C^2 и C — содержание углерода в горючей и рабочей массе в %.

Для всех формул:

$$Q_H = Q_g - 6(9H + W) \text{ ккал/кг,}$$

где W — влажность топлива в %.

* Г. Ф. Кнорре, Точные процессы, Госэнергоиздат, 1951.

Теплотворность газообразного топлива

А. Общая формула для газообразного топлива

$$Q = \frac{q_{CO} \cdot CO + q_{H_2} \cdot H_2}{100} + \frac{q_{CH_4} \cdot CH_4 + \dots}{100},$$

где q_{CO} , q_{H_2} — теплота реакции горения горючих газов в $ккал/м^3$ (см. табл. на стр. 23).

CO , H_2 ... — содержание горючих газов в %.

По Кнорре для углеводородных газов

$$Q_n = 6600\bar{n} + 1950 \text{ ккал/м}^3.$$

где \bar{n} — углеродное число;

$$\bar{n} = \frac{CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + \dots}{100 - B}.$$

CH_4 , C_2H_6 ,... содержание углеводородов в %.

$B = (CO_2 + N_2)$ в %.

$Q_g = 7000\bar{n} + 2400$ ккал/м³ для газов метанового ряда (C_nH_{2n+2}).

$Q_g = 7000\bar{n} + 550$ ккал/м³ для газов этиленового ряда (C_nH_{2n}).

$Q_g = 7000\bar{n}$ ккал/м³ для газов ацетиленового ряда (C_nH_{2n-2}).

$Q_g = 7000\bar{n} - 7500$ ккал/м³ для газов бензольного ряда (C_nH_{2n-6}).

Расход воздуха; количество, состав и теплосодержание продуктов горения топлива

А. Эмпирические формулы по Гурвичу

а) Расход воздуха:
для твердого и жидкого топлива

$$V_a = 1,015 k_1 \alpha \frac{Q_n + 6W}{1000} \text{ м}^3/\text{кг};$$

для газообразного топлива

$$V_g = 1,015 k_1 \alpha \frac{Q_n}{1000} \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

б) количество продуктов горения:
для твердого и жидкого топлива

$$V_{n,z} = (k_2 + nk_1) \frac{Q_n + 6W}{1000} + 1,24 \frac{W}{100} \text{ м}^3/\text{кг};$$

для газообразного топлива

$$V_{n,z} = (k_2 + nk_1) \frac{Q_n}{1000} + \frac{B + 0,12W}{100} \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

в) теплосодержание продуктов горения:

для твердого и жидкого топлива

$$i = \left[(\delta + \alpha) \frac{Q_n + 6W}{100} + 1,37 \frac{W}{10} \right] (0,33 + 0,05 \cdot 10^{-3}t + 0,006 \cdot 10^{-3}t^2) t;$$

для газообразного топлива

$$i = \left[(\delta + m\alpha) \frac{Q_n}{100} + \frac{B + 0,14W}{100} \right] (0,33 + 0,05 \cdot 10^{-3}t + 0,006 \cdot 10^{-3}t^2) t,$$

где Q_n — низшая теплотворность топлива в $ккал/кг$, $ккал/м^3$; α — коэффициент избытка воздуха; n — избыток воздуха

$$n = \alpha - 1;$$

W — влажность топлива в % для твердого и жидкого топлива и в $г/м^3$ для газообразного; B — содержание в продуктах горения $CO_2 + O_2 + N_2$ в %; k_1 , k_2 , δ и m — коэффициенты, значения которых следующие:

Вид топлива	k_1	k_2	δ	m
Дрова	1,05	1,21	0,22	—
Торф	1,05	1,19	0,19	—
Горючие сланцы	1,12	1,21	0,19	—
Бурые угли	1,09	1,16	0,17	—
Каменные угли	1,09	1,16	0,14	—
Антрацит и кокс	1,10	1,14	0,14	—
Жидкое топливо	1,10	1,19	0,17	—
Природный газ и крекинг-газы	1,10	1,24	0,22	1,0
Коксовый газ	1,0	1,16	0,24	0,9
Генераторный и доменный (древесноугольный) газы	0,86	1,04	0,24	0,8
Доменный (коксовый) газ	0,79	0,96	0,24	0,75

Б. Эмпирические формулы для углеводородных газов (природных) по Кнорре

при углеродном числе

$$\bar{n} = \frac{\text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_6 + 3\text{C}_3\text{H}_8 + \dots}{100}$$

Расход воздуха в $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$V_{\text{в}} = 7,13\bar{n} + 2,28;$$

$$V_{\text{в},\alpha} = (7,13\bar{n} + 2,28) \alpha.$$

$$V_{\text{пз}} = 7,6\bar{n} + 2,9 \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad Q_{\text{н}} = 6000\bar{n} + 1950 \text{ ккал}/\text{м}^3.$$

Количество продуктов горения в $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$V_{\text{пз}} = 7,6\bar{n} + 2,9;$$

$$V_{\text{пз},\alpha} = \bar{n}(7,6 + 7,13\alpha) + 2,28\alpha + 2,9.$$

Состав продуктов горения в $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$\text{CO}_2 = \bar{n};$$

$$\text{H}_2\text{O} = \bar{n} + 1;$$

$$\text{N}_2 = 5,6\bar{n} + 1,9 \text{ (при } \alpha = 1,0, n = 0,0)$$

$$(\text{O}_2 + \text{N}_2)_{\alpha} = \bar{n}(5,6 + 7,13\alpha) + 2,28\alpha + 1,9$$

(при $\alpha > 1,0$ $n > 0,0$).

Характеристика газообразного топлива

Вид топлива	Типичный химический состав в %	Теплотворность $Q_{\text{н}}$ ккал/м ³	Начальное теплосодержание продуктов горения при $\alpha = 1,0$ в ккал/м ³
Генераторный газ (древесный, торфяной и каменноугольный)	5—9 CO ₂ ; 20—28 CO; 7—13 H ₂ ; 3 CH ₄ ; остальное N ₂	1100—1550	600—715
Светильный и коксовальный газы	3 CO ₂ ; 8—9 CO; 45—55 H ₂ ; 25—35 CH ₄ ; остальное N ₂	4000—5400	830—845
Нефтяной и природный газы	75—95 CH ₄ ; остальное CO ₂ , C ₂ H ₆ , O ₂ и N ₂	8000—10 000 $Q_{\text{н}} = 6000\bar{n} + 1950$	770—780
Сжиженные (углеводородные) газы типа C _n H _{2n+2}	60C ₃ H ₈ ; 40 C ₄ H ₁₀ ; 100C ₂ H ₆ ; 100C ₄ H ₁₀	20 000—25 000 $Q_{\text{н}} = 6000\bar{n} + 1950$	815—825

Средний состав продуктов горения газообразного топлива при $\alpha = 1,0$ в %

Топливо	CO ₂	H ₂ O	N ₂
Генераторный газ	17,6	7,8	74,6
Светильный и коксовальный газы	9,0	21,0	70,0
Природный и нефтяной газы	9,7	18,7	72,6
Природный, нефтяной, сжиженные углеводородные газы в $\text{м}^3/\text{м}^3$	\bar{n}	$(\bar{n} + 1)$	$(5,6\bar{n} + 1,9)$

Методика определения расхода топлива и электроэнергии

(Пример)

Наименование и тип печи	Количество охотипных печей n	Коэффициент использования (загрузки) K	Производительность печи (средняя нетто) P_H в кг/час	Коэффициент полезного действия печи η 100	Коэффициент, учитывающий нагрев приспособлений, $\frac{P_H}{P_H + P_{пр}}$	Расход топлива $B = \frac{Q_H \cdot 100}{Q_H \eta} = \frac{P_H}{a} \cdot ct \cdot 100$ в $M^3/час$, $квт-ч$	Фонд времени работы печей Φ в час/мес	Доля времени на перекалку τ_B	Расход топлива (электроэнергии) $B_H = B \Phi (1 - a \tau_B)$ в $M^3/мес$, $квт-мес$	Удельный расход топлива (электроэнергии) $b = \frac{B(1 - a \tau_B)}{P_H(1 - \tau_B)} \times (1,05 + 1,10) = \frac{100 \cdot ct \left(\frac{1}{a\eta} - \frac{\tau_B}{\eta} \right)}{Q_H(1 - \tau_B)} \times (1,05 + 1,10)$ в $кг/кг$; $M^3/кг$; $квт-ч$
I. Светильный газ ($Q_H = 5400$ ккал M^3)										
Печи непрерывного действия для цементации $F = 1,2 \cdot 8,0 = 9,6 M^2$	4	0,80	120	0,15	0,5	$B = 42,5 M^3/час$	645	0,5	65 600	0,55
Печи для нагрева ползакалку $F = 1,0 \cdot 1,4 = 1,4 M^2$	2	0,75	210	0,18	1,0	$B = 26,6$	386	0,2	12 300	0,13
II. Электроэнергия										
Печи с передвижной камерой нагрева для азотирования (мощностью 100 $квт$).	6	0,90	20	0,50	0,6	$W = 56,0$	645	0,1	184 000	3,0
Печи шахтные для отпуски	4	0,70	200	0,75	0,9	$W = 18,5$	197	0,1	10 340	~0,10

Системы сжигания различных видов топлива

Система сжигания	Вид топлива	Давление перед горелкой (форсункой) в мм вод. ст. или в атм		Рациональный тип горелки, форсунки	Краткая характеристика системы сжигания
		топлива	воздуха		
Низкого и среднего давления	Мазут	2,0—3,0*	400—1000	Союзтепlostрой с двойным регулированием подачи воздуха, Стайлпроект, Органерго	Кольцевая система подачи мазута с подогревом его до 60—80°
Высокого давления	Мазут	0,5—2,0*	2,0—4,0*	Шухова и с охлаждением водой	То же и тупиковая
Пламенное сжигание	Газообразное (газы всех сортов)	100—200	100—200	Союзтепlostрой, типа Г; ЦНИИТМАШ	$\alpha = 1,05+1,10$
Поверхностное беспламенное сжигание высокого давления	Генераторные газы $Q_H = 1200+1500 \text{ ккал/м}^3$	700—1000	—	С инспиратором-нижектором. Горелки: туннельные, сводовые и ударные, радиационные трубы (вертикальные)	$\alpha \leq 1,05$; количество горелок на инспиратор 1—4 шт.
	Водяной и смешанный газы $Q_H = 2600+3000 \text{ ккал/м}^3$	1000—2000	—	То же	То же
	Светильный и коксовальный газы $Q_H = 4000+5500 \text{ ккал/м}^3$	3000—5000	—	Инспираторы-горелки, двойного смешения, радиационные трубы (вертикальные)	$\alpha \leq 1,05$; количество горелок на инспиратор 1—4 шт.
	Нефтяной и природный газы $Q_H = 8000+10\,000 \text{ ккал/м}^3$	1,4—1,8*	—	То же	То же
Поверхностное беспламенное сжигание низкого давления	Газы всех сортов, включая углеводородные $Q_H \approx 20\,000 \text{ ккал/м}^3$	50—125	700—1200	Механический смеситель или инспиратор с пропорционирующим смесителем, радиационные трубы (вертикальные)	
Микрофакельное	То же	50—125	700—1200	Керамические горелки	$\alpha \leq 1,05$
Диффузионное		100—200	400—1200	Радиационные трубы (горизонтальные)	То же
Атмосферное		50—200	—	Атмосферные горелки — «розетки» и трубы	Подсос воздуха в инспиратор при $\alpha = 1,5+0,6$; остальной воздух из атмосферы

Примечание. Значения давления со знаком * выражены в атм.

Техническая характеристика форсунок

Тип форсунки	Диаметр гнезда сопла в мм	Производительность в кг/час при давлении воздуха в мм вод. ст.							Диаметр воздухопровода в мм	
		150	300	400	450	500	600	700		
Одноступенчатая большой производительности	ФОБ-1*	16 20	2 3	3 3,7	4 6	— —	4,2 7	— —	— —	38
	ФОБ-2	20 26	4 5	5,5 8	7 10	— —	8 12	— —	— —	50
	ФОБ-3	45 50	14 17	21 25	25 30	— —	27 33	— —	— —	75
	ФОБ-4	70 80	25 32	25 45	41 51	— —	45 56	— —	— —	100
Двухступенчатая большой производительности	ФДБ-1*	50	—	—	—	20	22	24	25	50
	ФДБ-2	64	—	—	—	30	34	37	40	75
	ФДБ-3	70	—	—	—	48	52	56	60	100
	ФДБ-4	90	—	—	—	76	82	89	95	125
Низкого давления Стальпроекта**	A-40	40	—	16	18	—	20	22	24	—
	A-30	30	—	11	13	—	14,5	16	17	95
	A-60	60	—	38	44	—	50	55	58	100
	A-52	52	—	32	36	—	41	46	49	—
	A-75	75	—	54	62	—	69	76	81	125
	A-95	95	—	80	95	—	105	115	120	150
A-125	125	—	135	148	—	170	185	205	200	

* Форсунки типа ФОБ и ФДБ Союзтеплостроя, указана максимальная производительность.

** Производительность форсунок Стальпроекта приведена при $\alpha = 1,2$. Форсунки изготовляются двух типов — бесфланцевые А и с фланцами Б.

Помимо указанных типов форсунок применяются и многие другие, например, Оргэнерго, ЦНИИТМАЦ с вихревым движением факела, паро-воздушная.

Характеристика форсунок по данным испытаний см. [150].

Техническая характеристика газовых горелок пламенного горения низкого давления

Тип горелки*		Производительность в м ³ /час	Диаметр газо- и воздухопровода в мм		Давление в мм вод. ст. (числитель) и скорость в м/сек (знаменатель)		Размер сопла газозвудушной смеси в мм
			газо-провода	воздухо-провода		воздуха	
С раздельной подачей газа и воздуха	ГШ-1	5-15	25	25	$\frac{50-100}{10-15}$	$\frac{100-200}{15-20}$	22,5×50 21×75 24,5×118 24,5×128
	ГШ-1 ^{1/2}	10-30	37	37			
	ГШ-2	20-60	50	50			
	ГШ-2 ^{1/2}	40-100	63	63			
Щелевая	ГШ-3	60-140	75	75	$\frac{50-100}{10-15}$	$\frac{100-20}{15-20}$	53×120 58×150 68×183
	ГШ-4	100-200	100	100			
	ГШ-5	150-300	125	125			
Тангенциальная с вихревым факелом	ГТН-1	50-100	50	65	$\frac{\geq 80-100}{10-15}$ Скорость смеси 10-12 м/сек	$\frac{\geq 100-150}{15-20}$	∅ 70 ∅ 90 ∅ 115 ∅ 140 ∅ 170 ∅ 200
	ГТН-2	100-200	65	80			
	ГТН-3	150-300	85	100			
	ГТН-4	200-400	100	125			
	ГТН-5	300-600	125	150			
	ГТН-6	500-1000	150	170			
С вихревым факелом	ГТ-1	100	67	80	$\frac{\geq 80-100}{10-15}$ Скорость смеси 10-12 м/сек	$\frac{\geq 100-150}{15-20}$	∅ 80 ∅ 100 ∅ 126 ∅ 160 ∅ 200 ∅ 250
	ГТ-2	160	85	100			
	ГТ-3	250	106	125			
	ГТ-4	400	132	160			
	ГТ-5	630	170	200			
	ГТ-6	1000	212	250			

* Горелки ГШ — Союзтеплострой, ГТН — Стальпроекта.

Горелки поверхностного беспламенного горения

Обязательным условием нормальной эксплуатации горелки является $W_c > U_2$. Скорость газозвудушной смеси по вылете из сопла горелки должна быть больше скорости распространения пламени

$$W_c = \frac{V_c}{f_{c,2}} = \sqrt{\frac{2gh_c}{\gamma_c}} \text{ м/сек.}$$

где V_c — объем газозвудушной смеси в м³/сек; $f_{c,2}$ — площадь сопла горелки при его диаметре $d_{c,2}$; h_c — давле-

ние газозвудушной смеси в горелке в атм; $h_c \approx 60 \div 70$ мм вод. ст.; γ_c — удельный вес газозвудушной смеси в кг/м³.

