И.Л.Кнунянц

Краткая химическая энциклопедия

Том 2. Статьи от Ж до "Малоновый эфир"

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 54
ББК 24
И11

И.Л.Кнунянц
И11 Краткая химическая энциклопедия: Том 2. Статьи от Ж до "Малоновый эфир" / И.Л.Кнунянц – М.: Книга по Требованию, 2012. – 541 с.

ISBN 978-5-458-26128-9

Краткая Химическая Энциклопедия представляет собой научно-справочное издание по всем отраслям химии. В Энциклопедии отражены все разделы современной химической науки и техники: физическая химия, неорганическая химия, органическая химия, аналитическая химия, коллоидная химия, радиохимия (в том числе химия изотопов), радиационная химия, геохимия, биохимия, химия природных и синтетических полимеров, химия и технология нефти, коксохимия, химия красителей, химия лекарственных веществ и т. п.

ISBN 978-5-458-26128-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Серия Книжный Ренессанс
www.samizday.ru/reprint

при наличии напряженного состояния. Составы некоторых применяемых для этой цели сплавов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Группа	Марка сплава	Состав сплава в %							
		C	Cr	Ni	Co	Ti	Al	Mo	Fe
Никелевая	ХН80 (нихром)	0,1	20	80	—	—	—	—	—
	ХН75 (инконель)	0,1	15	75	—	—	—	—	10
	ХН80Т (нимоник)	0,1	20	76	—	3	1	—	—
Кобальтовая	Виталлиум	0,25	27	3	65	—	—	5	—

Экспериментально были найдены присадки, повышающие Ж. различных металлов (за исключением стали и никеля, о к-рых сказано выше). Для меди такими присадками являются никель с кремнием, хромом или кобальтом; для алюминия — медь, никель или магний; для олова и его сплавов — мышьяк + кадмий и для цинка и его сплавов — магний или медь.

Нек-рые общие положения, к-рым должны удовлетворять все жаропрочные сплавы независимо от их состава и структуры, сводятся к следующим. Для машин и аппаратов, работающих при высоких темп-рах, наиболее подходящими являются сплавы с относительно крупным зерном и совершенно свободные от остаточных напряжений; сплав должен быть по возможности однородным. Поэтому, как правило, литые детали обнаруживают большее сопротивление деформирующим силам при повышенных темп-рах, чем детали, предварительно прошедшие холодную обработку. Особенно это справедливо при рабочих темп-рах, близких к плавлению сплава. В связи с этим детали, предназначенные для работы при высоких темп-рах и подвергшиеся механич. обработке, должны пройти предварительный отжиг при темп-ре, превышающей эксплуатационную.

В нек-рых случаях жаропрочные сплавы подвергают дополнительной обработке — нанесению на их поверхность жаростойкого, т. е. стойкого по отношению к газовой коррозии при высоких темп-рах металла или сплава. Материалом для таких покрытий служат кремний (силицирование), алюминий (алитирование), хром (хромирование) или титан (титанирование). В нек-рых случаях используются комбинированные покрытия из нескольких элементов. Достигаемая при этом защита жаропрочного материала значительно уменьшает потери от газовой коррозии и предохраняет его от образования коррозионных трещин, быстро приводящих к разрушению уже при весьма малых напряжениях (см. *Коррозия металлов*).

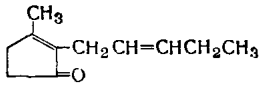
Важной группой жаропрочных материалов являются *керметы*. Сравнительно высокой Ж. обладают неорганич. полимерные материалы на основе кремния.

Значительное распространение в различных отраслях пром-сти, связанных с использованием высоких темп-р, получил неметаллич. жаропрочный материал, т. н. жаростойкий бетон. Он используется в качестве футеровки обжиговых печей, в облицовке и изоляции паровых котлов, кожухов регенераторов мартеновских печей, в футеровке реакционных печей химич. пром-сти и т. п. Жаростойкий бетон состоит в основном из заполнителя и связки, а в нек-рых случаях и тонкомолотой минеральной добавки (кварцевый песок, шамот, доменный шлак и др.), уменьшающей падение прочности бетона при нагревании.

Связующим в жаростойком бетоне служат цементы: портландский, шлако-портландский, пуццолановый, глиноземистый, высокоглиноземистый, доломитовый водоустойчивый, периклазовый, бариево-моноалюминатный, а также жидкое стекло с добавкой кремнефтористого натрия. Размер зерен заполнителей в разных бетонах колеблется от 2—3 до 20—35 *мм* и достигает иногда 40—60 *мм*. Наиболее распространены следующие комбинации заполнителей и цемента: шамотный или шамотно-каолиновый заполнитель (для рабочих темп-р не более 1100—1200°) на портландцементе; хромитовый порошок с портландским (до 1300°) или глиноземистым (1400°, иногда 1500°) цементом, хромомагнезитовый заполнитель с глиноземистым цементом (1600°), высокоглиноземистый шамот с высокоглиноземистым цементом (до 1400—1700°).

Лит.: Гуляев А. П., Металловедение, 2 изд., М., 1951; Фридман Я. Б., Механические свойства металлов, 2 изд., М., 1952; Мортон К. Смит, Основы физики металлов, пер. с англ., М., 1959; Кузнецов В. Д., Физика твердого тела, т. 2, [Томск], 1941; Сб. научных докладов по теории жаропрочности, М., 1961; Бернштейн М. Л., Стали и сплавы для работы при высоких температурах, М., 1956; Будников П. П. [и др.], Технология керамики и огнеупоров, М., 1954; Некрасов К. Д., Жароупорный бетон, М., 1957; Технология и свойства жароупорных бетонов, М., 1959 (Тр. н.-и. ин-та бетона и железобетона, вып. 7); Корнилов И. И., Физико-химические основы жаропрочности сплавов, М., 1961.

ЖАСМОН $C_{11}H_{16}O$, мол. в. 164,24 — бесцветная жидкость с запахом жасмина; т. кип. 134—135°/12 *мм*; d_4^{22} 0,9437; n_D^{22} 1,4979. Ж. дает реакции, характерные для кетонов. Ж. выделен из масла цветов жасмина. Синтезы Ж. ввиду чрезвычайной громоздкости, малых выходов и труднодоступности исходного сырья не имеют промышленного значения. Ж. можно применять в парфюмерных композициях вместо натурального жасминного масла, но ввиду малой доступности в пром-сти используют его аналог, т. н. *дигидрожасмон*, обладающий схожим запахом.



А. А. Зеленецкая.

ЖЕЛАТИНА — продукт переработки *коллагена*, распространенного в природе белкового вещества, образующего главную составную часть соединительной ткани позвоночных, особенно в коже, оссеине костей и в сухожилиях. По аминокислотному и элементарному составу Ж. близка к коллагену. Главнейшие к-ты: глицин (ок. 27%), пролин (ок. 16%), оксипролин (ок. 14%), глутаминовая к-та (ок. 12%), аргинин (ок. 9%), лизин (ок. 5%). Элементарный состав Ж.: 48,7—51,5% C; 6,5—7,2% H; 17,5—18,8% N; 24,2—26,8% O; 0,3—0,7% S. В Ж. ок. 15% H_2O и ок. 1% золы. Лучшие сорта Ж. слабо окрашены в желтый цвет; *d* 1,3—1,4; n_D 1,5; средний мол. в. ок. 60000; благодаря наличию в Ж. кислых (карбоксильных) и основных (амино) групп она имеет амфотерный характер. Ж., полученная по «щелочному» способу, имеет изоэлектрич. точку при pH 4,8—5,1, а полученная по «кислотному» способу — при pH ок. 9. Ж. набухает в воде и при нагревании растворяется; при охлаждении р-р Ж. образует студень (гель), к-рый при нагревании опять переходит в р-р. Темп-ра застудневания и прочность студня зависят от концентрации р-ра и качества Ж. Основными критериями качества Ж. являются вязкость р-ра, прочность студня, темп-ра его плавления и застудневания, измеренные при определенных условиях. В конц. р-рах нек-рых веществ (напр., роданистого калия, бензолсульфоната натрия и др.) Ж. растворяется на холоду. Эти же вещества препятствуют образованию студня. Под действием дубителей Ж. теряет способность набухать в воде и растворяться.

Основным сырьем для произ-ва Ж. служат кости крупного рогатого скота, отходы коженного произ-ва (обрезки шкур, мездра) и сухожилия. В Японии для этой цели с недавнего времени применяют также

содержащие коллаген отходы китобойного промысла. Ж. может быть получена из кожи, чешуи и плавательных пузырей рыб. Такая Ж., однако, дает слабый студень и используется только как клей. Из костей сначала получают оссеин; для этого, после их обезжиривания горячей водой или органич. растворителями (бензином, дихлорэтаном), удаляют всю минеральную часть (углекислый и фосфорнокислый кальций) 4—6%-ным р-ром соляной к-ты. Отработанную к-ту используют для получения двузамещенного фосфата кальция (преципитата). Для последующей обработки полученного т. обр. оссеина применяют при нормальной темп-ре известковое молоко. Для оссеина этот процесс (золка) длится один-два месяца, для кожевенного сырья — до шести месяцев. После золки сырье нейтрализуют соляной или фосфорной к-той до pH ок. 6 и промывают. Подготовленное сырье варят при 55—60° до тех пор, пока концентрация Ж. в р-ре (бульоне) не достигнет 5—7%. Затем бульон сливают и сырье заливают новой порцией воды. Так поступают несколько раз, пока из сырья не будет извлечена вся Ж. Для каждой последующей порции воды темп-ру варки повышают на 5—10°. Лучшие сорта Ж. (фотографическую, пищевую) получают из первых двух-трех бульонов. Бульоны фильтруют, упаривают в вакуум-аппаратах, а затем студенят и студни сушат. В последнее время начинает распространяться «кислотный» способ произ-ва Ж. При этом исключена золка. Сырье обрабатывают короткое время раствором к-ты для снижения pH прибл. до 4. В этих условиях варка идет быстро и при умеренных темп-рах.

