



НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Э43

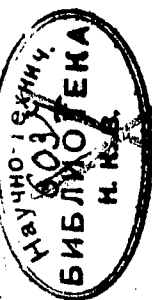
НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Н. В. Грум-Гржимайло

Э43

КУРС
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
СТАЛИ

ПРОВЕРКА 1



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО — ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА — Октябрь 1931 — ЛЕНИНГРАД

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

4796 $\frac{27}{59}$

$\frac{1}{2050}$

Редактор Я. Ю. Вейнберг
Технический редактор И. М. Скворцов

Уполномоченный Главлита Б — 10681

Тираж 15000

18 тип. УПП Огиза. Москва, Варгунихина гора, 8. Зак. 1937.

ВВЕДЕНИЕ

Сталь нам хорошо известна: холодная, тяжелая, невзрачная, иногда покрытая коричневой ржавчиной, иногда сизо-серая, покрытая окалинной, а иногда — после обработки резцом блестящая. Фортепианная проволока — из стали, обычная проволока — тоже; первая — упругая, вторая — гибкая. Но стоит только нагреть упругую фортепианную проволоку до вишнево-красного каления и затем медленно охладить, как она потеряет свою упругость. А если вместо медленного охлаждения закалить в воде, она будет очень твердой и хрупкой. Она будет тверда, как напильник, а напильник царапает стекло, режет сталь...

Однако не всякая сталь может закалиться. Попробуем закалить кусочки кровельного железа, — ничего не выйдет, они будут также гнуться, как и до закалки. Закалить рельсовую сталь удастся, ее труднее возьмет напильник, но все же царапать стекла она не будет. Значит есть что-то в стали рельс и в стали напильника, что отличает их. Мы знаем, что в состав стали входит главным образом железо. Обычно содержание его в рыночных сортах 97—98% и поднимается до 99,4% и даже 99,8% для самых мягких сортов рыночного железа. В специальных сортах стали железа содержится меньше 95—85—70% и даже иногда еще меньше. Остальное — примеси. Эти примеси меняют свойства стали. Какие примеси и в каких количествах входят в состав стали? Зачем их вводят при производстве стали? Какое влияние они оказывают на ее свойства? Вот этими вопросами и займемся в настоящей главе. Чтобы лучше усвоить влияние примесей на свойства стали, начнем изучение с простейшего, — с мягкого железа, и остановимся на самом чистом железе — железе Армко, содержащем 98,84% Fe.

ГЛАВА ПЕРВАЯ УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ ЖЕЛЕЗО АРМКО

В течение столетий внимание металлургов привлекала одна старинная индийская колонна, стоящая в храме в городе Дели и сделанная из железа. Тысячелетие простояла эта колонна под открытым небом и не покрылась ржавчиной. Шла молва о каком-то сверхъестественном могуществе индийских факиров, предохранявшем колонну от ржавления. Наука не мирится со сверхъестественным. Небольшой кусо-

чек, отбитый от колонны и подвергнутый анализу, оказался почти чистым железом, следующего состава: $C=0,080$; $Si=0,0046$; Mn — отсутствует; $P=0,114$; $S=0,006$; $Cu=0,034$; $Fe=99,72\%$. И правильно было первое научное объяснение сохранения колонны, данное Гадфильдом, что колонна не заржавела благодаря тому, что она изготовлена из весьма чистого железа.

Фирма Армко заинтересовалась этим обстоятельством, так как больше 30% всего выплавленного за всю историю человечества железа уже «с'едено» ржавчиной. Необходимо было научиться готовить такое железо, которое не ржавеет. Фирме Армко после долгих опытов это удалось и ею получено даже еще более чистое железо, а именно фирмой гарантируется состав: $Fe=99,84\%$; $C=0,015$; Si — следы; $Mn=0,017$; P и $S=0,06\%$.

Почему же не ржавеет чистое от примесей железо, тогда как железо даже с очень незначительным содержанием примесей ржавеет быстро? Объяснить это явление можно следующим образом. Вспомним, как устроен простейший гальванический элемент. Это — стеклянный сосуд, наполненный подкисленной водой, в который опущены две пластинки, одна — цинковая, другая — медная. Соединим пластинки проводом, по проводу потечет электрический ток, а цинковая пластинка будет быстро растворяться в кислоте. Уберем соединяющий пластинки провод, прекратим ток и мы сейчас же заметим, что растворение цинковой пластинки стало значительно медленнее. Итак, для быстрого растворения цинковой пластинки необходим «контакт» ее с медной пластинкой. Заменяя пластинки цинковую и медную пластинками из других металлов и всюду, за исключением разве только случаев применения благородных металлов, мы получим ускорение раз'едания одной из них при замыкании контакта. Теперь перейдем к обычному торговому железу. Как мы увидим дальше, железо содержит в большом количестве мелкие вкрапления карбида железа. Если бы мы попробовали выделить карбид железа отдельно и, приготовив из него пластинку, опустили бы его в кислоту вместе с железом, то в примере с гальваническим элементом карбид железа играл бы роль меди, а чистое железо — роль цинка, и при наличии контакта между ними мы также обнаружили бы быстрое ржавление железа, ослабевающее при размыкании. Таким образом явление ржавления представляется нам в следующем виде. Многочисленные мелкие включения карбида железа (т. е. цементита) создают вместе с чистым железом гальваническую пару, которая при воздействии влажности способствует ржавлению железа. Если железо чисто от примесей, то гальваническая пара образоваться не может и стойкость железа против ржавления становится высокой.

Железо Армко мягко и весьма тягуче. Оно выдерживает даже самую сильную протяжку и может в некоторых случаях, например для изготовления патронных гильз, заменять дорого стоящую латунь. Так из него удачно готовят револьверные гильзы и всякие штампованные вещи сложной конструкции. Удельный вес его равен 7,858. Получение железа со столь малым содержанием углерода затруднительно и оправдывается в исключительных случаях. В обычных же условиях, например для изготовления эмалированной посуды, вопрос ржавления не играет такой роли, так как слой эмали хорошо предохраняет железо от ржавления, и поэтому применяют железо с небольшим количеством углерода (доводя его содержание до 0,1%) во всех тех случаях, где хотят помощью холодной штамповки, загибки и т. д. дешево получить нужное изделие. Таким образом, выработалась вторая по своей чистоте марка стали — мягкое железо, пригодная для проволоки, заклепок, кровельного железа и т. д.

Механические свойства железа Армко однако не высокие: сопротивление разрыву $26,7 \text{ кг/мм}^2$ и относительные удлинение 32%. Обычное железо несколько прочнее, — оно дает сопротивление раз-

рыву 32—35 кг/мм², но все же цифры эти слишком низки и не могут удовлетворить запросам промышленности. Чрезвычайные тягучесть и мягкость железа Армко, выгодные для производства холодно-штампованных изделий, оказываются недостатком в тех случаях, когда поверхность изделия работает на смятие или трение, и поэтому техника не остановилась на нем, как на универсальном материале, и должна была искать способ повысить качества железа. Задача была разрешена введением разных примесей в сплав с железом, среди которых наиболее радикально меняющей свойства железа примесь оказался углерод. На заре развития металлургии он и явился тем средством, которое позволило приспособливать железо к несению разнообразнейших функций. Мы и перейдем к изучению этих сплавов железа с углеродом, получивших в обыденной практике название стали.

МЯГКАЯ МАШИНОПОДЕЛОЧНАЯ СТАЛЬ

Начнем с более «мягких» сортов стали, содержащих 0,2—0,3 % С. Это одна из наиболее распространенных марок стали, идущая на мостовое железо, балки, различные виды сортового железа, уголки, швеллера и т. д. Почему применяется этот сорт стали, а не более твердая сталь, обладающая, как мы увидим далее, более высоким сопротивлением разрыву? Объясняется это следующим образом. Железные конструкции — покрытия фабричных зданий, железнодорожные мосты и т. д. изготовляются путем склепывания ферм из листового и различных видов сортового железа. Заклепки в силу необходимости приходится делать из мягкого железа, так как более твердые заклепки нельзя будет расклепать. Поэтому прочность стыков склепанных частей зданий будет зависеть от прочности заклепок, которая не так велика, а прочность стыков и узлов и определяет прочность конструкции. И следовательно, увеличивая прочность сортового железа, применением более твердых сортов стали мы вряд ли достигнем заметной экономии материала. Но, применяя более твердую сталь, мы наткнемся на целый ряд трудностей: она более хрупка, труднее обрабатывается режущим инструментом, сильно повышает свою хрупкость при наклоне, возникающем при правке, и т. д. Таким образом, более твердые сорта сталей нельзя было бы гнуть без нагрева, что в условиях работы, не на заводе, вызвало бы ряд затруднений. И вместе с тем затруднительность сверления и резки сильно изменила бы характер сборочных работ по постройке железных конструкций и конечно удорожила бы их.

Явление наклепа заключается в повышении сопротивления разрыву и предела упругости стали. Выточим разрывной образец и заложим его в пресс для испытания растяжением, снабженный диаграммным аппаратом. Начнем нагружать образец. Он будет растягиваться и диаграммный аппарат запишет кривую растяжения. Сперва это будет наклонная прямая линия, затем при некоторой определенной величине напряжения образца на ней появится площадка, свидетельствующая о том, что образец вытягивается без увеличения нагрузки. Это будет предел текучести. Продолжая растяжение далее, мы увидим, что нагрузка опять начнет возрастать. Дойдя до точки *a* (рис. 1), начнем разгружать образец. Образец будет сжиматься, но уже начерченная диаграммным аппаратом кривая разгрузки не будет совпадать с кривой, полученной при нагружении. Это будет наклонная прямая, параллельная предыдущей, но сдвинутая в сторону.

Разгрузив образец полностью, мы заметим, что карандаш диаграммного аппарата не вернулся в первоначальное положение в точку *a*, а остановился в

точке *b*. Отрезок *ob* будет определять величину остаточной деформации. Начнем теперь снова растягивать образец. Карандаш диаграммного аппарата пойдет вверх почти точно по прямой *ab* и, дойдя до точки *a*, будет продолжать первоначальную

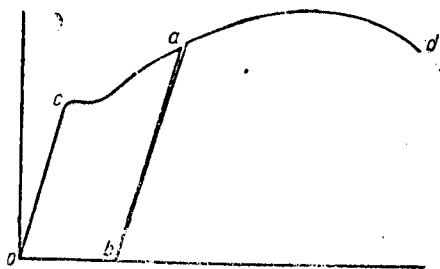


Рис. 1. Диаграмма растяжения стали.

кривую вплоть до разрыва образца в точке *d*. Рассмотрим полученную диаграмму. Обратим внимание на участки кривой, где удлинение пропорционально нагрузке. Это участки *oc* и *ba*. В точке *c* и *a* удлинение перестанет расти пропорционально нагрузке — это предел упругости стали. Мы видим, что при первом нагружении образца предел упругости *c* лежал ниже, чем при втором нагружении *a*. Итак, если предварительно нагрузить образец выше его естественного предела упругости, он приобретает новый повышенный предел упругости, т. е. он будет, как говорят, наклепан. Но так как после первого растяжения образца он несколько вытянулся и следовательно израсходовал часть своей тягучести, то он при втором испытании будет растягиваться меньше на величину *ob*, как это и видно из диаграммы. Далее мы увидим, что чем тверже сталь, тем меньше получающееся при растяжении проб удлинение и, таким образом при растяжении образца твердой стали, доведя его до одинаковой степени наклепа, как и у образца из мягкой стали, мы сильнее понизим его тягучесть.

Механические свойства мягкой стали: предел текучести 28—32 кг/мм² и сопротивление разрыву = 38—45 кг/мм², относительное удлинение 24—28% и относительное сужение 60—70%. Мы видим, что при содержании в стали небольшого количества углерода изменение механических свойств получилось значительное. Однако сопротивление смятию и твердость этой стали все-таки невысоки. Закалка несколько увеличивает твердость, но недостаточно. Поэтому применять ее в тех случаях, когда сталь должна противостоять смятию или истиранию, оказывается нерациональным, и практика выработала следующую по твердости категорию сталей.

СТАЛЬ СРЕДНЕЙ ТВЕРДОСТИ

Эта сталь принадлежит также к числу весьма распространенных марок. После прокатки она дает сопротивление разрыву 52—60 кг/мм² и предел упругости = 30—35 кг/мм² при относительном удлинении 20—25% и относительном сужении 45—55%, и следовательно при высоких механических качествах она еще достаточно вязка. Содержание углерода в ней 0,50—0,45%. При таком количестве углерода сталь хорошо закаливается и в закаленном состоянии может дать сопротивление разрыву 75—90 кг/мм², предел упругости 50—65 кг/мм², относительное удлинение 15%, относительное сужение 37% и больше. Цифры механических испытаний, как мы увидим дальше, меняются в зависимости от характера термообработки.

Эта сталь удовлетворительно противостоит истиранию и поэтому применяется для конструкций, работающих на трение и смятие. Такими изделиями являются рельсы, бандажи железнодорожных колес, автомобильные коленчатые валы, ружейные стволы и т. д.

ТВЕРДЫЕ СТАЛИ

Стали этой категории применяются уже значительно реже. Они хрупки. Изделия сложной формы, изготовленные из твердой стали, оказываются ненадежными. Но прокатанная полосовая твердая сталь еще сохраняет некоторую вязкость. Это делает возможным применять твердые стали для таких изделий, на которые ставится сталь, прокатанная в простые профили.

К числу таких изделий относятся главным образом рессоры. О них-то мы и будем говорить, разбирая свойства твердых сталей.

Механические свойства этих сталей в отожженном состоянии следующие:

Сопротивление разрыву	65—70 кг/мм ²
Предел упругости	40—45 »
Относительное удлинение	16—20%
Относительное сужение	45—50%

в закаленном состоянии:

Сопротивление разрыву	85—95 кг/мм ²
Предел упругости	65—70 »
Относительное удлинение	10—11%
Относительное сужение площади . . .	30%

Значит, рассчитывая рессору, надо исходить из этих данных. Но для ряда случаев, например для автостроения, для ответственных рессор, паровозов и т. д. эти цифры оказываются недостаточными. Необходимо еще выше поднять предел упругости стали. Повышение содержания углерода настолько уменьшает вязкость стали, что рессоры изготовленные из нее легко ломаются.

Техника разрешила этот вопрос, увеличив количество некоторых примесей (кремния и марганца), содержащихся в обыкновенной стали.

До сих пор мы избегали говорить о других (кроме углерода) примесях в стали. Это объясняется тем, что содержание их, очень важное для сталевара, для громадного большинства сталей обычно колеблется в сравнительно небольших пределах, и следовательно влияние их на свойства стали не меняется и остается незаметным.

Можно, как мы видели на примере железа А р м к о, сварить железо и без примеси. Однако это очень трудный и дорогой метод производства. В обычной же практике без добавки марганца, а иногда и кремния обойтись бывает трудно. Почему? Спросите сталевара и он ответит вам, что без марганца сталь «не раскислишь», т. е. не очистишь от окиси железа, которая растворяется в жидкой стали. Растворенная в жидкой стали окись железа реагирует с углеродом, давая газ — окись углерода. Сталь, насыщенная окисями, насыщается и газами. При остывании газы выделяются наружу, вызывая «кипение» стали. Если газов много, то кипение становится настолько сильным, что заполнить изложницу, куда заливают сталь, не удастся, а если и удастся, то полученный слиток стали будет пузыристым и все равно годен не будет. Чтобы избавиться от вредного влияния окиси железа, нужно заменить ее окисью другого элемента, имеющего большее средство к кислороду и неразлагаемого углеродом. Такими окислями являются закись марганца, окись кремния или алюминия. Ими-то и пользуются сталевары, чтобы «раскислить» сталь. Обычно требуется для хорошего раскисления стали 0,4—0,8% Mn и 0,1—0,2% Si. В рессорной стали марганец и кремний вводятся не только для раскисления, и поэтому добавляемое в сталь количество их значительно больше.

В рессорной стали содержится обычно 1,0—2,0% Si и 0,6—1,2% Mn при 0,5—0,6% C. Такая сталь в закаленном и отпущенном состоянии дает предел упругости 100—130 кг/мм², сопротивление разрыву от

120—150 кг/мм² при относительном удлинении 6% и относительном сужении около 30%. Мы видим, что она достаточно тягуча и чрезвычайно упруга, что и требуется для рессор.

В железнодорожных рессорах увеличенной добавки Si и Mn не делают. Это объясняется тем, что для железнодорожных вагонов, идущих по гладкому полотну, рессоры нужны главным образом для того чтобы равномернее распределить груз на четыре, иногда шесть колес. А для этого не требуется большая упругость рессоры, которая даже может оказаться вредной, вызвав раскачивание вагонов при больших скоростях движения поезда.

Итак для повышения упругости в рессорную сталь вводят кремний; и, действительно, кремний, так же как и углерод, повышает механические свойства стали. Это хорошо видно в табл. 1, где даны результаты испытаний чистых железокремнистых сплавов, полученных Гадфильдом, а в табл. 2 то же для железомарганцевых сплавов по данным Лонга.

ТАБЛИЦА 1

Влияние кремния на механические свойства железа.

Содержание кремния %	Предел упругости кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относит. удли- нение %	Относит. суже- ние %
0,001	11,53	25,38	61	80,9
0,010	11,18	24,53	53	81,5
0,091	10,05	24,88	64	94,8
0,230	10,48	24,95	60	84,7
0,400	18,28	29,53	55	91,0
0,673	18,66	31,80	45	88,2
0,822	18,42	31,74	50	91,6
1,71	25,07	38,14	50	90,6
2,73	35,01	47,66	19	15,5
3,40	40,13	54,49	21	28,7
4,44	51,26	64,38	24	25,1
4,92	33,53	33,53	0	0
6,57	9,13	9,13	0	0

Рассмотрим эти таблицы. Начнем с кремнежелезных сплавов. Как видно из табл. 1, прибавка кремния до 2% вызывает возрастание предела упругости без значительного понижения вязкости, а при 3,5% кремния сталь можно согнуть под прямым углом, и лишь при содержании кремния более 4% она становится хрупкой. Сплавы с 5% и более кремния хрупки не только при обычной температуре. Даже при ковочном жаре они не приобретают вязкости, и ковать их нельзя.