Диаметр туннеля горелки $D_m \approx 2,5 d_{c,2}$ мм (туннель изготавливается также конусным). Длина туннеля горелки $L_m = 6 d_{c,2} + 30$ мм для генераторного и природного газов и $L_m = 2,25 d_{c,2} + 20$ мм для светильного, коксового и водяного газов. К одному инспиратору-смесителю может быть присоединено 1, 2, 3 ... n горелок; в этом случае между диаметрами сопла горелки $d_{c,2}$ и сопла инспиратора $d_{c,u}$ существует соотношение $d_{c,u} = 0,42 d_{c,2} \sqrt{n}$.

Размеры газовых горелок и туннелей системы беспламенного сжигания

Условное обозначение	Диаметр сопла горелки $d_{сг}$ в мм	Размеры горелки в мм			№ горелки и длина в мм ($N - L_2$)	Размеры туннеля в мм			Производительность в м ³ /час при $Q = 1300$ ккал/м ³ и давлении газа в мм вод. ст.		
		диаметр внутренний	диаметр внешний	диаметр газопровода		Диаметры		Длина L_m	700	1200	1500
						D'_m	D''_m				
ШИ-3	10—19	40	65	38	1—65, 2—100, 3—140, 4—180, 5—215, 6—255, 7—290	42	38	95	5—11	6—15	8—20
ШИ-8	—	50	75	38	8—330, 9—370, 10—405, 11—445, 12—485, 13—520, 14—560	53	48	143	—	—	—
ШИ-9	21—25	50	75	50	15—21	56	51	146	15—20	18—24	22—30
ШИ-12	—	65	90	50	22—28	69	64	159	—	—	—
ШИ-15	29—32	65	90	75	29—35	80	73	187	26—32	33—39	41—50
ШИ-16	—	75	100	75	36—42	80	73	197	—	—	—
ШИ-18	35—38	75	115	—	43—56	88	80	238	40—48	50—57	60—70
ШИ-20	—	—	—	—	—	95	86	257	—	—	—
ШИ-22	41—44	90	130	—	57—70	105	95	257	55—60	65—75	80—90
ШИ-24	—	—	—	—	—	118	108	280	—	—	—

Размеры и производительность инспираторов смесителей высокого давления

Условное обозначение	Производительность в м ³ /час	Размеры в мм								
		Диаметр горловины $D_{горл}$	Длина горловины $L_{горл}$	Диаметр диффузора $D_{диф}$	Длина диффузора $L_{диф}$	Длина конуса $L_{кон}$	Угол конуса α	Общая длина смесителя L	Диаметр газопровода в дюймах	Диаметр газопровода воздушного трубопровода в дюймах
ИИ-1	9,6	1	80	26	95	22	18	280	$1\frac{1}{4}$	1
ИИ-2	13,6	16	85	32	140	22	18	330	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
ИИ-3	20,0	20	125	38	150	22	20	380	1	$1\frac{1}{2}$
ИИ-4	30,2	24	140	48	190	28	20	410	1	2
ИИ-5	44,0	28	185	56	250	38	21	585	$1\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$
ИИ-6	71,0	34	210	68	290	42	21	670	$1\frac{1}{2}$	3
ИИ-7	96,0	40	235	80	345	62	21	770	$1\frac{1}{2}$	4
ИИ-8	142,0	48	280	96	395	67	21	875	2	4

Свойства мазута-топлива (по ГОСТ 1501-42)

Физико-химические свойства	Марка мазута			
	10	20	40	80
Вязкость по Энглера при 75° С не более	3,6	6,0	10,0	16,5
Температура вспышки по Бренкену в °С не ниже	65	80	100	110
Температура застывания в °С не выше	+5	+5	+10	+25
Содержание:				
воды в % не более	0,3	0,3	0,3	0,3
зола в % не более	2	2	2	2
серы в % не более	4	4	4	4

Коэффициент для пересчета различных видов топлива на условное
 $Q_H = 7000 \text{ ккал/кг}^*$

Вид топлива	Теплотворность Q_H в ккал/кг или ккал/м ³	Коэффициент
		$\beta = \frac{\eta_H Q_H}{\eta_{\text{ш}} Q_{\text{ш}}}$
Твердое	4 500	0,60
	6 000	0,82
	7 000	1,00
	8 000	1,10
Мазут	9 600	1,35
	1 200	0,145
Генераторный газ	1 300	0,163
	1 500	0,200
Светильный и коксовальный газы	4 000	0,55
Природный газ	8 200	1,40
	11 000	1,75
Сжиженные газы .	24 000	3,70

* $X_{\text{ш}} = X_{Q_H} \cdot \beta$.

Пределы и температуры взрываемости (воспламенения) газовоздушных смесей и некоторых жидких и твердых видов топлива [118]; [77]

Наименование видов топлива	Температура воспламенения	Содержание газа в воздухе в % (объемных)		Наибольшая скорость распространения пламени в м/сек
		Нижний предел	Верхний предел	
Метан CH_4	630—750	5,3—5,6	14,5	67,0
Этан C_2H_6	530—605	3,0	12,5—15,0	85,0
Этилен C_2H_4	475—550	3,3—4,0	14,0—18,3	166,0
Пропан C_3H_8	510—580	2,1	9,5	82,0
Пропилен C_3H_6	465	2,6	7,5	101,0
Бутан C_4H_{10}	475—550	1,6—1,9	8,5	82,5
Бутилен C_4H_8	445	1,9	6,0	98,0
Оксид углерода CO	610—658	12,4—15,6	70,9—75,0	41,5
Водород H_2	530—590	4,1—9,5	65,2—75,0	267,0
Ацетилен C_2H_2	335—500	3,5	52,3	135,0

Продолжение

Наименование видов топлива	Температура воспламенения	Содержание газа в воздухе в % (объемный)		Наибольшая скорость распространения пламени в см/сек
		Нижний предел	Верхний предел	
Аммиак NH ₃	—	16,1	26,4	—
Доменный газ	—	35,0	74,0	—
Генераторный газ	—	20,7	74,0	—
Водяной газ	—	5,0	25,0	—
Коксовый газ	—	5,6	30,4	—
Светильный газ	—	3,0	24,5	—
Природный газ	—	3,0	15,0	—
Нефтяной газ	—	1,1	5,5	—
Керосин	270—320	—	—	—
Бензин	410—560	—	—	—
Нефть	360—400	—	—	—
Бензол	720—770	—	—	—
Торф, дерево	225—295	—	—	—
Древесный уголь	350	—	—	—
Бурые угли	450	—	—	—
Кокс	600—700	—	—	—

С повышением температуры пределы воспламенения расширяются.

Пределы воспламенения газовых смесей определяются из соотношения:

$$N = \frac{100}{\frac{P_1}{n_1} + \frac{P_2}{n_2} + \frac{P_3}{n_3} + \dots}$$

где N — предел воспламенения (нижний или верхний) газовой смеси, состоящей из компонентов 1, 2, 3...; $p_1, p_2, \dots, p_n, n_1, n_2, \dots$ — содержание компонентов в газовой смеси и их пределы воспламенения (нижний или верхний).

Пределы воспламенения сужаются, если в газовой смеси содержатся CO₂ и H₂O (см. [77]).

Предельно-допустимое содержание некоторых ядовитых газов, паров и пыли в воздухе производственных помещений (по ГОСТ 1324-47)

Наименование веществ	Предельно-допустимая концентрация в мг/л воздуха	Наименование веществ	Предельно-допустимая концентрация в мг/л воздуха
Аммиак	0,02	Серауглерод	0,01
Бензин, дигронт, керосин, минеральные масла	0,3	Фенол	0,005
Бензол	0,1	Фосфор желтый	0,00003
Оксиды азота (в пересчете на N ₂ O ₅)	0,005	Фосфористый водород	0,0003
Оксид этилена	0,001	Хлорбензол, ди- и трихлорэтан, четыреххлористый углерод	0,05
Оксид цинка	0,005	Хлористый водород и соляная кислота	0,01
Оксид углерода	0,02+0,03	Хлор	0,001
Ртуть металлическая	0,00001	Цианистый водород	0,0003
Свинец и его неорганические соединения	0,00001	Этиловый (диэтиловый) эфир	0,3
Серная кислота и серный ангидрид	0,002	Пыль, содержащая кварц в количестве свыше 50% (пыль кварца, песка, кварцита и др.)	2,0 мг/м ³
Сернистый газ	0,02+0,04	Все остальные виды пыли	до 10 мг/м ³
Сероводород	0,01		

МАТЕРИАЛЫ

Характеристика жароупорной стали, применяемой для деталей печей [176]

Марка стали		Удельный вес γ в кг/дм ³	Удельное электро-сопротивление ρ в $\frac{\text{ом}\cdot\text{мм}}\text{м}$ при 20°	Коэффициент линейного расширения β (20—100°)	Теплопроводность λ в $\frac{\text{ккал}}\text{м}\cdot\text{град}\cdot\text{час}$	Теплоемкость c в $\frac{\text{ккал}}\text{кг}\cdot\text{град}$	Начало интенсивного окисления в °С	Прочность на разрыв в кг/м.м ²	Область применения
Магнитная	1X13 .	7,75	0,57	10,6·10 ⁻⁶	34,0	0,16	700	50—60	Детали печей; лист, прокат при $t \leq 700^\circ$
	2X13								
	3X13								
	4X13 .								
	X17 .	7,6	0,65	10,5·10 ⁻⁶	20,0	0,12	900	50—55	
	X18 .								
	X10C2M								
	X25C3H	7,6	0,75	10,7·10 ⁻⁶	18,0	0,11	900	100—120	
	7,6	0,80	10,0·10 ⁻⁶	18,0	0,11	1100	100—120	Литье при $t \leq 1100^\circ$	
Немагнитная	0X18H9	7,9	0,75	(16,0+16,7)·10 ⁻⁶	12,5	0,12	900	60—70	Лист, прокат, литье при $t \leq 850^\circ$
	1X18H9								
	1X18H9Г								
	2X18H9 .								
	X20H14C2	7,8	0,95	17,0·10 ⁻⁶	11,0	0,12	1000	60—75	
X18H25C2	7,85	1,02	116,0·10 ⁻⁶	11,0—13,0	0,12	1100	60—75		

Основные свойства огнеупоров [176]

Наименование (класс, сорт, марка)	Вес		Огнеупорность в °С	Предел допустимой температуры в °С	Удельное электросопротивление при 800° р · 10 ³ ом см	Удельная теплоемкость с в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг град}}$	Коэффициент теплопроводности λ в $\frac{\text{ккал}}{\text{ч час град}}$	Прочность при сжатии в кг/см ²	Температура начала деформации под нагрузкой в 2 кг/см ²
	объемный в кг/м ³	удельный							
Шамотный кирпич А Б В	1,8—1,9	2,54—2,62	1730	1300—1400	7—15	0,21+0,055а*	0,72+0,05а*	100 125 100	1150
			1670	1250—1300					
			1580	1200—1250					
Диасовый кирпич I II	1,9—1,95	2,38—2,40	1710	1600—1650	200 9 (1200°)	0,2+0,06а	0,3+0,6а	200 175	1650 1620
			1690						
Талько-магн:	—	2,85	1540—1560	—	—	0,3 (200°)	0,6+0,55а	300—400	1500
Изделия из плавленого муллита	2,1—2,4	3,0	1800—1850	1750	—	0,22+0,06а	—	1500—3000	1700
Силикатовые изделия (муллитовые)	2,2—2,4	2,9—3,0	1780—1850	1650	180 11,5(1200°)	0,2+0,06а	1,45—0,2а	400—800	1500—1650
Корундовые (алундовые) изделия	2,3—2,6	3,7—3,9	1800—2000	1600—1700	1000 100 (1200°)	0,19+0,1а	1,8+1,6а	200—800	1550—1650
Карборундовые изделия (карбофракс)	2,3—2,6	3,1—3,2	2000—2200	1400—1500	800 40 (1200°)	0,23+0,35а	18—9а	400—900	1500—1650
Графитовые изделия	1,6	2,2	2000	2000	—	0,2	140—35а	200—300	1900
Красный кирпич	1,3	—	—	700—750	—	0,21+0,055а	0,4+0,44а	50—150	—

* а = 10⁻³г.

Физические свойства шамотного кирпича [182]

ГОСТ. ОСТ	Класс и сорт	Огнеупорность в °С не ниже	Предел прочности при сжатии в кг/см ² не менее	Дополнительная усадка в процен- тах при темпера- туре не более	Пористость (кажущаяся) в процентах не более
390-41	А. Сорт 1	1730	100	0,7 при 1400°	—
		1730	100	1,0 1400°	—
		1730	80	1,0 1400°	—
	Б. Сорт 1	1670	125	0,7 1350°	—
		1670	100	1,0 1350°	—
		1670	80	1,0 1350°	—
	В. Сорт 1	1580	100	0,7 1250°	—
		1580	80	1,0 1250°	—
	16238-39 (наделяя огнеупорные полукислые)	ПК	1710	100	0,7 при 1400°
ПГ		1670	125	0,6 1400°	25
ПР		1610	100	1,0 125°	32

Шамотный кирпич по ГОСТ 390-41 применяется как в печах непрерывного действия со стационарным температурным режимом, так и в печах периодического действия с переменным температурным режимом.

При этом допустима максимальная температура кладки:

для кирпича класса А 1300—1400°
 Б 1250—1300°
 В 1200—1250°

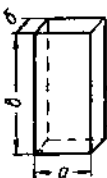
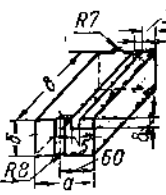
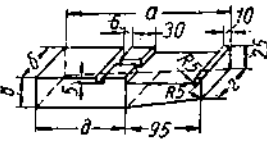
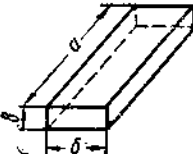

Допускается замена шамотного кирпича класса Б полукислым кирпичом ПГ а кирпича класса В—полукислым кирпичом ПР.