В зависимости от степени чистоты и качества различают фотографич., пищевую и технич. Ж. Первую применяют в произ-ве фото- и кинопленок, фотопластинок и фотобумаги. Пищевую Ж. используют в кулинарии, в кондитерском деле, в виноделии и пивоварении; техническую — в бумагоделательной, полиграфич. и в др. отраслях пром-сти. Ж. применяется также в медицине (напр., как кровеостанавливающее средство) и в качестве питательной среды для культивирования бактерий.

Лит.: Коваль В. Д., Производство желатины, М., 1951; Белки, под ред. Г. Нейрата и К. Бэйли, пер. с англ., т. 1—3, М., 1956—59; Sauer E., Chemie und Fabrikation der tierischen Leime und der Gelatine, B., 1958.

В.А. Бекунов.

ЖЕЛАТИНИРОВАНИЕ — см. *Застудневание* (растворов высокомолекулярных соединений).

ЖЕЛЕЗА КАРБИДЫ — см. *Железа сплавы.*

ЖЕЛЕЗА НИТРАТЫ — азотнокислые соли 2- и 3-валентного железа. Нитрат 2-валентного железа (ферронитрат) из водных р-ров при темп-рах от —28° до —12° кристаллизуется в виде $Fe(NO_3)_2 \cdot 9H_2O$, выше —12° — в виде $Fe(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ — ромбич. светло-зеленых кристаллов, плавящихся с разложением при 60,5°. Растворимость в воде 81,8 *г* на 100 *г* H_2O при 20°. Образуется при действии разб. HNO_3 (с плотн. ниже 1,034) на железо. Нитрат 3-валентного железа (феррринитрат) известен в форме кристаллогидратов с 9 и 6 молекулами воды; $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ — бледно-фиолетовые моноклинные призмы, плотн. 1,684 (21°), т. пл. 47,2°, при нагревании выше 50° разлагается; $Fe(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ — прозрачные кристаллы кубич. формы, т. пл. 35—40°. Обе соли гигроскопичны и на воздухе расплываются, хорошо растворимы в воде [87,3 *г* $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ в 100 *г* воды при 25°]. Р-ры сильно гидролизованы, из конц. р-ров осаждаются основные соли. В технике Ж. н. получают действием HNO_3 с плотн. ок. 1,115 на железные стружки или обрезки кровельного железа. Из насыщенного р-ра выпадает смесь 6- и 9-водного кристаллогидратов. Применяется как протрава при крашении хлопчатобумажных тканей и как утяжелитель шелка.

ЖЕЛЕЗА ОКИСЛЫ И ГИДРООКИСИ — соединения 2- и 3-валентного железа с кислородом: закись FeO, закись-окись Fe_3O_4 и окись Fe_2O_3 и соответствующие гидроокиси $Fe(OH)_2$ и $Fe(OH)_3$. Об образовании кислородных соединений железа при его окислении в различных условиях см. *Железо.* Свободная железная к-та H_2FeO_4 и отвечающий ей ангидрид — трехокись железа (FeO_3) не получены. Выделены соли железной кислоты — ферраты, общей формы Me_2FeO_4 (где Me — одновалентный металл), — исключительно сильные окислители.

Железа закись FeO — черные кристаллы, кубич. решетка с периодом $a = 4{,}299$ Å, плотн. 5,7; т. пл. 1368°. Теплота образования $\Delta H^\circ_{298} = -63{,}7$ *ккал/моль.* В воде практически нерастворима, хорошо растворима в кислотах. Легко окисляется, пирофорна; после прокаливания становится химически менее активной. Закись железа получают восстановлением Fe_2O_3 водородом или нагреванием оксалата железа $FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$ в атмосфере азота; продукт реакции содержит примеси Fe и C. При действии щелочей на соли Fe (II) выпадает гидроокись 2-валентного железа $Fe(OH)_2$ в отсутствии O_2 в виде объемистого бледно-зеленого осадка. При соосаждении с изоморфной $Mg(OH)_2$ может быть получена кристаллич. форма $Fe(OH)_2$ — бледно-зеленые кристаллы, гексагональная решетка, $a = 3{,}24$ Å, $c = 4{,}47$ Å; плотн. 3,4. Теплота образования $\Delta H^\circ_{298} = -135{,}8$ *ккал/моль.* Легко окисляется до $Fe(OH)_3$. При 150—200° разлагается: $4Fe(OH)_2 = Fe + Fe_3O_4 + 4H_2O$. В воде $Fe(OH)_2$ трудно растворима. Легко растворима в кислотах и р-ре NH_4Cl.

Железа закись-окись Fe_3O_4 — черные кристаллы, кубич. решетка, $a = 3{,}380$ Å, плотн. 5,2, ферромагнитна. При 1538° разлагается. Теплота образования $\Delta H^\circ_{298} = -267{,}0$ *ккал/моль.* Растворяется в кислотах, образуя смесь солей Fe^{2+} и Fe^{3+}. При нагревании на воздухе окисляется до Fe_2O_3. Закись-окись железа получают действием водяного пара на раскаленный металл, частичным окислением закисных соединений, восстановлением окиси железа закисью или металлом. Природная закись-окись железа (магнетит) служит сырьем для получения железа.

Железа окись Fe_2O_3 существует в трех модификациях: парамагнитная α-Fe_2O_3 и ферромагнитные γ-Fe_2O_3 и δ-Fe_2O_3. Наиболее устойчива α-Fe_2O_3 — кристаллы от темно-красного до черно-фиолетового цвета, гексагональная решетка с параметрами $a = 5{,}025$ Å, $c = 13{,}735$ Å и $\alpha = 55°14'$ и плотн. 5,25. Теплота образования $\Delta H^\circ_{298} = -196{,}5$ *ккал/моль.* Плавится при 1562° (с разл.). γ-Fe_2O_3 — коричневые кристаллы кубич. системы, $a = 8{,}339$ Å, плотн. 4,69. Как α-, так и γ-Fe_2O_3 образуются на поверхности железа при его окислении. Модификация δ-Fe_2O_3 может быть получена при окислении р-ров солей железа в щелочном р-ре. Окись железа растворима в кислотах. Может быть получена прокаливанием $Fe(OH)_3$ или железного купороса, окислением FeS_2 и др. способами. Природная α-Fe_2O_3 — гематит, служит сырьем для получения железа.

Железа (III) гидроокись $Fe(OH)_3$ — красно-коричневые кристаллы, кубич. решетка, $a = 5{,}71$, плотн. 3,4—3,9. Теплота образования кристаллич. модификации $\Delta H^\circ_{298} = -197{,}0$ *ккал/моль.* Растворимость при 18° 0,000048 *г* в 100 *г* воды; хорошо растворима в кислотах. $Fe(OH)_3$, осажденная щелочью из р-ра Fe (III), представляет собой гидрогель; гидрозоль получают добавлением гидрогеля к раствору $FeCl_3$. В пром-сти $Fe(OH)_3$ получают взаимодействием $FeCl_2$ с мелом и окислением осадка воздухом или непосредственным окислением $FeCO_3$ воздухом. $Fe(OH)_3$ обладает слабо выраженной кислотной функ-

цией. Соответствующие соли — ферриты, аналогичны по составу алюминатам и производятся от одноосновной железистой к-ты $HFeO_2$, не выделенной в свободном состоянии. Известны ферриты щелочных, щелочноземельных и нек-рых др. металлов. Интересно, что отдельные, сходные по составу ферриты обладают различными структурами кристаллов и различными магнитными свойствами.

Поскольку окислы железа являются основным сырьем получения железа, представляет большой интерес их термич. диссоциация. Темп-ра диссоциации FeO (p_{O_2} = 0,21 *атм*) равна 2500°. Давление O_2 над FeO при 750° равно $1{,}602 \cdot 10^{-17}$ *мм рт. ст.*, а при 950° — $1{,}49 \cdot 10^{-11}$ *мм рт. ст.* Fe_2O_3 диссоциирует при не очень высоких темп-рах (1350—1500°). Давление O_2 над Fe_2O_3 при 427° равно $2{,}241 \cdot 10^{-26}$ *мм рт. ст.* Давление O_2 над Fe_3O_4 при 725° равно $4{,}25 \cdot 10^{-17}$ *мм рт. ст.* Окислы и гидроокиси железа применяют в качестве пигментов (см. *Пигменты железоокисные*). Ферромагнитные окислы железа, а также ферриты применяют в электротехнике, в частности в производстве магнитных звуковых лент.

Лит.: Позин М. Е., Технология минеральных солей, 2 изд., Л., 1961; см. лит. при ст. *Железо*.