Влияние марганца несколько отлично. При содержании его до 2% вязкость не только не уменьшается, но даже имеет тенденцию к увеличению одновременно со значительным ростом сопротивления разрыву. Если, вводя кремний, мы добиваемся улучшения сопротивления стали, главным образом за счет ее вязкости, вводя марганец мы уже несколько повышаем общие механические качества стали. Особенно благотворно действие марганца при содержании его 1—1,5% для стали (в отожженном виде). Этим пользуются литейные цехи, желая повысить качество своих отливок. В термообработанных сталях марганец сказыв-

ТАБЛИЦА 2

Влияние марганца на механические свойства железа

Содержание элементов						Отоженные						Закаленные в воду					
Марганец %	Углерод %	Кремний %	Сера %	Фосфор o/o	Медь o/o	Предел текучести кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относительное удлинение o/o	Относительное сужение o/o	Сопротивление к удару кг/мм ² см ²	Твердость по Бринеллю	Предел теку- щего кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относительное удлинение o/o	Относительное сужение o/o	Сопротивление к удару кг/мм ² см ²	Твердость по Бринеллю
0,28	0,11	0,32	0,046	0,063	0,130	32,4	44,0	27,8	53,5	23,2	119	30,2	55,4	19,6	61,0	23,6	146
0,44	0,12	0,29	0,050	0,067	0,160	33,5	45,7	29,2	62,5	29,4	115	33,0	58,0	14,2	62,0	27,0	165
0,67	0,12	0,30	0,046	0,067	0,160	35,0	46,6	29,4	63,9	28,1	115	34,2	59,2	16,0	62,5	29,4	154
0,78	0,10	0,31	0,052	0,040	0,120	34,6	45,4	27,8	65,9	33,4	118	34,9	59,4	14,0	56,1	30,0	157
1,07	0,10	0,32	0,049	0,041	0,140	36,3	47,9	28,6	64,2	31,8	123	38,1	68,1	15,5	53,0	27,2	179
1,27	0,10	0,31	0,045	0,099	0,190	38,2	50,2	27,9	68,1	26,4	132	44,3	75,8	15,2	48,2	18,4	230
1,31	0,10	0,30	0,047	0,102	0,140	38,0	50,1	28,0	67,7	34,0	133	46,5	78,2	16,3	47,8	18,1	273
1,76	0,10	0,31	0,056	0,103	0,150	40,7	58,1	25,9	54,7	25,1	156	60,2	109,0	9,0	44,6	14,8	273
1,83	0,10	0,32	0,059	0,108	0,126	41,1	59,7	26,0	46,7	25,6	162	62,7	110,5	6,7	41,7	14,5	288
2,23	0,09	0,30	0,058	0,102	0,121	42,9	65,2	21,2	43,4	9,5	198	64,0	115,7	4,9	26,6	12,3	326
2,47	0,09	0,30	0,051	0,110	0,125	44,6	72,4	18,8	39,4	2,7	211	64,9	117,1	3,1	18,9	11,7	144

вается еще сильнее, повышая сопротивление разрыву и предел текучести. Но это повышение разрывных свойств при недостаточно внимательной термообработке идет за счет уменьшения вязкости, что является отрицательным свойством сталей с присадкой марганца, так как простые углеродистые стали, как видно из табл. 3, дают очень близкие механические качества.

Но если термическая обработка производилась правильно и достаточно тщательно, марганцевые стали оказываются настолько вязкими,

ТАБЛИЦА 3

Механические свойства закаленных углеродистых сталей.

Содержание С %	Предел упругости кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относит. удлинение %	Относит. сужение %
0,3—0,4	50—65	75—90	15	37
0,4—0,5	58—73	85—90	12	30
0,5—0,6	65—80	95—100	10	26
0,6—0,7	80—90	100—107	9	24
0,7—0,8	80—90	110—120	8	22
0,8—0,9	80—90	112—128	7	20
0,9—1,0	80—90	115—128	6	20
1,0—1,2	80—90	115—128	5	18

что при своих высоких механических свойствах они становятся в ряд высококачественных сталей и могут ввиду своей дешевизны конкурировать с малолегированными специальными сталями.*

Стали с содержанием углерода больше 0,6% хрупки, но в закаленном состоянии чрезвычайно тверды. Они находят обширнейшее применение в промышленности в качестве инструментальных сталей. Твердость их, достигаемая закалкой, повышается с повышением содержания углерода, причем одновременно растет и хрупкость их. Поэтому для каждой категории изделий приходится подбирать наиболее подходящую сталь. Так например для горячей штамповки металлов опасно брать слишком хрупкую сталь и практика установила для такого рода изделий сталь, с 0,6—0,7% С. Резцы, сверла, фрезы, плашки, метчики и прочий инструмент, не испытывающий сильных ударов, делают из стали с 1,05—1,15%. Этот же материал с успехом применяется для напильников. Еще более твердые стали применяются уже значительно реже, так как их чрезвычайная твердость сопровождается очень высокой хрупкостью, и применение их всегда требует осторожного обращения. Стали с 1,25—1,35% С оказываются хорошими для бритв, хирургических инструментов и т. д. Они применяются, правда редко, в качестве резцов для обточки прокатных валов с закаленной поверхностью.

* В особенности ценным является то, что марганец парализует вредное влияние серы, от чего в мягких марганцовистых сталях содержание ее можно повышать до 0,12—0,15%. А это дает неоспоримые преимущества в механической обработке, повышая скорости резания, при сохранении очень чистой поверхности резания.

ТАБЛИЦА 4

Содержание углерода %	Назначение стали	Примечание
0,08—0,15	Шинное и обручное железо, железные подковные гвозди, шайбы, кленцы, заклепки для котельного дела, кровельное железо, штампованная железная посуда, телеграфная проволока, котельное железо, цельнотянутые и сварные трубы.	Хорошо сваривается, не каляется.
0,16—0,25	Болты, гайки, винты, ломы, кирки, мотыги, лопаты, штоки для паровых молотов, приводные валы, сортовое железо (угольники, швеллера и др.), мостовое железо, трубы цельнотянутые.	Сваривается, слабо закаливается в воде.
0,25—0,35	Вагонные оси, штоки, шатуны, кузнечные наковальни, патроны и другие части станков, балки, зубчатые колеса.	Хорошо закаливается в воде.
0,35—0,45	Рельсы, бандажи, орудийные и оружейные стволы, ножницы, серпы, ножи, вилки, грабли, направляющие плашки для различных машинных деталей, валы, трансмиссии, коленчатые валы.	Закаливается в воде и масле.
0,45—0,55	Молотки, кувалды, косы, стамески, отвертки, ножи и вилки, сабельные клинки, станки, рессоры, пружины, болты, бурова, буровой инструмент для горного дела, хирургические инструменты, дешевые бритвы, шестерни, фабричные ножи для резки бумаги, пробки, табака и т. д.; матрицы и штампы для отрезки засенок при штамповке, снаряды.	То же.
0,55—0,70	Деревообделочные инструменты, слесарные зубила, полотна для пожевков, клейма, молотки для заклепок, штампы, молотки пневматические, снаряды.	То же.
0,70—0,80	Шарошки для мягкой стали, метчики, плашки, развертки, перочные сверла, ножницы для резки стали в холодном виде, винтовальные доски, штампы, пуансоны.	То же.
0,8—0,9	Шарошки для твердой стали, резцы к токарным и строгальным станкам для мягкого металла и дерева, американские сверла для мягкой стали, слесарные зубила, лекала, калибромеры, матрицы.	То же.
0,9—1,0	Пробивной инструмент, метчики, плашки, фасонные резцы к долбежным станкам, американские сверла для твердой стали, гребенки, ножевые полотна, драчевые пилы, резцы.	То же.
1,25—1,50	Бархатные напильники, бритвы, крейсесмыслы, ножи для резки бумаги, табака, резины; резцы для обточки очень твердых валов из чугуна с подкаленной поверхностью.	То же.

В отожженном состоянии эти стали мягки и великолепно обрабатываются резцом, приготовленным из той же стали, но закаленным. Это — замечательнейшее свойство железа, углеродистых сплавов, дающее возможность изготовить из отожженной стали инструмент любой формы, затем, закалив его, сделать способным резать сталь. Открытие этого свойства сплавов железа сыграло величайшую роль в развитии промышленности, так как дало человечеству в руки инструмент, помощью которого создаются машины, освобождающие человека от рабского мускульного труда.

Заканчивая обозрение углеродистых сталей, весьма общее и потому далеко не исчерпывающее, ниже приводим таблицу, в которой помещены наиболее ходовые сорта сталей и отмечены главные изделия из них.

ГЛАВА ВТОРАЯ

МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

В предыдущей главе мы ознакомились с главнейшими категориями применяемых в промышленности углеродистых сталей, ознакомились с их свойствами в отожженном и закаленном состоянии, с влиянием углерода, кремния и марганца на механические свойства стали. Мы видели, сколь сильное влияние оказывает на свойства стали присадка

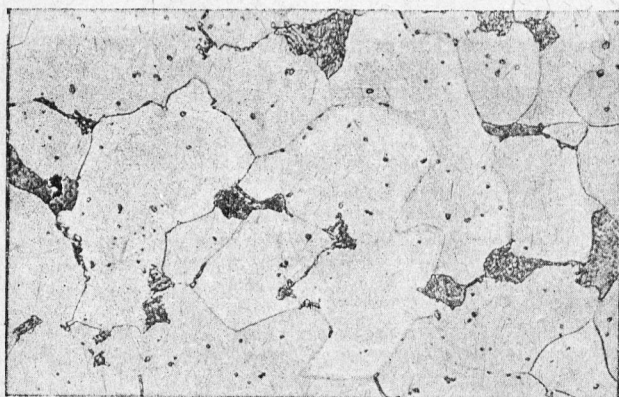


Рис. 2. Микрофотография мягкого железа (Ганнеман и Шредер) Увел. в 500 раз.

углерода. Работникам железной промышленности, ежедневно сталкивающимся с углеродистыми сталями, хорошо знакомы эти явления и желание пролить свет на них, разобраться и объяснить их было продиктовано самой жизнью, так как без этих знаний невозможно регулировать производство, вовремя замечать ошибки и уметь исправлять их. Длительными трудами ряда ученых, а в первую очередь нашего соотечественника великого русского металлурга Д. К. Чернова, нам открыты тайны железа, и, вооружившись металлографическим микроскопом, попробуем разглядеть те тонкие изменения в строении железа, которые вызывает в нем углерод.

Положим на столик микроскопа приготовленный соответствующим образом шлиф мягкого железа и взглянем на него через микроскоп. Мы увидим, что вся поверхность шлифа разбита резко очерченными черными черточками на отдельные зерна, как показано на микрографии рис. 2. По границам зерен, большей частью в местах стыков нескольких зерен видны темные мелкие включения пластинчатого строения —

это так называемый перлит — тонкая смесь карбида железа и чистого железа — феррита. Большие белые поля, это — отдельные кристаллы феррита. Итак обычное торговое железо состоит из механической смеси феррита и перлита. Чем меньше углерода в железо-углеродистом сплаве, тем меньше в нем карбида и тем меньшие области занимает перлит и большие — феррит. Железо Армко совершенно не содержит перлита.

Посмотрим в микроскоп на шлиф, приготовленный из стали с еще большим содержанием углерода, например 0,45 и 0,9% С, и мы заметим, что площади, занятые перлитом увеличились.

Так например на рис. 3 мы видим, что при 0,45% С уже половина всей площади шлифа занята перлитом. А при 0,9% С (рис. 4) сталь феррита не содержит. На рис. 5 дана микрофотография стали с 1,3% С; обратим внимание на тоненькую светлую каемочку вокруг зерен перлита.

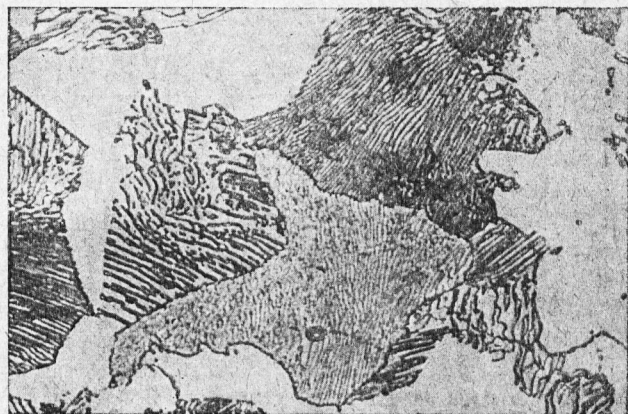


Рис. 3. Микрофотография стали с 0,45% С (Ганнеман и Шредер). Увел. в 300 раз.

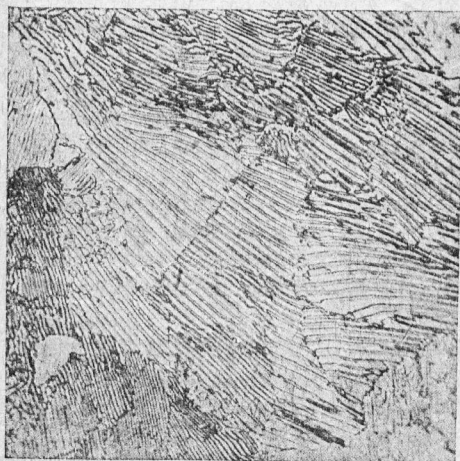


Рис. 4. Микрофотография стали с 0,90% С (Ганнеман и Шредер). Увел. в 200 раз.

Что представляет из себя эта новая составляющая стали? Исследование показывает, что это карбид железа, по своей химической природе не отличающийся от карбида заключенного в перлит; эта структура именуется цементитом.

В отличие от цементита заключенного в перлит, назовем его — структурно свободным цементом.

Итак мы видим, что небольших количеств углерода достаточно чтобы в корне изменить строение стали. Сначала при небольших содержаниях углерода появляются небольшие островки перлита, которые быстро растут с повышением углерода в стали и при 0,9% С, сталь сплошь имеет перлитовую структуру, а при еще большем содержании углерода появляется структурно свободный цементит. Вслед за структурой стали меняются и ее механические свойства: повышается сопротивление

разрыву и падает вязкость. В табл. 5 приведены механические свойства сталей в зависимости от состава * (в отожженном состоянии).

ТАБЛИЦА 5

Механические свойства сталей в отожженном состоянии

Содержание С %	Содержание Mn %	Предел текучести кг/мм ²	Сопрот. разрыву кг/мм ²	Относит. удлинение %	Относит. сужение %
0,05	0,40	15—18	32—35	30—34	70—80
0,05—0,10	0,40—0,50	18—24	35—38	30—33	70—75
0,10—0,20	0,40—0,60	24—28	38—45	28—30	65—70
0,20—0,30	0,40—0,70	28—31	45—52	24—28	60—70
0,30—0,40	0,60—0,80	30—35	52—60	20—25	45—55
0,40—0,50	0,60—0,80	35—45	60—70	18—21	45—60
0,50—0,60	0,60—0,80	40—45	70—75	15—19	40—50

Обратим внимание, как сильно сказывается увеличение содержания углерода на механических качествах сталей, как растет предел текучести и сопротивление разрыву и падает удлинение. С падением удлинения появляется хрупкость, но растет сопротивление смятию и истиранию. В тех случаях, когда сталь должна хорошо противостоять истиранию, в случае рельсов, железнодорожных бандажей, шестерен и т. д. применяют более твердую сталь.

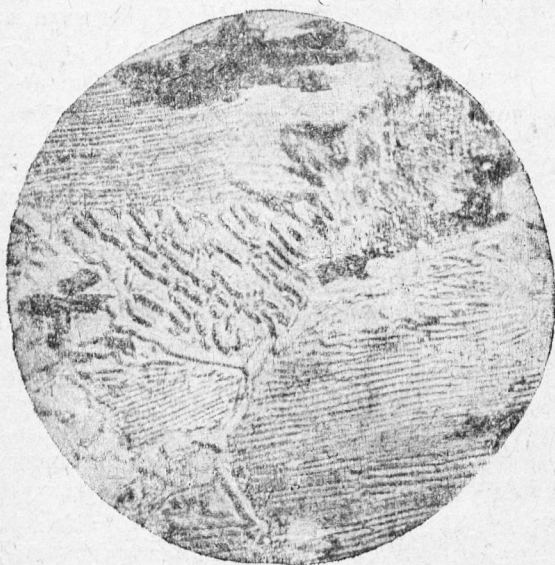


Рис. 5. Микрофотография стали с 1,30% С. Увел. в 1000 раз.

Мы только что ознакомились с микроструктурой отожженных углеродистых сталей. посмотрим теперь, что представляют стали в закаленном состоянии.

* Кроме случая, приведенного в таблице 1, можно довольно точно вычислить сопротивление разрыву прокатанной стали по формуле: сопротивление разрыву равно $25 + \frac{200\%}{14} \text{ Si} + \frac{200\%}{7} \text{ Mn} + \frac{200\%}{3} \text{ C}$ кг/мм².

Посмотрев через микроскоп на шлиф, приготовленный из закаленной стали (например с 0,4% углерода), мы увидим радикальное изменение строения стали: исчезли перлит и феррит и их место заняла новая структурная составляющая своеобразного строения: однородная, с неясно очерченными иглообразными составляющими, складывающимися в треугольники (рис. 6). Это — мартенсит.

Мартенсит однороден, даже самое сильное увеличение микроскопа не дает возможности определить, что стало с исчезнувшим цементитом, так хорошо различимом в отожженной стали. Железо поглотило его, исказив при этом свое строение.

Закаленная сталь тверда и хрупка. Разрывной образец из закаленной (и не отпущенной) стали не дает никакого удлинения, т. е. разрушение металла происходит раньше, чем он начинает тянуться или, иными словами, разрушение происходит при напряжениях более низких, чем

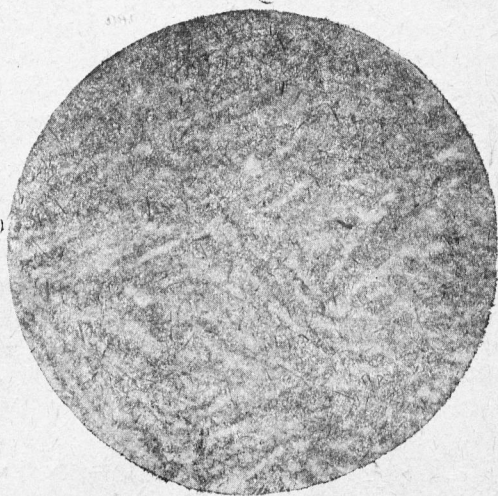


Рис. 6. Мартенсит. Увел. в 1000 раз.

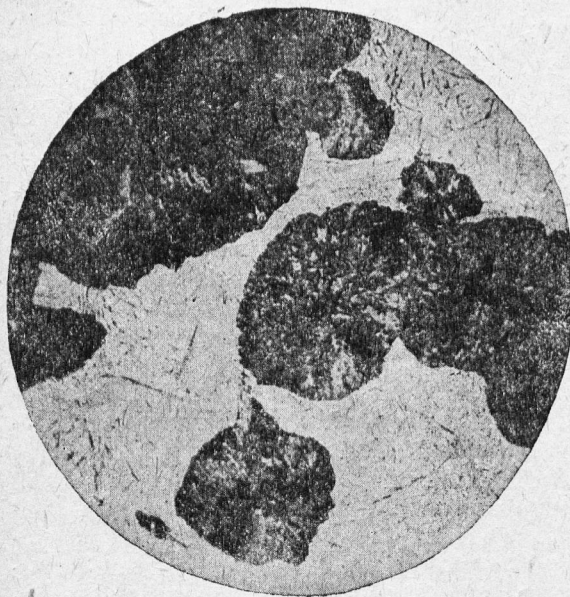


Рис. 7. Троостит. + Мартенсит. Увел. в 600 раз (Совер).