Размеры нормального шамотного кирпича

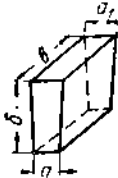
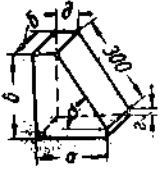
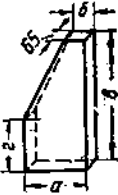

(ГОСТ 389-41) [182]

Кирпич	Большой размер				Малый размер			
	Размеры в мм			Вес в кг	Размеры в мм			Вес в кг
	длина	ширина	толщина		длина	ширина	толщина	
Прямой Клин ребровой односторонний Клин ребровой двухсторонний Клин торцевой односторонний Клин торцевой двухсторонний	250	123	65	3,8	230	113	65	3,2
	} 250	123	65/55	3,4	230	113	65/55	3,0

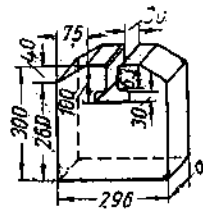
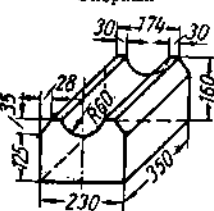
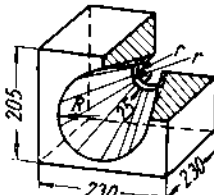
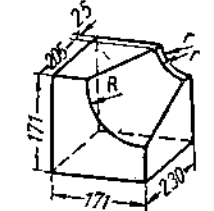
Форма и размеры шамотного кирпича (по ГОСТ 4247-48) [182]

Наименование кирпича и форма	Марка	Размеры в мм							Вес в кг	Применение
		a	a ₁	b	c	g	d	α°		
Прямой 	H-3	118	—	100	230	—	—	—	4,9	Для выравнивания швов кладки Для перевязки и выравнивания кладки на длине в сочетании с прямым кирпичом Н-1 1. То же по ширине 2. При кладке пролетов и сводов 1. Для стен 2. Для сводов и для арок нагрузочных окон совместно с Н-15
	H-4	113	—	65	171	—	—	—	2,4	
	H-5	111	—	35	230	—	—	—	4,9	
	H-6 (Н-71)	150	—	65	300	—	—	—	5,6	
Прямой (специальный) 	H-7	113	—	65	230	—	—	—	3,2	Для стен электрических печей
Полочка прямая секторная 	H-8	210	—	113	35	113	115	—	1,4	Для крепления нагрева- телей электрических печей
	H-9	175	—	90	35	68	80	—	1,0	
Плита и брус 	H-10	460	—	230	100	—	—	—	20,1	Для перекрытия проемов То же Для перекрытия проемов и камер нижних топок
	H-11	460	—	171	100	—	—	—	15,7	
	H-12	575	—	171	100	—	—	—	18,7	
Клин торцевой (двухсторон- ный и односторонний) 	H-14 (Н-73)	45	65	113	230	—	—	—	2,7	Для кладки сводов в со- четании с кирпичом Н-1 для R = 520+1260 мм То же в сочетании с кирпичом Н-6 для R = 1650+3600 мм Для перевязки колец в сводах (клин односто- ронний) То же Для кладки сводов в со- четании с кирпичом Н-4 для R = 1260+2700 мм (клин односторонний) То же, что и кирпич Н-18, для R = 520+1260 мм
	H-15 (Н-74)	55	65	150	300	—	—	—	5,1	
	H-16 (Н-75)	55	65	171	280	—	—	—	4,5	
	H-17 (Н-16)	45	65	171	230	—	—	—	4,1	
	H-18	55	65	113	171	—	—	—	2,2	
	H-19	45	65	113	171	—	—	—	2,0	

Продолжение

Наименование кирпича и форма	Марка	Размеры в мм						Вес в кг	Применение	
		a	a ₁	b	v	z	δ			α°
Клин ребровой (двухсторонний и односторонний) 	Н-21 (Н-78)	45	65	113	230	—	—	—	2,7	Для кладки сводов в сочетании с кирпичом Н-1 для R = 260—630 мм
Пятовый 	Н-22 (Н-79)	230	300	150	275	15	65	60	11,9	Для прямых сводов и арок загрузочных окон То же
	Н-23 (Н-80)	230	230	113	205	43	68	45	7,3	
	Н-24	230	230	113	275	75	115	60	11,1	Для перекрытия дымоходов в стенах и оконных проемах
	Н-25	230	230	345	275	75	115	60	34,0	
	Н-26	230	171	113	205	84	109	45	8,5	Для прямых сводов То же
	Н-27	230	171	113	205	57	145	60	8,8	
	Н-28 (Н-82)	113	113	230	135	37	56	60	5,5	То же, что и кирпич Н-23
	Н-29	113	113	345	135	37	56	60	8,2	То же, что и кирпич Н-25 Для свода δ = 300 мм
	Н-30	275	300	150	275	65	65	45	15,3	
	Оконный 	Н-31	230	—	115	230	30	—	—	5,1
Н-32		171	—	56	345	145	—	—	5,9	
		Размеры в мм						Вес в кг	Примечание	
	Марка				b	v				
Радикальный 	Н-33	76		113		65	230	2,7	Для футеровки шахтных печей в сочетании с кирпичом Н-1 при D = 1000 ÷ 2000 мм	

Продолжение

Наименование кирпича и форма	Марка	Размеры в мм		Вес в кг	Применение
		a			
Подвесной прямой 	Н-40 Н-41	100 75		15,3 11,5	Для сводов Для выравнивания кладки свода по длине
	Марка	Размеры в мм		Вес в кг	Применение
			R		
Опорный 	Н-42	—	—	22,5	Для подовых направляющих (труб)
Горелочные 	Н-43	25	75	17,1	Для горелок
	Н-44	37,5	95	11,3	Для горелок и форсунок
	Н-45	50	105	11,8	
	Н-46	62,5	120	11,0	
	Н-47	75	130	9,3	
	Н-48	87,5	135	8,7	
	Н-49	100	135	8,2	
					Примечание. Марки dinasового кирпича (Н-71) — (Н-82).

Основные свойства пористых огнеупорных изделий (легковесов) [176]

Огнеупор	Объемный вес в кг/дм ³	Прочность на сжатие в кг/см ²	Огнеупорность в °С	Начало деформации под нагрузкой 2 кг/см ² при температуре в °С	Коэффициент теплопроводности λ в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{час}\cdot\text{град}}$	Температура при- менности в °С	Область применения
Химлегковес Пенолегковес	0,74 0,54—0,61	30—40 25—35	1710 1710—1730	1190 1130—1260	0,13—0,11a* 0,08—0,14a	1200 1150—1300	Для печей, работающих непрерывно без резких колебаний температур
Ультралегковес (пенолегковес)	0,27—0,33	7—10	1710—1730	1130	0,05—0,15a	1100	
Пеношамот Легковес выгораю- щими добав- ками	0,95	30	1740	1340	0,24—0,2a	1350	Для всех термических печей
	0,6	10	1630	1280	0,09—0,125a	1300	
	1,3	50	1750	1300	0,35—0,3a	1800	
	1,0	30	1700	1250	0,25—0,22a	1260	

* $a = 10^{-3} t$.

Характеристика теплоизоляционных материалов

Материал	Максимальная температура применения в °С	Объемный вес в кг/дм ³	Коэффициент теплопроводности λ в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{час}\cdot\text{град}}$
Диатомит необоженный в кусках	800	0,68	0,147—0,2a*
То же в порошке	900	0,55	0,08—0,210a
обоженный в порошке	1000	0,55	0,085—0,215a
Кирпич диатомовый	900	0,50	0,095—0,125a
	900	0,60	0,125—0,27a
	950	0,70	0,17—0,23a
	900	0,40	0,07—0,19a
	900	0,45	0,088—0,17a
Кирпич пенодиатомовый	900	0,50	0,095—0,20a
	900	0,55	0,103—0,17a
	500	0,34	0,075—0,21a
Асбест распушенный 3-й сорт	500	0,90	0,14—0,16a
Асбестовый картон	500	0,80	0,11—0,13a
Асбестовый шнур	300	—	—
Шлаковая минеральная вата	—	0,20	0,048—0,13a
	1-й сорт	—	—
	2-й сорт	—	—
3-й сорт	750	0,30	0,052—0,135a
Стеклозная вата	600	0,30	0,06—0,135a
Стеклонное волокно	600	0,25—0,30	0,032—0,22a
Пенобетон	300	0,10—0,20	0,025—0,25a
	300	0,40	—
	300	0,50	0,085 0,108

* $a = 10^{-3} t_{cp}$.

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

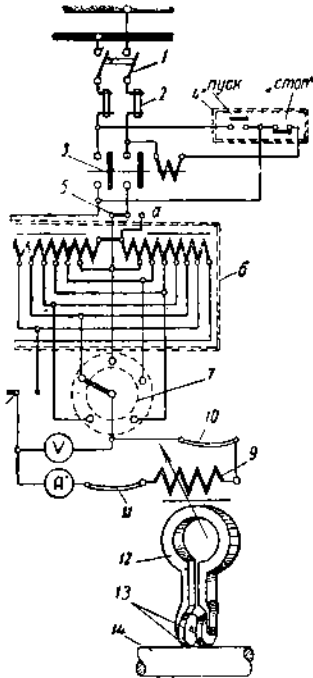
Характеристика контактных закалочных установок

(по данным ЦБПЭЗ ЦНИИТМАШ) (фиг. 4)

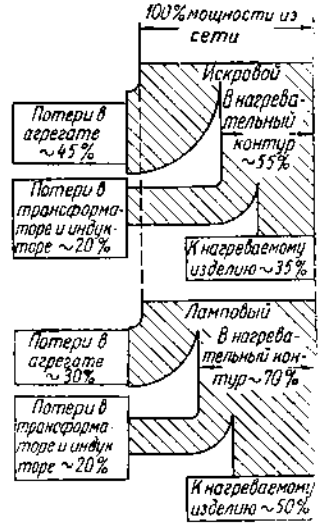
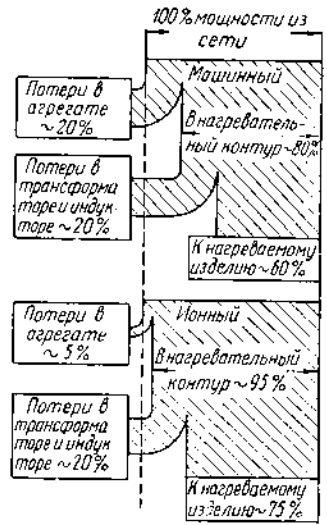
Параметры	Мощность установок P в <i>квт</i>		
	21,2	34,8	62,5
Наибольшая сила тока во вторичной цепи I_2 в <i>а</i> .	8 500	14 000	25 000
Напряжение, подаваемое на ролик, U_2 в <i>в</i>	0,87—2,50	0,88—2,50	1,0—2,5
Количество ступеней регулирования напряжения	15	15	15
Изменение напряжения на каждой ступени в %.	2,5	2,5	3,0
Основная комплектующая аппаратура			
Силовой однофазный (сварочный) трансформатор	КТЭ-222	КТХ-232	КТЭ-232 (два параллельно)
Регулировочный автотрансформатор	ТС-82-А6	ТС-94-А6	ТС-150
Коммутатор к автотрансформатору на 15 положений для переключения под нагрузкой.	На 200 <i>а</i> Изготавливается по чертежам	На 400 <i>а</i> Изготавливается по чертежам	На 400 <i>а</i> ЦНИИТМАШ
Электромагнитный контактор.	КТ-23	КТ-24	КТ-25

Основная характеристика генераторов повышенной и высокой частоты [79]

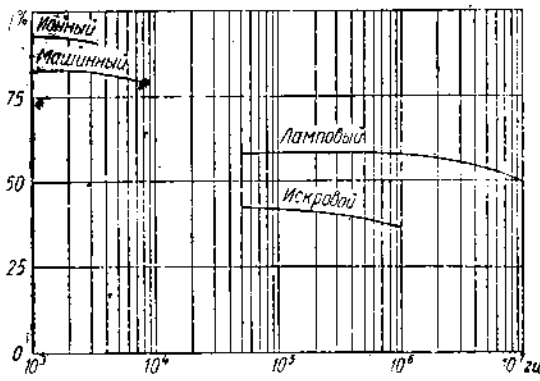
Тип генератора (фиг. 5)	Диапазон рабочих частот в <i>гц</i>	Пределы применяемых мощностей в <i>квт</i>	К. п. д. в % (фиг. 6)	Применение
Машинный (мотор-генератор)	500—10 000	15—1000	70—85	Кулачковые и коленчатые валы, оси, крупные шестерни; $\delta = 1,0+3,0$ <i>мм</i>
Ионный (экситронный)	500—3000	250—1000	90—95	Крупные детали цилиндрической формы, плиты; $\delta = 5,0+8,0$ <i>мм</i>
Искровой	50 000—500 000	5—35	30—40	Мелкие детали машин, режущий и измерительный инструмент; $\delta < 1,0$ <i>мм</i>
Ламповый (электронный)	$50 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6$	5—500	50—60	Детали сложной формы—шестерни, штампы, инструмент и т. п.; глубина слоя—от долей <i>мм</i>



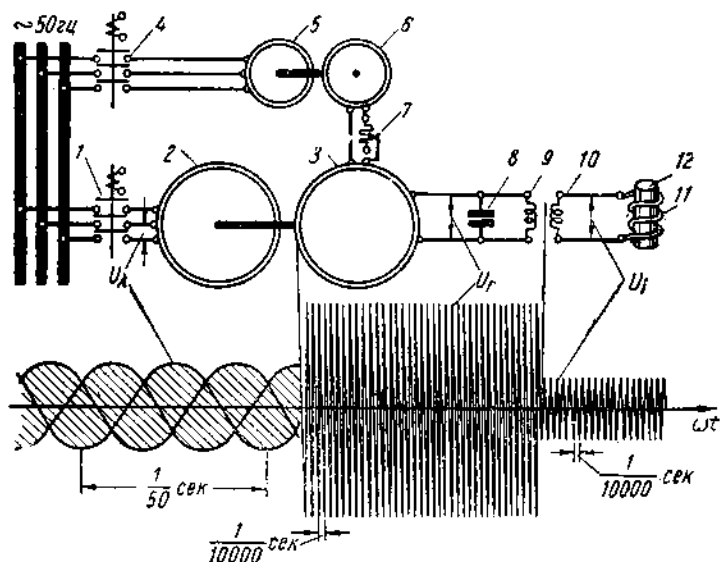
Фиг. 4. Электрическая схема контактной электро-закалочной установки ЦБПЗЗ ЦНИИТМАШ: 1 — двухполюсный рубильник; 2 — предохранители; 3 — контактор; 4 — кнопки „пуск“ и „стоп“; 5 — переключатель к сети на 220 и 380 в; 6 — регулировочный автотрансформатор; 7 — коммутатор для переключения ступеней автотрансформатора; 8 — рубильник; 9 — силовой трансформатор; 10 и 11 — гибкие шины; 12 — трансформатор; 13 — закалывающие ролики; 14 — нагреваемая деталь.



Фиг. 5. Баланс мощностей промышленных типов генераторов токов повышенной и высокой частоты (М. Г. Лозинский) [79].



Фиг. 6. К. п. д. генератора повышенной и высокой частоты [79].



Фиг. 7. Принципиальная и скелетная схема установки машинного генератора: 1 — контактор; 2 — электродвигатель (50 гц); 3 — генератор токов повышенной частоты; 4 — контактор; 5 — электродвигатель; 6 — возбудитель тока; 7 — реостат; 8 — конденсаторная батарея; 9 — первичная обмотка трансформатора тока повышенной частоты; 10 — вторичная обмотка трансформатора тока повышенной частоты; 11 — индуктор; 12 — нагреваемая деталь.

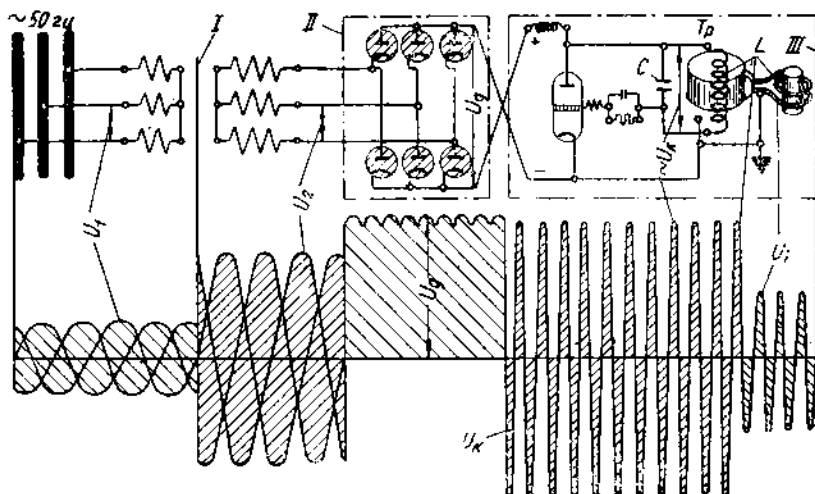
Параметры машинных генераторов (преобразователей)* (фиг. 7)

Тип агрегата	Род машины	Мощн	Напряжение в в	Сила тока в а	Частота в гц	К. п. д. агре- гата в %	Число оборо- тов в минуту	Общий вес агрегата в т	Габарит (по плоско- сти) в м
ПВ-50/2500	Генератор типа ВГ-60 Двигатель	55 165	375/750 220/380	148/74 260/150	2500 50	72	2950	2,0	1,2×0,99
ПВ-100/8000	Генератор типа ВГ-100 Двигатель	110 190	375/750 220/380	296/148 —	8000 50	63	1500	5,0	1,53×1,12
ПВ-100/2500	Генератор Двигатель	100 165	375/750 220/380	286/140 —	2500 50	—	2950	2,0	1,42×0,825

* По заводским ТУ.

Характеристика машинных высокочастотных генераторов (для поверхностной закалки МГЗ и для сплошного нагрева МГН)

Тип генератора	Номинальная мощность в квт	Напряжение в в	Рабочая частота тока f в гц	Мощность конденсаторной батареи в квар
МГЗ-52	50	375/750	2500	750
МГЗ-102	100	375/750	2500	1000
МГЗ-108	100	375/750	8000	1200
МГЗ-252	250	750/1500	2500	1500
МГН-252	250	750/1500	2500	1500
МГН-502	500	750/1500	2500	2500



Фиг. 8. Принципиальная и скелетная схемы установки с ламповым генератором: I — трансформатор напряжения 50 гц, 220/380 — 7650 в; II — газотронный выпрямитель — постоянный ток; III — ламповый генератор; $U_1 = 220/380$ в; $U_2 = 7650$ в; $U_R = 1,35 U_2$ (постоянный); $U_R = U_g$ (высокая частота) $U_i < 1000$ в.