ЖЕЛЕЗА СПЛАВЫ. Содержание:

I. Система железо—углерод 19
II. Углеродистые стали 21
III. Чугуны 23
IV. Легированные стали 25
V. Конструкционные стали 26
VI. Инструментальные стали 29
VII. Стали с особыми свойствами 30
VIII. Ферросплавы 33

Железа сплавы — металлич. сплавы на основе железа. До начала 19 в. к Ж. с. относили преимущ. сплавы Fe — C (с примесями Si, Mn, S, P), получившие название сталей и чугунов. Все возрастающие требования техники к металлич. материалам, прежде всего в отношении их механич. свойств, жаропрочности, коррозионной стойкости в различных агрессивных средах, привели к созданию новых Ж. с., содержащих Cr, Ni, Si, Mo, W и др. В настоящее время к Ж. с. относят: углеродистые стали, чугуны, легированные стали, содержащие, кроме C, другие элементы, и стали с особыми физико-химич. и механич. свойствами. Кроме того, в черной металлургии для введения в сталь легирующих элементов применяются особые Ж. с., получившие название ферросплавов. Значение Ж. с. для современной техники следует из того, что 95% всей металлич. продукции составляет сталь и чугун и только 5% — сплавы цветных металлов.

I. Система железо—углерод. Наиболее изучена важнейшая для практики часть системы Fe—C от 0 до 6,67% C* (рис. 1). В этой области за компоненты системы можно принять Fe и Fe_3C — карбид железа, или цементит. *Железо* может находиться в двух кристаллич. модификациях: α-Fe (феррит) с объемноцентрированной кубич. решеткой и γ-Fe (аустенит) с гранецентрированной кубич. решеткой. α-Fe устойчиво в двух интервалах темп-р: ниже 910° и от 1400° до 1539° — темп-ры плавления Fe. Диаметр наибольших пор решетки α-Fe составляет 0,62 Å, что, по-видимому, недостаточно для размещения в этих порах атомов C. Наблюдающаяся весьма малая растворимость C в α-Fe (не более 0,04%) в основном связана с наличием дефектов решетки, особенно по границам зерен. γ-Fe устойчиво в интервале 910—1400°. В γ-Fe диаметр

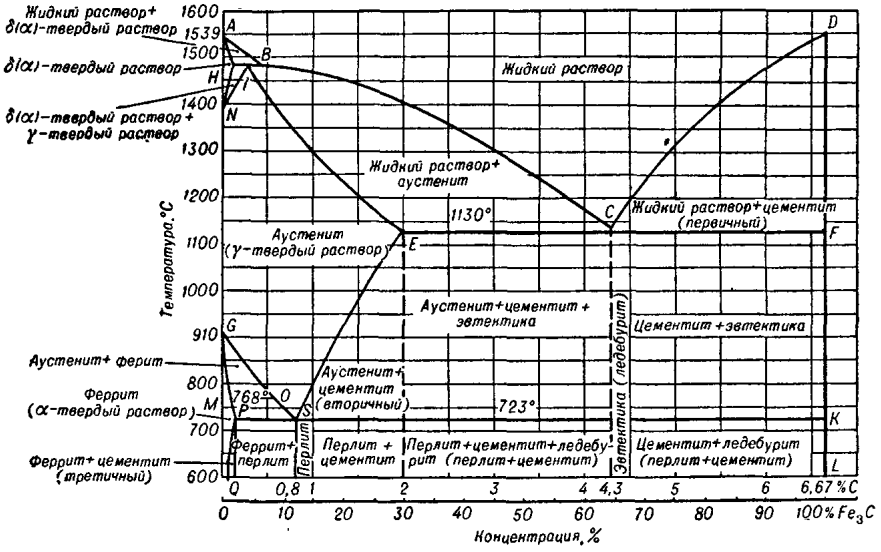


Рис. 1. Диаграмма равновесия системы железо—углерод.

наибольших пор составляет 1,02 Å, что дает возможность атомам C разместиться в этих порах, но при этом параметр решетки увеличивается и тем в большей мере, чем выше концентрация C. Максимальная растворимость C в γ-Fe ок. 2,0% (1130°).

Карбид железа Fe_3C наиболее тверд (H_B > > 800 *кГ/мм²*) и наиболее хрупок из всех фаз и структурных составляющих системы Fe—Fe_3C. По твердости Fe_3C занимает среднее положение между корундом и алмазом. Кристаллич. структура Fe_3C очень сложна и может быть представлена рядом октаэдров, оси к-рых расположены друг к другу под нек-рыми углами. В вершинах октаэдров расположены атомы Fe, а внутри каждого октаэдра находится атом C. Плотность Fe_3C равна 7,82. Ок. 1100° цементит распадается с выделением графита. При обычной темп-ре Fe_3C обладает слабыми ферромагнитными свойствами, исчезающими при 217°. Цементит способен образовывать твердые р-ры замещения: атомы углерода могут замещаться азотом, кислородом, а атомы железа — марганцем, хромом, вольфрамом и др. элементами. В расплавленном состоянии Fe и C смешиваются (до 6,67% C) во всех отношениях. Прибавление C к Fe понижает темп-ру ликвидуса до 1130°, что соответствует эвтектич. точке *C* при 4,3% C. Далее линия ликвидуса повышается до точки *D*, отвечающей темп-ре плавления Fe_3C (табл. 1).

Таблица 1

Точки	Темп-ра, °C	Вес. % C	Точки	Темп-ра, °C	Вес. % C
A	1539	0,0	*D*	1600	6,67
B	1485	0,5	*G*	910	0,0
H	1485	0,1	*P*	723	0,04
I	1485	0,16	*S*	723	0,8
N	1400	0,0	*K*	723	6,67
E	1130	2,0	*Q*	600	0,01
C	1130	4,3	*L*	600	6,67
F	1130	6,67	*M*	768	0,0

Линия *ABCD* является ликвидусом (L) системы, линия *AHIECF* — солидусом (S). При содержании

* Здесь и далее указаны весовые проценты.

Таблица 2

Вес. % C	Структура
1. От 0 до 0,01	Феррит: α-Fe (C) — твердый р-р углерода в железе
2. От 0,01 до 0,03	Феррит и третичный цементит: $\alpha\text{-Fe (C)} + Fe_3C_{III}$ (феррит; цементит третичный)
3. От 0,03 до 0,8	Феррит, третич. цементит и перлит: $\alpha\text{-Fe (C)} + Fe_3C_{III} + [\alpha\text{-Fe (C)} + Fe_3C]$ (феррит; цементит третичный; феррит перлита; цементит перлита; перлит)
4. От 0,8 до 2,0	Вторичный цементит и перлит: $Fe_3C_{II} + [\alpha\text{-Fe (C)} + Fe_3C]$ (цементит вторичный; феррит перлита; цементит перлита; перлит)
5. От 2,0 до 4,3	Перлит, вторичный цементит и ледебурит: $[\alpha\text{-Fe (C)} + Fe_3C] + Fe_3C_{II} + \{[\alpha\text{-Fe (C)} + Fe_3C] + Fe_3C\}$ (перлит; цементит вторичный; перлит — продукт распада аустенита; цементит эвтектики; продукт распада аустенита; ледебурит)
6. От 4,3 до 6,67	Первичный цементит и ледебурит: $Fe_3C_I + \{[\alpha\text{-Fe (C)} + Fe_3C] + F_3C\}$ (цементит первичный; перлит — продукт распада аустенита; цементит эвтектики; ледебурит)

1—4 — углеродистые стали; 5 — доэвтектические чугуны; 6 — заэвтектические чугуны.

свыше 2,0% C по схеме $L \rightarrow \gamma\text{-Fe} + Fe_3C$ (горизонталь *ECF*, 1130°) кристаллизуется эвтектич. смесь аустенита с цементитом — л е д е б у р и т. При содержании свыше 0,64% C и 723° (горизонталь *PSK*) протекает эвтектоидный распад $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + Fe_3C$, в результате чего образуется смесь феррита с цементитом — п е р л и т. Точка *S* отвечает эвтектоидному составу с содержанием углерода 0,8%. Слева от точки *S* наряду с перлитом имеется избыточный феррит, справа от точки *S* (ок. 2% C), кроме перлита, образуется избыточный цементит. В зависимости от условий образования цементита различают цементит первичный, выделяющийся при кристаллизации, вторичный, образующийся из пересыщенного аустенита, и третичный, выделяющийся из пересыщенного феррита.

В соответствии с диаграммой, стали и чугуны, равновесно охлажденные до комнатной темп-ры, состоят из след. структурных составляющих (табл. 2).

При высокой скорости охлаждения (закалке) стали распад аустенита на феррит и перлит не успевает осуществиться и образуется пересыщенный твердый р-р углерода в α-Fe, т. наз. м а р т е н с и т. Вследствие внедрения в решетку α-Fe избыточных атомов углерода она искажается и переходит из кубической в тетрагональную, причем степень тетрагональности увеличивается с увеличением содержания углерода. Мартенситное превращение начинается при определенной темп-ре и по мере понижения темп-ры количество мартенсита в стали увеличивается; кристаллы мартенсита растут с очень большой скоростью, измерить к-рую пока не удалось. Темп-ра, при к-рой практически заканчивается мартенситное превращение, зависит от содержания углерода — чем выше концентрация углерода, тем при более низкой темп-ре завершается этот процесс. Мартенситное превращение сопровождается значительными объемными изменениями в стали, что часто приводит к образованию трещин и к короблению.

