

Р. 1.888

БЕРГМАН.

ГОРЯЧАЯ
ОБРАБОТКА
МЕТАЛЛОВ

КНИГА

Книго. технол. ил. Гавриленко
ОСКАР БЕРГМАН

ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Том I

ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ МЕТАЛЛОВ
ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И
ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА

Перевод с последнего шведского
издания инж. С. А. и Э. М. Яцовских
под редакцией и с дополнениями
профессора А. Н. ЕГОРНОВА

31 черт. и рис. в тексте



ПРОВЕРЕНО
1952

„КНИГА“

ЛЕНИНГРАД — 1928 — МОСКВА



№ 264

1.888

1935



ПРОВЕРЕНО
1945

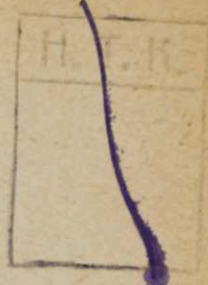
621.7

Ing. OSCAR BERGMAN
Handbok i järn - och
metallbearbetning
2:dra uppl.

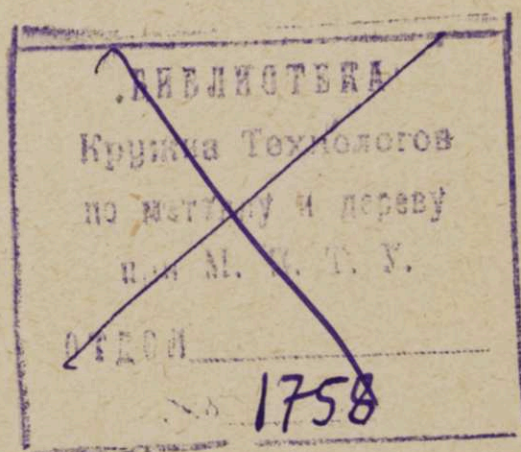
Ленинградский Областлит № 12092.

Тираж 4200—15³/₄ л.

Типография „Коминтерн“ Центриздата Народов СССР. Красная, 1,



ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ МЕТАЛЛОВ



ВВЕДЕНИЕ.

Технология металлов.

Механической технологией, в широком смысле слова, называется наука о методах и приемах такой обработки, которая при помощи механических воздействий имеет целью изменять внешний вид обрабатываемых материалов или предметов, придавая им форму и размеры требуемого изделия.

Общая механическая технология охватывает все способы механической обработки самых различных материалов независимо от вида производства: литейное дело, обработку на токарном станке, строгание и т. д., будь обрабатываемый материал из железа, желтой меди, стекла, резины, дерева, рога и т. п.

Обработка материалов в каждой отдельной отрасли промышленности, напр., мукомольной, бумажной, керамической и т. п., составляет предмет специальной механической технологии, получившей за последнее время исключительное значение в связи с колоссальным ростом промышленности.

Химическая технология относится к тем отраслям производства или промышленности, в которых основным является изменение обрабатываемых материалов согласно законам химии.

Обработка металлов и дерева применяется почти в каждой отрасли промышленности, и поэтому ее можно отнести скорее к общей механической технологии, нежели к специальной.

Исключительно быстрое развитие различных областей техники за последние сто лет, создание новых машин, ме-

тодов обработки и даже целых совершенно новых производств многим обязаны прогрессу технологии металлов в широком смысле этого термина, т.-е. металлургии, горячей и холодной обработке металлов.

Основой всякого производства является оборудование — машины-двигатели, машины-орудия и транспортные средства, и все они сооружены главным образом из металлов, обработанных соответственно той цели, для которой эти машины предназначены. Успехи металлургии черных и цветных металлов, литейного дела, прокатки, кузнечного дела, а в особенности — обработки металла резанием, продолжающиеся непрерывно и в наши дни, в значительной степени определяют также и дальнейшую эволюцию огромного большинства (если не всех) отраслей добывающей и обрабатывающей промышленности. То же самое относится и к технике гражданских сооружений, средств мировых сношений, военной и морской технике и т. д. Во всех областях промышленности и строительства человеческий труд постепенно вытесняется машинами, нередко настолько совершенными и до такой степени автоматизированными, что обслуживание их может быть поручено даже неквалифицированному рабочему или ученику. Не переоценивая роли технологии металлов в прогрессе материальной культуры человечества, можно сказать, что из всех различных областей техники эта дисциплина является в наше время едва ли не самой важной. С дальнейшим развитием ее тесно связаны успехи всех вообще отраслей промышленности.

Главнейшие металлы и сплавы и их свойства.

Металлы обладают следующими характерными свойствами. Все металлы (кроме ртути) при обычной температуре находятся в твердом состоянии, они непрозрачны, имеют особый блеск и каждый — свой характерный цвет. В порошкообраз-

ном виде почти все металлы темного цвета. Большинство из них являются хорошими проводниками тепла и электричества; в большинстве случаев они вязки и тягучи. Висмут, мышьяк и сурьма хрупки, в силу чего они легко могут быть обращены в порошок. Металлы, легко окисляющиеся, как, напр., медь, цинк и олово, быстро теряют свой блеск, железо ржавеет, марганец рассыпается в порошок и т. д. Другие металлы, напр., магний и алюминий, окисляются при более высокой температуре, а благородные металлы трудно поддаются окислению даже при высоких температурах.

Характерной особенностью металлов является их способность смешиваться в расплавленном состоянии и образовывать сплавы, которые по своим свойствам значительно отличаются от свойств составляющих их частей.

Наиболее распространенным металлом на земле является алюминий, за ним следуют железо, кальций, магний, натрий и т. д. Следующие металлы имеют наибольшее промышленное значение: железо (чугун, железо и сталь), медь, цинк, свинец, олово, алюминий, никкель, сурьма и висмут, а также золото, серебро и платина.

Каждый материал имеет свои особенные свойства, с которыми приходится считаться при выборе надлежащего способа обработки и соответствующего инструмента. В отношении металлов такими свойствами являются: ковкость (в холодном и горячем состоянии), делимость, способность плавиться, свариваться и обрабатываться резанием. При выборе металла для соответствующей цели принимаются во внимание следующие свойства: прочность, твердость, вязкость, упругость, способность принимать закалку и т. д.

Металлы и сплавы, пригодные для литья: сталь, чугун, цинк, свинец, олово, алюминий, золото, серебро, платина, желтая медь, бронза и пр.

Обработке давлением в горячем и холодном состоянии поддаются следующие металлы: железо (литое

и сварочное), сталь, цинк (при 150°C), свинец, олово, медь, алюминий, никкель, золото, серебро, платина, желтая медь и т. д.

Свариваться могут железо, никкель и платина.

В буквальном смысле слова нельзя сказать о металлах, что они режутся, ибо ножом резать металлы нельзя, но в смысле более широком это свойство может быть им приписано, так как они довольно легко обрабатываются посредством специальных режущих инструментов: резца, зубила и пр.

Все твердые тела подвергаются деформации под влиянием сжатия или растяжения. Эти деформации могут быть остаточными, либо исчезающими с устранением действующей силы. В первом случае тела носят название пластичных, а во втором—упругих.

Пластичность тела в соединении с вязкостью образует свойство, называемое текучестью. Благодаря текучести тело приобретает способность обрабатываться давлением (ковкость).

Под холодной обработкой давлением понимается способность металла коваться в холодном состоянии при помощи молота, прокатываться в валках, обрабатываться волочением и пр.

Горячая обработка давлением и есть собственно свойство металлов обрабатываться по методамковки, прокатки и т. д. в горячем состоянии. Свинец поддается только холодной обработке, так как плавится раньше нагрева до-красна. Хотя некоторые металлы, как, напр., медь, могут коваться в холодном состоянии, тем не менее, горячей обработке давлением придается большее значение, так как наиболее важные металлы железо и сталь—легче обрабатываются в горячем состоянии, нежели в холодном.

Под свариваемостью понимается свойство двух или нескольких кусков металла образовывать одно целое (свариваться) после нагрева до известной температуры и обработки при помощи молота.

Способностью металлов плавиться пользуются в тех случаях, когда требуется изготовить такие предметы, которые трудно или невозможно получить при помощиковки, или когда изделие состоит из большего числа одинаковых деталей. Кроме литья, часто применяются другие способы обработки; в таких случаях избираются те способы производства, при которых с наименьшими затратами получаются лучшие результаты. Применение литья часто ограничивается еще тем, что некоторое литье, как, напр., чугунное, обладает хрупкостью и таким образом мало пригодно в тех случаях, когда изделие подвергается изгибу.

Обработка металлов давлением в холодном и горячем состоянии применяется тогда, когда изготавливаемый предмет должен подвергаться изгибу, растяжению или в тех случаях, когда изделие должно быть настолько тонко, что его затруднительно отлить. Обработка металлов давлением применяется еще тогда, когда форма предмета не позволяет изготавливать его литьем, а также во всех случаях, когда стоимость обработки давлением является более дешевой и при этом качество изделия не ухудшается.

Свариваемость играет большую роль при ковке, так как она дает возможность вести работу более простым путем в тех случаях, когда предмет сложной формы. Напр., предмет можно изготовить из двух отдельных частей, которые затем сваривают в одно целое; в противном случае пришлось бы отковывать требуемый предмет из одного куска, что в некоторых случаях может привести к значительным трудностям.

Хорошим примером вышесказанного является такой всем известный предмет, как паровой якорь. Отлитый из чугуна якорь может легко сломаться, поэтому его прежде делали из сварочного железа. Вполне понятно, что целый якорь может быть выкован и из одного куска и при этом он будет обладать даже большей прочностью по сравнению с якорем, сваренным из основного корпуса с двумя боковыми лапами.

Теперь якоря обычно готовятся в виде стальной отливки, а иногда из ковкого чугуна.

Три свойства металлов: твердость, хрупкость и вязкость имеют большое значение; они общеизвестны, но точно определить и измерить их, особенно последние два свойства, почти невозможно. Под твердостью понимается сопротивление тела введению в него другого тела более твердого. Под хрупкостью обычно подразумевается свойство тела раскалываться при ударе или толчке, а также при воздействии изгибающих сил. Вязкость есть способность одних тел при высоких температурах, а других даже и при низких подвергаться тем же воздействиям без ущерба. Относительную степень твердости металлов, обладающих некоторой вязкостью, определяют по способу Бринелля (вдавливанием шарика), который будет описан ниже.

Встречаются такие хрупкие или твердые металлы, которые не могут ни отливаться, ни коваться, ни обрабатываться режущими инструментами; в таких случаях прибегают к шлифовке (обработке на наждачных кругах). Все хрупкие металлы и др. материалы шлифуются. В железоделательной и металлообрабатывающей промышленности часто случается, что сталь должна быть обработана после закалки; в этом случае шлифовка (обработка на наждачном круге) является наиболее пригодным способом обработки. Иногда выгодно применять этот способ работы и при небольшой хрупкости материала.

Под закаливанием понимается свойство металла принимать закалку, т.-е. становиться тверже, после того как металл подвергся известной термической обработке. Это свойство особенно присуще стали, которая может закаливаться посредством нагрева и последующего охлаждения.

Прочность есть свойство материалов сопротивляться различным усилиям, не разрушаясь.

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

ЖЕЛЕЗО.

Железные руды.

Железо встречается в природе обычно в окисленном состоянии или в соединении с серой. Самородное железо встречается очень редко и почти всегда в виде метеоритного железа.

Материалы, содержащие такие соединения, из которых может извлекаться железо, называются железными рудами.

Железные руды по своему химическому составу могут быть подразделены на 4 главные группы, а именно:

1. Магнитная или черная железная руда—магнитный железняк—состоит из магнетита, окись-заиси железа с содержанием железа до 72,4%. Цвет ее черный с серо-стальными прожилками, при царапаньи дает черную полосу на фарфоровом бисквите и обладает магнитными свойствами. Эти руды являются наиболее важными для Швеции.

Магнитный железняк Fe_3O_4 представляет из себя значительно менее распространенную руду по сравнению с ниже-описанными рудами. Руда весьма трудноплавка; пустая порода магнитных железняков—кремнистая или кремнистоглиноземистая. Данная руда является чрезвычайно важною рудой для Скандинавии (руды Чирунавары и Елливары).

Главные месторождения в СССР—на Урале (горы Благодать, Высокая, Магнитная); в Сибири (Тельбес в Кузнецком

бассейне, Абаканская Благодать в Енисейской губернии); на севере (у Онежского озера); в Курской губернии («Курская аномалия»).

2. «Кроваво-красная руда» (красный железняк, железный блеск)—безводная окись железа, с содержанием железа до 70%. Эти руды являются одними из самых важных железных руд севера. Они часто встречаются смешанными с магнитным железняком, имеют оттенки от серо-стального до синеватого цвета и обладают сильным металлическим блеском. Название «кроваво-красная» эта руда получила от свойства давать красную полосу на фарфоровом бисквите. Она не притягивается магнитом.

Руды безводной окиси железа (Fe_2O_3) являются главной железной рудой, как по мощности своих залежей, так и по величине добычи и по количеству выплавляемого из нее чугуна. Если для Швеции эта руда не имеет особого значения, то для целого ряда стран, в том числе и для СССР, данная руда играет весьма крупную роль. Крупную известностью пользуются рудные месторождения Верхнего Озера (Сев.-Ам. Соед. Штат.) и испанские красные железняки (Бильбао). Красные железняки СССР (Кривой Рог в Днепропетровской губ.) являются первоклассными рудами по своему богатству (57—65% Fe) и по чистоте (в отношении серы и фосфора); пустая порода этих руд кремнистая, исключительно богатая кремнеземом и требующая значительного количества флюсов.

Из других месторождений этой руды можно отметить: остров Эльба, Кумбэрлэнд и Сев. Ланкашир — в Англии, Вестфалия, Тюрингенский Лес и Рудные Горы — в Германии, Итабира — в Бразилии.

3. Железная охра или бурый железняк представляет водную окись железа с различным количеством воды и встречается в нескольких различных видах с содержанием железа приблизительно 60—63%. Она бывает от желтого до красновато-бурого или бурого цвета. Большею частью руда

имеет значительную примесь кремнекислой или глиноземистой пустой породы, поэтому содержание железа в ней значительно ниже, чем в чистых минералах. Сюда относится также озерная и болотная руда, которая встречается в озерах и болотах, главным образом на севере.

Бурый железняк относится к группе руд водной окиси железа ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) и содержит до 14,5% и более воды. Обыкновенно это руда не очень богатая; пустая порода—глинистая, более или менее песчанистая, иногда содержит известняк. Вследствие потери при нагревании конституционной воды и просто влаги—делается весьма пористой и является легко восстанавливаемой рудой. Руда эта является весьма распространенною в недрах земли и встречается повсеместно.

Из месторождений СССР необходимо отметить: Бакальское на южном Урале, Алапаевское на Среднем Урале, Донецкие бурые железняки, Керченские (залежи так назыв. оолитового бурого железняка с 40—45% железа, 2,0—2,5% фосфора и 0,5—2,0% марганца); бурые железняки имеются также в губ. Калужской, Тульской, Нижегородской, Владимирской, Тамбовской.

Из месторождений других стран следует упомянуть испанские бурые железняки, руду острова Кубы, бурые железняки Алабамы (Сев.-Ам. Соед. Шт.) и особенно оолитовые бурые железняки вдоль бывшей границы Германии и Франции, Бельгии и Люксембурга. В довоенное время последние руды составляли 75% всей добычи железных руд Германии.

4. Шпатовый или углекислый железняк в химически чистом виде имеет 48% железа. Цвет его светло-желтый, легко буреющий с поверхности при выветривании.

В СССР глинистые железняки встречаются во многих местах крупной полосы, простирающейся с северо-востока Европейской России до крайнего юго-запада (Подольская губ.). Образования мощных залежей не наблюдается.

В отношении вероятных запасов железных руд по СССР можно принять нижеследующие цифры:

По Уралу	400	милл. тонн	} Всего вероятный запас железных руд СССР при- нят равным около 3,5 млрд. тонн.
» Ср. России. . .	700	» »	
» Южн.	2400	» »	
» Азиатск. . .	30	» »	

Необходимо еще отметить, что для суждения об относительном достоинстве железных руд для практического применения таковых приходится принимать во внимание:

- 1) содержание в руде железа (т.-е. относительное «богатство» руды);
- 2) содержание в руде вредных примесей;
- 3) удобовосстановимость;
- 4) состав пустой породы;
- 5) физическое состояние руды.

(Подробнее о рудах см. проф. М. А. Павлов — Металлургия чугуна — изд. 1924 г., стр. 35—66).

Различные виды железа.

Железо известно, как один из самых важных металлов для промышленности, частью — потому, что оно имеет много ценных свойств, а также вследствие того, что железо встречается в природе в большом количестве.

Железо, употребляемое для промышленных целей, получается в виде соединения или сплава с другими элементами, главным образом, с углеродом. Химически чистое железо получается особыми способами и лишь для некоторых специальных целей, поэтому в настоящем изложении такое железо рассматриваться нами не будет.

Под железными сплавами вообще понимаются две большие главные группы: чугун и железо. Последнее подразделяется на мягкое (ковкое) железо и сталь,

Чугун содержит значительное количество углерода, свыше 2%, не куется, почти не дает растяжения, имеет незначительную упругость и меньшее сопротивление разрыву, чем ковкое железо и сталь. Чугун плавится при более низкой температуре и хорошо отливается в формы. При плавлении он сразу переходит из твердого состояния в жидкое.

Подобно железу, чугун может быть подразделен также на 2 вида, которые довольно сильно отличаются друг от друга, именно: серый и белый чугун. Первый мягче, более легкоплавок, чем второй, применяется для приготовления отливок и носит поэтому название литейного. Белый чугун не употребляется для литья, трудно обрабатывается режущими инструментами и применяется обыкновенно для передела в сталь, почему и называется также передельным.

Собственно железо (ковкое железо) содержит до 0,45% углерода, в то время, как в стали содержание углерода от 0,45—1,7%. Эти пределы между железом и сталью, однако, довольно неопределенные, поэтому принято считать прилитом железу по сопротивлению разрыву

$$\begin{array}{ll} < 50 \text{ кг/мм}^2 & \text{литое железо} \\ > & \text{литая сталь} \end{array}$$

Железо же, полученное в тестообразном состоянии, классифицируется по сопротивлению разрыву следующим образом:

$$\begin{array}{ll} < 42 \text{ кг/мм}^2 & \text{сварочное железо} \\ > & \text{сварочная сталь} \end{array}$$

Часто сталью называют всякое железо, получаемое различными методами *). В обычном смысле сталью называют такой железо-углеродистый сплав, приготовленный любым способом, который может закаливаться.

*) Считая просто по признаку сплава железа с углеродом.



Железо и сталь более тугоплавки, нежели чугун. Железо особо явственно проявляет изменение качеств от закалки, когда содержание углерода в нем не меньше 0,45%. Железо и мягкая (с небольшим содержанием углерода) сталь могут свариваться. Железные сплавы с содержанием углерода от 1,6—2,3% почти не имеют никакого технического применения.

Железо можно классифицировать следующим образом:

Ж е л е з о							
Ч у г у н				Ж е л е з о			
с углеродом в связанном состоянии (белый чугун)	с углеродом в свободном состоянии (в виде графита) (серый чугун)	полученное в жид- ком состоянии		полученное в тесто- образном состоянии			
		литая сталь	литое железо	сварочная сталь	сварочное железо		

Чугун можно подразделить по тем основным методам пердела, конм он подвергается при переработке в сталь, именно: чугуны бессемеровские, томасовские, мартеновские, иногда пудлинговые чугуны.

В связи с этим часто обозначают различные сорта железа и стали в зависимости от способа их получения, напр.: пудлинговая сталь, бессемеровская сталь и железо, мартеновская сталь и железо и т. д. Иногда в сплав железа с углеродом вводят в различных количествах и другие специальные элементы, при чем такой специальной стали и присваивают наименование по главным элементам (кроме железа), входящим в сплав и сильно меняющим ее механические качества и иные свойства, напр.: никелевая сталь вольфрамовая, ванадиевая, молибденовая, хромистая сталь и т. д. Под углеродистой сталью подразумевают обычный сплав железа с углеродом без специальных присадок, и таковая сталь подразделяется по содержанию углерода. Раз-

Мировая продукция чугуна и стали за 1926 и 1927 гг.
(в 1000 тонн).

	Ч у г у н		С т а л ь	
	1927 г.	1926 г.	1927 г.	1926 г.
Сев.-Америк. Соед. Штаты	36.500	39.727	45.300	49.075
Германия (без Саарской области)	13.000	9.644	16.300	12.342
Саарская область	1.790	1.625	1.900	1.737
Франция	9.300	9.432	8.250	8.386
Англия	7.400	2.481	9.500	3.728
Бельгия	3.750	3.399	3.680	3.374
СССР	2.800	2.650	3.000	2.940
Люксембург	2.700	2.512	2.450	2.244
Чехо-Словакия	1.300	1.088	1.700	1.757
Польша	560	327	1.160	790
Испания	500	488	600	578
Италия	500	513	1.600	1.779
Швеция	500	456	500	519
Австрия	430	333	550	474
Венгрия	200	188	300	325
Британская Индия	900	900	300	300
Канада	750	808	850	794
Япония	700	625	1.300	1.220
Австралия	450	445	500	500
Китай	300	500	200	200
Прочие страны	270	360	560	220
Итого	84.500	78.600	100.500	93.100

ница в содержании углерода обычно колеблется в пределах 0,05%, т.-е. стали будут в 0,05, 0,10, 0,15, 0,30, 0,40% и т. д. С повышением углерода будет возрастать и твердость такой углеродистой стали.

Излом железа.

Хорошим способом для наглядного определения сорта железа является вид излома. При некотором опыте можно таким путем получить довольно ясное представление о материале.

Белый чугун. Если в чугуне содержание химически связанного углерода не превышает 3%, то он имеет зернистый излом серебристо-белого цвета. При более высоком содержании углерода излом становится более лучистым и слоистым. Белый чугун с большим содержанием марганца дает в изломе грубо-слоистое строение с крупной зеркальной поверхностью, благодаря которой он и получил название зеркального чугуна.

Серый чугун имеет излом серого цвета, который тем темнее, чем больше свободного углерода находится в железе. Цвет его меняется от светло-серого до черного или бурого.

Сталь имеет тем более мелкозернистый излом, чем богаче она углеродом и лучше. Излом у хорошей стали имеет красивый бархатисто-шелковистый вид; особенно мелкую тонкую структуру излома называют тонкой бархатистой или тонкой шелковистой. Когда излом мелкозернистой стали напоминает перламутр, то его называют перламутровым изломом *). Закаленная сталь имеет более мелкозернистый излом, нежели не закаленная.

*) Подобные наименования излома не установились в русской технической литературе.

Мягкое железо не имеет такого красивого и мелкозернистого излома, как сталь. Сварочное железо дает волокнистый излом при сгибании попеременно в ту и в другую сторону. Если же на образце предварительно сделать достаточную насечку резцом, то излом будет более мелкозернистым. Чем лучше обработано железо, тем тоньше будет его излом.

Сталь или железо, которые подвергаются сильному нагреванию, «пережигаются» и от подобной операции имеют грубый излом. При большом содержании углерода этот излом получается при более низкой температуре, а при малом содержании углерода—при более высокой температуре. Такой излом значительно отличается от обычного излома и его легко распознать. Материал, получивший дурные свойства в результате перегрева, часто может быть исправлен посредством продолжительного нагревания до температуры 900°C с последующим медленным охлаждением (отжиг).



ЧУГУН.

Сырые материалы доменного производства.

Всякий чугун получается в доменной печи. Сырыми материалами для получения чугуна являются следующие материалы: 1) железная руда, 2) углерод в форме древесного угля, кокса или каменного угля (антрацита) и 3) известняк и др. флюсы.

Важнейшие железные руды перечислены выше. Добытая из рудников руда разбивается, промывается и иногда отделяется от пустой породы, так что полученная руда «обогащается». Процесс обогащения руды магнитного железняка происходит следующим образом: руда раздробляется в специально сконструированных дробильных машинах (дробилки системы Blake, Gate Sturtevant, дробильные валки, трубчатые и шаровые мельницы и т. д.). Затем обогащаемая руда отделяется от пустой породы магнитным сепаратором, устроенным таким образом, что руда проходит через стержень, снабженный электромагнитом, который притягивает к себе железистые зерна магнитного железняка. Отделение пустой породы может также производиться при помощи различных водяных аппаратов, в которых отсортирование руды основано на разнице удельного веса руды и пустой породы.

Для подготовки руды, которую трудно тщательно отсортировать, применяется обжиг, имеющий целью удаление из руды влаги с углекислотой. Обжиг делает руду более легко-

дробимой и выжигает большую часть находящихся в руде серы и мышьяка, окисляя вместе с тем и железо. Обжиг есть нагревание руды при свободном доступе воздуха, не доводя ее, однако, до плавления. Для этого употребляются различные шахтные печи вращающейся конструкции, работающие на доменном газе.

Трудность обжига порошковатой руды привела к применению методов брикетирования руды. Брикетирование руды заключается в том, что порошок прессуется под давлением и при помощи каких-либо соответственных связующих средств в брикеты, которые укладываются на платформы и обжигаются в туннельных печах, после чего брикеты становятся твердыми и удобными для выплавки в доменной печи.

Выплавка чугуна происходит большею частью с помощью кокса или каменного угля. На Урале, в Швеции и в некоторых местах Сев. Америки почти исключительно употребляется древесный уголь, так как перечисленные места богаты запасами этого горючего. Месторождения каменного угля, который можно непосредственно употреблять в доменных печах, встречаются очень редко. В большинстве случаев уголь должен сначала коксоваться для того, чтобы он удовлетворял тем требованиям, которые предъявляются к горючему доменных печей.

Древесный уголь является наилучшим горючим материалом для хода доменной печи. Чугун, получающийся в древесноугольных доменных печах, значительно лучше чугуна коксовых доменных печей. Это объясняется тем, что древесный уголь не содержит тех вредных примесей, которые имеются в коксе (сера и т. д.). Благодаря этому некоторые древесноугольные чугуны занимают совершенно исключительное место на международном рынке.

Известняк добавляется при плавке для того, чтобы сделать шлак более легкоплавким, а также для удаления серы в возможно большем количестве.

Различают основные флюсующие материалы, содержащие известь, и кислые, содержащие кремнезем. Последние применяются реже. Основные флюсы употребляются тогда, когда руда богата кремнистой пустой породой, а кислые, напротив, тогда, когда руда содержит в пустой породе известь. Основные флюсы—известняк, плавиковый шпат и доломит; кислые—кварц и песок. Наиболее употребительным флюсом является известняк. Его назначение—соединяться с находящейся в руде кремнекислотой. Для экономичности работы выплавки чугуна руда должна содержать по возможности меньше пустой породы.

Если хотят иметь большее содержание марганца в чугуне, то вводят железную руду, богатую этим элементом. Когда же необходимо обогатить чугун фосфором, то пользуются так наз. томасовским шлаком, получающимся при томасовском процессе, который описан ниже. В доменном производстве употребляют также шлак валлонских и ланкаширских горнов, бессемеровского конвертера и т. д., а также железный скрап и железную окалину, которая идет в качестве руды.

ДОМЕННЫЕ УСТАНОВКИ.

Устройство доменной печи.

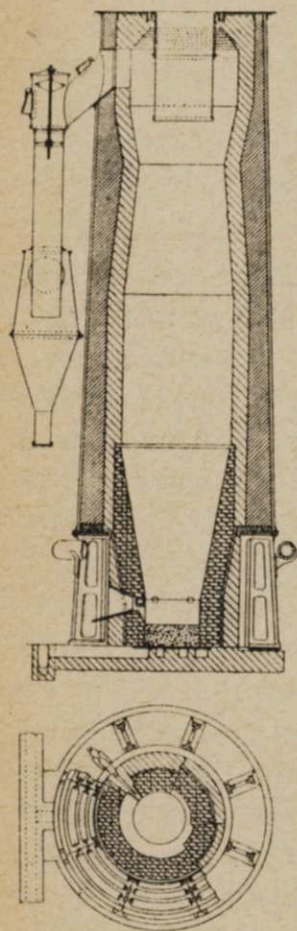
В нижнюю часть доменной печи, наполненной шихтой из перемежающихся руды и угля (или кокса), вдувается нагретый воздух определенного давления, который подается цилиндрической воздуходувной машиной. Для нагревания воздуха служат различные нагревательные аппараты, отапливаемые доменным газом. От воздуходувной машины идет трубопровод холодного дутья до нагревательных аппаратов, из последних воздух поступает в доменную печь, где трубопровод горячего дутья заканчивается кольцом вокруг печи. В доменную печь воздух поступает через ответвленные от этого кольца трубки с мундштуками (сопла).

Продукты горения, поднимающиеся из доменной печи—доменные колошниковые газы—обладают горючими свойствами; вследствие того, что они содержат большее количество окиси углерода. Доменные газы всегда содержат в взвешенном состоянии мельчайшие твердые частицы, поэтому газы очищаются, проходя через особые аппараты, называемые газоочистителями. Одна часть доменных газов идет для нагревательных аппаратов и рудообжигательных печей, как было замечено выше, а остаток колошниковых газов служит топливом для паровых котлов или, что значительно ценнее, для газовых двигателей и т. п.

Вспомогательным устройством доменной печи являются транспортные приспособления для подачи шихты (руда, го-

рючее, флюсы) на колошник и в бункера для хранения сырых материалов и пути для подвоза последних.

Домна представляет собой шахтную печь круглого поперечного сечения с наибольшим внутренним диаметром для древесноугольных печей обычно в 3—4 метра, а для коксовых в 6—7 метров. Высота домны бывает весьма различна. В новых шведских печах высота 16—18 метров, в коксовых доменных печах 18—30 метров или в среднем 22—25 метров.



Фиг. 1. Шведская доменная печь.

В современных доменных печах отношение высоты к диаметру в распаре характеризуется цифрой 4 для коксовых печей и несколько более высокою для древесноугольных печей.

Контур шахты или профиль доменной печи также сильно варьируется. Шведские древесноугольные печи (фиг. 1) бывают часто цилиндрической формы в самом широком месте, так называемом распаре. В заграничных доменных печах это встречается реже.

Нижняя часть шахты, где происходит собственно плавление, состоит из двух частей. Верхняя часть, так наз. заплечики, имеет форму усеченного конуса, нижнее основание которого является горизонтом фурм. Самая нижняя часть доменной печи, считая от фурм до лещади, имеет цилиндрическую форму и носит название «горн» (металлоприемник). Через отверстие в верхней части доменной печи, колошник, подаются шихтовые материалы. Подача шихты

в печь происходит при помощи загрузочных аппаратов, помещаемых на колошнике.

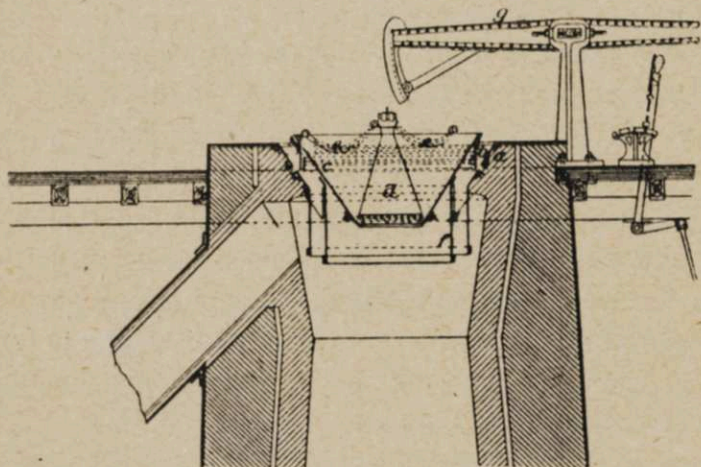
Раньше строили доменные печи с очень толстыми стенами, думая этим путем уменьшить большую потерю тепла, теперь же кладка делается значительно тоньше. Кладка горна для большей прочности облицовывается толстыми железными листами и скрепляется стояками, образуя так называемую броневую защиту.

Толщина кладки стен в настоящее время в обычной шведской доменной печи около 750 мм. Между кладкой внутренних (300 мм) и наружных (300 мм) стен печи, а также между облицовкой (150 мм) и наружной кладкой часто оставляются два промежутка (так называемая «засыпка», которая наполняется расщебенкой или песком), служащие для тепловой изоляции. Заграницей встречаются печи, у которых кладка над горном имеет толщину только в 70 мм, в таких случаях печь снабжается двойным кожухом с водяным охлаждением.

Загрузочные аппараты могут быть открытыми или закрытыми. Открытые аппараты имеют опущенный в печь цилиндр, вокруг которого собираются доменные газы; отсюда по газопроводам газы направляются из печи к месту их потребления. Закрытые загрузочные аппараты держат отверстие печи закрытым. Они способствуют распределению сыпи, не затрудняя завалки. Известный загрузочный аппарат, сконструированный Tholander'ом (фиг. 2), состоит из неподвижной железной воронки, прикрепленной к стенкам колошника. Эта воронка оканчивается в печи цилиндром. В первой (неподвижной) воронке помещается вторая, меньших размеров, к ней прикреплено цилиндрическое кольцо, закрывающее кольцообразное пространство между обеими воронками. Имеющееся во второй воронке отверстие закрыто конусом, который подвешен на цепях к подъемному приспособлению. Основание же конуса покоится на стенках меньшей во-

ронки. Последняя также прикреплена цепями к подъемному механизму, но так, что при подъеме конус открывается раньше воронки.

При этом приспособлении получают два вместилища для загружаемого материала: одно во внутренней воронке вокруг конуса, а другое в верхнем кольцеобразном пространстве между наружной и внутренней воронками. Как только



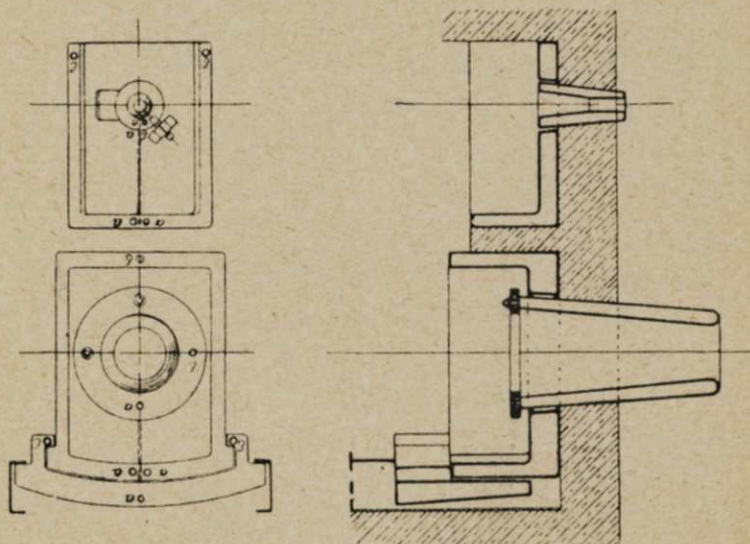
Фиг. 2. Загрузочный аппарат Толандера.

конус подымается вверх, содержание внутреннего вместилища падает вниз, когда же внутренняя воронка подымается, то опорожняется второе вместилище. Благодаря этому имеется возможность распределять сыпь в печи по желанию, так как в оба вместилища можно помещать различные материалы или смеси.

Внизу шахты, на одном уровне с лещадыю горна, находится особое отверстие, называемое леткой, для выпуска жидкого чугуна. Из этого отверстия чугун течет по специальному желобу в песочные формы или в кокили, в которых чугун и застывает.

Выше лещади, приблизительно на 400 мм, устраивается отверстие для выхода шлака, которое иногда делается на-

подобие воздушных фурм, описываемых ниже. В последнем случае отверстие для шлака будет иметь приблизительно только 50 мм в диаметре. Другая конструкция шлакового отверстия представляет собою подобие чугунной летки.



Фиг. 3. Воздушная фурма.

В горне устраивают ниши, в которых и сооружается т. наз. «шлаковая летка».

Количество воздушных фурм (фиг. 3) обычно 4—6 (в коксовых доменных печах 8—10). Они расположены на одинаковом расстоянии друг от друга по периферии печи. Сопла, вставляемые в фурмы, состоят из конических мундштуков, через которые дутье подается в печь. В целях предохранения фурм от сильного нагрева они делаются с двойными стенками, между которыми постоянно циркулирует вода. Эти так наз. водяные фурмы делаются обычно из железа или отливаются из стали или фосфористой бронзы. Расстояние от лещади до средней линии фурм варьируется между 600—700 мм (в коксовых домен-

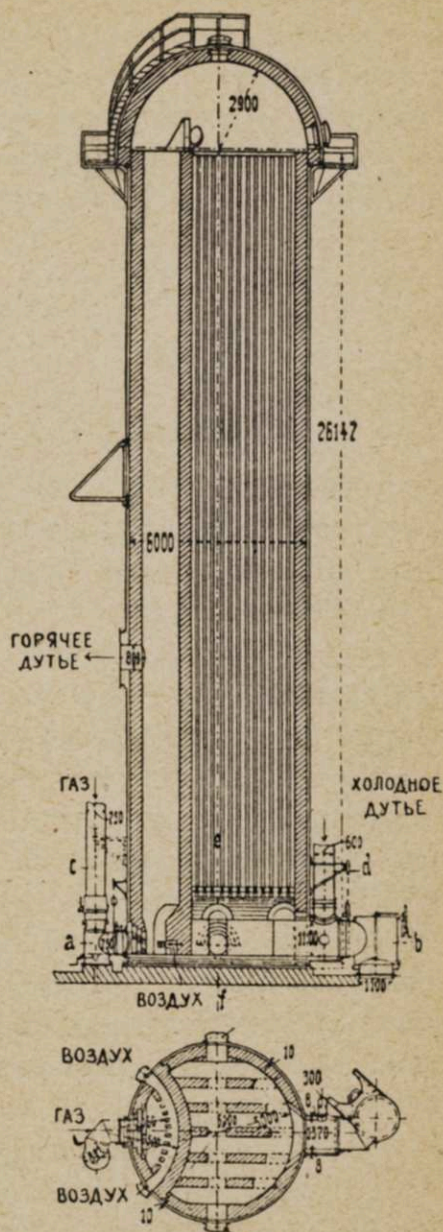
ных печах 1000 мм). Внутренний диаметр выходного отверстия фурм обычно 75—90 мм.

Подогрев дутья впервые введен шотландцем Nilsen'ом. Нагрев дает большую экономию горючего и сильно поднимает температуру горения в печи. Большой прогресс в доменном производстве, отмеченный за последние десятилетия, нужно в значительной мере отнести за счет усовершенствования аппаратов для нагрева дутья. Первые аппараты представляли собой простую систему обогреваемых снаружи железных трубок, внутри которых проходил нагревающийся холодный воздух. Эти нагревательные аппараты с тех пор значительно улучшились, но большинство из них часто приходится ремонтировать, так как трубки не могут долго выдерживать сильное нагревание. Кроме того, дутье не нагревается до такой высокой температуры, как в описываемых ниже регенеративных аппаратах.

Из регенеративных нагревательных аппаратов чаще всего применяется аппарат конструкции Cowper'a (фиг. 4). Он состоит из высокого, непроницаемого для воздуха кожуха, выложенного внутри кирпичами. Огнеупорные кирпичи сложены в аппарате друг над другом таким образом, что между ними образуется большое количество каналов. Доменные газы поступают в круглую или овальную трубку, куда также вводится требуемый воздух для горения газа, так что получается сильное пламя. Продукты горения проходят через кладку кирпича, которая сильно нагревается, а когда подается дутье через аппараты, то воздух нагревается раскаленным до-красна кирпичом. Для доменной печи устраивается несколько подобных аппаратов. Когда дутье проходит через одни из них, другие в это время нагреваются. Температура дутья, получаемая при нагреве в аппарате Каупера, достигает 700° С, поэтому трубопровод горячего дутья от нагревательных аппаратов до доменной печи выкладывается внутри кирпичами.

Если считать, что древесноугольная печь выплавляет в сутки 20 тонн чугуна, потребляя при этом 15 тонн угля, полученный чугун составляет 50% руды и извести, то в результате получается, что печь в сутки поглощает $15 + 40 = 55$ тонн твердых элементов. Для плавления требуется, из расчета 5500 куб. м воздуха на тонну угля, 82500 куб. м, т.-е. 107 тонн воздуха должны подаваться в печь цилиндрическими воздуходувными машинами.

В современной железнотопливной промышленности особое распространение имеют коксовые доменные печи. Как уже указывалось, их производительность много выше, чем древесноугольных доменных печей, и достигает до 600 тонн в сутки. Хотя в СССР в настоящее время нет доменных печей подобной производительности, но все же таковые проектируются к установке на намеченных к расширению южнорусских металлургических заводах. В виду этого, не-



Фиг. 4. Нагревательный аппарат Каупера (Cowper).

бесполезно ознакомиться с размером хозяйства подобного предприятия.

Естественно, что расход руды будет зависеть, как от относительного богатства железом перерабатываемых руд, так и от состава выплавляемого чугуна. Вообще, можно принять, что потребное количество руд

$$E = \frac{A}{a} \cdot 100 + Z$$

где

A — требуемое содержание железа в выплавляемом чугуне,

a — содержание железа в руде,

Z — некоторая добавка на потери от распыливания

(1—8%) в зависимости от физического состояния и качества руд.

В среднем, ориентировочно можно принять двойной расход руды по сравнению с количеством выплавляемого чугуна. Расход флюса (напр., известняка) всецело зависит от состава пустой породы, сорта выплавляемого чугуна и т. д. Ориентировочно можно принять около 30% от рудной сыпи, или 60% от выплавляемого чугуна.

Расход кокса колеблется в пределах от 85% до 110% и выше, опять-таки в зависимости от сорта выплавляемого чугуна. Примем, для примера, расход в 100%. Следовательно, на 100% выплавляемого чугуна потребуется:

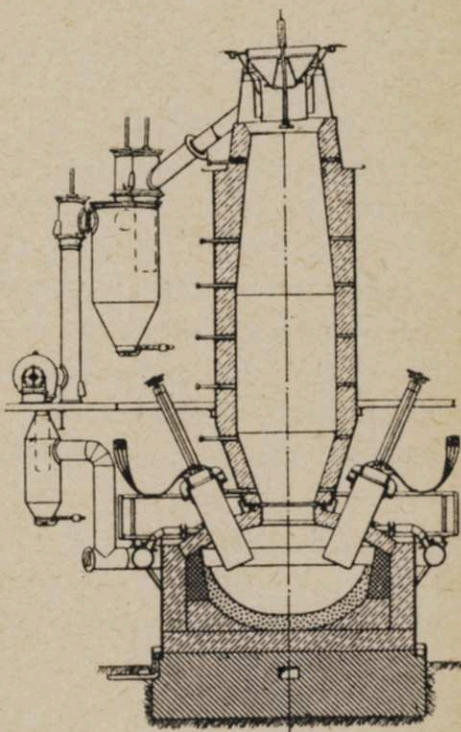
200% руды	}	Всего 360%.
60% флюса		
100% кокса		

Если принять среднюю суточную производительность коксовой доменной печи в 500 тонн, то сырых материалов и кокса потребуется 1800 тонн в сутки.

Отсюда видно, какое колоссальное количество материалов должно быть подвезено к доменной печи и поднято на колошниковую площадку для дальнейшей загрузки в печь.

Кроме того, 500 тонн жидкого или твердого чугуна необходимо в течение суток убрать от доменной печи. Равным образом и шлака должно быть убрано, в среднем, не меньшее количество по весу, а по объему в $2\frac{1}{2}$ —3 раза больше в виду значительно меньшего удельного веса по сравнению с чугуном.

В последнее время были сделаны попытки получения чугуна в электрических печах, имеющих приблизительно такой же вид, как обыкновенные доменные печи, но в которых требуемый нагрев производился электрическим током. В этих печах также необходимо загружать уголь одновременно с рудой, для того, чтобы железо получило достаточное содержание углерода. Электрические доменные печи бывают различных конструкций, но все имеют одно назначение—снижение столь большого расхода угля, какое наблюдается в обыкновенных доменных печах. Эта цель ими достигается. Последние типы печей поглощают, однако, 35—45% количества древесного угля, требующегося для доменных печей, поэтому еще большее значение для применения электрических печей имеет дешевая электрическая энергия. Несколько по-



Фиг. 5. Электрическая доменная печь.

добных печей за последнее время были выстроены в Trollhättan, Domnarfvet и Hagfors, а также в Норвегии. Фиг. 5 показывает конструкцию электрической доменной печи.

Электрические печи вообще и особенно выплавка чугуна из руд помощью электрического тока могут иметь экономическое значение, разумеется, лишь при условии наличия залежей чистой руды, и когда, при дороговизне минерального топлива, имеется дешевая электрическая энергия. Последнее имеет место при использовании водяной энергии, а потому, естественно, страны, богатые таковой, с успехом применяют электровыплавку чугуна. Наряду с Швецией, к таким странам относятся Норвегия, Италия, Канада. В остальных странах, если и находит себе применение подобное использование относительно дешевой электрической энергии, то лишь при производстве так называемого «синтетического чугуна», получаемого плавлением бедного углеродом железистого продукта в присутствии обуглероживающих материалов.

Доменный процесс.

Доменная печь развилась из т. наз. шахтных печей, представляющих переходную ступень от ранее применявшихся сыродутных печей, в которых ковкое железо получалось непосредственно из руды. По мере того, как эти печи становились больше и повышалось давление дутья, железо не только восстанавливалось, но начинало и плавиться, так как не только печь приобретала более высокую температуру, но одновременно и понижалась температура плавления металла благодаря создавшимся благоприятным условиям для сильного науглероживания такового. Таким образом, в результате науглероживания получался чугун вместо ковкого железа. Такой результат рассматривался вначале, конечно, как неудача, так как в то время еще не было известно, что посредством окислительной переплавки чугуна можно выжигать углерод, получая железо. Применяемый в настоящее время способ получения железа из чугуна, т.-е. не прямым путем, окупает себя тем, что производство его при этом может быть больших размеров и более дешевым благодаря достижению много большего выхода железа из его руд.