предел упругости. Однако, если закаленную сталь подвергнуть вторичному нагреву, скажем до 300°, она приобретет уже некоторую тягучесть и даст сопротивление разрыву, вместо прежних 60—70 кг/мм² для отожженного материала, примерно до 100 кг/мм² при 8% относительного удлинения. При более высоких температурах отпуска сталь будет давать постепенно понижающиеся цифры сопротивления разрыву и предела упругости и возрастающие цифры относительного удлинения и сужения. Это мы и видим в табл. 6, где приведены механические испытания термообработанной

стали с 0,34% С и 0,6% Мн (полученные Н. И. Беляевым и Н. Т. Гудцовым).

ТАБЛИЦА 6

Механические свойства термообработанной углеродистой стали
с 0,34% С и 0,6% Мп

Температура закали	760°	760°	760°
Температура отпуска	450°	550°	650°
Предел упругости кг/мм ²	61,4	50,7	44,3
Сопротивление разрыву кг/мм ²	89,1	78,2	66,9
Относит. удлинение %	10,6	15,9	17,9
Относит. сужение %	44,6	54,8	62,0

Посмотрим теперь, как изменилась микроструктура стали.

При невысоких температурах отпуска изменение это незначи-
тельно. Оно выражается в общем потемнении мартенсита. С повыше-
нием температуры отпуска до 400—450° Ц игольчатое строение

мартенсита начинает исчезать, заменяясь черной составляющей неопределенного строения (рис. 7). Эту структуру обычно называют трооститовой. Дальнейшее повышение температуры отпуска до 600—650° Ц сопровождается новым посветлением, и появляются мелкие, едва различимые даже при очень большом увеличении, зернышки цементита (рис. 8). Эта структура носит название сорбита. Итак мы видим, что при отпуске закаленной стали изменение механических качеств сопровождается изменениями микроструктуры, в результате которых появляются мелкие зернышки цементита. Однородная

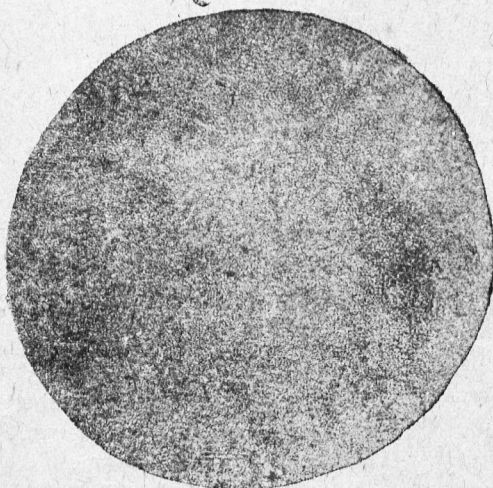


Рис. 8. Сорбит. Увел. в 125 раз.

мартенситовая структура переходит в первоначальное состояние феррита и цементита. Но цементит уже не расположен пластинками, а имеет, как мы только что видели, форму мелких зернышек. Чтобы восстановить строение стали, т. е. получить структуру пластинчатого перлита необходим более высокий нагрев, т. е. отжиг стали.

Сопоставляя вышесказанное о механических свойствах стали с только что рассмотренными изменениями структуры, мы можем подвести итог. Мартенситовая структура углеродистой стали сопровождается весьма высокой твердостью и хрупкостью. Появление троостита свидетельствует о понижении твердости и о появлении первоначальной вязкости при наивысшем сопротивлении разрыву. Наибольшей вязкостью обладает, вообще говоря, сталь имеющая сорбитовую структуру. При этом твердость стали понижается настолько, что сталь обрабатывается на станках. Сопротивление же разрыву и предел упругости у сорбитовой стали остаются повышенными.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТАЛИ

Одним из главнейших недостатков стали является весьма высокий удельный вес ее. Обычные стальные изделия тяжелы. Примеси изменяют удельный вес стали, но очень мало. Ниже приведены некоторые цифры, характеризующие влияние этих примесей на удельный вес стали, собранные из разных источников и сгруппированные в одну общую таблицу.

ТАБЛИЦА 7

Влияние примесей на удельный вес сплавов железа.

		П р и м е с и					
		C	Si	Ni	S	P	As
Удельный вес исходного материала		7,858	7,860	7,858	7,8478	7,810	—
Количество примесей %	0,2	7,849	—	—	—	7,810	7,791
	0,4	7,841	7,835	—	—	7,78	—
	0,6	7,832	—	—	—	7,75	—
	0,8	7,824	—	—	—	7,72	—
	1,0	7,816	7,803	7,864	7,6903	7,69	7,785
	1,2	7,807	—	—	—	7,67	—
	1,4	7,798	7,780	7,867	—	—	—

Поэтому, чтобы облегчить конструкцию, надо применять более прочные стали.

Сколь плодотворно отражается улучшение стали специальными добавками может иллюстрировать следующий пример.

Путем холодной протяжки, т. е. путем весьма сильного наклепа, можно получить стальную проволоку, имеющую сопротивление разрыву порядка 200 кг/мм². Самый легкий сплав, так называемый металл электрон (сплав магния с добавками меди, алюминия и цинка), имеющий удельный вес 1,75 и дает сопротивление разрыву 20 кг/мм². Поэтому, если заменить стальную проволоку проволокой из электрона, пришлось бы израсходовать его примерно в 10 раз по объему больше. Один кубический сантиметр стальной проволоки весит, как мы знаем 7,8 г, а 10 см³ электрона будут весить $1,75 \times 10 = 17,5$ г, т. е. примерно в 2,5 раза больше. Итак в нашем примере применение самого легкого из известных нам сплавов увеличило вес детали нашей конструкции по сравнению со стальной в 2,5 раза.

Такая относительная «легкость» специальных сталей делает возможным применение их в авиации наравне с алюминиевыми сплавами. Известный перелет через Атлантический океан американского летчика Линдеберга совершен на аэроплане с фюзеляжем из стальных хромомолибденовых труб. Этот перелет наилучшим образом характеризует те блестящие достижения техники в области выработки высокопрочных сталей.

НИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ

В 1888 году металлурги обратили внимание на никель, как на возможную присадку к стали. Непрерывные опыты и исследования с тех времен дали возможность изучить свойства железоникелевых сталей, поставить и утвердить их производство. Вначале на высокие качества стали с примесью никеля обратили внимание военные. Надо было как-то защитить военные корабли от могущества артиллерии. Сперва попробовали увеличивать толщину брони. Довели ее почти до 560 мм, а все же она оказалась неудовлетворительной. Тогда и попытались поставить никелевую сталь и оказалось, что никелевая броня, приготовленная соответствующим образом с твердой на цементированной поверхностью при своей толщине 200 мм выдерживает снаряд, способный пробить броню без никеля толщиной в 500 мм. А за военными, никелевые стали начали применять автомобильные и авиационные заводы и железные дороги.

Посмотрим, какое же влияние оказывает никель на свойства стали и какие никелевые стали применяются промышленностью.

Главнейшим свойством никеля является сообщение стали, наряду с высокими механическими свойствами, чрезвычайной вязкости. Это хорошо видно из табл. 8. Сравнивая ее с табл. 3, в которой помещены данные о механических свойствах термически обработанной, углеродистой стали, мы убеждаемся в несомненных преимуществах никелевой стали. В самом деле, углеродистая сталь, дающая сопротивление разрыву 95—100 кг/мм² уже почти потеряла вязкость, давая относительное удлинение 10 и относительное сужение 26. Никелевая же сталь, при том же сопротивлении разрыву, остается чрезвычайно тягучей, давая удлинение 18 и сужение 54,6. Теряет она вязкость как это видно из табл. 8, только при сопротивлении разрыву около 140 кг/мм². Однако столь высокие цифры сопротивления разрыву в никелевой стали не удается удерживать при массовом производстве, и вот почему.

ТАБЛИЦА 8

Механические свойства 3% никелевой стали с разным содержанием углерода (по М. Вильяму и Е. Барнессу).

Хим. сост.		Закалка при 850° в воду и отпуск при 400°				Отжиг при 950°, выдержка 20 часов, охлаждение в печи					
C %	Ni %	Предел упругости кг./мм ²	Сопротивление разрыву кг./мм ²	Относит. удлинение %	Относит. сужение %	Предел упругости кг./мм ²	Сопротивление разрыву кг./мм ²	Относит. удлинение %	Относит. сужение %	Содержание углерода отжига	
0,06	3,05	41,5	52,1	37,0	78,4	28,9	42,4	39,0	71,7	—	
0,12	2,93	44,1	56,3	34,0	77,4	29,6	43,6	37,0	66,2	—	
0,28	2,90	57,9	73,4	27,0	67,4	33,4	47,9	31,5	58,2	—	
0,30	3,15	60,4	78,4	24,0	63,5	26,4	47,2	30,0	54,6	0,03	
0,47	2,92	76,8	104,9	18,0	54,6	30,2	50,6	28,0	48,7	0,07	
0,67	2,96	125,0	143,0	13,0	45,1	34,4	49,5	20,0	46,0	0,30	
0,74	2,98	146,7	152,4	10,0	30,3	25,8	39,4	29,5	46,0	0,70	
0,91	3,10	148,0	168,4	8,0	17,6	22,7	37,2	17,0	21,8	—	

В графе механических свойств сталей подвергнутых отжигу, справа указано содержание углерода отжига. В сталях, содержащих до 0,30% С, его не содержится вовсе. Он появляется при содержании углерода выше 0,30% и относительное количество его быстро растет.

Откуда появился углерод отжига? Исследование показывает, что он представляет собой разложившийся цементит. Значит никель способствует распадению цементита. Но при малых количествах цементита влияние никеля на его стойкость, если и сказывается, то столь слабо, что практически оно не наблюдается и стали, содержащие до 0,45% С оказываются вполне надежными конструкционными сталями.

Как же сказывается наличие в металле углерода отжига? Углерод отжига это рыхлые включения весьма мелко распыленного графита, они пронизывают весь металл, заполняя пространства между зернами и создавая чрезвычайную хрупкость.

Этот недостаток ограничивает область применения никелевых сталей, и практика остановилась на марках, дающих умеренные механические качества. В табл. 9 приведены наиболее употребительные никелевые стали.

ТАБЛИЦА 9

Наиболее употребительные никелевые стали.

Наименование изделий	Содержание %		Состояние	Механические свойства			
	Углерод	Никель		Предел упругости кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относит. удлинение %	Относит. сужение %
Трубы, листы, заклепки.	0,05—0,15	1—2	отж. зак.	25—30 50—60	40—45 70—80	30—25 15—10	70—60 45—40
Цементированные шестерни, оси, автодетали повышенной прочности.	0,05—0,15	2,5—3,5	отж. зак.	28—30 —	45—55 80—90	25—22 10—14	60—55 40—30
Цементированные изделия, требующие особой высокой прочности и стойкости против истирания	около 0,12	4,5—5,5	отж. зак.	35—45 —	55—65 90—100	25—20 —	55—45 —
Котельное никелевое железо, мостовое железо, болты	0,15—0,20	1,5—2,0	прокат.	35—40	60—70	18—14	60—50
Коленчатые валы, оси, карданные валы и т. п. мелк. автодет., отв. болты.	0,25—0,35	3,0—3,5	отж. зак.	40—45 60—70	70—75 80—90	16—12 12—8	50—45 60—50
Орудийная сталь . .	0,35—0,45	3,0—4,0	отж. зак.	45—55 60—75	75—80 80—95	12—10 11—9	45—40 45—55

ХРОМИСТЫЕ И ХРОМОВАНАДИЕВЫЕ СТАЛИ

Рассмотренные никелевые стали обладают еще одним недостатком; они не экономичны, во-первых, потому, что в их состав входит 3—5% дорогостоящего никеля и, во-вторых, — обработка никелевых сталей на станках затруднительна. Последнее обстоятельство объясняется чрезвычайной вязкостью этих сталей. При обточке обыкновенной стали из-под резца идет хрупкая, легко ломающаяся на мелкие куски стружка, при обточке же никелевой стали стружка получается значительно более прочная. Резец режет эту сталь с значительным разогревом, сильно сминая вязкий металл и быстро слабя инструмент. Мощное развитие автостроения и сильная конкуренция

принудили промышленность искать более экономичные материалы. Таковыми оказались хромистые и хромованадиевые стали.

Хром оказывает весьма благоприятное влияние на свойства стали. При некотором повышении вязкости, по сравнению с углеродистой сталью, он сильно повышает сопротивление разрыву и предел упругости. В табл. 10 приведены механические свойства 2% хромистых сталей с различным содержанием углерода.

Как видно из этой таблицы, прибавка к стали 2% хрома сказывается чрезвычайно сильно, делая ее значительно превосходящей по своим качествам никелевую сталь, притом более дешевую и легче обрабатывающуюся.

Хром не только не вызывает образование углерода отжига, наоборот он препятствует его выделению.

ТАБЛИЦА 10
Свойства сталей с присадкой 2% хрома (по Бартону).

Содержание углерода в %	Термическая обработка		Температура отпуска °C	Предел упругости кг/мм ²	Сопротивле- ние разрыву кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %
	1-я закалка	2-я закалка					
0,25—0,30	770 в воду	760 в воду	705	56,0	63,0	25,0	60,5
0,25—0,30	790 »	760 »	504	86,5	94,5	16,0	50,0
0,25—0,30	790 »	760 »	400	105,0	119,0	12,0	55,0
0,30—0,40	815 в воду	790 в воду	705	63,0	73,5	22,0	65,0
0,30—0,40	815 »	790 »	504	98,0	105,0	16,0	50,0
0,30—0,40	815 »	790 »	400	126,0	133,0	10,0	35,0
0,40—0,50	815 в масло	790 в масло	705	77,0	94,0	20,0	60,0
0,40—0,50	815 »	790 »	504	112,0	119,0	17,0	40,0
0,40—0,50	815 »	790 »	400	140,0	154,0	10,0	30,0
0,55—0,65	800 в масло	720 в масло	705	80,5	91,0	17,0	55,0
0,55—0,65	800 »	720 »	504	119,0	126,0	13,0	20,0
0,55—0,65	800 »	720 »	400	133,0	161,0	9,0	30,0

Поэтому в высокоуглеродистые стали с целью уменьшения их хрупкости и повышения их режущих свойств вводят хром, а часто вводят и ванадий в количестве до 0,2%. Ванадию до сего времени приписывалась исключительная роль в хромистых сталях, и этот взгляд разделяется многими металлургами еще и сейчас; однако оказалось что хорошо сваренные хромистые стали, не содержащие ванадия, по своим механическим качествам не уступают хромованадиевым сталям, при одинаковых содержаниях хрома, марганца и углерода. Это сильно поколебало взгляд на необходимость присадки ванадия. Повидимому, действительно ванадий в количествах до 0,2% почти не оказывает влияния на механические свойства стали. Его облагораживающее влияние сказывается в другом. Ванадий является идеальным раскислителем и дегафикатором, а потому сталь с присадкой ванадия весьма чиста, однородна, великолепно куется и в процессе производства дает малый брак. Поэтому, если сталелитейные заводы имеют небольшой опыт и неуверены, что им удастся изготовить хорошую сталь, они прибегают к прибавке ванадия. Если же производство хромистой стали налажено хорошо, сталелитейный цех уверен в своей работе — ванадий оказывается излишним.

К числу наиболее употребительных хромистых сталей относятся следующие:

ТАБЛИЦА 11.

Наиболее употребительные марки хромистых сталей.

Химический состав в %		Назначение	Механические свойства в термообработанном состоянии			
Углерод	Хром		Предел упругости кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %
0,15—0,25	0,6—0,9	Цементованные шестерни, болты, оси и др.	50—80	70—90	12—8	40—50
0,35—0,45	0,9—1,1	Коленчатые валы, полуоси автомобилей, цилиндры авиомоторов и др.	70—80	90—115	10—7	40—35
0,45—0,55	0,9—1,1	Рессорная сталь	120—130	125—140	7—9	40—36
0,85—1,05	1,0—1,5	Шарикоподшипники . .	—	—	—	—
1,0—1,8	1,6—1,8	Постоянные магниты . .	—	—	—	—
1,8—2,0	2—4	Пробойники, штемпеля, валы прокатные и др.	—	—	—	—
1,5—1,8	13—14	Протяжные кольца . . .	—	—	—	—

Следует заметить, что ввиду наличия на Урале громадных запасов хромистых руд и недостатка отечественного никеля, наша промышленность принуждена будет применять хромистые стали в широком масштабе. И безусловно необходимо скорее покончить с тем недоверием к ним, поселившимся в умах наших металлургов в связи с некоторыми недостаточно тщательно проведенными и незаконченными опытами.

ХРОМНИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ

Замечательная вязкость никелевой стали и высокие сопротивления разрыву хромистых сталей, дают повод ожидать, что стали содержащие одновременно и хром и никель, будут обладать чрезвычайно высокими механическими свойствами. И, действительно, хромоникелевые стали являются, пожалуй, наиболее прочными сталями из числа широко применяемых в промышленности. Эти стали привлекают к себе внимание своей поразительно выгодной комбинацией достаточной вязкости с весьма высокой прочностью. Но эта комбинация достигается конечно лишь при определенном соотношении количеств содержащихся в стали примесей. Обычно считают, что отношение содержания хрома и никеля должно соответствовать отношению 1,0 к 2,5 при содержании углерода, во всяком случае не выше 0,45%. Однако в некоторых случаях практики не выдерживают этих пределов. Иногда с целью экономии дорогого никеля вводят его меньше, иногда же наоборот повышают содержание никеля, хрома и углерода, и получают таким образом сталь восприимчивую к закалке на воздухе. Из такой стали часто готовят автомобильные шестерни, так как при воздушной закалке в прессе легче всего воспрепятствовать короблению точно изготовленной шестерни.

Хромоникелевые стали, давая чрезвычайно высокие цифры механических качеств оказываются довольно капризными в производстве. Их ковка должна вестись в определенном интервале температур, в противном случае стали эти легко дают трещины.

Помимо того наблюдается своеобразная болезнь этих сталей — появление мелких внутренних микроскопических трещинок, так называемых «флексов» немецких (Flocken), происхождение которых в точности не выяснено. Флексы сильно ослабляют изделие и могут служить, в случае если их своевременно не обнаружат, причиной неожиданных поломок.