II. Углеродистые стали. Сплавы Fe—C, содержащие до 2,0% C, наз. углеродистыми сталями. Обычная углеродистая сталь содержит, кроме того, еще 0,3—0,7% Mn, 0,2—0,4% Si, 0,01—0,05% P и 0,01—0,04% S. Марганец и кремний вводятся в сталь при ее производстве, а фосфор и сера неизбежно попадают из шихтовых материалов. Помимо этих элементов, в сталь попадают в качестве примесей кислород, азот и водород. Могут присутствовать также и другие элементы, к-рые находятся в местных рудах или шихтовых материалах. Так, напр., керченские руды содержат мышьяк и ванадий, халиловские — хром и никель, тагильские — медь и т. д. Т. обр., обычные углеродистые стали могут содержать малые количества 8—10 элементов. Важнейшим элементом углеродистых сталей является углерод, определяющий их структуру и свойства.

Для обозначения марок углеродистых сталей принята буквенно-цифровая система. Электротехнич. малоуглеродистая сталь — железо типа армко (см. *Железо*) — обозначается буквой А или Э. При обозначении мало- и среднеуглеродистых сталей числа показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента (напр., Ст 08, Ст 20, Ст 45 и т. п.), а при обозначении высокоуглеродистых сталей — в десятых долях процента. Кроме того, при обозначении высокоуглеродистых марок сталей перед цифрой ставится буква У (напр., У8, У9 и т. д.). Если сталь содержит минимальные примеси серы и фосфора, а также соблюдены все условия металлургич. производства, в конце марки стали ставится буква А (напр., 10А, 20А, 45А, У8А, У9А и т. п.). Такие стали являются высококачественными. В табл. 3 приводятся составы нек-рых сталей, а в табл. 4 — их механич. свойства.

Таблица 3

Марка стали	Содержание элементов [a], %				
	C	Si	Mn	S	P
А	≤ 0,025	≤ 0,30	≤ 0,035	0,025	0,015
08	0,05—0,12	≤ 0,15	≤ 0,55	0,040	0,040
10	0,05—0,15	0,17—0,37	0,35—0,65	0,045	0,045
20А	0,15—0,25	0,17—0,37	0,35—0,65	0,035	0,040
35	0,30—0,40	0,17—0,37	0,5 —0,8	0,045	0,045
45	0,40—0,50	0,17—0,37	0,5 —0,8	0,045	0,045
45А	0,40—0,50	0,17—0,37	0,5 —0,8	0,035	0,035

[a] Остальное — Fe

Таблица 4

Марка стали	Вид и состояние полуфабрикатов	Механич. свойства (не менее)				
		$\sigma_в$, кГ/мм²	$\sigma_{0,2}$, кГ/мм²	δ, %	ψ, %	H_B, кГ/мм²
А	Прутки горячекатаные (малоуглеродистые)	27	12	26	60	77—103
08	Листы отожженные	28—38	18	26	60	76—113
10	Прутки горячекатаные	32	18	30	55	95—143
20А	Листы отожженные	40—55	22	24	53	111—152
35	Поковки и прутки нормализованные или отожженные	52	28	15	45	143—187
45	Поковки и прутки нормализованные или отожженные	60	32	13	40	170—229
45А	Прутки для расчалок закаленные и отпущенные	70—85	—	11	55	187—241

Обозначения: $\sigma_в$ — прочность (временное сопротивление разрыву); $\sigma_{0,2}$ — предел текучести; δ — удлинение перед разрывом; ψ — сужение в шейке перед разрывом; H_B — твердость по Бринеллю.

Во многих случаях углеродистая сталь используется в машиностроении без специальной термич. обработки в т. наз. «сыром» виде — после горячей прокатки. Механич. свойства такой стали в сильной степени зависят от содержания углерода, как это видно из рис. 2. Литая сталь обладает более низкими механич. свойствами. Горячекатаная сталь широко используется для производства разных машин, станков, строительных металлоконструкций, предметов домашнего обихода и т. д. Для повышения прочности отдельных наиболее ответственных деталей машин и механизмов углеродистые стали, идущие на их изготовление, подвергают термической обработке — закалке и последующему отпуску. В табл. 5 приведены механич. свойства стали 45 в термически обработанном состоянии (в горячекатаном состоянии ее свойства даны в табл. 4).

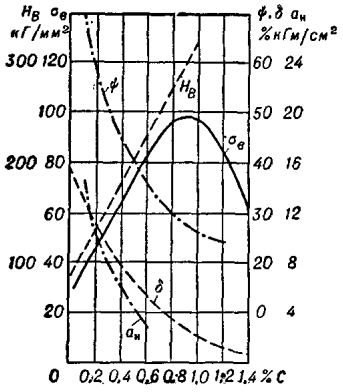


Рис. 2. Влияние углерода на механические свойства стали. H_B — твердость по Бринеллю, $\sigma_в$ — предел прочности, ψ — относительное сужение, δ — относительное удлинение, $a_н$ — ударная вязкость.

Таблица 5

Термич. обработка			Механич. свойства			
темп-ра закалки, °С	охлаждающая среда	темп-ра отпуска, °С	$\sigma_в$, кГ/мм²	$\sigma_{0,2}$, кГ/мм²	δ, %	ψ, %
850	вода	450	100	85	10	40
850	»	500	85	75	12	45
850	»	550	80	65	16	50
850	»	600	75	60	25	55

Углеродистые стали применяются также для изготовления режущего инструмента. Для этих целей используются стали с высоким содержанием углерода от 0,7 до 1,4% (марки стали от У7А до У13А). После закалки стали У7А, У8А и У9А приобретают структуру мартенсита, а стали У10А, У11А, У12А и У13А — структуру мартенсит + цементит. Наличие мартенсита вызывает повышенную хрупкость из-за значительных искажений решетки, поэтому после закалки необходим отпуск, темп-ра к-рого определяется величиной твердости, к-рой должен обладать инструмент.

III. Чугуны — сплавы Fe, содержащие больше 2,0% C (обычно от 2 до 4%). Углерод в чугунах может находиться в связанном состоянии в виде цементита или в структурно-свободном состоянии в виде графита. Основным отличием чугунов от сталей является наличие в них ледебурита и свободного графита. Существуют две точки зрения на процесс образования графита в чугуне: 1) графит выделяется непосредственно из жидкого чугуна во время кристаллизации и при распаде аустенита; 2) образованию графита предшествует процесс выделения из жидкого чугуна и аустенита цементита, к-рый в дальнейшем распадается на железо и графит. В кристаллохимич. отношении вторая точка зрения более обоснована. S, Ni, Al, Cu и Ti ускоряют процесс графитизации; Cr, Mn, W, Mo, S и O_2, наоборот, затрудняют его.

Различают белый, серый и ковкий чугун. Белый чугун при обычной темп-ре содержит перлит и цементит. Весь углерод в белом чугуне находится в связанном состоянии. Серый чугун содержит графит, включения к-рого имеют форму тонких пластинок. Ковкий чугун так же, как и серый содержит графит, но графитовые включения имеют сферич. форму, что повышает пластичность и прочность чугуна. Во всех марках чугуна содержится Si, Mn, S и P, т. е. те же примеси, что и в углеродистых сталях, но в бо́льших количествах. Кроме того, в чугун часто вводят Cr, Ni, Cu, W, Mo и др. элементы. Такие чугуны наз. легированными.

Особенно сильно влияет на процесс графитизации кремний. Чем больше кремния в чугуне, тем полнее распад цементита. Содержание кремния в чугунах колеблется от 0,3—0,5% до 3—5%. Фосфор не влияет на процесс графитизации, но улучшает жидкотекучесть чугуна, что объясняется образованием легкоплавкой фосфидной эвтектики с т. пл. 950°. Чугуны, содержащие фосфор, легче плавятся, медленно остывают и хорошо заполняют самые мелкие изгибы формы. Поэтому повышенное содержание фосфора имеют чугуны, применяющиеся для художественного литья.

Хромистый чугун (26—30% Cr) обладает повышенной прочностью ($\sigma_в \approx 60$ кГ/мм²) и стойкостью в агрессивных средах. Применяется в химич. аппаратостроении.

Медистый чугун (2—2,5% Cu) обладает повышенной прочностью ($\sigma_в \approx 50$—55 кГ/мм²), используется для изготовления коленчатых валов, маховиков и станин.

Титановый чугун (ок. 0,7% Ti) обладает антифрикционными свойствами в паре с другими металлами. Применяется как антифрикционный сплав.

Алюминиевый чугун (20—24% Al) обладает высокой стойкостью к газовой коррозии при повышенных темп-рах (до 1000°). Используется для изготовления печной арматуры.

Высококремнистый чугун (5—6% Si) обладает высоким сопротивлением ползучести до 900°. Применяется в нагревательных системах.

Высокомарганцовый чугун (7—12% Mn) обладает малой магнитной проницаемостью и высоким электросопротивлением. Применяется в электротехнике.

Хромоникелевый чугун (0,2—1,5% Cr, 0,2—4% Ni) обладает высокой прочностью, износостойкостью и стойкостью к газовой коррозии. Применяется в двигателях внутреннего сгорания, локомотивах и т. д.

В машиностроении детали со сплошной структурой белого чугуна не используются; обычно применяются детали, у к-рых поверхность имеет структуру белого чугуна, а сердцевина — серого, что достигается специальной термич. обработкой. Высокая твердость отбеленной поверхности (350—400 Hв) придает изделиям большую стойкость против износа. Такие чугуны с отбеленной поверхностью используются для изготовления колес товарных вагонов, прокатных валков, волочильных досок, плужных лемехов и т. д. Серый и ковкий чугуны получили широкое распространение в автостроении, вагоностроении, при произ-ве станков, с.-х. машин и т. д.