Техническая характеристика высокочастотных ламповых генераторов

Тип генератора (фиг. 8)	Мощность устанавливаемая в квт	Мощность выходная номинальная в квт	Рабочая частота тока $f \cdot 10^{-5}$ периодов в сек	Габаритные размеры в м		Применение
				в плане		
ЛГН-10	15	8	3,0—7,0	0,75×1,25	2,1	Для нагрева мелких деталей
ЛГЗ-30	50	30	2,0—2,5	1,4 × 2,8	2,3	
ЛГЗ-60	100	60	2,0—2,5	1,4 × 2,8	2,3	Для поверхностного нагрева То ж
ЛГЗ-100	100	100	1,0—1,5	1,9 × 2,5	2,35	
ЛГПЗ-30	50	30	2,0—2,5	2,68×3,68	2,3	Для поверхностного нагрева и плавки металлов
ЛГПЗ-60	100	60	2,0—2,5	2,68×3,75	2,3	

Для всех установок: напряжение питающей сети 380 или 220 в; число фаз — 3. Установки поставляются комплектом с генераторным блоком, шкафом силового трансформатора, с трансформатором и высокочастотным закалочным трансформатором.

Характеристика конденсаторных батарей для включения в колебательный контур высокочастотного машинного генератора

Параметры характеристики	Тип батарей		
	БК-2502 (БК-2500)	БК-1002 (БК-50)	Б-1502 (БК-100)
Мощность батарей в квар	2500	1000	1500
Емкость конденсаторной батареи в мкф	→	180	210
Напряжение в в	375/750	375/750	375/750
Частота в гц	2500	2500	2500
Размеры в мм:			
ширина	1220	1220	1220
длина	2210	1350	1350
высота	2000	2000	2000

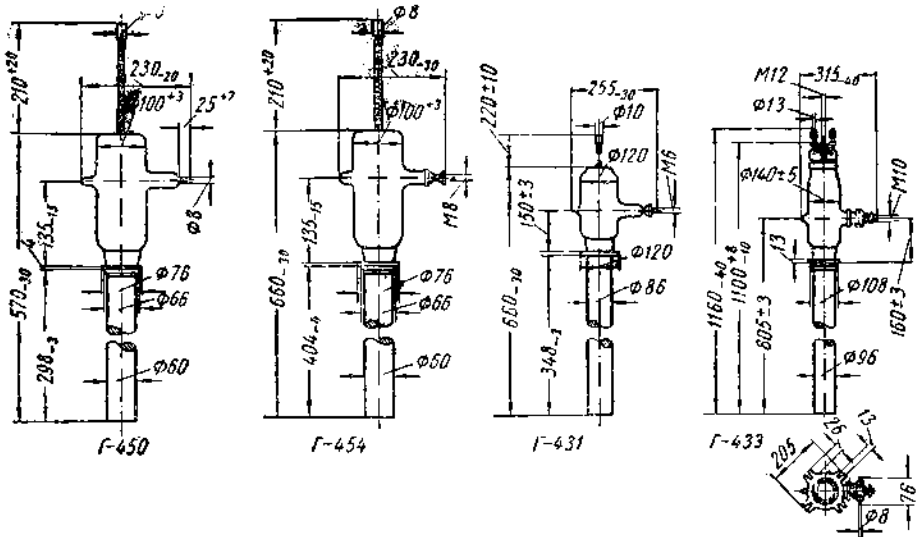
Параметры бумажно-масляных контурных конденсаторов с водяным охлаждением [79]

Конденсатор	Емкость в мкф	Реактивная мощность в ква	Частота в гц	Рабочее напряже- ние в в	Вес в кг
ПМВ 1-1	11,2	70	1000	1000	23
ПМВ 3-1	1,28	70	1000	3000	23
ПМВ 2,4-2	0,98	70	2000	2400	23
ПМВ 1,5-2	3,0	84	2000	1500	23
ПМВ 0,66-2,5	8,8	70	2500	660	23
ПМВ 0,4/0,8-8	16,0	120	8000	400/800	24,5

Габаритные размеры конденсаторов в мм: длина 360, ширина 140; высота 490; высота корпуса—350; расстояние между клеммами—205.

Характеристика щитов управления машинными высокочастотными генераторами

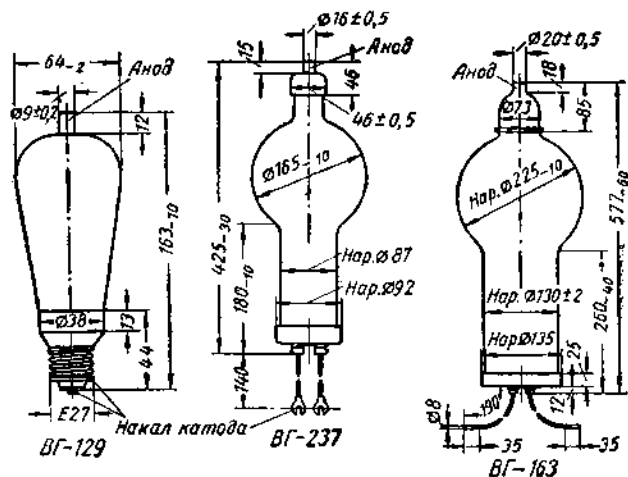
Параметры характеристики	Тип щита управления	
	ЩВ-52 (АН-1)	ЩВ-102 (АН-1)
Максимальная мощность генератора в квт	100	200
Частота тока в гц	2500	2500
Напряжение в в	220	220
Напряжение возбуждения в в	110	110
Размеры в мм	850×850,	h—1950



Фиг. Габаритные размеры генераторных ламп.

Характеристика мощных генераторных ламп с водяным охлаждением анода, применяемых в промышленных высокочастотных установках (фиг. 9) [79]

Параметры	Тип лампы				
	Г-450 (ГКО-10)	Г-454 (ГДО-30)	Г-431	Г-433	
Мощность полезная типовая колебательная P_k в кат	10	30	30	100	
Мощность максимальная, рассеиваемая анодом, P_a в кат	10	20	20	60	
Напряжение накала U_f в в	16,5	22,5	20,0	33,0	
Ток накала I_f в а.	52	70	102	210	
Электронная эмиссия катода (минимальная) I_e в а.	7	14	12	50	
Напряжение анодное U_a в в	8000	10 000	15 000	15 000	
Ток анодный при напряжении на сетке $U_g = 0$ (нулевой ток) I_a в а	0,5—0,7	1,0—1,3	1,0	4,0	
Крутизна характеристики S в ма/в.	7	10	15	25	
Коэффициент усиления β	42	45	50	45	
Частота наибольшая при номинальном анодном напряжении f в мГц	20	1,5	6	6	
Междуэлектродные емкости в см	анод—сетка сетка—катод анод—катод высота H ширина B	18	27	23	61
		14	—	25	3,3
		4,5	—	1,5	6,1
		570	660	660	1160
Габариты в мм	230	230	255	315	
Средний срок службы в час.	1250	1500	2000	3000	



Фиг. 10. Габаритные размеры газотронов.

Характеристика газотронов высокочастотных установок (фиг. 10) [79]

Параметры	Тип газотрона			
	ВГ-129	ВГ-237	ВГ-163	
Максимальный (амплитудный) анодный ток I_{aM} в а	1,50	10	50	
То же средний I_{aCP} в а	0,5	3,5	1,6	
Допустимый кратковременный импульс в °С анодного тока (максимальный) $I_{ударк}$	5	30	150	
Падение напряжения (при t воздуха, равной 20°) — ΔU_a в в	14	16	18	
Напряжение накала U_f в в	2,5	5,0	5,0	
Ток накала I_f в а	9	22	32	
Обратное напряжение $U_{обр}$ при $t=15 \pm 20^\circ$ в в	5000	10 000	15 000	
То же при $t=35^\circ$ в в	1500	7 000	10 000	
Продолжительность разогрева после хранения и транспортировки в мин.	45	90	120	
То же после перерыва в работе в мин.	3	5	30	
Средний срок службы в час.	1500	2000	3000	
Габариты в мм	(высота диаметр .	163 (—19)	425 (—30)	577 (—60)
Вес (максимальный) в кг		64 (—2)	163 (—10)	225 (—10)
		0,1	0,85	2,0

Более удобной и совершенной является схема управления с применением выпрямителей — тиратронов (тиратрон ТГ20/1500 с ртутным наполнением).

ПРИБОРЫ ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ

Характеристика термометров сопротивления

Параметр	Платиновые термо- метры * одинарные для низких давлений одинарный ЭТ-III двойной — ЭТ-IX	Медные термометры		
		Для высоких давлений ЭТ-X	Для низких давлений ЭТ-XIV	Для высоких давлений с кабельным выводом ЭТ-XI
Температура применения в °С	-120 ÷ +50)	-50 ÷ +100	-50 ÷ +100)	-50 ÷ +100
Длина в мм	500, 750, 1000, 1250, 1500, 2000	350, 400, 500, 600, 960, 1500	500, 750, 1000, 1250, 1500, 2000	—
Максимально допускаемое при измерении температуры давление в кг/см ²	3	30	3	30
Электрическое сопротивление термометра, измеряемое на зажимах, в ом при 0°	46 ± 0,05	53 ± 0,1	53 ± 0,1	53 ± 0,1
при 100°	69,99 ± 0,2	—	—	—
Глубина погружения в мм	>150	>150	>150	<100
Материал обмотки чувствительного элемента	Платиновая проволока „Экстра“	Медная проволока ПЭС или ПЕШО		
Диаметр обмотки в мм	0,07 ± 0,005	0,10		
Материал каркаса .	Слюда мусковит розов й (ОСТ 4364)	Медная трубка Ø6,0; l=75,0 мм		
Размер каркаса в мм	0,3 × 10,5 × 120	Ø 6,0		
Материал выводов .	Серебряная проволока	Медная проволока		
Диаметр выводов в мм	1,5 ± 0,05	1,5		
Материал защитной арматуры	Сталь марки 20 или 1X18H9T	Сталь марки 20 или 1X18H9T	Латунь Л-62	

* Платиновые термометры с индексом „а“ (например, ЭТ IIIа) предназначены для измерения температур в пределах от -120 до +30°. Защитный чехол с чувствительным элементом и выводами у этих термометров залив парафином, что исключает попадание влаги в обмотку чувствительного элемента. Аналогичные термометры типа ЭТ-VIII (двойной) ЭТ-I (одинарный) с глубиной погружения 150, 200, 300, 400, 750 и 1500 мм.
Для измерения температуры воды и помещений изготавливается медный термометр сопротивления ЭТ-XII с пределами измерения температуры от -50 до +100° С; электрическое сопротивление 53 ± 0,1 ом.

Характеристи

Тип *	Материал термопар	Э. д. с. в паре в мВ при $t=100^\circ$, $t_0=0^\circ$	Верхний предел измеряемых температур в $^\circ\text{C}$		Ком. Марка провода
			при длительном применении	при кратковременном применении	
ТП **	Платинородий — платина: 90% Pt + 10% Rh — 100% Pt α электр. = 0,5 м.м (ГОСТ 3044-45 табл. 1)	0,64±0,03	1100	1300	ПК1П—ПК6П
ТБ 9-29***	Платинородий — платинозолотопалладий: 90% Pt + 10% Rh — 10% Pt + 60% Au + 30% Pd	2,97 (57,1 при 1200° С)	1300	1600	ПК1Б—ПК6Б
ТХ	Хромель — алюмель: 90% Ni + 10% Cr — 95% Ni + 5% (Al, Si, Mg) α электр. = 3,2 м.м (ГОСТ 3044-45, табл. 2)	4,10±0,15	900 (600)	1250	ПК1М—ПК6М
		4,10±0,3	900 (600)	1250	ПК1ХА—ПК6ХА
ТХК	Хромель — копель: 90% Ni + 10% Cr — 56% Cu + 44% Ni	6,90±0,3	600 (500)	800	ПК1ХК—ПК6ХК
ТЖК	Железо — копель ПТ-II — для измерения температуры поверхностей; α электр. = 3 м.м	5,75±0,25	600	800	ПК1ЖК—ПК6ЖК
ТМК	Медь — копель	4,75±0,15	350	500	ПК1МК—ПК7МК
ТЖ***	Железо — константан: 100% Fe—60% Cu+40% Ni	5,02—5,05	600	800	ПК1Ж—ПК6Ж
ТМ	Медь — константан: 119° 180°	5,4	—200+50	—	ПК1М—ПК7М
		5,4	—200+50	—	

* Термопары с индексом II (например, ТХ — II) — коленчатые.

** Термопары лабораторные ТП-IV и ТП-V с пределами измеряемой температуры до 1300°.

*** Термопары нестандартные.

ка термопар

пенсационные провода		Длина термопар в мм			
Материал проводников и условная их окраска		длина жезла	глубина погружения (макс.)	длина жезла	глубина погружения (макс.)
электроотрицательного	электроположительного				
Медь (красный)	Сплав ТП (99,4% Cu+0,6% Ni) (зеленый)	ТП-II		ТП-III	
		500	300	1000	850
		750	300	1250	1100
		1000	500	1500	1350
		1250	500		
		1500	750	1000	ТП-IV 300
2000	750	500	ТП-V 300		
То же	Сплав ТБ (84% Cu+16% Ni) (синий)	—	—	—	—
Хромель (фиолетовый)	Константан (коричневый) Алюмель (черный)	ТХ-ХIII и ТХК-ХIII		ТХ-VIII и ТХК-VIII	
		500	200	350	150
		750	200	400	200
		1000	400	500	300
		1250	400	600	400
		1500	650	900	750
		2000	950	1500	1300
2500	1250				
3000	1600				
То же	(Копель желтый)	ТХК-ХV (малонердционная)		ТХК-ХVIII (для измерения температуры поверхности труб)	
		300	100	~300	100
		350	150	<135	
		400	200		
		500	300		
Железо (белый)	То же	Со штуцером ТЖК-VIII то же, что ТХ-VIII Без штуцера ТЖК-VIII			
Медь (красный)	То же	То же			
Железо (белый)	Константан (коричневый)	—			
Медь (красный)	То же	Диаметр трубки 30—33 мм; диаметр электрода 0,5 мм; допустимое давление—250 ат. Диаметр трубки 30—45 мм; диаметр электрода — 0,5 мм; длина термопары 255 мм			

Примечание. Чехлы термопар: ТБ и ТП-II—фарфоровые; ТП-III—фарфоровые с охлаждением войлой; ТХ и ТХК—из стали 1Х18Н9Т, Х28 или 20; ТЖК, ТМК и др.—из стали 20.