Но, несмотря на эти пороки, техника хорошо приспособилась к достоинствам и недостаткам хромоникелевых сталей и сумела применять их для весьма ответственных изделий. Основные детали авиационных моторов, главные валы океанских пароходов, валы паровых турбин, броня и бронебойные снаряды — все эти ответственные изделия, поломка которых грозит катастрофой, — изготавливаются из хромоникелевых сталей.

ТАБЛИЦА 12

Наиболее употребительные хромоникелевые стали.

Химический состав в %			Металлич. свойства в термообработанном состоянии				Примечание
Углерод	Никель	Хр.	Предел упругости кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %	
0,09—0,18	3,25—3,75	0,55—0,95	90—120	67—90	12—6	50—55	Для высоконагруженных, цементуемых деталей.
0,09—0,11	4,25—4,75	0,8—1,5	110—140	95—105	12—7	50—60	
0,25—0,40	1,25—1,75	0,3—0,7	65—80	47—57	16—12	45—50	Для высоконагруженных деталей, работающих без трения.
0,25—0,40	2,25—2,75	0,55—0,95	85—100	65—75	12—9	50—60	
0,25—0,40	3,25—3,75	0,55—0,95	90—110	70—85	12—8	50—60	
0,25—0,40	4,25—4,75	0,8—1,5	100—115	120—140	12—8	45—50	
0,4—0,6	3,0—4,0	1,0—1,3	120—130	150—160	9—6	25—30	Для шестерен, болтов, экскаваторных, ковшевых цепей и т. д.

Из этой таблицы мы видим, что повышение содержания углерода также сильно понижает вязкость сталей.

Это явление не связано с появлением углерода отжига и объясняется той чрезвычайно высокой твердостью, которую приобретают эти стали при закалке, высокая же твердость постоянно сопровождается хрупкостью.

Одной из ценнейших особенностей хромоникелевых сталей является глубокое проникновение закалки в толщу изделий. Рассмотрим это явление подробнее. Когда изделие, нагретое до закалочной температуры, опускают в закаливающую жидкость (в данном случае в масло), то происходит быстрое охлаждение этого изделия. При этом конечно наружные слои металла охлаждаются быстрее внутренних и при недостаточной восприимчивости к закалке внутренние слои могут лишь частично закалиться. На микрофотографии рис. 9 приведена структура внутренних слоев закаленной таким образом и отпущенной поковки большого сечения из хромистой стали. Здесь на фоне потемневшего при отпуске мартенсита видны хлопьеобразные включения успевшего выделиться феррита.

Таким образом, плохая проницаемость заковки стали характеризуется выделением свободного феррита в сердечнике изделия. Хромоникелевая сталь этим недостатком не обладает, что делает ее особенно пригодной для массивных ответственных изделий.¹

Способность хромоникелевых сталей принимать закалку так велика, что обычно после прокатки,ковки или штамповки эти стали имеют мартенситовую структуру. Так например, на микрофотографии № 10 приведена микроструктура коленчатого автовала после штамповки, приготовленного из стали состава 0,34% С, 1,0% Cr и 3,8% Ni.

Структура металла — мартенсит и троостит. Наличие этой последней составляющей указывает, что послековки коленчатый вал охлаждался не слишком быстро с целью сделать его более мягким, легко обрабатываемым на станках.

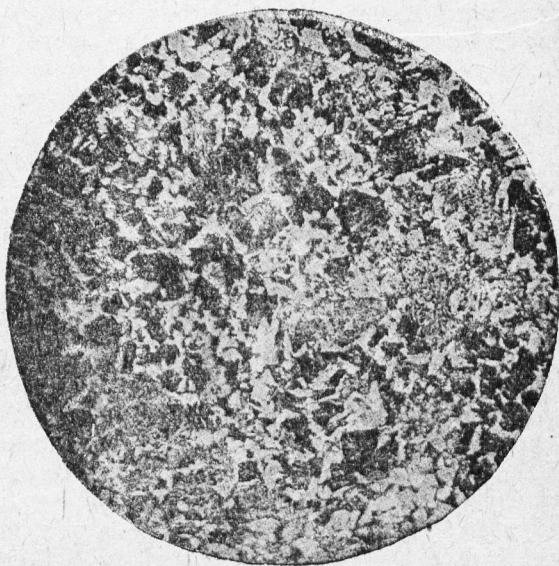


Рис. 9. Хромистая сталь. Увел. в 100 раз

Структура хромоникелевой стали после отжига и после заковки напоминает обычную углеродистую сталь, с таким же содержанием углерода; только строение пластинчатого перлита, так же как и зерно в отожженной стали значительно мельче.

То же относится примерно к никелевым и хромистым сталям.

БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

На всемирной выставке в Париже в 1900 году демонстрировалось замечательнейшее явление: стальной резец, установленный на мощном

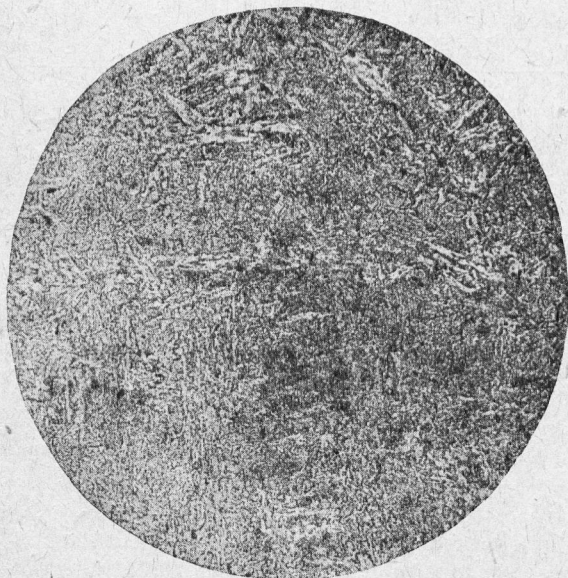


Рис. 10. Микроструктура хромоникелевой стали после штамповки. Увел. в 250 раз.

станке, раскаляясь до темно-красного каления, резал сталь. И холодная сталь поддавалась накаливному от трения резцу, а стальная стружка нагреваясь вместе с резцом, покрывалась синей побежалостью, свидетельствуя своим цветом, что температура ее достигла 300°. Большинство посещавших выставку не знало о работах, которые велись исследователями, не были подготовлены к такому парадоксальному зрелищу, и это обеспечило успех экспоната. Но за стенами заводов велась упорная работа. Резец, выставленный на всемирной выставке Тейлором, был в то время завершением этих длительных и упорных трудов. Начало этих изысканий следует отнести к 1868 г., когда впервые занялся инструментальными сталями величайший металлург того времени Роберт Мюше, изучавший действие марганца на сталь. Р. Мюше заметил, что присадка марганца делала сталь особенно твердой, и резец, приготовленный из такой стали, оказывался более стойким, чем обычный резец из углеродистой стали. Однако химический анализ показал, что ферромарганец, которым пользовался Мюше, не был чист. Он содержал вольфрам, и вскоре выяснилось, что именно вольфраму и был обязан Р. Мюше своим открытием.

Вслед за Мюше занялись изысканиями в этой области Уайт и Тейлор, и последнему из них принадлежит честь открытия новой стали, получившей название быстрорежущей. В табл. 13 приведены анализы сталей, даты их открытия и режущая способность их по Гадфильду.

ТАБЛИЦА 13

Дата введения в употребление	Химический состав						Средняя скорость резания м/мин
	Углерод	Марганец	Кремний	Хром	Вольфрам	Ванадий	
	проценты						
Углеродистая сталь	1,0	0,2	0,2	0,2	—	—	4,8
1868 (Мюше)	2,3	2,57	1,15	1,15	6,62	—	—
1866—1870	2,0	1,7	0,9	0,4	5,5	—	7,8
1900 (Тейлор)	1,6	1,3	0,15	3,8	8,0	—	18,0
1903	0,7	0,25	0,15	3,0	13,0	—	24,0
1906	0,67	0,10	0,04	5,50	19,3	—	30,0
1910	0,62	0,15	0,15	4,0	14,0	1,0	54,0
1913	0,68	0,2	0,2	4,0	14,0	2,0	72,0
1922	0,62	0,1	0,18	3,75	16,5	1,0	150,0

Открытия Тейлора привлекли внимание исследователей. Дело двинулось быстрыми шагами вперед. Стали появляться все новые и новые марки сталей разнообразного состава. Появились стали с присадками молибдена, кобальта, ванадия, показывающие чрезвычайно высокие качества. Не касаясь большого количества марок, остановимся лишь на составе стали завода «Styrga» повидимому являющейся в настоящее время последним словом в области изготовления ковок быстрорежущих сталей. Состав ее $C = 0,65 - 0,75\%$, $Cr = 3,5 - 4,5\%$, $W = 17 - 19,0\%$, $Mo = 1\%$, $Va = 1,5\%$, $Co = 17,0 - 20,0\%$. Эта сталь будучи закалена, как обычная быстрорежущая сталь

снимает при обдирочных работах в 5—6 раз больше чем нормальная быстрорежущая сталь при лучшей стойкости реза.

В настоящее время почти исключительно применяется быстрорежущая сталь состава 0,6—0,7% углерода, 3,5—6,0% хрома, 17,5—20% вольфрама и 0,0—1,5% ванадия. Другие сорта правда применяются, но в меньшей степени. Они играли известную роль только во время империалистической войны, когда некоторые страны, не имея достаточных количеств вольфрама, принуждены были от него отказаться.

Главнейшей особенностью быстрорежущей стали, в обыденной практике именуемой часто самозакалкой, является ее способность не только не понижать свою твердость при отпуске, а на-

оборот даже несколько повышать. Это явление вторичной твердости и объясняет, почему докрасна разогретый резец продолжает работать не

снашиваясь. Твердость правильно закаленной самозакалки падает лишь при разогреве резца выше 650° — 700° , и одновременно падают и ее режущие качества. Эти температуры являются предельными, до которых может разогреваться резец на станке. При малых скоростях резания стойкость самозакалки не так высока, и тогда простая углеродистая сталь может с ней свободно конкурировать. Поэтому токарю, работающему с резцом из самозакалки, необходимо давать такие скорости резания, при которых резец нагревается до красного каления. Это, надо заме-

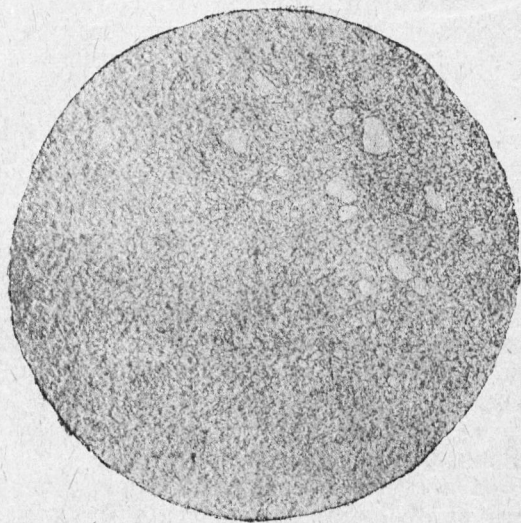


Рис. 11. Быстрорежущая сталь (отожженная). Увел. в 500 раз.

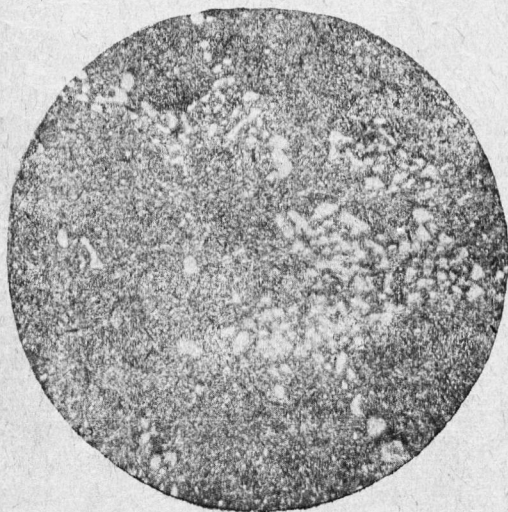


Рис. 12. Быстрорежущая сталь (плохо прокованная). Увел. в 500 раз.

тить, далеко не часто соблюдается на наших заводах.

Посмотрим, какова микроструктура быстрорежущей стали. В отож-

женном состоянии (микрофотография рис. 11) структура хорошо прокованной самозакалки состоит из однородной составляющей, в которой рассеяны мелкие блестящие карбиды.

Эти карбиды имеют сложный химический состав и содержат кроме углерода и железа хром, вольфрам и ванадий. По определениям Вестейкёрна, состав карбида быстрорежущей стали следующий:

3,1% углерода,
3,3% хрома,
55,9% вольфрама,
1,52% ванадия,
36,17% железа.

В плохо прокованной самозакалке наблюдаются вместо равномерного распределения карбидов, скопления их по границам зерен главным образом в стыках; тогда они располагаются определенным образом, отдельными параллельными друг другу пластинками, образуя так называемый ледебурит (см. рис. 12). Часто в продольном направлении прокатанного или откованного прутка наблюдается полосчатое распределение карбидов (рис. 13).

Структура закаленной быстрорежущей стали зависит от температуры закалки. Закаленная при 950° и ниже сталь состоит из неясно

выраженного мартенсита, с рассеянными по нему многочисленными зернышками карбидов. При повышении температуры закалки количество карбидов заметно уменьшается. Примерно при 1100° появляются отдельно-ограниченные зерна. При 1200° (рис. 14) зерна мелкие и сплошь покрыты карбидами, при 1250° (рис. 15) они сильно вырастают, а количество отдельных карбидов падает. Остаются только более крупные.

При 1300° карбидов почти нет, и все поле разбито на резко очерченные многогранники (рис. 16). Эта структура носит название аустенитовой.

При еще более высокой температуре закалки начинается оплавление металла, сопровождающееся пережогом. На рис. 17 дан микроснимок пережженной самозакалки. Черная составляющая между зернами аустенита — это оплавившийся и насытившийся кислородом металл.

Однако эти изменения зависят не только от температуры, но и от времени выдержки при нагреве под закалку. Более продолжитель-

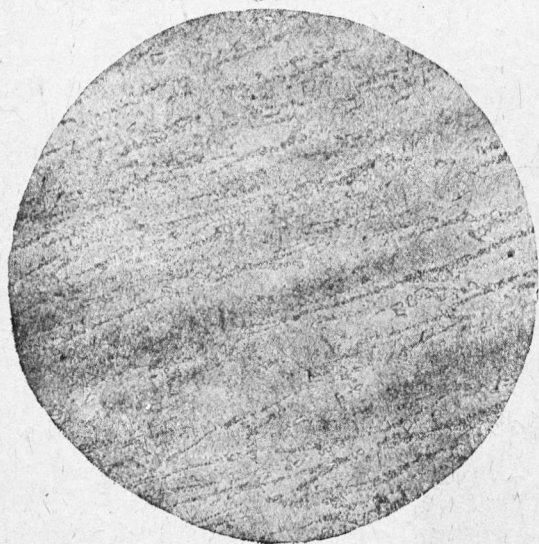


Рис. 13. Быстрорежущая сталь (полосчатая структура). Увел. в 100 раз.

ная выдержка вызывает рост зерна аустенита и уменьшение количества карбидов, изменяя таким образом картину микростроения.

Режущие способности инструмента связаны со структурой само-закалки. Для каждого рода инструмента требуется своеобразная структура. Так например для сложных фрез, закаливаемых обычно при $1\,000-1\,100^{\circ}$ наилучшей оказывается структура, состоящая из мелких карбидов на ровном, не разделенном на отдельные зерна фоне. Для резцов токарных работ наилучшая микро-структура соответствует рис. 15 и 16, а для обдирочных — рис. 16 и даже допустима структура перереженного материала (рис. 17). Неравномерное распределение кар-

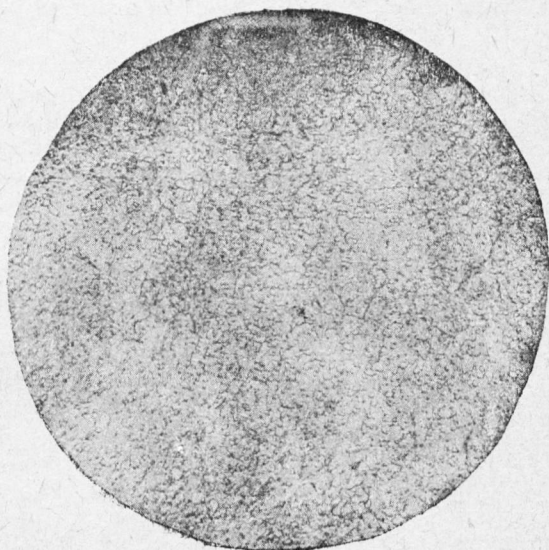


Рис. 14 Быстрорежущая сталь (закалена при 1200° Ц). Увел. в 500 раз.

бидов (рис. 12, 13) во всех случаях оказывается вредным, вызы-вая хрупкость металла. Из всего этого

видим, что структура быстрорежущей стали сильно меняется с температурой, с методикой проведения термической обработки и вместе с тем зависит от процессаковки. Всякий желающий получить хороший инструмент, должен учитывать все эти особенности и поставить процессковки и термической обработки в условия исключаяющие неправильное их проведение. Поэтому взгляд распространенный среди практиков, что закаливать быстрорежущую сталь может любой кузнец, надо оставить.

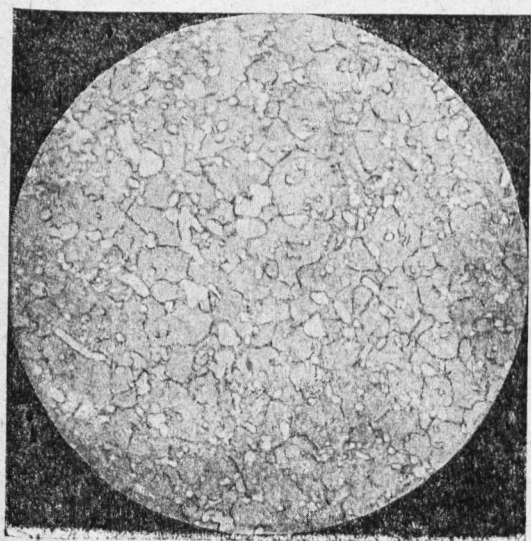


Рис. 15. Быстрорежущая сталь (закалена при $1\,250^{\circ}$ Ц). Увел. в 500 раз.

СТЕЛЛИТ. СПЛАВ ВИДИА

Быстрое развитие металлургии отмечается постоянными открытиями, иногда столь неожиданными, что первые вести о них носят характер сенса-

ций. Среди подобных сенсационных новостей иностранные журналы обожеало сообщение об открытии стеллита, своеобразного не железного сплава, весьма твердого, не поддающегося никакому отжигу.