Таблица 6

Сорт чугуна	$\sigma_в$, кГ/мм²	Hв, кГ/мм²
Серый чугун с 3,0—3,5% C:		
Ферритно-графитный с тонким графитом	12—18	100—120
То же, с грубым графитом	10—15	100—120
Ферритно-перлитно-графитный	12—20	100—200
Перлитно-графитный с тонким графитом	28—38	180—220
То же, с грубым графитом	20—32	180—220
Ковкий чугун с 2,0—2,7% C	30—45	110—140
Термически обработанный сорбитный чугун	до 60 и выше	250—300
Чугун с шаровидным сферич. графитом	50—80	150—300

Большая часть белого чугуна, получаемого доменной плавкой, предназначается для передела в сталь, а нек-рая часть — для получения ковкого чугуна. Серый чугун благодаря высоким литейным свойствам (низкая темп-ра кристаллизации, жидкотекучесть, малая усадка и др.) является основным Ж. с. для литья и широко применяется в машиностроении. Механич. свойства серых чугунов зависят от их структурных составляющих, количества и формы выделений гра-

фита. В табл. 6 приведены нек-рые свойства серых и ковких чугунов в зависимости от содержания С и различных структурных составляющих.

IV. Легированные стали. Стали, содержащие различные элементы, заметно изменяющие их свойства, наз. легированными. К легирующим элементам относятся: Cr, Ni, Mn, Si, W, Mo, V, Co, Ti, Nb, Al, N, Zr, B, Ta и Cu. Легированные стали обладают высокими механич. и физико-химич. свойствами.

Твердые р-ры замещения с железом образуют Cr, Ni, Mn, W, Mo, V, Co, Ti, Nb, Al и Zr. Если количество введенных элементов превышает их предел растворимости, то образуются интерметаллич. соединения и, т. обр., в структуре, наряду с твердым раствором предельной концентрации, появляются новые фазы — соединения легирующего элемента с железом. Неограниченной растворимостью в γ-Fe при достаточно высокой темп-ре обладают лишь никель, кобальт и металлы группы платины, а в α-Fe — только хром и ванадий. При медленном охлаждении непрерывные твердые р-ры этих двойных систем, в определенном интервале концентраций, образуют соединения: $FeNi_3$, FeCo, FeCr и FeV. Марганец, вольфрам, молибден, титан, ниобий, алюминий и цирконий образуют с железом твердые р-ры замещения с ограниченной растворимостью. Твердые р-ры внедрения образуют углерод, бор и азот.

По отношению к углероду легирующие элементы в железных сплавах можно разделить на две основные группы: 1) элементы, не образующие устойчивых карбидов (Ni, Si, Co, Al и Cu); 2) карбидообразующие элементы (Cr, Mn, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta и Zr) (см. *Карбиды*). Если количество углерода в стали недостаточно для образования карбидов со всеми присутствующими карбидообразующими элементами, то карбиды образуют лишь те элементы, к-рые обладают наибольшим химич. сродством к углероду. Другие элементы остаются в этом случае в твердом р-ре или в виде металлич. соединений. По степени возрастающего сродства легирующих элементов к углероду они располагаются в ряд: Fe → Mn → Cr → W → → Mo → Ta → V → Zr → Ti → Nb.

Установлено, что в сталях могут образовываться следующие карбиды (как простые, так и сложные — двойные): Fe_3C, Mn_3C, Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, WC, W_2C, Fe_2W_2C, Fe_6W_6C, MoC, Mo_2C, Fe_2Mo_2C, Fe_6Mo_6C, TaC, Ta_2C, VC, ZrC, NbC, TiC. В нек-рых из этих карбидов углерод располагается в узлах сложной кристаллич. решетки, образуя химич. соединения с металлом, как, напр., цементит. К числу таких карбидов относятся: Mn_3C, Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, Fe_2W_2C, Fe_2Mo_2C. В других карбидах углерод располагается в междуузлиях простой металлич. решетки, как в обычных твердых р-рах внедрения, и поэтому такие карбиды представляют собой фазы внедрения. К их числу относятся: WC, W_2C, MoC, Mo_2C, TaC, Ta_2C, VC, ZrC, NbC, TiC. Особенностью фаз внедрения является то, что они кристаллизуются со значительным недостатком углерода против стехиометрич. состава. Напр., в VC содержится не 50, а всего лишь 30—35 ат. % углерода. Наряду с рассмотренными карбидами в сталях образуется легированный цементит. Карбидообразующие элементы прежде всего растворяются в цементите и образуют легированный цементит типа $(Fe,Cr)_3C$, $(Fe, Mn)_3C$ и т. д. При большом содержании легирующих элементов они образуют свои карбиды, к-рые, в свою очередь, растворяют железо.

Классификация легированных сталей. Легированные стали обычно классифицируют по химич. составу, микроструктуре и применению.

По химическому составу различают следующие стали: низколегированные с общим содержанием легирующих элементов не выше 2,5%; среднелегированные — от 2,5 до 10% легирующих элементов, и высоколегированные — выше 10% легирующих элементов. По микроструктуре в отожженном состоянии различают среднеуглеродистые и высокоуглеродистые легированные стали и делят их на доэвтектоидные, заэвтектоидные и ледебуритные. Кроме того, при небольшом содержании углерода и высоком содержании легирующих элементов, сужающих область γ-твердых растворов так, что она может почти или совершенно исчезнуть (хром, вольфрам, молибден, ванадий и др.), структура стали может представлять собой только один α-твердый р-р. Такие стали наз. полуферритными или ферритными. Следовательно, в этом случае стали по микроструктуре делятся на пять классов: доэвтектоидные, заэвтектоидные, ледебуритные, ферритные и полуферритные. При высоком содержании легирующих элементов, расширяющих область γ-твердых растворов (никель, марганец и др.), структура γ-твердого р-ра может почти или полностью сохраниться в стали, т. е. γ⇄α-переход будет частично или полностью предотвращен. Такие стали наз. полуаустенитными или аустенитными. Следовательно, и в этом случае стали делятся на пять классов: доэвтектоидные, заэвтектоидные, ледебуритные, аустенитные и полуаустенитные. Стали, содержащие большое количество карбидообразующих элементов, при достаточно высоком содержании углерода могут быть выделены в особый класс — карбидный. Структура сталей карбидного класса состоит из основного структурного фона (перлита, мартенсита, аустенита) и избыточных карбидов.

По применению легированные стали делятся на три группы: А. Конструкционные стали, применяемые для изготовления деталей машин. В зависимости от условий работы конструкционные стали, в свою очередь, делят на цементируемые и улучшаемые. Б. Инструментальные стали, применяемые для изготовления различного инструмента. Эта группа сталей объединяет: 1) углеродистую инструментальную, 2) легированную инструментальную, 3) штамповую и 4) быстрорежущую. В. Стали с особыми свойствами. Такими сталями являются: 1) нержавеющие и кислотоупорные, 2) жаропрочные и жаростойкие, 3) износоустойчивые, 4) с особым тепловым расширением, 5) с особыми магнитными свойствами, 6) высокого электросопротивления и т. д.

Для обозначения марок легированных сталей по ГОСТ принята буквенно-цифровая система. Буквами обозначают легирующие элементы: никель — Н; хром — Х; молибден — М; вольфрам — В; ванадий — Ф; кобальт — К; кремний — С; марганец — Г; медь — Д; фосфор — П; титан — Т; алюминий — Ю. Цифрами показывают содержание углерода и легирующих элементов. Первые две цифры в начале обозначения марки указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Цифры, стоящие после буквы, — примерное содержание легирующего элемента в процентах. Напр., сталь марки 12Г2А в среднем содержит: 0,12% С, 2,0% Mn. Буква А показывает, что сталь чиста по сере и по фосфору, а также соблюдены все условия металлургич. произ-ва высококачественной стали (см. выше). Нек-рые легированные стали выделены в особые группы и обозначаются следующими буквами: хромистые нержавеющие стали — Ж; хромоникелевые нержавеющие стали — Я; быстрорежущие стали — Р; шарикоподшипниковые стали — Ш; магнитные стали — Е. Легированные стали, выплавляемые на заводе «Электросталь», помимо стандартного обозначения, имеют свои названия. Они маркируются буквами ЭИ (электросталевское исследование) и номером стали, напр. ЭИ-100, ЭИ-445 и т. д. Ниже приводится краткая характеристика легированных сталей.

V. Конструкционные стали. От стали, идущей на изготовление деталей машин, требуются гл. обр. высокие механич. свойства. Они должны обладать достаточной пластичностью и вязкостью, чтобы успешно противостоять динамич. и ударным нагрузкам и вместе с тем высокой прочностью и выносливостью, особенно в условиях усталостного нагружения. Простая углеродистая сталь не всегда может удовлетворить этим требованиям и в таких случаях используются легированные стали. Положительное влияние легирующих элементов сказывается прежде всего на т. наз. про-

каливаемости стали, т. е. на выравнивании механич. свойств деталей после закалки и отпуска по всему объему даже при значительных размерах деталей. Вместе с тем легирующие элементы, растворяясь в цементите, препятствуют его коагуляции при нагреве и тем способствуют повышению прочности, т. к. грубодисперсный цементит снижает прочность. Кроме того, распределяясь по границам зерен твердого р-ра, легирующие элементы затрудняют собирательную рекристаллизацию металла и тем самым препятствуют росту зерна, что также приводит к возрастанию прочности.