В доменной печи принято различать 4 зоны, считая от загрузочного аппарата (или колошника) книзу, а именно:

1. Подготовительная зона, в которой руда и остальные материалы нагреваются и готовятся для будущего восстановления.

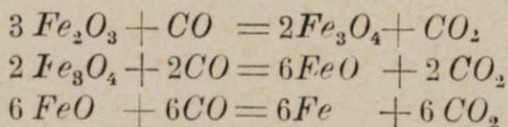
2. Восстановительная зона, доходящая приблизительно до распара, где руда теряет большую часть своего

кислорода, проходя через ряд промежуточных окислов к губчатой массе чистого железа.

3. Зона науглероживания, в которой железистая губчатая масса постепенно цементируется, т.-е. соединяется с углеродом, понижая при этом свою температуру плавления.

4. Зона плавления, нижняя часть печи, где чугун совершенно расплавляется. Точные границы этих зон, однако, установить трудно, так как одна зона часто может переходить в другую.

Подаваемый через воздушные фурмы воздух сжигает уголь в печи, превращая его в уголекислоту (CO_2). Этот газ поднимается в печи кверху, проходит через раскаленный уголь и отдает углю одну частицу кислорода, переходя в окись углерода (CO). Окись углерода и раскаленный уголь оказывают восстановительное действие на окислы железа в руде, т.-е. оба эти элемента отнимают у них кислород, переводя при этом высшие окислы железа в низшие, а затем и в чистое железо. Восстановление железа начинается уже при температуре приблизительно около $400^\circ C$, поэтому можно сказать, что конец подготовительной зоны сливается с началом восстановительной зоны. Ход восстановления железа может быть представлен в виде следующего ряда химических реакций:



Следует оговориться, однако, что указанного в приведенных формулах количества окиси углерода недостаточно, должен быть избыток ее, чтобы, не взирая на присутствие CO_2 в газах, все же атмосфера была бы восстановительная. Лишь при соблюдении этого условия возможно протекание процессов восстановления в указанном направлении. Восстановленное железо, представляющее из себя губчатую

массу среди пустой породы, далее, при соприкосновении с раскаленным углем и пронизываемое окисью углерода, постепенно науглероживается; в более низких зонах доменной печи, при наличии благоприятной обстановки, может произойти восстановление некоторых элементов из их соединений и поглощение расплавленным чугуном (кремний, марганец, сера, мышьяк, фосфор).

Образовавшаяся из известняка окись кальция (CaO), сильное основание, соединяется главным образом с кремнекислотой (SiO_2) (из пустой породы руды, золы угля и немного из кладки печи), образуя с глиноземом (Al_2O_3), сравнительно легкоплавкий шлак, который всплывает поверх чугуна и защищает его от окисляющего действия дутья. Если бы расплавленный чугун был незащищен, то кислород воздуха соединился бы с ним (окислил его) и таким образом оказал бы вредное действие. Во время плавления чугуна часть окиси кальция (CaO) обменивает свою частицу кислорода на частицу серы из чугуна, образуя сернистый кальций (CaS), который переходит в шлак.

Количество и свойства шлака играют важную роль в ходе доменной печи, поэтому флюсы должны быть так подобраны, чтобы получился шлак надлежащего состава. Шлак служит не только для удаления пустой породы из руды, но также непосредственно оказывает влияние на свойства чугуна. Легкоплавкий шлак, образуясь слишком рано в доменной печи, обволакивает восстановленное железо и препятствует углероду и кремнию переходить в чугун в достаточном количестве. Чугун получается при этом с меньшим содержанием углерода и кремния, т.-е. белый. В противном случае получается серый чугун, т.-е. содержащий больше углерода и кремния.

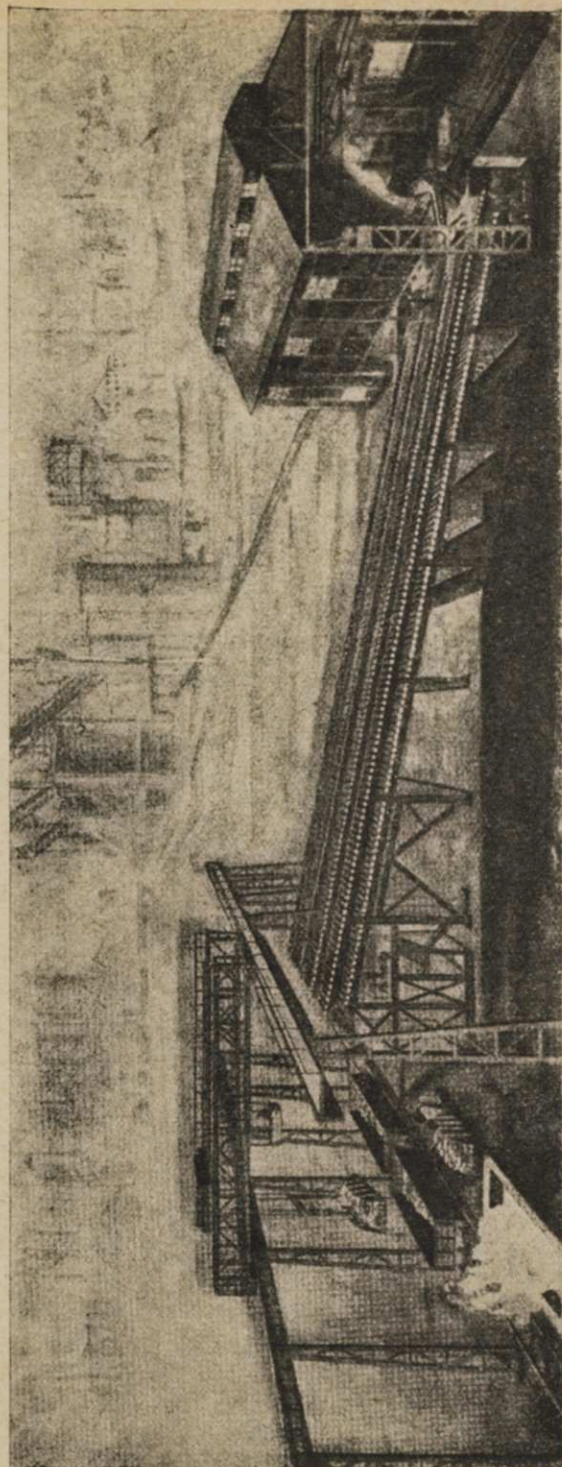
Кремний и марганец, оказывающие большое влияние на свойства чугуна, восстанавливаются при более высокой температуре в нижних частях доменной печи. Отсюда следует,

что температура печи имеет большое значение и должна регулироваться в зависимости от сорта чугуна, который требуется получить. На температуру печи влияет частью соотношение между количеством руды и угля, а частью величина давления дутья и степень его нагрева.

Время от времени, когда шлак почти достигает воздушных фурм, он выпускается и вытекает через шлаковую фурму до тех пор, пока он сам не остановится. Выпуск чугуна делается тогда, когда он поднимается в горне так высоко, что на нем остается лишь тонкий слой шлака. Для выпуска пробивают шомполом заделанную песком или глиной чугунную летку. После выпуска чугуна летка снова заделывается глиной. Это происходит следующим образом: на конец шомпола насаживается конус из мягкой глины, который и вдавливается в отверстие. Когда нужно снова сделать выпуск, требуется только пробить отверстие, выбивая высохшую глиняную пробку. За последнее время начали применять, особенно в Америке, паровые или пневматические машины для заделывания летки.

Чугун, как уже было указано, вытекает по специальным желобам из летки и по каналам в песке литейного двора в формы, в которых он застывает; полученные куски чугуна называются *чушк а м и*, которые бывают различными по форме и величине для разных печей. Чушка делается от 300 до 400 мм длины, 200—250 мм ширины и толщиной от 50—100 мм.

В последнее время чугун стали отливать в чушки с помощью специальных разливочных машин (фиг. 6), представляющих подобие конвейера из металлических изложниц для заливки же чугуном из ковша. Скорость передвижения подобного конвейера выбирается такою, чтобы на другом конце его иметь уже вполне застывшие чушки, выпадающие из изложниц непосредственно на платформы. На заводах, имеющих сталелитейное производство, чугун выливается в ковши,



Фиг. 6. Установка для отливки чугуных свинок. Специальная разливочная машина.

установленные на тележках. Таким образом жидкий чугун по рельсам можно перевозить к месту его передела. При большом сталелитейном производстве пользуются так назыв. миксерами, которые наполняются чугуном из ковша. Эти миксеры, если они не снабжены приспособлениями для нагревания, должны быть настолько большими, чтобы чугун не успевал в них застывать, прежде чем он пойдет в плавку (150—900 тонн вместимости). Назначение миксеров получать чугун более однородного состава, так как состав чугуна в большей или меньшей мере бывает различен при каждом выпуске из домен. Кроме того, чугуны, содержащие в достаточном количестве марганец, выдерживаются в миксерах для очистки металла от серы. В Швеции чугун для продувки в бессемерах всегда берется прямо из доменной печи.

Миксеры бывают различных конструкций; небольшие имеют форму бессемеровского конвертера, а большие—качающихся мартеновских печей.

Доменная печь работает непрерывно в течение нескольких лет. Этот общий период работы носит название «кампании печи». В обычной шведской древесноугольной печи получается приблизительно 20 тонн чугуна в сутки. Расход топлива на тонну получаемого чугуна примерно от 5 до 6 куб. метр. Расход воздуха 5500 куб. метр. на тонну угля. Давление воздуха 80—100 мм ртутного столба. В коксовых доменных печах 500 мм. Температура воздуха варьируется в шведских печах от 300 — 500°C. Коксовые доменные печи производят до 800 тонн чугуна в сутки, но обычно 400—500 т., с расходом кокса приблизительно в отношении 1,0—1,1 к выходу чугуна.

Побочные продукты доменного производства.

Кроме чугуна, в доменной печи получают различные побочные продукты, из которых наиболее важными являются шлак и доменные газы.

Большое количество шлака, получающееся в доменной печи (вес всего полученного шлака часто соответствует весу чугуна, объем же шлака превосходит объем чугуна в 2—3 раза благодаря значительно меньшему удельному весу), причиняет часто большие неудобства, так как он занимает огромное пространство. Поэтому чрезвычайно важно использовать полнее этот продукт, дабы не только затрачивать средства на его вывоз и не занимать площадь под его отвалы, но даже добиться известной денежной прибыли путем рационального использования шлака. Обычно из шлака делают кирпичи, годные как строительный материал, только не для жилищ, так как они слишком теплопроводны. В Германии шлак гранулируют, выпуская его прямо в проточную воду, где зерна шлака смешиваются с обожженной негашеной известью. Из этой смеси получают кирпичи, сформованные в кирпичных прессах. Такие кирпичи годны и для жилищ. Шведские шлаки не годятся для этого, потому что они слишком кислые. Они также не совсем годны для получения цемента, в то время как для Германии шлаковый цемент явление совершенно обычное. Шлак еще употребляют, как добавление к бутылочному стеклу, далее—при производстве «шлаковой шерсти», которая раньше применялась для изоляции трубопроводов, но теперь значительно сократилась, а также как

материал для заполнения стен и т. д. В этой области остается широкий простор для изобретений и усовершенствований.

Нижеприводимая таблица показывает примерные анализы шлака древесноугольной и коксовой доменных печей.

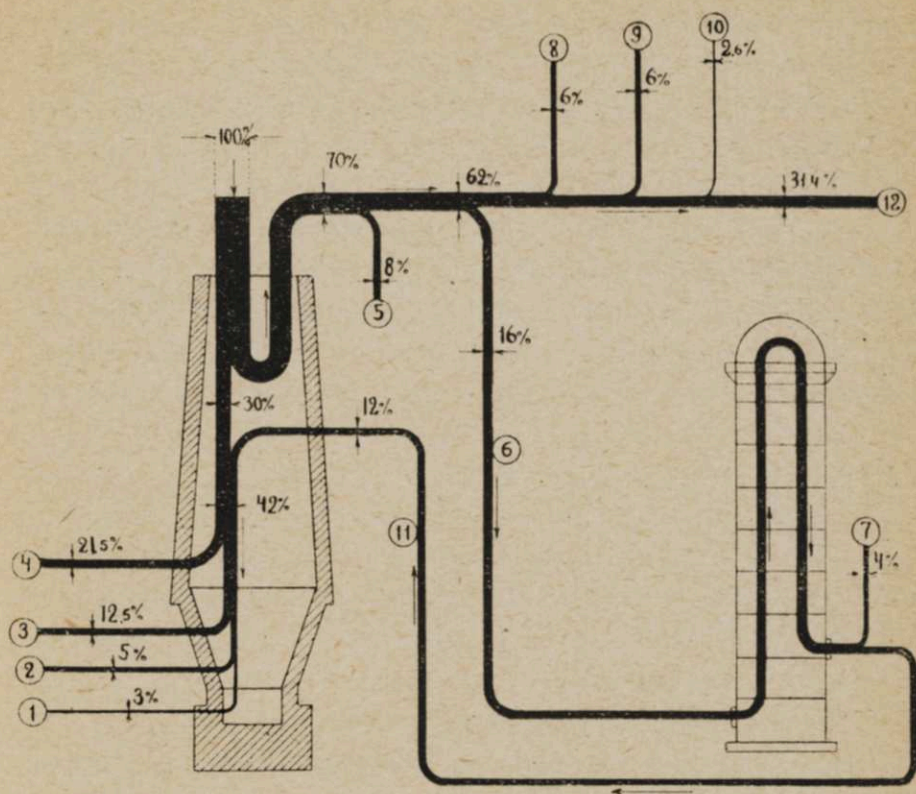
	Шлак древесноугольной доменной печи	Шлак коксовой доменной печи
	%	%
Кремнекислота	55	40
Фосфорная кислота . . .	—	следы
Глинозем	6	14
Закись железа	1,5	1
Закись марганца	2,5	1,5
Окись магния	2,5	3,5
Окись натрия	0,5	1,25
Окись калия	1	0,75
Окись кальция	31	36
Сернистый кальций . . .	0,5	2

Применение доменных газов было уже изложено выше. Количество доменных газов, получаемое в средней шведской доменной печи, может служить топливом не только для рудобжигательной печи и нагрева дутья, но и для газомотора в 500 лошадиных сил.

Химический состав доменных газов в процентах объема:

Азот	55—65%
Окись углерода	20—32 »
Углекислота	6—18 »
Водород	1—6 »
Углеводород	0—6 »

Рассмотрение вышеприведенной таблицы состава колюшникового газа показывает, какое количество горючих составляющих они еще содержат в себе. Действительно, теплотворная способность их колеблется в пределах 850—1100 кал/куб. метр. в зависимости от состава. Если принять во внимание, что количество этих газов доходит до 3000—4500 куб. метр.



1. Нагрев чугуна.
2. " шлака.
3. " охлаждающей воды.
4. Расход на реакции восстановления.
5. Потери на охлаждение паров и газов.
6. Расход на воздухоподогревательные приборы.
7. Потери на лучеиспускание в воздухоподогреват. приборах.
8. Потери в газах.
9. Расход газа на воздухоподувки.
10. Расход газа на необходимую энергию.
11. Приход тепла за счет нагретого дутья.
12. Избыток энергии в газах для посторонних нужд.

Фиг. 7. Тепловой баланс современной рационально-организованной доменной печи.

на тонну выплавленного чугуна, то станет очевидным, каким запасом полезного тепла эти газы обладают и какую громадную ценность они представляют собою. Часть колошниковых газов утилизируется для нужд самой доменной печи (на нагрев дутья в особых приборах—кауперах и на машины для подвода дутья к печи—воздуходувки). Остальная часть газов с успехом может быть утилизирована на совершенно посторонние агрегаты и предприятия. Фиг. 7 изображает тепловой баланс современной рационально организованной доменной печи, давая совершенно ясную картину распределения тепла по отдельным рабочим процессам. Из чертежа отчетливо видно, что при рациональной организации доменного цеха можно около 31,4% теплотворной способности горючего, вносимого в доменную печь, нацело употребить на удовлетворение нужд других отделов металлургического завода, или для продажи на сторону в виде электрической энергии. Ясно при этом, что все затраты, связанные с улавливанием этого газа, его очисткою и дальнейшей утилизацией, чрезвычайно быстро окупятся и тем понизят накладные расходы по выплавке чугуна, понизят себестоимость последнего.

Очистка газов необходима по той причине, что доменные колошниковые газы, выходя из печи, уносят с собой значительное количество взвешенных твердых частиц, состоящих из флюса, горючего и рудной пыли, а также и частиц воды. Эти механические примеси зависят по количеству и составу от шихты доменной печи и могут достигать 10—20 грамм на 1 куб. метр газа, что отражается как на теплотворной способности газа, так и на порче аппаратов, потребляющих означенный газ. При применении газа непосредственно для сжигания в топках, ограничиваются так называемою грубою очисткою, когда газ освобождается от более крупных частиц колошниковой пыли. В результате содержание пыли снижается до нескольких грамм на 1 куб. метр

газа. Применение же колошникового газа для работы двигателей внутреннего горения требует уже более полной очистки, так называемой—тонкой, после каковой примеси пыли к газу не превышают 0,003—0,008 грамм на 1 куб. метр газа.

Хотя все приборы и аппараты, служащие для улавливания газа, проводки его, очистки и т. д., довольно громоздки, занимают большую площадь, а самая очистка связана с рядом расходов, все же все эти расходы весьма быстро окупаются, а потому ни один современный доменный цех не обходится без перечисленных установок.

Свойства чугуна и его применение.

Чугун, как уже выше было указано, является не простым металлом, а сплавом железа с некоторыми другими элементами. Под сплавом подразумевают не только растворы в расплавленном состоянии двух или нескольких металлов между собою, но за последнее время этому понятию придают более широкое значение, понимая под сплавом взаимное растворение, наряду с металлами, также и других элементов, т.-е. металлов с металлоидами; к последнему типу сплавов и принадлежит чугун.

Из элементов, входящих в состав сплава, углерод является самым главным, так как он более, чем какой-либо другой элемент, оказывает влияние на свойства железистого сплава. Чугун содержит, кроме всегда имеющегося в нем углерода, также ряд и других элементов и в первую очередь—кремний, марганец, фосфор и серу. В небольшом количестве в чугуне содержится азот, водород и кислород, а также некоторые металлы: медь, цинк и т. д., которые, однако, имеют второстепенное значение. Фосфор и сера являются вредными примесями, и лишь в некоторых немногих случаях фосфор бывает полезен. Некоторые элементы сплава, обычно полезные при известном содержании в чугуне, могут оказаться вредными при повышенном количестве их.

Углерод. В твердом чугуне углерод встречается в двух различных видах: в свободном состоянии и в химически связанном, которые легко распознаются не только химическим анализом, но и невооруженным глазом.

В жидком состоянии чугун может содержать больше углерода, чем может удержать его при охлаждении. В некоторых случаях часть углерода при сравнительно медленном охлаждении выделяется в виде пластинок графита, которые располагаются между кристаллами железа, придавая чугуну серый цвет. Чугун, содержащий в большом количестве графитистый (не связанный) углерод, называют серым чугуном. Излом его в большей или меньшей степени темный. Графит выделяется, если содержание углерода в чугуне не меньше 2,5%, при наличии же в чугуне значительного количества кремния графит выделяется гораздо легче. Чешуйки графита иногда достигают нескольких миллиметров в диаметре. При растворении чугуна в кислотах остается нерастворенным весь углерод чугуна, находящийся в нем в виде графита.

Если чугун быстро охлаждать, то при большом содержании марганца или при незначительном—кремния, чугун получает в изломе белый цвет, т.-е. чугун будет белый. В этом случае углерод не выделяется из жидкого сплава в виде графита, а остается в связанном состоянии, в виде карбида (Fe_3C), который делает белый чугун значительно тверже серого. Многие сорта белого чугуна при переплавке и медленном охлаждении могут давать достаточно мягкую отливку. Равным образом, если чугунная отливка, содержащая в себе карбиды, нагревается продолжительное время при температуре свыше $700^{\circ}C$, после чего отливка подвергается медленному охлаждению, то получается понижение содержащегося в отливке углерода и возрастание вязкости; по этой причине подобный чугун получил название „ковкого чугуна“. Нагрев отливок производится обычно в среде железной руды (европейский способ) или в песке (американский способ). Подробнее об этом процессе будет изложено во II Томе настоящего издания.

Углерод, в зависимости от его количества в сплаве с железом, дает либо чугун, либо ковкое железо. Он является

также тем элементом, который наиболее характеризует серый и белый чугуны, хотя решающим при этом, главным образом, является не количество углерода, а его вид и происхождение. Количество выделяющегося графита основывается как на общем содержании углерода (т.-е. более углеродистый сплав железа способен выделять большее количество графита), так и на скорости остывания (т.-е. в зависимости от большей или меньшей массивности отливок).

Из всего вышесказанного относительно поведения чугуна при быстром или медленном охлаждении следует, что чугун, отлитый в форму из теплопроводного материала (изложница), отбеливается, следовательно, становится тверже, чем в том случае, если бы он был отлит в форму менее теплопроводную. То же самое можно сказать про отливки тонких предметов, которые, благодаря своей небольшой массе, скорее теряют тепло, чем крупные предметы. В первых, как уже указывалось, выделяется меньшее количество графита, чем в последних. По той же самой причине изделия получаются тверже у поверхности и мягче (более серыми) внутри.

Содержание углерода, а также его вид и структурное происхождение оказывают влияние на точку плавления железа углеродистого сплава. Чем больше содержание углерода, тем ниже точка плавления; при увеличении же содержания графита она даже несколько повышается. Ковкое железо с 0,1% углерода плавится приблизительно при температуре в 1475°C , с содержанием углерода в 1,5% приблизит. при 1360°C , совершенно белый чугун с 4,2% углерода—при 1130° и совершенно серый чугун с тем же содержанием углерода при 1160° . Последние цифры имеют значение только при предположении, что в чугуне почти нет никаких других элементов, могущих влиять на точку плавления. На практике принимают за точку плавления для серого чугуна 1200° , а для белого 1100°C .

Удельный вес чугуна тем меньше, чем больше чугун содержит графита. Он варьируется от 7,08 у графитистого

чугуна до 7,66 у совершенно белого. Обычно удельный вес чугуна принимают при вычислениях за 7,2—7,3. На усадку чугуна при охлаждении обращается большое внимание при отливке. Модель для формовки должна делаться с припуском на усадку. У графитистого чугуна усадка меньше, чем у белого. Усадка у стальных отливок больше, чем у чугунных. Обычно серый литейный чугун имеет линейную усадку в 1⁰/₀, чисто белый в 1,7⁰/₀, а стальные отливки около 1,8⁰/₀ *).

Кремний. На основное свойство этого элемента—способствовать образованию графита уже указано выше.

Серый чугун содержит кроме железа:

2,5 — 4,5⁰/₀ углерода (общее количество)

0,5 — 5⁰/₀ кремния

0,5 — 1⁰/₀ марганца (редко больше)

0,01—0,018⁰/₀ серы

0,07—1,8⁰/₀ фосфора.

Такой чистоты, в отношении серы, получают древесно-угольные чугуны. Чугуны, выплавленные в коксовых доменных печах, содержат более значительное количество серы.

Обычный чугун, предназначенный для литья, содержит от 1,5—3⁰/₀ кремния. Железо может усваивать значительное количество кремния. В отношении воздействия на способность железа растворять в себе углерод, следует установить, что увеличение содержания кремния способствует вытеснению углерода, т.-е. уменьшает общее количество углерода, содержащегося в чугуне.

Наибольшее количество углерода, которое может содержать медленно охлаждаемый кремнистый чугун после застывания, видно из следующей таблицы:

При 1,18⁰/₀ кремния 3,89⁰/₀ углерода.

» 2,11⁰/₀ » 3,70⁰/₀ »

» 3,23⁰/₀ » 3,34⁰/₀ »

» 4,82⁰/₀ » 2,95⁰/₀ »

*) См. по этому вопросу также Том II настоящего издания.

Действие кремния на чугун подобно углероду, но слабее. Если содержание кремния большое, чугун никогда не может стать белым. Наоборот, трудно получить вполне серый излом у малокремнистого чугуна.

Температура плавления несколько падает при повышении содержания кремния, в то время, как высокопроцентный кремнистый чугун трудноплавок.

В литейном чугуне увеличение содержания кремния ведет к большому выделению графита и уменьшению усадки. В стальных же отливках, наоборот, увеличение содержания кремния увеличивает и усадку. Кремний обладает, кроме того, свойством препятствовать возникновению пузырей в литом железе, поэтому часто перед отливкой добавляют кремний для получения плотного изделия. Это свойство кремния, а также способность его уменьшать усадку, влиять на твердость чугуна и пр. указывают на то, что кремний имеет большое значение при литье. Изменяя содержание кремния и его соотношение с другими компонентами сплава, можно получать соответствующие сорта литейного чугуна, пригодные для той или иной цели.

Кроме того, кремний делает чугун более легкоплавким, в большом количестве он способствует удалению серы из чугуна.

Марганец. Марганец соединяется с углеродом в большей степени, чем железо, поэтому марганцовистый чугун содержит больше углерода, чем чугун с меньшим содержанием марганца. Марганец, в противоположность кремнию, препятствует образованию графита.

Твердость у белого чугуна сильно повышается при содержании марганца свыше 3⁰/₀, а усадка увеличивается. Отливка марганцовистого металла в формы часто ведет к образованию «усадочной раковины», под этим понимается образование внутренних пустот и опадение в некоторых местах поверхности изделия при остывании литья. С повышением содержания марганца увеличивается легкоплавкость чугуна.

Марганец добавляется в отливки, которые, благодаря присутствию *Mn*, закаляются в кокилях, что увеличивает сопротивление отливки трению. Поверхность у таких отливок получается у белого чугуна большой твердости. Содержание марганца в таком чугуне должно составлять 1—2%.

Кроме вышеперечисленных свойств, марганец обладает способностью при плавке чугуна в вагранке соединяться с некоторой частью серы в чугуне и таким образом уменьшать количество серы и ее вредное действие. На это нужно обращать внимание при литье. Кроме того, марганец, как и кремний, легко соединяется с кислородом. Отсюда следует, что кислород при плавке не так сильно окисляет кремний, если чугун более марганцовистый, поэтому такой чугун может перенести несколько переплавок в вагранке, не столь сильно теряя свое количество кремния или, другими словами, остается сравнительно неизменным. При небольшом содержании марганца в чугуне количество кремния, напротив, уменьшается значительно, теряется при каждой переплавке благодаря окислению. Поэтому содержание кремния в литейном чугуне должно быть очень высоким.

Сера. Сера встречается в небольших количествах во всяком железе, частью потому, что большинство железных руд содержит серу, а также частью по той причине, что сера соединяется с железом при плавке за счет серы, содержащейся в горючем. Она, приблизительно, так же, как и марганец, противодействует образованию графита в чугуне. В присутствии серы чугун становится более тугоплавким, а также более твердым и хрупким; вместе с тем отливки из слишком сернистого чугуна становятся более пузырчатыми и неплотными. Присутствие в чугуне свыше 0,10% серы делает его уже непригодным для более или менее ответственного литья. Небольшое количество серы, напротив, придает крепость чугуну, хотя сера и имеет склонность распределяться неравномерно, создавая таким образом неоднородность.

Вредное действие серы нейтрализуется частью, как уже было выше упомянуто, присутствием марганца в чугуने. Так как сера, кроме того, склонна соединяться с кальцием, то при плавке в вагранке, а также в доменной печи, добавляют известняк, для того, чтобы получился сернистый кальций, переходящий в шлак.

Фосфор. Главное действие фосфора на чугун заключается в том, что чугун делается тем более хрупким, чем больше в нем содержание фосфора. Временное сопротивление при этом несколько увеличивается. Поэтому чугун с большим содержанием фосфора переносит довольно хорошо равномерную нагрузку, но легко ломается при совершенно незначительных толчках. Эта хрупкость возрастает с увеличением содержания связанного углерода, так что графитистый чугун переносит большее количество фосфора. Так как чугун с большим содержанием кремния всегда содержит малое количество связанного углерода, то отсюда следует, что увеличенное содержание кремния противодействует вредному влиянию фосфора. Последние исследования влияния фосфора на механические качества чугуна показали явное повышение таковых при содержании фосфора до 0,3%; дальнейшее повышение содержания фосфора вызывает быстрое снижение механических качеств чугуна, особенно же его сопротивляемость ударам.

Фосфор обладает еще одним свойством, которому придается большое значение, а именно: он делает чугун более легкоплавким и «легкоподвижным». Поэтому фосфористый чугун употребляется для тонких отливок, в особенности для предметов с орнаментами, требующих, чтобы чугун заполнял даже малейшие и тончайшие углубления в форме, при чем отливки вовсе не требуют повышенные механические качества. Содержание фосфора в таком чугуне требуется около 1,5%; напротив, для отливок, требующих большей прочности, фосфор должен быть в количестве ниже 0,5%.

Фосфор в чугуне уменьшает немного общую усадку, а также усадочную раковину и уплотняет отливку. Фосфористый металл остается дольше в жидком состоянии, чем металл, содержащий мало фосфора.

Алюминий. Чугун, получаемый в доменной печи, не содержит алюминия. Последний вводится иногда в металл в качестве «добавки» при литье для уплотнения отливки. Для этой цели пользуются ферроалюминием, содержащим 10% алюминия и 90% железа, а для стальных отливок 15% алюминия. Алюминий иногда добавляют в ковш, наполненный чугуном из вагранки, приблизительно 0,25 кг на 1000 кг, чугуна, т.-е. содержание алюминия получается в 0,025%, фактически несколько меньше благодаря окислению части присаженного алюминия. Во II Томе настоящего издания, в главе о шихтовке, придется более подробно вернуться к вопросу о влиянии алюминия и ряда других элементов на свойства чугуна, здесь же необходимо вкратце отметить чрезвычайную способность алюминия вызывать выделение углерода чугуна в виде графита.

Нижеприводимая таблица служит сводкой влияния различных элементов на чугун (см. Табл. на стр. 54).

Следует отметить только, что эта таблица имеет лишь относительное значение, так как чугун всегда содержит все из указанных элементов в переменном количестве. Поэтому приходится считаться с суммарным влиянием всех входящих в состав чугуна элементов, влияние коих от этого может взаимно нейтрализоваться, усиливаться или уменьшаться.

Перечисленные элементы, входящие в сплав, влияют также на ржавление и растворимость в кислотах. Белый чугун с большим содержанием химически связанного углерода труднее поддается растворению, нежели более графитистый чугун. Кремний и марганец увеличивают сопротивление растворимости, а сера уменьшает.

Элементы сплава	Твердость наружного слоя отливки	Точка плавления	Легко- плавкость	Усадка	Времени. сопроти- вление	Твердость	Хрупкость
Углерод, гра- фит	уменьшает	повышает	увеличивает	уменьшает	уменьшает	уменьшает	уменьшает
Углерод, хими- чески свя- занный . . .	увеличивает	понижает	уменьшает	увеличивает	увеличивает	увеличивает	увеличивает
Кремний . . .	уменьшает	повышает	увеличивает	уменьшает	уменьшает	уменьшает	уменьшает
Марганец . . .	увеличивает	понижает	увеличивает	увеличивает	увеличивает	увеличивает	увеличивает
Фосфор	уменьшает	понижает	увеличивает	уменьшает	уменьшает	—	увеличивает
Сера	увеличивает	—	уменьшает	увеличивает	при уме- ренн. со- держ. уве- личивает	увеличивает	высокое содержан. увеличивает

Все вышеприведенное касается всякого чугуна, но особый интерес в этом отношении представляет литейный чугун. Для литейщика является весьма важным знать влияние каждого элемента, чтобы легче выбрать чугун требуемого состава для той или иной цели. Этот вопрос будет подробнее разобран во II Томе настоящего издания.

Чугун часто классифицируют по виду излома на совершенно серый чугун, полосатый, четвертной ($1/4$ белого), полубелый ($1/2$ белого) и трехчетвертной ($3/4$ белого), зернистый и совершенно белый. Нужно оговорить известную условность подобной классификации, основанной исключительно на характере излома, могущего все же изменяться от целого ряда побочных обстоятельств. Следует признать за более обоснованное классификацию по химическому анализу. Половинчатый чугун имеет в изломе одну половину белую, а другую серую. Это выражение употребляется иногда вместо названия «полубелый». Более или менее белый чугун употребляют главным образом для получения железа и поэтому его называют по способу передела (бессемеровский, томасовский и т. д.). Довольно полное представление о различных сортах чугуна дает нижеприводимая таблица (см. Табл. на стр. 56—57).

Южно-русские металлургические заводы, объединенные в Югосталь, приняли за последнее время в некоторых частях нижеследующую классификацию коксовых доменных чугунов (см. Табл. на стр. 58).

На уральских заводах, выплавляющих чугун главным образом на древесном угле, классификация чугунов по химическому составу имела малое применение. Первый съезд уральских деятелей по доменному производству, имевший место в июне 1925 г. в г. Свердловске, нашел необходимым предложить всем уральским заводам руководствоваться нижеследующей классификацией, основанной на нумерации как

Химический анализ раз

личных сортов чугуна.

Название чугуна	Основные признаки	Общее колич. углерода %	Графит %	Кремний %	Марганец %	Фосфор %	Сера %	Излом
Гематит	—	3,5 — 4,5	3,2—4,0	2,3 — 4,0	0,7 — 1,0	0,07 — 0,10	0,01 — 0,03	серый
Литейный чугун № 1 . . .	Высокое содержание кремния. Небольшое содержание серы.	3,5 — 4,5	3,2—4,0	2,5 — 4,0	0,5 — 1,0	0,4 — 0,8	0,02 — 0,05	»
» » № 2		3,3 — 3,7	3,0—3,3	2,3 — 3,0	1,0 — 2,0	0,3 — 0,7	0,03 — 0,07	»
» » № 3		3,0 — 3,4	2,3—2,5	1,3 — 2,0	0,3 — 0,5	1,7 — 1,9	0,05 — 0,10	»
Ланкаширский чугун	Незначительное содержание серы. Низкое сод. кремн. и марг.	Свыше 4,0	—	0,20—0,30	0,20—0,30	до 0,1	0,05	половинчатый
Валлонский чугун ¹⁾	Низкое содерж. всех элементов, кроме марганца.	3,80—3,95	—	0,10—0,16	0,50—0,75	0,012—0,015	0,020—0,025	зернистый
Бессемеровский чугу. (кислый конвертер)	Богат кремнием и марганц. Низк. содержание фосфора.	Ок. 4,0	—	1,04—1,57	3,03—4,28	0,025—0,035	следы	серый
Томасовский чугун (основ- ной конвертер).	Высокое содержан. фосфора. Умеренн. кремния.	3,0 — 3,5	—	0,2 — 0,5	0,8 — 2,0	1,7 — 2,5	ниже 0,08	белый
Мартеновский чугун (для кисл. процесса)	Достаточно низкое содерж. серы, зависящее, впрочем, от обстоя- тельств.	4,0 — 4,5	—	0,16—0,30	0,40—0,70	0,029—0,034	0,005—0,015	»
Мартеновский чугун (для основн. процесса) ²⁾ . . .		3,80—4,10	—	0,65—0,82	0,95—1,12	0,031—0,033	следы	серый
		4,0 — 4,25	—	0,30—0,60	0,50—0,80	0,022—0,025	0,003—0,010	полубелый
Чугун для тигельной стали .	Низкое содержание фосф., серы и кремн.	3,75—4,25		0,03—0,35	0,04—0,08	0,013—0,025	0,004—0,015	белый
Пудлинговый чугун	Высок. содерж. марганца.	2,0 — 2,5	—	0,2 — 0,5	2,0 — 2,5	0,3 — 0,7	0,04 — 0,08	»
Чугун для последующ. томле- ния (ковк. чугун)	Низк. содержание серы и мар- ганца.	3,80—4,15	3,35—3,50	0,80—1,10	0,12—0,25	0,035—0,045	0,015—0,020	серый
Чугун для последующ. томле- ния (ковк. чугун)	—	3,80—4,10	—	0,10—0,3	0,10—0,15	0,060—0,080	0,005—0,015	белый

¹⁾ Для качественной стали.²⁾ Для инструментальной стали.

Классификация южно-русских коксовых доменных чугунов.

Серия чугуна	Кремний в ‰	Марганец в ‰	Фосфор в ‰	Сера в ‰
Гематит:				
№ 0	3,0 — 4,5	0,5 — 1,70	} не выше 0,1	{ не выше
№ 1	2,5 — 3,0	0,5 — 1,50		0,03
№ 2	2,0 — 2,5	0,5 — 1,20		0,05
№ 3	1,3 — 2,0	0,5 — 1,20		0,06
№ 4 (половинчатый) . . .	1,0 — 1,3	0,5 — 1,20		0,08
№ 5 (белый) . . .	0,5 — 1,0	0,5 — 1,20		0,10
Литейный:				
№ 0	3,0 — 4,5	0,4 — 1,7	} от 0,1 до 0,25	не выше 0,03
№ 1	2,5 — 3,0	0,4 — 1,5		0,04
№ 2	2,0 — 2,5	0,4 — 1,2		0,05
№ 3	1,3 — 2,0	0,4 — 1,20		0,07
Бессемеровский:				
№ 1	2,25—3,0	1,25—2,5	} не выше 0,1	0,05
№ 2	1,75—2,25	1,00—1,75		0,07
№ 3	1,25—1,75	0,75—1,25		0,10
Томасовский . .	0,3 — 1,0	2,0	1,75—3,0	не выше 0,1
Мартеновский для кисл. процесса . .	0,5 — 2,0	1,0 — 2,5	0,10	не выше 0,08
Мартеновский для основн. процесса . .	0,5 — 2,0	1,0 — 2,5	менее 0,30	не выше 0,12
Ферросплавы:				
кремнистый . . .	10,0 — 12,0	1,0 — 2,0	не выше 0,18	не выше 0,05
зерк. низкопрод.	} 0,5 — 1,0	10,0 — 14,0	0,15	не выше 0,03
» высокопр.		18,0 — 20,0	0,20	
ферроманган:		50,0 — 60,0	не выше 0,25	
низкопрод. . . .			0,35	
высокопрод. . .			78,0 — 82,0	
силико-шпигель.	9,0 — 12,0	18,0 — 22,0	0,20	0,05

литейных, так и переделных чугунов в зависимости от содержания кремния, а именно:

№ 00	высший—кремния	3 ⁰ / ₀	и выше
№ 00	—	»	2,5 — 3,0 ⁰ / ₀
№ 0	—	»	2,0 — 2,5 ⁰ / ₀
№ 1	—	»	1,75—2,0 ⁰ / ₀
№ 2	—	»	1,50—1,75 ⁰ / ₀
№ 3	—	»	1,20—1,50 ⁰ / ₀
№ 4	—	»	0,9 — 1,2 ⁰ / ₀
№ 5	—	»	0,6 — 0,9 ⁰ / ₀
№ 6	—	»	ниже 0,6 ⁰ / ₀

Содержание *Mn* и других составных частей как в литейных, так и в переделных чугунах может колебаться в известных пределах в зависимости от условий плавки и назначения чугунов.

Литейный чугун.

При продаже литейного чугуна, особенно за границей, его принято различать по номерам, в зависимости от вида излома. Чугун с наиболее грубозернистым изломом обозначают № 1-ым, следующий № 2 и т. д. от № 1 до № 5. При этом исходят из того, что содержание кремния в чугуне, связанное с выделением большего или меньшего количества графита, определяет зернистость излома. Чугун, содержащий большое количество кремния, дает грубый излом. Чугун с большим содержанием кремния, при получении его в доменной печи, требует более высокой температуры, что влечет за собой больший расход на топливо, вследствие этого стоимость чугуна № 1 выше, чем № 2 и т. д.

Однако, такой способ классификации чугуна по излому не удовлетворителен. Тонкий излом чугуна можно сделать более грубым посредством очень медленного охлаждения—напр., зарывая отливку в песок и, наконец, чугун с большим содержанием кремния, чем обычный литейный чугун (содержащий около 3,8%), может иметь более мелкозернистый излом, чем обычный чугун. Достаточных указаний, определяющих состав чугуна, эта классификация не дает даже в отношении кремния. Она показывает только общие свойства чугуна. Тем не менее, эта классификация общепринята в странах, имеющих крупную железоделательную промышленность, и имеет, весьма возможно, свои выгоды при сбыте литейного чугуна. Теперь, однако, встречаются не все номера; наиболее употребительны в Швеции № 1 и 3. Един-

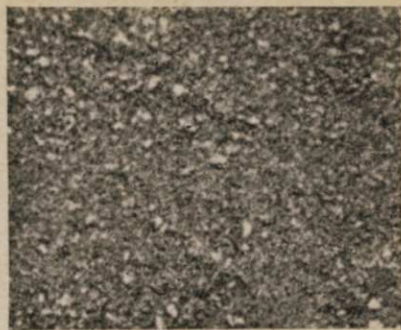
ственно правильный способ приобретения чугуна, это—на основании химического анализа.

Гематитовые чугуны, идущие частью как литейные чугуны, выплавляются из красного железняка. Они имеют высокое содержание кремния и низкое—фосфора (ниже 0,1%).

Анализы литейного чугуна даны в вышеприведенных таблицах.

Хотя высокое содержание кремния увеличивает цену чугуна, однако, этим еще не сказано, что более кремнистые чугуны будут наилучшими для литейных целей. Ценность их заключается в том, что они годны для сплава с малокремнистыми чугунами, в случае необходимости повысить среднее содержание кремния в шихте. Цена чугуна до некоторой степени зависит также от содержания фосфора: малофосфористый чугун стоит дороже.

Коксовые чугуны № 1 и 2 имеют темно-серый излом; № 3, наиболее отвечающий требованиям, предъявляемым к большинству литых изделий, имеет



Фиг. 8. Английский чугун № 1, выплавленный на коксе.



Фиг. 9. Английский чугун № 4, выплавленный на коксе.



Фиг. 10. Белый чугун.

излом светло-серого цвета; № 4 и 5 имеют полубелый излом, более светлый или более темный, и образуют, при наиболее светлом изломе, переход к белому чугуну. Фиг. 8—10 показывают изломы трех видов английского коксового чугуна.

Механические свойства литейного чугуна.

Сопротивление разрыву у обыкновенного чугуна значительно меньше, чем сопротивление сжатию. Первое доходит максимум до $28—30 \text{ кг/мм}^2$, в то время как сопротивление сжатию составляет в среднем 70 кг/мм^2 . Оба, однако, могут значительно варьироваться, напр., сопротивление разрыву у плохого литейного чугуна падает до 8 кг/мм^2 , сопротивление же сжатию, зависящее главным образом от длины и диаметра испытываемого бруска, колеблется от $30—125 \text{ кг/мм}^2$.

Шведское Технологическое Бюро (Teknologföreningens), устанавливающее определенные нормы для материалов и работ по железным конструкциям мостов и др. строительных сооружений, дает следующие нормы для чугунных литых изделий.

Сопротивление разрыву у обработанных цилиндрических брусков должно составлять минимум 12 кг/мм^2 . Необработанный брусок квадратного поперечного сечения со сторонами в 50 мм должен давать, будучи положен на две опоры, расстояние между которыми один метр, сопротивление изгибу $= 25 \text{ кг/мм}^2$ и работу деформации у предела разрушения минимум 25 килограммо-метров. Это последнее получается в виде диаграммы непосредственно при испытании.

В нижеследующей таблице приводится сопротивление разрыву согласно данным завода в Бьернеборге.

Материал: Чугун согласно данным завода в Бьернеборге	Удельный вес	А н а л и з				Вре- менное сопро- тивле- ние в кг/мм ²	Ударное испытание. Бру- ски 4 X 4 см. Расстояние между опорами 12 см. Вес падающего груза 18 кг. Высота падения груза при разрушении в см
		Гра- фит %с	Свя- зан- ный угле- род %о	Крем- ний %о	Сера %о		

*После пере-
плавки в ва-
гранке.*

САН № 1 очень мяг- кий.	макс.	—	—	—	—	28,44	67
	мин.	—	—	—	—	16,25	32
	средн.	7,23	2,50	0,35	2,38	0,14	23,59

САН № 2 мягкий	макс.	7,30	2,78	0,90	2,92	0,10	28,55	72
	мин.	7,23	2,05	0,45	1,84	0,08	20,31	33
	средн.	7,26	2,52	0,66	2,21	0,08	25,49	52

САН № 3 средней твердости	макс.	7,32	3,25	0,90	2,44	0,10	30,44	79
	мин.	7,22	1,96	0,57	1,68	0,08	22,57	40
	средн.	7,28	2,42	0,76	2,10	0,09	26,10	53

САН № 4 твердый	макс.	7,35	1,98	1,10	2,18	0,10	27,08	56
	мин.	7,33	1,53	1,05	2,10	0,10	19,20	49
	средн.	7,29	1,76	1,08	2,14	0,10	22,72	53

*Непосред-
ственно из до-
менной печи.*

САН № 2 мягкий	макс.	—	—	—	2,33	0,08	24,56	—
	мин.	—	—	—	1,42	0,04	22,41	—
	средн.	—	—	—	1,88	0,06	25,00	—

САН № 3 средней твердости	макс.	—	—	—	2,36	0,11	30,47	—
	мин.	—	—	—	1,72	0,05	27,08	—
	средн.	—	—	—	2,12	0,08	28,40	—

САН № 4 твердый.	макс.	—	—	—	2,15	0,11	29,91	—
	мин.	—	—	—	1,09	0,06	25,50	—
	средн.	—	—	—	1,48	0,08	28,54	—

Грубозернистый чугун имеет меньшее сопротивление разрыву, чем мелкозернистый. На прочность оказывает влияние также обработка чугуна. Чугун с обработанной (строганием или обточкой) поверхностью имеет большую прочность, отнесенную к единице площади поперечного сечения, чем чугун с необработанной поверхностью. Это зависит от того, что необработанная поверхность, так наз. «литейная корка» изделия более хрупкая и пористая, обладает меньшей прочностью, чем внутренние частицы изделия. Это понятно, если принять во внимание, что поверхностный слой изделия быстро охлаждается при отливке и чугун становится более хрупким. Поверхностный слой хуже противостоит возникающим в нем напряжениям, нежели внутренняя часть, поэтому нагрузка распределяется неравномерно по поперечному сечению. Этот недостаток уменьшается посредством обработки. Сопротивление изгибу у обработанных отливок на 15% выше, чем у необработанных. Если сопротивление изгибу у необработанной полосы $= 25 \text{ кг/мм}^2$, то у обработанной должно быть $= 28,75 \text{ кг/мм}^2$. Для того, чтобы получить более полное представление о действительной сопротивляемости изделия изгибу, увеличивают разрушающий груз при изгибе настолько, насколько может выдержать испытываемый брусок (см. главу «Испытание материалов» в конце настоящего Тома). Полученный таким образом результат испытания служит мерой сопротивляемости.