Отлитые из него резцы показали чрезвычайную стойкость. Они при работе могут разогреваться до 800° и выше без потери режущих качеств. Правда при небольших скоростях резания хрупкий стеллит снашивается довольно быстро, быстрее чем самозакалка. Поэтому преимущество стеллита перед последней заключается в том, что он сохраняет твердость до гораздо более высоких температур разогрева, благодаря чему получается возможность работать с

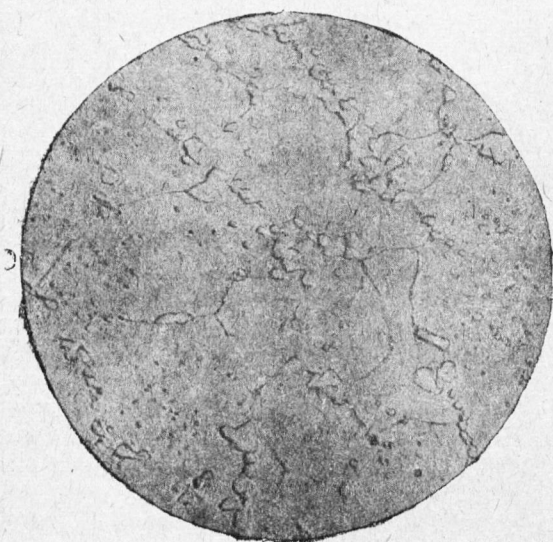


Рис. 16. Быстрорежущая сталь (закалена при 1350° Ц). Увел. в 600 раз.

скоростями резания, недостижимыми обычной быстрорежущей сталью. Препятствием распространению стеллита является весьма высокая стоимость его, зависящая главным образом от того, что в состав его входит ряд дорогостоящих металлов.

Существует много марок стеллита. Приведем анализ распространенной в Америке марки:

Углерода . . .	0,5—4,0%
Хрома	25—35%
Вольфрама . .	12—20%
Кобальта . . .	40—50%

Открытием стеллита не завершился процесс исканий нового материала для инструмента. Совсем недавно (в 1927 г.) завод К р у п п а выпустил новый сплав, режущий не только сталь, но и стекло и некоторые сорта сталей, механическая обработка которых практически считалась невозможной. Режущие качества сплава Видиа (wie Diamant, т. е. подобный алмазу) оказываются столь

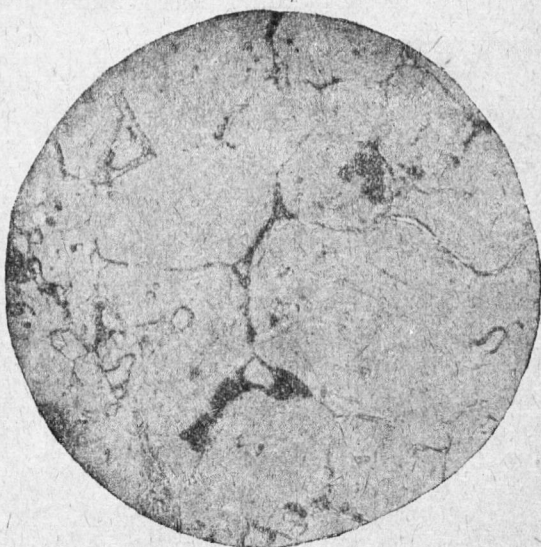


Рис. 17. Пережженная быстрорежущая сталь. Увел. в 500 раз.

высокими, что безусловно внедрение его в практику внесет переворот в промышленность и принудит перестроить станки для еще больших скоростей резания.

Состав «Видиа» и методы его производства были вскоре разгаданы и у нас в Союзе появился вполне заменяющий его сплав под названием «Победит». Это карбид вольфрама. Он хрупок — это его главнейший недостаток. Чтобы парализовать эту хрупкость, а также и ради экономии, припаивают медью маленькие кусочки Видиа к держателям. Заточка, полученных таким образом резцов весьма трудна и требует специального опыта и оборудования. Поверхность обрабатываемая резцами из сплава Видиа не получается чистой, но ввиду поразительной стойкости Видиа, в десятки раз превосходящей стойкость быстрорежущей стали и стеллита, точность изготовления детали оказывается выше, чем при работе обычным инструментом. Хрупкость Видиа заставляет конструкторов создавать станки, у которых резцы были бы предохранены от ударов и вибрации, а так как пока что заводы работают на станках, у которых не предусмотрена повышенная хрупкость резцов, круг применения Видиа ограничивается областью мягких металлов, главным образом при изготовлении изделий из чугуна. Американцы усиленно занялись изучением Видиа, и можно быть уверенным, что все эти трудности будут обойдены, и тогда Видиа, внедрившись в производство, расширит его возможности.

СТАЛИ ОСОБОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотренные выше категории сталей и сплавов далеко не все. Еще много, много ценнейших свойств таят в себе железные сплавы. Эти свойства, поскольку они уже известны (а мы уверенно можем считать, что далеко не все раскрыто в этой области), выявляются введением различных комбинаций примесей и соответствующей термической обработкой. Научная мысль непрестанно работает, стараясь выявить секреты железных сплавов. А техника не только использует достижения науки, но и непрестанно ставит новые и новые задания, одухотворяя науку о стали и направляя ее работу. Появляется конструкция, изобретение, идея и для осуществления их начинаются изыскания сталей с новыми свойствами, и наоборот, открытие стали с какими-нибудь выдающимися особенностями побуждает конструкторов разрабатывать новые приборы, механизмы, дающие возможность использовать эти особенности. Таков быстрый прогресс, опирающийся на единение науки и техники. Описанные в предыдущих главах стали служат или для изготовления из них тех или иных конструкций или для инструмента, служащего для изготовления последних. Работа их — сопротивление растяжению, сжатию изгибу, кручению, смятию, иногда и истиранию и т. д. И они хорошо справляются со своей задачей. Об этом свидетельствует прогресс техники. Но вот появляется конструкция, где те же сопротивления прилагаются к стали, но не при обыкновенной температуре, а при повышенной. Это изменение предъявляет уже особые требования к стали, и удовлетворить их — задача тех изысканий, которые ведутся заводами, лабораториями, институтами. Возьмем другой случай — сопротивление истиранию. Цементированные стали хорошо противостоят истиранию, когда изделие работает в хорошем подшипнике, со смазкой и т. д. Но если взять конструк-

ции (например эскаваторные цепи), где сталь должна, не снашиваясь, работать без всяких антифрикционных подшипников, к тому же в условиях постоянного соприкосновения с песком, единственной смазкой которой служит вода. И в этом случае, несмотря на первоначальную трудность задачи найти подходящий материал, наука справилась с ней, как справилась и справляется с другими еще более трудными задачами. Начиная обзорные сталей особого назначения, рассмотрим эту замечательную сталь.

СТАЛЬ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТАЯ (ГАДФИЛЬДА)

Это поразительная по своим свойствам сталь. Немагнитная и очень мягкая после закалки, она становится твердой и магнитной после отпуска.

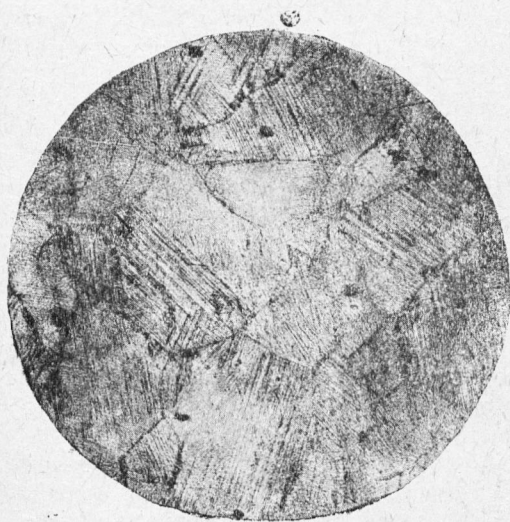


Рис. 18. Сталь Гадфильда. Закалка в воде при 1100°C . Увел. в 125 раз.

Но не только отпуском можно повышать ее твердость. Осадим на холоду под молотом закаленный цилиндр, приготовленный из этой стали и твердость его поднимется, — поднимется с 196 единиц Бринеля до 444 и выше. Это свойство и создает исключительную стойкость стали Гадфильда против истирания при работе без смазки и без малейших предохранений от загрязнения трущихся частей. Когда в подшипнике раздавливаются попадающие туда песчинки, создаются местные очень сильные нажимы. Эти местные повышения давления вызывают твердение стали, что в свою очередь

препятствует снашиванию. Вот объяснение способности стали Гадфильда так сильно противодействовать истиранию. Но если работа протекает без подобных сосредоточенных местных нагрузок сталь Гадфильда снашивается довольно быстро.

Состав этой стали следующий: углерода 1,0—1,2%, марганца 10—16% и незначительное количество других примесей. Структура ее в закаленном состоянии — чистый аустенит. При отпуске выделяются из аустенита карбиды и образуется мартенсит и сталь твердеет.

Мы видим здесь, что мартенсит образовался не при закалке стали, а при отпуске. Значит аустенит есть первоначальная структура, по сравнению с мартенситом, т. е. продукт распада первого. Этот вывод чрезвычайно ценный; он дает ключ к объяснению ряда явлений, наблюдаемых в специальных сталях. В дальнейшем, ознакомившись с теорией стальных сплавов, мы получим более подробное объяснение этого явления.

В закаленном состоянии сталь Гадфильда имеет своеобразные механические свойства: сопротивление разрыву высокое, равное 100—120 кг/мм², а предел упругости едва достигает 30 кг/мм². Удлинение

необычайно большое равно 50%, иногда больше, сужение обычно равно 35—45%. Эта своеобразная комбинация механических свойств характерна для сталей с аустенитовой структурой. При сопротивлении разрыву равно 100 кг/мм² стали, вообще говоря, обрабатываются резцом, но если бы мы попробовали точить сталь Гадфильда, нас быстро постигло бы разочарование. Под действием резца она так же твердеет, как и под ударом молотка, и резец вязнет в ней, сдает, не отделив и малейшей стружки. Поэтому изделия из марганцовистой стали делают или литыми или путем прокатки, так как прокатка ее вполне возможна. Она применяется для рельс, крестовин, железнодорожных стрелок, болтов и втулок экскаваторных цепей, а также для брони ящиков для хранения ценностей.

Выше мы указывали, что сталь Гадфильда не магнитна. Существуют и другие сорта немагнитных сталей. К их числу следует отнести 25% никелевую сталь, применяемую для бронирования боевых рубок военных кораблей, с целью магнитной изоляции помещенного там компаса.

СТАЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

В качестве второй категории сталей особого назначения рассмотрим стали, применяемые в электротехнике. Это стали для постоянных магнитов и трансформаторное железо.

Сталь обладает способностью намагничиваться. Исследование показывает, что степень намагничивания увеличивается с увеличением содержания углерода. Мягкое железо, не содержащее углерода, намагничивается весьма слабо. Поэтому для постоянных магнитов приходится применять высокоуглеродистую закаленную сталь, а для трансформаторов, электромоторов, где имеются сильные переменные магнитные поля и где нежелательны потери на постоянное намагничивание и размагничивание сердечников, применяют возможно мягкое железо.

Практика показала, что и в том и в другом случае невыгодно ограничиваться одними только углеродистыми сталями. В первом случае оказалось рациональным применять присадки хрома, вольфрама, молибдена и кобальта. Эти присадки сильно повышают магнитную восприимчивость и коэрцитивную силу стали и таким образом делают возможным получение сильных магнитов. В табл. 14 приведены анализы и магнитные свойства наиболее употребляемых сталей.

ТАБЛИЦА 14
Наиболее применяемые магнитные стали.

Химический состав					Остаточное намагн. H	Коэрцитивная сила K	H в 1 000	Область применения
Углерод	Хром	Вольфрам	Кобальт	Молибден				
Проценты								
1,2	—	—	—	—	8 110	60	487	—
1,0—1,1	1,8—2,2	—	—	—	11 225	61	732	—
0,5—0,75	—	5,0—6,0	—	—	11 100	65	722	Телефон. аппараты
0,9—1,0	—	—	—	2,0—2,5	10 000	75	750	—
0,5—0,8	1,5—3,0	3,0—5,0	15—20	—	10 650	145	1 544	Автомоб. магнето
0,5—0,8	1,5—3,0	3,0—5,0	32—38	—	9 130	203	1 853	Авиаци. магнето

Трансформаторное железо также требует прибавки примесей. Назначение их повысить электросопротивление. При этом имеется цель уменьшить вредное влияние магнитного поля, индуцируемых в сердечнике магнитов токов Фуко. Для этой цели вводят кремний в количествах до 4%, и исследование показывает, что такое железо дает весьма малые потери энергии трансформаторов, опускающиеся до 1,5—1,0 ватт на килограмм. Однако введение столь большого количества кремния уже затруднительно для производства стали, и поэтому некоторые заводы, не справившиеся с задачей изготовления 4% кремнистого железа, вводят его меньше — 1,5—2,5% и т. д. Трансформаторное железо должно быть хорошо отожжено. Необходимо небольшое количество цементита, которое в нем содержится, разложить путем отжига на углерод отжига и феррит. Кремний весьма способствует такому разложению и в этом вторая положительная сторона присадки его. Наилучшее трансформаторное железо должно содержать углерода не более 0,06%, кремния 4,0—4,2%, марганца не более 0,1% и незначительное количество других примесей. Как известно, трансформаторное железо применяется исключительно в виде тонких листов.

НЕРЖАВЕЮЩИЕ СТАЛИ

Мы уже видели, что совершенно чистое железо в обычных условиях не ржавеет. Небольшое количество углерода сразу понижает сопротивление ржавлению. Однако оказалось, что прибавкой меди, в количестве до 0,6%, можно несколько повысить стойкость стали в отношении ржавления, и после весьма разносторонних опытов американцы начали широко применять сорта медистых сталей для железных конструкций.

Прибавка меди все же лишь немного повысила стойкость стали и фактически не явилась тем радикальным средством, которое могло бы сделать сталь практически нержавеющей. Таким средством оказался хром.

Введение хрома в количестве 10% и более сказывается на сопротивлении ржавлению весьма сильно. Выработанная практикой марка стали состава 0,15—0,4% углерода и 10—15% хрома оказалась настолько стойкой, что несмотря на высокую стоимость она быстро завоевала себе общее признание. Однако и эта сталь не универсальна. Хорошо противостоять раз'едающему действию царской водки, азотной, лимонной, жирных кислот и т. д., она раз'едается некоторыми реагентами, в том числе соляной и серной кислотами. Для придания ей способности сопротивляться действию этих реагентов вводят в состав ее различные примеси. Так например введение никеля повышает сопротивление раз'еданию серной и даже соляной кислотой, вместе с тем повышая механические качества стали. Прибавка кремния повышает ее жароупорность. Такая сталь, под названием сил'хрома, применяется с успехом для клапанов двигателей внутреннего сгорания. Еще более стойкими против окисления при калильном жаре являются стали, содержащие кроме хрома и никеля еще кремний и вольфрам. Существует много различных такого рода сталей, но повидимому, последнего слова в этой области еще не сказано.

В табл. 15 приводятся анализы некоторых сортов нержавеющей сталей.

ТАБЛИЦА 15

Наименование стали	Химический состав						Механические свойства			
	Углерод	Хром	Никель	Кремний	Температура закалки	Температура отпуска	Предел упругости в МПа	Сопротивление разрыву в МПа	Относительное удлинение в процентах	Относительное сужение в процентах
	Проценты				Градусы Цельсия					
Нержавеющая	0,07	11,7	0,57	0,08	930° масло	500°	100	120	18	52
Нержавеющая	0,37	11,7	—	0,19	900° масло	500°	—	160	9	25
Сильхромовая	0,51	8,0	—	3,17	1000° масло	800°	80	100	22	40
Нерж. хр. ник.	0,24	20,2	8,4	0,26	отожженная		40	79	59	51

Применяются нержавеющие стали для домашней посуды, столовых вилок, ножей, ложек, заменяя собой серебро, для хирургических инструментов, для машинных частей, подвергающихся раз'едающему действию пара, как например лопаточек паровых турбин, для клапанов и т. д.

На этом заканчиваем наш общий и далеко не полный обзор применяемых промышленностью сталей и попытаемся далее ознакомиться с теми основными теоретическими положениями, которые руководили исследователями в их плодотворной и весьма ценной по своим результатам работе.

Причина высокого сопротивления ржавлению углеродистых высокохромистых сталей объясняется кроме специфического действия хрома также и тем, что после закалки при достаточно высокой температуре стали, они приобретают совершенно однородную структуру, так как карбиды хрома переходят в твердый раствор и удерживаются в нем при закалке.

Так же, как и у железа Армко (или изготовляемого у нас в Союзе по способу В. И. Тыжкова железа «ВИТ» одинакового с железом Армко состава) отсутствие свободных карбидов делает невозможным возникновение электролитических пар, порождающих коррозию. Само собой понятно, что, если нержавеющая сталь не была подвергнута закалке и содержит в себе свободные карбиды, сопротивление ржавлению ее сильно понижается.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМООБРАБОТКИ

В первой части нашей книги мы познакомились с главнейшими сортами сталей, их свойствами и строением. Мы видели, что все свойства сталей могут меняться в зависимости от химического состава, от характера термообработки и других причин. Два первые фактора вполне в наших руках и поддаются регулированию. А чтобы правильно регулировать их, надо узнать особенности этих факторов, недостатки стали, с ними связанные, и меры устранения последних.

Велико количество уже известных сортов сталей, и каждый день приносит нам все новые и новые марки, новые открытия. И цеховой работник, встретившись на практике с ранее неизвестной новой мар-

кой стали, должен угадать ее секреты, хотя бы самые основные, чтобы суметь извлечь из нее то, что она способна дать. Есть два пути для достижения этой цели. Первый — это коллекционирование рецептов — путь старый, путь стариков-практиков и второй — глубокое познание научных основ дела.

Мы решительно встанем на второй путь. И не ошибемся, так как наука раскроет нам все главнейшие секреты стали, те самые секреты, которые так ревниво сохраняют для себя практики. И поэтому, чтобы лучше разобраться в сложной науке о стали, отвлечемся немного в сторону и займемся теоретическим изучением некоторых явлений, знание которых поможет в дальнейшем легче разобраться и освоиться в многосложном мире сталей.

Мы видели, что изменение свойств стали данного состава достигается путем термической обработки, то есть путем нагрева и последующего более или менее быстрого охлаждения. Вносимые такой операцией изменения строения стали, уже знакомые нам по второй главе нашей книги, наводят на мысль о существовании каких-то внутренних превращений, связанных с температурой. Для изучения их нам придется иметь дело с теплом, измерять его, измерять температуру. И, как показали работы исследователей, прибор для определения температуры — пирометр — расскажет нам очень много.

Чтобы скорее изучить язык пирометра, нам придется оставить пока стали и заняться каким-нибудь самым обыденным, хорошо известным нам явлением из области физики. Займемся изучением плавления льда, таяния снега или застывания воды. Начнем с чистой дистиллированной воды.