Никелевые стали. Никель образует с железом непрерывный ряд твердых р-ров и расширяет температурный интервал существования аустенита. Уже малые добавки никеля (до 4—5%) значительно увеличивают прокаливаемость стали и повышают ее коррозионную устойчивость в агрессивных средах. Высоконикелевые сплавы обладают особыми физич. свойствами. Сплав Fe с 36% Ni и 0,15—0,25% C (инвар) имеет минимальный коэфф. линейного расширения и практически не расширяется в интервале темп-р от — 100° до + 100°. Инвар широко применяется в приборостроении для изготовления эталонов, деталей часовых механизмов, барографов, альтиметров и прочих приборов, к-рые с изменением темп-ры должны сохранять свои размеры. Сплав Fe с 46% Ni и ок. 0,15% C имеет такой же коэфф. линейного расширения, как у платины и стекла; он наз. платинитом и применяется вместо платины для электродов лампочек накаливания.

Хромистые стали. Хром, в отличие от никеля, сужает область γ-твердого р-ра и расширяет область α-твердого р-ра. Предельное содержание Cr, при к-ром существует еще γ-твердый р-р, равно 13%. При малом содержании хрома наряду с α-твердым р-ром хрома в железе присутствует также легированный цементит $(Fe, Cr)_3C$. При увеличении концентрации хрома образуется карбид $(Cr, Fe)_7C_3$, при содержании хрома более 10% — карбид $(Cr, Fe)_{23}C_6$ и при содержании хрома более 28% — металлич. соединение FeCr (σ-фаза). Добавка хрома повышает твердость и прочность стали, не снижая пластичности. Однако увеличение содержания хрома выше 1,0—1,5% снижает ударную вязкость. Увеличение содержания хрома до 4—5% наиболее резко повышает твердость закаленной стали, тогда как свойства отожженной стали изменяются незначительно. Следовательно, наиболее резкое воздействие на твердость и прочность стали оказывает хром, находящийся в мартенсите, а не в феррите или карбидах. Хром повышает коррозионную стойкость в атмосферных условиях и сопротивляемость стали газовой коррозии при высоких температурах. При больших концентрациях хрома на поверхности стали образуется тонкая окисная пленка (Cr_2O_3), препятствующая развитию процесса коррозии в атмосферных условиях, а также в кислотах, особенно в азотной.

Хромистые стали получили широкое распространение для изготовления мерительных, режущих и пневматич. инструментов, штампов и валиков для холодной прокатки, ролико- и шарикоподшипников, постоянных магнитов, хирургич. инструмента и т. п. Кроме того, хромистые стали широко распространены как теплоустойчивые и коррозионностойкие материалы в нефтяной и химич. пром-сти. Наиболее распространены след. марки хромистых сталей: 15ХА с содержанием ок. 0,15% C и 0,7—1,0% Cr; 38ХА с содержанием ок. 0,38% C и 0,8—1,1% Cr и ШХ15 (шарикоподшипниковая) с содержанием ~0,9—1,1% C и 1,3—1,65% Cr.

Хромоникелевые стали. Одновременное введение Cr и Ni весьма благоприятно влияет на строение и свойства стали. Сталь приобретает высокую твердость и прочность, достаточную вязкость и пластичность, хорошую прокаливаемость, однородное строение. Совместное присутствие Cr и Ni улучшает также физич. и химич. свойства стали. Поэтому хромоникелевые стали более распространены, чем другие легированные стали. Содержание хрома и никеля в конструкционных сталях обычно изменяется в пределах: от 0,6 до 1,5% Cr, от 1,0 до 4% Ni при содержании от 0,10 до 0,40% C. В табл. 7 приведены составы нек-рых хромоникелевых сталей.

Таблица 7

Марка стали	Содержание элементов [a], %				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
13Н2А	0,10—0,16	0,17—0,37	0,30—0,60	0,2 —0,5	1,7 —2,2
12ХН3А	0,10—0,16	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,25—2,75
12Х2Н4А	0,10—0,15	0,17—0,37	0,30—0,60	1,25—1,75	3,25—3,75
20ХН3А	0,17—0,25	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25
37ХН3А	0,33—0,41	0,17—0,37	0,25—0,55	1,20—1,60	3,00—3,50

[a] Остальное — Fe.

Дополнительное введение W и Mo в хромоникелевые стали значительно улучшает их механич. и другие свойства. С вольфрамом железо образует ограниченные твердые р-ры и металлич. соединения Fe_7W_6 и Fe_2W. Вольфрам сужает область γ-твердых р-ров; при 6% γ-область замыкается. С углеродом вольфрам образует стойкие карбиды WC, W_2C, Fe_2W_2C и Fe_6W_6C. Вольфрам сильно обедняет твердый р-р углеродом, препятствует росту зерна аустенита при нагревании, уменьшает чувствительность стали к перегреву. Перлит вольфрамовой стали имеет очень тонкое, а мартенсит — мелкоигольчатое строение. После термич. обработки вольфрамовые стали приобретают повышенную твердость, прочность и высокую ударную вязкость. Вольфрам добавляется к конструкционным хромоникелевым сталям и к жаропрочным сталям, а также является основным легирующим элементом быстрорежущих сталей.

С молибденом железо образует также ограниченные твердые р-ры и металлич. соединения Fe_7Mo_6 и FeMo. Молибден сужает область γ-твердых р-ров; при 5% Mo γ-область замыкается. С углеродом молибден образует карбиды: MoC, Mo_2C, Fe_2Mo_2C и Fe_6Mo_6C. Составы нек-рых сложнолегированных сталей, содержащих W и Mo, приводятся в табл. 8.

Таблица 8

Марка стали	Содержание элементов [a], %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo
18ХНВА	0,14—0,21	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,5	0,8—1,2	—
25ХНВА	0,21—0,28	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,5	0,8—1,2	—
40ХНМА	0,36—0,44	0,17—0,37	0,50—0,80	0,60—0,90	1,25—1,75	—	0,15—0,25

[a] Остальное — Fe.

Хромомолибденоалюминиевая сталь. Алюминий с железом образует ограниченные твердые р-ры и металлич. соединения: Fe_3Al, FeAl, $FeAl_2$, Fe_2Al_5, $FeAl_3$. Растворимость Al в α-Fe при обычной темп-ре 32%. Область γ-твердых р-ров в присутствии Al сужается; при 1% Al γ-область замыкается. Алюминий является лучшим раскислителем стали. Он добавляется в ванну незадолго до выпуска стали из печи, а также вводится в ковш или жолоб. В небольших количествах, до 0,1%, Al добавляется во все конструкционные и инструментальные стали, от к-рых требуется зерно малой величины. Особенно сильно Al повышает стойкость стали против газовой коррозии при высоких темп-рах. Сплавы для постоян-

ных магнитов, имеющие высокие магнитные свойства, содержат 12—15% Al. Хромомолибденоалюминиевые стали широко применяются для изготовления деталей машин, от к-рых требуется большая стойкость против износа и истирания при обычных и повышенных темп-рах.

Хромомарганцовокремнистая сталь (хромансиль). Одна из наиболее распространенных марок этой стали — 30ХГСА содержит в среднем 0,3% C и по 1% Cr, Mn и Si. Марганец образует с железом твердые р-ры и расширяет область γ-твердых р-ров. Растворимость марганца в α-железе ограничена. С углеродом марганец образует карбид Mn_3C, изоморфный цементиту Fe_3C. Кремний образует с железом твердые р-ры и металлич. соединения — Fe_3Si_2, FeSi, $FeSi_2$. Растворимость кремния в α-железе при обычной темп-ре составляет 14%. Особенно заметно кремний повышает пределы упругости и текучести, что позволяет широко применять кремнистые стали для изготовления пружин. Сталь хромансиль представляет большой интерес для машиностроения, т. к. она обладает хорошей свариваемостью, высокими механич. свойствами, хорошей прокаливаемостью, удовлетворительной обрабатываемостью режущими инструментами и высокой пластичностью в отожженном состоянии. Из хромансиля изготовляют полуфабрикаты в виде листов, труб, профилей, поковок, прутков и проволоки. В табл. 9 приведены составы хромомарганцовокремнистых сталей.

Таблица 9

Марка стали	Содержание элементов [a], %			
	C	Si	Mn	Cr
25ХГСА	0,22—0,29	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10
30ХГСА	0,28—0,35	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10

[a] Остальное — Fe.

VI. Инструментальные стали. Инструменты по своему назначению можно разделить на три основные группы: режущие, мерительные и ударно-штамповые. Основным требованием к инструментальной стали является продолжительность сохранения режущей кромки — лезвия инструмента, изнашивающейся при резании, причем на износ работает очень тонкая полоска металла. Чтобы эта полоска металла была устойчива против истирания, она должна обладать высокой твердостью и жаропрочностью. Ударно-штамповый инструмент испытывает ударные нагрузки, распределяемые по сравнительно большой поверхности. Здесь важную роль играет ударная вязкость материала. Наилучшей штамповой сталью, очевидно, будет такая сталь, в к-рой оптимальным образом сочетаются твердость и вязкость.