Специальные чугуны.

Специальными чугунами называются такие чугуны, в которых преобладает какой-нибудь один из элементов сплава (кроме железа и углерода).

К специальным чугунам относятся:

Кремнистый чугун (ферросилиций) с содержанием кремния 5—16%. Содержание углерода в таком чугуне—не-

высокое в виду указанного выше свойства кремния понижать способность железа растворять углерод, так что наиболее богатые кремнием сорта чугуна содержат углерод почти около 1%. Количество фосфора и серы—также небольшое. Почти весь углерод в ферросилиции находится в виде графита. Излом серого цвета, но тем светлее, чем выше содержание кремния. Ферросилиций употребляется, главным образом, для раскисления при получении литого железа. В литейном деле его применяют часто для того, чтобы сделать чугун более кремнистым. При этом пользуются обычно высокопроцентным ферросилицием (50%), выплавляемым в электрических печах.

Зеркальный чугун содержит 5—20% марганца. Излом зеркального чугуна серебристо-белый, с большими ровными, расходящимися в различных направлениях гранями. Эти грани бывают наибольшими при содержании марганца 6—15%. Зеркальный чугун при высоком содержании марганца содержит до 5,5% углерода, так как повышение содержания *Mn* в чугуне повышает, в свою очередь, способность железа к растворению углерода. Эти чугуны содержат также обычно небольшое количество фосфора и серы. Зеркальный чугун, в противоположность другим белым чугунам, легкоплавок. Он употребляется, главным образом, как добавка при бессемеровании.

Марганцовый чугун (ферромарганец). Содержание марганца в таком чугуне свыше 20%, обычно 60—80%. Последнее процентное соотношение считается стандартным. Уже при 20% содержания марганца излом чугуна теряет свой слоистый вид, при дальнейшем же повышении содержания марганца излом становится более плотным и мелкозернистым, принимая желтовато-белый оттенок. При охлаждении ферромарганца образуются трещины, поверхность которых при доступе воздуха окисляется, приобретая красивые оттенки (побежалости), которые играют всеми цветами

радуги. Содержание углерода в богатом марганцем чугуна, но при одновременно невысоком содержании кремния, доходит до 7,5%. Содержание фосфора *) и серы—небольшое. Ферромарганец употребляется при бессемеровании и мартеновском процессе, а также в качестве присадки и в чугунолитейном деле.

*) Содержание фосфора в ферромарганце может достигать до 0,5%. Обычный ферромарганец (70—80% *Mn*) содержит 0,25 — 0,35% *P*. Количество фосфора в чугуна возрастает с расходом кокса. При плавке же на ферромарганец расход кокса значительней (не менее 2,40 ед.).

КОВКОЕ ЖЕЛЕЗО

Процесс фришевания.

Для получения ковкого железа из чугуна необходимо, как уже ранее упоминалось, понизить в чугуне содержание углерода. Остальные элементы, входящие в состав чугуна: кремний, марганец, фосфор и сера также оказывают влияние на ковкость железа и, поэтому, большая или меньшая часть этих элементов должна быть удалена одновременно с углеродом. Удаление примесей чугуна происходит посредством окисления. Различные методы удаления примесей чугуна, служащие для получения железа, носят общее название фришевание.

Освобождение чугуна при фришевании от некоторых побочных элементов называют раффинированием. Под раффинированием чугуна, в узком смысле слова, понимается такой процесс окисления, посредством которого чугун освобождается от серы, кремния, марганца и др., не изменяя при этом, в значительной мере, содержания углерода. Подобное раффинирование чугуна предпочитается даже собственно фришеванию.

Способы фришевания подразделяются на две главные группы:

1. «Жидкое» фришевание, при котором чугун расплавляется.
2. «Сухое» фришевание, которое производится с нерасплавленным чугуном.

Первая группа разделяется еще на два вида:

А. Методы получения сварочного железа, при которых железо получается не в жидком состоянии, а в тестообразном. Сюда относятся процессы:

Ланкаширский.

Валлонский.

Пудлинговый.

В. Методы получения литого железа, при которых железо переходит в совершенно жидкое состояние еще до окончания процесса фришевания.

Сюда относятся:

Бессемеровский процесс кислый и основной томасовский
Мартеновский процесс » »

Тигельный процесс, обычный метод и метод Ухациуса.

Электросталелитейный процесс.

При «сухом» фришевании чугуна только нагревается до известной степени. «Сухое фришевание» подразделяется на два типа: один из них является способом обработки готовых изделий (получаются изделия из так называемого «ковкого чугуна»), а другой—сырых материалов. Последний теперь почти совершенно вышел из употребления.

Из перечисленных методов жидкого фришевания в пудлинговом процессе окисление происходит не прямым путем, т.-е. требуемый для окисления кислород заимствуется не из воздуха, а из шлака. При кричных процессах и бессемеровании большей частью имеет место непосредственное окисление. Химизм процесса окисления по существу один и тот же, независимо от способа получения кислорода.

При непосредственном действии кислорода воздуха на жидкий чугун, содержащий наряду с железом углерод, кремний, марганец, иногда—фосфор, перечисленные примеси и отчасти железо начинают окисляться, при чем окисление элементов идет в известной последовательности: *Si*, *Mn* и *C*; предварительно идет энергичное окисление железа, находя-

щегося в большой массе, и образующаяся закись железа (FeO), подвергаясь воздействию находящихся в сплаве Si , Mn и C , вновь частично восстанавливается до металлического железа, переводя перечисленные элементы в их окислы и тем снижая их концентрацию в ванне. Продукты этого окисления соединяются друг с другом в кремнекислую закись железа ($FeSiO_3$) и $MnSiO_3$, т.е. образуют так называемый шлак. После того, как весь кремний и марганец окислятся, горит только железо. При продолжении процесса железо окисляется дальше и образует двойное соединение закиси и окиси железа (Fe_3O_4).

Находящийся в чугуне углерод не окисляется одновременно с кремнием и марганцем, поэтому содержание углерода в начале процесса несколько возрастает в процентном отношении, так как часть кремния и часть железа выгорают.

Когда магнитная окись железа (Fe_3O_4) начинает растворяться в кремнекислой закиси железа и обогащает тем самым шлак кислородом, углерод сгорает, образуя окись углерода CO , часть закись-окиси железа при этом восстанавливается до железа. Таким образом, углерод отчасти соединяется с кислородом воздуха через шлак даже при непосредственном действии воздуха.

Когда в чугуне содержится достаточное количество марганца, то в процессе фришевания он способствует очищению металла от серы и отчасти фосфора, затягивая при этом процесс. Марганец окисляется легче железа, поэтому он скорее сгорает, соединяясь с образовавшейся во время процесса кремнекислотой в кремнекислую закись марганца, которая делает шлак более легкоплавким. Однако, марганец не окисляется весь. Богатый марганцем чугун всегда образует сильно марганцевый шлак. Находящаяся в шлаке кремнекислая закись марганца ($MnSiO_3$) не растворяет образующуюся позднее магнитную окись железа (которая производит окисление углерода), поэтому магнитная окись

железа не распределяется равномерно и влияние ее ослабевает. Вследствие этого для удаления углерода в чугунах, содержащем марганец, требуется больше времени.

Все вышесказанное относительно обезуглероживания марганцового чугуна не касается процесса конвертирования, в котором кислород воздуха производит окисление непосредственно. При фришевании в горне большое содержание марганца оказывает неблагоприятное действие, так как при получении мягкого железа марганец трудно распределить достаточно равномерно. Чугун, употребляемый для этой цели, почти свободен от серы и фосфора, поэтому затягивание процесса не улучшает качеств металла, а только удорожает его.

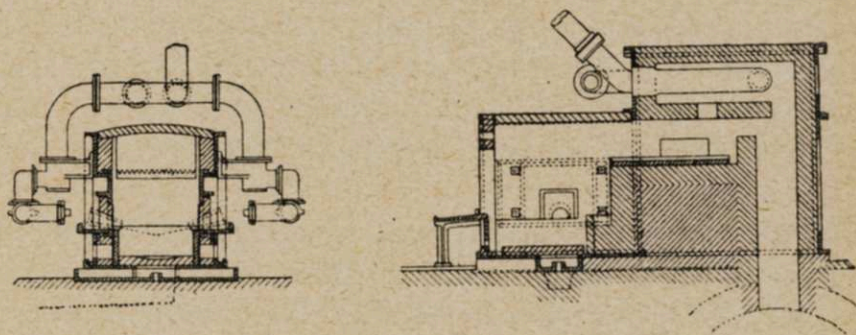
Бессемеровский и мартеновский процессы разделяются, как уже известно из таблиц, на кислые и основные. Различие этих процессов заключается в футеровке печей.

Основной процесс дает возможность посредством окисления удалять при фришевании фосфор. Последний является для ковкого железа вредным элементом. При кислой кладке печи фосфор не удаляется, поэтому только чугун с очень низким содержанием фосфора может употребляться для кислого процесса. Однако, подобный чугун не всегда можно получить.

Футеровка печи при кислом процессе содержит большое количество кремневой кислоты, которая так жадно поглощается шлаком, что последний, даже если он сначала был основным, быстро становится кислым. Основной шлак необходим для того, чтобы связывать образовавшуюся от окисления фосфора фосфорную кислоту с основаниями шлака. Если кремневая кислота находится в шлаке в большом количестве, то она разлагает полученное соединение и фосфор снова освобождается, т.-е. остается в железе. Для основных процессов кладка делается из основных материалов и при фришевании вводится известь.

Фришевание в кричных горнах.

Из различных методов фришевания в кричных горнах: ланкаширского, валлонского, франш-контэ и немецкого, в настоящее время применяются только первые два. Вообще, фришевание в кричном горне почти нигде уже, кроме Швеции, не применяется. Фришевание в горне является довольно дорогим методом, особенно для стран, бедных лесом, так как кричный процесс можно вести только на древесном угле.



Фиг. 11. Ланкаширский горн.

При этом процессе железо приходит в непосредственное соприкосновение с горючим, которое поэтому не должно содержать серы подобно каменному углю. Кроме того, в горне не получается такого большого количества металла, как при других процессах. Фришевание в кричных горнах сохраняется в Швеции из-за исключительных качеств кричного железа, справедливо оправдывающего свою репутацию.

Ланкаширский процесс является наиболее известным из двух применяемых еще методов кричного фришевания. Этот процесс происходит в передней части горна, который представляет собою печь, сооруженную из кирпича (фиг. 11). Собственно горн имеет форму ящика,

дно и четыре стенки которого делаются из чугунных плит. Горн перекрывается сводом. Продукты горения проходят через расположенное выше горна пространство, в котором помещают чугун для нагревания. Над этим пространством имеется второе, в котором находится трубопровод для подогрева дутья. Отсюда дымовые газы идут книзу и, в большинстве случаев, направляются под паровые котлы, в которых таким образом утилизируется большая часть оставшегося в них тепла.

Обычно горн имеет только одно рабочее окно, хотя встречаются горны и с двумя окнами (т. наз. двойные горны). Дутье подается через две охлаждаемые водой фурмы, помещенные одна против другой в боковых плитах ящика, т. наз. «стенные фурмы». Фурмы несколько наклонены к поду горна.

Лещадная плита охлаждается снизу водой, благодаря чему на ней настывает шлак, препятствующий привариванию железа к плите. Перед рабочим окном находится стол. Горн имеет следующие размеры: длина 800 мм, ширина 600 мм и высота 200 мм. После того, как лещадь горна покроется шлаком и горн наполнится древесным углем немного выше фурм, сбрасывается вниз нагретый предварительно чугун, который сверху перекрывается еще слоем угля, а затем подается дутье. Чугун вскоре начинает плавиться и стекает каплями через уголь на дно горна, окисляясь при этом дутьем. Окисление в этом первом периоде плавления получается не полное, так как окисляются, главным образом, кремний и марганец, железо же окисляется сравнительно незначительно и еще менее углерод. Для окисления углерода, после того, как большая часть содержащегося в чугуне кремния и марганца соединится с кислородом, нужно скопившийся на дне горна и уже застывший чугун хорошо прошуровать, способствуя этим тесному соприкосновению чугуна с шлаком. Затем чугун поднимают выше

фурм и здесь он снова плавится и окисляется отчасти кислородом дутья, а отчасти прямым путем, т.-е. при помощи шлака. Шуровка производится длинным железным шестом, который приводится в движение рукой или механическим двигателем с рычажным механизмом.

Если шуровка, требующая большой затраты мускульной силы, ведется надлежащим образом, то в горне возникает т. наз. кип, т.-е. масса чугуна, шлака и угля кипит. Кипение является следствием энергичного образования окиси углерода, получающейся от соединения углерода чугуна с кислородом шлака.

В результате фришевания в горне получается ковкое железо тестообразной консистенции в виде небольших комков, которые плавильщик поддерживает на уровне фурм. Здесь комки плавятся и собираются на дне горна в одну целую глыбу—крицу. Эта часть процесса, собственно плавка, является последней стадией процесса фришевания. Таким образом, процесс фришевания можно разделить на три различных стадии: расплавление, шуровка и собственно плавка.

Можно предположить, что железо, особенно в последней стадии процесса, должно легко науглероживаться, так как оно находится в горне при высокой температуре, почти в непосредственном соприкосновении с углем. Однако, этому препятствует шлак, который должен находиться в горне в достаточном количестве. Если процесс фришевания прервать тогда, когда выгорит известное количество углерода, то стали при этом не получится. Для получения стали процесс необходимо продолжать до тех пор, пока шлак не потеряет активности, т.-е. не будет больше защищать железо от науглероживания. Железо начнет поглощать углерод, т.-е. обращаться в сталь.

Готовую крицу вынимают из горна, помещают под расковочный молот, выжимают под ним шлак, отковывают и раз-

рубают на куски. При ковке крицы под паровыми молотами или иными, чаще всего—рычажными, железо освобождается от запутавшегося в нем шлака. Однако, незначительная часть шлака остается в железе в виде мелко рассеянных частиц, так называемых шлаковых включений, несомненно, отзывающихся на качестве металла.

На плавку идет около 150 кг чугуна. Фришевание продолжается около часа, в зависимости от свойств чугуна. Годовая производительность горна составляет 700—800 тонн. Угар (т. е. та часть железа, которая выгорает во время процесса) колеблется от 7—13%. Расход топлива составляет 30—40% выхода железа.

При ланкаширском процессе применяется белый чугун с содержанием кремния 0,25—0,50%. Большое количество кремния в чугуне затрудняет фришевание, так же, как и слишком высокое содержание марганца. При получении стали полезно иметь содержание марганца в 0,7—1%.

Фосфор и сера не могут быть полностью удалены при фришевании, поэтому чугун должен по возможности не содержать этих элементов.

Валлонский процесс происходит в горне, имеющем конструкцию, сходную с конструкцией ланкаширского горна. В валлонском процессе нет нагрева дутья, поэтому приспособление для него отсутствует. Чугун при этом процессе имеет форму длинных болванок (длиною в несколько метров), которые постепенно вдвигаются в горн через имеющееся в нем с боковой стороны отверстие; конец болванки, находящийся в горне, плавится. Таким образом, особого пространства для нагревания чугуна не имеется; горн имеет только одно рабочее отверстие и одну фурму.

Валлонское железо применяется исключительно для цементации и тигельной стали.

Для удаления шлака из железа, а также для придания полученным крицам плотного строения, куски металла про-

греваются до-бела и обрабатываются под расковочным молотом. Нагревание металла дляковки при ланкаширском процессе производится всегда в сварочных печах, а при валлонском в особом кузнечном горне, имеющем сходство с валлонским горном. Сварочные печи относятся к печам пламенным, отопляемым генераторным газом.



Пудлингование *).

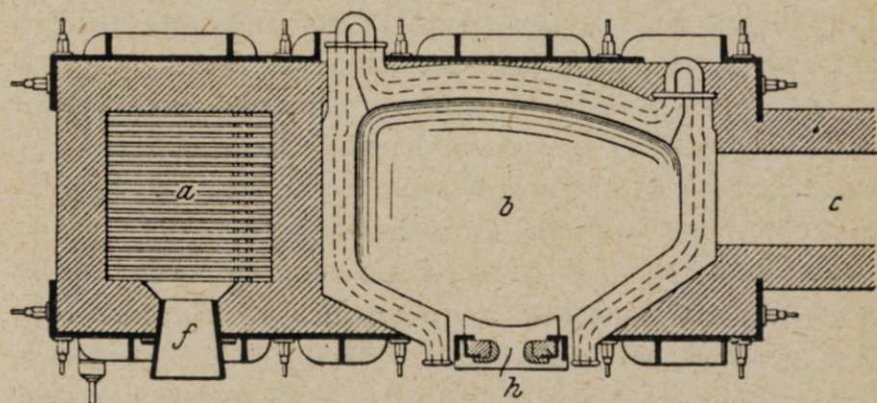
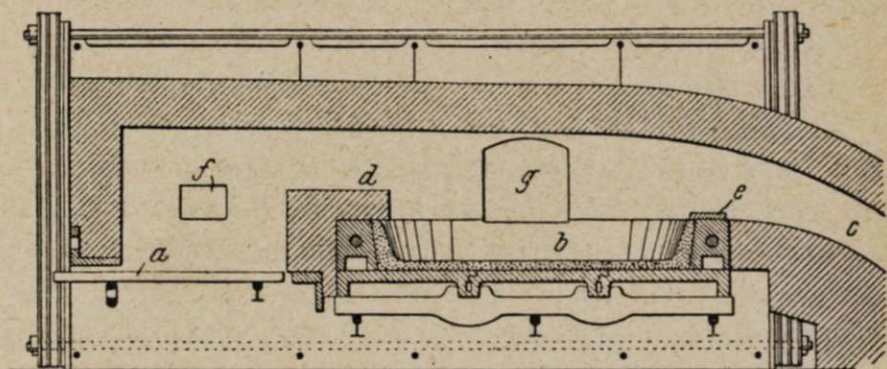
В настоящее время пудлинговое железо почти совсем не производится. Заграницей этот процесс имел в свое время большое значение, теперь же он вытеснен бессемеровским и, особенно, мартеновским процессами **). Пудлинговый процесс имел значение в то время, когда железо получалось главным образом путем фришевания в кричных горнах. Пудлингование является таким методом кричного фришевания, при котором процесс можно вести на более дешевом горючем, нежели древесный уголь. Каменный уголь, как уже было отмечено, содержит слишком много серы и других вредных для железа примесей. Эти примеси в процессе кричного фришевания невольно приходят в непосредственное соприкосновение с железом, в то время, как при пудлинговании горючее не действует непосредственно на железо вследствие отделения топочного пространства от рабочего пространства.

Пудлинговая печь представляет собой обычную пламенную печь с колосниковой решеткой. В своей основной части печь состоит из котлообразной ванны 1,7—2 метров длины и 1,6—1,7 метра ширины. Под делается из толстой чугу-

*) Этот метод не представляет большого интереса для нашей страны, но описывается здесь для полноты изложения.

**) В С.-А. С. Ш., несмотря на исключительное развитие электропечей, наряду с последними существуют пудлинговые печи. В СССР в 1926 г. весною остановился последний пудлинговый цех в Омутнинском заводе (Вятской губ.)

ной плиты, охлаждаемой снизу наружным воздухом. На этой плите покоится полая литая рама, которая охлаждается циркулирующей водой. Кладка около этой рамы образует пороги и тем самым создается форма ванны.



Фиг. 12. Пудлинговая печь.

Топка—обычного типа, с прямыми колосниками, устроена сбоку печи; спереди она снабжена подъемной дверцей. На одной стороне с топочной дверцей находится рабочее окно печи, через которое загружается чугун и вынимается готовая пудлинговая крица. Между топкой и рабочим пространством печи на литой раме устроена кирпичная стенка, так наз. пламенный порог, через который проходит

пламя из топки. Печь с другого конца заканчивается дымовым каналом, наклоненным немного книзу перед дымовой трубой (фиг. 12). Под и откосы печи навариваются шлаком, богатым окисью железа. Окись железа способствует основности процесса и удалению фосфора из чугуна *).

На наваренный шлаком под печи, предварительно нагретый, помещается около 300 кг чугуна, каковое количество совершенно расплавляется приблизительно в 35 минут. При расплавлении выгорает большая часть кремния. Жидкий шлак тотчас же покрывает чугун, чем и препятствует дальнейшему непосредственному воздействию пламени. Затем самый чугун приводится в тесное соприкосновение с шлаком посредством перемешивания ванны крючкообразным шестом (т. наз. клюшкой). Для того, чтобы вся масса чугуна и шлака равномерно перемешивалась и повсюду вступала во взаимодействие, необходимо понизить несколько температуру печи и тем несколько загустить ванну и шлак, в противном случае излишне перегретый шлак всплывет наверх и снова покроет чугун ровным слоем, не давая при этом достаточно тесного перемешивания с чугуном и нарушая нормальный ход «выжигания» углерода.

Окисление примесей чугуна производится частью кислородом пламени, главным же образом при помощи шлака, богатого окислами. Как только кремний и марганец окислятся и начинает гореть углерод—ванна постепенно закипает, как и при фришевании в горне, но более энергично. Сплав железа и углерода при этом становится все более и более тугоплавким, так как температура плавления его повышается в виду постепенного обезуглероживания ванны. В этом периоде температуру печи необходимо повышать, так как первоначально жидкая ванна начинает постепенно густеть, что

*) $5 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2 \text{P} = \text{P}_2\text{O}_5 + 10 \text{FeO}$
 $3 \text{FeO} + \text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow (\text{FeO})_3 \text{P}_2\text{O}_5$

вызывает большее затруднение при перемешивании ванны. Железо при пудлинговании получается в виде кристаллов, которые светятся отдельными точками на фоне темного шлака. Эти кристаллы железа быстро свариваются друг с другом в крицу, вследствие чего дальнейшее перемешивание становится невозможным.

Железо теперь заполняет ванну в виде тестообразной массы, большая часть которой состоит из ковкого железа, нижние же слои крицы несколько более богаты углеродом. Вся масса железа разламывается при помощи острого лома на небольшие куски и собирается в кучу у пламенного порога рабочего пространства. Здесь эти куски железа снова сильно прогреваются пламенем. Груда железа делится окончательно на 4—6 частей, в зависимости от веса; каждая часть по отдельности накатывается на поду, принимая при этом форму коlobков. Затем температуру печи повышают для того, чтобы отзейгеровать (вытопить) шлак, после этого коlobки вынимаются и помещаются под молот, выжимающий из железа остатки шлака, прежде чем оно будет пущено в прокатку.

Угар при пудлинговании колеблется от 6—15%. Расход топлива 750—1600 кг на тонну.

Для получения стали посредством пудлингования процесс прерывают раньше, до выгорания всего углерода. Как показано на Таблице на стр. 56—57, для пудлингования употребляется белый чугуn с довольно высоким содержанием марганца и с небольшим—кремния.

Железо, полученное посредством пудлингования по качеству значительно ниже ланкаширского железа, что объясняется подбором для последнего как особых сортов чугуна, так и более дорогих и значительно лучших сортов горючего.

Бессемеровский процесс.

Для получения ковкого железа из чугуна, как при фришевании в горне, так и при пудлинговом процессе, чугун подвергается воздействию кислорода воздуха, хотя условия, при которых это воздействие происходит, а также способы работы несколько различны для обоих методов. В одном случае капли расплавленного чугуна падают, проходя через струю воздуха, в другом—полурасплавленная масса чугуна подвергается действию продуктов горения и шлаков, богатых окислами. Оба эти метода имеют один и тот же недостаток, а именно: на фришевание тратится сравнительно много времени, количество же продуктов фришевания за одну плавку получается небольшое.

В 1855 году Генри Бессемеру явилась мысль пропускать дутье через расплавленный чугун, вместо того, чтобы подвергать его поверхностному воздействию воздуха, как это практиковалось до того времени. Следствием этой идеи явился переворот во всей железоделательной промышленности. Бессемеру, не бывшему настоящим специалистом-металлургом, было трудно преодолеть ряд естественных затруднений, стоявших на пути к окончательному торжеству его идеи и к повсеместному практическому осуществлению подобного метода производства стали. Одно время казалось даже, что метод продувки чугуна будет совершенно отброшен, так как первоначально ему не хватало научного обоснования, которое давало бы истинное познание сущности процесса. Работа в этот период велась чисто эксперименталь-

ным путем. Практическое разрешение этой проблемы принадлежит шведу Ерансону (Göransson), который после нескольких лет упорной работы и больших материальных затрат добился получения удовлетворительных результатов.

Это изобретение возбудило всеобщее внимание. Одно время даже полагали, что этот метод вытеснит все применявшиеся до сих пор методы получения ковкого железа. То количество чугуна, на фришевание которого раньше затрачивалось 24 часа, теперь превращалось в ковкое железо в 20 минут, при чем продукт получался в жидком состоянии и без всякой затраты горючего на подобный передел.

Скоро, однако, выяснилось, что этот процесс можно вести только с чугуном, содержащим лишь небольшое количество фосфора, но с довольно значительным содержанием кремния и марганца. Температура процесса требовала от футеровки печи высокой огнеупорности. Материалы, удовлетворявшие этому требованию в достаточной мере, содержали большое количество кремнезема, в результате чего весь находящийся в чугуне фосфор оставался в готовом металле (ср. стр. 72). В Швеции, благодаря обилию почти свободных от фосфора железных руд, это обстоятельство не имело большого значения, бессемеровский процесс быстро получил здесь развитие.

На родине изобретателя, в Англии, дело обстояло несколько сложнее, так как здесь чугуны встречались часто с значительным содержанием фосфора и с малым марганца. Это обстоятельство приводило иногда первоначальные опыты к неудачам и вызывало скептическое отношение современников. Работы Ерансона весьма помогли пониманию сущности процесса и облегчили его последующее быстрое развитие, как в Англии, так и в странах, выплавлявших кремнистые чугуны.

Одновременно с постепенным уяснением бессемеровского процесса вырабатывался и тип конвертера—аппарата для

продувки чугуна. От первоначального неподвижного конвертера Бессемер перешел к вращающемуся, закрепленному на цапфах в стойках, сохранившему свою общую форму и поныне.

Особенное развитие бессемеровский процесс получил в Соед. Шт. Сев. Ам., где производительность бессемеровских фабрик быстро достигла чрезвычайных размеров, достигающих ныне до десятка миллионов тонн в год.

В России первые опыты с бессемеровским конвертером были предприняты в 1863 г. на Воткинском заводе. Но окончательное право гражданства этот процесс получил после установки в 1872 г. бессемеровского производства на Обуховском заводе в С.-Петербурге и на Нижне-Салдинском заводе на Урале. Дальнейшее развитие производства стали по методу конвертирования получилось после того, как в 1878 г. англичанам Томасу и Джилъкристу удалось найти основные материалы для футеровки конвертера, обладавшие достаточной огнеупорностью и позволявшие переплавлять в сталь фосфористые чугуны. С этого момента основные процессы конвертирования, получившие название «томасирование», приобретают большое значение в странах, богатых залежами железных руд с фосфористой пустой породой. Среди этих стран особенное развитие получило томасирование в Германии, где на долю томасовской стали приходилось в довоенное время до 56% всей продукции стали (10 миллионов тонн из 19 миллионов тонн).

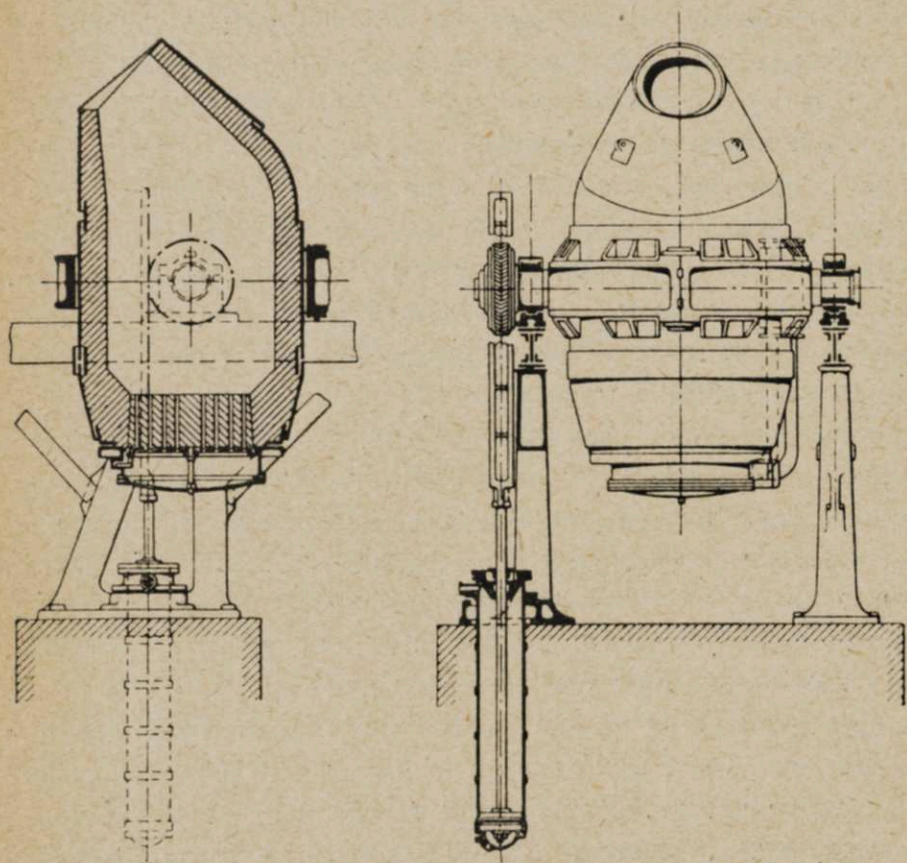
В России первая установка томасовского конвертера относится к 1881 г., когда на заводе «Новая Прага» в Варшаве было впервые организовано производство стали по способу Томаса. Вообще, для русских металлургических заводов этот способ имеет значение лишь в том случае, если они перерабатывают чугун, выплавленный из керченской руды (фосфористой). К числу таковых относятся: Таганрогский, Керченский и «Русский Провиданс».

При продувке в бессемеровском конвертере топливо не потребляется, а все требуемое тепло получается исключительно за счет горения примесей чугуна, при чем кремний дает наибольший тепловой эффект. Согласно расчетов Ричардса, 1% каждого сторающего элемента нагревает металлическую ванну и повышает ее температуру: кремний—на 188°C, марганец—на 64°C и углерод только на 22°C.

При кислоте бессемеровском процессе необходимо, таким образом, чтобы чугун содержал достаточное количество кремния, в противном случае тепла не хватит для процесса, так как уходящими газами уносится очень большое количество тепла. При нормальном составе бессемеровского чугуна, тепла, развивающегося в результате реакций горения примесей чугуна, бывает вполне достаточно не только для поддержания ванны в жидком состоянии, но ванна даже настолько повышает свою температуру, что последняя соответствует температуре плавления чистого железа и даже превышает ее. Поэтому, не взирая на выгорание углерода и на связанное с этим повышение температуры плавления ванны, не взирая на продувку сквозь ванну холодного воздуха, ванна сохраняет свое жидкое состояние и перегревается. Но это имеет место лишь при условии содержания в бессемеровском чугуне вполне достаточного количества кремния и марганца, или при условии значительного первоначального перегрева чугуна. В противном случае масса металла может «замерзнуть», образуя так называемый «козел». Бессемеровский чугун при этом должен содержать по возможности наименьшее количество фосфора.

Бессемеровский конвертер (фиг. 13) в своей основной части до сих пор сохранил ту же форму, напоминающую грушу, которая почти с самого начала была придана ему изобретателями. В отличие от большинства неподвижных металлургических печей, конвертер может вращаться. Корпус конвертера состоит из 4-х частей, скрепленных между

собой заклепками, болтами и клиньями. Кожух конвертера делается из толстых листов 10—12 мм толщины. Средняя часть кожуха имеет цилиндрическую форму. Она стянута толстым стальным кольцом, к которому прикреплены цапфы,



Фиг. 13. Бессемеровский конвертер.

из коих одна пустотелая, через которую поступает необходимое дутье. Печь поконится на этих цапфах и поворачивается вокруг них.

Верхняя часть кожуха немного наклонена к оси конвертера. Она называется шлемом. Нижняя часть, заканчиваю-

шаяся отъемным днищем, имеет форму усеченного конуса. Весь конвертер поддерживается двумя станинами. Одна из цапф (сплошная) выступает за подшипник станины. На этот выступ цапфы насаживается зубчатое колесо, с которым сцепляется зубчатая рейка. Последняя соединена с поршнем гидравлического цилиндра, установленного в полу мастерской. Таким образом, поворачивание конвертера осуществляется посредством гидравлического цилиндра, но оно может происходить и другим способом, напр., при помощи электрического мотора. Как уже упоминалось, вторая цапфа, служащая для подвода дутья, пустотелая. Она соединена патрубком с воздушной коробкой. Воздушная коробка устроена под днищем конвертера, прикрывая его. Она служит для равномерного распределения дутья, поступающего в конвертер. Дутье подается в конвертер через сопла (числом от 50—200), устроенные в днище, которое является в то же время крышкой воздушной коробки. Диаметр сопел колеблется от 10—20 мм.

Днище, выложенное из огнеупорного кирпича, покоится на толстом чугунном поддоне. В поддоне имеются отверстия, число которых соответствует числу сопел в кладке днища. Часто днище устраивается из массивного фасонного кирпича с большим коническим отверстием, в которое помещается кирпич специальной формы с 7—8 соплами. Такое устройство носит название «подовой фурмы». Оно дает возможность в случае ремонта не сменять всего днища, а вынимать только ту или иную фурму. Конвертер устроен таким образом, что залитый в него чугун не попадает в сопла, когда конвертер находится в горизонтальном положении. При вертикальном положении конвертера глубина ванны над днищем от 300—500 мм. Дутье, таким образом, должно проходить через толщу металла. Через верхнее отверстие конвертера уходят газы; через это же отверстие заливается чугун для продувки. Угол поворота конвертера может быть выше 270°.

Конвертер для 3,5—4 тонн чугуна имеет внутренний диаметр средней части 1500—1600 мм. Внутренняя высота конвертера—2500 мм. Кладка стен 225—275 мм; днища—550—650 мм, площадь, занимаемая фурмами, составляет 100—120 см². Давление дутья варьируется от 500—1200 мм ртутного столба. Вместимость шведского конвертера обычно около 4 тонн. В настоящее время емкость конвертеров достигает 15—25 тонн.

Как уже было сказано выше, в Швеции чугун для продувки в конвертере берется прямо из доменной печи. Заграницей обычно смешивают чугун разных выпусков в так назыв. миксерах. Предварительная переплавка чугуна в вагранке теперь встречается лишь в случае работы малых конвертеров на сталь для фасонного литья, когда предприятие отделено от производства по выплавке чугуна. Когда конвертер разогрет и находится в горизонтальном положении, в него вводится чугун, который таким образом не заливает сопел. Как только требуемое количество чугуна наполняет конвертер, подается дутье и конвертер приводится в вертикальное положение. Дутье постепенно увеличивается по мере выпрямления конвертера и достигает полной величины при вертикальном положении конвертера. В начале продувки горят только кремний и марганец, из горловины конвертера выходят газы, состоящие главным образом из азота и вырываются снопы искр. Выходящие из конвертера газы сильно нагреты, но пламя короткое и не светящееся. Разрыв искр на частички свидетельствует о выбрасывании капелек чугуна, т.-е. о наличии углерода в этих капельках. Горение сопровождается шумом и сильным клочкотанием. Через несколько минут, когда загорается углерод, газы, содержащие теперь окись углерода, начинают гореть под влиянием кислорода окружающей среды; пламя имеет сначала синеватый оттенок, постепенно переходящий в ослепительно-белый. Шум, все усиливающийся, вызывается окисью углерода, клочущей во

время кипения в металлической ванне. Частицы шлака, железные капли и искры вырываются из горловины конвертера, при чем резкого разрыва искр не замечается. Еще через 10 минут пламя сразу уменьшается, признак того, что процесс приближается к концу.

Интенсивность пламени, выходящего из горловины конвертера, а также вид искр и консистенция шлака вполне достаточны для приблизительного определения продолжительности процесса. Для этой же цели применяется спектроскоп, через который рассматривается пламя. Спектр пламени показывает период фришевания. Если замечают, что чугун уже достаточно фришевался, конвертер переводят в горизонтальное положение, дутье прекращается и металл наливается для пробы в «стаканчик». Проба отковывается и по твердости лепешки (или бруска) определяется характер металла. Если фришевание нужно продолжить, конвертер снова приводится в вертикальное положение и продувка продолжается еще некоторое время.

Когда дутье проходит через металлическую ванну, железо окисляется кислородом, образуя закись железа. Хотя эта закись железа и восстанавливается примесями чугуна, но все же, по мере понижения концентрации этих примесей в ванне, закись железа уже не восстанавливается и остается в растворенном состоянии в металле. Закись железа оказывает вредное действие на ковкость металла (красноломкость). Очень важно поэтому удалить остатки кислорода из металла, что достигается добавкой ферромарганца в металлическую ванну, где кислород соединяется с марганцем. Ферромарганец вводится в виде небольших кусков в нагретом до-красна состоянии. В последнее время ферромарганец предварительно расплавляют в электрической печи, а затем вводят его в жидком виде, благодаря чему он распределяется в ванне более равномерно.

Для получения стали продувка прекращается, когда содержание углерода в металлической ванне доводится до же-

лаемого предела. Иногда для получения стали продувка продолжается до тех пор, пока не выгорит почти весь углерод, после этого добавляется соответствующее количество марганца и зеркального чугуна для науглероживания до желаемой степени.

В Швеции последующее науглероживание не практикуется, требуемое содержание углерода достигается прекращением продувки в надлежащий момент.

Для регулирования хода процесса употребляются различные добавки, напр., обыкновенный чугун или более богатый кремнием или марганцем для повышения температуры ванны; железные концы или железная окалина для понижения температуры. При выпуске часто добавляют алюминий для удаления газов из металлической ванны.

Готовый бессемеровский металл выливается в ковш, который подается при помощи крана или тележки к месту разливки в изложницы. Употребляемый при бессемеровании ковш имеет вид обычного литейного ковша. Он так же, как и последний, может поворачиваться. Выпуск литого металла производится не через край (рыло), а через отверстие в дне ковша. В ковш вставляется «стакан» из огнеупорного материала. В стакане имеется отверстие, к которому прилажен «стопор» из графита. Стопор помещается на вертикальном шесте, соединенном с механическим приспособлением для опускания или подымания стопора. Отверстие в стакане, таким образом, можно открывать или закрывать, выпуская из ковша некоторое количество металла.

Изложницы представляют собой вертикальные конические чугунные формы без дна, если разливка идет сифонным образом. При разливке стали сверху изложницы снабжаются днищем. Они имеют различное поперечное сечение, обычно квадратное или прямоугольное с закругленными углами. Для освобождения изложницы, после застывания слитка, пользуются краном. Разборка слитков облегчается иногда тем,

что изложницы делаются составными (из 2-х частей). При применении так наз. «сифонной отливки» изложницы устанавливаются на поддоне, между ребрами которого выложены каналы из огнеупорного кирпича с центральным отверстием, благодаря чему получается ряд сплошных каналов от центрального литника к изложницам. Центральный литник представляет вертикальную трубу, имеющую наверху воронку. Жидкий металл, вылитый в трубу через эту воронку, медленно поднимается вверх во всех изложницах одновременно. Наполнение изложниц производится по возможности равномерно для избежания пороков в слитках. Поверхности слитка получается чистый и гладкий вид посредством смазывания изложниц изнутри каким-нибудь веществом, содержащим углерод, напр., смолой.

Для устранения так наз. «усадочной раковины» в отливке, т.-е. воронкообразных пустот, легко образующихся в центре и, особенно, в верхней части слитка при застывании металла—пользуются «прибыльными наставками». Наставка делается из огнеупорной глины и помещается над изложницей, составляя как бы ее продолжение. Благодаря наставке прибыльная часть слитка, все еще находящаяся в жидком состоянии, когда слиток начинает застывать и сжиматься, заполняет таким образом то углубление, которое в противном случае могло бы остаться. Особенное значение прибылей сказывается при отливках болванок сверху, когда получается захоложенный низ при теплой прибыли.

Весьма важно не допускать в слитках появления пузырей. Последние образуются благодаря присутствию газов, главным образом водорода и окиси углерода, растворенных в металле. Для уплотнения металла, помимо раскислителей, применяется в некоторых случаях прессование слитка во время его остывания.

Угар при бессемеровской продувке достигает 10—12%. Образующийся при этом шлак почти не имеет никакого

применения. Наряду с кислым бессемеровским процессом, особенно за границей, встречается в значительной мере основной, особенно в странах, богатых выплавкою фосфористых чугунов. Кроме того, начиная с последних десятилетий прошлого столетия, особенное развитие получил мартеновский процесс, приобревший ныне главенствующее значение.

Основной процесс конвертирования, называемый часто по имени его изобретателя—томазовским методом, существенно не отличается от кислого метода в отношении конструкции конвертера и прочих приспособлений. Главное различие заключается в том, что конвертер имеет основную футеровку, состоящую из доломита. Доломит представляет собой смесь углекислых кальция и магния. Он обжигается в шахтных печах, перемалывается в дробилках, а затем для большей связанности частиц смешивается с обезвоженной смолой. Из этой смеси формуется под большим давлением кирпичи, которыми выкладывают конвертер. Иногда вместо кирпичей берется масса доломита со смолой, в последнем случае футеровка печи набивается посредством пневматической трамбовки. Перед пуском конвертера из смолы удаляют летучие погony посредством нагревания. Основной конвертер больше размерами, нежели кислый. Вместимость его от 10—25 тонн чугуна, достигая даже 35 тонн.

Чугун для основного конвертирования должен содержать небольшое количество кремния, так как в противном случае придется вводить такое большое количество извести для получения основного шлака, что проведение процесса станет невозможным. При основном процессе в чугуне содержится значительное количество фосфора: 1,8—2,5%. Это количество фосфора необходимо, так как он является главным источником тепла при основном бессемеровском процессе, подобно кремнию при кислом. Тепловой эффект горения

фосфора почти так же значителен, как и кремния: 1% фосфора при температуре металлической ванны в 1500°C повышает температуру на 175°C.

Начало фришевания при основном процессе совершенно аналогично кислому процессу. Период раффинирования, более короткий при основном процессе, так как в чугуне находится мало кремния, сопровождается «кипом» во время горения углерода. Фосфор, однако, остается до тех пор, пока не будет удален почти весь углерод, после чего он быстро окисляется. Ванна при этом из желтой становится ослепительно-белой. Для получения стали при основном бессемеровании нельзя прерывать процесса продувки, когда содержание углерода достигает желаемого предела; продувка должна продолжаться до тех пор, пока не выгорит почти весь углерод и фосфор. Этот момент определяется уже по опыту и взятой пробой. Проба с крупными искрами показывает, что в металле находится еще слишком много фосфора.

Перед продувкой конвертер сильно нагревают. Чугун должен быть горячим, так как кремния, горящего прежде других элементов, имеется здесь недостаточное количество для сильного нагрева металлической ванны в начале продувки. Перед заливкой чугуна в конвертер необходимо обязательно добавить некоторое определенное количество извести, которое колеблется в пределах 12—18% от веса чугуна.

Раскисление производится, как и при кислом процессе, посредством зеркального чугуна и ферромарганца после скачивания шлака. Обуглероживание производится посредством свободного от фосфора расплавленного чугуна или шпигеля (зеркального чугуна), добавляемых также после удаления шлака или во время выпуска чугуна в ковш. При обуглероживании железа в присутствии шлака находящийся в шлаке фосфор восстанавливается и переходит в металлическую ванну. Науглероживание можно производить введе-

нием при выпуске молотого древесного угля или кокса, большая часть *) которого поглощается железом (метод Darby). Иногда применяют брикеты из молотого угля, смешанного с гашеной известью, вводимые в металлическую ванну (метод Düdelingen). Готовый металл отливается в изложницы, как и при кислом бессемеровании. Шлак, получаемый при основном процессе, т. наз. томасовский шлак, состоит главным образом из извести, закиси железа и фосфорной кислоты (12—25%). Тонко размолотый шлак идет на удобрение. Угар при основном бессемеровском процессе несколько больше, чем при кислом: 11—13%.

*) Усвоение в электрической сталеплавильной печи даже электродным боем, этим прекрасным карбюризатором, не более 60—70% при восстановительной атмосфере в печи. При способе Darby коэффициент полезного действия карбюризатора должен быть небольшой. *Прим. перев.*

Мартеновский процесс.