Нальем воду в стакан, опустим туда шарик термометра и поместим стакан в сосуд с охлаждающей смесью. Будем наблюдать, что покажет термометр. Мы увидим следующее: по мере охлаждения нашего стакана он будет показывать все более и более низкую температуру воды. Взяв секундомер и записывая результаты наблюдений, произведенных через равные промежутки времени, мы получим последовательный ряд цифр — температуры воды. Но вот стакан охладился до 0° , и на поверхности воды появились первые льдинки. Льдинки стали разрастаться и в конце концов заполнили весь сосуд. Посмотрим, как вел себя термометр. Взглянув на записанный ряд цифр, увидим, что равномерное падение температуры было нарушено остановкой при 0° . Если мы внимательно наблюдали образование льда и следили за термометром, то мы несомненно заметили, что начиная с момента образования первой льдинки и кончая полным застыванием всей жидкости термометр показывал все одну и ту же температуру — 0° , а затем начал снова опускаться. Как объяснить это явление? Рассмотрим подробнее, что происходило во время нашего опыта. Мы имели сосуд с охлаждающей смесью, температура которой была достаточно низка, и стакан с теплой водой, охлаждаясь, ежесекундно передавал ей часть своей теплоты. Количество тепла, переходившее таким образом в единицу времени в охлаждающую смесь, зависело, как мы знаем, от теплопроводности воды, стенок стакана, охлаждающей смеси и от разности температур первой и последней. Откуда бралось это тепло?

Пока температура воды была выше 0° , единственным источником ее было тепло теряемое водой при понижении температуры. Когда же вода охладилась до 0° , и началось образование льда, появился но-

вый источник тепла, скрытая теплота застывания воды. Количество тепла, почерпнутое таким образом, было достаточным, чтобы всецело покрыть требуемое охлаждающей смесью. Когда же вся вода застыла, и следовательно вся скрытая теплота застывания была израсходована, началось снова явление дальнейшего охлаждения образовавшегося льда.

Если теперь начать нагревать наш стакан с водой, то нетрудно сообразить, что снова явление остановки температуры при 0° повторится.

Вышеописанный опыт дает нам очень точный способ определения температуры перехода тепла из одного состояния в другое при нагревании.

Повторим еще раз наш опыт, но вместо чистой воды нальем в стакан раствор поваренной соли. Производя, как и раньше, записи температур, мы заметим, что характер изменения показаний термометра изменился. Во-первых, остановки и даже замедления понижения температуры при 0° не оказалось. Лишь при более низкой температуре термометр резко отметил некоторое замедление темпа падения температуры. Так шло до $-22,5^{\circ}$, когда получилась остановка. Таким образом наш второй опыт показывает, что введение в раствор в воду поваренной соли, во-первых, препятствует застыванию воды при нуле градусов, во-вторых, вызывает какие-то явления при некоторой более низкой температуре и, в-третьих, переносит остановку падения температуры на $22,5^{\circ}$ ниже нуля. Если бы мы начали изучать подробнее явление, происходившее в нашем стакане, то узнали бы, что момент отклонения характера изменения температуры от нормального совпадает с моментом образования чистого, не содержащего соли, льда, т. е. вымораживания льда. Вымораживание льда сопровождалось увеличением концентрации растворенной соли. По мере охлаждения концентрация остаточного, так называемого маточного раствора все увеличивалась и увеличивалась, пока температура его не достигла $22,5^{\circ}$. Затем произошло общее застывание оставшегося раствора, но уже без вымораживания льда. Этот последний, застывающий при самой низкой температуре, раствор носит название эвтектического.

Чтобы сделать более наглядным наши опыты, нанесем на диаграмму полученные результаты записи температур. Диаграмму построим так: по оси ординат отложим температуры, а по оси абсцисс — время и процентное содержание поваренной соли. Мы получим тогда характерные для описанных явлений кривые. Некоторые из них изображены на диаграмме рис. 19.

Мы видим на этой диаграмме, что кривые застывания, соответствующие разным растворам поваренной соли, имеют различные «точки» начала вымораживания льда, или, как обычно говорят, начала застывания. Чем более концентрирован наш раствор, тем ниже лежит

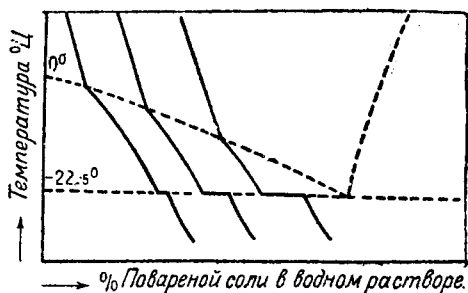


Рис. 19. Диаграмма застывания водных растворов поваренной соли.

эта точка. Точка же застывания последней капли раствора, как мы выше называли, эвтектического раствора лежит у всех кривых при одной и той же температуре, при $22,5^{\circ}$.

Расположение кривых застывания на диаграмме было выбрано не случайное. А именно абсцисса точки начала застывания была взята пропорциональной концентрации раствора. Кроме того точки начала и конца застывания соединены пунктирными линиями. Эти линии образуют новую диаграмму, так называемую диаграмму плавкости, позволяющую определить температуры начала и конца застывания любых водных растворов поваренной соли. Действительно, стоит отложить в выбранном нами масштабе по оси абсцисс величину концентрации раствора и провести к ней перпендикулярную линию, точка пересечения ее с линиями застывания эвтектического раствора определит температуру конца застывания, а точка пересечения с линией начала застывания — начало застывания этого раствора.

Подобные диаграммы, построенные для различных сплавов, играют громадную роль при изучении последних, так как дают возможность получить наглядное представление о происходящих явлениях.

Но не все сплавы так просты, как «сплавы» воды с поваренной солью, и нам придется дальше углубить свои познания, чтобы облегчить себе труд разобратся в сложной диаграмме сплавов железа.

Первое с чем должны мы сейчас познакомиться — это с понятием о твердом растворе.

Из обыденной практики мы знакомы с растворами жидкости в жидкости и твердого тела в жидкости. Мы знаем например, что спирт и вода смешиваются в любых пропорциях, т. е. растворяются друг в друге, а масло и вода не смешиваются — не растворяются. Мы отлично знаем, что соль растворяется в воде — пример раствора твердого тела в жидкости. Но примеров растворения твердого тела в твердом теле нам наблюдать не приходилось, хотя они на самом деле далеко не так редки, что на первый взгляд могут показаться нам парадоксальными. Дело в том, что ввиду чрезвычайной медленности движения частиц твердых тел взаимная диффузия одного твердого тела в другое идет чрезвычайно медленно и для наблюдения ее требуются специальные опыты. Если сплавить два металла, обладающие способностью давать твердые растворы, то по застывании их мы получим твердый раствор — сплав, отличный по своим свойствам по сравнению с каждым из вошедших в него металлов.

Внутреннее строение твердых растворов хорошо объясняется рентгено-скопическими исследованиями кристаллов. Эти исследования показывают, что атомы образующего кристалл твердого тела располагаются не случайно, а совершенно точно, образуя так называемую пространственную решетку. Вид этой решетки зависит от вещества, образующего кристалл.

Если вещество кристалла способно давать твердый раствор с другим веществом, то пространственная решетка первого не меняется, а попросту атомы нового «растворимого» вещества вытесняют собой некоторые атомы «растворителя» и становятся на их место. Иногда же они избирают себе место в свободных пространствах среди атомов растворителя, лишь несколько искажая, но не переделывая пространственную решетку.

ТВЕРДЫЙ РАСТВОР

Посмотрим какова диаграмма плавкости веществ, дающих твердые растворы. Предположим, имеем постепенно охлаждающийся сплав. В момент, когда температура достигнет точки начала застывания из

сплава выделяется кристаллы избыточного вещества. Но это уже не будет чистое вещество, как например у сплавов поваренной соли и воды, когда выделяется чистый лед.

При застывании сплава веществ, дающих твердые растворы, выделяются кристаллы твердого раствора. Состав первого кристалла твердого раствора не будет соответствовать составу сплава. Он будет по сравнению с жидкой фазой более бедным примесью (твердым) раствором. Построим диаграмму застывания нашего сплава. Отложим на оси абсцисс, как и раньше, процентные содержания примесей, а на оси ординат температуру сплава. Тогда при температуре начала застывания мы должны будем отметить на диаграмме две точки. Первая — это точка, характеризующая своей абсциссой состав жидкого сплава, так как в самом начале, когда выделится из большой массы жидкости первый зародыш кристалла, общий состав жидкости изменится на очень малую величину, а поэтому и состав жидкой фазы останется неизменным; вторая точка, точка *c* — определится составом первого кристаллика. Кристаллик будет расти, а остающаяся жидкость, теряя относительно большие количества растворителя, по сравнению с растворенным веществом, будет насыщаться последним. Но и состав выделяющейся твердой фазы не останется постоянным. Выделяющиеся из все более и более концентрированного раствора слои твердого тела будут содержать все большие и большие количества примеси. Эта примесь будет диффундировать в твердое тело, и, если процесс застывания идет достаточно медленно, вся твердая фаза целиком будет насыщаться примесью. Состав ее будет меняться. Этот процесс изобразится на нашей диаграмме линией *cd*.

Кстати заметим, что такое выравнивание твердого раствора идет далеко не всегда, и многие промышленные сплавы после застывания неоднородны. Эта весьма важная оговорка в дальнейшем пригодится нам. Она поможет раз'яснить некоторые явления наблюдаемые в сталях.

Итак в идеальном случае в момент застывания последней капли получается вполне однородный твердый раствор, такого же точно состава, как и жидкость. Посмотрим какова же будет диаграмма плавления. На рис. 20 пунктирными линиями изображены линии перехода жидкости и твердой фазы, которую получили бы мы для нашего сплава, если бы подробно стали изучать законы его застывания.

Превращения в сплаве, содержащем твердый раствор, еще не заканчиваются в тот момент, когда закончатся процессы застывания и диффузии.

Твердый раствор во многих отношениях подобен жидкому. Так например он может быть ненасыщенным и насыщенным. При понижении температуры из насыщенного раствора выделяется избыток растворенного вещества, точно так же как выделяется он из жидкого раствора.

На диаграмме рис. 20 нанесена эта линия выделения избытка растворенного вещества. Она обозначена буквами *es*, и наш раствор,

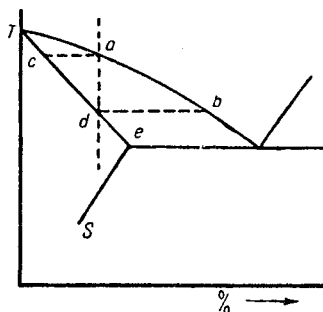


Рис. 20. Диаграмма застывания сплава, образующего твердый раствор

охладившийся до температуры точки e , придет в состояние насыщения, и при дальнейшем охлаждении из него будут выделяться кристаллы растворенного вещества вполне аналогично тому, как выделялись кристаллы поваренной соли из охлаждающего раствора.

АЛЛОТРОПИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

Чрезвычайно интересной особенностью некоторых веществ является то, что при полном тождестве химического состава, они приобретают под воздействием различных физико-химических процессов совершенно отличные особенности. Этим замечательным свойством обладают и некоторые простые тела.

Так например нам хорошо известен совершенно прозрачный, весьма твердый алмаз. Мы знаем также и графит, серый, совершенно непрозрачный, мягкий. И несмотря на совершенно противоположные свойства, графит и алмаз являются видоизменениями, или так называемыми аллотропическими видоизменениями, одного и того же простого тела — углерода.

Громадное давление и высокая температура заставили во время вулканических процессов кристаллизоваться углерод в алмаз. Но редки условия, необходимые для его образования, и обычно углерод кристаллизуется в форме графита. До сих пор неясно в точности, при каких именно условиях можно заставить перекристаллизоваться графит в алмаз. Некоторые исследователи пытались получить алмазы, и в большей или меньшей степени это им удавалось. Но лишь мелкая алмазная пыль служила доказательством их успеха, окрыляя надежду разгадать загадку синтеза алмаза. Для нас интересным в этих опытах является то положение, что, изменив внешние причины, можно заставить графит превратиться в алмаз и наоборот. Вообще говоря, эти условия перехода из одного состояния в другое, или иначе условия аллотропического превращения, как показывает наука, определяются давлением и температурой, и следовательно для каждого заранее взятого давления существует определенная точка перехода из одного состояния в другое, т. е. точка аллотропического превращения.

Мы знаем, что этим же свойством обладает и хорошо известная нам точка плавления тел. Аллотропические превращения в этом отношении очень сходны с плавлением. Известно много тел, имеющих аллотропические превращения, и среди них наиболее интересным является железо, для которого известно два таких превращения. Первое — переход альфа-железа в гамма-железо при 905° и второе — переход гамма-железа в дельта-железо при 1400° . Для нас имеют интерес первые две модификации, а именно гамма-железо, способное давать с углеродом твердые растворы, и альфа-железо, этой способностью не обладающее. Как мы увидим далее, именно эти особенности железа альфа и гамма порождают способность железа принимать закалку, способность редкую, которая так выделяет железоуглеродистые сплавы среди других сплавов.

Рассмотрим, какова будет диаграмма состояний веществ подобных железоуглеродистым сплавам, имеющим твердые растворы и аллотропические превращения, сопровождающиеся выделением растворенного компонента. Изучая такие вещества, мы увидим, что распадение охлаждающего твердого раствора идет совершенно аналогично про-

цессу застывания жидкого раствора с сопутствующими явлениями вымораживания. Разница только в том, что в случае жидких растворов начальной фазой была жидкость, а здесь твердое тело. Следовательно то же при некоторой температуре начинается вымораживание растворителя и насыщение остаточного раствора примесью, и затем при дальнейшем охлаждении, при так называемой эвтектоидной температуре, наступает общее превращение насыщенного раствора. На рис. 21 изображена диаграмма железоуглеродистых сплавов, наиболее нужная и интересная.

Рассмотрим ее подробнее. На оси ординат нанесены точки превращения чистого железа. Точка d — превращение альфа-железа в гамма-железо, точка N — превращение гамма- в дельта-железо и точка A — плавление чистого железа. Далее представляет интерес точка B , не наблюдающаяся у чистого железа, но появляющаяся уже при ничтожных содержаниях углерода, а именно в количестве более 0,04%, — это точка эвтектоидного превращения, т. е. точка соответствующая моменту распада остаточного твердого раствора. Положение этой точки не зависит от содержания углерода, но наблюдается она во всех железоуглеродистых сплавах и наиболее резко в сплавах, содержащих 0,9% углерода; этот сплав носит название эвтектоидного и точка его превращения отмечена на диаграмме буквой S . Линия GS — линия выделения из твердого раствора избытка железа, а линия SE — линия выделения избыточного карбида. Над линиями GS и SE находится область твердого раствора, или, как его обычно называют, аустенита. Сверху эта область ограничена линией начала плавления сплава. Слева в самом верхнем углу выделена небольшая область, отмеченная буквами NHA — область дельта-железа, которое существует только при очень высоких температурах и лишь у бедных углеродом сталей, и на практике с ним приходится редко иметь дело. Поэтому не будем останавливаться на рассмотрении особенностей этой части диаграммы.

При термической обработке обычно имеют дело с температурами, лежащими лишь немного выше температур распада твердого раствора, и поэтому рассмотрим подробнее эту область. В первой части книги мы видели, что у отожженной углеродистой стали структура ее состоит из двух составляющих: из перлита и феррита или перлита и цементита, в зависимости от того, имеем ли мы дело со сталью, содержащей углерода меньше или больше 0,9%.

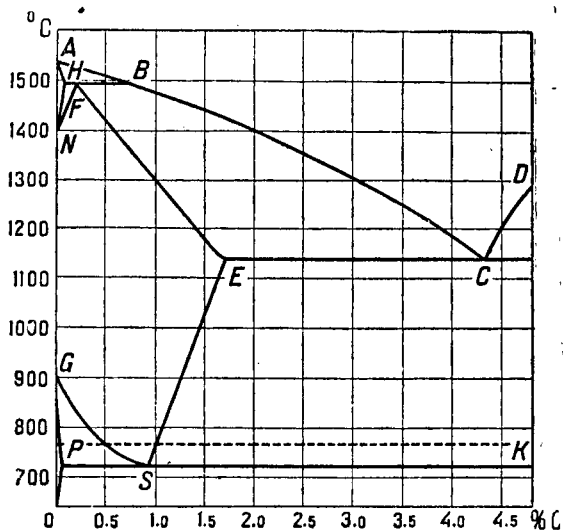


Рис. 21. Диаграмма железоуглеродистых сплавов.

При 0,9% углерода структура стали представляет чистый перлит, который и является структурой эвтектоида.

Повидимому зерно перлита представляет собой кристалл альфа-железа, поросший параллельным пучком пластинчатых кристаллов цементита.

Как увидим выше, чем крупнее кристаллы стали, тем ниже ее механические качества. Поэтому при микроисследованиях всегда обращают внимание на размер кристаллов (зерна) стали, и если имеют дело с перлитом, то за размер зерна принимают не величину отдельных ферритовых и цементитовых пластинок, а размер всей области, занятой параллельным пучком цементита.

Убедившись, что перлит — это эвтектоид, и вспомнив приведенные в главе второй микрофотографии, нам уже нетрудно разобраться в диаграмме превращений твердого раствора.

Возьмем для примера сталь, содержащую 0,4% углерода. Нагретая до 900° она согласно нашей диаграмм (рис. 20) представляет однородный твердый раствор углерода в железе. По мере охлаждения точка, изображающая ее состояние, будет опускаться вниз по своей ординате. Дойдя до температуры 770°, она пересечет линию *GS*. В этот момент зародятся первые зародыши феррита. По мере охлаждения зародыши будут расти, и оставшийся твердый раствор насыщаться углеродом. По диаграмме состояния мы легко определим состав твердого раствора. Стоит только провести через точку на оси ординат, соответствующую температуре 770°, прямую параллельную оси абсцисс до пересечения с линией *GS*, и абсцисса точки этого сечения определит нам содержание углерода в оставшемся твердом растворе.

Необходимо заметить, что такое равномерное выделение феррита наблюдается на практике при медленном охлаждении в отжигательных печах. Охлаждение же стали, если оно проходит быстро, ввиду склонности твердого раствора несколько переохлаждаться, обычно сопровождается небольшой задержкой выделения феррита. Запоздалое начало выделения феррита ведет к тому, что когда температура стали уже достигла температуры эвтектоидного превращения, твердый раствор содержит еще избыток железа. При таких условиях начинающееся общее превращение даст весьма мелкопластинчатую структуру, содержащую углерода меньше, чем это требуется по диаграмме состояния для эвтектоида — перлита. Эта структура иногда называется трооститовой. Но если охлаждение шло достаточно медленно, перлит получается нормального состава, и измеряя площадь, занятую им, можно определить содержание в стали углерода.