Характеристика термометров

Тип	Шкала в °С		Характеристика шкалы	Краткое описание	Длина в мм		Назначение					
		до			рабочей части	верхней части						
I. Ртутные стеклянные 1. Технические с сложной шкалой	0	+50	0,5 или 1,0	Капилляр заполнен инертным газом—азотом. Термометры прямые и изогнутые под углом 90, 120 и 135°	85, 130, 180, 230, 280, 330, 430, 530, 750, 1000	Прямых 220±10; изогнутых 250±15	Измерение температуры в закалочных баках, печак-ваннах масляных для низкого отпуска и соляных для изотермической закалки					
	0	+100	0,5 1,0									
	0	+150	1,0									
	0	+200	1,0 или 2,0									
	0	+250	2,0									
	0	+300	2,0									
	0	+350	2,0									
	0	+400	2,0 или 5,0									
0	+450	5,0										
0	+500	5,0 или 10,0										
2. Контактные	0	+50	1,0	Прямые и изогнутые под углом 90°; с одним контактом на 20, 35 или 45°. То же на 150 или 75°. То же с двумя контактами на 80, 80 и 60° или на 65 и 80° или на 135 и 155°	85, 130, 230, 330 и 530	Прямых 135±5; изогнутых 160±5	Автоматическое регулирование температуры в закалочных баках, при этом для всех контактных термометр допускается применение переменного тока: 1 а при 6 в, или 0,5 а при 12 в и 0,15 а при 24 в (постоянный ток)					
	0	+100	1,0									
	0	+150	1,0									
	0	+200	2,0									
II. Манометрические 1. Жидкостные с рабочей жидкостью: в) метиловым спиртом $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-46	+150	Равномерная шкала	Термометры состоят из термобаллона, капилляра, трубчатой пружины, указывающей шкалы и самопишущего механизма. В некоторых термометрах в капилляре вставлена проволока из специального сплава для компенсации изменения внешней температуры в пределах от -20 до +50°	Длина капилляра в мм 20,0		Измерение и автоматическое регулирование температуры в закалочных баках и печак-ваннах—масляных и соляных					
								б) ксилолом $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$	-40	+400	Равномерная шкала до 120°, далее—неравномерная	22,0

Тип	Шкала в °С		Характеристика шкалы	Краткое описание	Длина в мм		На
		до			рабочей части	верхней части	
2. Паровые с рабочей испаряющейся жидкостью: Хлор-метилом — ТПС-120	+40	+120	Неравномерная, цена деления (ЦД) 10,5 и 2° ЦД—5°(40—60°) 2° (60—120°)	Термобаллон заполняется на 2/3 объема инкояпящей жидкостью: хлорметилом, хлорэтилом, эфир-этилом, ацетоном или бензолом Капилляр и пружина заполняются глицерином в смеси с водой или спиртом	Корпуса \varnothing 265 д = 118 термобаллона l = 250 l _{раб} = 100 длина капилляра 29 мм, 15 мм (для ТПС-120) Глубина погружения 130—250 мм	Измерение температуры газов, воздуха и жидкостей в установках при давлении до 600 ат	
Ацетоном ТПС-200	+50	+200	ЦД 10° (50—100°), 5° (100—150°), 2° (150—200°)	Максимально допустимая рабочая температура механизма и капилляра +50° Наибольшее расстояние от места измерения температуры до прибора 29 мм и 14 мм (для ТПС-120)			
То же ТПС-200	+50	+200	То же				
3. Газовые Тип ТГ азотный	0	+100		Термометры показывающие и самопишущие на одну или две кривые. Привод от двигателя Уоррена. Термобаллон имеет диаметр 22 мм, длину 186—408 мм	30—40	Измерение температуры газов, воздуха и различных жидкостей в установках при давлении до 60 ат	
ТГ-270	0	+150	Показывающий				
ТГ-278	0	+200	Показывающий с сигнальным устройством				
ТГ-410*	0	+300	Самопишущий с приводом диаграммы от часового механизма				
ТГ-610*			Самопишущий с приводом диаграммы от синхронного двигателя				
ТГ-618			Самопишущий сигнальным устройством				

* Регуляторы температуры О4ТГ-410 и О4ТГ-610 предназначаются кроме того для записи во времени и поддержания постоянства температуры.

Характеристика оптических и радиационных пирометров

Тип	Условное обозначение	Шкала в °С	Техническая характеристика
Оптический с исчезающей нитью (частичного излучения)	ОППИР-45	1) +800 до +1400 2) +1200 до +2000	Пределная погрешность измерения в % от номинального ±1,5 То же дополнительного ±1,5% Максим. выдвигание тубуса объектива 28 мм То же окуляра 29 мм Расстояние от измеряемого источника тепла 0,5—5,0 м
Радиационные (полного излучения) переносный стационарный	РП РПС	+900 до 1800	Погрешность показаний от наибольшего значения шкалы ±2% Габаритные размеры телескопа 136×77×75 мм Вес прибора (РП) — 6 кг Измерители, приборы: ГНКП или МП-08 для прибора РП ПГУ или МПБ-46; СГ или ЭРМ-47 или любой из автоматических для прибора РПС

Пирометры оптический и фотоэлектрический [184]

Тип пирометра	Условное обозначение	Пределы измерения в °С	Примечания
Оптический со встроившимся показывающим прибором	—	до 1500 и до 2000	Габариты 395×315×155 мм (ТУ 100—1951)
Фотоэлектрический указывающий *	ФЭП-3	800—1300 1200—1700	Предназначен для измерения температуры при поверхностной закалке

* Регистрацию показаний фотоэлектрического пирометра ФЭП-3 производит быстродействующий потенциометр БП-102 на ленточной диаграмме с шириной градуированной части 280 мм. Время перемещения пера на всю длину шкалы — 3 сек. Габариты потенциометра 442×409×316 мм (ТУ 10056—1951).

Техническая характеристика милливольтметров ПГУ, ГНЗС, ГНКП, ГПКП и МПБ-46 (ГОСТ 2261-43)

Краткое описание прибора	Первичный прибор	Пределы шкалы в °С	Цена деления	
			в °С	в ом
Милливольтметр ПГУ высокоомный шитовой, показывающий, профильного типа прибор магнитоэлектрической системы с вертикальной осью Вес прибора — 5 кг Пределы рабочей температуры +10+ -50° С, класс точности 1,5	Термомолары ТХК ТЖК ТХ "	0—400	5	15
		0—600	10	15; 25
		0—400	5	5; 15
		0—600	10	5; 15; 25
		0—600	10	5; 15
Милливольтметр ГНЗС	ТП и ТБ ПП Радиационный пирометр Калориметр	0—1300	20	15
		0—1600	20	15
		900—1800	—	3
		0—3000	—	—
		0—5000	—	5

Продолжение

Краткое описание прибора	Первичный прибор	Пределы шкалы в °С	Цена деления в °С	Внешнее сопротивление в Ом
Вес прибора — 22 кг Размеры $\varnothing 220$ мм; $h = 75$ мм	Термометры сопротивления	0—17 мм ГОСТ 3049-45 табл. 3	—	5
	Газоанализатор на CO ₂ То же на CO + H ₂	0—20% 0—5%	—	3 3
Пределы рабочей температуры +10+ +50° С Класс точности 1,5	Термопары ПП	0—1600	20	0,85; 1,6; 15
	ГП и ТБ	0—1300	20	1,4; 2,8; 15
	ТХК	0—300	5	0,6; 5
	"	0—400	5	0,6; 5; 15
	"	0—600	10	0,6; 5; 15
	ТХ	0—600	10	0,6; 5; 15
	"	0—800	10	0,6; 5; 15
	"	0—1100	10	0,6; 5; 15
	"	0—1300	20	3,6
	ГЖК	0—900	5	0,6; 5; 15
	"	0—600	10	0,6; 5; 15
	Поверхностная ТЖК	0—300	5	3,5
Милливольтметры ГНКП и ГПКП — переносные приборы магнитоэлектрической системы с вертикальной осью (прибор ГПКП в комплекте с термопарами ТП и ТБ)	Радиационный пирометр	0—500	10	3,5
	Нульгальванометр	700—1800	20	5
Вес прибора — 2,6 кг Размеры 180×80×200 мм Пределы рабочей температуры +10 + +35° Класс точности — 1,0	Радиационный пирометр	50—6—50 делений	—	5; 15
	Термопары ТХК	0—300	—	5; 15
	"	0—400	—	5; 15; 25
	"	0—600	—	5; 15
	ТХ	0—600	—	5; 15; 25
	"	0—800	—	5; 15; 25
	"	0—1100	—	5; 15; 25
	"	0—1300	—	0,6
	ТМК	0—400	—	5; 15
	ПП	0—1600	—	15
	Радиационный пирометр	700—1800	—	5
	Милливольтметр МПБ-46 профильный большой — высокоомный показывающий профильный прибор магнитоэлектрической системы с вертикальной осью. Для утолщенного монтажа	Термопары ТХК	0—300	—
ТХ		0—600	—	5; 15; 25
Вес прибора — 5 кг Размеры 208×295×125 мм; длина шкалы — 180 мм; пределы рабочей температуры +10 + +50° С Коэффициент добротности 30—40% Класс точности — 1,5	Термопары ТХК	0—300	—	5; 15
	ПП	0—1600	—	15
Радиационный пирометр	700—1800	—	5	

Потенциометры и мосты электронные
(производства Министерства черной металлургии) [185]

Наименование и тип	Характеристика
Потенциометр электронный ЭП-120 и ЭМ-120*	Для измерения, показания и регистрации температуры. Нерегулирующий, без сигнальных контактов, однозаписный, с временем перемещения пера на всю шкалу 20 сек.
ЭП-107 и ЭМ-107	То же, с временем перемещения пера 7 сек.
ЭП-120-1С и ЭМ-120-1С	То же, что и ЭП-120 (или ЭМ-120) с одним сигнальным комплектом, положение которого не указывается на шкале прибора
ЭПД-120 и ЭМД-120	То же, с двухпозиционным электрическим регулятором
ЭПТ-120 и ЭМТ-120	То же с трехпозиционным электрическим регулятором
ЭПА-120	То же, с автоматическим электрическим регулятором
ЭПП-120 и ЭМП-120	То же, с релейным датчиком для пропорционального и изотермического регулирования

* Индекс ЭМ — относится к электронному мосту переменного тока частотой 50 пер/сек при 127 в.

Техническая характеристика гальванометров, логометров, потенциометров [184]

Тип	Наименование	Класс точности	Длина шкалы в мм и количество точек измерения *	Применение	Габариты в мм
1. Гальванометры пирометрические					
МП-08	Милливольтметр переносный, показывающий МП-18 в трехзажимном корпусе МП-28 в пятизажимном корпусе МП-38 в двухзажимном корпусе	1,0	140 (по дуге)	В комплекте с термопарами В комплекте с пирометром РП	210×202×83
МС-08	Милливольтметр Стационарный, показывающий	1,0	115 (по дуге)	В комплекте с термопарами	184×164×87
МПБ-46	См. табл. на стр. 270				
СГ	Милливольтметр Стационарный с профильной шкалой, самопишущий	1,5	135 (по дуге) Записи измерений в 1, 3 и 6 точках*	В комплекте с термопарами, пирометром РП, электрическим газоанализатором и калориметром	220×562×280 337×575×272
ЭРМ-47	Электронный регулятор с показывающим милливольтметром (двухпозиционный) То же (трехпозиционный)	1,5	Профильная—180	В комплекте с термопарами или пирометром РП для измерения и одновременного регулирования температуры или сигнализации отступлений ее от заданного значения	357×326×296
ИУД	Пирометрическая установка Стационарная (аналогичная установка ТУ406-401-47)	—	—	Для измерения температуры в пределах от 0 до +600° в 10, 12 или 13 точках (с комплектом хромель-копелевых термопар).	(385×175×300)
2. Логометры					
ЛПБ-46	Логометр с профильной шкалой, показывающий	1,5	170 (по дуге)	В комплекте с термометрами сопротивления	295×125×208

3. Автоматические потенциометры в уравновешенные мосты

СП	Потенциометр автоматический, самопишущий или показывающий	—	280 1, 3 и 6 точек**	В комплекте с термопарами и телескопом пирометра РП	504×396×269
АУМ	Уравновешенный мост автоматический или показывающий	—	То же	В комплекте с термометрами сопротивления	504×396×269
СПР	Потенциометр автоматический, самопишущий или показывающий с электрическим регулирующим устройством	—	280 1 и 3 точки Регулирование с переключением на одну точку**	В комплекте с термопарами или телескопом пирометра РП для измерения, записи и позиционного регулирования температуры	504×396×269
АУМР	Уравновешенный мост автоматический, самопишущий или показывающий с электрическим регулирующим устройством	—	То же	То же в комплекте с термопарами сопротивления	504×396×269
СПРП	Потенциометр автоматический, самопишущий или показывающий с пневматическим регулирующим устройством	—	280; Запись измерений и регулирование одной точки**	В комплекте с термопарами или телескопом пирометра РП для измерения, записи и изодромного регулирования температуры	504×396×269
АУМРП	То же уравновешенный	—	То же	То же в комплекте с термометрами сопротивления	504×396×269
ЭПД-07	Электронный потенциометр автоматический, самопишущий	—	1*	В комплекте с термопарой для измерения температуры в одной точке с записью в полярных координатах	506×420×363
ЭМД-207	То же уравновешенный мост	—	1	То же в комплекте с термометрами сопротивления	506×420×363
ЭПД-17	Электронный потенциометр автоматический, самопишущий с электрическим позиционным регулятором	—	1*	В комплекте с термопарой для измерения и позиционного регулирования температуры в одной точке с записью в полярных координатах	506×420×363
ЭДМ-217	То же уравновешенный мост	—	1	То же в комплекте с термометром сопротивления	506×420×363
ЭПД-27	Электронный потенциометр автоматический	—	1*	В комплекте с термопарой для измерения и пропорционального регулирования температуры с записью в полярных координатах	506×420×363
ЭДМ-227	То же уравновешенный мост	—	1	То же в комплекте с термометром сопротивления	506×420×363
ЭПД-37	Электронный потенциометр самопишущий	—	—	В комплекте с термопарой для измерения и изодромного регулирования температуры в одной точке с записью в полярных координатах	506×420×363

* Привод диаграммной бумаги от двигателя Уоррена.

** Привод диаграммной бумаги от двигателя переменного тока 50 гц, 220 в.

Тип	Наименование	Класс точности	Длина шкалы в мм и количество точек измерения*	Применение	Габариты в мм
ЭДМ-237	То же уравновешенный мост	—	—	То же в комплекте с термометром сопротивления	506×420×363
ЭПУ-18	Электронный потенциометр автоматический, показывающий одношкальный	0,5	—	В комплекте с термопарой для измерения температуры в одной точке	506×420×363
ЭПУ-28	То же, двухшкальный	0,5	—	В комплекте с двумя термопарами для измерения температуры в двух точках	506×420×363
ПУ	Пневматическое устройство для потенциометров	—	—	Предназначено для работы в качестве регулирующего устройства в комплекте с автоматическим потенциометром	—

4. Исполнительные механизмы к потенциометрам

ДР	Исполнительный механизм двухпозиционного регулирования с поступательным и вращательным движением	—	—	Применяются в комплекте с автоматическими потенциометрами и уравновешенными мостами. Двигатель 220 в, 60 ат, 50 гц Время срабатывания регулируется по следующим настройкам: 10, 15, 22, 30, 45, 60, 75, 90, 105 и 120 сек. Усилие 50 кг при настройке на 30 сек. и плече кривошипа в 32 мм
ДР-1	То же с вращательным движением	—	—	
ПР	Исполнительный механизм со следящей реостатной системой (с жесткой обратной связью) с поступательным и вращательным движением	—	—	
ПР-1	То же с вращательным движением	—	—	

* Привод диаграммной бумаги от двигателя Уоррена.

Электрические газоанализаторы [184]

Для анализа продуктов горения, а также для анализа контролируемой атмосферы типа ГГ, ГГ-ВО и ПС—0,6 применяются электрические газоанализаторы типа ГЭУК-21 и ГЭД-49, работающие по принципу изменения теплопроводности в зависимости от состава газовых смесей. Газоанализатор ГЭУК-21 применяется для непрерывного определения содержания в газовой смеси двуокиси углерода CO_2 , имеет шкалу от 0 до 20%, в комплект прибора входят: а) приемник CO_2 ; б) показывающий милливольтметр типа МПБ; в) керамический фильтр с запасным керамическим стаканом; г) газозаборная трубка; д) крестовина с краном; е) конденсационный сосуд; ж) холодильник; з) контроль-

ный фильтр и и) эжектор с манометром.

Указанный газоанализатор может так же применяться для определения водорода в защитной атмосфере типа ДА-08; в этом случае требуется новая градуировка шкалы милливольтметра и перемена контактов датчика.

Газоанализатор типа ГЭД-49 применяется для непрерывного определения содержания двуокиси углерода — CO_2 и суммы окиси углерода и водорода — $\text{CO} + \text{H}_2$ в продуктах горения или в защитной атмосфере типа ПСО-1,0.

Шкала прибора 0—20% CO_2 и 0—2% ($\text{CO} + \text{H}_2$).

В комплект прибора дополнительно в сравнении с газоанализатором ГЭУК-21 входят: приемник $\text{CO} + \text{H}_2$ с печью дожигания водорода; показывающий милливольтметр типа МГБ и запасные плечевые элементы для приемник: $\text{CO} + \text{H}_2$ (4 шт.).