Фришевание при мартеновском процессе так же, как и при пудлинговом, происходит в пламенных печах. Одно время делались попытки сплавлять в обыкновенных пламенных печах чугуны и ковкое железо. Однако, эти опыты были неудачны, потому что в таких печах не удавалось получить достаточно высокой температуры. В 1863 г. Вильям Сименс *) сконструировал новую пламенную печь, в которой получалась такая высокая температура, что могла плавиться сталь. Пьер Мартен на заводе своего отца, Эмиля Мартена, в Сирейль, около Ангулема, во Франции производил опыты по приготовлению стали, и, наконец, после упорной работы с печью Сименса добился блестящих результатов. Честь изобретения нового метода делится, таким образом, между Мартеном и Сименсом, поэтому часто мартеновский процесс называют сименс-мартеновским.

Вначале печь применялась для сплавления чугуна и ковкого железа. В несколько измененном виде этот метод

*) Принцип регенерации тепла был изобретен Friedrich'ом Siemens'ом и запатентован в 1856 г. Брат Friedrich'a Siemens'a, William, в 1858 г. применил отопление генераторным газом к регенеративным печам. В 1863 г. W. Siemens'ом в Montluçon была построена первая «мартеновская» печь для производства литой стали по идее, высказанной еще в 1857 г. Louis Le Chatelier. Опыты в Montluçon были неудачны вследствие применения недостаточно огнеупорных материалов.

Более подробная история развития мартеновских печей изложена М. А. Павловым, см. «Определение размеров доменных и мартеновских печей» и М. М. Карнауховым «Металлургия стали», II вып. *Прим. перев.*

применяется и в настоящее время. В мартеновской печи, кроме простого сплавления чугуна и железа, можно также фришевать один чугун или переплавлять отдельно железную ломь (или фришевать и рафинировать те и другие). Затруднения, возникавшие при сплавлении чугуна и железа, привели к тому, что пришлось увеличить количество чугуна в шихте по отношению к количеству железного скрапа, благодаря чему процесс фришевания удлинился. Процесс ускоряют посредством введения богатой и чистой железной руды, восстанавливающейся до железа (применяется магнитный железняк или красный железняк). Были попытки получения ковкого железа в мартеновской печи непосредственно из железной руды, но этот метод оказался совершенно невыгодным.

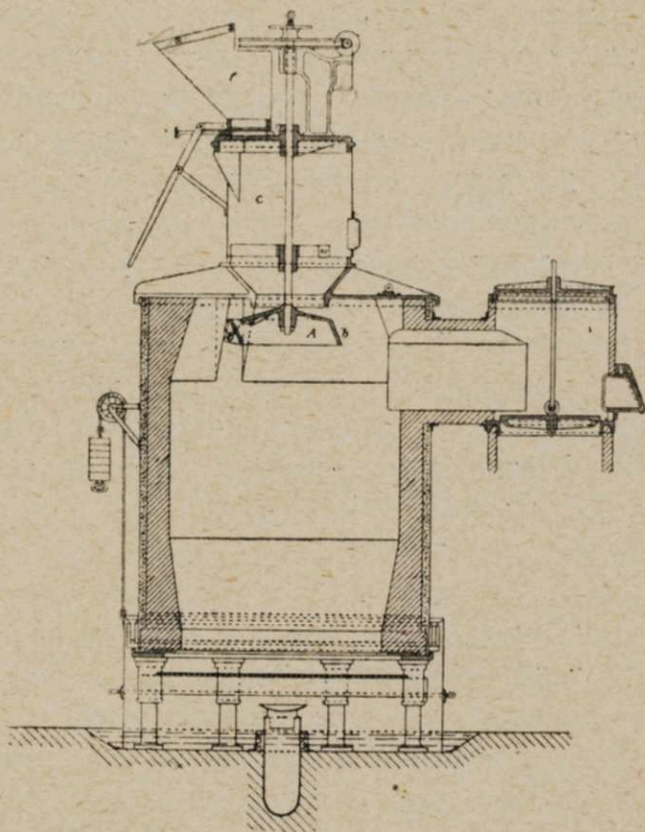
Мартеновская печь представляет собою пламенную печь, отапливаемую генераторным газом. Для получения высокой температуры в мартеновской печи устраиваются под печью, а в последнее время часто и впереди ее, регенераторы, т.-е. камеры, служащие для подогрева генераторного газа и воздуха. В новых мартеновских печах регенераторы устраиваются свободно стоящими, отчасти для большей доступности их при ремонте, осмотре и пр., а отчасти для предохранения камер в случае «прорыва» металла через подину печи. Топливом для мартеновской печи служит главным образом генераторный газ, хотя применяются также и другие горючие газы *), имеющие достаточный тепловой эффект. Генераторный газ получается при горении каменного угля, торфа или дров (а также угольной мелочи, пней и валежника). Горение топлива в генераторе производится при недостаточном количестве кислорода, т.-е. происходит неполное горение, в результате чего образующийся газ

*) Кроме горючих газов, для отопления мартеновских печей употребляют нефть и пылевидное топливо.

Прим. перев.

чрезвычайно богат горючими составляющими и может сожигаться при смешивании с воздухом.

Генератор (фиг. 14) представляет собой большую вертикальную шахтную печь. Внизу шахты находятся наклонные



Фиг. 14. Генератор Бильдта (Bildt).

или прямые колосники. В верхней части генератора имеется приспособление для загрузки топлива. Оно устроено таким образом, что газы не могут выходить наружу через загрузочное отверстие (ср. соотв. конструкцию доменной печи). Нижняя часть генератора герметически закрывается при

помощи водяного затвора, который имеет вид ванны, наполненной водой. Требующийся для газификации топлива воздух подводится под колосники, полученный же горючий газ отводится через отверстие в верхней части генератора. Детали генератора могут быть различной конструкции, напр., некоторые генераторы устраиваются совсем без колосников, другие же имеют вращающиеся решетки, винтообразные или улиткообразные приспособления, обеспечивающие постоянное перемешивание топлива и способствующие более равномерному горению последнего. В генераторе слой топлива раз в десять больше, чем в обычной топке (0,5—2 метр.). Собственно горение топлива происходит только в нижней части генератора, непосредственно над колосниками, где углерод сгорает в углекислоту (CO_2). Углекислота, поднимаясь вверх, проходит через слой топлива, при чем часть кислорода углекислоты соединяется с углеродом топлива и образует окись углерода (CO). Таким образом, происходит превращение углекислоты в окись углерода ($C + CO_2 = 2CO$).

Генераторный газ состоит, главным образом, из окиси углерода и азота, заимствованного из воздуха, подведенного для горения. Описанный способ получения генераторного газа является наиболее простым. Обычно для более полного использования топлива вместе с дутьем подается и пар *). Генераторный газ, применяемый для мартеновской печи, при выходе из генератора имеет температуру около $700^{\circ}C$ **). Теплотворная способность генераторного газа зависит от его

*) Пар подается для поддержания на колосниках (или заменяющих их устройствах) температуры $1000-1100^{\circ}C$, при которой процесс газобразования идет особенно полно. Кроме того, часть водяных паров разлагается при соприкосновении с раскаленным углем топлива по реакции $H_2O + C = H_2 + CO$, обогащая газ горючими составляющими.

**) При древесноугольных генераторах и генераторах для торфа эта температура значительно ниже.

состава. Она принимается приблизительно в 1200 тепловых единиц на кубический метр *).

Из генератора газ идет по газопроводу и поступает в мартеновскую печь, пройдя через регенеративные камеры печи. В целях уменьшения потерь тепла в газе, вследствие охлаждения его в газопроводе, последний устраивается как можно короче **).

Мартеновская печь имеет четыре регенераторные камеры (регенераторы). В то время, как в двух регенераторах нагреваются генераторный газ и воздух, два другие одновременно нагреваются отходящими из мартеновской печи дымовыми газами. Камеры наполнены кирпичами (т. наз. насадкой), уложенными так, что между ними остаются пространства (каналы) для прохода воздуха или газов.

Генераторный газ вводится в камеру *e* (фиг. 15), предварительно нагретую продуктами горения. Проходя по камере через каналы насадки, газ нагревается раскаленными кирпичами и через канал *c* поступает в рабочее пространство печи *a*. Одновременно с этим воздух для горения проходит через камеру *f*, в которой он нагревается таким же образом, и проходит в рабочее пространство через канал *d*. В это время камеры *e*₁ и *f*₁ нагреваются продуктами горения,

*) Теплотворная способность генераторного газа может быть и выше 1300—1350, достигая при работе на хорошем каменном угле или конденсации влажного дровяного или торфяного газа до 1400 cal.

**) Газ древесноугольных и торфяных генераторов часто содержит значительное количество влаги, для удаления которой газ охлаждается до точки росы в специальных конденсаторах. В Швеции имеется ряд конденсационных установок для осушения газа. В. Е. Грум-Гржимайло также предложил устройство для конденсации влажного древесноугольного или торфяного газа. Часто вместо дорого стоящих и неудобных конденсаторов устраиваются очень длинные газопроводы, в которых газ осушается. Подобный газопровод спроектирован для Кулебакского завода Приокского округа.

Прим. перев.

которые уходят через соответствующие каналы c , и d , расположенные по другую сторону печи.

Дымовые газы, пройдя камеру и оставив в них большую часть своего тепла, уходят в дымовую трубу.

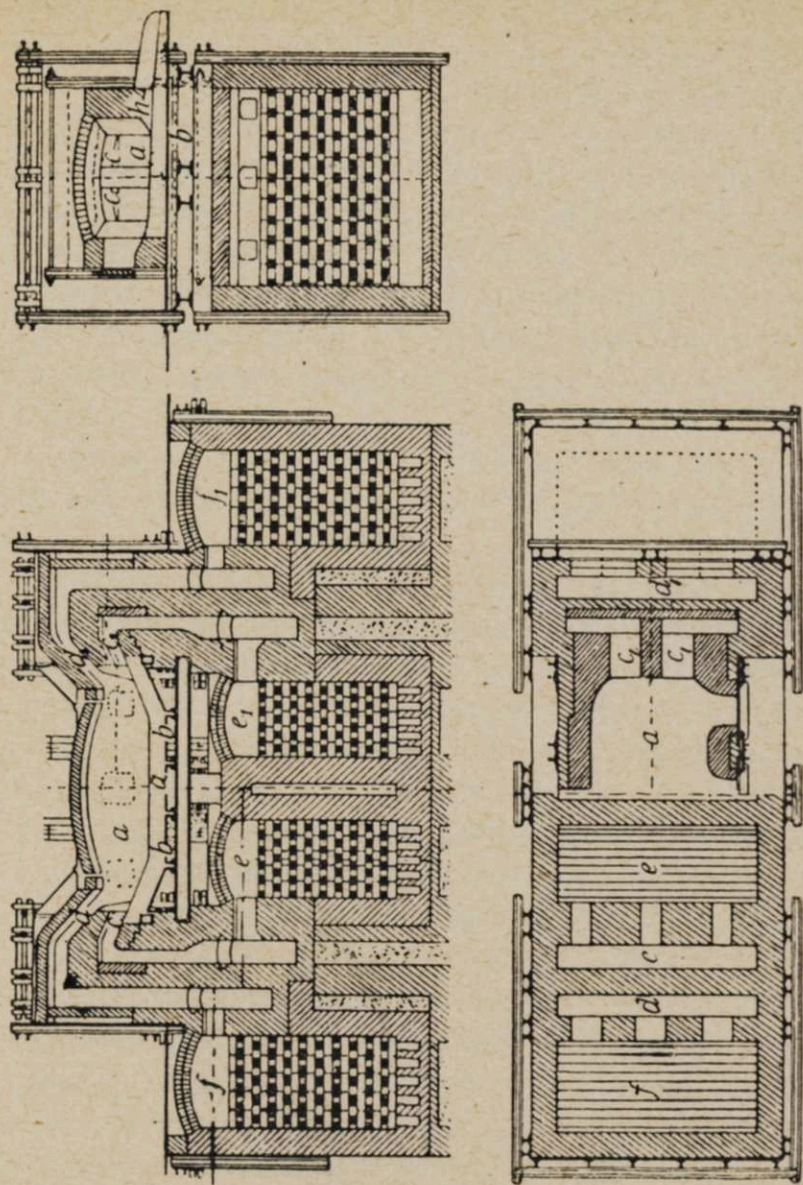
Каналы, по которым проходят газ и воздух, снабжены перекидными клапанами, с помощью которых газ и воздух могут направляться то в ту, то в другую сторону. Таким образом, регенераторы работают попеременно. Камеры, охлаждавшиеся во время прохода через них газа и воздуха, сообщаются затем для нового нагрева с продуктами горения, идущими из мартеновской печи, в то время как газ и воздух направляются в только что нагретую пару камер на противоположной стороне печи. Нагрев газа и воздуха в регенераторе достигает 1100°C . Благодаря этому развиваемая в печи при горении газа температура достаточно высока, чтобы дать печи нагрев, требующийся для успешного проведения всего процесса передела шихты в доброкачественную сталь.

Как видно из чертежа, газ проходит через канал c , расположенный ниже канала d , через который поступает воздух для горения. Подобное расположение способствует более тесному смешению газа с струей воздуха, так как газ, будучи легче воздуха, стремится подняться кверху. С другой стороны, при описанном расположении каналов свод значительно медленнее изнашивается, чему также способствует и известный наклон каналов к зеркалу металлической ванны. Части печи с каналами (газовыми и воздушными) носят название *головок*.

В большинстве случаев мартеновские печи делаются неподвижными, вращающиеся печи применяются только в Америке, при большом тоннаже *). Ванна печи имеет уклон от

*) Качающиеся печи имеются и в Европе, напр., зав. Witkowitz (теперешняя Чехо-Словакия), зав. Union в Дортмунде и др. В СССР имеется качающаяся печь в Нижне-Салдинском заводе на Урале.

Прим. перев.



Фиг. 15. Мартеновская печь.

обеих боковых стенок к середине, а также к задней стенке, в которой устроено выпускное отверстие *h* с желобом. Подина печи устраивается на свободнолежащих чугунных плитах, охлаждаемых снизу воздухом. Под и стены рабочего пространства кислой печи футеруются над уровнем шлака кварцевым песком, который наваривают в несколько слоев один над другим. Под и стены основной печи футеруются обожженным магнезитом или доломитом, который либо смешивается со смолой и набивается, либо наваривается, как в кислой печи. Свод над рабочим пространством печи часто делается почти прямым.

На стороне печи, противоположной задней стенке, в которой устроено выпускное отверстие, имеются два или три отверстия (рабочие окна) для загрузки шихты; окна эти прикрыты подъемными дверцами.

Глубина металлической ванны от 200—500 мм. Глубина зависит частью от величины печи, а частью от количества образующегося шлака, которое в свою очередь определяется сырыми материалами *). При большом количестве шлака, глубина ванны увеличивается. Чем меньше глубина ванны, тем быстрее происходит прогревание металла. Размеры мартеновских печей бывают различными, в зависимости от тоннажа. Печи могут иметь садку от 3—100 тонн (качающиеся печи до 300 тонн).

В больших мартеновских печах завалка производится при помощи особых загрузочных машин (шаржир-машины). Загрузочные машины могут двигаться по рабочей площадке печи (машины системы Вельман) или помещаются на особом мостовом кране. Шихтовые материалы подаются в печь на

*) Вернее, характером процесса. При рудном процессе шлака больше, нежели при скрап-процессе. В некоторых случаях ванну печи устраивают заведомо более глубокой, чем требуется. При глубокой ванне печь становится «тихоходной». Таковы, напр., Крупновские печи для ответственной оружейной и броневой стали.

лотках (мульдах), которые при переворачивании опоражниваются.

Кислый метод. После нагрева мартеновской печи добела ($1750-1800^{\circ}\text{C}$) вводится чугуны ($5-30\%$ всей садки) и, когда он расплавится, загружают в несколько приемов мягкий скрап. Расплавление продолжается долго *).

В это время выгорает большая часть кремния и марганца и некоторое количество железа (а также часть углерода), образуя шлак. Когда температура печи становится достаточно высокой, то ванна, как и при других методах фришевания, закипает. Кипение вызывается реакцией между закисью железа в шлаке и ванне и углеродом чугуна, который восстанавливает железо и образует окись углерода.

В случае избытка углерода в ванне к концу периода кипения, когда уже нет необходимой для реакции закиси железа, в металлическую ванну подбрасывают взамен прореагировавшей закиси железа некоторое количество чистой и богатой железной руды (а иногда железную окалину от молотов или от прокатных валков). Регулирование температуры печи в период фришевания имеет большое значение. Температура печи повышается или понижается в зависимости от того, увеличивают или уменьшают приток газа и воздуха в печь. До известных пределов высокая температура ускоряет фришевание, но если температура становится слишком высокой, то может случиться, что кремний из футеровки восстановится углеродом железной ванны. При этом кипение уменьшается, а иногда даже совсем прекращается.

*) Очень часто загрузка шихты производится в обратном порядке, т.е. сначала скрап, а потом—чугун, чем под печи предохраняется от марганца (в кислых печах) и кремния и фосфора (в основных печах).

Когда металл получается требуемого состава, определяемого по излому и ковкости пробы (аналогично бессемеровскому процессу), производится раскисление ванны при помощи добавки ферромарганца *). Для получения специальной стали, напр., никелевой, хромистой и т. д. добавляются, кроме того, соответствующие количества никеля, хрома и т. д.

При кислом мартеновском процессе можно непосредственно получить сталь, содержащую требуемое количество углерода, приостановив фришевание после удаления известного количества углерода. Кислый процесс применяется главным образом при производстве стального литья и твердых сортов стали.

Основной процесс. При основном мартеновском процессе, так же, как и при основном томасовском, к шихте добавляется 6—12% известняка или соответствующее количество обожженной извести для образования основного шлака, а также для предохранения подины печи от разъедающего действия кремния в чугунах. Известь прибавляется и во время плавки для регулирования состава шлака. При расплавлении, кроме кремния, марганца, железа и углерода, окисляется часть фосфора. Фосфор выгорает также и в процессе фришевания. Для получения мягкого железа могут употребляться сырые материалы, содержащие фосфор. Для приготовления стали металлическая ванна науглероживается последующей добавкой зеркального чугуна. Если работают без последующего науглероживания, то в шихту поступает чугун, не содержащий фосфора.

Основной процесс имеет большое значение благодаря тому, что он дает возможность получать мягкое железо из сырых

*) И ферросилиция. При кислой плавке необходимо вводить кремний в виде ферросплавов, не допуская восстановления его из шлака.

материалов, содержащих фосфор. Заграницей сталь готовят при помощи последующего науглероживания. В Швеции в основной печи твердая сталь изготавливается из материалов, не содержащих фосфора, т.-е. без последующего науглероживания.

Чугун, употребляемый в мартеновской печи, может быть белым или серым, с содержанием кремния до $2-2,5\%$ и марганца $3-3,5\%$ для кислой мартеновской печи и $1-1,5\%$ кремния и не свыше $1,2\%$ марганца для основного процесса. Содержание серы и фосфора в обоих случаях должно быть невысоким. При основном мартеновском процессе содержание фосфора может быть несколько выше. Для удаления газов из металлической ванны добавляют ферросилиций. Полученный в мартеновской печи металл отливается в изложницы и пр. таким же образом, как и при бессемеровании.

Угар зависит от количества и состава чугуна, идущего в плавку, а также от свойства скрапа, и составляет $6-8\%$ от завалки. Расход горючего колеблется от $200-400$ кг угля на тонну готового металла, в зависимости от сырых материалов и размеров печи. Число плавов в сутки бывает от $2-6$, в зависимости от тоннажа печи и разновидности процесса.

Мартеновский процесс имеет ряд преимуществ перед бессемерованием, а именно: возможность большего регулирования хода процесса; отсутствие непосредственного соприкосновения расплавленного металла с воздухом и газами, что способствует получению металла более высокого качества; большую свободу в подборе сырых материалов и возможность утилизации скрапа; меньшую мощность силовых установок, так как нет необходимости в больших воздушных машинах подобно бессемеровскому процессу.

Слабой стороной мартеновского процесса является значительно большая длительность процесса производства стали по сравнению с иными методами передела чугуна.

Для сокращения времени плавки и увеличения производительности применяются некоторые видоизменения мартеновского процесса. Из них необходимо отметить:

1. Замену твердого чугуна жидким *), взятым непосредственно из доменной печи или из миксеров.

2. Комбинированный бессемеро-мартеновский процесс, заключающийся в том, что чугун предварительно фришует (раффинируется) в бессемеровском конвертере, а затем плавка продолжается в мартеновской печи.

3. Процесс Бертран-Тилля, введенный в 1897 г., состоит в том, что плавка ведется в 2-х мартеновских печах. В одной из них производится предварительное фришевание, а в другой — окончательная плавка. Преимущество этого процесса заключается в том, что большое количество шлака, образующегося в первой печи, при переливе металла из одной печи в другую, задерживается и удаляется; таким образом дальнейшая плавка продолжается с новым чистым шлаком определенного состава.

4. Тальботовский процесс, называемый также Пенкойдовским процессом (по железодельательному заводу Penscoyd в Америке, где в 1910 г. впервые был введен этот процесс), производится следующим образом. Когда плавка заканчивается, выпускается только часть готового металла. К оставшемуся металлу добавляют богатую железную руду и известь. Вся масса нагревается до высокой температуры, после чего в печь вливается недостающая порция жидкого чугуна. В печи происходит бурная реакция между кислородом окислов железа и углеродом вновь добавленного чугуна; при этом происходит энергичное обезуглероживание металла. Шлак сливается

*) Работа на жидком чугуне и с примесью руды является в настоящее время наиболее распространенным методом получения мартеновского металла. Означенный рудный процесс может быть применен, конечно, лишь при наличии доменного цеха на данном металлургическом заводе.

и в печь добавляется новая порция извести для окончательного удаления фосфора и серы. Когда достигается требуемое содержание углерода, часть плавки выпускается (без выпуска шлака), а оставшийся металл, как и прежде, смешивается с железной рудой и известью и процесс снова повторяется. Для Тальботовского процесса требуются качающиеся печи большого тоннажа, не меньше 75 тонн. Процесс имеет значение только при массовом производстве.

Тигельный процесс Ухациуса.

Подобно вышеописанным методам получения стали, процесс Ухациуса является также процессом фришевания. Сырым материалом является гранулированный чугу́н, сплавляемый с рудой в тигле. В результате выгорания углерода чугуна, вследствие окисления кислородом руды, получается сталь с большим или меньшим содержанием углерода.

Заграницей метод Ухациуса теперь совершенно не применяется. В Швеции этим методом пользуются только на одном сталелитейном заводе Wikmanshytt'a, где он был введен в 1859 г. Ульфи (C. R. Ulf), после изобретения австрийцем Францем Ухациусом в 1856 г. Эта сталь хорошо известна под маркой «C. R. U.»

Чугун для гранулирования берется прямо из доменной печи в ковш с выпускным отверстием в днище. Из ковша металл выпускается в большой, выложенный чугунными плитами, бассейн, по которому протекает холодная вода. Чугун пропускается струей в 12 мм через быстро вращающееся лопастное колесо и разбивается, образуя круглые шарики и зерна, так называемые «гранули».

Плавка происходит в графитовых тиглях вместимостью 36 кг готовой стали. Тигли нагреваются в регенеративных плавильных печах, вмещающих каждая до 9 тиглей. Кроме гранул и богатой порошокватой руды, почти не содержащей серы, в тигли добавляется угольная мелочь, а также та или иная специальная добавка для получения требуемого сорта стали (напр., хром для хромистой стали и т. д.).

Дабы избежать красноломкости готовяемого металла, добавляется марганец. Перед установкой в печь, устроенную ниже уровня пола мастерской, вся шихта хорошо перемешивается. Печи отапливаются генераторным газом.

Сначала нагревание тиглей идет медленно. Сплавленная масса находится довольно долгое время в тестообразном состоянии, прежде чем она совершенно расплавится. В противном случае руда, как более легкая, всплыла бы на поверхность чугуна, фришевание было бы не полным, а тигли подверглись бы сильному разъеданию.

Приготовление цементной (томленной) стали и цементация.

Во всех описанных выше процессах получения стали исходным материалом является чугун, из которого посредством фришевания удаляется излишнее количество углерода. Начиная с 1600 г. (и в настоящее время), применяется в некоторых случаях обратный способ получения стали из мягкого железа путем введения в него углерода. Это происходит следующим образом: железо засыпается угольным порошком и нагревается. Полученная таким способом сталь носит название цементной (томленной) стали. Она является наиболее пригодным материалом для получения тигельной стали.

Процесс происходит в двух выложенных огнеупорным кирпичом ящиках, нагреваемых в пламенной печи. Ящики имеют обычно длину 3,5 метра, высоту и ширину $0,95 \times 1,25$ метр. Вместимость каждого из них около 10 тонн металла.

В Швеции для приготовления высококачественной стали обычно употребляется ланкаширское или валлонское полосовое железо из Даннеморы размером $2\frac{1}{2} \times \frac{5}{8}$ ". Полосы разрезаются на куски длиной в 3 метра и укладываются в ящики таким образом, что каждый ряд полос отделяется от следующего толстым слоем (в 16 мм) размельченного до размера горошин и смоченного раствором поташа или углекислого бария березового угля. Верхний ряд полос покрывается угольным порошком и золой, после чего ящики для герметичности замазываются.

Ящики нагреваются до 1000°C и выдерживаются при этой температуре приблизительно в течение недели. Затем из небольшого бокового отверстия берется пробная полоса и разламывается. По виду излома определяют конец процесса. Если находят, что металл готов, то процесс прекращают, не вынимая, однако, полос до тех пор, пока ящики не остынут. Готовая сталь затем разрубается на более короткие полосы, сортируемые по виду излома и степени твердости.

По длине полосы углерод распределяется равномерно, поверхностный же слой оказывается более богатым углеродом, чем внутренний. В различных полосах содержание углерода может оказаться неодинаковым.

Содержание углерода в цементной стали зависит от температуры и продолжительности нагрева и колеблется от $0,8—1,6\%$. Благодаря наличию окислов железа, являющихся составной частью шлака сварочного металла, на поверхности стали часто образуются пузыри. Окислы железа в процессе получения цементной стали восстанавливаются.

Упаковка в ящики, нагрев и остывание обычно продолжают около месяца, в зависимости от содержания углерода, которое требуется получить. В прежние времена, в целях более равномерного распределения содержания углерода в различных полосах, их связывали вместе, сваривали, а затем проковывали. Полученные таким образом новые полосы снова разрубались, связывались вместе, проковывались и т. д., до тех пор, пока не получалась сталь с более равномерным содержанием углерода. Полученная цементная сталь переплавлялась в тиглях.

Если нагревание железа прекратить через короткое время, то содержание углерода повысится только на поверхности металла, так что получится лишь поверхностная цементация. Поверхностная цементация, более или менее глубокая, применяется для машинных частей, испытывающих трение и под-

вергающихся в то же время различным поперечным усилиям. Цементованные детали машин легче переносят механические воздействия, так как они становятся твердыми только с поверхности, внутренняя же часть изделия остается мягкой и вязкой.

Метод науглероживания, как при поверхностной цементации, так и при получении цементной стали, по существу, один и тот же. Обычные детали, подвергающиеся цементации, помещаются в ящики, наполненные карбюризирующими веществами. Ящики обмазываются огнеупорной глиной и нагреваются в муфельной печи. В качестве карбюризаторов применяются следующие вещества: древесный уголь, иногда вместе с костяным углем, углекислый барий, обрезки кожи, кровяная соль ($K_4 Fe (CN)_6$) и т. д. Для цементации крупных предметов лучше всего употреблять карбюризаторы, состоящие из 3-х частей размолотого древесного угля и 2-х частей углекислого бария в порошке или 9-ти частей древесного угля и 1 части поташа. Карбюризирующий порошок из древесного угля и углекислого бария, употребляемый чаще всего, используется несколько раз, с некоторым освежением, путем прибавки свежего порошка.

Цементирующий порошок не должен быть слишком тонко размолотым. Рекомендуются размельчать его до величины зерна льняного семени. Предметы, подвергающиеся цементации, засыпаются толстым (10—50 мм) слоем порошка. Продолжительность процесса цементации колеблется для обычных машинных частей от 3—8 часов, в зависимости от температуры и глубины цементации. Обычно применяется цементация на глубину $\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{2}$ мм. Поверхность цементированных частей можно закаливать, охлаждая в воде ящики со всем содержимым в них; при этом поверхность приобретает значительную твердость.

При цементации с последующей закалкой небольших частей применяются карбюризаторы в виде тестообразной массы,

состоящей из 2 частей кровавой соли и 1 части двухромового кислого бария, смешанных с декстрином. Эта масса намазывается на предмет. Цементация с последующей закалкой применяется иногда для предметов из мягкого железа, требующих полировки, так как поверхность закаленного металла вследствие своего мелкозернистого строения получает более сильный блеск, чем поверхность не закаленного.

Обычный метод получения тигельной стали.

Способ получения тигельной стали был изобретен в 1740 г. часовым мастером, англичанином Венъямином Хёнстманом (Hunstman). Это было вызвано попыткой найти хороший материал для часовых пружин. Трудность приготовления совершенно однородной стали посредством многократного сваривания и обработки цементной стали навела его на мысль плавить сталь в тигле. С этих пор тигельная сталь считается наилучшей для ответственных изделий, особенно для специальных инструментов. Вначале этот метод применялся только для приготовления небольших предметов, но впоследствии он получил настолько широкое распространение, что из тигельной стали готовят даже большие пушки, сливая вместе содержимое нескольких тиглей.

Лучшая тигельная сталь получается при переплавке цементной стали. Для этой цели цементная сталь раскаляется на куски и сортируется по количеству углерода, при чем каждый сорт плавится отдельно. При сплавлении чугуна и железных концов получается тигельная сталь, не обладающая такими высокими качествами.

Тигли, употребляемые для получения стали, готовятся из смеси графита и огнеупорной глины. Они вмещают около 20—25 кг стали. Печи помещаются под полом и состоят из квадратной шахты в 1 метр глубины со стороной квадрата 600 мм. Печи имеют колосники из железных полос, под которыми расположен зольник. На колосниках находится кирпичная плита из огнеупорной глины, на которую

устанавливается тигель. Тигель засыпается коксом. Из шахты идет боров в дымовую трубу. В полу мастерской над каждой шахтой имеется отверстие с крышкой, закрывающей его. Через это отверстие тигель можно опускать и вынимать (в зависимости от размера тигля—ручными щипцами или помощью особых подвесных щипцов, катящихся на балке).

Теперь обычно применяются регенеративные тигельные печи, подобные мартеновской печи с плоским подом. В такой печи помещается от 20—100 тиглей.

Для получения стали с тем или иным требуемым элементом, напр., хромом, вольфрамом, никкелем, ванадием, молибденом и т. д., сталь и специальные добавки загружают через металлическую воронку, вставленную в тигель, после чего тигель закрывают крышкой. Марганец вводится после расплавления шихты.

Можно предположить, что простая переплавка в тигле без добавления каких-либо присадок не должна изменять состава стали. Но в действительности дело обстоит иначе. Состав стали несколько изменяется вследствие частичного перехода в сталь графита и восстановления кремния из стенок тигля, а также благодаря удалению находящихся в стали примесей и газов. Все это часто способствует получению более чистого здорового металла. Получение стали высоких качеств при тигельном процессе объясняется еще тем, что при плавке в тигле металл не соприкасается с печными газами. Отливка тигельной стали производится приблизительно так же, как и бессемеровского металла.

Методы получения электростали.

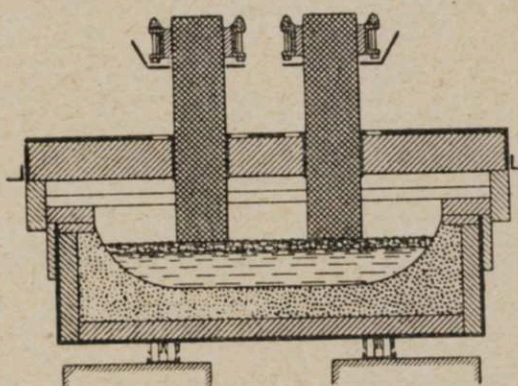
Применение электричества для получения стали впервые получило практическое осуществление с 1900 г. Было предложено почти одновременно несколько конструкций электропечей (Kjellin, Stassano, Héroult), которые быстро дали удовлетворительные результаты. Начиная с этого времени, электрометаллургия стали получила большое развитие. В настоящее время установлено большое количество печей различных конструкций. Электрические печи для получения стали разделяются на 3 типа:

1. Печи сопротивления.
2. Печи индукционные.
3. Дуговые печи.

В печах сопротивления металл, который должен плавиться, соединяется непосредственно с электрическим током. При этом тепло получается вследствие сопротивления, которое оказывает нагреваемый металл проходящему через него электрическому току (подобно нагреванию проволок в электрической лампочке).

Индукционные печи основаны на известном принципе индукции, заключающемся в том, что если поместить два проводника один параллельно другому, то когда через один из них проходит переменный ток, в другом возникает ток индукционный. В индукционных печах вторым проводником является сам металл, предназначенный для плавки. В дуговых печах необходимое тепло получается непосредственно от вольтовой дуги (подобно дуговой лампе, в которой возникает дуга между концом одного угля и концом другого).

Тепло во всех трех случаях получается в результате сопротивления электрическому току. В первых двух сопротивление вызывается самим металлом, когда через него проходит ток; в третьем же случае сопротивление возникает, когда образуются дуги между одним электродом и другим. Количество тепла зависит от силы электрического тока, а также от сопротивления проводника, в свою очередь обусловливаемого материалом проводника и его размерами.



Фиг. 16. Электрическая печь Геру (Héroult).

Печи прямого сопротивления, а также дуговые печи снабжены электродами; индукционные печи электродов не имеют. Все печи работают на переменном токе. Так как печи прямого сопротивления имеют меньшее значение, то здесь приводятся примеры только некоторых дуговых и индукционных печей. К первым относится печь Геру (Héroult), схематически изображенная на фиг. 16. По своему внешнему виду она несколько похожа на качающуюся мартеновскую печь. Как видно из чертежа, два больших угольных электрода один подле другого опускаются вниз через свод печи. Подъем и опускание электродов производится автоматически. Для предохранения металлической ванны от соприкосновения с элект-

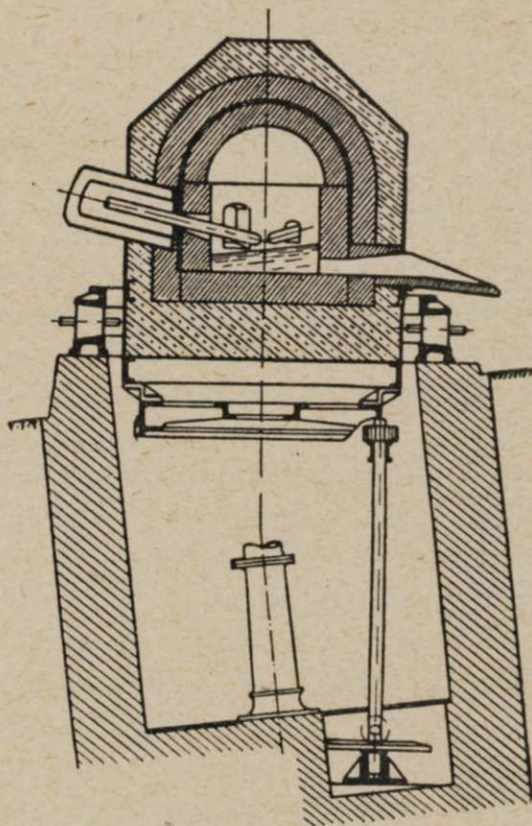
родом и науглероживания металла ванна покрывается тонким слоем шлака. Электрический ток не может переходить непосредственно от одного электрода к другому, так как между углями имеется достаточно большое расстояние (т.-е. между ними не может образоваться вольтова дуга). Ток идет от одного электрода к другому через металлическую ванну, а не через шлак, так как сопротивление шлака больше сопротивления металла.

Печь футеруется основными материалами и плавка ведется как в основной мартеновской печи. Чугун фришуются посредством добавки руды, а дефосфоризация производится с помощью извести. Электрическая печь может работать на твердой завалке и на жидкой. Для раффинирования мартеновской и бессемеровской стали металлы обычно поступают в печь в расплавленном состоянии.

Печь Стассано (Stassano) представляет собой полный вертикальный цилиндр, перекрытый куполообразным сводом. Печь имеет три электрода, вставленных в стенки печи. Электроды несколько наклонены к поду. Они заключены в металлические цилиндры с двойными стенками, между которыми циркулирует вода. При помощи этих цилиндров производится регулирование и охлаждение электродов. Для лучшего перемешивания печь устроена таким образом, что может вращаться в наклонном положении. Уменьшение лучеиспускания достигается тем, что под выкладывается из двух рядов огнеупорных кирпичей, а стенки из трех. Набойка делается из доломитовой массы. Ток подводится к нижней части печи при помощи скользящего контакта, который состоит из щеток и коллектора. Регулирование электродов производится вручную.

В отличие от печи Геру, в печи Стассано электрический ток не проходит через металлическую ванну. Между электродами образуются вольтовые дуги и тепло передается ванне лучеиспусканием. Реннерфельдтом (Rennerfeldt) была предложена улучшенная конструкция печи Стассано. Печь Стассано, показанная

в разрезе на фиг. 17, работает на токе напряжением в 110—150 вольт. В печи Геру напряжение 100—110 вольт. Печь Стассано устраивается обычно вместимостью в 1—1½ тонны, а печь Геру от ½—15 тонн.



Фиг. 17. Электрическая печь Стассано
(Stassano).

Печь Стассано дает хорошие результаты при производстве стальных отливок, переплавляя мягкий железный скрап, скрап стальных отливок и мягкую железную стружку. Кроме металлической шихты, вводится богатая железная руда и известь. Раскисление производится ферросилицием и ферромарганцем.

Для удаления серы во время плавки добавляется еще некоторое количество извести.

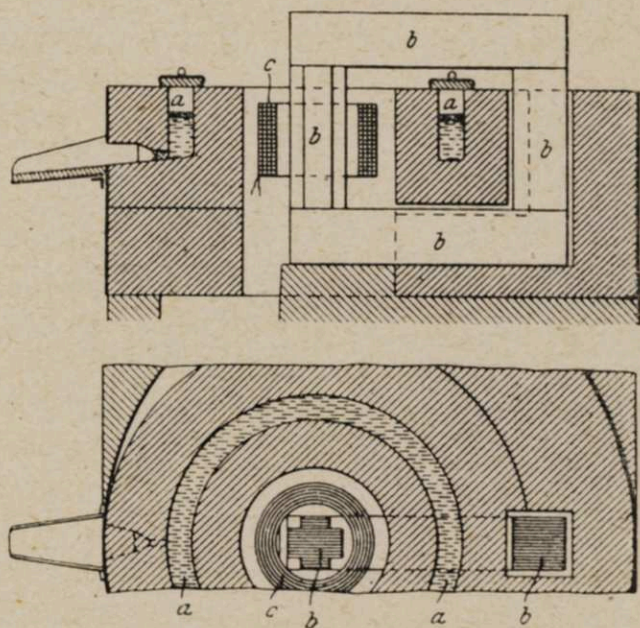
Печь Жиро (Giroud) очень похожа на печь Геру и также имеет под квадратной или круглой формы. Свод печи делается съёмным. В печи Жиро, кроме обычных угольных электродов, проходящих через свод, имеются особые железные электроды, вставленные в подину печи, которая поэтому проводит электрический ток. Ток идет от угольных электродов через металлическую ванну к его подовым электродам, образуя вольтову дугу между угольным электродом и ванной. В печи Жиро, как и в печах Геру и Стассано, свод охлаждается водой в том месте, где проходят электроды. Подовые электроды для предохранения от нагрева также охлаждаются водой. Печь работает на токе напряжением в 60—75 вольт. Печь Жиро более приспособлена для расплавления скрапа, нежели печь Геру.

Из электрических сталеплавильных печей, не имеющих электродов, т.-е. печей индукционных, прежде всего нужно упомянуть печь шведа Челлина (Kjellin). Эта печь представляет собой первую индукционную печь.

Индукционные печи построены на том же принципе, что и трансформаторы. В них ток высокого напряжения, но небольшой силы, превращается в ток низкого напряжения, но уже большой силы; другими словами, когда уменьшается вольтаж, возрастает сила тока, выражаемая в амперах. Это достигается соответствующим подбором витков первичного и вторичного проводников. Сила тока в обоих проводниках распределяется в зависимости от числа витков обмотки. Чем больше число витков в первичном проводнике по отношению к вторичному, тем ниже в последнем становится напряжение и тем выше сила тока.

Для того, чтобы сконцентрировать силовые линии образующегося магнитного поля и направить их по определенному пути, обмотка первичного проводника, состоящая из мед-

ной проволоки, устраивается вокруг сердечника, обладающего большой магнитной проницаемостью. Сердечник составляется из тонких железных пластин, изолированных одна от другой проклеенными бумажными листами. Вторичным проводником в индукционной печи является, как уже было упомянуто

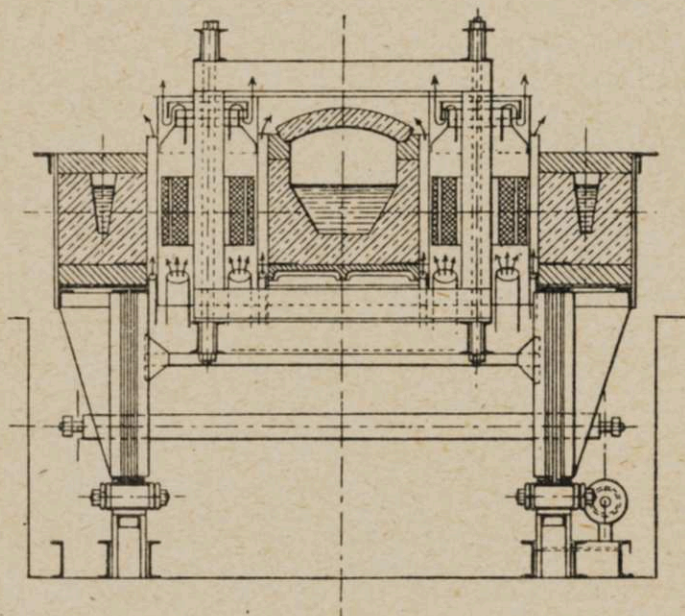


Фиг. 18. Электрическая печь Челлина
(Kjellin).

выше, тот металл, который должен плавиться или рафинироваться. Вторичный проводник состоит, таким образом, только из одного «витка». Электрический ток, проходя по первичному проводнику, вызывает во вторичном — металлической ванне — индукционный ток, который и служит источником тепла для последней. Коэффициент полезного действия печи — высокий, так как только несколько % электрической энергии теряются при трансформации.

На фиг. 18 представлена схематически печь Челлина: *a* — кольцевой канал в кладке печи, представляющий собой

плавильное пространство, в котором происходит рафинирование металла, *b* — железный сердечник и *c* — первичная обмотка. Печи Челлина делаются неподвижными и наклоняющимися. Теперь применяются обычно последние. Кольцеобразный канал футеруется магнезитовой массой и во время



Фиг. 19. Электрическая печь Рехлинг-Роденгаузера (Röchling-Rodenhauser) (вертикальный разрез).

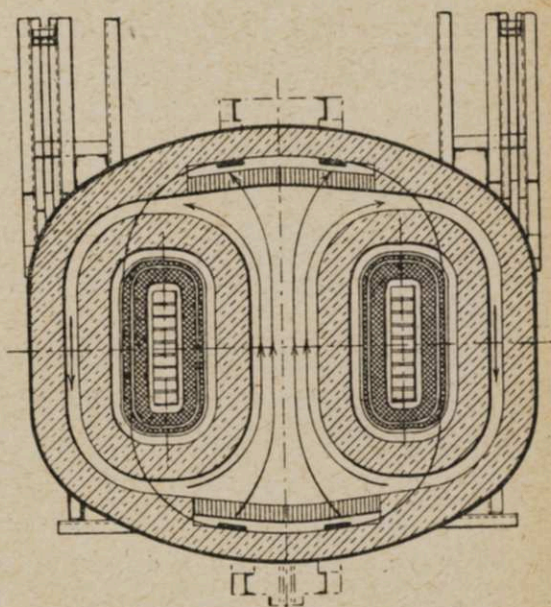
процесса закрывается крышками. Кладка печи снаружи и внутри заключена в железные кожухи. Сердечник трансформатора во время процесса охлаждается воздухом.

Печь Челлина не пригодна для фришевания чугуна или рафинирования металлов, содержащих серу и фосфор. Она применяется, главным образом, для рафинирования стали, полученной в мартеновских или бессемеровских печах, либо для получения стали по способу тигельного процесса.

Печи строятся вместимостью до 8 тонн и работают на электрическом токе высокого напряжения.

Печь Рехлинг-Роденгаузера представляет собой улучшенную конструкцию печи Челлина. Она дает возможность более полного проведения процесса рафинирования. В печи имеются два магнитных сердечника с первичными обмотками, которым соответствуют два кольцевых канала для металла.

Каналы сходятся вместе по середине печи, делая ванну в этом месте более широкой (см. фиг. 19 и 20). Обмотки имеют вытянутую форму, для того, чтобы кольцевые каналы получались узкими и длинными. Благодаря такому устройству получается более энергичный нагрев металла. При применении трехфазного тока в печи устанавливают три сердечника с тремя катушками. При этом получается три желоба, которые сходятся в



Фиг. 20. Электрическая печь Рехлинг-Роденгаузера (Röchling-Rodenhauser) (горизонтальный разрез).

середине печи вместе и образуют одно широкое рабочее пространство. Широкое рабочее пространство делается для того, чтобы поверхность соприкосновения металла и шлака была бы больше. Благодаря этому является возможность производить фришевание более успешно. Дальнейшее улучшение этой печи заключается в добавочной вторичной обмотке из толстых медных проволок. Эта вторичная катушка окружает первичную катушку и соединяется с стальными пластинами, заделанными в кладке. Такое приспособление служит для по-

вышения коэффициента полезного действия печи, так как используется та часть электрического тока, которая в печи Челлина бесполезно тратится на самоиндукцию и пр. Вместимость печи Рехлинг-Роденгаузера достигает 15 тонн и выше. Электрический ток применяется высокого напряжения (приблизительно до 3000 вольт).