Легированная инструментальная сталь в большинстве случаев содержит 1—3% легирующих элементов. В нек-рых сталях содержание легирующих элементов доходит до 12—14%. Содержание 0,8—1,3% углерода обеспечивает высокую твердость стали для режущего инструмента. Основным легирующим элементом инструментальных легированных сталей является хром. Введение 0,3—0,5% Cr уже заметно увеличивает прокаливаемость стали и износостойкость. Иногда в качестве улучшающих присадок в инструментальные стали вводят вольфрам и ванадий. Вольфрам повышает сопротивление стали износу и уменьшает чувствительность к перегреву. Но вольфрам дорог, поэтому в практике инструментальные стали, легированные W, стремятся заменить хромистыми. Высокого сопротивления износу можно достигнуть введением в сталь, содержащей ~ 1,5% C, до 12% Cr; при этом образуется большое количество карбидов типа $(CrFe)_7C_3$, к-рые сильно повышают износостойкость стали. Составы нек-рых легированных инструментальных сталей приведены в табл. 10.

Таблица 10

Марка стали	Содержание элементов [a], %					
	C	Mn	Si	Cr	W	V
X	1,0—1,15	≤ 0,4	≤ 0,4	1,3—1,6	—	—
ХГ	1,3—1,5	0,45—0,7	≤ 0,4	1,3—1,6	—	—
9ХС	0,85—0,95	≤ 0,4	1,2—1,6	0,95—1,25	—	—
ХВГ	0,9—1,05	0,8—1,1	≤ 0,4	0,9—1,2	1,2—1,5	—
Х12Ф1	1,45—1,70	≤ 0,4	≤ 0,4	11,0—12,5	—	0,7—0,9

[a] Остальное — Fe.

Быстрорежущая сталь должна сохранять свои режущие свойства при больших скоростях резания, т. е. до темп-р 600—700°. Основными легирующими элементами быстрорежущей стали являются хром и вольфрам. Другие элементы, вводимые в быстрорежущую сталь, как-то: ванадий, молибден и кобальт играют роль добавок, улучшающих свойства. Наиболее распространенной является высоковольфрамовая быстрорежущая сталь марки Р18; ее состав приводится в табл. 11.

Таблица 11

Марка стали	Содержание элементов [a], %					
	C	Mn	Si	Cr	W	V
Р18(РФ1)	0,68—0,80	≤ 0,4	≤ 0,4	3,8—4,8	17,5—18,5	1,0—1,4

[a] Остальное — Fe.

По структуре эта сталь относится к ледебуритному классу. В литом виде она содержит твердый р-р, ледебуритную эвтектику и карбиды. Легирующие элементы в быстрорежущей стали распределяются между отдельными фазами след. образом: хром распределен примерно поровну между ферритом и карбидной фазой, вольфрам и ванадий присутствуют в стали в виде карбидов. Сумма карбидов типа (Cr, Fe)$_7$ C_3, Fe_2W_2C и VC достигает 30—35%. Наличие большого количества карбидообразующих элементов, к-рые связывают весь C, приводит к повышению износостойкости стали при повышенных темп-рах. Термич. обработка быстрорежущей стали состоит в закалке с темп-рой 1270—1290° и последующем отпуске при 540—560°.

Наряду с рассмотренной маркой быстрорежущей стали в практике используются и низколегированные быстрорежущие стали с пониженным содержанием дорогостоящего вольфрама. Эти стали, по сравнению со сталью марки Р18, обладают несколько пониженными режущими свойствами. Однако режущие свойства низколегированных быстрорежущих сталей оказываются в ряде случаев вполне достаточными, и они успешно применяются в различных отраслях пром-сти. В табл. 12 приведены наиболее распространенные марки низколегированных быстрорежущих сталей.

Таблица 12

Марка стали	Содержание элементов [a], %					
	C	Mn	Si	Cr	W	V
Р9	0,85—0,95	≤ 0,45	≤ 0,45	4,0—4,6	8,5—10,0	2,0—2,6
ЭИ347 . .	0,7—0,8	≤ 0,45	≤ 0,45	4,0—4,6	8,5—10,0	1,4—1,7

[a] Остальное — Fe.

VII. Стали с особыми свойствами. Нержавеющие стали. Углеродистые и низколегированные стали не обладают сколько-нибудь значительной коррозионной стойкостью, т. к. образующаяся на них окисная пленка не изолирует металл от химического воздействия среды. Только введение в сталь ок. 12% Cr делает ее устойчивой против коррозии в атмосфере, кислотах, щелочах, р-рах солей. Все стали, содержащие 12% Cr и более, являются нержавеющими. В табл. 13 приведены составы нек-рых наиболее употребительных марок хромистых нержавеющих сталей.

Таблица 13

Марка стали	Содержание элементов [a], %	
	C	Cr
Ж1	< 0,14	12,5—14,5
Ж2	0,15—0,23	12,5—14,5
Х17	0,12	16—18
Х27	0,15	26—29

[a] Остальное — Fe.

Стали Ж1 и Ж2 наиболее дешевы и применяются без предварительной термич. обработки. Стали Х17 и Х27 относятся к сталям ферритного класса, не имеющим $\gamma \rightleftarrows \alpha$-превращений при изменении темп-ры. Эти стали используются в основном как тара для сильных к-т. Введение достаточного количества Ni в 18%-ную хромистую сталь переводит ее в аустенитное состояние при всех темп-рах. Тем самым обеспечиваются повышение прочности и предела текучести, а также более высокая коррозионная устойчивость. Стали с 18% Cr и 8% Ni (18-8) получили как нержавеющие наиболее широкое распространение в машиностроении, в изделиях широкого потребления, а также в архитектуре и скульптуре. При обычной темп-ре эти стали имеют аустенитную структуру. При содержании C более 0,04% он образует карбидную фазу $(Cr, Fe)_{23}C_6$, расположенную по границам аустенитных зерен. При нагревании до 1100° карбиды целиком растворяются в аустените и при быстром охлаждении не выделяются вновь, образуя пересыщенный твердый р-р углерода в аустените. Этот пересыщенный твердый р-р устойчив до 500—550°. Но при более высоких темп-рах вновь начинается выделение карбидной фазы по границам зерен, что приводит к появлению весьма опасной интеркристаллитной коррозии. Процесс коррозии очень быстро распространяется по границам зерен в глубь металла и приводит к полному его разрушению. Интеркристаллитная коррозия возникает в стали 18-8 лишь после нагрева до 500—700° при наличии избытка углерода над пределом растворимости (0,04%). Склонность к интеркристаллитной коррозии в этих сталях устраняется введением в сплав сильных карбидообразователей, связывающих углерод. Такими свойствами обладают титан и ниобий. Эти элементы вводятся в таком количестве, чтобы связать весь углерод в сплаве. Нержавеющие стали легко упрочняются при холодной обработке. Так, при прокатке с обжатием в 40% предел прочности стали 18-8 повышается с 60 *кГ/мм²* до 120 *кГ/мм²*, а предел текучести — с 25 *кГ/мм²* до 100 *кГ/мм²*.

Ж а р о п р о ч н ы е и ж а р о с т о й к и е с т а л и — сложнолегированные стали, обладающие значительным сопротивлением пластич. деформации и разрушению при высоких темп-рах (ж а р о п р о ч н о с т ь) и стойкие против газовой коррозии в этих условиях (ж а р о с т о й к о с т ь). В большинстве случаев к этим сталям, работающим при высоких темп-рах, предъявляются одновременно требования жаропрочности и жаростойкости. Для создания жаростойкости необходимо легировать сталь такими элементами, к-рые при высоких темп-рах окисляются энергичнее, чем железо, и образуют при этом плотные защитные пленки окислов. Такими элементами являются хром, кремний, алюминий и никель. Количество хрома в жаростойкой стали в значительной мере определяет максимальную темп-ру, при к-рой она может работать без интенсивного окисления. Так, напр., сталь, содержащая 1% Si и 15% Cr, жаростойка до 800°; при 25% Cr жаростойкость повышается до 900—950°. Элементы, наиболее успешно повышающие жаростойкость стали (Cr, Si, Al), не являются одновременно оптимальными с точки зрения увеличения жаропрочности. Для рабочих темп-р не выше 300—350° наиболее пригодны низколегированные конструкционные стали, содержащие Cr, Ni и Mo и обработанные на высокую прочность (закалка и низкий отпуск); в этом интервале темп-р они практически не подвержены ползучести и достаточно стойки против газовой коррозии. В интервале рабочих темп-р 350—500° следует применять стали перлитного или ферритного класса, содержащие больше Cr и Si.

Для интервала рабочих температур 500—650° используются высоколегированные стали аустенитного класса. В таблице 14 приведены составы наиболее широко используемых сталей этого класса. Более подробно о жаропрочных свойствах Ж. с. см. *Жаропрочность*.