Делается это следующим образом.

Предположим, измерение микрофотографии показало, что перлит занимает площадь *A* квадратных миллиметров. Площадь всей микрофотографии *B*, тогда перлит занимает:

$$\frac{A \cdot 100}{B} \%$$

всей площади. Отсюда содержание углерода в стали будет:

$$\frac{A \cdot 100}{B} \cdot \frac{0,9}{100} = \frac{0,9 A}{B}.$$

Аналогично ферриту выделяется и цементит у сталей заэвтектоидных (или гиперэвтектоидных), но количество его значительно меньшее. Это объясняется тем, что максимальное количество углерода, растворимое в аустените, согласно нашей диаграммы (абсцисса точки *E*) не превышает 1,7%. Такая сталь состоит из 86% перлита и 14% цементита.

Сплавы железа с большими содержаниями углерода — чугуны — содержат значительно большие количества цементита, но цементит в них образуется прямо из жидкого сплава, и потому структура его сильно отличается от структуры цементита сталей.

Мы видели, что ускорение охлаждения как бы сдвигает перлитную точку влево по диаграмме железоуглеродистых сплавов. Вместе с тем происходит и запаздывание превращений. Это запаздывание тем сильнее, чем быстрее совершается процесс охлаждения стали. Запаздывание превращения имеет следствием развитие мелкой структуры с увеличением площади, занятой трооститообразным перлитом. Структура становится тем мельче, чем больше это запаздывание и чем быстрее охлаждение. В конце концов скорость охлаждения может достигнуть такой величины, что распадение твердого раствора на две составляющих не может совершиться, и вместо структуры пластинчатого перлита (или троостита) получается вполне однородная структура закаленной стали: знакомый уже нам мартенсит. Обычно при закалке в воду доэвтектоидных сталей получается вполне однородный мартенсит. Но иногда, как например при закалке больших оружейных или судовых поковок, наряду с мартенситом бывают и небольшие включения феррита. Значит скорость охлажденияковки была достаточной, чтобы воспрепятствовать разложению твердого раствора полностью, но в то же время недостаточной, чтобы задержать выделение феррита. Феррит в таких случаях выделяется столь мелким, что его строение бывает трудно различить, и обычно его тоже называют трооститом.

Термином «троостит» часто называют различные по своей природе структурные составляющие.

Наименование «троостит» присвоается легко травящейся различными реактивами, с нераличным строением у отпущенной после закалки, весьма мелко пластинчатой составляющей структуры стали, которая наблюдается также в ускоренно охлажденной стали. В то же время чрезвычайно тонкие нити феррита, пронизывающие у края тонким параллельным пучком зерно мартенсита, также принимают часто за троостит; это строение проявляется только при весьма аккуратной полировке и слабом травлении микрошлифа, в обычных же условиях травления шлиф чернеет. Кроме того ряд других структур также называют трооститом. Это несколько странное смешение произошло вследствие того, что лишь за последнее время техника микроанализа достигла такого совершенства, что дала возможность разобрань детально строение троостита, раньше проявляемого только в виде черной однородной массы. При малом увеличении во всех вышеприведенных случаях имеем дело именно с такой однородной структурой. Этим и объясняется то, что название это еще сохраняется для ряда в действительности различных структур.

Мартенсит получается при самом быстром охлаждении углеродистой стали, поэтому возникает вопрос, не является ли однородная структура мартенсита — структурой твердого раствора. Исследования показывают, что это не так. Так например при травлении шлифа при 800—900° на его поверхности выявляется иная структура — полиэдры с резко выраженными гранями. В специальных сталях наблюдается та же полиэдрическая структура, переходящая при отпуске в

мартенсит, и наконец чрезвычайная твердость мартенсита, как то не гармонирует с великолепной ковкостью стали. Новейшие исследования с помощью лучей Рентгена показывают, что расположение атомов в твердом растворе в корне отлично от расположения атомов мартенсита. Эти же исследования доказали идентичность твердого раствора и аустенита специальных сталей. Следовательно твердый раствор при закалке обычной углеродистой стали все-таки успевает, несмотря на большую скорость охлаждения, изменить свое строение. В мартенсите атомы расположены так же, как и в альфа-железе, но составляющие его кристаллики альфа-железа оказываются чрезвычайно мелкими. Углерод растворяется в альфа-железе в незначительных количествах, но при закалке он все же удерживается мартенситом и не выделяется в виде самостоятельной структурной составляющей. Однако часто в структурах закаленных сталей наряду с мартенситом можно установить, большею частью косвенными методами, и аустенит. Количество его зависит от скорости охлаждения при закалке. Введение марганца, хрома, никеля, вольфрама и других примесей увеличивает количество закалочного аустенита, и при достаточном количестве этих примесей аустенит может сохраниться при закалке целиком, и тогда разложения твердого раствора не произойдет.

Не следует думать, что чем быстрее производится охлаждение, тем больше окажется закалочного аустенита. Практика показывает часто обратное. Это объясняется тем, что аустенит легко разлагается благодаря натяжениям, которые при энергичной закалке легко возникают в изделиях (так например это имеет место в стали Гадфильда). Эти натяжения иногда достигают такой силы, что вызывают при закалке образование трещин. Вот это обстоятельство и служит причиной разложения закалочного аустенита при закалке некоторых сортов сталей.

Значит специальные примеси усиливают склонность стали к переохлаждению. Но не только в этом сказывается их влияние на сплавы железа с углеродом. Они меняют температуры превращений, входя в состав карбида, изменяют его растворимость, перемещают линии на диаграмме плавкости, влияют на температуру плавления стали и т. д. и следовательно искажают диаграмму. Но искажение это невелико и не столь сильно отражается на особенностях стали, как влияние на них явления переохлаждения. Поэтому не будем подробно разбирать влияния этих факторов и посмотрим лучше, как влияют примеси на структуру сталей в обычных условиях производства. Простые диаграммы классического исследования Гийе нам скажут больше, чем сложнейшие построения других ученых, куда и как перемещаются линии диаграммы состояния углеродистых сплавов при введении примесей.

В 1904 г. Гийе опубликовал свой классический труд, в котором он разбирает влияние каждой отдельной примеси на структуру сталей, полученных в обычных условиях производства. Последуем его примеру в изложении и начнем с марганца.

Марганец вводится в сталь в количествах, не превышающих 15—20%. Немного понижая точку разложения твердого раствора, он сильно увеличивает склонность к переохлаждению и тем сильнее, чем больше углерода в стали. Количество углерода имеет тут громадное значение. Так например сталь с 4% марганца и содержанием углерода, не превышающим 0,28%, имеет перлито-ферритовую структуру. Когда содержание углерода превысит этот предел, перлит получается

чрезвычайно мелким, трооститообразным. В интервале 0,45—0,95% углерода эта сталь в обычных условиях охлаждения уже состоит из чистого мартенсита, а при содержании углерода выше 1% — из аустенита.

При содержании 6% марганца сталь с самых малых содержаний углерода — мартенситовая, а при 0,7% углерода переходит в аустенитовую. При 14% марганца имеются только аустенитовые стали. Эти данные дали возможность Гийе построить диаграмму, изображенную на рис. 22.

Никель вводится в применяемые в промышленности стали в количестве до 40%. Диаграмма структур никелевых сталей очень похожа на диаграмму марганцовых сталей, но влияние его на сталь слабее. Поэтому требуется большое содержание никеля, для того чтобы оказать на сталь то же действие, что и марганец. Так например перлитовые стали еще возможны при 10% никеля, а аустенитовые при всех содержаниях углерода должны содержать никеля не менее 28—30%. Диаграмма Гийе для никелевых сталей изображена на рис. 23.

Хром вводится обычно до 20%. Диаграмма, полученная Гийе для железохромовых сплавов, отличается от вышеприведенных. Это объясняется тем, что хром сильно изменяет состав карбида. Карбиды марганца и никеля по своему химическому строению очень похожи на карбид железа (формулы их Mn_3C и Ni_3C , а формула карбида железа Fe_3C). Хром же дает несколько карбидов. В точности составы их не установлены. Повидимому это комбинация карбидов или, как обычно говорят, двойные карбиды состоящие из карбида железа Fe_3C и хромовых карбидов Cr_7C_3 , Cr_7C_2 и др.

Максимальное содержание хрома в перлитовой стали достигает 8%; чисто аустенитовых сталей хром не дает, и правая часть диаграммы,

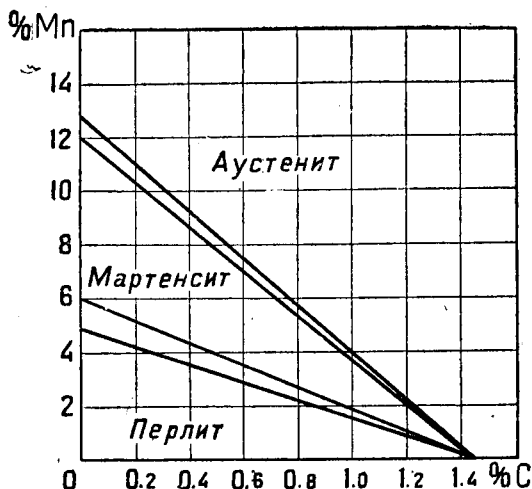


Рис. 22. Диаграмма Гийе железомарганцовых сплавов.

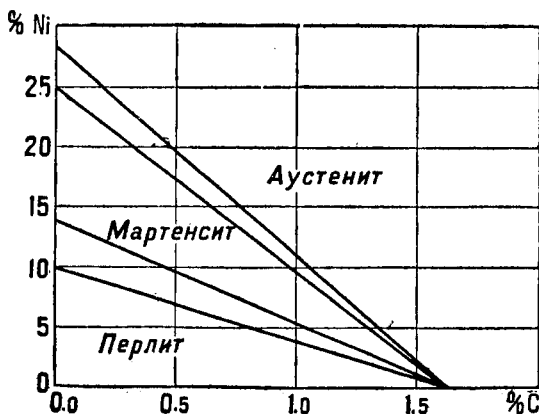


Рис. 23. Диаграмма Гийе железоникелевых сплавов.

соответствующая в двух предыдущих случаях аустениту, здесь имеет две составляющие: аустенит и двойные карбиды. Диаграмма хромистых сплавов изображена на рис. 24.

Вольфрам вводится в стали в количествах до 25%. Диаграмма его проста. Имеются всего две области — область перлитных сталей и область стали с двойными карбидами. Вольфрам дает сложные карбиды

состава $4Fe_3C \cdot WC$ и кроме того вольфрамид железа Fe_2W . Микроскопический вольфрамид железа трудно отличается от карбидов, и поэтому область его появления не отмечена на диаграмме. Встречается он больше в сплавах, содержащих недостаточное количество углерода для образования двойного карбида. Структурная диаграмма изображена на рис. 25.

Кремний вводится в стали до 5%. Резких изменений структуры он не вносит, и потому диаграммы строения его сплавов здесь не приводим. Кремний вызывает образование углерода отжига, но это явление, кроме влияния на него кремния, сильно зависит также

и от способа проведения отжига. Углерод отжига обнаруживается микроскопом, но построить диаграмму, где бы отмечалась резко граница сплавов, склонность давать углерод отжига у которых была бы сильно выражена, не удастся.

Молибден дает диаграмму, весьма схожую с диаграммой строения вольфрамовых сплавов.

Вот таково влияние отдельных примесей на структуру нормализованной стали. Термическая обработка меняет конечно эти структуры, и для полноты картины следовало бы параллельно привести еще и другие, аналогичные диаграммы для тех же сплавов, но закаленных. Но практически в этом не ощущается необходимости. Наиболее интересной областью диаграмм является область перлитных сталей, хорошо обрабатываемых в отожженном состоянии и принимающих закалку. Именно стали этой категории и составляют главную массу фактически применяемых и могущих быть примененных в промышленности сталей, и одним из наиболее ценных свойств промышленных сталей является возможность в сильнейшей степени менять по желанию их твердость, упру-



Рис. 24. Диаграмма Гийе железохромовых сплавов.

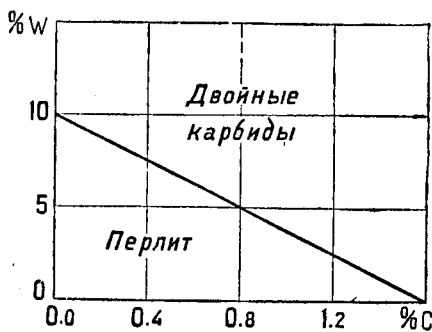


Рис. 25. Диаграмма Гийе железовольфрамовых сплавов

гость, вязкость, механические свойства и т. д. в процессе производства.

Перлитовые стали закаляются и при закалке дают однородную мартенситовую структуру, с присущими последней твердостью, высоким сопротивлением разрыву и низкой вязкостью. Все эти свойства зависят от состава стали, и в пределах границ диаграмм Гийе можно варьировать их состав, регулируя таким образом их свойства.

Но, как выше было сказано, промышленность часто не ограничивается применением одной примеси. Поэтому было бы желательно иметь диаграммы совместного влияния нескольких примесей. Исследования в этом направлении производятся, но еще не закончены. Однако, пользуясь диаграммами Гийе, можно приблизительно определить перлитовую границу у сталей, содержащих несколько элементов. Так например при малых количествах углерода граница перлитного класса никелевых сталей лежит согласно диаграмме рис. 23 при 10% никеля, у хромистых (рис. 24)—при 8% хрома. Поэтому если нам желательно узнать, принадлежит ли какая-нибудь сталь данного анализа к перлитному классу, сложим цифры содержания в ней никеля и хрома, предварительно умножив вторую на $\frac{8}{10}$, и по полученной сумме, пользуясь диаграммой рис. 23, определим, к какому классу принадлежит наша сталь. Это конечно грубый подсчет, но он удобен, прост и достаточно все-таки точен.

Это создает возможность, основываясь на различных других требованиях и возможности получения тех или других материалов, в каждом случае подобрать наиболее подходящий для данной цели материал. С другой стороны, при возникающих в процессе производства затруднениях можно варьировать состав стали и, исходя из особенностей сообщаемых вводимыми в сталь примесями, придавать ей нужные свойства. Эта работа трудная и требует большого опыта, знания и учета не только свойств, сообщаемых каждой данной примесью, но и особенностью производства стали на данном заводе.

На этом кончаем рассмотрение нижней части диаграммы железоуглеродистых сплавов и перейдем к верхней, к температурам, когда сталь жидка, как ртуть, и посмотрим, что происходит при ее застывании, и как влияют явления, сопровождающие застывание, на ее свойства и качество.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СТРОЕНИЕ СТАЛЬНОГО СЛИТКА

Жидка и подвижна расплавленная сталь. Тысячи мелких искорок и брызг играют, разбрасывая лучи, и тухнут, падая на каскад струи и в ковш, куда бежит сталь по жолобу печи по окончании длительной и напряженной плавки. Мощно низвергается в ковш тяжелая дымящая струя, разбрасывая искры, бурля и сияя ослепительным светом. Напряженные канаты крана держат ковш, наполненный доверху сталью и плавающим на ней расплавленным шлаком.

Движение рабочего — и с всплеском вырывается струя жидкой горячей стали через отверстие в дне ковша. Чугунный сосуд — изложница, подставленная под ковш, принимает струю стали, и холодит всплески, замораживая их. Охлаждает искры и брызги стали и они,

окисленные от соприкосновения с воздухом, падают вновь в сталь около стенок изложниц, своим обратным падением внося кислород в поверхностные слои будущего слитка. Заливины, замороженные при первых всплесках, свариваются с поступающей сталью, давая изъяны на поверхности слитка, трещины и другие пороки. Практика научила сталеваров уменьшать приносимый ими вред, и при правильной постановке дела все эти пороки, на цеховом языке носящие название плен, заливин, шлаковин, раковин, трещин и многие другие, могут быть устранены.

Быстро заполняется изложница, и рабочий, закрывая стопор ковша, прекращает заливку, когда изложница полна. Сталь стынет в ней или кипящая, когда в ней много растворено газов, или спокойная, если она достаточно раскислена.

Заливка кончилась. Ковш убран и изложница, заполненная сталью, предоставлена самой себе. Металл в изложнице еще не успокоился и медленно циркулирует в ней, пробужденный к этому струей из ковша. Средние слои металла опускаются вниз и идут потом по стенкам изложницы вверх, описывая таким образом замкнутый контур. Металл стынет у стенок изложницы быстрее, чем в середине, и если измерить температуру слоев металла, то получим кривую распределения температур вдоль по сечению, выпуклую посередине. Эта кривая медленно, по мере остывания стали, опускается вниз по шкале температур.

Вот концы ее достигли температуры начала застывания стали и выделился первый кристалл. Он выделился на стенке изложницы, в самом холодном месте.

По мере дальнейшего охлаждения кристалл стали растет. По своему составу он содержит примесей меньше, чем жидкая сталь. Если сталь углеродистая и содержит углерода меньше 0,7%, первый кристаллик, как это видно из диаграммы рис. 21, состоит из дельта-железа и содержит углерода не более 0,07%. Жидкий металл около кристаллика насыщается углеродом и примесями, и следовательно температура, при которой он в дальнейшем должен будет отвердеть, понижается. Процессы диффузии выравнивают состав жидкой фазы, но не так быстро. Если бы остывание шло очень медленно, состав оставшегося еще жидкого металла был бы одинаковым по всей толще слитка и по мере вымораживания изменялся бы согласно диаграмме плавкости по линии *ABC*. При ускоренном охлаждении выравнивание состава жидкого металла не идет полностью, и у растущих впереди у поверхности кристаллов идет волна обогащенной примесями стали.

Поверхность растущих кристалликов неровная, и выступающие части омываются более чистым металлом, температура застывания которого выше температуры застывания металла между кристаллами.

Поэтому у выступающего кристаллика на его кончике легко может зародиться второй, на втором — третий и т. д. Таким образом растет цепочка насаженных друг на друга кристаллов. Она растет в длину и утолщается, причем это утолщение идет неравномерно, образуя выступы, как щетка первородных кристалликов, и перпендикулярно к ней начинают расти новые цепочки кристаллов, образуя ветви. От этих ветвей исходят новые ветви и так далее. В результате вырастает своеобразный кристаллический сросток — дендрит. Ветви дендрита, выделившиеся из раствора в первую очередь, состоят из более чистого металла. Они охватывают микроскопические области маточного раст-

вора, насыщенного примесями. У мягкой стали они состоят из дельта-железа, а у твердой — доэвтектоидной и заэвтектоидной — из гамма-железа.

Охваченные со всех сторон ветвями дендритов, области уединяются от остальной стали, и процессы вымораживания, так называемой ликвации, идут в них самостоятельно. По мере охлаждения на ветвях дендритов осаждаются слои все более и более науглероженного металла.