Индукционные печи, сравнительно с дуговыми, имеют больший коэффициент полезного действия и работают более равномерно. Металлическая ванна в индукционных печах не загромождается электродами подобно дуговым печам. Когда индукционные печи работают с током высокого напряжения (опасным для жизни), то катушки и магниты должны быть изолированы, для того, чтобы рабочие не могли прикасаться к частям.

В электрических печах очищение металла можно производить весьма тщательно и совершенно, так как нагревание не зависит от фришевания и раффинирования, ибо все тепло получается исключительно за счет электрической энергии. В электрических печах развивается высокая температура, легко регулируемая. За границей в электрических печах работают на дешевой шихте, получая металл, который по своей чистоте может конкурировать с лучшим шведским металлом.

Расплавление и фришевание в электрических печах обычно продолжается 6—8 часов.

Примерный расход энергии дается в нижеследующей таблице:

Характер процесса	Расход энергии в киловатт-часах
Получение стали непосредств. из руды	3000
" " при работе с твердым чугуном . . .	1500
" " " " жидким " . . .	1000—2000
" " " " твердым скрапом . . .	800—900
" " " " жидким металлом . . .	150—300

ЖЕЛЕЗО И СТАЛЬ
ИХ СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ
И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Влияние примесей на свойства железа и стали.

Входящие в состав железоуглеродистого сплава элементы (углерод, кремний, марганец, сера и фосфор) оказывают в некоторых случаях на железо иное влияние, чем на чугун. На свойства железа, кроме перечисленных элементов, оказывает влияние также ряд других примесей. Важнейшими из них являются: никкель, хром, ванадий, молибден и титан. Эти элементы добавляются для специальных целей. Азот, водород и кислород, а также медь, цинк и некоторые др. металлы являются очень часто спутниками железа.

Углерод. Временное сопротивление железа возрастает с увеличением содержания углерода.

Вязкость и ковкость уменьшаются с увеличением содержания углерода.

Свариваемость уменьшается по мере увеличения содержания углерода. При содержании углерода свыше 1,2%, железо уже не сваривается.

Температура плавления понижается с увеличением содержания углерода.

Железо, почти не содержащее углерода, плавится при температуре 1528°C (ср. стр. 146).

Твердость незакаленного железа возрастает с увеличением содержания углерода, вначале быстро, до 0,9% углерода, а затем медленно.

Различие в твердости между незакаленным и закаленным металлом также увеличивается при повышении содержания углерода до 0,9%; при дальнейшем повышении содержания

углерода эта разность уменьшается. Сталь имеет разность твердостей в закаленном и незакаленном состоянии до 1,7% углерода. При этом содержании углерода твердость стали после заковки совпадает с естественной твердостью.

Удельный вес железа колеблется между 7,6—7,9, отчасти в зависимости от содержания углерода, а отчасти от обработки, во время которой металл может уплотняться.

Нижеследующая таблица, взятая из «Испытания прочности шведских металлов» (изд. Jernkontoret 1897 г.), показывает влияние углерода на временное сопротивление и упругую деформацию железа (см. Табл. на стр. 129).

Испытания производились над прокатанным и отожженным мартеновским металлом семи шведских заводов.

Влияние углерода на твердость показывает следующая таблица (по Бринеллю):

Содерж. углерода в ‰ .	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Число твердости	95	125	158	175	202
Содерж. углерода в ‰ .	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Число твердости	235	242	262	293	312

Примеры разности твердостей приводятся в следующей таблице:

Содерж. углерода в ‰ . . .	0,10	0,20	0,25	0,35	
Число { Отожж. сталь . . .	97	115	143	156	
тверд. { Закал. сталь . . .	149	196	311	402	
Разность твердости.	52	81	168	246	
Содерж. углерода в ‰ . . .	0,45	0,65	0,78	0,92	1,25
Число { Отожж. сталь . . .	194	235	231	258	262
тверд. { Закал. сталь . . .	555	652	652	627	627
Разность твердости	361	417	421	369	365

Необходимо отметить, что не все сорта железа и стали с приведенным содержанием углерода дают один и тот же результат, так как другие элементы сплава также оказывают

Механические свойства железа и стали в зависимости от содержания углерода.

Содержа- ние угле- рода в ‰	Модуль упругости кг/см ²	Предел упругости кг/мм ²	Временн. сопрот. кг/мм ²	Удлинение в ‰		Попереч- ное сжа- тие в ‰
				на 100 мм длины	на 200 мм длины	
0,05	2155000	19,30	33,50	38,8	28,9	76,5
0,10	2152000	16,10	34,76	41,6	30,9	70,8
0,15	2158000	20,20	37,73	38,6	31,7	65,7
0,20	2202500	20,53	39,70	35,5	27,7	61,2
0,25	2150000	20,11	40,88	36,8	29,2	61,7
0,30	2156000	23,04	43,23	32,6	27,5	55,3
0,35	2197500	22,38	46,08	32,8	25,4	55,6
0,40	2191500	24,76	49,71	30,4	23,7	54,2
0,45	2210000	26,29	52,52	29,3	23,6	46,3
0,50	2093000	25,48	56,77	26,3	20,2	40,1
0,55	2160500	28,07	60,08	22,9	17,7	33,8
0,60	2154500	33,59	66,93	20,6	16,0	34,4
0,65	2203500	32,28	70,47	16,6	14,8	28,6
0,70	2215500	34,27	73,88	15,6	14,1	28,2
0,75	2099000	32,93	79,38	14,5	12,4	21,4
0,80	2117000	34,10	78,74	13,4	11,9	22,1
0,85	2151000	37,40	85,20	11,1	9,2	17,2
0,90	2144500	40,54	87,77	10,7	8,1	17,0
0,95	2161500	42,93	95,60	9,1	7,0	10,8
1,00	2138500	44,02	87,42	11,9	9,6	19,0
1,05	2098500	37,20	72,63	11,2	8,2	16,2
1,10	2134500	39,36	83,68	7,9	6,9	15,6
1,15	2095500	39,70	73,37	7,9	6,3	14,3
1,20	2118000	40,90	78,33	7,3	6,4	10,2

влияние на свойства испытуемого материала. Кремний, марганец, сера и фосфор не оказывают существенного влияния на свойства железа только в том случае, если они находятся в соответствующем, сравнительно незначительном, количестве. Влияние этих элементов характеризуется следующим образом:

С повышением содержания кремния уменьшается ковкость и свариваемость металла.

Марганец уменьшает вязкость, увеличивая твердость и временное сопротивление. При содержании марганца в 1⁰/₀ достигается наибольшее временное сопротивление. Чем больше углерода в железе, тем меньше требуется марганца для достижения предела, при котором действие марганца прекращается. Во избежание образования трещин в стали при закалке содержание марганца не должно превышать 0,25⁰/₀ *). Присутствие марганца в железе и стали, так же, как и в чугунах, ослабляет вредное влияние серы. При значительном содержании марганца и соответствующем количестве углерода в металле сталь становится не только твердой и прочной, но и вязкой. Сталь, содержащая 10—12⁰/₀ (не менее 7⁰/₀) марганца и 1⁰/₀ углерода, так называемая марганцовистая сталь, обладает исключительной вязкостью и прекрасно противостоит истиранию. Прочность такой стали выше обыкновенной углеродистой стали раза в два, а число твердости по Бринеллю больше в 4—5 раз. Марганцовистая сталь, закаленная в воде, становится мягкой в то время, как отжиг делает ее твердой. Марганцовистая сталь применяется для железнодорожных стрелок, крестовин, дробильных щек для камней и т. д., т.-е. для предметов, подвергающихся сильному изнашиванию.

*) В простой стали содержание марганца допускается выше.

Сера в большом количестве придает красноломкость, т.-е. хрупкость при красном калении, вследствие которой железо разваливается при ковке и прокатке и таким образом затрудняется горячая обработка материала. Содержание серы в мягком железе и стали не должно превышать 0,015%.

Фосфор уменьшает вязкость, но несколько увеличивает временное сопротивление.

Большое количество фосфора в железе делает его хладноломким, т.-е. под действием удара или изгиба железо ломается при нормальной температуре. Подобное железо дает в поперечном изломе блестящие и сверкающие кристаллы белого цвета. Хладноломкость увеличивается при низкой температуре. Она является большим недостатком в металле, подвергающемся толчкам и переменной нагрузке. Чем выше содержание углерода в металле, тем сильнее сказывается вредное влияние фосфора, поэтому в мягком железе допускается более высокое содержание фосфора, нежели в стали.

Для приготовления инструментальной стали употребляются сырые материалы с очень низким содержанием фосфора. Шведский чугун наиболее пригоден для этой цели. Хороший шведский чугун содержит только 0,010—0,030% фосфора.

Влияние кислорода на свойства металла изложено выше (стр. 88). Он придает металлу, так же, как и сера, красноломкость. Пережог железа также создает красноломкость *).

Никкель оказывает значительное влияние на свойства мягкого железа и стали. Наиболее часто применяемые сорта никелевой стали содержат до 3—4% никкеля, 0,35—0,45% углерода и 0,45—0,65% марганца. Такая сталь обладает большей прочностью, вязкостью и твердостью, нежели обычная сталь. Прочность стали, содержащей 9% никкеля, в не-

*) Пережогом называется высокий перегрев металла, сопровождающийся частичным окислением металла.

которых случаях раза в три больше прочности мягкого мартеновского металла. Никкель придает углеродистой стали большую плотность.

Введением одного хрома до 3% сообщается углеродистой стали повышение предела упругости, значительное возрастание твердости и хрупкости (незначительная вязкость и малое удлинение при разрыве) в той или иной степени в зависимости от количества хрома.

Вольфрам, добавляемый в достаточном количестве (5—9%), делает сталь самозакаливающейся, т.-е. сталь закаливается уже при охлаждении на воздухе. Временное сопротивление и твердость увеличиваются, последняя значительно, при этом сталь становится более хрупкой. Вольфрам делает сталь менее чувствительной к высокой температуре, но уменьшает свариваемость. Удельный вес увеличивается (до 9,5 при высоком содержании вольфрама). Необработанная вольфрамовая сталь имеет очень тонкий излом, а закаленная фарфоровидный.

Ванадий и молибден оказывают на металл такое же действие в отношении прочности, твердости и хрупкости, что и вольфрам.

Титан делает сталь более прочной при испытании на удар и изгиб, не повышая, однако, временного сопротивления. Титан придает металлу большую плотность, а следовательно большее сопротивление трению.

Все вышесказанное относительно никкеля, хрома, вольфрама, ванадия, молибдена и титана справедливо в том случае, если в простую углеродистую сталь добавляется только какой-либо один из этих элементов; в противном случае необходимо считаться с суммарным воздействием всех элементов.

Остальные элементы, встречающиеся в железоуглеродистом сплаве, не имеют большого практического значения, поэтому они здесь опущены.

Мягкое железо и углеродистая сталь.

Сварочное железо. Особенностью сварочного железа является содержание в нем сравнительно большого количества шлака, распределенного так тонко, что его нельзя полностью удалить посредством выжимания при проковке крицы. Лучшие сорта шведского сварочного железа содержат до 0,17% шлака, более дешевые сорта около 2% шлака. Небольшое содержание шлака не оказывает сильно заметного вредного влияния на качество железа, большое же количество шлака в железе тотчас же сказывается на его механических качествах, в особенности в отношении временного сопротивления разрыву.

В сварочном железе, изготовляемом в настоящее время в Швеции, обычно содержится 0,05—0,10% углерода. Железо с волокнистым изломом приближается к первому пределу. Мелкозернистое железо обладает более высоким содержанием углерода. Временное сопротивление колеблется от 28—37 кг/мм² при удлинении от 27—52% на 100 мм длины. Таким образом, сварочное железо очень вязко; оно хорошо куется и сваривается. Сварочное железо часто применяется для деталей, временно испытывающих большое напряжение, как, напр., цепи, крюки для кранов, топочные плиты в паровых котлах и т. д. Вследствие присутствия шлака в сварочном железе оно не применяется для деталей машин, подвергающихся трению.

Состав валлонского железа из Даннеморы:

Углерод	Кремний	Сера	Фосфор	Марганец
0,02—1,33	0,037—0,08	0,003—0,009	0,009—0,013	0,10—0,17

Литое железо. Содержание углерода в литом железе обычно 0,05—0,25%. Литое железо хорошо куется и до 0,18% углерода сваривается. Излом у литого железа почти всегда зернистый. Вследствие однородности состава и отсутствия шлака, литое железо при обработке дает более чистую поверхность, нежели сварочное. Временное сопротивление колеблется от 34—44 кг/мм² (ср. Табл. на стр. 129). Вязкость характеризуется временным сопротивлением и удлинением; последнее у литого железа меньше, чем у сварочного.

Машиноподелочная сталь. Машиноподелочной сталью называется литая сталь с содержанием углерода от 0,25—0,7%. Она хорошо куется, но сваривается значительно труднее; при достаточном содержании углерода закаливается. Временное сопротивление, в зависимости от содержания углерода, варьирует от 44—80 кг/мм².

Литое железо и литая сталь могут применяться для обрабатываемых деталей, испытывающих трение. Машиноподелочная сталь, обладающая большой прочностью, применяется для машинных частей, железнодорожных рельс, плит и т. д., а также для конструкционных деталей, строительных и мостовых сооружений, испытывающих большие усилия.

Из машинной стали с высоким содержанием углерода можно изготовлять грубые инструменты, волочильные доски (для протяжки проволоки), пружины и пр.

Бессемеровский и мартеновский металл может применяться также и для фасонного стального литья.

Инструментальная сталь. В узком смысле под этим понятием подразумеваются сорта стали, содержащие 0,7—1,5% углерода и применяющиеся для изготовления режущих инструментов. Для этой цели употребляется тигельная сталь или электросталь. Для менее ответственных инструментов мартеновская сталь.

Анализы бессемеровского металла *).

	Рельсы %	Листовое железо	
		обычное %	твердое %
Углерод	0,40—0,50	0,12	0,62
Кремний	0,30—0,35	следы	0,28
Марганец.	0,60—1,00	0,35	1,00
Фосфор	0,06—0,08	0,06	0,07
Сера	0,03—0,06	0,05	0,06

Анализы мартеновского металла *).

	Рельсы %	Листовое железо		Полосовое железо	Прово- лока
		мягкое	твердое		
Углерод	0,36	0,09	0,62	0,06	0,11
Кремний	0,16	0,02	0,14	0,01	0,01
Марганец.	0,98	0,37	0,89	0,52	0,45
Фосфор	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Сера	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

В случае возможности для инструмента подвергаться ударам и толчкам в период работы и в тех случаях, когда от них требуется вполне достаточная прочность, но нет

*) На приведенные анализы необходимо смотреть лишь как на примерные, отступления от коих всегда возможны. В отношении «твердого» листового железа с 0,62% С следует предполагать, что автор подразумевает здесь материал для ножей, пил и т. п. изделий.

Таблица применения литого железа и стали.

Номера по твердости	Содержание углерода	Временное сопротивление в кг/мм ²	Удлинение в %	Наименование и свойства	Применение
000	0,06	34—36	30—35	Самое мягкое литое железо, хорошо сваривается, не закаливается.	Проволока, кровельное железо, цельнотянутые трубы, листы для штамповки.
00	0,09	36—38	27—32	Мягкое литое железо, хорошо сваривается, не закаливается.	Проволочные гвозди, заклепки, котельное железо, тянутые в сварные трубы, проволока.
0	0,12	38—41	23—29	Мягкое литое железо, хорошо сваривается, не закаливается.	Проволока, проволочные гвозди, заклепки, болты, трубы, обручное железо, котельные листы.
1	0,16	41—44	21—26	Литое железо, сваривается, не закаливается.	Различное сортовое и фасонное железо, листы, части машин, цепи, крюки и лопаты.
2	0,20	44—47	19—23	Мягкая машиноделочная сталь. Небольшая свариваемость, слабо закаливается.	Железнодорожные шпалы, лопаты, подковные гвозди и спиральные пружины.
3	0,25	47—53	17—22	Машиноделочная сталь средней мягкости, не сваривается, закаливается.	Оси, бандажи, вилы, трубы для велосипедных рам, проволока, рудничные рельсы, поковки.
4	0,35	53—60	14—19	Машиноделочная сталь средней твердости, хорошая закаливаемость.	Ружейные стволы, проволока, баллоны для газов, бандажи, оси, спиральные пружины, рашпили, плуги.
5	0,45	60—68	11—16	Вязкая инструментальная сталь, хорошо закаливается.	Рельсы, бандажи, молотки, ломехи, косы, клинки, ножи, грабли, напильники для дерева, рашпили, лучшие рессоры.
6	0,55	68—76	9—13	Инструментальная сталь средней твердости. Очень хорошо закаливается.	Железнодорожные скрепления, бандажи, штампы, молотки, зубила, ломехи, пружины, стальные канаты, напильники.
7	0,65	76—84	6—11	Твердая инструментальная сталь, закаливается еще лучше предыдущей.	Бандажи для колес электрических трамваев, ружейные стволы, снаряды, напильники, пилы, зубилья, кабельная проволока, транспортные тросы.
8	0,75	84—92	3—8	Твердая инструментальная сталь, особенно большая закаливаемость.	Артиллерийские снаряды, полотна для пил, шары для шаровых мельниц, проволока для дождевых зонтов. Обрезные и пресовые штампы.
9	0,80	92—100	2—5	Очень твердая сталь, особенно большая закаливаемость.	Твердые лопки, метчики, резцы токарные и строгальные, иглы швейные, проволока для дождевых зонтов, фрезы.

особых требований в отношении твердости, то содержание углерода в стали для подобных инструментов может спускаться до 0,5⁰/о.

Инструментальная сталь не должна иметь раковин, пузырей и трещин. По своему составу сталь должна быть исключительно чистой. Излом инструментальной стали должен быть однородным и, что особенно важно, не иметь никаких пережатых мест.

Содержание марганца в хорошей инструментальной стали не должно превышать 0,1⁰/о, кремния—0,08⁰/о, фосфора—0,03⁰/о и серы 0,04⁰/о.

Количества марганца и кремния могут повышаться в подобной стали и достигать до 0,35⁰/о для *Mn* и 0,25⁰/о для *Si*.

Излом хорошей стали имеет очень мелкозернистое строение. Временное сопротивление колеблется от 60—100 кг/мм². Удлинение небольшое.

Встречается особая инструментальная сталь, которая носит название «серебрянки». Она имеет блестящую, как бы полированную поверхность. Серебрянка применяется иногда для тонких прутков, метчиков и т. п. Она встречается в виде сверл круглого, квадратного и др. сечений определенных размеров.

Таблица на стр. 136—137, взятая из Hütte, дает примеры применения литого железа и стали.

Нижеприводимая таблица применения инструментальной стали завода Фагерста является как бы дополнением и продолжением предыдущей таблицы.

Таблица применения инструментальной стали завода Фабреста.

Содержа- ние угле- рода	0,65—0,75	0,80—0,85	0,90—1,00	1,05—1,15	1,20—1,40
Содержание углерода в стали зав. Фабреста колеблется в зависимости от назначения изделий.	Оправки.	Инструмент для обработки камней.	Сталь для плотничьих топоров.	Токарные резцы.	Токарные резцы.
	Крупные штампы.	Молотки.	Сверла.	Спиральные сверла.	Спиральные сверла.
	Большие молота.	Зубила.	Перочинные ножи. Штампы.	Фрезы, метчики, плашки.	Фрезы.
	Горные буравы.	Деревообделочный инструмент.	Молотки.	Напильники.	Метчики.
	Инструмент для каменных работ.	Штампы.	Деревообделочный инструмент.	Зубила.	Плоски. Напильники.
	Деревообделочные инструменты.	Ножи.	Зубила.	Кернеры.	Бритвы.
	Слесарные зубила.	Кузнечный инструмент.	Кайла.	Перочинные ножи.	Сапожные ножи
	Обрубные зубила.	Спиральные сверла по дереву.	Рамные пилы.	Стамески.	
	Столовые ножи.	Ножницы.	Круглые пилы.	Столярные железки.	
	Ножницы.		Ручные пилы.	Топоры.	
Железнодорожные рессоры.	Косы.		Спиральные пружины.	Ножницы для металлов.	
			Челноки.		

Специальная сталь.

К специальной стали или так называемой легированной стали, относятся сорта, содержащие один или несколько специальных элементов, перечисленных выше, на стр. 131—132. К специальной стали относятся также стали, содержащие один из обычных элементов, напр., марганец или кремний, в количестве, превышающем нормальное. Специальной стали имеется много сортов. Специальные добавки вводятся в готовый расплавленный металл, получаемый бес-семеровским, мартеновским, электроплавильным или тигельным процессами. Специальные примеси придают стали некоторые особые свойства, которых не имеет углеродистая сталь и которые требуются по характеру будущей работы материала.

В конструкционные стали и стали для деталей машин вводится, главным образом, никкель, хром и ванадий. Никкелевая сталь обладает большим временным сопротивлением и вязкостью, поэтому она может применяться для изделий, подвергающихся ударам. Временное сопротивление никкелевой стали не ниже $40\text{--}80 \text{ кг/мм}^2$, удлинение $16\text{--}30\%$. В никкелевой стали большею частью содержится $3\text{--}4\%$ никкеля, однако, встречаются сорта, содержащие до $10\text{--}25\%$ никкеля. Хромистая сталь отличается особенной твердостью. Хромониккелевая сталь, содержащая хром и никкель, тверда и вязка. Временное сопротивление хромониккелевой стали $60\text{--}160 \text{ на кг/мм}^2$. Удлинение от $10\text{--}22\%$, в зависимости от состава стали. Эта сталь применяется для

броневых плит. Для вращающихся машинных частей, согласно Гиллье (Guillet), употребляется специальная сталь следующего состава:

	Углерод %	Никель %	Ванадий %	Марганец %	Хром %	Времен. со- прот. кг/мм ²		Удлиня. в % на 200 мм	
						отож- жен.	зака- лен.	отож- жен.	зака- лен.
№ 1	0,20	7,00	0,20	0,30	—	65	140	20	10
№ 2	0,45	2,25	0,07	0,28	0,60	70	150	20	6
№ 3	0,17	5,47	—	0,55	0,18	61	130	22	5

Хромованадиевая сталь, применяемая для машинных частей, имеет следующий состав:

Углерод	Марганец	Хром	Ванадий
0,15—0,65%	0,34—1,00%	0,30—1,25%	0,14—0,32%

Для хороших шариковых подшипников применяется сталь, содержащая углерода 1,0—1,3% и такое же количество хрома. Для измерительных инструментов употребляется сталь, содержащая 1,1—1,25% углерода и до 0,5% хрома или вольфрама. Для точных измерительных приборов—сталь с 0,8% углерода и 36% никеля. Эта сталь не ржавеет и почти не расширяется при нагревании *).

В электротехнике применяется трансформаторное железо, содержащее кремния 2—3,5% и 0,6—0,1% углерода и обладающее большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой. Сталь для постоянных магнитов содержит 0,60% углерода и около 5% вольфрама. Для деталей, ко-

*) Эта сталь носит название инвар, и углерода в ней лучше держать около 0,2—0,3%.

которые не должны быть магнитными, употребляется марганцовая и никелевая сталь.

Быстрорежущая сталь. Инструмент, изготовленный из простой углеродистой стали, сильно разогревается при обработке твердых материалов благодаря трению и пр., вследствие чего отпускается и, следовательно, теряет свою твердость. Уже при нагреве до желтоватого цвета побежалости углеродистая сталь становится значительно мягкой, как будто она получила лишь слабую закалку.

В 1900 г. американские инженеры Тэйлор и Уайт демонстрировали на выставке в Париже сталь, содержащую вольфрам и хром, которая даже при красном калении почти не теряла своей твердости. Эта сталь, привлекавшая всеобщее внимание благодаря своей большой скорости резания по железу и стали, получила название быстрорежущей.

Быстрорежущая сталь значительно тверже, нежели закаленная углеродистая сталь, и сохраняет свою твердость и при нагреве до температуры 500°C (степень нагрева, при котором резец имеет красное каление в темноте). При $850\text{--}900^{\circ}\text{C}$ (красное каление) быстрорежущая сталь еще имеет твердость почти в два раза большую, нежели углеродистая сталь. Особым преимуществом быстрорежущей стали, по сравнению с углеродистой, является то, что она не «садится» при закалке. Быстрорежущая сталь относится к группе самозакаливающихся.

Почти все сорта быстрорежущей стали имеют приблизительно один и тот же состав: углерода $0,55\text{--}0,65\%$, вольфрама— 18% , хрома $3,5\%$ и ванадия (если он входит в состав) около $0,20\%$.

Само собой разумеется, что содержание серы и фосфора должно быть низким: ниже $0,020\%$, марганца приблизительно $0,030\%$. В некоторые сорта быстрорежущей стали вводится также от $1\text{--}5\%$ молибдена.

Для обработки твердого чугуна на токарном станке употребляется сталь, содержащая 1,2—1,4% углерода и 5—7% вольфрама. Эта сталь тоже самозакаливается.

Несамозакаливается вольфрамовая сталь с 1,2% углерода и 0,25—1% вольфрама употребляется для точных приборов, фрез, сверл и т. д.; сталь с 1,2—1,4% углерода и 3—4% вольфрама—для револьверных станков. Последние два сорта не относятся к быстрорежущей стали.



Термическая обработка стали.

Сталь является прекрасным материалом благодаря тому, что она обладает способностью изменять в известных пре-



Фиг. 21. Зерна перлита в основной массе феррита (линейное увеличение в 200 раз).

делах свои механические качества в зависимости от примененной к ней термической обработки. Виды обработки, при помощи которых изменяются свойства стали, носят название закалки, отпуска и отжига. Проведение последних на практике довольно простое, по крайней мере в тех случаях, когда подвергаемые термической обработке материалы мало чувствительны к перегревам, резкому охлаждению и т. д.

В последнее время для изучения строения стали применяются микроскопические исследования. Эти исследования дали очень важные результаты, уяснившие многое в отношении свойств стали. Перед рассматриванием в микроскоп или фотографированием поверхность исследуемой стали полируется и травится, что дает возможность полнее наблюдать структуру стали. Благодаря микроскопическим исследованиям выяснилось, что одна

и та же сталь после различной термической обработки получает совершенно различную структуру. Также выяснилось, что расположение кристаллов, составляющих структуру стали, зависит от целого ряда факторов, как химического, так и физического порядка.

Процесс закалики стали заключается в нагреве ее до красного каления, а затем быстром охлаждении в холодной воде. При этом сталь становится твердой. Если нужно уменьшить твердость стали и увеличить вязкость таковой, то сталь снова нагревают до температуры $250-450^{\circ}\text{C}$ в зависимости от требуемой твердости. Такая тепловая обработка называется отпуском.

Твердость, приобретаемая сталью при быстром охлаждении в воде после достаточного нагрева объясняется тем, что в закаленной стали углерод находится в иной форме, чем в незакаленной стали. Новейшие исследования, производившиеся Brinell'ем, Osmond'ом и Rozeboom'ом и др., показали, что углерод в расплавленном железе нахо-

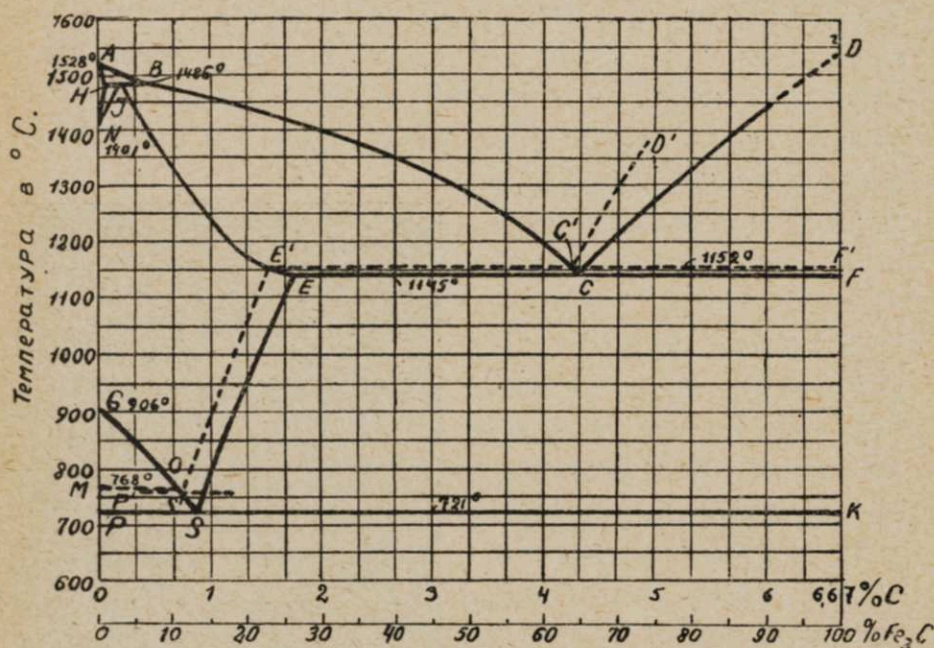


Фиг. 22. Перлит (линейное увеличение в 1600 раз).

дится в химически связанном состоянии с частью железа в форме карбида (Fe_3C). Этот карбид растворен в остальной массе железа и образует раствор железа и карбида. Карбид железа остается в растворенном виде и после остывания железа. Такой твердый раствор называется аустенитом.

Но с понижением температуры способность железа растворять в себе карбид понижается и из образовавшегося

первоначально твердого раствора выпадают его компоненты (феррит или карбид-цементит), в зависимости от первоначального содержания углерода в сплаве. Означенное распадение происходит при различных температурах от 900° до 700° (для сталей с содержанием $C = 0,0 — 0,9\%$) и от $900 —$



Фиг. 23. Диаграмма плавкости системы $Fe-C$.

1100% (для сталей с содержанием $C = 0,9 — 1,7\%$). Однако, каждому составу стали соответствует своя вполне определенная температура (согласно линии $GOSE$ на черт. 23). При достижении 700° весь оставшийся твердый раствор распадается на свои составляющие компоненты, образуя структурную составляющую, называемую перлитом. При нагреве до 700° нормально остывшей таким образом стали в ее структуре не происходит никаких изменений; при переходе же через нагрев в 700° и при дальнейшем повышении температуры

все структурные изменения протекают в обратном порядке. При закалке, т.-е. быстром проведении охлаждения от области твердых растворов до нормальной температуры, необходимым превращениям твердого раствора ставятся препятствия и возникает новая структурная форма—мартенсит, представляющая собою одну из переходных форм от аустенита к перлиту.

Мартенсит встречается в стали в виде однородных игольчатых кристаллов и является наиболее твердой структурной составляющей стали.

Если предоставить стали медленно остывать до температуры ниже 700° , то получается другое строение. Сталь с содержанием углерода $0,90\%$ образует чрезвычайно тонкую равномерную механическую смесь чистого железа (феррит) и карбида железа (цементит). Эта так называемая эвтектическая смесь носит название перлит.

В стали, содержащей углерода меньше $0,90\%$, при остывании первоначально выделяется феррит, так что остающийся твердый раствор обогащается углеродом и при достижении температуры в 700° в растворе содержится ровно $0,90\%$ углерода. Этот твердый раствор при дальнейшем остывании (ниже 700°C) обращается в перлит, в котором выпавший ранее феррит располагается в виде вкрапленных кристаллов различной величины.

Сталь с содержанием свыше $0,90\%$ углерода выделяет, наоборот, первоначально карбид железа, так называемый цементит, располагающийся в образующемся затем перлите также в виде вкраплений.

Во всех описанных случаях, как только температура стали падает ниже 700°C , вышеупомянутая механическая смесь образует перлит. Так как феррит является наиболее мягкой из трех составляющих структуры стали, перлит—средней твердости и цементит самой твердой, то становится понятным, почему твердость незакаленной стали увеличивается

при содержании углерода до 0,90%. Закалка объясняется тем, что мартенсит тверже остальных структурных составляющих.

В закаленной стали можно получить посредством отпуска и отжига, т.-е. обратным путем, образования перлита, феррита и цементита, если отпуск производить достаточно медленно и до надлежащей температуры. При этом, помимо конечной структуры распада твердого раствора, получается ряд промежуточных структур, которые перечисляются здесь в порядке их образования и степени твердости: тростит, осмондит и сорбит. Эти структуры здесь подробно описываться не будут.

Переход мартенсита в перлит, феррит и цементит у различных сталей начинается при различной температуре, т. наз. критической температуре (см. чертеж 23). Наиболее низкую критическую температуру имеет сталь, содержащая 0,90% углерода, около 700°С. Для стали с 0,5% углерода температура закалки должна быть 800° и для стали с 1,5% углерода 950°. Если нагрев стали перед охлаждением ниже критической температуры, но все же выше 700°С, то закалка будет неполной, так как не весь углерод успевает раствориться в стали с образованием твердого раствора. Более высокий нагрев (т.-е. значительно превосходящий критическую температуру) является не только ненужным, но даже вредным.

Выражение «твердый раствор» может показаться странным. Между тем, твердые тела действительно могут образовывать твердые растворы, так как при известных температурах они следуют тем же закономерностям, что и жидкие тела. Это становится более понятным при сравнении явлений, происходящих в твердых и жидких растворах.

То обстоятельство, что молекулы могут предпринимать в твердом теле настоящие странствования, видно, напр., из того, как ведет себя углерод при цементации железа, когда раскаленные молекулы углерода буквально передвигаются в железе. Если в цилиндрическую камеру положить золотую

или серебряную пластинку, а поверхность ее свинцовую, и нагревать все это выше 100°C , то можно обнаружить, что часть золота или серебра переходит в свинцовую пластинку.

Сравнивая сталь с раствором поваренной соли в воде, можно заметить, что раствор поваренной соли претерпевает изменения, аналогичные вышеизложенным. Из раствора поваренной соли, содержащего ниже $23,5\%$ соли, при достаточном охлаждении выделяется чистый лед, в оставшемся же еще в жидком состоянии растворе остается такое содержание воды, что количество поваренной соли составляет $23,5\%$ от влаги. После этого весь раствор сразу застывает. Если раствор с самого начала содержит $23,5\%$ поваренной соли, то никакого выкристаллизовывания не происходит и весь раствор застывает сразу при температуре -22° . Раствор с $23,5\%$ поваренной соли в $76,5\%$ воды является эвтектическим, подобно раствору $0,90\%$ углерода в $99,10\%$ железа.

Аналогия в данном случае вполне ясная. Выкристаллизовавшийся лед аналогичен чистому железу или ферриту, поваренную соль можно сравнить с карбидом железа, а остающийся $23,5$ -процентный раствор поваренной соли аналогичен перлиту, т.-е. эвтектическому сплаву железа. Температура, при которой начинается выкристаллизовывание поваренной соли, различна, в зависимости от количества поваренной соли. При $23,5$ -процентном растворе температура низкая: -22°C . Она является критической температурой раствора, подобно тому как температура 700°C является критической для стали. Эвтектические сплавы остывают при более низкой температуре, чем образующие их компоненты. Процентное соотношение входящих в сплав компонентов всегда одно и то же для одних и тех же элементов; таким образом, оно является постоянным.

Благодаря происходящей при закалке стали перекристаллизации, сталь становится мелкозернистой и при том тем более мелкозернистой, чем скорее происходит охлаждение. Если

сталь при закалке нагревается до слишком высокой температуры, она уже не имеет такого мелкозернистого излома. Слишком высокая температура нагрева стали для закалки дает в результате материал хрупкий, понижая тем его механические качества. Если назвать интервал между наивысшей и наиболее низкой температурами нагрева, допускаемыми при закалке, «полем закалки», то можно констатировать, что марганец уменьшает поле закалки, а вольфрам и хром его увеличивают. Временное сопротивление и предел упругости стали повышаются при закалке. Более мелкозернистая сталь обладает большей прочностью, чем крупнозернистая. Удлинение материала при разрыве, наоборот, уменьшается в результате закалки. После соответствующей холодной обработки сталь может также получить мелкозернистый излом, а следовательно и более высокое временное сопротивление. Однако, при нагревании с последующим медленным охлаждением эти свойства утрачиваются.

Легированная сталь при закалке ведет себя в большинстве случаев так же, как и углеродистая сталь. Главное различие заключается в том, что некоторые специальные стали обладают способностью приобретать твердое мартенситовое строение закаленной стали даже при достаточно медленном охлаждении от высоких температур. Температура превращения самозакаливающихся сталей ниже комнатной, так что этот материал не нуждается в специальном охлаждении для закалки. Легированная сталь с более высокой критической температурой может охлаждаться в масле или струей холодного воздуха. Температура предварительного нагрева при подобной термической обработке самозакаливающейся стали обычно высока и достигает температуры белого каления. Охлаждение после этого нагрева должно быть быстрым лишь до температуры 850° ; в дальнейшем величина скорости охлаждения не играет роли. Вторичный нагрев быстрорежущей стали производится до температуры около 650° . Простая углеродистая

сталь, подобно вышеприведенным сталям, нагревается перед закалкой до $700-800^{\circ}\text{C}$; низколегированная сталь—не быстрорежущая до $800-900^{\circ}\text{C}$, быстрорежущая до $1150-1300^{\circ}\text{C}$ (медленный нагрев до 850°C и последующий быстрый нагрев).

Отпуск незначительно уменьшает твердость стали, увеличивает вязкость и упругость. Отпуск устраняет или уменьшает внутренние натяжения в металле, возникающие при закалке. Отжиг, возвращая стали ее первоначальные свойства, имеет назначение прежде всего сделать металл более пригодным для обработки режущими инструментами. Ковка, прокатка и пр. придают стали твердость и неоднородность в изломе, поэтому приходится ее делать более мягкой и однородной. Если сталь перегрета и следовательно получила грубый излом, она может быть исправлена посредством отжига, закаленная же сталь при отжиге восстанавливает снова свою мягкость.

Отпуск происходит следующим образом: сталь нагревается до какой-либо температуры ниже критической, после чего она медленно охлаждается. Для предохранения от действия воздуха сталь засыпается обрезками кожи, древесноугольной золой или чугунными стружками.

Нагрев изделий для закалки.

Нагрев изделий перед закалкой производится в следующих печах:

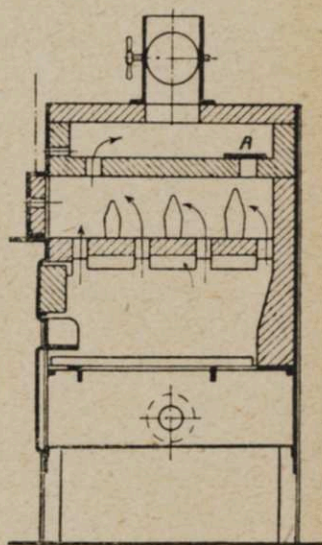
- 1) открытых (кузнечных) горнах,
- 2) печах без муфельей,
- 3) муфельных печах,
- 4) закалочных печах со свинцовой или
- 5) соляной ванной.

Открытый (кузнечный) горн применяется почти исключительно для более или менее примитивных целей. Изделия в таком горне нагреваются неравномерно. Нагреваемые предметы не защищены от действия воздуха для горения (дутья), поэтому они могут сильно окисляться, легко перегреваются и могут даже пережигаться. При нагреве для закалки в открытом горне применяется исключительно древесный уголь, так как кокс или каменный уголь оказывают вредное влияние на нагреваемые предметы благодаря присутствию серы. В тех случаях, когда в силу необходимости приходится пользоваться каменным углем, предметы помещаются в горн только после того, как уголь достаточно прогорит и сера будет выжжена*). При нагревании в открытом горне неровные или выдающиеся части изделия нагреваются до слишком высокой температуры, что влечет за собой порчу материала.

Печи без муфельей. В печах такого рода пламя непосредственно омывает нагреваемые предметы. Печи без

*) При этом выгорит только часть серы, а не все количество, содержащееся в угле.

муфельей применяются для изделий мало чувствительных к перегревам или для изделий одинаковой толщины. В таких случаях печи без муфельей предпочитают муфельным печам, так как нагревание в первых происходит быстрее. Фиг. 24 представляет подобную печь, предназначенную для нагрева молотков. Молотки устанавливаются, как видно из чертежа, на подставках из огнеупорного материала и омываются пламенем, поднимающимся от расположенных ниже колосников. Продукты горения проходят через отверстия между подставками и могут направляться в ту или другую сторону посредством открывания или закрывания одного из двух отверстий *А* во внутреннем своде печи. Благодаря такому устройству тепло распространяется равномерно. Эта печь отапливается углем или коксом. Для усиления горения печь имеет приспособление для дутья, которое подается через помещенную под колосниками трубу. Такой же конструкции печи применяются для нагрева лопат и ложечек (скребков для каменщиков).



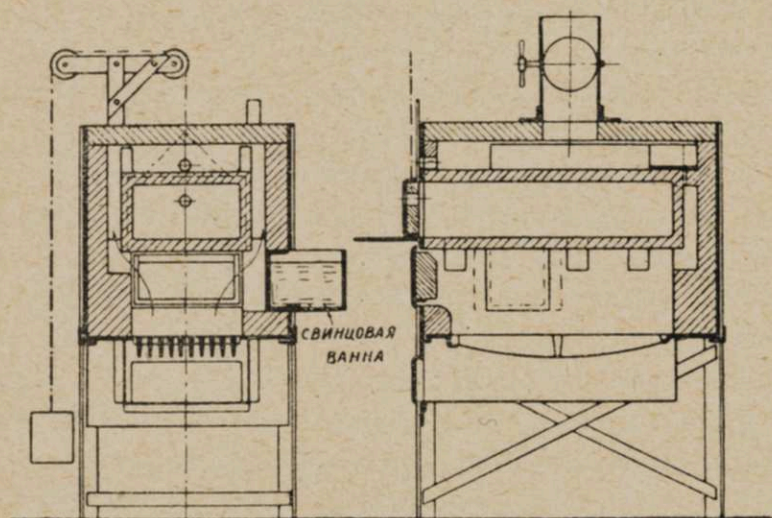
Фиг. 24. Печь без муфеля.

В печах без муфельей можно нагревать различные предметы, напр., круглые пилы, стальные строгала, ножи для бумагорезальных машин и т. п.

Муфельные печи употребляются для более точного нагрева при закалке. От вышеописанных печей они отличаются главным образом тем, что в них над колосниками устанавливается так называемый муфель, представляющий собой закрытый ящик или сосуд из огнеупорного кирпича, графита или литого железа, в который помещаются нагреваемые для закалки стальные предметы.

Изделия из хорошей инструментальной стали должны, как правило, нагреваться в муфельных печах (при отсутствии свинцовой или соляной ванны). При этом предмет хорошо защищен и не соприкасается с пламенем.

Фиг. 25 представляет собой муфельную печь, предназначенную для массовой закалики скобелей. Сбоку устроена свин-



Фиг. 25. Муфельная печь.

цовая ванна, поддерживаемая теплом печи в расплавленном состоянии. В эту ванну погружают для отпуска лезвия скобелей. Дверца муфеля, как видно из чертежа, устроена с передней стороны печи и уравнивается при помощи контр-груза, благодаря которому дверцу можно легко поднимать. Топочная и зольная дверцы, посаженные на петлях, устроены подобно муфельной дверце на передней стороне печи. Продукты горения омывают муфель с обеих сторон, равномерно нагревая его.

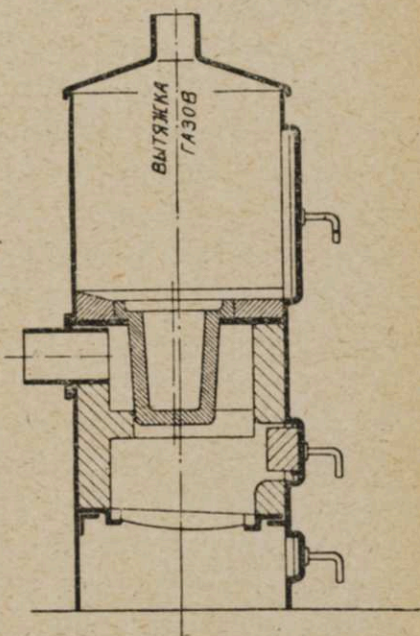
Из предметов, которые для закалики должны быть целиком нагретыми в муфельной печи, можно назвать следующие: штампы, фрезы, бритвы, спиральные пружины и т. п.

Закалочные печи со свинцовой или соляной ванной.

В описанных выше печах изделия нагреваются целиком, что не всегда является желательным: напр., рукоятка пилы не требует нагрева. То же самое в отношении скобелей, у которых должны закаливаться только лезвия. Рукоятки спиральных сверл и некоторых других предметов совсем не должны закаливаться. Подобные предметы, а также некоторые другие могут нагреваться целиком, но закаливаться они должны только частично. Такой способ работы является, однако, нецелесообразным или по меньшей мере неудобным.

Для предметов, требующих частичной закалки, применяются нагревательные печи со свинцовой или соляной ван-

ной. В ванну погружается та часть предмета, которая должна быть закаливается. Изделия в такой ванне защищены от окисления. Свинцовая или соляная ванна нагревается до требуемой температуры в стальном или графитовом тигле, который устанавливается в кирпичной печи немного выше ко-



Фиг. 26. Печь со свинцовой ванной.