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ДЕЙСТВУЮЩИХ
ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЩЕСОЮЗНЫХ СТАНДАРТОВ НА СТАЛЬ

№ стандарта	Наименование стандарта
Классификация и технические условия	
ГОСТ 5200-50 ГОСТ 2334-50 ГОСТ 2335-50 ГОСТ 380-50 ГОСТ 498-11 ГОСТ 497-41	Металлы и сплавы. Классификация по химическому составу. Терминология Поковки из легированной стали общего назначения Поковки из углеродистой стали общего назначения Сталь углеродистая горячекатанная обыкновенного качества Сталь углеродистая горячекатанная. Заготовки для поковок и штамповок Сталь углеродистая горячекатанная обыкновенного качества. Блюмы, слябы и заготовки для проката
ГОСТ 499-41 ГОСТ 536-41 ГОСТ 535-45 ГОСТ 5521-50 ГОСТ 1496-42 ОСТ НКТП 4034	Сталь углеродистая горячекатанная для заклепок Сталь углеродистая горячекатанная для котельных связей и анкеров Сталь углеродистая горячекатанная обыкновенного качества сортовая Сталь горячекатанная углеродистая для судостроения Сталь полосовая горячекатанная рессорная Сталь прокатная листовая углеродистая котельная и топочная для котлов речных и морских судов
ОСТ 12535-38 ГОСТ 500-41	Сталь прокатная углеродистая для мостостроения Сталь тонколистовая и широкополосная (универсальная) углеродистая обыкновенного качества
ГОСТ 501-41 ГОСТ 5632-51	Сталь тонколистовая углеродистая горячекатанная обыкновенного качества толщиной от 0,88 до 3,75 мм Сталь высоколегированная нержавеющая жаропрочная и сплавы с высоким омническим сопротивлением. Классификация и марки
ОСТ НКТП 3212 ГОСТ 399-41 ГОСТ 5620-50 ГОСТ 503-41 ГОСТ 934-41 ГОСТ 932-41 ГОСТ 933-41	Сталь тонколистовая одноканальная Сталь листовая котельная и топочная для паровозов Сталь листовая углеродистая для котлостроения Лента стальная низкоуглеродистая холодной прокатки Заготовки круглые для штампов горячей штамповки Заготовки прямоугольные для штампов горячей штамповки Сталь для штамповых заготовок прямоугольная (для штампов горячей штамповки)
ОСТ НКТП 4112 ОСТ 14958-39 ГОСТ В 1433-42 ГОСТ В 1051-41 ГОСТ В 1050-41 ГОСТ В 2052-43 ГОСТ В 1414-42 ГОСТ 4543-48 ГОСТ 2588-44	Сталь инструментальная быстрорежущая Сталь инструментальная легированная Сталь инструментальная углеродистая Сталь качественная конструкционная холоднотянутая (калиброванная) Сталь качественная конструкционная углеродистая горячекатанная сортовая Сталь качественная рессорно-пружинная горячекатанная сортовая Сталь конструкционная автоматная Сталь конструкционная легированная сортовая Сталь круглая повышенной отделки поверхности и повышенной точности размеров (серебрянка)
ОСТ НКТП 3543 ГОСТ 5058-49 ГОСТ 5210-50 ГОСТ 4535-48 ГОСТ 801-47 ГОСТ 4041-18	Сталь магнитная сортовая Сталь низколегированная Сталь прокатная специальных профилей для напильников и рашпилей Сталь рессорная горячекатанная для автостроения Сталь шарико- и роликоподшипниковая хромистая Сталь горячекатанная тонколистовая качественная углеродистая конструкционная для автостроения
ГОСТ 3672-44 ОСТ 10222-38 ГОСТ 1377-42 ГОСТ 802-41 ГОСТ 5497-50	Сталь листовая для автостроения Сталь листовая качественная нормальная марганцовистая для судостроения Сталь листовая качественная толщиной свыше 4 мм Сталь листовая электротехническая Сталь литейная тонколистовая для хлопкоочистительных машин

Продолжение

№ стандарта	Наименование стандарта
ГОСТ В 1542-12	Сталь тонколистовая качественная легированная конструкционная
ГОСТ 914-47	Сталь тонколистовая качественная углеродистая конструкционная
ГОСТ 5582-50	Сталь тонколистовая нержавеющая, кислотостойкая и огнестойкая
ГОСТ 2615-44	Лента высокоэластичного сопротивления из жаростойких сплавов
ГОСТ 3632-47	Лента стальная для втулок велосипедных и мотоциклетных цепей
ГОСТ 333-47	Лента стальная для роликов велосипедных и мотоциклетных цепей
ГОСТ 1540-42	Лента (подкат) стальная инструментальная горячекатанная
ГОСТ 1543-42	Лента стальная инструментальная холоднокатанная
ГОСТ 4986-49	Лента стальная нержавеющая для авиастроения
ГОСТ 2614-41	Лента стальная пружинная термически обработанная
ГОСТ 2293-43	Лента стальная холоднокатанная из инструментальной и пружинной стали
ГОСТ 2284-43	Лента стальная холоднокатанная из конструкционной стали
ГОСТ 2333-43	Проволока стальная тянущая и холоднотянутая
ГОСТ 1071-41	Проволока стальная пружинная термически обработанная ответственного назначения
ГОСТ 1070-41	Проволока стальная углеродистая холоднотянутая для клапанов пружин ответственного назначения
ГОСТ 2238-43	Проволока высокоэластичного сопротивления из жаростойких сплавов
ГОСТ 4727-49	Проволока круглая из хромистой стали для шариков и роликов подшипников качения
ГОСТ 808-49	Проволока плоская для витых роликов
ГОСТ В 1749-42	Проволока стальная легированная пружинная специального назначения
ГОСТ 5548-50	Проволока стальная нержавеющая и кислотостойкая
ГОСТ 3704-47	Проволока стальная хромованадиевая для пружин
ГОСТ 3287-46	Отливки из ковкого чугуна. Терминология и классификация отливок
ГОСТ 2612-44	Отливки из серого чугуна. То же
ГОСТ 4009-48	Отливки стальные. То же
ГОСТ 1215-41	Отливки из ковкого чугуна
ГОСТ 2611-44	Отливки из модифицированного серого чугуна
ГОСТ 1412-43	Отливки из серого чугуна
ГОСТ 977-41	Отливки фасонные из углеродистой стали
ГОСТ 1585-42	Отливки из антифрикционного серого чугуна
ГОСТ 2176-43	Отливки фасонные из высокохромистой стали
Методы испытаний	
ГОСТ 1778-42	Металлографическое определение неметаллических включений в стали
ГОСТ 5640-51	Сталь тонколистовая качественная. Метод определения микроструктура
ГОСТ 2625-44	Методика определения обрабатываемости металлов резанием
ГОСТ 3379-46	Методика определения режущих свойств быстрорежущей стали
ГОСТ 3565-47	Метод испытания на кручение
ГОСТ 3246-46	Метод испытания на ползучесть
ГОСТ 1763-42	Метод определения глубины обезуглероживания стальных полуфабрикатов и деталей микроанализом
ГОСТ 5657-51	Сталь конструкционная. Испытание на прокалываемость методом торцевой закалки
ГОСТ 5639-51	Сталь. Метод определения величины зерна
ГОСТ 2860-45	Метод определения предела выносливости (усталости)
ГОСТ 2999-45	Метод определения твердости алмазной пирамидой
ГОСТ 1524-42	Метод определения ударной вязкости
ГОСТ 10241-40	Испытание на твердость по Бринеллю
ГОСТ 10242-40	Испытание на твердость по Роквеллу
ГОСТ 1497-42	Методы испытания металлов на растяжение
1682	Проба технологическая. Обзор
1683	Проба на загиб в холодном и нагретом состоянии
1684	Проба на незакаливаемость загибом
1685	Проба на свариваемость загибом
1686	Проба на осадку в холодном состоянии
1688	Проба на перегиб (в части, относящейся к проволоке и пружинам круглого сечения, заменен ГОСТ 1579-42)
1694	Проба на развертывание фасонного материала
1693	Проба на распушивание
ГОСТ 2331-43	Стали и чугуны (нелегированные). Методы химического анализа
ГОСТ 2604-44	Сталь и чугун (легированные). Методы химического анализа
ГОСТ 2419	Методы ускоренного определения срока службы проволоки для электронагревательных элементов
ГОСТ 2055-43	Отливки из серого и ковкого чугуна. Методы механических испытаний
ГОСТ 2861-45	Отливки из серого чугуна. Методы испытания давлением в клинях
ГОСТ 3443-46	Структура отливок из серого чугуна перлитно-ферритного класса

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ *

1. Абрамсон Я. П., Горчаков А. В. и Калинин Т. А., Глубокое цандрование, М., Оргавтопром, 1948.
2. Автоматизация металлургических и нагревательных печей (Сборник статей), М., Оборонгиз, 1948.
3. Азот в стали, Сборник статей под ред. В. И. Просвирна, 1950.
4. Автомобильные конструкционные стали, Справочник, под ред. А. П. Гуляева и И. С. Козловского (ВНИТОМАШ), 1951. Алякринский Ю. С. и Парменов А. И., Оперативное планирование и диспетчирование в термических цехах, 1951.
5. Аранович М. С., Термическая обработка стали (Техн. информация Моск. ордена Ленина энергет. ин-та им. В. М. Молотова), 1951.
6. Артемьев В. Ф. и Склюев П. В., Закалка токами высокой частоты, Москва — Свердловск, 1947.
7. Ассонов А. Д., Дисперсионный метод отжига отливок из белого чугуна с повышенным содержанием хрома, М., 1947.
8. Ассонов А. Д., Термическая обработка деталей автомобиля, М., 1951.
9. Ассонов А. Д., Термическая обработка чугуновых отливок, М., Мин. автотракторной промышленности, 1949.
10. Ассонов А. Д., Термическая обработка шестерен автомобиля, М., Мин. автотракторной промышленности СССР, 1948.
11. Барбанель Р. И., Электрические печи сопротивления с принудительной конвекцией (Моск. ордена Ленина энергет. ин-т им. В. М. Молотова), 1951.
12. Батурин В. В. и Кучерук В. В., Вентиляция машиностроительных заводов, 1951.
13. Богачев И. Н. и Псряков В. Г., Отпуск закаленной стали, 1950.
14. Булгаков П. В., Металлы и сплавы для гидроскопических приборов и счетно-решающих механизмов, Оборонгиз, 1951.
15. Богородицкий Н. П., Пасынков Б. В. и Гареев Б. М., Электротехнические материалы, изд. 2-е, Госэнергоиздат, 1951.
16. Богданов С. Г., Металловедение и термическая обработка, 1950.
17. Богатырев Ю. М., Отпуск поверхностно-закаленной конструкционной стали.
18. Браун М. П., Малолегированные цементруемые стали, 1948.
19. Болдовитинов Н. Ф., Металловедение и термическая обработка. Учебник для машиностроительных вузов, М., 1947.
20. Быковский А. Д., Новые методы термической обработки отвалов и демехов, М., 1948.
21. Бунин К. П., Железуглеродистые сплавы, М., 1949.
22. Васиденко А. А. и Григорьев И. С., Модифицированный чугун в машиностроении, Гостехиздат Украины, 1950.
23. Воскресенский К. Д., Сборник задач по теплопередаче, Госэнергоиздат, 1951.
24. Влияние термической обработки на структуру жаропрочных сталей. Сборник статей под ред. В. И. Просвирна (ЦНИИТМАШ), 1951.
25. Вукалович М. П., Термодинамические свойства воды и водяного пара. Таблицы и диаграммы, 4-е изд., 1951.
26. Вейншток А., Исследование влияния поверхностной закалки токами высокой частоты на усталостную прочность стали, М., НИИ Оргавтопром, 1947.
27. Волдинский Э. П., Обработка металлов холодом, М., Углетехиздат, 1948.
28. Волдинский Э. П., Термическая обработка металлов токами высокой частоты, М., Мин. угольной промышленности восточных районов СССР, 1948.
29. Володгин В. П., Поверхностная индукционная закалка, М., Оборонгиз, 1947.
30. Вопросы теории и практики производства термической обработки. Под ред. К. С. Борисенко, Стально, Индустр. ин-т им. Н. С. Хрущева, 1948.
31. Гардин А. И., Нагрев токами высокой частоты. Ред.-изд. отдел Министрства транспортного машиностроения СССР, 1949.
32. Грозин Б. Д., Механические свойства закаленной стали, 1951.
33. Грошев М. В., Безфакельное сжигание природного газа, под ред. И. И. Чернышевского, АН СССР. Институт теплоэнергетики, 1950.
34. Глазова А. П., Контроль состава газа в процессе газовой цементации, М., Оборонгиз, 1949.
35. Готлиб Л. И., Основы технологии пламенной поверхностной закалки, М., 1948.
36. Грязнов И. М., Изотермическая закалка стали, М., Изин, 1947.
37. Гуляев А. П., Металловедение, М., Оборонгиз, 1948.
38. Донской А. В., Высоочастотная закалка режущей кромки вырубных ножей, 1950.
39. Дубинин Г. Н., Газовый метод хромирования стали, Металлургия, 1950.
40. Заочные курсы по металловедению и термической обработке, ВНИТОМАШ, Комитет металловедения и термической обработки, М., Вып. 1. Сидорин И. И., Роль русской науки в развитии металловедения и термической обработки металлов, ч. 1, 1948. Вып. 2. То же, 1951. Вып. 3. Шрайбер Д. С., Современные методы исследования структуры металлов, 1948.
41. Вып. 4. Ройтман И. М., Микромеханические методы испытания металлов, 1948.
42. Вып. 5. Фридман Я. Б., Современные

* В список включена литература, изданная за время с 1-го 1947 г. по 1-й 1952 г. Литература и источники без указания издательства относятся к Машгизу.