Таблица 14

Марка стали	Содержание элементов [a], %									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	Mo	V	Ti	другие элементы
ЭИ69	0,4—0,5	≤ 0,7	0,7—0,8	17—15	13—15	2—2,7	0,2—0,4	—	—	—
ЭИ388	0,38—0,47	6,0—8,0	0,9—1,4	14—10	6,0—8,0	—	0,5—0,8	1,4—1,8	—	—
ЭИ395	≤ 0,12	1,0—2,0	0,5—1,0	15—17,5	24—27	—	5,5—7,0	—	—	0,1—0,2% N
ЭИ415	0,16—0,24	0,25—0,6	≤ 0,4	2,4—3,3	≤ 0,5	0,3—0,5	0,35—0,55	0,6—0,8	—	—
ЭИ417	≤ 0,18	≤ 1,5	≤ 1,0	22—25	17—20	—	—	—	—	—
ЭИ481	0,34—0,40	7,5—9,5	0,3—0,8	11.5—13,5	7,0—9,0	—	1,1—1,4	1,25—1,55	≤ 0,12	0,4—0,8% Nb
ВЛ745У	≤ 0,3	0,6—1,2	≤ 0,8	18—24	45—50	7—9	—	—	—	0,01% B
22-11-2,5	0,15—0,25	0,6—1,0	0,8—1,5	21—25	9—12	2,5—3,5	0,15—0,2	0,1—0,2	0,05—0,2	—

[a] Остальное — Fe.

Элементы, повышающие темп-ру рекристаллизации, прежде всего Mo и W, увеличивают жаропрочность. 1 ат.% Mo повышает темп-ру рекристаллизации на 115°, а 1 ат.% W — на 240°. Темп-ра рекристаллизации, а следовательно, и жаропрочность в присутствии Mo и W повышается вследствие блокировки ими границ зерен основного металла. Углерод, связывая молибден и вольфрам в карбиды, уменьшает содержание этих элементов в твердом р-ре и тем самым понижает жаропрочность. Поэтому прибавление Ti, Nb, Ta, к-рые, связывая углерод в карбиды, увеличивают содержание Mo и W, повышающих темп-ру рекристаллизации, увеличивает жаропрочность. Обычно жаропрочные стали аустенитного класса содержат ок. 0,1% C, т. е. минимально возможное по условиям их производства количество. Аустенитные жаропрочные стали применяют в производстве лопаток газовых турбин, деталей реактивных двигателей, клапанов моторов и т. д.

И з н о с о у с т о й ч и в ы е с т а л и. Устойчивость против износа достигается обычно приданием высокой поверхностной твердости путем ц е м е н т а ц и и (науглероживания) или а з о т и р о в а н и я (насыщения поверхностного слоя стали азотом). Исключительно износоустойчива при сравнительно невысокой поверхностной твердости (H_B = = 200—250) сталь Г13А с 1,0—1,3% C и 11—14% Mn, обладающая большой способностью к упрочнению вследствие измельчения зерна под действием пластич. деформации. Из стали Г13А делаются переводные стрелки на железнодорожных путях, детали камнедробилок, черпаки экскаваторов и т. д.

М а г н и т н ы е с п л а в ы. Материал для изготовления постоянных магнитов должен обладать высокими значениями коэрцитивной силы H_c и остаточной индукции B_r (магнитной индукции, остающейся в материале после его намагничивания и снятия магнитного поля) и постоянством этих величин во вре-

мени. Для небольших по размеру магнитов используется сталь У10-У12, к-рая после закалки дает H_c = = 60—65 *эрстед* (*Ое*) и B_r = 8000—8500 *гаусс* (*G*). Отпуск снижает H_c, однако отпуск при низкой темп-ре (150—200°) все же необходим, т. к. магнитные свойства закаленных и неотпущенных сталей изменяются вследствие старения, Для изготовления более крупных магнитов к углеродистым сталям добавляется 1,5—3,5% Cr, что увеличивает прокаливаемость стали. Магнитные характеристики при этом существенно не меняются.

Для изготовления мощных постоянных магнитов используются сплавы железа с никелем и алюминием. В сплаве Fe с 22—34% Ni и 11—14% Al можно получить коэрцитивную силу до 400—500 *Ое* при остаточной индукции 6000—7000 *G*. В Ж. с., подвергаемые переменному намагничиванию, вводится Si. Т. наз. трансформаторная сталь содержит ок. 4% Si и минимальное количество других элементов. Si растворяется в Fe, повышая его электросопротивление, чем уменьшает потери на токи Фуко и, кроме того, раскисляет Fe, чем способствует уменьшению коэрцитивной силы. В тех случаях, когда от магнитомягкого материала требуется также и повышенная вязкость, употребляют так называемую динамную сталь, являющуюся безуглеродистым Ж. с. с 1% Si. По магнитным свойствам динамная сталь уступает трансформаторной, но она обладает большей пластичностью и вязкостью.

VIII. Ферросплавы. Сплавы Fe с другими элементами, используемые как промежуточные шихтовые материалы в произ-ве легированных сталей, наз. ферросплавами. Их получают восстановлением руд, концентратов руд и чистых окислов металлов углеродом или металлами. Восстановление углеродом производят в доменных или электрич. печах, а металлами — в специальных шахтах. Последний способ называется внепечным, или металлотермическим; восстановителем обычно служат алюминий (см. *Алюминотермия*), реже кремний и др. Наиболее дешевым способом получения ферросплавов является производство их в открытых (реже закрытых) дуговых электрич. печах с непрерывными самоспекающимися углеродистыми электродами.

Ферробор содержит от 5 до 20% B. Его получают из борсодержащих материалов (борсодержащих минералов, борного ангидрида) в смеси с окислами железа путем восстановления их углеродом, кремнием или алюминием. Восстановление проводят в дуговых печах или внепечным способом. При восстановлении углеродом и кремнием ферробор содержит повышенное количество восстановителей. При восстановлении борного ангидрида и окиси железа алюминием получаемый ферробор имеет пониженное содержание алюминия. Состав ферробора, получаемого из боратных руд, приведен в табл. 15.

Таблица 15

Способ получения	Содержание элементов[a], %				
	B	Al	Si	C	S
Дуговая печь	12—13	3—5	3—4	0.10	0,02
Внепечной	13—14	4—6	3—4	0.02	0.01

[a] Остальное — Fe.

Ферробор обычно применяют как раскислитель при плавке легированных сталей, для модифицирования сталей с целью повышения механич. и технологич. свойств. В последнее время разработаны марки сталей, специально легированных бором (до 1—5%), для атомной энергетики.

Ферроваиадий содержит от 35 до 80% V. Его получают восстановлением окислов ванадия углеродом, кремнием или алюминием. Основным сырьем для получения феррованадия служит пятиокись ванадия, получаемая из концентратов ванадиевых руд или из железных руд с повышенным содержанием ванадия. Ванадийсодержащие руды или концентраты вначале плавят в доменной печи для получения чугуна с повышенным содержанием ванадия (до 0,4—0,5% V). Затем этот чугун перерабатывают в сталеплавильных печах (мартен, конвертор) с окислением ванадия и обогащением получаемого при этом шлака окислами ванадия. Такие шлаки подвергают окислительному обжигу в присутствии солей щелочных металлов; при этом образуются хорошо растворимые соединения ванадия — ванадаты натрия и калия. После выщелачивания и разделения растворимых соединений ванадия осаждается продукт, в к-ром содержится 80—95% V_2O_5. Пятиокись ванадия в виде предварительно просушенных и сплавленных слитков используется для получения феррованадия в дуговых печах закрытого типа или внепечным металлотермич. способом. Основные реакции восстановления окислов ванадия углеродом или алюминием:

$$V_2O_5 + 5C = 2V + 5CO; \quad 3V_2O_5 + 10Al = 6V + 5Al_2O_3.$$

Так как, кроме окислов ванадия, в шихте присутствуют окислы железа, то при этом вместо чистого ванадия получается его сплав с Fe, состава: 35—80% V, не менее 3,5% Si, не более 2% Al, 1,0% C, 0,25% P, 0,15% S, остальное — Fe.

Ферровольфрам содержит 65—80% W. Его получают из вольфрамовых концентратов, содержащих 50% и выше WO_3. Наиболее распространено получение ферровольфрама одновременным восстановлением окислов вольфрама и железа углеродом в электрич. дуговых печах. При внепечном способе в качестве восстановителей иногда применяют алюминий и силикоалюминий. Основные реакции при этих процессах:

$$WO_3 + 3C = W + 3CO; \quad WO_3 + 2Al = W + Al_2O_3$$
$$2WO_3 + 3Si = 2W + 3SiO_2$$

Состав получаемого этими способами ферровольфрама приведен в табл. 16.

Таблица 16

Марка	Содержание элементов[a], %						
	W	Si	Mn	Cu	S	P	C
	не менее		не более				
В 1	70	0,4	0,2	0,25	0,08	0,05	0,5
В 2	70	0,5	0,4	0,30	0,10	0,8	0,8
В 3	65	1,0	0,7	0,30	0,10	0,12	0,8
Внепечной способ[б]	до 80	0,45	0,50	—	—	—	—

[a] Остальное — Fe. [б] Содержит также 0,50% Al.

Ферромарганец содержит не менее 70% Mn. Основными методами его получения являются: доменный процесс, электротермич. и металлотермич. способы. При выплавке ферромарганца в доменных печах в качестве шихтовых материалов применяются марганцовая руда, кокс и известняк (как флюс). Восстановление окислов Mn при высоких темп-рах сводится к след. реакциям:

$$2MnO + 2C = 2Mn + 2CO; \quad 6MnO + 8C = 2Mn_3C + 6CO$$
$$2MnO + Si = 2Mn + SiO_2; \quad 6MnO + 4Al = Mn + 2Al_2O_3$$

При восстановлении углеродом получается ферромарганец с высоким содержанием C и повышенным P. Состав ферромарганца, получаемого этим способом: не менее 70% Mn, 6—7,0% C, до 2% Si, не менее 0,35% P, 0,03% Si, остальное Fe.