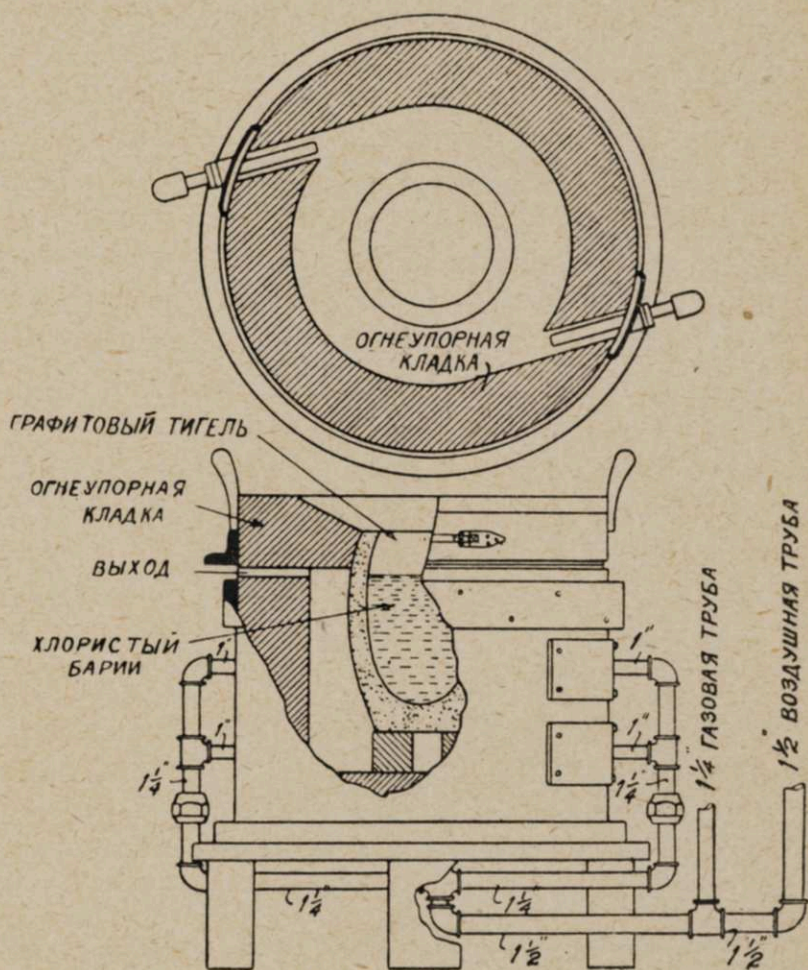
лосников. Фиг. 26 представляет подобную печь, приспособленную как для свинцовой, так и для соляной ванны.

Свинцовая ванна применяется при температурах не выше 850°C , так как при более высоком нагреве свинец образует летучие соединения, вредные для здоровья. Для соляной ванны можно подобрать такой состав, при котором температура плавления соли будет приблизительно совпадать с температурой, необходимой для нагрева изделия. Хлористый барий, часто применяемый за последнее время, в особенности при закалке быстрорежущей стали, плавится при температуре примерно 980°C . Для получения более низкой температуры нагрева можно пользоваться простой поваренной солью (температура плавления 776°C), которая делается более легкоплавкой посредством добавления буры и соды. При закалке быстрорежущей стали необходима температура выше 1100°C , поэтому для этой цели хлористый барий продолжают нагревать до требуемой температуры после его расплавления. Однако, температура не должна быть при этом слишком высокой, так как при перегреве в изделии возникают пороки. 1150°C —наиболее высокая температура, которую можно получить при помощи хлористого бария.

В этих печах можно также нагревать и весь предмет целиком. Топливом во всех приведенных выше печах служит уголь или кокс. Печи могут иметь естественную тягу или дутье. Эти печи, при очень незначительных изменениях в конструкции, могут быть приспособлены для отопления светильным газом или нефтью. В обоих случаях топливо подается через одну или несколько форсунок, устанавливаемых таким образом, чтобы получалось равномерное нагревание. При употреблении нефти последняя подается в печь при помощи дутья под давлением $0,15 \text{ кг/см}^2$ в тонко распыленном виде.

Дутье вместе с нефтью вводится в одну или несколько горелок. Обычно воздух нагревается, проходя через кожух,

устроенный вокруг дымовой печи. Для подачи нефти в горелки можно пользоваться нагретым сжатым воздухом или

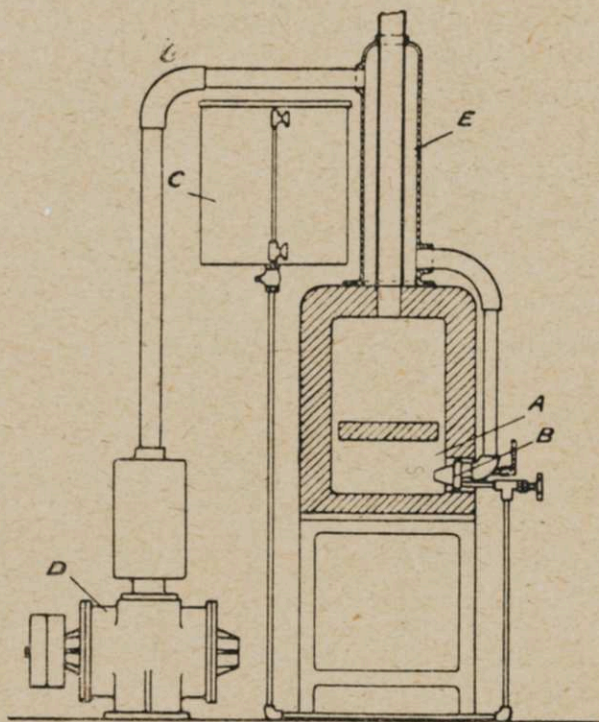


Фиг. 27. Газовая печь с соляной ванной.

паром, вводя его через особую трубу в сопло, подающее нефть. Нефть при этом также нагревается.

Фиг. 27 представляет печь с ванной из хлористого бария, отапливаемую газом. В печи имеются четыре газовых

форсунки, входящие по касательной в кольцевое пространство между тиглем и кладкой. Благодаря такому устройству пламя распределяется более равномерно и не бьет непосредственно в тигель.



Фиг. 28. Нефтяная печь завода Осмунд.

Фиг. 28 схематически изображает печь Осмунда, отапливаемую сырой нефтью. Такие печи применяются на заводе Акц. Об-ва Osmund в Упсале. Горение происходит в особой камере *A*, куда нефть и воздух поступают через форсунки. Необходимый напор нефти достигается тем, что нефтяной бак *C* устраивается на достаточной высоте. Давление воздуха должно быть 1200—1600 мм водяного столба, что осуществляется посредством небольшой воздуходувной машины *D*. Воздух нагревается, проходя через кольцевое

пространство *E*, устроенное вокруг дымовой трубы. Нагреваемый предмет помещается на полке, находящейся над камерой *A*.

В нижеследующей таблице проводятся данные о расходе воздуха и нефти для 3-х различных печей описанной конструкции.

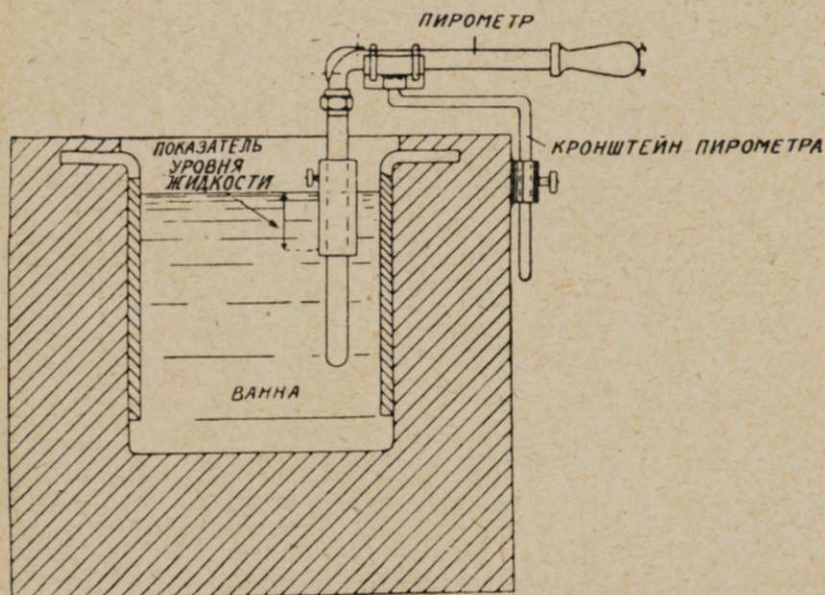
Размеры рабочего пространства.			Кол. дутья в м ³ /мин.	Давление воздуха в мм вод. столба	Часовой расход нефти в кг
Ширина в мм	В ы с о т а				
	раб. про- стран в мм	кам. горе- ния в мм			
200	400	200	1 —1,5	1200—1600	2—4
300	600	200	1,5—2	1200—1600	4—6
600	750	390	4 —5	1200—1600	8—10

В заключение нужно указать еще на печи с соляной ванной, нагреваемые при помощи электрического тока. Эти печи обладают большими преимуществами, так как они удобны в обращении и в них легко регулируется температура. Соляная ванна помещается в огнеупорном тигле четырехугольной формы или в особом пространстве из огнеупорного кирпича. Во избежание потери тепла от лучеиспускания, ванна окружается асбестовой засыпкой и толстой кирпичной кладкой. Между кладкой и кожухом кладется еще слой асбеста.

На двух (или четырех) противоположных сторонах соляного вместилища устроены железные электроды, имеющие очень высокую температуру плавления. Присоединение к электродам внутри печи производится мягким железом, а снаружи медью. Электрический ток идет от вторичной обмотки трансформатора. В трансформаторе нормальное напряжение тока, поступающего в первичную обмотку, изменяется в более низкое — от 5—60 вольт. Для получения требуемой

силы тока, а следовательно соответствующей температуры соляной ванны нужно только включить или выключить ряд витков первичной обмотки.

Нагрев в печи очень равномерный и достигает 1350°C . Благодаря хорошей изоляции соляной ванны, потеря тепла от лучеиспускания кладки и стенок печи незначительна.



Фиг. 29. Электрическая закалочная печь с соляной ванной.

Фиг. 29 изображает в разрезе соляную ванну с электродами и установкой пирометра в печи. В таких электрических закалочных печах, изготавливаемых Всеобщей Компанией Электричества в Берлине, можно поддерживать строго определенную температуру посредством изменения силы тока, контролируемый амперметрами. Пирометр в этой печи, как и во многих других случаях, имеет очень большое значение, являясь единственно верным средством определения правильности температуры нагрева изделия. Нижеследующая таблица температур и цветов каления может служить руководством

в тех случаях, когда температура определяется по цвету каления материала.

Ц в е т а	Температуры ° С
Ослепительно-белый	выше 1500°
Ярко-белый	» 1350°
Белый	» 1300°
Светло-оранжевый	» 1200°
Темно-оранжевый	» 1100°
Светло-вишнево-красный	» 1000°
Вишнево-красный	» 900°
Темно-вишневый	» 800°
Темно-красный	» 700°
Красное каление в темноте	» 500°

Способы охлаждения при закалке.

Главнейшими средствами охлаждения при закалке являются следующие: вода, рыбий жир, тюлений жир, минеральные масла, вареное льняное масло (олифа), нефть, мазут, серная кислота (2-х процентный раствор), ртуть, говяжье сало и воздух. Первые из перечисленных являются обычными охладителями при закалке. Для увеличения теплопроводности воды иногда добавляют поваренную соль или серную кислоту. Для уменьшения же теплопроводности воды и, следовательно, для менее быстрого охлаждения добавляется мука, глицерин и известь. Чистая вода при нормальной комнатной температуре, т.-е. при $16—20^{\circ}\text{C}$, является самым обычным охладителем. Холодная вода закаливает сильнее, но при этом является опасностью образования закалочных трещин.

Для предотвращения сильного перегрева воды в процессе закалки закалочный бак делают больших размеров. Обычно он имеет около 1,5 метра длины и ширины и 0,8 метра высоты. Часто с внутренней стороны бак, особенно когда применяется добавление в воду кислот, обшивается свинцовыми листами, увеличивающими его стойкость. В тех случаях, когда при закалке употребляется чистая вода, в баке устраивается особое приспособление для циркуляции воды. Закалочная жидкость может охлаждаться посредством специальных охладительных труб, устроенных в закалочном баке. Для удобства закалки мелких деталей в баке ниже поверхности воды подвешивается корзина или решетка из стальной проволоки. Для регулирования и циркуляции воды выпуск-

ная труба устраивается в днище бака, впускная же труба помещается над баком, позволяя в случае надобности устраивать души *).

Остальные указанные выше закалочные жидкости почти все являются более слабыми охладителями. Применение этих жидкостей уменьшает возможность образования закалочных трещин. Из них чаще всего применяются масла. При меняющейся закалочной среде водяные и масляные баки устраиваются один подле другого. В некоторых случаях приходится охлаждать изделие сначала в воде, а потом в масле. Для той же цели иногда поверх воды в бак наливается довольно высокий слой масла. Раскаленный предмет, проходя через слой масла, покрывается тонким слоем сажи и нагретого масла. Сажа и масло являются плохими проводниками тепла и охлаждение поэтому происходит медленнее. Более жирные масла, как правило, закаливают слабее, нежели менее жирные.

Серная кислота, в противоположность маслам, закаливает сильнее, чем вода **). В отношении закалочных трещин серная кислота дает такие же результаты, как и вода. Очень часто, поэтому, применяется смесь воды и серной кислоты. Ртуть, обладающая большей теплоемкостью, также дает очень сильную закалку ***), но благодаря своей высокой стоимости

*) Значительно лучшие результаты дает подвод воды снизу и с удалением горячей воды сверху. Имеются также устройства с подводом струи воды во внутрь бака, до половины его высоты; при этом получается хорошее перемешивание жидкости. Во всяком случае, всегда должна быть предусмотрена достаточная циркуляция жидкости, обеспечивающая поддержание температуры в баке на постоянном уровне. См. также Том V, стр. 248.

**) Водные растворы солей и кислот дают те же скорости охлаждения, как и чистая вода. Применение кислот обеспечивает удаление пленки окислов, образующейся на изделии при его нагревании.

***) Это мнение теперь оставлено и в отношении скорости охлаждения ртути приравняется кипящей воде. Объяснение этому находится в том, что закалочный эффект жидкости заключается не в теплопроводности

она имеет практическое значение только для небольших предметов, напр., в часовом производстве. При применении серной кислоты или ртути всегда необходимо иметь специальные приспособления для удаления ядовитых газов.

Быстрорежущую сталь нельзя закаливать в воде, так как при этом образуются закалочные трещины. Для закалки быстрорежущей стали обычно применяют вареное льняное масло или говяжье сало, которые делаются более жидкоподвижными посредством нагревания приблизительно до 60°C ; а также воздух из вентиляторов или компрессоров. При этом нужно всегда помнить, что воздух с высоким давлением, напр., 6—7 кг/см^2 , сильнее закаливает, нежели более слабая струя воздуха давлением примерно 500 мм водяного столба (т.-е. 0,05 кг/см^2). Более высокое давление достигается обычно в компрессоре, а низкое—в вентиляторе. Недостатком воздушного охлаждения является неравномерность закалки.

и в теплоемкости охлаждающей жидкости, а в скрытой теплоте парообразования таковой и в быстром увлечении от закаливаемого изделия образующихся пузырьков пара. Это обстоятельство и способствует быстрому отнятию тепла от нагретого тела, помещенного в подобную среду для закалки.

Практические приемы закалки.

Насколько несложна закалка простого стального изделия посредством нагревания и последующего охлаждения, настолько затруднительна и требует большой осторожности закалка крупных и ответственных предметов сложной формы.

Большим недостатком при закалке, особенно какого-либо сложного предмета, является образование так называемых закалочных трещин. Предмет после закалки может получить трещину и стать негодным. Недостатком закалки является также «усадка» и коробление, которые могут быть иногда столь значительны, что выправить изделие бывает невозможно. Насколько важно избежание закалочных трещин, легко понять из того, что изделие во многих случаях перед закалкой подвергается сложной и тяжелой обработке, которая пропадает совершенно напрасно в случае образования трещин.

Нагрев предмета для закалки и его охлаждение должны производиться как можно более равномерно. Если закалке должна подвергаться только какая-нибудь часть предмета, как, напр., при закалке зубил или резцов, то граница между закаленной и незакаленной частями не должна быть резкой. Неравномерное нагревание или охлаждение вызывает образование трещин, если предмет неправильной формы и не одинаковой толщины. Тонкие части изделия, которые охлаждаются в первую очередь, уже не сжимаются в дальнейшем при охлаждении более крупных частей. По той же самой причине неоднородное изделие легче коробится, нежели более однородное. Примером может служить закалка полукруглых

напильников. Пила при охлаждении в большинстве случаев изгибается в дугу, в то время как плоские четырехугольные или круглые пилы коробятся очень незначительно. Предмет, имеющий неодинаковую толщину, должен по возможности погружаться в закалочную жидкость сначала более крупными частями, благодаря чему охлаждение всего предмета получается более равномерным. Имеются также и другие средства предотвращения усадки и трещин при закалке, напр., при закалке пил или больших плоских фрез закаливаемый предмет зажимают между железными плитами, которые нагреваются и охлаждаются вместе с закаливаемым предметом.

При закалке стальных валов образование трещин устраняется посредством железных колец, которые в нагретом состоянии одеваются на концы вала. При остывании они сжимаются и стягивают вал.

Цилиндрические предметы с выточками, легко дающими закалочные трещины, предохраняются посредством асбестовой накладки, помещаемой на слабое место.

Напильники, чаще всего коробящиеся при закалке, охлаждаются не полностью. Они вынимаются из закалочной жидкости при такой температуре, при которой они еще шипят в воде. Пилы зажимают одним концом между двумя укрепленными железными полосами, находящимися на расстоянии 100 мм друг от друга, и поливаются сверху водой. Правка пил производится вручную при помощи надавливания на один конец пилы в требуемом направлении. При поливании сверху пила снова сокращается и таким образом при умелом повторении этого приема пила получается совершенно прямой.

Длинные предметы, как, напр., напильники, сверла и т. п. при охлаждении должны вводиться в вертикальном положении, потому что при введении подобных предметов в горизонтальном положении их собственный вес способствует изгибу. В течение всего процесса охлаждения закаливаемый предмет необходимо водить вверх и вниз, для того, чтобы возникаю-

щие пузырьки пара улетучивались и не изолировали закаливаемый предмет.

Изделие, которое должно получить только частичную закалку или особенно высокую твердость в некоторых своих частях, может, если форма предмета того требует, охлаждаться струей воды. Напр., молоток закаливается следующим образом: задок молотка погружается в воду, в то время как боек поливается сверху водой из трубы. Боек и задок таким образом закаливаются; средняя же часть остается мягкой. Изделия или предметы кольцевой формы или с выемками, напр., клепальный молоток и т. п., лучше всего закаливаются, будучи помещенными под бьющую вертикально струю воды. Червячные фрезы закаливаются лучше всего при охлаждении их сильным душем, направленным на предмет со всех сторон. При охлаждении их в водяной ванне обычным способом почти всегда образуются закалочные трещины. В том случае, когда предмет необходимо предохранить от окисления, весьма важно выбрать соответствующий способ нагрева изделия. В результате окисления на поверхности изделия возникают мягкие «флеки» *) (пятна), совершенно меняющие свойства материала.

Когда нагревание напильников для закалки происходит в свинцовой ванне, то перед нагревом пилы засыпаются костяной или ржаной мукой, чтобы воспрепятствовать свинцу завязнуть между зубцами, а также в целях предохранения пил от окисления.

Инструменты с очень острыми углами и краями легко могут перегреться и потрескаться при охлаждении, поэтому их закаливают до придания им окончательной острой формы. Требуемая форма придается им после закалки посредством обработки на наждачном круге (шлифовкой). При нагреве для закалки изделие должно быть хорошо прогретым не только

*) Этот термин обычно употребляют для обозначения особых пороков, свойственных хромониккелевой стали.

Примеч. перев.

с поверхности, но и внутри. Для этой цели изделие необходимо нагревать до соответствующих температур и достаточно долго выдерживать в нагревающей среде. Однако, слишком продолжительное нагревание также бывает вредным. Изделие при перегреве может изменить свой состав, окислиться, терять или заимствовать углерод и т. п., поэтому нагревание должно соответствовать величине предмета. То же самое относится и к охлаждению. Небольшой предмет охлаждается быстрее при одних и тех же условиях, чем более крупный предмет, поэтому, когда требуется придать одинаковую твердость предметам различной величины, охлаждение крупных предметов форсируется, а охлаждение небольших предметов ведется медленнее.

Для определения надлежащих температур нагрева для закалики различных изделий поступают следующим образом. На некотором расстоянии от конца на полосе данного материала делаются насечки, после чего полосу нагревают в кузнечном горне. Части, находящиеся ближе к концу полосы, нагреваются сильнее, в то время, как более удаленные нагреваются меньше. Насечки делаются на достаточном расстоянии друг от друга. После охлаждения полосу разрубают в засеченных местах на небольшое количество кусков, имеющих различную твердость и различный излом. По виду излома можно легко судить, какая температура была наиболее пригодной для нагрева и в дальнейшем руководствуются полученными температурами. Определение температуры по цвету побежалости очень затруднительно и требует большого навыка.

Вышеприведенные правила относятся также до некоторой степени и к быстрорежущей стали. Быстрорежущая сталь требует всегда более умелого обращения, чем углеродистая сталь, как при нагреве, так и при охлаждении, ибо опасность образования трещин в быстрорежущей стали значительно больше. Быстрорежущую сталь вначале необходимо медленно подогреть до нескольких сот градусов Цельсия (напр., в откры-

том кузнечном горне *). Собственно нагревание также происходит вначале медленно до цвета темно-красного каления в темноте, а затем быстрее. Если не имеется специальной печи, то закаливается предмет помещают в ящик из котельного железа, наполненный сухим размолом древесным углем и закрывают герметически крышкой. При таком способе изделие можно нагревать в обычной пламенной печи. Толщина древесноугольного слоя между изделием и стенками ящика должна быть 20—30 мм, в зависимости от величины предмета. Очень важно следить за тем, чтобы древесноугольный порошок при нагревании не высыпался и не сгорел, и не обнажил бы таким образом изделия. Ящик при этом необходимо время от времени поворачивать, для того, чтобы нагревание происходило равномерно. При нагреве изделия из быстрорежущей стали в простом кузнечном открытом горне предмет предохраняют от окисления, засыпая его обожженной бурой или стеклянным порошком. После закалки, отпуска или вообще после нагрева изделие нельзя оставлять в холодном или сыром месте до тех пор, пока оно не примет комнатной температуры, так как в противном случае в изделии легко могут образоваться закалочные трещины.

*) Лучше — в муфельной печи.

Отпуск и отжиг.

При медленном нагреве стального изделия с полированной поверхностью последняя окрашивается пленкой окислов, которая по мере повышения температуры изменяет свою окраску, принимая более темный цвет. Поэтому изделие, предназначенное для отпуска, полируется наждачной бумагой. Благодаря чему облегчается наблюдение над цветами отпуска. Этот метод применяется в тех случаях, когда не имеется других способов определения температур отпуска. На практике, нагревая изделие в течение короткого времени до определенной температуры, можно получить требуемый цвет побежалости; тот же цвет можно получить при нагреве изделия до более низкой температуры, но уже в течение более продолжительного срока. При отпуске понижается твердость и увеличивается упругость материала.

Таблица температур, соответствующих различным цветам побежалости.

Температуры:	Цвета:
200° С	соломенно-желтый.
240° С	темно-желтый.
250° С	светло-коричневый.
265° С	красно-коричневый.
275° С	пурпурно-красный.
285° С	фиолетовый.
295° С	темно-синий.
315° С	голубой.
330° С	серый (цвет морской воды).

Точно установить определенные цвета побежалости для различных предметов невозможно, так как температура отпуска зависит не только от назначения данного предмета, но и от твердости стали, из которой изготовлен отпускаемый предмет.

Левенгерц (Löwenherz) установил следующие правила для отпуска стали:

1. Если охлаждение при отпуске происходит на открытом воздухе, то на стальных изделиях одинаковой формы, твердости и состава соответствующие цвета побежалости образуются при одной и той же температуре и почти в одно и то же время.

2. При отпуске предметов различной формы условия возникновения цветов побежалости уже другие. Произведенные исследования показали, что с изменением формы предмета меняется и характер нагрева. При нагреве до одинаковых температур предметов разной формы на них образуются неодинаковые цвета побежалости.

3. Чем тверже изделие, тем выше при прочих равных условиях должна быть температура образования соответствующих цветов побежалости.

4. Состав стали в этом отношении имеет еще большее значение, чем твердость стали.

Приводимые данные о цветах побежалости для отпуска различных стальных изделий, подобно уже приведенным выше, являются приблизительными.

П р е д м е т:

Ц в е т:

Скрепки, фрезы, спиральные сверла для металлов, буравы, пробойники для меди и кожи, граверные стихеля, бритвы, ножи для жатвенных машин, инструменты для резки бумаги.	}	От соломенно-желтого до темно-желтого.
Дыропробивные штампы, зубоврачебные инструменты.		
	}	Светло-коричневый.

П р е д м е т:	Ц в е т:
Ножовки, стамески, топоры, инструменты для обработки камней, горные буравы, лезвия перочинных ножей.	Красно-коричневый.
Ножи машинок для стрижки, столярные железки, полукруглые пилы, иголки.	Пурпурно-красный.
Иголки, отвертки, рессоры	Фиолетовый.
Сверла для дерева, перки, лезвия машин для строгания дерева, фрезы для дерева.	Темно-синий.
Экипажные рессоры; круглые пилы для металла, кости, рога и дерева, спиральные пружины.	Голубой.

Однако, возможны отклонения от этой таблицы, так, напр., твердые сверла отпускаются до красно-коричневого цвета и т. п. Как правило, установлено, что инструмент, сделанный из твердой стали, устойчивее инструмента из мягкого материала. Последний требует более сильной закалки и меньшего отпуска. Самым простым способом, пригодным для предметов, подвергающихся частичной закалке, как, напр., зубила, резцы токарные и строгальные и т. п. — является охлаждение только той части инструмента, которая должна закаливаться. Отпуск закаленной части происходит за счет теплоты не охлажденной части. Для наблюдения за цветами побежалости необходимо быстро очистить часть поверхности инструмента. Этот способ, однако, не годится для предметов, закаливаемых целиком. В последнем случае необходимо помещать изделие на раскаленный до-красна железный или стальной брусок или, что еще лучше, на плиту, устанавливаемую над кузнечным горном, покрываемую слоем песка. Эти способы отпуска являются простейшими. Они применяются для несложных предметов, не требующих более рациональной обработки. При отпуске пользуются вышеописанными закалочными печами, подобными изображенным на фиг. 24 или 28, в которых устанавливается покрытая песком плита. Для отпуска печи не должны, конечно, так сильно нагреваться, как перед закалкой. От-

пуск определяют температурой песка, измеряемой термометром или, как указано выше, руководствуются цветами побежалости изделия. Нагревание предмета в песке происходит равномернее. Нагрев изделия в печи получается более равномерным, чем нагрев в кузнечном горне.

Лучшим способом отпуска является употребление масляной или свинцово-оловянной ванны для нагрева. Преимущества этого способа заключаются отчасти в том, что изделие отпускается совершенно равномерно и таким образом устраняется возможность коробления, и отчасти в том, что определение отпуска не зависит от изменения цветов побежалости, так как температура отпуска в этом случае измеряется термометром или пирометром. При применении масел температура воспламенения должна быть достаточно высокой во избежание несчастий. Лучше всего применять свиное сало, которое загорается при температуре около 300°C . Обычно при отпуске применяются невысокие температуры, но тем не менее приходится соблюдать большую осторожность при нагреве. Печи должны иметь приспособления для вытяжки газов. Газовая печь удобнее всего, так как нагрев печи легко регулируется.

При применении ванны из свинцово-оловянного сплава к определенной части свинца добавляется некоторое количество олова. Температура плавления сплава должна соответствовать требуемой температуре отпуска. Для предотвращения чрезмерного повышения температуры часть сплава почти всегда остается в ванне нерасплавленной. В некоторых случаях закалка и отпуск производятся одновременно. Для этой цели изделие охлаждается не в воде, а в свинцово-оловянной ванне, температура которой соответствует температуре, требующейся для отпуска. Такой способ является дорогим, так как значительная часть сплава при погружении в него нагретого до температуры закалки предмета окисляется. При обычном отпуске в ванне из сплава окисления не происходит.

Состав свинцово-оловянных ванн для различных температур отпуска:

2 части свинца, 1 часть олова	225°C
9 " " 4 части "	240°C
3 " " 1 часть "	250°C
9 " " 2 части "	263°C
Чистый свинец	327°C

Нагрев масел или сплава для отпуска может происходить в печах, подобных вышеописанным закалочным печам (см. фиг. 26 и 27).

По достижении требуемой для отпуска температуры изделие охлаждается в воде. Во избежание трещин отпуск должен производиться тотчас же после закалки.

Все вышеизложенное полностью относится к углеродистой стали. Отпуск специальной стали производится реже, но иногда, в особенности для некоторых сортов стали, является очень полезным, увеличивая стойкость стали. Обычная температура отпуска быстрорежущей стали 500—600°C, т.-е. красное каление, заметное в темноте. Нагревание для отпуска, как и для закалки, должно производиться медленно, до тех пор, пока изделие не будет хорошо прогрето. Особенно важно следить за тем, чтобы острые углы или края не нагревались слишком сильно, поэтому лучше всего отпуск производить в свинцовой ванне и охлаждение в масле.

Отжиг стали отличается от отпуска тем, что материал нагревается до более высокой температуры, а остывает после нагрева очень медленно, по крайней мере до того момента, когда определение температуры по цвету каления становится невозможным. Отжиг особенно мелких изделий может производиться в простом горне, в котором нагретый предмет зарывается в золу. При другом, также простом, способе отжига изделия прослаиваются, засыпаются древесным углем и окружаются кирпичами, после чего зажигают уголь, который

горит, нагревая изделие, а затем все медленно остывает. Такой способ работы обычно проводится в простом кирпичном кузнечном горне и применяется для отжига наиболее простых изделий в небольшом количестве. Прежде всего необходимо следить за тем, чтобы было достаточное количество древесного угля и, следовательно, достаточное количество золы, которой предмет должен быть закрыт.

Для более ответственных небольших предметов наиболее пригодны печи, изображенные на фиг. 25 и 28. Для крупных изделий, а также для большой производительности применяются специально сконструированные печи, в которых предметы медленно нагреваются до-красна, после чего печи погашаются и изделия остывают вместе с печью.

Благодаря разнообразию предметов, подвергающихся отжигу, конструкции отжигательных печей сильно отличаются друг от друга. От хорошей отжигательной печи прежде всего требуется равномерная температура нагрева, которая не могла бы чрезмерно повышаться, а также возможность медленного остывания отжигаемых предметов в печи. Очень важно также предохранить изделие от химического воздействия пламени, которое поэтому должно быть восстановительным или нейтральным. Благодаря восстановительной атмосфере печи изделие предохраняется от окисления. Всем этим требованиям скорее всего удовлетворяют газовые печи, которые поэтому за последнее время стали часто применяться. Эти печи легко регулируются и пламя в них распределяется равномерно, независимо от формы печи. Подогрев воздуха для горения в таких печах производится обычно в рекуператорах, т.-е. находящихся под печью камерах, нагреваемых продуктами горения. Подогрев воздуха может производиться также посредством пропускания его через каналы в стенках и своде печи. Подогрева газа не производится.

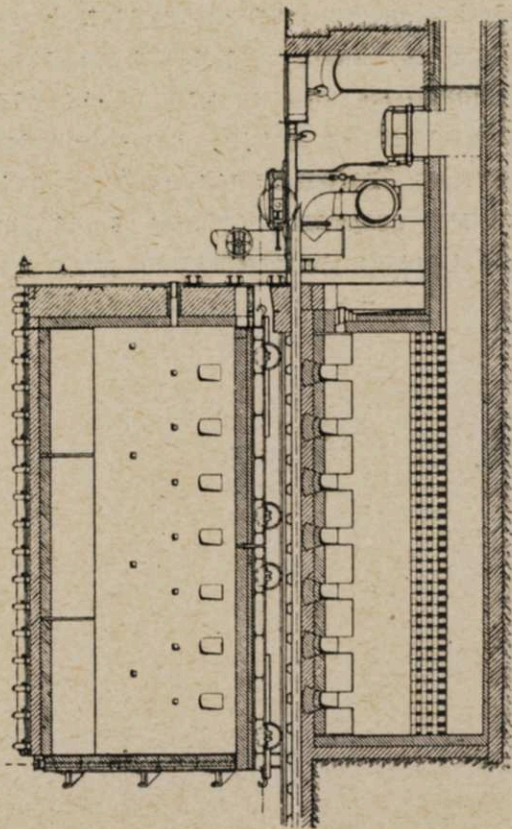
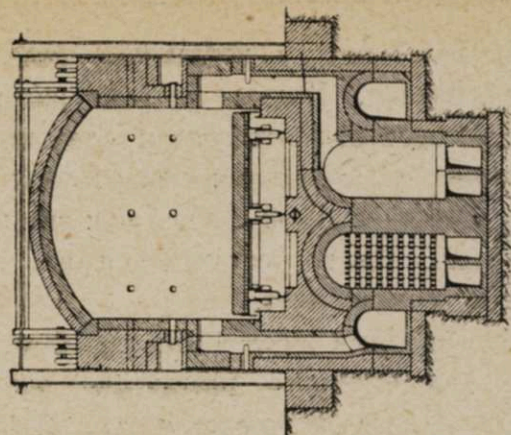
Фиг. 30 представляет современную печь для отжига больших стальных отливок (фирмы Фридрих Сименс в Бер-

лине). Печь может отапливаться доменными или другими газами. Воздух нагревается в двух, находящихся под печью, камерах. Изделие подается на тележке, которая остается в печи в продолжение всего процесса отжига.

Более чувствительные изделия помещаются в ящиках из котельного железа, которые затем нагреваются в печах описанной конструкции. Этот способ является, однако, более дорогим, чем непосредственное нагревание, отчасти благодаря тому, что расход топлива здесь больше, а отчасти вследствие того, что употребляемые при этом ящики постепенно перегорают и часто приходится их заменять новыми.

Приведенные здесь печи, наиболее часто употребляемые, являются пламенными печами. Для отжига применяются также и шахтные печи. Шахтные печи отапливаются древесным углем, коксом или дровами, сгорающими на колосниках, устроенных выше лещади печи. Выше шахта разделяется горизонтальной перегородкой из огнеупорного материала или котельного железа, защищающей изделие от пламени. Продукты горения проходят через отверстия в этой перегородке, устроенные у стенок печи. На этой перегородке или, так сказать, на втором этаже шахты устанавливается изделие через дверцу, устроенную на той же стороне печи, что топочная и зольная дверцы. Над отжигательным пространством имеется свод, в котором устроены два отверстия одно подле другого, отводящие продукты горения в дымовую трубу. Отверстия открываются или закрываются при помощи двух шиберов. Благодаря этому тепло распределяется в печи более равномерно.

Отжиг быстрорежущей стали происходит в некоторых случаях почти так же, как и отжиг углеродистой стали; единственное различие заключается в том, что нагревание производится так же медленно, как и при закалке. Завод Содерфорс (Söderfors) рекомендует помещать изделие в древесноугольном



Фиг. 30. Печь для отжига стальных отливок.

порошке в трубу или ящик из котельного железа, подобно нагреванию для закалки. Изделие должно нагреваться до желтого каления, которое поддерживается в течение 3—5 часов, после чего ящик с содержимым покрывается сверху сухой золой или древесноугольной мелочью и медленно остывает. Рекомендуются, однако, оставлять ящик, давая ему остывать в печи в течение ночи.

Имеется более быстрый способ отжига быстрорежущей стали, который дал отличные результаты на практике. По этому способу изделие нагревается до 700°C и охлаждается на воздухе, затем оно снова нагревается до той же температуры в течение короткого времени, до тех пор, пока не получается уверенность в том, что изделие хорошо насквозь прогрето, после чего ему дают остыть и охлаждают в масле.

Термическая обработка стали имеет очень большое значение. Ответственные сорта стали, в особенности самые лучшие, могут лишиться, благодаря неумелой термической обработке, своих ценных качеств, которые в дальнейшем во многих случаях не удастся восстановить даже при помощи новой обработки.

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Красная медь.

Медь с ее сплавами относится к числу важнейших металлов машиностроения, занимая по своему значению первое место после железа.

В природе медь встречается в самородном виде (сравнительно редко), в окисленном (куприт Cu_2O , малахит), в соединении с серой (медный колчедан $Cu Fe S_2$), а также в виде некоторых солей. Медь получается обычно из медного колчедана, который, подобно медному блеску, встречается в большом количестве и представляет собой сернистое соединение. Цвет меди красноватый, при окислении он переходит в пурпурно-красный. Литая медь имеет мелкозернистый или полосатый излом, который после прокатки приобретает волокнистое строение с характерным бледно-красным шелковистым блеском.

В меди встречаются, в химически связанном с ней виде, примеси, оказывающие влияние на ее свойства: висмут, мышьяк и сурьма, а также сера, железо, свинец, никкель, цинк и др. Последние присутствуют обычно в меди в небольшом количестве и не имеют особого практического значения. Из перечисленных элементов висмут для меди является наиболее вредным; при содержании висмута 0,02% медь становится красноломкой, а при 0,05% висмута приобретает хладноломкость.

Мышьяк увеличивает прочность меди, если он присутствует в количестве меньшем 0,5%. Бóльшее же количество мышьяка вредно, так как он делает медь непригодной для

получения латуни, а также для изготовления электрических проводов вследствие того, что уже при наличии в металле 0,005% мышьяка электропроводность понижается.

Сурьма в количестве меньшем 0,5% не оказывает вредного влияния, если только металл не предназначается для приготовления желтой меди (латуни). В последнем случае содержание сурьмы не должно превышать 0,01%. До 0,5% сурьма увеличивает прочность. 1% сурьмы делает медь красноромкой.

В расплавленном виде медь жадно поглощает газы. Кислород растворяется в меди и образует закись меди (Cu_2O), которая понижает прочность металла. Присутствие закиси меди в незначительном количестве не очень сильно влияет на электропроводность, но зато вязкость меди понижается довольно значительно. Кроме кислорода, медь поглощает водород, окись углерода и сернистый ангидрид, поэтому при отливках из чистой меди трудно получить не пузыристое изделие.

С упомянутыми газами борются помощью присадок, особенно фосфора, марганца и кремния, образующих при этом те или иные соединения, переходящие в шлак во время плавки.

Рыночная медь содержит большею частью 99,5% металлической меди. Электролитическая медь, приготовляемая особым способом, чище (электролитическое раффинирование). Вследствие большой электропроводности электролитическая медь применяется для осветительных проводов и т. п.

В отношении прочности медь уступает только железу и никкелю. Сопротивление разрыву у отожженной меди 20—24 кг/мм² при удлинении 40—36%. Обработанный материал имеет сопротивление разрыву 24—25 кг/мм² при удлинении 36—10%. При нагревании прочность понижается: при 150°С медь обладает только 90% своей нормальной прочности, при 350° — 65% и при 500° — 40%. При температуре около 1000°С металл становится настолько хрупким,

что его можно превратить в порошок. Свариваемость меди очень незначительна и происходит она при светло-красном калении.

Отличительным свойством меди является ее текучесть, благодаря которой металл может обрабатываться в холодном состоянии. Медь применяется для любой штамповочной работы. Медь тверже серебра, но мягче платины. При холодной обработке твердость меди увеличивается*), поэтому ее приходится отжигать, после чего становится возможной дальнейшая обработка.

Медь плавится при температуре 1084°C и кипит при 2100°C . Однако, в зависимости от степени чистоты продажной меди, ее точка плавления претерпевает известные колебания. В расплавленном состоянии медь мало подвижна и поэтому мало пригодна для литья. Плавкость меди зависит также и от температуры, так что нужно обладать большой опытностью при отливках из чистой меди. Отливки из чистой меди применяются очень редко, так как в этом случае почти невозможно избежать возникновения пузырей. Для устранения пузыристости добавляется какой-нибудь раскислитель: фосфористая медь, марганцовая медь, кремнистая медь, цинк и т. д.

Удельный вес чистой меди 8,9, но продажная медь, в зависимости от степени чистоты, имеет удельный вес в пределах от 8,2 до 8,5. Медь является хорошим проводником тепла и электричества. По сравнению с серебром теплопроводность меди выражается отношением 89:100, а электропроводность — 91:100. Электропроводность металла, как уже выше отмечено, в значительной мере зависит от чистоты металла. В сухом воздухе при нормальной температуре медь достаточно стойка и не окисляется; в сыром же воздухе медь покрывается тонкой пленкой окислов, имеющей

*) Влияние наклепа.

зеленоватый оттенок (патина); эта пленка предохраняет металл от дальнейшего окисления. Органические кислоты, жиры, масла и т. п. также окисляют медь. При нагревании на воздухе медь покрывается темной пленкой окислов, которая в металл, однако, глубоко не проникает, благодаря этому металл без ущерба выдерживает повторные нагревания.

Наилучшим способом испытания качества меди является испытание на удар. Последнее заключается в том, что брусок меди круглого или квадратного сечения сильным ударом разбивается на несколько частей. Если медь вязка, то при этом не образуется никаких трещин, если же она хрупка, то в таком случае всегда будут возникать трещины.

Кроме электротехники, медь применяется для кровель, баков для горячей воды, пивоваренных котлов, труб для горячей воды, а также во многих других случаях, когда нельзя применять железо из-за его ржавления. Медь является основным металлом в некоторых очень употребительных сплавах (см. ниже — бронзы и латунь).

Цинк.

Главными цинковыми рудами являются: цинковая обманка (сернистый цинк, сфалерит ZnS), с содержанием цинка 60—70%, цинковый шпат или галмей ($ZnCO_3$), содержащий 50—55% цинка, и кремнекислый цинк или каламин ($Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$) с содержанием около 54% Zn . Первый минерал есть соединение цинка и серы, галмей же является цинковым карбонатом. Цвет цинка серовато-белый, с голубоватыми прожилками. Излом блестящий и крупно-слоистый. Большая или меньшая мелкозернистость металла зависит не от быстроты остывания, а от температуры отливки. Если металл перед остыванием был нагрет до-красна, то он получает крупнокристаллический излом; наоборот, если металл перед остыванием был нагрет только до темпе-

ратуры плавления, то он получает мелкозернистый излом. В холодном состоянии поэтому цинк хрупок, не куется и не прокатывается. При температуре 100—150°C из цинка легко изготавливаются листы и проволока, а при 205° его можно растолочь в порошок.

Продажный цинк обычно встречается в соединении со свинцом, кадмием, железом, а иногда с оловом, сурьмой и некоторыми другими элементами. Из перечисленных элементов свинец оказывает наиболее сильное влияние, делая цинк мягким и хрупким. Свинец допускается в цинке в количестве не выше 3%. При 3% свинца цинк не поддается прокатке; при 1,5% он уже прокатывается. Сырой цинк обычно содержит 2—3% свинца, понижающийся до 1% при раффинировке. Свинец оказывает неблагоприятное влияние также и на сплавы цинка. Остальные примеси встречаются обычно в таком небольшом количестве, что их влияние на свойства цинка не имеет практического значения. При наличии примесей в значительном количестве в большинстве случаев металл становится более твердым и хрупким.

Сопротивление разрыву достигает 2,5—3 кг/мм² для литого металла и 15—20 кг/мм² для прокатного при удлинении 15—17%. С повышением температуры увеличивается до известного предела прочность цинка; при 150°C прочность на 85% больше, чем при нормальной температуре, но после этого она снова уменьшается. Удельный вес колеблется от 7,1 (литого цинка) до 7,3 (прокатанного цинка).

Цинк плавится при температуре 419°C, а при 900°C он начинает испаряться, с образованием окиси цинка. При охлаждении цинковые пары могут снова сгущаться в жидкий металл. Пары цинка, предоставленные воздействию кислорода воздуха, начинают энергично окисляться и образуют беловато-зеленое пламя. Горение цинка начинается приблизительно при температуре 500°C, поэтому при плавке чистого цинка необходимо остерегаться перегрева металла. Для по-

лучения чистой металлической поверхности расплавленная ванна засыпается нашатырем, который уменьшает окисление.

Цинк легкоплавок и жидкоподвижен, поэтому он хорошо отливается. Цинк применяется для художественного литья и т. п. Усадка цинка довольно большая — 1,6%.

На сухом воздухе цинк окисляется слабо, а на влажном более энергично. Образующаяся при этом пленка защищает металл от дальнейшего окисления. Холодная или горячая вода не оказывает обычно влияния на цинк, за исключением тех случаев, когда в воде содержится углекислота. Цинк растворяется почти во всех кислотах, с выделением водорода.

Характерным свойством цинка является его способность давать сплавы с другими металлами: главным образом с медью, алюминием, оловом, железом и свинцом.

Для раскисления цинка при плавке добавляется фосфор или чистый марганец. Цинк применяется в виде листов для крыш, ванн, ведер и т. д.; из литого цинка делаются многие предметы домашнего обихода. Цинковые трубы прокатываются из пустотелых литых болванок. Большое значение имеет оцинкование железа, с целью предохранения его от ржавления; точно так же оцинковываются и телеграфные провода.

Олово.

Единственной рудой, из которой получается олово, является оловянный камень или касситерит — минерал, состоящий из окиси олова, окиси железа, кремнекислоты и т. д. (с содержанием 75—77% олова).

Олово имеет серебристо-белый цвет, часто переходящий в голубоватый, а также сильный блёск. Излом олова кристаллический, он легко распознается по характерному хрустящему треску при сгибании оловянных полос. Этот треск (т. наз. крик олова) вызывается трением кристаллов друг о друга. При травлении луженых железных листов также возникает кристаллизация в виде рисунков, похожих на ледяные узоры.