- представления о механических свойствах металлов, 1949.
- Вып. 6. Фридлянд Я. Б., Ударная вязкость и другие ударные испытания, 1949.
- Вып. 7. Серенсен С. В., Усталость металлов, 1949.
- Вып. 8. Шрайбер Д. С., Современные методы дефектоскопии металлов, 1949.
- Вып. 9. Оudin И. А. и Матвеев С. И., Испытание металлов при высоких температурах, 1949.
- Вып. 10. Попова Н. М., Карбидный анализ, 1949.
- Вып. 11. Миркин И. Л., Атомное строение и свойства металлов, 1949.
- Вып. 12. Миркин И. Л. и Блантер М. Е., Фазы в металлических сплавах, 1949.
- Вып. 13. Миркин И. Л. и Блантер М. Е., Фазовые превращения, 1949.
- Вып. 14. Блантер М. Е. и Миркин И. Л., Структуры железных сплавов и процессы их образования, 1950.
- Вып. 15. Корнеев Н. И., Пластическая деформация металлов и термический режим обработки давлением сталей и сплавов, 1949.
- Вып. 16. Блантер М. Е., Превращения при нагревании стали, 1949.
- Вып. 17. Садовский В. Д., Превращения аустенита, 1949.
- Вып. 18. Бокштейн С. З., Превращения при отпуске, 1949.
- Вып. 19. Гуляев А. П., Структура и свойства стали, 1949.
- Вып. 20. Кидин И. Н., Закалка стали при нагреве токами высокой частоты, 1950.
- Вып. 21. Лившиц Г. Л., Отжиг и нормализация стали, 1949.
- Вып. 22. Болховитинов Н. Ф., Прокляиваемость стали, 1949.
- Вып. 23. Мочалкин Р. И., Деформация стали при термической обработке, 1949.
- Вып. 24. Блантер М. Е., Физические основы химико-термической обработки, 1949.
- Вып. 25. Ильинский С. К., Цементация стали, 1949.
- Вып. 26. Терехов К. И. и Минквич А. Н., Цназирование стали, 1951.
- Вып. 27. Лахтин Ю. М., Азотирование стали, 1949.
- Вып. 28. Лахтин Ю. М., Диффузионная металлизация, 1949.
- Вып. 29. Бокштейн С. З. и Кишкин С. Т., Основы легирования конструкционной стали, 1950.
- Вып. 30. Геллер Ю. А., Инструментальные стали, 1949.
- Вып. 31. Химушин Ф. Ф., Жароупорные стали и сплавы, 1949.
- Вып. 32. Шаров М. В., Алюминиевые и магниевые сплавы для фасонного литья, 1951.
- Вып. 33. Шаров М. В., Легкие сплавы и их сравнительная характеристика, 1950.
- Вып. 34. Воронов С. М., Деформируемые алюминиевые сплавы, 1951.
- Вып. 35. Воронцов С. М. и Рабинович М. Е., Магниевые деформируемые сплавы, жаропрочные легкие сплавы, 1951.
- Вып. 36. Кунявский М. Н., Термическая обработка чугуна, 1950.
- Вып. 37—38. Печковский А. М., Механизация и автоматизация термических печей, 1951.
- Вып. 39. Печковский А. М., Контролируемые атмосферы, методы получения и установ для их изготовления, 1951.
- Вып. 40. Печковский А. М., Приборы для контроля температуры в термических печах, 1950.
- Вып. 43. Солодикин А. Г., Методика экономического обоснования технологии термической обработки, 1950.
41. Завьялов А. С., Фазовые превращения в железоуглеродистых сплавах, Судпрогиз, 1948.
42. Замятин М. М., Кинетика процессов химико-термической обработки стали, Металлургия, 1951.
43. Захаров Г. А., Два года рентабельной работы (термический цех Саратовского подшипникового завода), Саратов, Облгиздат, 1948.
44. Иванов Г. П., Теория и методы расчета нагрева металла, Москва — Свердловск, Metallurgy, 1948.
45. Иванов Г. П., Нагрев металла, М., Metallurgy, 1948.
46. Индукционный нагрев металлов. Под ред. проф. С. Я. Турлыгина, М., 1949.
47. Индукционный нагрев и электротермообработка. Под ред. проф. С. Я. Турлыгина, 1950.
48. Исследования прочности стали. Сборник статей под ред. И. В. Кудрявцева (СНИИТМАШ), 1951.
49. Иванов В. А., Станки для высококачественной заковки, 1951.
50. Имшенник К. П., Пайка инструмента в печах с газовой восстановительной средой. Под ред. И. И. Семенченко, 1951.
51. Каплинский И. Л., Вентиляция термических печей, М., Стройиздат, 1949.
52. Кащенко Г. А., Основы металловедения, М., Metallurgy, 1949.
53. Кослик В. А. и Ларин Т. В., Термическая обработка серого чугуна, М., Трансжелдориздат, 1948.
54. Колытов В. Ф., Безокислительный нагрев стали, М., 1947.
55. Костецкий Б. И. и Куруклис Г. Л., Глубокая нитроцементация режущих инструментов, Свердловск, 1947.
56. Косов К. В., Основы металловедения и термическая обработка, Киев, 1949.
57. Краткий справочник машиностроителя. Под ред. А. С. Балзюнского, 1950.
58. Кнорозич И. Е., Термическая обработка стали, Metallurgy, 1950.
59. Кидин И. Н., Термическая обработка стали при индукционном нагреве, Metallurgy, 1950.
60. Каталог-справочник лабораторных приборов и оборудования. Вып. 37. Материалы, применяемые в приборостроении (сост. К. И. Шеллапутин, С. Х. Клиппис, П. Л. Загорянский), 1950.
61. Каталог на оборудование.
- а) Новые машины и приборы. Каталог, СНИИТМАШ, 1950.
- б) Твердомер типа ТК для испытания твердости металлов. Моск. завод «Манометр».
- в) Качественные стали. Каталог, Внешторгиздат, 1951.
- г) Бак закалочный конвейерный. Серия 36. Каталог «Международная книга» (Центр. бюро техн. информации Мин. электропромышленности СССР), 1951.
- д) Шахтные электроды для газовой цементации. Серия 11. Каталог «Международная книга» (Центр. бюро техн. информации Мин. электропромышленности СССР), 1950 г.
- е) Электроды конвейерные для заковки. Серия К. Каталог «Международная книга» (Центр. бюро техн. информации Мин. электропромышленности СССР), 1951.

- ж) Пресс типа ЦБМ для испытания твердости металлов по методу Бриллея. Описание и руководство к пользованию. Завод "Манометр", 1951.
62. Кудрявцев И. В., Саверин М. М. и Рябченков А. В., Методы поверхностного упрочнения деталей машин, М., 1949.
 63. Куроедов В. А., Об основах расчета теплообменных аппаратов (ЦНИИТМАШ), 1951.
 64. Куроедов В. А., Пламенные муфельные печи для нагрева металла, М., 1947.
 65. Крянжин И. Р. и Сушко Г. В., Сравнительные свойства сталей для фасонного литья, выплавляемых основным и кислым процессами (ЦНИИТМАШ), 1951.
 66. Корнилов Н. И., Твердые растворы железа, изд. АН СССР, 1951.
 67. Кузьмин М. А., Безинерционные печи, 1950.
 68. Куруклис Г. Л., Обработка инструмента холодом, Свердловск 1948.
 69. Куруклис Г. Л., Закалка в электролите инструментальных сталей, Свердловск 1952.
 70. Лагунов И. Н. и Башкиров Б. Я., Термическая обработка подшипниковых колец. Памятка мастера, М., Мин. автотракторной промышленности, 1947.
 71. Лапшин В. А., Закалка деталей токамак высокой частоты, Горький, Облгиздат, 1949.
 72. Ларин Н. И., Алитирование, М., Гизмест-пром, 1947.
 73. Лахтин Ю. М., Физические основы процесса азотирования, М., 1948.
 74. Лебедев М. Г., Нагрев кузнечных заготовок токами высокой частоты. Под ред. А. Д. Асенова, М., Мин. автотракторной промышленности, 1948.
 75. Липшиц Н. И. и Козлова Ю. В., Определение качества термообработки стальных деталей коэрцитиметром системы Михеева (ВНИТОМАШ, Уральский Дом техники), 1950.
 76. Линчевский В. П., Нагревательные печи, изд. 2-е пер., М., Металлургиядздат, 1948.
 77. Линчевский В. П., Топливо и его сжигание, М., Металлургиядздат, 1947.
 78. Ляшко Н. Ф. и Сергеев Г. А., Упрочнение дуралюмина двойным старением, М., ВВИА им. Жуковского, 1948.
 79. Лозинский М. Г., Поверхностная закалка и индукционный нагрев стали, М., 1949.
 80. Ляшко Н. Ф., Упрочнение и разрушение металлов и некоторые предельные механические состояния металлов, Оборонгиз, 1951.
 81. Лебедев Т. А., Некоторые вопросы общей теории сплавов, Лениздат, 1951.
 82. Левин Е. Е., Микроскопическое исследование металлов. Практическое руководство, 1951.
 83. Ларичев В. А., Качественные стали для современных котельных установок, Госэнергоиздат, 1951.
 84. Материалы в химическом машиностроении. Под ред. Д. О. Славяна (НИИХИММАШ), 1950.
 85. Материалы в дизелестроении. Под ред. В. В. Никифорова (ЦНИИИ), 1950.
 86. Металловедение и термическая обработка, библиографический указатель под ред. И. С. Козловского, ВНИТОМАШ, 1952 г.
 87. Михеев М. А., Основы теплопередачи, М., Госэнергоиздат, 1949.
 88. Металловедение и термообработка (Уралитомаш — Центр. лаборатория Уралмашзавода), Свердловск, 1947.
 89. Мороз Л. С., Упрочнение безуглеродистых сплавов железа при фазовом превращении, Металлургиядздат, 1951.
 90. Мороз Л. С. и Шураков С. С., Проблема прочности цементированной стали. Под ред. Г. Н. Давиденкова, Л., ЦНИИ Минтрансаш, 1947.
 91. Морозова Е. М. и Спывак Э. Д., Термическая обработка в станкостроении, М., 1949.
 92. Морозова С. М. и Пеханова А. А., Дефекты структур котельных сталей, Рецнздат, 1951.
 93. Металловедение и термическая обработка, Вып. 2, 1949.
 94. Минкевич А. Н., Химико-термическая обработка сталей, 1950.
 95. Нагрев стали и печи, Сборник статей под ред. В. Ф. Копытова, М., 1948.
 96. Новое в металловедении и литейном производстве, под ред. Г. Н. Глбова, 1951.
 97. Новое в металловедении, М. (ВНИТОМАШ), 1948.
 98. Омельянов А. Е. и Рабинович И. П., Справочник по материалам деталей сельскохозяйственных машин, 1949.
 99. Окрешко Н. В., Литье, ковка, термическая обработка (деталей авиадвигателей), М., Оборонгиз, 1947.
 100. Осборн Г. и др., Индукционный нагрев. Сборник статей, пер. с англ. О. М. Руфанова, под ред. М. Г. Лозинского, М., 1948.
 101. Памяти Дмитрия Константиновича Чернова. Сборник под ред. Н. Т. Гудцова, Металлургиядздат, 1950.
 102. Поверхностное упрочнение стали методами химико-термической обработки, ЭНИМС, М., 1949.
 103. Погодин-Алексеев Г. И., Геллер Ю. А. и Рахштадт А. Г., Металловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. Оборонгиз, 1950.
 104. Погодин-Алексеев Г. И., Методическое пособие по лабораторной металловедению (Всесоюзный заочн. политех. ин-т), 1950.
 105. Полгурский Л. В., Защитные атмосферы при термообработке инструментальных сталей. Древесный газ, М., ВНИИ МСС, 1949.
 106. Подгурский Л. В. и Бадаева А. А., Цианирование инструмента из углеродистой стали, М., ВНИИ МСС, 1949.
 107. Потаков Я. М. и Васильев П. В., Руководство по термической обработке сталей для самолетостроения, изд. 2-е доп., испр., М., Оборонгиз, 1947.
 108. Потаков Я. М. и Шор Э. Р., Термическая обработка сталей для самолетостроения. Под ред. Н. М. Склярова, М., Оборонгиз, 1948.
 109. Проблемы конструкторской стали. Сборник докладов научно-технической сессии по металловедению и термической обработке, посвященной проблемам конструкторской стали. Под ред. В. С. Меськина, Л., 1949.
 110. Проблемы металловедения и физики металлов, М., Металлургиядздат, 1949.
 111. Просвирин В. И., Влияние внешнего давления на фазовые превращения в стали и чугуна, М., (ЦНИИТМАШ), 1948.
 112. Просвирин В. И., Термическая обработка жаропрочных сталей, 1951.
 113. Пуляевский Г. Ф., Влияние кислорода на процесс цементации железа, М., ВВИА им. Жуковского, 1947.
 114. Пожарная опасность при термической обработке металлов в селитровых и масляных ваннах. Сост. УПО МВД г. Москва, 1950.
 115. Применение токов высокой частоты в станкостроительной промышленности. Труды конференция, 1950 г. под ред. Г. И. Бабат. Центр. бюро техн. информации, 1951.
 116. Памятка по технике безопасности для рабочих термических цехов, 1950.

117. Рабинович И. П., Термическая обработка деталей сельскохозяйственных машин, М., ВИСХОМ, 1948.
118. Райхер С. А., Техника безопасности в термических цехах, 1950.
119. Раузин Я. Р., Термическая обработка хромистой стали, 1950.
120. Регирер З. Л., Жидкостная цементация стали, М., 1949.
121. Рогольберг И. Л. и Шпигенеккий Е. С., Диаграммы рекристаллизации металлов и сплавов. Справочник, Металлургияиздат, 1950.
122. Ривлин Ю. В., Металлы и сплавы, применяемые в химической промышленности. Конспект лекций по материаловедению, Госхимиздат, 1950.
123. Русские ученые-металловеды. Общая редакция и вступ. очерк Д. М. Нахимова и А. Г. Рахштада, 1951.
124. Садовский В. Д., Атлас диаграмм кинетики превращения переохлажденного аустенита в легированных сталях. Москва — Свердловск, Металлургияиздат 1947.
125. Сборник по обмену опытом заводов строительного и дорожного машиностроения (ВНИИСтройдормаш), 1950, вып. 5. Готлиб Л. И., Станок для поверхностной закалки крупных деталей. Вып. 9. Юшквич П. М., Термическая обработка червяков токнами высокой частоты, Сборник 12, 1951, Готлиб Л. И., Поверхностная закалка крупных деталей.
126. Свойства и термическая обработка транспортного металла, Сборник статей, М., Металлургияиздат, 1947.
127. Свидерский Г. Д., Установки для термической обработки деталей при низких температурах, М., ИТЭИН, 1948.
128. Свойства сталей и сплавов (Справочник), пер. с англ., М., Металлургияиздат, 1946.
129. Серенсен С. В. и Конторович И. Н., Влияние азотирования на усталость конструкционной стали, М., Оборонгиз, 1947.
130. Солодихин А. Г., Механизация процессов термической обработки. Альбом чертежей, МОНИТОМАШ, 1950.
131. Самохоцкий А. И. и Лагунцов И. Н., Технология термической обработки, 1950.
132. Соколов К. Н., Оборудование термических цехов. Термические печи и нагрев металлов, 1950.
133. Справочник машиностроителя, т. 1 и т. 2.
134. Спивак Э. Д. и Зусман В. Г., Закалка типовых деталей станков с индукционным нагревом токами высокой частоты, М., ЭНИМС, 1947.
135. Стародубов К. Ф., Оборудование термических цехов, учебное пособие для металлургических вузов, М., Металлургияиздат, 1948.
136. Структура и свойства сталей, Отв. ред. В. П. Елютин, М., Металлургияиздат, 1949.
137. Сжигание газа в промышленных печах. Сборник статей под ред. и с предисл. Н. Н. Доброхотова, Гостехиздат Украины, 1950.
138. Смирнов А. А., Ремонт теплотехнических контрольно-измерительных приборов. Практическое руководство, Гостехиздат, 1950.
139. Структура и свойства стали. Сборник статей под ред. В. П. Елютина, Металлургияиздат, 1951.
140. Славкин Л. О. и Штейман Е. Б., Металлы и сплавы в химическом машиностроении и автостроении. Справочник, 1951.
141. Сварка и термическая обработка металлов. Под общей редакцией К. И. Гостева, Оборонгиз, 1951.
142. Свечкашвили А. Д., Тепловые расчеты электрических печей сопротивления (Моск. ордена Ленина Энергет. ин-т им. В. М. Молотова), 1951.
143. Структура и свойства термически обработанной стали. Сборник научных работ под ред. Г. И. Погодина-Алексеева, 1951.
141. Тайц Н. Ю., Технология нагрева стали. Металлургияиздат, 1950.
145. Термическая обработка. Доклады на Московской конференции по термической обработке. М., ВНИТОМАШ, 1948.
146. Технологические, физико-химические и механические свойства стали. Отв. ред. В. П. Елютин, М., Металлургияиздат, 1949.
147. Туттов И. Е., Металлопечение, 1951.
148. Горлопанова Г. А., Химико-термическая обработка чугуного литья, ИТЭИН, 1946 (1947).
149. Горлопанова Г. А., Термическая обработка стали, Учебное пособие для ремесленных училищ, М., Металлургияиздат, 1947.
150. Груды Всесоюзной научно-технической сессии по промышленным печам, М.-Л., Госэнергиздат, 1949.
151. Термическая обработка рельсов. Сборник статей под ред. И. П. Бардина, изд. АН СССР, 1950.
152. Трапезников А. К., Контроль материалов и изделий рентгеновскими лучами, 1951.
153. Тельнов Г. М. и Натанзон Е. И., Электронагрев методом сопротивления, 1951.
154. Топерверх Н. И. и Шерман М. Я., Теплохимические измерительные и регулирующие приборы на металлургических заводах, Металлургияиздат, 1951.
155. Термическая обработка металлов. Материалы конференции (УралНИТОМАШ). Под ред. И. Н. Богачева и К. Н. Соколова, 1950.
156. Уманский Я. С. и др., Физические основы металлургии (Атомное строение сплавов), М., Металлургияиздат, 1949.
157. Упрочнение машиностроительных сортов стали поверхностной обработкой. Под ред. И. А. Одина, М., 1947.
158. Уманский Я. С., Трапезников А. К. и Китайгородский А. И., Рентгенография, 1951.
159. Физико-химические методы исследования металлов. Под ред. Н. И. Еремина (ЦНИИТМАШ), 1950.
160. Филиппов Е. А., Нагревательные индукторы для индукционного нагрева, М., ИТЭИН, 1947.
161. Физико-химические методы исследования металлов. Сборник статей под ред. Н. И. Еремина, 1950.
162. Фазовые превращения в железоуглеродистых сплавах, 1950.
163. Хинский И. С., Скоростное глубокое цианирование деталей, М., 1948.
164. Червяков Ф. Я., Химико-термическая обработка режущего инструмента (Нитроцементация пастами), М., Углетехиздат, 1948.
165. Чернышев И. Е. и Возлинский А. Г., Термическая обработка цементиремых шестерен автомобиля, М., Мин. автотракторной промышленности СССР, 1948.
166. Чернов Дмитрий Константинович. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов. Общая редакция и вступ. очерк проф. Б. Е. Воловика, 1950.
167. Чернышев В. В. и Иванов В. А., Высоковольтная закалка тракторных деталей, 1950.
168. Чириков В. Т., Газовое цианирование конструктивных сталей, М., 1949.
169. Шепеляковский К. З. и Рымский С. Е., Техника применения индукционного нагрева, М., 1949.