Из примесей олово чаще всего содержит свинец, а также следы висмута, железа, меди, сурьмы, мышьяка и т. п., которые однако, встречаются в таком незначительном количестве, что не имеют вредного влияния на металл. Олово встречается в двух видах: белом и сером. Последний обычно образуется из белого олова, рассыпающегося в серый порошок (явление до сих пор необъясненное). Это своеобразное изменение происходит особенно часто при сильном холоде. Явление это становится еще более непонятным вследствие того, что не все сорта олова подвергаются такому превращению*).

Олово тверже свинца, но мягче золота. При нормальной температуре оно обладает способностью так хорошо тянуться, что его можно прокатывать до тончайших листов (станиоль). При 200°C олово становится настолько хрупким, что его можно превратить в порошок. Олово хорошо отливается и имеет усадку только 0,7. Олово часто отливают в кокили. При отливках олово сплавляют с большим или с меньшим количеством свинца.

Сопротивление разрыву доходит до $3,5 - 4 \text{ кг/мм}^2$. Олово плавится при температуре 232°C и кипит при $1600 - 1800^{\circ}$ (согласно последним данным приблизительно при 2000°). Удельный вес колеблется от 7,2—7,5. В расплавленном состоянии поверхность металла очень легко окисляется, при этом образуется пленка окислов, переходящая при повышении температуры в желтовато-белый порошок, т. наз. оловянная зола. Даже тонкая пленка окисла неблагоприятно влияет на металл, делая последний малоподвижным, а в готовом изделии хрупким и менее прочным. По этой причине расплавленное олово покрывают слоем древесно-угольного порошка, который защищает металл от воздействия

*) Так называемая «оловянная чума». Подробно см. Изгарышев Н. А. «Болезни металлов и средства их предохранения».

воздуха. Еще лучше покрыть металл слоем пальмового масла, часто применяемого при лужении. Если температура отливки слишком высокая, то олово становится красномолким, слишком низкая температура делает металл хладномолким. Олово, отлитое при надлежащей температуре и быстро охлажденное, имеет белую поверхность. При высокой температуре олово приобретает желтоватую поверхность.

При обычной температуре олово не окисляется ни на воздухе, ни в воде. Вследствие неизменяемости олова под влиянием имеющихся в воде солей или органических кислот, чистое олово применяется для кухонной посуды и т. п. Концентрированная соляная кислота, особенно горячая, сильно окисляет олово. В холодной серной кислоте олово растворяется медленно. Разведенная азотная кислота удельного веса 1,3, подобно концентрированной калиевой или натронной щелочи, также растворяет олово. Концентрированная азотная кислота не окисляет олова.

Олово, подобно цинку, имеет большое значение в технике сплавов, так как оно входит в ряд важных сплавов, напр., бронзы и подшипниковые металлы. Прежде олово шло на изготовление многих предметов домашнего обихода, в настоящее время — в виде труб, фольги и, главным образом, для указанных выше сплавов.

Свинец.

Свинец получается главным образом из свинцового блеска или галенита, являющегося соединением свинца и серы (сернистый свинец (PbS) с содержанием свинца до 87%.

Цвет свинца сероватый, с голубоватыми прожилками. Под действием воздуха свинец быстро теряет свой сильный металлический блеск и поверхность его становится матово-серой. Во многих сортах свинца встречаются следы серебра, висмута, никкеля и меди, но в таком незначительном коли-

честве, что они не оказывают влияния на физические свойства свинца. Свинец трудно сплавляется с алюминием, цинком и никкелем, но легко с другими металлами, как, напр., с медью и оловом, сурьмой и мышьяком. Последние два делают металл более твердым и хрупким, но также и более легкоплавким. Медь и олово также увеличивают твердость свинца при содержании в нем свыше 0,5%. Железо почти совсем не сплавляется со свинцом.

Свинец настолько мягок, что его можно царапать ногтем и резать ножом. Чем свинец чище, тем он мягче. Текучесть свинца очень велика, поэтому из него можно при помощи прокатки изготовлять тонкие листы, а посредством штамповки и волочения—трубы. Сопротивление разрыву незначительное и колеблется от 1,2 — 1,3 кг/мм², поэтому свинец нельзя протягивать в тонкую проволоку. Удельный вес повышается с чистотой металла, он колеблется от 11,21 — 11,38. Свинец плавится при температуре 327°C и кипит при 1450°, согласно другим данным при 1600—1800°C. Однако, уже при низкой температуре свинец дает ядовитые пары, для удаления которых всегда должны устраиваться особые приспособления. Плавление при доступе воздуха дает различные цвета побежалости. Расплавленный металл затягивается серой пленкой окислов, называемой свинцовой охрой. Свинец отливается хорошо, но дает шероховатую отливку уже при нагревании немного выше температуры плавления. Более высокую температуру не следует вообще применять, так как при этом получается большой угар металла. Усадка свинца при отливке составляет около 1,1%.

Чистый свинец противостоит многим кислотам (серной, соляной). Он применяется поэтому для сосудов, в которых содержатся эти кислоты. Свинец идет также для свинцовых камер на серно-кислотных заводах. Концентрированная азотная кислота и уксусная кислота легко растворяют металл. Совершенно сухой воздух не окисляет свинец, но

обычный воздух вызывает пленку окислов, которая защищает металл от дальнейшего окисления. Свинец окисляется также водой, содержащей воздух. Свинцовые соединения ядовиты, поэтому свинец не следует употреблять для водопроводных труб.

Кроме перечисленных целей, свинец применяется также для свинцовых аккумуляторов, труб, пуль, дроби и т. д.

Г а р т, употребляемый для аппаратов, трубопроводов и т. п. на химических заводах, состоит из сплава свинца и сурьмы. Временное сопротивление его 3 кг/мм^2

Алюминий.

Алюминий часто встречается на земной поверхности в виде окисла, называемого глиноземом, входя в качестве составной части в большинство горных пород и в продукты их распада. Обычно он находится в соединении с кремнекислотой и другими веществами, но встречается также и в чистом виде. Несмотря на это, алюминий почти исключительно получается из минерала криолита ($AlF_3 \cdot 3NaF$), состоящего из фтористого натрия и фтористого алюминия, а также из бокситов, состоящих главным образом из водной окиси алюминия. $[Al_2O(OH_4)]$. Обычно боксит содержит 2—20% SiO_2 , 50—60% Al_2O_3 , 3—25% Fe_2O_3 , 0—5% TiO_2 и следы CaO .

Алюминий добывается из вышеуказанных материалов либо электролитическим путем, либо химическим путем. Главными поставщиками алюминия до сих пор были С. Шт. Сев. Ам. (41,4%), Франция (26,5%), Швейцария (16%) и Англия (11%). Но со времени войны очень сильно выдвинулась Германия, увеличившая свое производство в 40 раз и занимающая ныне второе место (21%), в то время, как остальные вышеуказанные страны занимают ныне следующее положение в мировой продукции: Америка 37%, Франция 10%, Швейцария 13% и Англия 6%. В связи с нахождением

месторождений боксита в Тихвинском районе б. Череповецкой губ., появляются перспективы развития и в СССР соответствующей промышленности.

Алюминий—белого цвета, с сильным блеском, слегка переходящим в голубой при невысоком содержании кремния, а при более высоком—в серый. После обработки металл получает голубоватый оттенок. Излом литого алюминия крупнозернистый, а откованного—волоконистый или мелкозернистый. Электропроводность чистого алюминия по сравнению с медью может быть выражена соотношением 67:100. Временное сопротивление 10—12 кг/мм² при удлинении 3% для литого металла; временное сопротивление для прокованного и прокатанного изделия доходит до 27 кг/мм² при удлинении 4,5%. Отличительным свойством алюминия является легкость. Удельный вес алюминия только 2,56 (литой)—2,75 (кованный) в зависимости также и от чистоты металла. Алюминий легко поддается обработке в холодном состоянии, ковке, прокатке и волочению, но при наличии 3% примесей приходится часто его отжигать. Хотя алюминий прокатывается и куется, он очень трудно сваривается и сплавляется вследствие образования на поверхности окиси алюминия, трудноплавкой и трудно удаляемой. Нагрев почти до температуры плавления вызывает крупнокристаллическую структуру и понижение механических качеств, но при 500°C алюминий хорошо обрабатывается. Холодная обработка алюминия повышает его прочность и твердость, как это видно из нижеследующей таблицы (см. Табл. на стр. 192).

Если из первой таблицы видно возрастание твердости алюминия при холодной обработке, то вторая таблица показывает, что отжиг допускает дальнейшую обработку.

Вообще, алюминий хорошо прессуется, штампуется, выдавливается и чеканится. При нагреве до 450°C возможна прокатка с одного нагрева и с обжатием до 90%; меньший нагрев уменьшает обжатие.

Обработка	Временное сопротивле- ние разрыву кг/мм ²	Удлине- ние %	Число твердости по Бринеллю
Лист в 7 мм., отожженный . . .	11,0	32,0	27
Холоднокатанный до 5,7 мм . .	11,5	13,5	38
„ „ „ 5,0 „ . .	13,2	7,8	43
„ „ „ 4,2 „ . . .	14,6	8,9	45
„ „ „ 3,2 „ . . .	15,2	6,1	48
„ „ „ 2 1 „ . . .	16,3	6,6	58

Отжиг после холодной обработки дает такой результат:

	Временное сопротивле- ние разрыву кг/мм ²	Удлине- ние %
После холодной обработки	18,75	6,3
„ отжига до 100°C	18,20	6,5
„ „ 200°C	14,85	6,4
„ „ 300°C	8,85	37,7
„ „ 400°C	9,30	36,6
„ „ 500°C	9,85	31,0

Температура плавления алюминия 625°C , при незначительном повышении этой температуры металл уже становится малоподвижным. В расплавленном виде он сильно окисляется, при чем поверхность его покрывается тонкой пленкой окислов, защищающих металл от дальнейшего окисления. При литье металла эту пленку необходимо удалять, что и достигается при помощи хлористого цинка. Для того, чтобы сделать металл жидкоподвижным при литье, необходим сильный нагрев. Усадка при затвердевании очень большая— $1,7\%$ и даже выше. Алюминий имеет очень большую скрытую температуру плавления, поэтому при плавлении алюминия затрачивается большое количество тепла в течение продолжительного времени. По той же самой причине при остывании алюминий остается дольше в расплавленном состоянии, нежели другие металлы. Чистый алюминий прекрасно отливается, затруднения возникают лишь в связи с тем, что при отливке получается большая усадка. По этой причине алюминий часто сплавляют с каким-нибудь другим металлом, напр., магнием. Подобный сплав с $10\text{—}12\%$ магния называется магнием. Магналий, подобно алюминию, очень легок. Алюминий может легироваться почти со всеми металлами; исключение составляет свинец, с которым алюминий сплавляется плохо. Серебро и алюминий образуют важные сплавы, идущие на изготовление серебряных изделий. В качестве припоя для последних применяется сплав кадмия с алюминием. Алюминий тугоплавок, сплав же алюминия с 10% олова легкоплавок. Алюминиевая бронза, получившая большое применение в судостроении, состоит из $2,5\text{—}10\%$ алюминия и меди. Она отличается большой твердостью, прочностью и вязкостью. При изготовлении отливок из алюминия в металл часто вводится от 3 до 6% меди для придания большей прочности отливкам.

Как сухой, так и влажный воздух окисляют алюминий при обычной температуре, в то время, как холодная и кипящая вода не окисляют его. Разведенная серная кислота влияет незначительно, концентрированная же горячая кислота растворяет медленно, подобно азотной кислоте. Соляная кислота легко растворяет алюминий. Калиевая и натронная щелочи окисляют алюминий. Алюминий не поддается действию органических кислот и соединения его не ядовиты, поэтому он применяется для изготовления кухонной посуды, для медицинских целей и для многих химических производств. Легкость металла, а также остальные его свойства позволяют применять алюминий для разнообразных целей, напр., для различных аппаратов, точных инструментов, летательных машин и т. п. Как уже отмечено выше, алюминий применяется в качестве раскислителя при получении стали и при чугунном литье благодаря очень большому сродству к кислороду, отнимаемому алюминием от окислов целого ряда металлов.

Никкель.

Никкель встречается в природе в виде гарниерита, представляющего собой водный силикат никкеля и магния $[2 (Ni, Mg) Si_4O_{13} \cdot 2H_2O]$, купферниккеля ($NiAs$) и никкелевого блеска ($NiAs_2 \cdot NiS_2$), при чем никкелевые руды обычно содержат примесь соединений кобальта. Главными месторождениями являются: Канада, Новая Каледония и Урал.

Никкель серебристо-белого цвета, с серо-стальными прожилками. Рыночный никкель часто содержит примеси: углерод, закись никкеля, мышьяк, серу, медь и т. п.; чистого никкеля 95—99%. Из перечисленных примесей мышьяк и сера, а также и сурьма оказывают наиболее вредное влияние на никкель, так как при 0,1% одного из этих элементов металл становится хрупким и уже не поддается прокатке.

Кислород, легко соединяющийся с никкелем *) и образующий закись никкеля, также неблагоприятно влияет на ковкость и прочность металла. Никкель довольно хорошо сплавляется со многими металлами, особенно с медью и цинком. По сравнению с другими металлами, за исключением железа, никкель обладает большой прочностью. Временное сопротивление никкеля выражается в 55—65 кг/мм² при удлинении 15—21%. Характерным свойством никкеля является способность его свариваться с никкелем, железом, медью, медными сплавами и т. п. Никкель, подобно железу, обладает магнитными свойствами.

Чистый никкель начинает плавиться приблизительно при температуре 1450°C. В отношении температур плавления никкель также приближается к железу. Удельный вес литого никкеля 8,4—8,6; прокатанного до 9,2. Усадка при затвердевании металла — 1%.

Никкель не совсем пригоден для литья, так как он слишком энергично поглощает газы: окись углерода, водорода и т. п. Поэтому получить беспузыристую никкелевую отливку трудно. Во избежание пузыристости вводят магний (около 0,1—0,2%), титан или марганец. Никкель не окисляется ни сухим, ни влажным воздухом, поэтому он применяется для предохранения от окисления предметов из других металлов. Для этой цели предметы гальваническим путем покрываются тонким слоем никкеля (никкелирование). При нагревании никкель окисляется, подобно стали, и покрывается серо-зеленым слоем закиси никкеля. Холодная соляная или серная кислоты незначительно окисляют ник-

*) Сталелитейная практика, как мартеновская, так и электроплавильная, показывает, что никкель является элементом почти не окисляющимся. При плавке никкелевых и хромониккелевых сталей, никкель вводят, исходя из расчета, что он почти совсем не угорает.

кель. Разведенная же азотная кислота и царская водка легко растворяют его. Щелочи незначительно влияют на никкель, поэтому его с успехом можно применять для аппаратуры в химической промышленности. Никкель применяется также при изготовлении хирургических инструментов, посуды для варки пищи и как в сплавах для монет, так и в других сплавах, из которых наиболее важными являются указанные сплавы с медью и цинком, напр., нейзильбер, альпака и т. п. Никкель входит также в состав стали для получения никкелевой стали. В технике сплавов никкель является весьма ценным элементом, так как он придает сплавам способность удерживать свинец.

Сурьма (Антимоний).

Все разобранные выше металлы имеют большое техническое значение, независимо от их способности давать сплавы. Перечисляемые ниже металлы имеют значение лишь постольку, поскольку они являются компонентами того или иного сплава.

Сурьма (антимоний) имеет серебристо-белый цвет с голубыми прожилками. Чем чище металл, тем меньше в нем голубых прожилок. При некотором навыке, по цвету металла можно определить его чистоту.

Встречается сурьма в природе, как в свободном виде, так и в виде соединения с кислородом (Sb_2O_3) (т. наз. сурьмяные цветы) и серой (Sb_2S_3), сурьмяный блеск, и почти всегда сопровождает мышьяк.

Сурьма настолько хрупкий металл, что его можно превращать в порошок в обыкновенной ступке. Сурьма плавится при $630^{\circ}C$, и загорается при красном калении. Удельный вес этого металла 6,7.

Сурьма повышает твердость и хрупкость тех металлов, в состав которых она входит. Наиболее важными сплавами

сурьмы являются сплавы со свинцом, применяемые для типографского шрифта, а также антифрикционные сплавы для подшипников. Для последних в сплав сурьмы входит также и олово. Британский металл состоит из сплава олова, меди и сурьмы.

Висмут.

Висмут встречается в природе в самородном состоянии, а также в виде висмутовой охры (Bi_2O_3) и висмутового блеска (Bi_2S_3); из этих руд висмут получается прокаливанием с углем.

Висмут представляет собою хрупкий металл бледно-красного цвета, легко превращаемый в порошок. Температура плавления его $269^\circ C$, удельный вес 9,78 — 9,88. Особенностью этого металла является способность его при затвердевании не только не сжиматься, а, наоборот, расширяться. В связи с этим, висмут применяется для получения сплавов, от которых требуется возможно меньшая усадка, напр., для металлических моделей. Сплавы висмута с другими металлами обладают ценным свойством — легкоплавкостью. Помимо сплавов висмут совершенно не применяется в технике.

Магний.

Магний весьма распространен в природе: он присутствует в магнезите, доломите и т. д.; большинство силикатов содержит магний (талк, оливин, жировик, серпентин, каинит и т. д.).

Магний — очень легкий металл серебристо-белого цвета. При некоторых мерах предосторожности магний поддается при высокой температуре прессовке или прокатке в проволоку или листы. Магний легко загорается и горит ослепительно-белым светом. При высокой температуре и особенно в расплавленном состоянии магний обладает большим сродством с кислородом, поэтому его часто вводят, как раскис-

литель, в металлическую ванну, содержащую кислород или окислы. При этом образуется окись магния, магнезия, которая переходит в шлак.

Магний легко сплавляется с большинством металлов и образует, при известных соотношениях, легкие и прочные сплавы, применяемые в авиостроении (см. магналий на стр. 193).

Удельный вес металла колеблется от 1,74—1,75. Магний плавится при 650°C и кипит при 950°C . Он окисляется на влажном воздухе и легко растворяется в кислотах.

СПЛАВЫ

Общие свойства сплавов.

Различные металлы, несмотря на их разнообразные свойства, не могут удовлетворить тем требованиям, которые им предъявляет современная техника. Соединения двух или нескольких металлов в сплавы дают большое количество новых различных металлов в известных пределах, обладающих почти всеми степенями твердости, текучести, плавкости, плотности, электро- и теплопроводности, различными литейными свойствами, стойкостью на воздухе и т. п. Металлы или элементы, входящие в состав сплавов, представляют собой не механические смеси отдельных компонентов, а жидкие или твердые химические растворы, следующие законам физической химии.

Сплавы, состоящие из двух элементов (компонентов), можно подразделить на 4 главных группы:

1. Металлы (элементы), совершенно смешивающиеся в твердом состоянии, напр., сплавы золота, серебра и меди с никкелем.

2. Металлы, смешивающиеся в твердом состоянии до известного предела и совершенно смешивающиеся после расплавления сплава. Эта группа сплавов встречается чаще других.

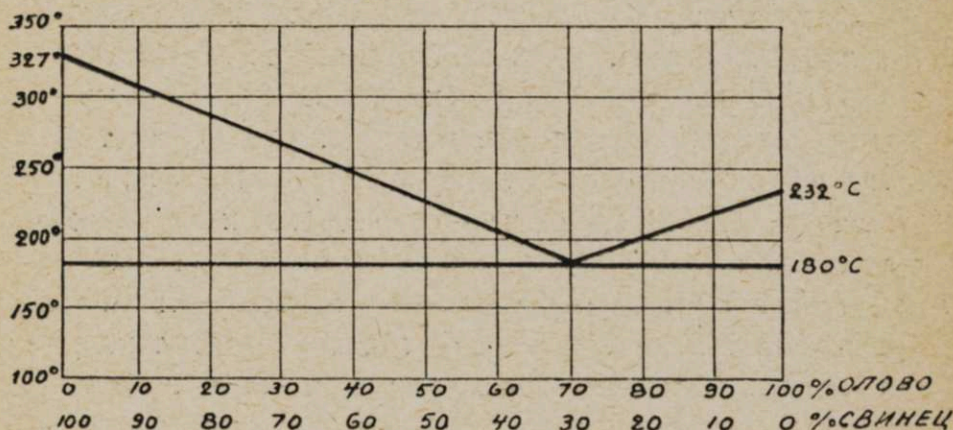
3. Растворимость металлов ограничена, как в твердом состоянии, так и в жидком (подобно маслу в воде), напр., свинец и цинк. Более полная растворимость достигается во многих случаях введением в сплав третьего металла.

4. Сплавы образуются из химических соединений металлов (соли).

Из четырех групп только третья группа заслуживает более подробного описания, что отчасти уже выполнено в отделе «Термическая обработка стали» (см. стр. 144). Эти сплавы ведут себя, как уже отмечено выше, подобно раствору поваренной соли. Металл, находящийся в смеси в преобладающем количестве, при медленном охлаждении смеси выделяется из первоначального раствора в чистом виде или в большем количестве, чем другой компонент. Таким образом выделившегося металла в растворе в процентном отношении остается меньше. Температура затвердевания раствора и соответственно этому температура плавления становится ниже. Выделение кристаллов происходит до тех пор, пока раствор при затвердевании не будет содержать оба компонента в известном процентном соотношении. Это процентное соотношение для одних и тех же компонентов всегда будет одним и тем же. Температура плавления и соответственно этому температура затвердевания такого сплава (эвтектического) также будут всегда одинаковыми, притом наиболее низкими температурами, возможными для любого сплава двух данных металлов. Температура плавления подобного сплава всегда будет ниже температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента. Введением третьего компонента можно еще более понизить температуру плавления сплава.

Свинец, напр., плавится при 327°C , олово при 232°C , между тем, все сплавы олова и свинца, содержащие не меньше 45% олова, плавятся при температуре более низкой, чем 232°C . Когда сплав содержит 70% олова и 30% свинца, то он имеет самую низкую температуру плавления. Такой сплав, как уже было указано, носит название эвтектического. Свинцово-оловянный сплав такого состава плавится уже при 180°C , как видно из диаграммы на

фиг. 31. Начерченная на этой диаграмме кривая получена в результате определения температуры плавления сплавов для всех возможных процентных соотношений свинца и олова. Найденные температуры плавления отложены по ординатам. Диаграмма дает возможность легко определять температуру плавления сплавов при любом соотношении входящих в сплав компонентов. Таким же способом



Фиг. 31. Диаграмма плавкости свинцово-оловянных сплавов.

можно получить кривые температур плавления и для других сплавов.

Во время затвердевания сплава и даже после него в массе сплава до известной температуры происходит кристаллизация, поэтому сплав в твердом состоянии рассматривается, как кристаллическое тело. Образующиеся при затвердевании сплава кристаллы тем больше, чем дольше происходит процесс кристаллизации, т.е. излом отливки становится более крупнозернистым, если охлаждение происходит медленно, и мелкозернистым при быстром охлаждении. Посредством быстрого охлаждения сплава можно воспрепятствовать одному из элементов сплава выделиться или вы-

кристаллизоваться, так как остывание и затвердевание происходит в такой короткий промежуток времени, что не успевает произойти никакого изменения однородного раствора. Примером в последнем случае может служить бронза с высоким содержанием свинца, которая получается однородной только при таком способе остывания. Если, напр., нужно изготовить из этого сплава вкладыш подшипника, то его прямо отливают на ту часть вала, которая должна вращаться в подшипнике, чем одновременно достигается необходимое быстрое охлаждение сплава. Посредством быстрого или медленного нагревания и соответствующего охлаждения можно изменять структуру даже готового изделия, сделанного из сплава. Во многих случаях это обстоятельство имеет большое значение. Согласно теории растворов, каждой определенной температуре соответствует определенное состояние равновесия сплава. Количество металла, которое может раствориться в другом металле, находится в зависимости от температуры сплава. Например, сплав, бывший вначале совершенно однородным, после сильного нагревания (не доведенного, однако, до температуры плавления) выделяет частицы одного из компонентов, которые таким образом оказываются вкрапленными в виде отдельных кристаллов в общей массе сплава.

Из вышесказанного следует, что сплав начинает плавиться в большинстве случаев при температуре более низкой, чем средняя температура плавления массы сплава и выделенного металла. Таким образом, не представляется возможным определить предварительным подсчетом температуру плавления смеси. Сплавы, образующиеся из химических соединений металлов (группа 4-ая), составляют исключение: они плавятся иногда при температуре более высокой, чем составляющие их компоненты.

Остальные свойства металлов, входящих в сплав, также мало дают представления о свойствах самого сплава, напр.,

очень твердый и хрупкий колокольный металл состоит из сравнительно мягких и вязких металлов—меди и олова. Как правило, однако, можно установить, что сплав всегда тверже, чем самый мягкий из составляющих его компонентов, менее восприимчив к воздействию воздуха, кислот и влаги, более жидкоподвижен в расплавленном состоянии, лучше отливается в формы и менее склонен к образованию пузырей в отливке.

В отношении получающегося цвета сплава можно заранее сделать некоторые заключения, так как известно, что из всех металлов олово, никкель и алюминий обладают наибольшей интенсивностью окраски. Далее (по Ледебуру) следуют железо, медь, цинк, свинец, платина, серебро и золото; сильная окраска последнего быстро уменьшается при наличии сравнительно небольшого количества какого-нибудь из перечисленных вначале металлов.

Приготовление сплавов происходит в тигельных или пламенных печах различной конструкции, отапливаемых углем, коксом, нефтью или газом. При этом наиболее трудноплавкий металл, как правило, помещают первым в тигель или печь, совершенно расплавляют его, а затем только вводится другой металл. Этим устраняется излишнее выгорание более легкоплавкого металла. Последний выгорает только в таком количестве, которое неизбежно для данного металла при высокой температуре нагрева *). При присадке нескольких металлов, напр., цинка и олова, они добавляются в следующем порядке: металл с более низкой точкой кипения (в данном случае—цинк) добавляется последним. Цинк

*) Не следует упускать, однако, из вида, что при первоначальном расплавлении более легкоплавкого металла вовсе нет необходимости в последующем перегреве его до температуры плавления присаживаемого вещества; благодаря образованию сплава из этих компонентов, температура плавления такового лежит, обычно, ниже температуры плавления наиболее тугоплавкого компонента.

вводится перед самой отливкой. Свинец добавляется одновременно с цинком, исключение составляют сплавы меди и никкеля; оба эти металла могут плавиться одновременно, если только количество никкеля не превышает 30%. Обусловливается это тем, что медь не достигает своей температуры кипения при температуре плавления никкеля, которая на 400° выше температуры меди, а также тем, что никкель даже в небольшом количестве трудно растворяется в меди.

Для раскисления жидкого сплава вводится какой-нибудь металл или металлоид, который легко соединяется с кислородом и образует шлак. Обычно раскислителями служат: алюминий, магний, кремний, марганец и фосфор. Они вводятся всегда в виде сплава, напр., с медью, оловом и т. п.

Сплавы меди и олова.

Эти сплавы носят общее название бронз. Собственно бронза состоит только из меди и олова, если не принимать во внимание примесей других металлов в количестве от 1—1½%, попадающих в сплав в результате загрязнения шихтовых материалов. В чистых бронзах меди содержится редко ниже 80%. Максимальное содержание меди не превышает 92%. Для некоторых целей добавляется цинк. В этом случае получается сплав бронзы и желтой меди (латуни). Иногда в бронзу вводится свинец или алюминий, вследствие чего содержание меди в сплаве уменьшается.

Бронзы обладают большой твердостью и упругостью, однородностью и звонкостью. В расплавленном состоянии они очень жидкоподвижны, что делает их удобными для отливки. Ценность бронзы несколько понижается вследствие небольшой вязкости и прочности. С повышением содер-

жания олова понижается вязкость и увеличивается прочность, сам же сплав делается все светлее. Наибольшая прочность получается при содержании олова в 15⁰/₀, при дальнейшем повышении содержания олова прочность уменьшается. Твердость повышается до 25⁰/₀ олова, затем она медленно падает. В холодном состоянии бронза куется только в том случае, если в ней содержится олова не больше 1—2⁰/₀. Чистая бронза с 80⁰/₀ меди и 20⁰/₀ олова уже настолько хрупка, что она применяется только в качестве колокольного металла, благодаря тому, что она обладает большой звонкостью. Собственно бронза имеет оттенки от золотисто-желтого до красно-желтого. При добавлении цинка бронза переходит в желтый цвет.

Бронза плавится при температуре от 780—900°C, в зависимости от состава. Усадка 0,9—1,4⁰/₀. Подобно меди, бронза становится мягче после нагревания и последующего быстрого охлаждения.

Бронзы подразделяются, в зависимости от их назначения, на пушечную, колокольную, машинную, монетную или медальную, художественную и зеркальную бронзы. Состав и особые свойства этих сплавов приведены в Табл. на стр. 220—235.

Бронзы, употребляемые в машинной технике, редко представляют собой чистые сплавы меди и олова. В них часто добавляется свинец и цинк по отдельности или оба металла вместе. Если при добавлении свинца количество его превышает 2⁰/₀, то при затвердевании сплава происходит «отзегерование» излишнего количества свинца. Небольшие кристаллы свинца, вкрапленные в массу сплава, располагаются между твердыми кристаллами медно-оловянного сплава. При введении некоторого количества цинка выделение свинца при затвердевании сплава несколько уменьшается, при добавлении никкеля выделение цинка значительно уменьшается. В состав машинной бронзы, подвергающейся

обработке, входит медь в сравнительно большом количестве, которое тем больше, чем мягче должен быть требуемый материал.

Художественная бронза также содержит цинк в большом или меньшем количестве, так как этот металл уменьшает твердость и увеличивает текучесть, что очень важно для изделия, подвергающегося в дальнейшем штамповке. Бедные цинком бронзы покрываются зеленым налетом, в то время как богатые цинком бронзы приобретают постепенно коричневый цвет.

Стальной бронзой называется обычная 90—92% бронза, которой, посредством обработки в холодном состоянии за пределом упругости, придается большая прочность и упругость. Благодаря такой обработке бронза по своим свойствам приближается к стали. Подобно пушечной бронзе, стальная бронза применяется также для орудий.

Бронза, раскисляемая при помощи фосфора, называется фосфористой бронзой. Под фосфористой бронзой подразумевается не какой-либо состав сплава, а только указание на способ удаления кислорода из металлической ванны. При введении фосфора нужно следить за тем, чтобы фосфора добавлялось лишь количество, необходимое для удаления кислорода, при чем допускаемый остаток фосфора в готовом сплаве не должен превышать 0,1%. Поэтому хорошая фосфористая бронза почти не должна содержать свободного фосфора, так как фосфор придает сплаву хрупкость. Раскисление же фосфором в виде фосфористой меди или фосфорного олова делает сплав более твердым и вязким, более плотным и кислотоупорным. Фосфористая медь или фосфорное олово, содержащие 10% фосфора, вволятся в количестве 2—4%.

Кремнистой бронзой называется сплав, раскисление которого производится при помощи кремния (в виде 2,5—4,5% кремнистой меди, содержащей 10—12% кремния).

Остаток кремния в подобной бронзе составляет обычно 0,03—0,1%, иногда повышаясь до 1,5%. Кремнистая бронза содержит сравнительно небольшое количество олова. Она обладает большей электропроводностью, чем фосфористая бронза, при одинаковой прочности. Вследствие этого кремнистая бронза применяется при изготовлении телеграфных и телефонных проводов.

Приготовление бронзовых сплавов сравнительно просто. К предварительно расплавленной меди добавляется олово, после чего температуру в печи уменьшают. Расплавление должно происходить как можно быстрее и температура расплавленной ванны не должна сильно превышать температуру плавления. В противном случае олово или вводимый иногда цинк сгорят и сплав не будет иметь соответствующего состава. Для предохранения от окисления металлическая ванна покрывается древесноугольной мелочью. Освобождение сплава от возникающих всегда окислов производится при помощи фосфористой меди или фосфористого олова, марганцовой или кремнистой меди. Перед отливкой ванна должна быть хорошо перемешана.

Сплавы меди и цинка.

Наиболее важными сплавами меди и цинка являются латунь и красный металл или томпак. Сплавы, содержащие от 40—45% или в среднем 30% цинка называются латунью (желтая медь). Томпак содержит не менее 80% меди и только до 20% цинка. Исключение составляют те случаи, когда в томпак добавляется несколько процентов олова, при этом содержание меди понижается до 75%.

Сплавы меди и цинка обладают большей сравнительно с бронзами мягкостью и вместе с тем большей прочностью

и текучестью. Твердость медленно увеличивается с повышением содержания цинка. При 50% цинка твердость достигает своего наивысшего предела, при наличии свыше 50% цинка сплав становится хрупким, а при 60% цинка он уже не поддается обработке. Исключение составляет латунь с 30—42% цинка, которая поддается ковке и прокатке при красном калении. В расплавленном состоянии сплавы меди и цинка жидкоподвижны и потому они очень удобны для отливки. Наибольшее практическое значение имеют сплавы с содержанием цинка 28—42%.

Красный металл или томпак, как показывает само название, имеет красноватый цвет, переходящий скорее в красный, нежели в золотистый, в то время как латунь желтого цвета. Удельный вес уменьшается с повышением содержания цинка. Удельный вес 70-процентной латуни 8,5. Температура плавления понижается с повышением содержания цинка. Томпак с 80% меди имеет температуру плавления около 1020°С; 60-процентная латунь плавится при 950°С. Усадка 1,5—2%. Красный металл, вследствие большого количества меди, легко поддается обработке в холодном состоянии (прокатке и т. п.). Красный металл применяется для изготовления сусального золота, а также в тех случаях, когда от металла требуется специальная окраска.

Латунь разделяется на два главных сорта: литейная латунь и латунь для прокатки и волочения. Литейная латунь обладает несколько повышенной твердостью и хрупкостью, так как она бывает обычно загрязнена примесями. Свинец в количестве 1—2% делает латунь более пригодной для обработки напильником и на токарном станке. Латунь применяется для деталей машин, для обыкновенных художественных изделий и т. п. При прокатке и волочении от латуни требуется большая прочность, поэтому она должна быть по возможности свободной от примесей. Латунь со-

держит в среднем 30% цинка. Ковкая латунь (ковкая при красном калении, см. выше) или так называемый мунц-металл состоит из 60% меди и 40% цинка.

Для увеличения прочности и ковкости в сплавы меди и цинка часто добавляются другие металлы, так, напр., а й х-металл содержит 1,6% железа, дельта-металл также содержит небольшое количество железа, кроме того, в его состав входит немного олова, фосфора и марганца. Введение 1—4% алюминия в обычную латунь значительно повышает прочность металла. Латунь окисляется меньше меди. В расплавленном состоянии поверхность латуни покрывается слоем окиси темно-серого цвета.

Получение сплавов меди и цинка большею частью сходно с изготовлением медно-оловянных сплавов. Цинк возгоняется легче, чем олово, поэтому, прежде чем вводить цинк, медь должна быть предварительно хорошо разогрета. Цинк вводится небольшими кусками, подогретыми приблизительно до 200° С. Куски цинка быстро погружают в металлическую ванну, которую необходимо перемешивать, чтобы не допускать цинк в течение продолжительного времени соприкасаться с сильно нагретым воздухом над ванной. В противном случае цинк испаряется в виде густого дыма окиси цинка, что влечет за собою потерю металла и нежелательное изменение состава сплава. При нормальных плавках угар доходит до 2—5%, из которых три четверти приходится на цинк. Перед введением цинка температура печи должна быть понижена.

Сплавы меди, цинка и никкеля:

Обычно эти сплавы носят название нейзильбер, хотя встречаются и другие названия, напр., аргентан, мельхиор и т. п. Названия альфенид, альпака, аргироид, китайское серебро, симиль-аргент и т. п. обозначают

посеребренный гальваническим путем нейзильбер. В Китае, где нейзильбер впервые стал применяться, этот сплав называется пакфонг (т.-е. белая медь).

Сплавы меди, цинка и никкеля содержат от 45—65% меди, 30—20% цинка и 25—15% никкеля. Несмотря на значительное количество меди в сплаве, цвет его желтовато-белый, а иногда совершенно белый, благодаря сильному влиянию никкеля на окраску.

Нейзильбер тверже латуни, но обладает почти одинаковой с последней текучестью. Он поддается холодной обработке, прокатке и т. п. при условии, если его время от времени отжигать. Этот сплав менее подвержен действию кислот, нежели латунь. После полировки он приобретает сильный блеск. Удельный вес колеблется от 8,4—8,7. Усадка 1,3—1,6.

При получении нейзильбера очень большое значение имеет отсутствие примесей в сырых материалах. Примеси понижают текучесть металла и могут иногда даже сделать сплав совершенно непригодным. Вредное влияние в этом отношении оказывают мышьяк, сурьма, железо, фосфор, свинец и олово. В процессе приготовления сплава иногда возникают большие затруднения. Существуют различные способы получения сплава. Часто сначала расплавляется медь, а затем в ней растворяется никкель и, наконец, непосредственно перед отливкой вводится цинк. Никкель можно расплавлять одновременно с медью полностью или частично, в последнем случае остальная часть никкеля добавляется, как только смесь расплавится. Другим способом является получение сначала соответствующего состава сплавов меди с цинком и меди с никкелем, которые затем сплавляются вместе. При этом приходится следить за тем, чтобы цинк даже в легированном состоянии не улетучился и не изменил бы тем самым состава нейзильбера.

Нейзильбер широко применяется для предметов домашнего обихода, напр., кружек, подносов, ложек, вилок и т. п. Этот сплав применяется также и в машиностроении, особенно для деталей машин, подвергающихся химическим воздействиям.

Сплавы олова и свинца.

Сплавы олова часто содержат свинец, поэтому сплавы этих металлов никогда не подразделяются.

Олово редко употребляется в чистом виде. Обычно оно содержит свинец в виде добавки, которая придает металлу прочность и делает его более жидкоподвижным в расплавленном состоянии, благодаря чему он лучше отливается в формы. Как видно из диаграммы на стр. 203, сплавы олова со свинцом большей частью легкоплавки. По этой причине сплавы олова и свинца применяются в качестве припоев, когда не требуется особенно прочная спайка (слабые и легкоплавкие припои). Олово и свинец сплавляются также с висмутом и кадмием, в результате чего получаются очень легкоплавкие припои. Польское серебро содержит, кроме олова, цинк и медь. К оловянным сплавам должны быть отнесены также и белые бронзы (с высоким содержанием олова и низким меди).

Наиболее важным сплавом олова, содержащим часто свинец, являются белые подшипниковые металлы — сплавы олова и свинца или одного из этих металлов с сурьмой. Подшипниковые сплавы широко применяются в машиностроении, как антифрикционный металл для подшипников. Антифрикционные сплавы уменьшают трение в подшипнике при вращении в нем вала. Обусловливается такое свойство этих сплавов тем, что хрупкие кристаллы сурьмы представляют твердую основу для вала, которая в то же

время легко принимает надлежащую форму благодаря присутствию мягкого олова и свинца.

В более дешевых подшипниковых металлах сурьма часто заменяется цинком, а олово свинцом. В качестве примера типичного подшипникового сплава одного сорта можно привести британский металл, содержащий 1—5% меди, 80—90% олова и 10—20% сурьмы (иногда также немного цинка) и другого сорта — гарт, который содержит 80—98% свинца и 2—20% сурьмы. Между этими сортами имеется много составов, носящих различные наименования. Наиболее употребительный белый металл для подшипников, баббит (высокосортный), содержит 4% меди, 89% олова и 7% сурьмы. В некоторых белых металлах для подшипников встречается также и никель. Название «белый металл» является неточным обозначением. Гарт готовится из обычного чистого свинца. Он имеет зернистое строение. Гарт более тверд и хрупок, чем чистый свинец. Он легко плавится и хорошо отливается, не разъедается кислотами и другими химическими соединениями, поэтому он широко применяется для деталей машин и аппаратов в химической промышленности.

Сплавы свинца и сурьмы, как уже указано выше, применяются для типографского шрифта. Кроме свинца и сурьмы в эти сплавы также вводится олово (см. Таблицу на стр. 220—235).

Добавление только 0,5% мышьяка придает свинцу способность при отливке тонкими струями (напр., через решето) и охлаждении потоком холодного воздуха затвердевать в виде круглых шариков. Таким способом готовится свинцовая дробь.

Алюминиевые сплавы.

За последнее время алюминий и его сплавы получили большое распространение. Многие данные указывают на то, что алюминиевое производство имеет большое будущее. Чаще всего для сплава с алюминием применяется медь, поэтому сплавы подразделяются на сплавы с небольшим содержанием алюминия и с небольшим содержанием меди.

Название алюминиевая бронза относится ко всем сплавам меди и алюминия. На практике часто встречаются сплавы с большим содержанием меди и небольшим алюминия (2,5—10%). Они обладают сравнительно большой прочностью и текучестью и легко куются при светло-красном калении. Кроме того, эти сплавы кислотоупорны и поэтому очень удобны для приборов и механизмов, подвергающихся действию кислот и солей. Цвет сплава меди и алюминия золотистый. При охлаждении в воде эти бронзы принимают закалку. Ценным свойством этих сплавов является то, что они даже в расплавленном состоянии окисляются незначительно.

Сплавы меди и алюминия с высоким содержанием алюминия и низким меди имеют большое применение. Медь увеличивает плотность и разбивает волокнистую структуру чистого металла. Благодаря этому облегчается обработка при сверлении и резании.

При 4% меди прочность сплава достигает своего максимума и дальнейшее увеличение количества меди только увеличивает вес сплава. В отчете о работе «Комитета по исследованию сплавов» Карпентер (Carpenter) и Эдвардс (Edwards) пишут, что наличие в сплаве свыше 4% меди уменьшает его текучесть, не увеличивая прочности.

Алюминиевая бронза, идущая для подшипникового металла, должна содержать меди не менее 7,5% и не более 10%.

Бронза с 92% алюминия и 8% меди очень удобна, в то время как сплав, содержащий более 10% меди, становится очень хрупким. Нагревание в течение продолжительного времени, напр., от трения при вращении вала в подшипнике, делает металл более слабым и изменяет его структуру, а именно: кристаллы становятся больше. Тот же результат получается при отпуске. Несмотря на эти недостатки, свойственные и другим бронзам, алюминиевая бронза по прочности и упругости превосходит большинство других бронз. При изготовлении этих сплавов их необходимо переплавлять по крайней мере два раза, так как в противном случае отзейгерование делает металл неоднородным.

Присадка от 2 до 8% алюминия в латунь делает металл более легкоподвижным и устраняет пузыри в отливке. Кроме того, алюминий значительно увеличивает прочность. Хорошая алюминиевая латунь составляется из 63% меди, 34% цинка и 3% алюминия. Алюминиевая латунь, содержащая свыше 2% алюминия, поддается ковке при красном калении, но при этом для сохранения вязкости охлаждение после нагревания должно производиться медленно. Содержание алюминия свыше 4% делает сплав твердым и хрупким.

Сплавы цинка и алюминия имеют также известное значение в тех случаях, когда требуется легковесное изделие. Если присадка цинка не превышает 15%, то сплав получается настолько мягким, что его можно волочить в проволоку и прокатывать. При 25% цинка получают особенно хорошие отливки. Присадка свыше 25% придает металлу чрезмерную твердость и хотя цинк увеличивает прочность, тем не менее эти сплавы на практике не применяются из-за их слишком большой твердости.

Вследствие склонности цинка улетучиваться, сплавы алюминия и цинка дают неравномерные отливки, сопротивле-

ние разрыву которых сильно колеблется. Часто в эти сплавы вводится до 5⁰/₀ меди.

Никкель так же, как и медь, дает с алюминием химические соединения, которые отличаются большой твердостью, но все же поддаются обработке. На практике применяются только сплавы, содержащие менее 10⁰/₀ никкеля, так как выше этого предела твердость сплава быстро повышается. Никкель увеличивает прочность в еще большей степени, нежели медь. Применяется никкель для придания сплавам большей твердости.

Сплавы магния с алюминием отчасти уже описаны выше. Вследствие высокой стоимости магния, эти сплавы все еще не получили того широкого распространения, которое они заслуживают. Сплавы магния с алюминием очень ценны благодаря их небольшому удельному весу и большой прочности.

Большое значение в технике получил дуралюмин — сплав, содержащий около 90⁰/₀ *Al*, 3,5—5⁰/₀ *Cu*, 0,5⁰/₀ *Mg* и 0,5—1⁰/₀ *Mn*; кроме того, имеется небольшое содержание кремния, железа и иногда свинца, цинка и никкеля. Температура плавления около 650°С; удельный вес 2,73—2,86, в зависимости от состава. Не взирая на столь малый удельный вес, одинаковый со многими алюминиевыми сплавами, дуралюмин обладает повышенными механическими качествами; точно также он более стоек против атмосферных влияний, кислот, морской воды и т. д., за исключением щелочей и соляной кислоты.

Дуралюмин прокатывается в холодном и горячем состоянии, куется, протягивается. Принимая закалку, он в течение одного часа сохраняет свою вязкость и лишь после этого начинается постепенное увеличение твердости, особенно быстрое за первые 6 часов; через 48 часов дуралюмин приобретает окончательную твердость.

Дуралюмин можно штамповать, ковать, изготавливать проволоку, трубы, полосы, листы и т. д. В зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения можно получить материал прочности на разрыв $36\text{--}48 \text{ кг/мм}^2$, предела упругости $20\text{--}30 \text{ кг/мм}^2$ и удлинения $17\text{--}25\%$.

Применяется дуралюмин для многих военных целей и особенно для автостроения; т.-е. там, где важно наличие прочности материала при его легкости.

К о л ь ч у г а л ю м и н, производство которого началось впервые в России на Кольчугинском заводе под Москвой, представляет из себя разновидность дуралюмина, отличающуюся от последнего лишь содержанием еще никкеля: $5\text{--}4\%$ *Cu*, $0,6\text{--}0,5\%$ *Mg*, $0,2\text{--}0,6\%$ *Ni*, $0,3\text{--}0,5\%$ *Mn* и до $0,4\%$ *Si*, остальное алюминий. Уд. вес около 2,8. Сопротивление на разрыв до 60 кг/мм^2 (обычно $36\text{--}44 \text{ кг/мм}^2$), при удлинении $12\text{--}26\%$.