170. Штейнберг С. С., Термическая обработка стали. Избранные статьи. Под ред. Н. Н. Богачева, В. А. Садовского и Н. П. Кирьяновой, 1950.
171. Шапошников Н. А., Механические испытания металлов. 1951.
172. Юрьев С. Ф., Деформация стали при химико-термической обработке. Под ред. Н. Т. Гудцова, 1950.
173. Юрьев С. Ф., Удельные объемы фаз в мартенситном превращении аустенита, Металлургияздат, 1950.
174. Юм-Розери В., Электроны и металлы (перев. с англ.), Металлургияздат, 1950.
175. Эстрин Б. М., Отечественные установки для приготовления контролируемых атмосфер (Моск. ордена Ленина Энергет. ин-т им. В. М. Молотова), 1951.
176. Электрические промышленные печи. Под ред. А. Д. Свенчанского, Госэнергоиздат, 1948.
177. Энциклопедический справочник „Машиностроение“. М., Машгиз, 1946—1949 гг.
т. 1, книга 1-я, глава III „Химия“;
т. 1, книга 1-я, глава IV „Техническая механика жидкостей и газов“;
т. 1, книга 1-я, глава V „Теплота“;
т. 1, книга 1-я, глава VI „Электротехника“;
т. 1, книга 2-я, глава V „Прочность“;
т. 3, глава I „Испытания механических свойств металлов“;
т. 3, глава II „Испытания хим металлов“;
т. 3, глава III „Физические методы испытаний“;
т. 3, глава IV „Технологические пробы“;
т. 3, глава V „Физико-химические и механические свойства чистых металлов“;
т. 3, глава VI „Общие свойства и классификация стали“;
т. 3, глава VII „Конструкционная сталь“;
т. 3, глава VIII „Инструментальная сталь“;
т. 3, глава IX „Сталь высоколегированная с особыми свойствами“;
т. 3, глава X „Состав, свойства и назначение стали“;
т. 4, глава I „Чугун“;
т. 4, глава II „Цветные металлы и сплавы“;
т. 4, глава III „Твердые сплавы“;
т. 7, глава XI „Технология термической обработки металлов“;
т. 14, глава IV „Проектирование термических цехов и отделений“.
178. Ясногородский И. З., Нагрев металлов и сплавов в электролите, Мин. автотракторной промышленности СССР, 1949.
179. Ясногородский И. З., Нагрев металлов и сплавов в электролите, 1949.
180. Прейскурант на сталь обыкновенного качества, Металлургияздат, 1950.
181. Прейскурант на качественную сталь, Металлургияздат, 1950.
182. Прейскурант на огнеупорные изделия и сырье, Металлургияздат, 1949.
183. Прейскурант № 16 на электрические печи, высокочастотные установки и запасные части к ним. ЦБТН Министерства электропромышленности, 1951.
184. Прейскурант № 6 на контрольно-измерительные приборы. МАП, Оборонгиз, 1951.
185. Прейскурант оптовых цен на оборудование, приборы, литье и поковки, Министерство черной металлургии СССР, Металлургияздат, 1951.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Выдающиеся русские ученые металлореды-термисты	7
Глава II. Физические величины и константы	15
Обозначения и размерности величин	15
Обозначения величин механической прочности	17
Соотношения между размерными числами технической, физической и электрической системами мер	18
Электрические и магнитные величины	19
Шкалы температур	20
Сравнение градусов Цельсия и Фаренгейта	21
Теплоемкость	23
Теплоемкость и теплосодержание газов	23
Тепловые эффекты реакций	26
Тепловые эффекты образования соединений металлических элементов	27
Константы равновесия важнейших химических реакций	28
Свойства некоторых элементов и их соединений, применяемых при термической обработке металлов	30
Упругость водяного пара и содержание влаги в 1 м ³ влажного газа	32
Элементарные ячейки пространственных кристаллических решеток	33
Основные физические характеристики элементарных частиц	33
Возможные значения и сочетания квантовых чисел	34
Периодическая система элементов	35
Физико-химические константы важнейших элементов, образующих металлические сплавы	36
Глава III. Состав, свойства и назначение стали	38
Диаграмма состояния „железо — углерод“	38
Структуры и их свойства	39
Изотермический распад аустенита	42
Влияние легирующих элементов на свойства стали	47
Зернистость стали	52
Прокаливаемость стали	53
Химический состав, механические свойства и назначение различных марок стали	60
Классификация стали	60
Химический состав и механические свойства углеродистой стали обыкновенного качества	63
Назначение, химический состав, механические свойства и технологические пробы стали обыкновенного качества	64
Химический состав и механические свойства качественной, углеродистой стали	74
Классификация углеродистой стали по механическим свойствам	75
Механические свойства тонко- и толстостеновой углеродистой стали	76
Химический состав автоматной стали	76
Механические свойства сортовой автоматной стали	76
Отливки фасонные из углеродистой стали	77

Химический состав конструкционной легированной стали	77
Нормы твердости и механические свойства легированной стали	79
Механические свойства сердцевины цементуемой стали после закалки и низкого отпуска	81
Классификация легированной стали по механическим свойствам	82
Механические свойства калиброванной холоднотянутой стали	83
Химический состав и нормы твердости шарикоподшипниковой стали	84
Характеристика стальной ленты и проволоки, применяемой для изготовле- ния деталей шарико-роликподшипников	85
Химический состав рессорно-пружинной стали	86
Нормы твердости и механические свойства рессорно-пружинной стали	87
Химический состав инструментальной легированной стали	88
Химический состав и твердость в закаленном состоянии инструментальной углеродистой стали	90
Химический состав инструментальной быстрорежущей стали	90
Назначение марок стали для изготовления отдельных видов инструмента	91
Химический состав стали со специальными физическими свойствами	93
Отливки фасонные из высокохромистой стали	93
Химический состав высоколегированной нержавеющей, кислотостойкой и жароупорной стали	94
Механические свойства некоторых нержавеющей, окислительных и жаро- прочных марок стали	96
Механические свойства некоторых нержавеющей, окислительных и жаро- прочных марок стали при низких и повышенных температурах	97
Термическая обработка и механические свойства нержавеющей и кисло- стойкой листовой стали	98
Характеристика изделий из нержавеющей кислотоупорной и жаропрочной стали	99
Основные свойства и примерное назначение высоколегированной нержавеющей, кислотостойкой, огнестойкой и жаропрочной стали	100
Физические свойства стали	102
Чугун. Отливки из серого чугуна	110
Отливки из антифрикционного серого чугуна	111
Отливки из ковкого чугуна	111
Глава IV. Технология термической обработки деталей машин и инстру- ментов	112
Физические основы нагрева и охлаждения стали	112
Физические закономерности при нагреве, выдержке и охлаждении металла	113
Характеристика процессов термической обработки стальных деталей и инструментов	115
Процессы обуславливающие преобразования во всем объеме нагреваемой де- тали (изделия)	116
Отжиг рекристаллизационный	116
Отжиг	116
Закалка	117
Закалочные среды	131
Отпуск	136
Низкотемпературная обработка	137
Старение	139
Процессы химико-термической обработки	139
Цементация	140
Азотирование	150
Цианирование	155
Характеристика процессов диффузионной металлизации	161
Контролируемые атмосферы	164
Рекомендуемые режимы термической обработки	172
Схемы прохождения деталей по цехам	172
Схемы технологических процессов термической обработки	173

Типовые режимы термической обработки наиболее употребительных марок конструкционной стали	173
Типовые режимы термической обработки инструментальной стали	177
Технология термической обработки чугуна	180
Режимы отжига для снятия внутренних напряжений	186
Влияние режима отжига на остаточные напряжения	187
Влияние режима термической обработки на длительность графитизации чугуна	187
Содержание связанного углерода	187
Типовые режимы термической обработки коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания	188
Типовые режимы термической обработки клапанов двигателей внутреннего сгорания	189
Типовые режимы термической обработки распределительных валов двигателей внутреннего сгорания	190
Типовые режимы термической обработки шатунов двигателей внутреннего сгорания	190
Типовые режимы термической обработки шестерен коробок скоростей, редукторов, демультипликаторов, дифференциалов	191
Типовые режимы термической обработки валов и осей	192
Типовые режимы термической обработки крепежных деталей	193
Типовые режимы термической обработки рессор и пружин	194
Типовые режимы термической обработки автомобильных деталей	194
Режим закалки автомобильных деталей при электроннагреве т. в. ч. с охлаждением в воде	198
Режим термической обработки деталей шарико- и роликоподшипников	200
Типовые режимы термической обработки деталей станков	204
Условия поверхностной закалки с электроннагревом т. в. ч. шестерен станков с модулем 3,25—4,5, изготавливаемых из стали марки 45	205
Рекомендуемые марки стали, технические условия и схемы термической обработки деталей сельскохозяйственных машин	206
Типовые режимы термической обработки инструментов из быстрорежущей стали	209
Типовые режимы термической обработки режущего и измерительного инструмента из легированной стали	209
Формулы (практические) для определения продолжительности подогрева под закалку различных инструментов	210
Типовые режимы термической обработки инструментов деформирующих металл давлением	211
Типовые режимы термической обработки стали, применяемой для пресс-формы литья под давлением	212
Технологический процесс катодного травления стальных деталей	212
Контроль твердости	213
Соотношение чисел твердости, определенных различными методами	215
Удельный расход материалов, применяемых при термической обработке	216
Глава V. Печи, нагревательные установки, приборы теплового контроля	218
Печи	218
I. Классификация термических печей по источникам тепловой энергии и способам ее использования	218
II. Классификация термических печей по конструктивным особенностям и способам механизации	218
III. Классификация термических печей по особенностям рабочего объема и применению внешних сред	220
Классификация термических печей по назначению и рекомендации их для различных процессов термической обработки	221
Техническая характеристика электропечей	222
Техническая характеристика серии конвейерных закалочных-отпусковых электрических печей	223

Техническая характеристика толкательных закалочных-отпускных электрических печей	224
Техническая характеристика сухих трансформаторов, предназначенных для питания электрических печей	225
Техническая характеристика закалочных баков	226
Техническая характеристика моечных машин	227
Характеристика шитов управления	227
Химический состав и свойства металлических электронагревателей	229
Химический состав, свойства и размеры карборундовых электронагревателей	229
Характеристика карборундовых нагревателей для печей Г30 и Г50 треста „Электропечь“	229
Удельное электросопротивление карборундовых электронагревателей в $\%$ в зависимости от температуры	229
Механические свойства и удельное электросопротивление нихромов в зависимости от температуры	230
Расчет металлических нагревательных электросопротивлений	230
Расчет неметаллических нагревательных элементов	232
Формулы электрического сопротивления и потребляемой мощности печей для основных схем включения нагревательных элементов	232
Размеры типовых печей периодического действия	233
Техническая характеристика печей-ванн	233
Удельная производительность печей для различных процессов термической обработки	233
Размеры рабочего пространства наиболее распространенных печей	234
Расчет производительности и количества оборудования	235
Вспомогательное время на переналадку режима печей	235
Фонд времени работы оборудования	236
Тепловой расчет печей	236
Физические свойства некоторых материалов	238
Степень черноты полного нормального излучения для некоторых материалов	239
Тепловые параметры жидкостей	239
Коэффициент теплопроводности жидкостей	240
Коэффициент теплопроводности газов при атмосферном давлении	240
Тепловая характеристика термических печей (к. п. д.)	240
Топливо	241
Теплотворность твердого и жидкого топлива	241
Характеристика газообразного топлива	243
Средний состав продуктов горения газообразного топлива при $\alpha = 1,0$ в $\%$	243
Методика определения расхода топлива и электроэнергии	244
Системы сжигания различных видов топлива	245
Техническая характеристика форсунок	246
Техническая характеристика газовых горелок пламенного горения низкого давления	247
Горелки поверхностного беспламенного горения	247
Размеры газовых горелок и туннелей системы беспламенного сжигания	248
Размеры и производительность инспираторов смесителей высокого давления	248
Свойства мазута-топлива	249
Коэффициент для пересчета различных видов топлива на условное $Q_H = 7000$ ккал/кг	249
Пределы и температуры взрываемости (воспламенения) газовоздушных смесей и некоторых жидких и твердых видов топлива	249
Предельно-допустимое содержание некоторых ядовитых газов, паров и пыли в воздухе производственных помещений	250
Материалы	251
Характеристика жароупорной стали, применяемой для деталей печей	251

Основные свойства огнеупоров	252
Физические свойства шамотного кирпича	253
Размеры нормального шамотного кирпича	253
Форма и размеры шамотного кирпича	254
Основные свойства пористых огнеупорных изделий (легковесов)	257
Характеристика теплоизоляционных материалов	257
Нагревательные установки	258
Характеристика контактных закалочных установок	258
Основная характеристика генераторов повышенной и высокой частоты	258
Параметры машинных генераторов	260
Характеристика машинных высокочастотных генераторов	261
Техническая характеристика высокочастотных ламповых генераторов	261
Характеристика конденсаторных батарей для включения в колебатель-	
ный контур высокочастотного машинного генератора	262
Параметры бумажно-масляных контурных конденсаторов с водяным	
охлаждением	262
Характеристика щитов управления машинными высокочастотными	
генераторами	262
Характеристика мощных генераторных ламп с водяным охлаждением	
анода	263
Характеристика газотронов высокочастотных установок	264
Приборы теплового контроля	265
Характеристика термометров сопротивления	265
Характеристика термопар	266
Характеристика термометров	268
Характеристика оптических и радиационных пирометров	270
Техническая характеристика милливольтметров ПГУ, ГНЗС, ГНКП,	
ГПКП и МПБ-46	270
Потенциометры и мосты электронные	271
Техническая характеристика гальванометров, логометров потенцио-	
метров	272
Электрические газоанализаторы	275
Приложение. Перечень основных действующих государственных обще-	
союзных стандартов на сталь	276
Литература и источники	278

Технический редактор *Т. Ф. Соколова*
Корректор *Л. Ф. Никифорова*
Обложка художника *А. Л. Бельского*

Сдано в производство 11/1 1952 г. Подписано
к печати 8/VII 1952 г. Т-05813 Тираж 20 000 экз.
Печ. л. 18,38 (2 вкл.) Уч.-изд. л. 30. Бум. л. 9,19
Формат 60×92¹/₁₆ Номинал — по прейскуранту
1952 г. Заказ № 1880

1-я типография Машгиза,
Ленинград, ул. Моисеенко, 10



Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
23	Правая колонка, 19–20-я сверху	R — газовая постоянная в кгм/кг ; $^{\circ}\text{C}$	R — газовая постоянная в кгм/кг $^{\circ}\text{C}$;	Корр.
30	17-я сверху, 2-я колонка	K_2CO_2	K_2CO_3	
121	1-я сверху, 2-я колонка	на фиг. 61	на фиг. 6	Тип.
235	1-я снизу, 1-я таблица, 2-я колонка	$n_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{k}$	$\frac{n_p}{k}$	Корр.
262	4-я колонка, 2-я таблица	Частица	Частота	