При получении алюминиевых сплавов, содержащих небольшое количество других металлов, сначала расплавляют алюминий, а затем вводят остальные компоненты. При добавлении олова и меди или олова, цинка и меди готовится сначала сплав из этих металлов, который вводится в виде небольших кусков в расплавленный алюминий, все время перемешиваемый. Алюминиевая латунь получается при введении алюминия в расплавленную латунь. Главное затруднение при плавлении заключается в том, что цинк выгорает и изменяет таким образом состав сплава.

Таблица сплавов.

В нижеследующей таблице приводятся наиболее важные сплавы. Эта таблица в сокращенном виде взята из «Die Metallgiesserei» Ernst A. Schott'a. Большая часть данных таблицы представляет собой химические анализы, а меньшая основана на тех требованиях, которые предъявляются при приемке крупными заводами и государственными учреждениями. Многие сплавы, имеющие одинаковое название, могут сильно различаться по составу, поэтому сплавы, приводимые в данной таблице, следует рассматривать только как примеры.

С п л а в ы	Медь %	Олово %	Цинк %	Свинец %	Алюминий %	Никель %	Сурьма %	Марганец %
Айхметалл	60	—	38,2	—	—	—	—	—
Альпака	65,2	—	19,5	—	—	13	—	—
Алюминиевая бронза	97	—	—	—	3	—	—	—
» »	95	—	—	—	5	—	—	—
» »	92	—	—	—	8	—	—	—
» »	90	—	—	—	10	—	—	—
» »	88	—	—	—	10	—	—	—
Алюминиевая латунь.	60—68	27—32	—	—	1,5—8	—	—	—

Железо %	Фосфор %	Другие металлы (элементы) в %	Применение	Особые свойства	Примечания
1.8	—	—	Применяется в тех случаях, когда от латуни требуется высокая прочность.	Ковкость латуни.	—
—	—	Серебро 2	—	—	Серебро получается в результате посеребрения.
—	—	—	—	Времен. сопр. 35 кг/м.м ² при удл. в 650%.	Удельный вес 8,4. Цвет желтовато-красный.
—	—	—	—	Времен. сопр. 40 кг/м.м ² при удл. 600%.	Уд. вес 8,2, цвет красновато-желтый. После отжига еще прокатывается.
—	—	—	—	Времен. сопр. 45 кг/м.м ² при удл. 200%.	Уд. вес 7,8, цвет краснов.-желтый. Куется и прокатывается только при красном калении.
—	—	—	—	Времен. сопр. 50 кг/м.м ² при удл. 200%.	Уд. вес. 7,65, цвет соломенно - желтый. Куется и прокатывается при красном калении.
—	—	Кремений 2	—	Времен. сопр. 65 кг/м.м ² при удл. 200%.	Уд. вес. 7,40, цвет светло - желтый. Тверда и хрупка, но при красном калении прокатывается.
—	—	—	Для предметов, подвергающихся действию кислот и едких газов.	Подобные алюминиевой бронзе.	Во многих случаях заменяет алюм. бронзу.

С п л а в ы	Медь %	Олово %	Цинк %	Свинец %	Алюминий %	Никель %	Сурьма %	Марганец %
Арматурная бронза (по техн. усл. германского морского ведомства)								
марка Е (для кранов, вентилях и т. д.)	86	10	4	—	—	—	—	—
марка F	87	8,7	4,3	—	—	—	—	—
» I	90	7	3	—	—	—	—	—
» K	91	7	2	—	—	—	—	—
» L	91	5	4	—	—	—	—	—
Арматурная латунь	58—60	37—40	37—40	23	—	—	—	—
Баббиты (см. Подшипниковые металлы)								
Британский металл	2	90	—	—	—	—	8	—
Бронзы (см. алюминиевая бронза, арматурная бронза, инструментальная бронза, пушечная бронза, колокольная бронза, художественная бронза, марганцовая бронза и машинная бронза).								
Бронза, противостоящая действию морской воды	45	16	5,5	—	32,5	—	—	—

Железо %	Фосфор %	Другие металлы (элементы) в %	Применение	Особые свойства	Примечания
—	—	—	—	Вр. сопр. в кг/мм ²	Удл. %
—	—	—	Арматура для судов.	20,00	10
—	—	—	Кингстоны	18,00	15
—	—	—	—	20,00	15
—	—	—	Для фланцев и др. деталей, соединяющихся герметично.	20,00	20
—	—	—	Простые краны и т. д.	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	Висмут I	Обшивка судов.	—	—

Встречается различного состава, часто содержит цинк и всегда медь. Во многих составах сурьмы не имеется. 20% меди вводятся для уменьшения хрупкости.

С п л а в ы	Медь %	Олово %	Цинк %	Свинец %	Алюминий %	Никель %	Сурьма %	Марганец %
Дельта-металл	54—56	—	40—42	0,7—1,8	—	—	—	0,9—1,4
Мунцметалл.	60	—	40	—	—	—	—	—
Геркулес-металл	85,5	10	2	—	2,5	—	—	—
Инструментальная бронза. .	82	13	5	—	—	—	—	—
Сплавы кадмия (легкоплавкие)								
1. Сплав Липовица . . .	—	13	—	27	—	—	—	—
2. » Вуда.	—	14	—	28	—	—	—	—
Бронза пушечная	90	9,1	—	—	—	—	—	—
Константан.	60	—	—	—	—	40	—	—
Колокольная бронза	77—80	20—23	—	—	—	—	—	—
Колокольный металл для не- больш. колоколов	40	60	—	—	—	—	—	—

Железо %	Фосфор %	Другие металлы (элементы) в %		Применение	Особые свойства	Примечания
0,8—1,3	—	—	—	Применяется в тех случаях, когда требуется большая прочность и вязкость.	Большая прочность и вязкость.	Состав часто меняется. Небольшой % марганца увеличивает прочность.
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Лезвия для фруктовых ножей.	—	Вид алюминиевой бронзы.
—	—	—	—	—	—	—
—	—	Кадмий 10	Висмут 50	—	Плавится около 70°С.	Цвет серебристо-белый с красноватым отливом.
—	—	15	43	Применяется в качестве припоя.	Плавится при 60—70°С.	—
—	—	—	—	—	—	Многие пушечные бронзы содержат несколько десятых % железа.
—	—	—	—	Применяется в виде проволоки, листов и колец для приборов сопротивления электрическому току	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	Почти белого цвета. Чистый серебряный звон.	—

С п л а в ы	Медь %	Олово %	Цинк %	Свинец %	Алюминий %	Никель %	Сурьма %	Марганец %
Художественная бронза . . .	72,5	2	23	2,5	—	—	—	—
Подшипниковые металлы.								
А. Подшипниковая бронза:								
1. Для судов	83—88	8—12	1—6	—	—	—	—	—
2. » паровозов	84	14,5	1,5	—	—	—	—	—
3. » »	78	10	—	10	—	—	—	—
4. » автомобилей	88	8	—	3	—	—	—	—
5. » » средней грузоподъемности. . .	78	8	1	12	—	—	—	—
6. Для автомобилей большой грузоподъемности.	80	10	—	8	—	—	—	—
7. Для различных целей .	83	15	1,5	0,5	—	—	—	—
В. Белый подшип. металл:								
1. Баббит высокосортн. .	4	89	—	—	—	—	7	—

Железо %	Фосфор %	Другие металлы (элементы) в %	Применение	Особые свойства	Примечания
—	—	—	—	—	«Худож. бронзы» часто не являются собственно бронзами, а латунью и томпаком (без олова).
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Очень хорошо отливаемая плотн. бронза.	—
—	—	2% 5 - процент. фосф. меди. 1% 5 - процент. фосф. олова.	—	—	Существует много различных составов. Приводимые здесь составы указаны, как примеры.
—	—	1% 5 - процент. фосф. олова.	—	—	
—	—	2% 5 - процент. фосф. олова.	—	—	
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Вязкая машинная бронза.	—
—	—	—	—	—	Наименование «баббиты» относится теперь ко всем белым подшип. металлам.

С п л а в ы	Медь %	Олово %	Цинк %	Свинец %	Алюминий %	Никель %	Сурьма %	Марганец %	Железо %	Фосфор %	Другие металлы (элементы) в %	Применение	Особые свойства	Примечания
2. Обычный белый металл.	—	—	—	87	—	—	13	—	—	—	—	—	—	В белых подшипниковых металлах сурьма часто заменяется более дешевым цинком.
3. Белый металл для быстро вращающихся валов.	—	83,3	—	—	—	10,42	—	—	—	—	—	—	—	
4. Белый металл для небольшой нагрузки . .	5	85	—	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	
5. Белый металл для тяжелых валов	9,1	72,7	—	—	—	—	18,2	—	—	—	—	—	—	
6. Дешевый белый металл.	8	2	88	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	
7. «Магнолия» — антифрикционный металл . . .	—	5,9	—	77,8	—	—	16,3	—	—	—	—	—	—	«Магнолия» — содержит 0,50% графита, не оказывающего влияния на свойства сплава.
С. 1. Алюминиевый подшипниковый металл . . .	6,25	—	87,5	—	6,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Алюминиевый пушечн. металл	—	10	—	—	80	—	10	—	—	—	—	—	—	—
Липовица металл (см. сплавы кадмия).														При высоком содерж. меди тугоплавок., при низком — легкоплавок. При 58% меди и 42% цинка получается крепкий припой (из 1 части цинка и 7 част. латуни).
Припой (см. также сплавы кадмия).														
1. Крепкий припой (припой для латуни)	33—58	—	67—72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	При 50% меди и 50% цинка припой составляется из 1 ч. цинка и 3—4 ч. латуни.

С п л а в ы	Медь %	Олово %	Цинк %	Свинец %	Алюминий %	Никель %	Сурьма %	Марганец %
2. Другой крепкий припой.	—	2 части	1 часть	—	—	—	—	—
3. Припой для серебра.	48	—	48	—	—	—	—	—
4. Припой для алюминия.	2—20	—	50—94	—	4—30	—	—	—
5. Мягкий припой	—	100	—	—	—	—	—	—
6. Обычный мягкий припой	—	50	—	50	—	—	—	—
7. Припой для висмута .	—	33,3	—	33,3	—	—	—	—
Магналий	—	—	—	—	98—80	—	—	—
Марганцовая бронза	90—65	0,3	2—15	—	—	—	—	5—20
Манганин	82,12	следы	—	—	—	2,29	—	15 02
Марганцовая латунь	80	—	5	—	—	—	—	15
Марганцово-никелевая бронза	60	10	—	—	—	10	—	20
Машинная бронза, в среднем	78—90	10—18	2—8	0—10	0—10	0—20	0—3	0—20
Вязкая бронза для арматуры.	88	12	3	—	—	—	—	—
Тобин-бронза	59	2,16	38,4	0,31	—	—	—	—
Фосфористая бронза	76,8	8	—	15	—	—	—	—
Обычная машинная бронза .	84	2	8	6	—	—	—	—
Хорошая машинная бронза .	80	10	5	5	—	—	—	—

Железо %	Фосфор %	Другие металлы (элементы) в %	Применение	Особые свойства	Примечания
—	—	Латуни 11 частей	—	—	—
—	—	Серебра 4	—	—	—
—	—	—	—	—	{ Чем выше содержание алюминия, тем более сплав тугоплавок.
—	—	—	—	Плавится при 232°С.	
—	—	—	—	Плавится при 200°С.	
—	—	Висмут 33,3	—	Плавится при 140°С.	—
—	—	Магний 2—20	—	—	—
—	—	—	В тех случаях, когда к материалу предъявляются высокие требования.	Вязкая и прочная	—
0,57	—	—	Проволока и лента для реостатов.	—	—
—	—	—	Детали машин.	—	—
—	—	—	» »	Вязкая и прочная.	—
0—3	0—0,5	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
0,11	—	—	—	—	—
—	0,2	—	—	—	—
—	0,1	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—

С п л а в ы	Медь %	Олово %	Цинк %	Свинец %	Алюминий %	Никель %	Сурьма %	Марганец %	Железо %	Фосфор %	Другие металлы (элементы) в %	Применение	Особые свойства	Примечания
Металлич. набивка для букв	—	—	—	80	—	—	20	—	—	—	—	—	Очень твердый и хрупкий.	—
Гарт	—	—	—	87	—	—	13	—	—	—	—	—	—	Эвтектический сплав. Иногда часть свинца и сурьмы заменяется 10—20% олова.
Сплав для металлических зер- кал	67	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Металлические зеркала для оп- тических ин- струментов.	—	При полировке дает и сохраняет сильный блеск. Цвет должен быть возможно более светлый.
Мира-металл	74,75	0,91	0,61	16,35	—	—	6,78	—	0,43	—	Никкель и ко- бальт 0,24. .	Арматура и трубы.	{Весьма кислото- упорен.	—
Металл для моделей	—	—	—	71,2	—	—	15	—	—	—	Висмут 13,8 .	Модели.	{Небольшая усадка (согл. исслед. 0,20%).	—
Монель-металл	25	следы	—	следы	следы	74,2	—	—	0,53	—	—	—	—	—
Сусальное золото	70	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	Художеств. из- делия.	—	{Заменяется золо- той бронзой.
Монетная бронза.	92—95	5—8	0—1	—	—	—	—	—	—	—	—	Для монет.	—	—
Латунь	70—60	—	30—40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сплав никкеля и алюминия .	—	—	—	—	93	7	—	—	—	—	—	Детали машин.	{Вязк., прочный, жидкоподвиж- ный.	—
Никкелевая бронза	60	—	—	—	—	40	—	—	—	—	—	Для ответствен- ных дет. ма- шин.	{Вязк., прочный и плотный.	{Часто содержит олово и иногда цинк.
Никкелин, в среднем	56	—	13	—	—	31	—	—	—	—	—	Для реостатов.	—	—
Нейзильбер, лучший	52	—	22	—	—	26	—	—	—	—	—	—	—	—
Сплав меди и цинка для укра- шений (Пингбэк).	88,8	—	11,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Темно - золоти- стого цвета.	Для украшений и поделок.

С п л а в ы	Медь %	Олово %	Цинк %	Свинец %	Алюминий %	Никель %	Сурьма %	Марганец %	Железо %	Фосфор %	Другие металлы (элементы) в %	Применение	Особые свойства	Примечания
Рубель-бронза	28,5 —38,9	—	—	—	6,11 —8,3	40,05 —18,2	—	—	25,34 34,6	—	—	—	—	Сопrotивление разрыву у этих бронз при большом содерж. железа 82 кг/мм ² при удлинении 30%.
Крепкий припой (см. припой)														
Металл для предохранительных клапан. паров. котлов.	—	18,67 частей	—	7,47 частей	—	—	7,47 частей	—	—	—	—	—	Плавится при 215—230°C.	—
Зонен-бронза	30—40	—	—	—	25—10	—	—	—	—	—	Кобальт 35—60	Художествен. бронза.	—	—
Типографский металл	—	2	—	75	—	—	23	—	—	—	—	Типографский шрифт.	—	—
» » более прочный	—	15	—	60	—	—	25	—	—	—	—	» »	—	—
Кислотоупорный сплав (см. также марганцовую бронзу, нейзильбер и мира-металл	82	8	2	8	—	—	—	—	—	—	—	—	Кислотоупорность.	—
» »	—	—	—	—	49,5	49,5	—	—	—	1,0	—	—	»	—
» »	—	0,9	—	—	—	98	—	—	—	—	1% десятипроцент. марганцовистого олова, 0,1% магния.	Для химических кислотоупорных аппаратов.	»	—
Тобин-бронза	61,2	0,9	37,14	0,35	—	—	—	—	0,15	—	—	—	Род дельта-металла.	—
Металл для лопаток паровых турбин	67,35	0,01	32,02	0,23	—	—	—	—	0,38	—	—	—	—	—
Сплав Вуда (см. сплавы кадмия)														
Yellow-metal	60	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Противостоит действию морской воды.	—
Цималий	—	—	2,8	—	93,45	—	—	—	—	—	Магний 3,75	—	Род магналия.	—

Испытание материалов.

В последнее время явилась необходимость во всестороннем испытании материалов, вследствие предъявляемых к ним повышенных технических требований. Испытание материалов имеет очень большое значение, поэтому оно здесь вкратце описывается.

Испытание материалов служит прежде всего для установления различных свойств данного материала и определения его пригодности для той или иной цели. Кроме того, испытание ведет к улучшению, а иногда и к удешевлению исследуемого материала, так как наиболее дорогой способ изготовления материала не всегда является самым лучшим. Испытание материалов дает возможность контролировать свойства, требующиеся от данного материала.

Химическое испытание. О нем уже упоминалось, как о самом правильном способе определения состава материала и в связи с этим установления его действительной применимости. В отношении чугуна, предназначенного для литейных целей, который часто встречается смешанным с другими сортами, химический анализ необходим, так как иным путем трудно определить состав материала.

Некоторые примеси даже в незначительном количестве оказывают чрезвычайно вредное влияние на ковкое железо, сильно изменяя в то же время его излом, так что химический анализ в данном случае также необходим для определения качества материала. Раньше сталь и железо различались по излому, так как сталь всегда имела зернистый излом,

а сварочное железо волокнистый. В настоящее время определить материал таким путем невозможно вследствие появления новых методов производства, благодаря которым литое железо, подобно стали, дает зернистый излом. Все вышесказанное в значительной мере может быть отнесено ко многим металлам и сплавам. За последнее время химические испытания настолько упростились, что анализы даже специальных сталей могут производиться очень быстро и при этом достаточно точно.

Механические испытания. Химический анализ не дает полного представления о материале, так как кроме химического состава, приходится принимать во внимание ряд других факторов, оказывающих влияние на физические свойства материала. Эти свойства определяются при помощи механических испытаний. Ковкость, свариваемость, вязкость в горячем или в холодном состоянии и т. п. легко устанавливаются чисто практическим путем при ковке, сварке, изгибе, кручении и т. д.

Механические испытания конструкционного материала главным образом производятся для определения сопротивления материала при различных механических воздействиях, напр., при растяжении, сжатии, изгибе, кручении и сдвиге, а также для определения текучести и упругости материала. Испытания производятся при помощи специально сконструированных машин, в которых пробные бруски подвергаются различным деформациям. Эти машины устроены таким образом, что в них точно фиксируется величина приложенных усилий.

Обычно при испытании металлов определяют их временное сопротивление разрыву. Испытание происходит следующим образом: пробный брусок определенной длины (обычно 200 мм) точно измеренного сечения подвергают постепенно увеличивающейся равномерной нагрузке. Вначале пробный брусок удлиняется, но, благодаря упругости материала, он восстанавливает свою первоначальную длину,

как только нагрузка прекращается. При увеличении нагрузки до известной величины брусок может не восстановиться до своей первоначальной длины, т.-е. может быть перейден предел упругости материала. Дальнейшее увеличение нагрузки вызывает еще большее постоянное удлинение, пробный брусок становится уже и, наконец, разрывается. Нагрузка, при которой происходит разрыв, называется разрушающим усилием.

Если составить вместе обе части сломанного бруска и сравнить их с первоначальной длиной, то можно определить удлинение при разрыве, которое выражается в % первоначальной длины. Величина удлинения дает представление о вязкости материала. Перед разрывом можно заметить, что деформирование пробного бруска происходит не по его длине, а только в одном определенном месте, где образуется один (или несколько) перехватов, в которых и происходит разрыв. Сравнивая сечение в месте разрыва с первоначальным сечением бруска, можно определить поперечное сжатие материала, которое, подобно удлинению, является мерой вязкости. Поперечное сжатие выражается в процентах от площади первоначального сечения.

Испытание на изгиб происходит следующим образом: на две опоры, находящиеся на определенном расстоянии друг от друга, устанавливается пробная планка, по середине которой помещается груз. Собственно удлинения при этом, конечно, не получается, но образуется некоторый прогиб, который, подобно удлинению, является постоянным для данной нагрузки.

Для определения вязкости применяется испытание на удар. В то время, как нагрузка при перечисленных выше испытаниях равномерна и увеличивается постепенно, нагрузка при подобном испытании производится толчками в виде удара. Такое испытание имеет большое значение для тех материалов, которые в работе подвергаются не-

равномерной нагрузке. Имеется несколько различных методов испытания на удар. Обычный метод заключается в том, что пробный брусок устанавливается так же, как и при испытании на изгиб, и ударяется по середине. Прогиб измеряется после каждого удара, что дает возможность, при сравнении с работой удара перед разрушением, получить довольно точное суждение о прочности и вязкости материала. Удар производится обычно при помощи падения определенного груза с определенной высоты. Работа удара вычисляется умножением веса на высоту падения.

Хрупкий материал испытывается одним ударом, вызывающим разрушение. Работа удара при этом измеряется. Таким же способом производится испытание на удар более вязкого материала. Для ускорения излома, на предназначенном для испытания бруске предварительно делается насечка или просверливается выемка на стороне противоположной стороне удара.

Иногда материал, хорошо сопротивляющийся удару, оказывается хрупким при продолжительных усилиях, меняющихся по величине и направлению. Деформации, получающиеся в результате подобных усилий, могут привести такой материал к окончательному разрушению. В последнее время появилось особое испытание на усталость для изделий, подвергающихся колеблющейся по величине и направлению нагрузке. Примером детали, подвергающейся усилиям такого рода, является железнодорожная ось, у которой нагрузка меняется по направлению при вращении колеса (отдельные волокна оси подвергаются попеременному растяжению и сжатию) и по величине при толчках. В результате постоянных усилий такого рода в шейке оси может образоваться небольшая трещина, несмотря на то, что испытываемое усилие сравнительно невелико по отношению к сечению оси. Эта трещина постепенно увеличивается и образует надлом вокруг всей шейки, которая вследствие этого ломается.

Испытание на усталость производится различными методами. Один из них состоит в том, что закрепленный с одного конца вращающийся пробный брусок подвергается изгибу. Благодаря вращению бруска на него непрерывно действуют усилия, меняющие свое направление. Изгибающая нагрузка не должна быть, конечно, настолько велика, чтобы непосредственно деформировать испытуемый брусок. Сопротивление усталости материалов измеряется производимой нагрузкой и числом оборотов бруска до излома. Подобное же испытание, отличающееся от предыдущего тем, что нагрузка производится ударами, называется испытанием на усталость при ударе. Это испытание производится следующим образом. Вращающийся или неподвижный брусок подвергается с обеих сторон нагрузке в виде двух качающихся грузов, которые попеременно наносят удары. Так как работа каждого удара очень мала, то приходится совершать миллионы качаний, прежде чем пробный брусок сломается.

Из всех изложенных выше способов испытания материалов определение сопротивления разрыву применяется чаще всего. Однако, пригодность такого испытания для многих материалов переоценивается. Часто это испытание применяется для таких материалов, которые в работе никогда не подвергаются равномерному растяжению, а испытывают удары. Если для подобного материала определено только временное сопротивление, то при расчете детали приходится руководствоваться данными, которые совершенно не характерны для материала, подвергающегося ударам и толчкам.

Твердость металлов определяется методом Бринелля который заключается в том, что закаленный стальной шарик определенного диаметра вдавливается в испытываемый материал при определенном давлении. Нагрузка, выраженная в килограммах, делится на площадь образующегося при

вдавливании шарика отпечатка, измеряемую в кв. мм. Полученное таким образом число называется числом твердости (обозначение: H_{Br}) и показывает относительную твердость материала.

Металлография. В последнее время получили широкое распространение исследования внутреннего строения металлов, благодаря чему многие свойства металлов стали более ясными.

Наука, изучающая строение металлов — металлография — пользуется различными средствами. Для элементарного исследования достаточно отшлифовать поверхность испытуемого бруска при помощи напильника и наждачной бумаги и протравить раствором медно-аммиачной соли и раствором иода. При этом различные неоднородности и пороки в сплаве — ликвация, мельчайшие включения шлака и волосовины — иногда легко обнаруживаются даже невооруженным глазом.

Применение микроскопа, которое было введено в середине прошлого столетия для исследования травленной поверхности, способствовало большому прогрессу в области металлографии.

Согласно этому методу, исследования стали или др. сплавов производятся следующим образом. Поверхность испытуемого бруска шлифуется различными полировальными приспособлениями (наждачная бумага, наждачная или полировочная паста, тонко-размолотая окись алюминия), после чего поверхность становится гладкой и чистой. Приготовленная таким образом поверхность при рассматривании под микроскопом не дает ясной картины, поэтому необходимо предварительно так обработать ее, чтобы различные структурные элементы ясно выделялись. Достигается это различными способами:

1) Посредством легкого нагрева образца, на котором образуются различные цвета побежалости у различных структурных составляющих.

2) Посредством особого вида шлифования — «полировки в рельеф», при котором более мягкие частицы поверхности стираются, а более твердые образуют рельеф.

3) При помощи травления вместе с полировкой, при которой полирующий материал смешивается с травящим раствором, и, наконец,

4) Посредством травления.

Последний способ является самым обычным. При травлении поверхность погружается в разбавленную спиртом соляную, азотную или пикриновую кислоту или в раствор медно-аммиачной соли. Поверхность при травлении несколько окисляется и окрашивается.

Микроскоп обычно снабжается фотографической камерой для фотографирования структур. Два подобных снимка были приведены на стр. 144 и 145. Результаты такого метода исследования стали также уже изложены на стр. 144—151.

Металлография имеет большое значение для исследования стали и др. сплавов, и в будущем она получит еще большее применение.

ЛИТЕРАТУРА.

Общие сочинения по технологии металлов и металлургии.

- А. П. Гавриленко.* Механическая технология металлов. Ч. I.
Г. Ю. Гессе. Технология металлов. 10-ое изд. ('26 г., 399 стр. с атласом).
Металловедение. Современная теория строения металлов и важнейшие ее выводы для практики. Под ред. и с предисл. проф. Н. Ф. Чарновского ('27, 144 стр.).
М. Г. Окнов. Производство металлов и их основные свойства ('25, 183 стр.).
М. А. Павлов. Обзор успехов металлургии за последние годы (1919—1921) ('22, 56 стр.).
Н. М. Витторф. Теория сплавов в применении к металлическим системам ('09, 443 стр.).
В. Виноградов. Технология металлов ('26).
Аббас. Технология металлов ('23).
Г. Ост. Химическая технология, металлургия ('25).
В. Френкель. Краткий курс металлургии на физико-химической основе. (Пер. с нем., '27).
G. Buchner. Hilfsbuch für Metalltechniker ('23, 410 стр.).
C. Dichmann. Der basische Herdofenprozess ('20, 286 стр.).
I. Czochralski. Moderne Metallkunde in Theorie und Praxis ('24, 305 стр.).
H. W. Fraenkel. Leitfaden der Metallurgie ('22, 223 стр. Есть русск. перев.—см. выше).
A. Geitz. Metallurgie. 2 Bde' (2-ое изд., '25).
Hildebrandt. Metallhüttenkunde.
Donald M. Liddell. The Metallurgist's and Chemist's Handbook (2-ое изд., 1440 стр.).
H. O. Hofman. General Metallurgy (909 стр.).
Zay Jeffries and Robert S. Ardher. The Science of Metals (500 стр.).

- Joseph W. Richards.* Metallurgical Calculations. Parts I, II and III (238 + 236 + 197 стр. Есть нем. и русск. переводы).
- Ch. H. Fulton.* Principles of Metallurgy (554 стр.).
- L. S. Austin.* The Metallurgy of Common Metals ('26, 658 стр.).
- R. Hadfield.* Metallurgy and Its Influence on Modern Progress ('25, 388 стр.).
- B. Stoughton and A. Butts.* Engineering Metallurgy ('26, 442 стр.).
- Ernest E. Thum.* Practice Book in Elementary Metallurgy (313 стр.).
- J. Roux-Brahic.* Traitement métallurgique des minerals complexes ('27, 784 стр.).

Черные металлы.

Доменное производство.

- С. В. Жендзян.* Доменное производство ('25, 244 стр.).
- С. В. Жендзян.* Классификация и свойства чугунов ('23).
- С. В. Жендзян.* Устройство и ведение доменных печей. Практическое руководство доменной плавки (2-е изд., перераб. и доп. ('27, 774 стр.).
- М. А. Павлов.* Определение размеров доменных и мартеновских печей ('25).
- Ф. Эйхе.* Доменная печь и чугуноделательное производство ('24).
- С. Жендзян.* Восстановление железных руд в доменной печи ('25).
- М. А. Павлов.* Атлас чертежей к доменному производству ('02).
- М. А. Павлов.* Доменные печи и воздухонагреватели ('10).
- М. А. Павлов.* Расчет доменных шихт ('22, 79 стр.).
- Fr. Lilge.* Hochofen-Begichtungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Wirtschaftlichkeit ('13, 245 стр.).
- P. Geimer.* Messungen in Hochofenbetriebe von Standpunkte des Hochofners (Оттиски из St. u. Eis., '25).
- H. Schönfeld.* Kritische Studien zum wirtschaftlichen Problem der Zwei- und Dreischichtensystems in Hochofenbetrieben ('26, 93 стр.).
- J. E. Johnson.* The Principles, Operation and Products of the Blast Furnace (566 стр.).
- J. E. Johnson.* Blast Furnace Construction in America (415 стр.).
- Fred. W. Wagner.* Cleaning of Blast Furnace Cases (164 стр.).
- J. J. Stevenson.* Blast Furnace Calculations (160 стр.).

Производство чугуна, железа и стали.

- Д. К. Чернов.* Чугунолитейное дело ('01, литограф.).
- А. Ледебур.* Чугуно- и сталелитейное дело ('02).

- В. Е. Грум-Гржимайло.* Пламенные печи ('25, 5 частей).
- В. Е. Грум-Гржимайло.* Производство стали ('25, 430 стр.).
- В. Липин.* Metallurgie чугуна, железа и стали (Том I переиздан в 1925 г., 1010 стр., т. II—1911 г.).
- М. А. Павлов.* Metallurgie чугуна ('24).
- М. М. Карнаухов.* Metallurgie стали. Вып. I и II ('24—26). ('25, 226 стр.).
- Г. В. Ключанский.* Мартеновское производство ('25, 41 стр.).
- Н. А. Костылев.* Расчет шихт основной мартеновской печи ('27, 136 стр.).
- Д. М. Татарченко.* Metallurgie чугуна, железа и стали. В общедоступн. излож. для рабочих и мастеров ('25, 313 стр.).
- Г. Веддинг.* Производство железа. Перев. с 6-го нем. изд. ('27, 163 стр.).
- Г. Веддинг.* Основания metallurgie чугуна, железа и стали ('09, 495 стр.).
- С. Совинский.* Производство стали по способу Сименс-Мартена (2-ое изд., 380 стр.).
- Н. М. Нове.* Железо, сталь и др. сплавы ('23).
- Н. Т. Гудцов.* Сталь, ее природа и свойства. Введение в учение о свойствах стали ('27).
- П. А. Велихов.* Железо ('08, 156 стр.).
- Hütte metallurgischer* ('27).
- Мертенс.* Чугун, его состав и свойства ('27).
- Н. Беляев.* Сталь. Кристаллизация, термическая обработка и механические свойства ('25).
- Г. Нобль.* Производство стали. Вып. I. Бессемеровское производство ('22, 218 стр.).
- В. Постриганев.* Производство литой стали в конвертерах ('26).
- Н. Б. Родзевич.* Мартеновское производство стали ('24, 88 стр.).
- Ж. Руэль.* Сталь, изготовление и обработка ('26).
- К. Шарашкин.* Опыт расчета шихты рудно-скрапного мартеновского процесса ('23).
- Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei.* Unter Mitarbeit von zahlreichen Fachleuten herausgegeben von Dr.-Ing. C. Geiger. (3 тома; 671 + 596 стр.).
- Th. Geilenkirchen.* Grundzüge des Eisenhüttenwesens. Band I ('11, 256 стр.).
- H. Folkerts.* Die Windführung beim Konverterfrischprozess ('24, 106 стр.).
- E. Heyn.* Theorie der Eisen-Kohlenstofflegierungen ('24, 193 стр.).
- J. Mehrstens.* Das Gusseisen ('25, 66 стр. Русск. пер. см. выше).
- E. Cotel.* Der Siemens-Martin-Ofen ('27).
- F. Erbreich.* Einführung in die Eisenhüttenkunde (2-ое изд., '21).

- L. Hammel.* Das Eisen, sein Gewinnung und Verarbeitung ('23).
A. Ledebur. Das Roheisen (5-ое изд., обр. F. Zeyringer'ом, '23).
A. Ledebur. Handbuch der Eisenhüttenkunde (6-ое изд., обраб. v. Jüptner'ом. 2 тома, '23 и '26).
W. Mathesius. Die physische und chemische Grundlagen des Eisenhüttenwesens (2-ое изд., '24).
W. Müller und M. Dornauer. Das Buch der Eisenkunde ('25).
B. Osann. Lehrbuch der Eisenhüttenkunde (2 тома, '23).
F. Bernhardt. Der heutige Stand der basischen Herdfrischverfahren im Vergleich zum Thomasverfahren. (Оттиск из St. u. Eis., '24).
K. Daeges. Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm und die wichtigsten Gefügebestandteile der Kohlenstoffstähle (Оттиск из St. u. Eis. '24).
H. Hermanns. Das moderne Siemens-Martinstahlwerk ('22, 289 стр.).
E. Müller. Das Eisen und seine Verbindungen ('17, 558 стр.).
H. Hermanns. Bau und Betrieb moderner Konverterstahlwerke und Kleinbessemerereien ('25, 259 стр.).
H. Stadtmüller. Die Schmelzöfen der Eisen-, Stahl und Metallgießerei ('22).
O. F. Hudson. Iron and Steel. An Introductory Text-Book for Engineers and Metallurgists (184 стр.).
A. H. Sexton and J. S. G. Primrose. An Outline of the Metallurgy of Iron and Steel (2-ое изд., 587 стр.).
Bradley Stoughton. The Metallurgy of Iron and Steel (3-ье изд., 492 стр.).
John Howe Hall. The Steel Foundry (334 стр.).
Hugh P. Tiemann. Iron and Steel. A Pocket Encyclopedia (514 стр.).
Harry Huse Campbell. The Manufacture and Properties of Iron and Steel (639 стр.).
E. F. Lake. Composition and Heat Treatment of Steel (252 стр.).
H. M. Howe. Iron, Steel and Other Alloys (513 стр. Есть русский перевод).
E. Hurst. Metallurgy of Cast Iron ('26, 312 стр.).
H. Stansbie. Iron and Steel (389 стр.).
J. Rouelle. L'acier. Elaboration et travail ('22, 192 стр. Есть русский перевод).

Специальные стали.

- И. Крылов.* О специальных сортах стали ('22, 200 стр.).
А. Л. Бабошин. Термическая обработка обыкновенных и специальных сортов стали. С приложением альбома микрофотографий ('26, 558 стр. и 29 табл.).

- Борнзэм и Гадфильд.* Специальные стали ('26).
Ф. Ранац. Специальные стали ('27, 143 стр.).
G. Mars. Die Spezialstähle (2 ое изд., '22, 675 стр.).
K. Kerpely. Siliziumstahl als Baustahl und Stahlformguss (41 стр.).
F. Rapatz. Die Edelstähle ('25. Есть русск. перевод—см. выше).
E. L. Maek and H. W. Gillett. Molybdenum, Cerium and Related Alloy Steels ('25, 300 стр.).
J. H. S. Monypenny. Stainless Iron and Steel ('26, 304 стр. Есть немецк. перевод).
H. D. Hibbard. Manufacture and Uses of Alloy Steels (96 стр.).

Цветные металлы.

- М. Евангулов.* Сплавы ('24).
А. Иванов и Гуштюк. Цветная металлургия ('26).
Труды Второго Всесоюзного Совещания по цветным металлам. Т. I и II ('27, 708+424 стр.).
Ходушин. Сплавы нежелезных металлов ('26).
А. П. Иванов и И. А. Зелигман. Проблема развития цветной металлургии на Украине ('27, 54 стр.).
П. А. Антипов. Металлургия меди, свинца, серебра, цинка, золота ('10, 167 стр.).
Б. Померанцев. Металлургия меди. Ч. I и II ('03 и '05, 300+167 стр.).
С. И. Лавров. Легкие металлы и их применение в аэротехнике ('26, 119 стр., 11 табл.).
П. С. Истомин. Современные методы обработки цветных металлов.
И. Д. Деречинский. Легкие металлы и сплавы ('26, 90 стр.).
Жилэ и Джемс. Плавка алюминиевых отбросов ('25).
И. Сидорин. Исследование кольчуг-алюминия ('25).
J. Czochralski und G. Welter. Lagermetalle und ihre technologische Bewertung (2 изд., '24, 123 стр.).
Claus. Ueber das Schmelzen der wichtigsten technischen Nicht-Eisen Metalle ('27, 108 стр.).
G. Fermum. Die Legierungen, ihre Herstellung und Verwendung für gewerbliche Zwecke (2-ое изд.).
A. Ledebur—O. Bauer. Die Legierungen (6-ое изд. '24).
Jänecke. Legierungen.
F. Regelsoerger. Chemische Technologie der Leichtmetalle und ihrer Legierungen ('26, 405 изд.).
P. Reinglass. Chemische Technologie der Legierungen mit Ausnahme der Eisen—Kohlenstofflegierungen (2-ое изд., '26, 550 стр.).

- W. Borchers. Zinn, Wismut, Antimon ('24, 193 стр.).
- Kupfer. Gewinnung, Gefügebau, chem. u. physikal. Eigenschaften, Technologie und Krankheitserscheinungen. Herausgegeben v. d. Deutschen Gesellschaft für Metallkunde ('26, 127 стр.).
- V. Tafel. Lehrbuch der Metallhüttenkunde. Band I. Gold, Silber Platin, Kupfer ('27).
- H. Berg. Aluminium und Aluminiumlegierungen ('24, 85 стр.).
- H. Krause. Das Aluminium und seine Legierungen (2 Bde, '23).
- Stolzenwald. Zinkgewinnung.
- R. Erdmann. Aluminium, seine Eigenschaften und seine Bearbeitung ('26, 118 стр.).
- R. Debar. Die Aluminiumindustrie (2-ое изд. '25, 344 стр.).
- A. Gautschi. Die Aluminiumindustrie ('25, 130 стр.).
- Donald M. Liddell. Handbook of Non-Ferrous Metallurgy (2 тома).
- H. O. Hofman. Metallurgy of Zinc and Cadmium (340 стр.).
- H. O. Hofman. Metallurgy of Copper (2-ое изд. 411 стр.).
- H. O. Hofman. Metallurgy of Lead (664 стр.).
- Ed. D. Peters. Practice of Copper Smelting (693 стр.).
- Ed. D. Peters. Principles of Copper Smelting (612 стр.).
- Henry Louis. Metallurgy of Tin ('11, 138 стр.).
- William E. Greenawalt. The Hydrometallurgy of Copper ('12, 504 стр.).
- H. W. Hixon. Notes on lead and Copper Smelting (162 стр.).
- W. R. Ingalls. Lead Smelting and Refining (327 стр.).
- W. R. Ingalls. Metallurgy of Zinc and Cadmium.
- R. Allen. Bismuth Ores ('25, 62 стр.).
- R. J. Anderson. The Metallurgy of Aluminium and Aluminium Alloys ('26, 914 стр.).
- N. E. Budgen. Cadmium. Its Metallurgy, Properties and Uses ('24 240 стр.).
- M. Corson. Aluminum. The Metal and Its Alloys ('26, 292 стр.).
- N. E. Crump. Copper ('25, 246 стр.).
- A. Munday. Tin and the Tin Industry (130 стр.).
- W. G. Rumbold. Bauxite and Aluminium (110 стр.).
- J. Fairie. Notes on Lead Ores. Their Distribution and Properties (64 стр.).
- T. Lambert. Lead and Its Compounds (226 стр.).
- A. H. Sexton. Non-Ferrous Alloys (300 стр.).
- A. H. Sexton and J. S. G. Primrose. Common Metals (Non-Ferrous) (491 стр.).
- C. Grard. Aluminium and Its Alloys (Пер. с франц. 217 стр., 17 табл. Есть русск. перевод).

- M. Altmayer et L. Guillet.* Métallurgie du cuivre et alliages de cuivre (25, 714 стр.).
F. Prost. Métallurgie des métaux contre que le fer.

Электрометаллургия.

- Григорович.* Электрометаллургия. Ч. I. Электрические системы ('22).
П. П. Федотьев. Электрометаллургия Ч. I, II, III. ('21—'23).
В. Липин. Metallurgie чугуна, железа и стали. Том III. Электроплавка ('26).
В. Борхерс. Электрометаллургия (423 стр.).
E. Prost. Производство электролитического цинка новейшими методами ('26).
H. v. Jüptner. Die Reduktion der Eisenerze in elektrischen Öfen ('24, 292 стр.).
K. Arndt. Elektrometallurgie ('25—'26, 124 стр.).
O. Meyer. Geschichte des Elektroisens ('14, 195 стр.).
Alfred Stansfield. The Electric Turnace for Iron and Steel (453 стр.).
Frank T. Sisco. The Manufacture of Electric Steel ('24, 304 стр. Есть немецк. перевод).
C. C. Gow. The Electro-Metallurgy of Steel (367 стр.).
J. B. C. Kershaw. Electro-Thermal Methods of Iron and Steel Production (262 стр.).
W. Rodenhauser and J. Schoenawa. Electric Furnaces in the Iron and Steel Industry. (Перевод с немецк. 3-ье изд., 460 стр.).

Металлография.

- Е. Гейн и О. Бауэр.* Metallografia. Ч. I и II ('15).
Г. А. Кащенко. Руководство к лаборатории металлографии ('26, 80 стр.).
А. Л. Бабошин. Metallografia и термическая обработка железа, стали и чугуна. Ч. I, II, III и IV.
Н. А. Бартельс. Metallografia и термическая обработка металлов ('26, 322 стр.).
G. Tammann. Lehrbuch der Metallographie (3-ье изд., 123).
R. Ruer. Metallographie in elementarer Darstellung ('22, 347 стр.).
E. Heyn und O. Bauer. Metallographie. 2 Bände. (3-ье изд., '26. Есть русск. пер.—см. выше).
P. Goerens. Einführung in die Metallographie (5-ое изд. '26, 384 стр.).
F. Rapatz. Apparate und Arbeitsverfahren der Metallmikroskopie.

- E. Preuss und G. Berndt.* Die praktische Nutzenanwendung der Prüfung des Eisens durch Aetzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes ('27).
- R. Glocker.* Materialprüfung auf Roentgenstrahlen unter besonderer Berücksichtigung der Roentgenmetallographie ('27, 377 стр.).
- Samuel L. Hoyt.* Metallography. Parts I and II (256 + 462 стр.).
- Robert S. Williams.* Principles of Metallography (155 стр.).
- H. M. Howe.* The Metallography of Steel and Cast Iron (641 стр., 45 табл., с 339 микрофотограф.).
- Carl Benedicks.* Metallographic Researches (501 стр.).
- Albert Sauveur.* The Metallography and Heat-Treatment of Iron and Steel (3-ье изд., '26, 535 стр.).
- R. H. Greaves and H. Wrighton.* Practical Microscopic Metallography ('24, 126 стр.).
- J. Urquhart.* Steel Thermal Treatment. With numerous microphotographs. ('27, 336 стр.).
- Axel Hultgren.* Metallographic Study of Tungsten Steels. (95 стр., 76 микрофотогр. Пер. с шведского).
- Henry Fay.* Microscopic Examination of Steel (82 стр. 55 микрофотогр.).
- A. Ciniselli.* Elementi di metallografia microscopica ('28).

Журналы.

- Журнал Русского Металлургического Общества.
- Вестник Инженеров.
- Вестник Металлопромышленности.
- Техника и Производство.
- Stahl und Eisen.
- Giesserei.
- Giesserei-Zeitung.
- Zeitschrift für Metallkunde.
- Journal of Iron and Steel Institute.
- Blast Furnace and Steel Plant.
- Transactions of the American Society for Steel Treating.
- Foundry.
- Foundry Trade Journal.
- Iron Age.
- Revue de Métallurgie.

Также издания: Естественные Производители России (КЕПС)
Труды Комиссии по Металлу.



ОГЛАВЛЕНИЕ I ТОМА.

Стр.

Введение.

Технология металлов	5
Главнейшие металлы и сплавы и их свойства	6

Черные металлы.

Железо.

Железные руды	13
Различные виды железа	16
Излом железа	20

Чугун.

Сырые материалы доменного производства	22
--	----

Доменные установки.

Устройство доменной печи	25
Доменный процесс	35
Побочные продукты доменного производства	41
Свойства чугуна и его применение	46
Литейный чугун	60
Механические свойства литейного чугуна	62
Специальные чугуны	64

Ковкое железо.

Процесс фришевания	69
Фришевание в кричных горнах	73
Пудлингование	78
Бессемеровский процесс	82
Мартеновский процесс	95
Тигельный процесс Ухациуса	108
Приготовление цементной (томленой) стали и цементация	110
Обычный метод получения тигельной стали	114
Методы получения электростали	116



Стр.

Железо и сталь, их свойства, применение и обработка.

Влияние примесей на свойства железа и стали	127
Мягкое железо и углеродистая сталь	133
Специальная сталь	140
Термическая обработка стали	144
Нагрев изделий для закалки	152
Закалочные печи со свинцовой или соляной ванной	155
Способы охлаждения при закалке	162
Практические приемы закалки	165
Отпуск и отжиг	170

Цветные металлы.

Красная медь	181
Цинк	184
Олово	186
Свинец	188
Алюминий	190
Никкель	194
Сурьма	196
Висмут	197
Магний	197

Сплавы.

Общие свойства сплавов	201
Сплавы меди и олова	206
Сплавы меди и цинка	209
Сплавы меди, цинка и никкеля	211
Сплавы олова и свинца	213
Алюминиевые сплавы	215
Таблица сплавов	219
Испытание материалов	236
Литература	243