Газы растворимы в жидкой стали. В твердой стали они растворяются в значительно меньшей степени, и поэтому при застывании стали газы выделяются и, занимая при этом больший объем, заставляют и слиток увеличиваться в объеме или, как принято говорить, «расти»; повидимому газы могут некоторое время удерживаться в состоянии перенасыщения. Но так как в конце концов вся сталь должна будет затвердеть, если количество газов настолько велико, что не может быть полностью удержано твердой фазой, может произойти внезапное выделение их в большом количестве. Тогда они с силой раздвигают стенки еще слабого, только что застывшего металла по направлению внутрь слитка, к более горячим, еще не застывшим — жидким частям слитка, образуя сотовобразные поверхностные пузыри.

Сотовые пузыри весьма вредно отражаются на качестве слитка, давая в готовом изделии поверхностные пороки различных размеров, среди которых даже самые мелкие порождают склонность стали давать закалочные трещины. Поэтому сталевары, готовящие сталь, в дальнейшем процессе производства подвергающуюся закалке, ведут процесс плавки таким образом, чтобы получить наиболее дегазифицированный продукт.

Процесс вымораживания в отдельных уединенных объемах междендритных пространств носит название микроликвации, в отличие от макроликвации всего слитка.

Итак согласно вышеизложенному, при остывании слитка по стенкам изложницы выделяются кристаллы железа, обедненного примесями, окруженные расплавленной массой обогатенной примесью. Можно ли определить состав этих кристаллов и состав жидкой фазы?

Пользуясь диаграммой плавкости, это легко сделать следующим образом. Предположим, что температура нашего сплава достигла 1500° . Тогда, проследив горизонтальную линию, соответствующую этой температуре, мы определим, что твердый дельта-раствор будет содержать углерода $0,06\%$, а жидкая фаза около $0,6\%$. При температуре 1450° дельта-железа уже не выделяется, и твердой фазой будет гамма-железо, содержащее $0,25\%$ углерода, а жидкая фаза будет содержать углерода $1,2\%$. При дальнейшем понижении температуры точки, определяющие состав обеих фаз, будут двигаться по линиям *ABC* и *FE* нашей диаграммы. Таким образом мы можем всегда определить состав кристаллов и окружающего их сплава по температуре происходящего процесса.

Теперь рассмотрим, что будет происходить в слитке при дальнейшем его остывании. Мы остановились на рассмотрении процесса роста параллельного сростка дендритов у поверхности слитка. Они образуют нечто вроде сосуда из только что застывшей стали, наполненного расплавленным металлом. Пока стенки этого сосуда тонки, он плотно прижимается к изложнице. По мере его охлаждения стенки становятся

толще и прочнее и вскоре перестают поддаваться гидростатическому давлению стали, а сжимаясь от понижения температуры отходят от стенок изложницы. Таким образом создается воздушная прослойка между холодной изложницей и слитком, сильно замедляющая скорость остывания стали.



Рис. 26. Продольный макро-шлиф стального слитка.

Понижение скорости остывания стали ведет к увеличению размеров дендритов. Если у самой поверхности слитка кристаллы железа настолько мелки, что образуют своеобразный бесструктурный слой (обычно толщиной 5—6 мм), то по мере удаления от края дендриты становятся крупнее, и стволы их становятся толще. На рис. 26 изображен продольный шлиф, приготовленный из слитка. По краям его мы видим слой дендритов, оси которых немного отклонены кверху. Это повидимому связано с влиянием циркуляции жидкой стали, о которой мы говорили выше. Как видно из этой фотографии, слой параллельных шестоватых кристаллов не пронизывает насквозь весь слиток, а на некоторой глубине останавливается и заменяется другой структурой. Однако всегда это имеет место. Маленькие слитки, охлажденные в печи чрезвычайно медленно, в старину применявшиеся для выделки булата, имеют сплошь структуру различных расположенных дендритов. С другой стороны, слитки, охлажденные весьма быстро при прессовании жидкой стали тоже иногда имеют подобное строение.

Прессование жидкой стали в момент ее охлаждения, сопровождающееся ускорением последнего путем проволочивания слитка под давлением, порождает дефекты отливки. Ввиду дороговизны этого процесса и трудности его регулировки распространения он не получил.

Значит имеются какие-то условия в термическом режиме остывания, в зависимости от которых слиток может принять то или иное строение. Чтобы уяснить себе, отчего происходит такая разница в строении слитка, рассмотрим следующие три схематические диаграммы (рис. 27, 28 и 29).

На этих трех диаграммах, из которых рис. 27 — случай очень медленного охлаждения слитка, рис. 28 — случай обычного охлаждения слитка и наконец рис. 29 — случай очень быстрого охлаждения слитка, нанесены сплошной линией кривые распределения температур вдоль по сечению слитка. Абсциссы диаграмм соответствуют толщине вертикального слоя металла в слитке, а ординаты — температурам. Пунктирная линия — это кривая температуры застывания стали в раз-

личных областях слитка в данный момент охлаждения. Она определяется по диаграмме плавкости по составу металла. Ниже приводим объяснение этих диаграмм.

ПЕРВАЯ ДИАГРАММА. Линия температур ввиду очень медленного охлаждения слитка лишь слегка выгнута вверх в середине слитка. При очень медленном охлаждении температура успевает выравниваться во всем объеме слитка. Ввиду совершенной диффузии успевает выравняться состав твердой и жидкой фаз. По мере охлаждения они изменяются, точно следуя линиям плавления и затвердевания диаграммы плавкости. В момент, соответствующий нашей диаграмме, выделение твердой фазы происходит в точках a и a' .

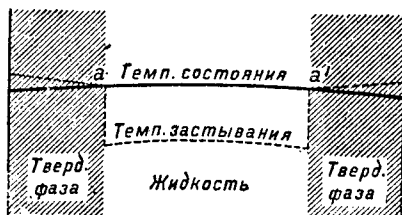


Рис. 27. Схематическая диаграмма распределения температур и кристаллизации очень медленно охлаждающегося слитка.

Диаграмма эта изображает состояние слитка, когда половина стали находится в жидком, а половина в затвердевшем состоянии. Предположим, что сталь содержала 0,75% углерода. Температура стали в точках a и a' в этот момент будет около 1450° . Если посмотрим нашу диаграмму плавкости, то заметим, что ордината, соответствующая содержанию углерода 0,75% делит как раз пополам отрезок прямой, заключенный между линиями плавления и затвердевания стали и лежащий на высоте температуры 1450° .

Если бы в нашем примере $\frac{2}{3}$ стали были бы в жидком состоянии, а лишь $\frac{1}{3}$ в твердом, то температура была бы выше, и тогда часть отрезка со стороны линии плавления была бы в два раза меньше, чем со стороны застывания.

ВТОРАЯ ДИАГРАММА. Охлаждение совершается быстрее, вследствие чего кривая распределения температур более выгнута. Средние части слитка горячее внутренних. Твердый раствор не успевает выровнять свой состав, и поэтому состав выделившейся корки меняется от края к внутренним слоям слитка. Температура плавления твердых кристаллов, соответствующая линии $АНFE$ диаграммы сплавов, тоже меняется параллельно составу, понижаясь по направлению внутрь слитка.

При ускоренном охлаждении выравнивание состава расплавленной массы дегазифицированной стали уже не успевает завершиться и оставшийся после вымораживания слой поверхностных кристаллов, маточный раствор, концентрируется в наружных частях жидкой массы, около только что образовавшихся стенок твердой стали. Наличие концентрации примеси в пограничной зоне между твердым и жидким металлом обеспечивает сильное понижение температуры застывания стали в этих областях. И может случиться, что центральные области, имеющие фактически более высокую температуру, начнут застывать раньше, чем слои близлежащие к только что выделившимся поверхностным кристаллам. Это имело место и в приведенном случае.

Выделяющиеся в средних областях слитка кристаллы не имеют точки опоры, в противоположность поверхностным кристаллам. Они свободно плавают в металле.

Удельный вес жидкой стали равен 7,0, а' удельный вес только что отвердевших кристаллов — 7,65, следовательно они тяжелее жидкости и должны в ней тонуть. Исследование показывает, что это, действительно,

имеет место. В жидкой стали всегда взвешена тонкая мусть шлаковиннок, образовавшихся при раскислении стали. Эти шлаковинки захватываются тонущими дендритами и увлекаются на дно слитка, где количество их таким образом увеличивается. По определениям Дикенсона количество шлаковинки в слитке распределяется таким образом: в наружном слое шестоватых кристаллов—0,04—0,08%, от веса стали; в промежуточном слое — 0,016—0,018%; в верхних центральных частях—0,010—0,006%; у дна слитка—0,017—0,024%.

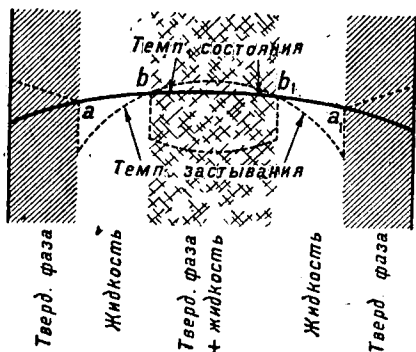


Рис. 28. Схематическая диаграмма распределения температур и кристаллизации слитка, охлаждающегося с обычной скоростью.

они образуют мосты и таким образом перехватывают слиток кристаллическими сращениями. Мосты эти, прогибаясь под действием своей тяжести, опускаются вниз и выгоняют кверху слитка все более насыщенный примесями маточный раствор, который в конце концов скапливается на самом верху слитка, создавая в этой области обогащенную загрязнениями ликвационную зону.

Сюда собираются сера, фосфор, углерод и газы. Обогащенная загрязнениями зона обладает низкими механическими качествами и поэтому отрезается при дальнейших переделах слитка.

Если сталь плохо дегазифицирована, при вымораживании дендритов выделяются и газовые пузырьки. Они, поднимаясь вверх, создают энергичную циркуляцию жидкого металла и способствуют таким образом перемешиванию маточного раствора. В этом случае выделения дендритов в середине сплава не происходит.

Величина слоя поверхностных, шестоватых кристаллов зависит от выпуклости кривой распределения температур. А последняя в свою очередь — от скорости остывания слитка и кроме того от степени перегрева стали. Если сталь очень горяча, выпуклость кривой температур больше, а это, как будет видно из дальнейшего, влечет увеличение слоя шестоватых кристаллов.

Третья диаграмма. Весьма быстрое охлаждение слитка. Кривая распределения температур в слитке настолько выпукла, что, несмотря на сильную неоднородность совершенно неуспевающей выравниваться процессом диффузии жидкой части стали, выделения кристаллов идет только по границам жидкого объема.

При таком характере охлаждения слой шестовых кристаллов тянется от края до самого центра, постепенно меняя состав свой на все более и более обогащенный ликвирующими примесями.

Следует остановиться еще на одном типе остывания слитка, а именно когда в стали имеется примесь, сильно затрудняющая диффу-

зию углерода в твердом растворе. В этом случае выделяющиеся кристаллы сохраняют свой первоначальный состав, а маточный раствор насыщается примесью значительно сильнее, чем это должно было быть согласно диаграмме плавкости. При достаточном содержании углерода может образоваться эвтектика (ледебурит), располагающаяся в междендритных пространствах. Этот ледебурит отличается от ледебурита чугунов и сталей, содержащих углерода больше 1,7% (точка *E* диаграммы железоуглеродистых сплавов), тем, что длительным отжигом при достаточно высокой температуре его можно всегда перевести в твердый раствор, чего с нормально образовавшимся ледебуритом произвести нельзя. К числу таких сталей относится марганцовистая сталь Гадфильда и быстрорежущая.

Объем жидкой стали больше объема твердой стали. Поэтому поверхностный уровень жидкой стали по мере ее застывания опускается в отвердевшей наружной корке, и в конце застывания на охлажденном слитке обнаруживается в самом верху коническая полость, носящая название усадочной раковины. В зависимости от способа отливки усадочная раковина может быть очень глубокой или мелкой. Мы не будем останавливаться на изучении явлений образования ее и методов уменьшения ее влияния на слиток, так как верхняя часть болванки всегда отрезается на металлургических заводах, и лицам, занимающимся термической обработкой стали, редко приходится иметь с ней дело.



Рис. 29. Схематическая диаграмма распределения температур и кристаллизации быстро охлаждающегося слитка.

Мы не разбираем явлений, сопровождающих застывание «кипящей» недегазированной стали, так как таковая для изделий, требующих термической обработки, не применяется.

Все описанные явления, происходящие при застывании слитка, отражаются на его строении и механических качествах. На рис. 30 изображен протравленный для выявления макростроения шлиф, вырезанный из верхней трети слитка. На нем хорошо видны наружный слой шестоватых кристаллов (*a*), промежуточный слой рыхлого металла, соответствующий моменту прекращения роста шестоватых кристаллов (*b*), затем слой более плотного металла (*в*) и, наконец, внутренняя зона (*г*), обогащенная примесями и характеризующаяся наличием провисших перемычек-мостов.

Из этой фотографии мы видим, что правильный рост ориентированных параллельно друг другу дендритов наблюдается только в начальный период быстрого охлаждения. Когда образование слоя «*a*» закончилось, растущие в последующие периоды дендриты уже располагаются беспорядочно, сильно деформируясь под влиянием движения жидкого металла.

Из всего вышесказанного мы видим, что процесс застывания создает чрезвычайную неоднородность строения слитка стали.

Наличие этой неоднородности в строении сказывается на механических свойствах и, поэтому конструктор не должен слепо доверяться

принятому при расчетах далеко не верному представлению, что сталь вполне однородна. Это упрощение весьма удобно и принимается при расчетах согласно формулам теории упругости, но на практике оправдывается только тогда, когда конструкция детали такова, что вредное влияние неоднородности стали не сказывается. Как должна быть построена такая деталь мы увидим впоследствии.

Следовательно в застывшем слитке образующие его дендриты весьма неоднородны по составу. Оси их, выделившиеся в виде дельта-железа, содержат очень мало углерода. Далее при охлаждении проис-

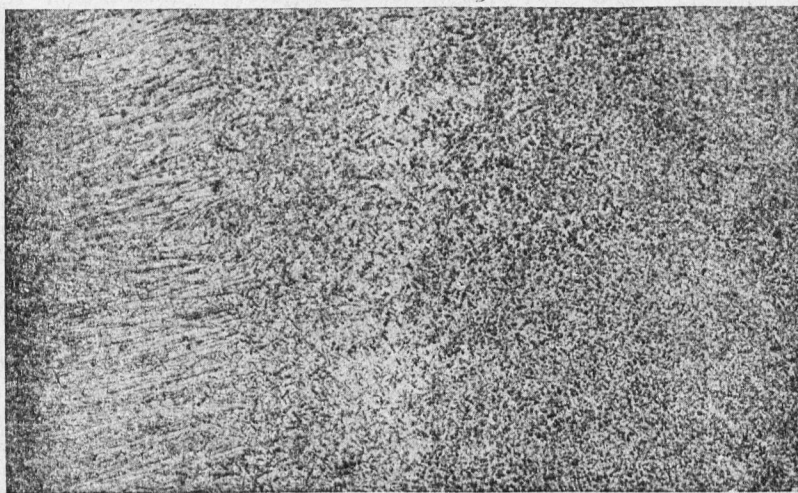


Рис. 30. Макроструктура литого стального слитка н/г.

ходит превращение дельта-железа в гамма-железо, но состав осей дендритов при этом тотчас же не меняется. Он выравнивается лишь постепенно процессом диффузии. Междендритные пространства насыщены углеродом и питают последним дендриты по мере выравнивания состава. Скорость этого процесса пропорциональна разности концентраций, а потому по мере застывания слитка уменьшается, и практически никогда полного выравнивания состава не достигается.

Дендриты построены из очень мелких кристалликов дельта-железа, и по мере охлаждения происходит превращение их в аустенит, сопровождающееся разрастанием одних кристаллов за счет других, и вскоре появляется другая структура — сетчатая структура аустенита. При этом на слитке остается отпечаток прежней структуры, образованной дендритами из перешедшего в аустенит (гамма-железо) дельта-железа. Она сохраняется потому, что при образовании аустенита миграции углерода не происходит. Это объясняется тем, что углерод хорошо растворяется в гамма-железе, и кроме процесса диффузии, далеко не успевающего выравнивать состав стали, никакой другой более мощной причины для этого нет. Диффузия лишь размывает очертание областей различных концентраций углерода, и тем в меньшей степени, чем ниже температура перехода дельта-железа в гамма-железо.

Согласно исследованиям Андрю и Бинна фосфор понижает температуру этого превращения и тем способствует развитию неоднород-

родности. На рис. 31 изображена структура литой хромоникелевой стали. В ней намечаются глубоко протравившиеся оси дендритов и кроме того черной прерывчатой сеткой отграничены области, занятые зернами аустенита. На рис. 32 приведена макроструктура литой углеродистой стали с 0,2% углерода. Аустенитовые зерна здесь обозначились хорошо. На них сохранились следы параллельной штриховатости, характерной для аустенита и представляющей собой линии спайности гамма-кристаллов железа.

Спайность в кристаллах нам хорошо известна на примере кристаллов слюды легко раскалывающихся в определенной плоскости на тончайшие листки. Другой пример — кубические кристаллы каменной соли, при своем раздроблении разлетающиеся по плоскостям спайности на мелкие кубики с гладкими, как будто отполированными гранями, и с большим трудом разрезаемые в другом направлении.

Аустенит обладает этим же свойством, но ввиду его вязкости он не раскалывается и только легко деформируется, сдвигается по этим плоскостям.



Рис. 31. Сетчатая структура литой хромоникелевой стали.

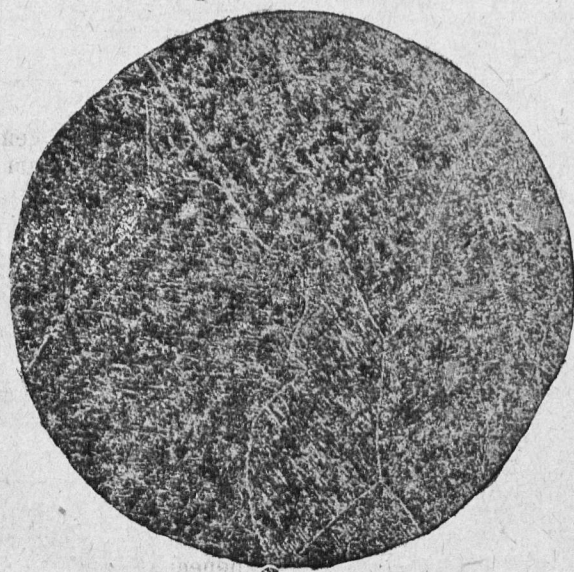


Рис. 32. Сетчатая структура прибыли стального литья с 0,2% углерода. Увел. в 10 раз.

Почему сохраняет рисунок аустенита в охлажденной до обыкновенной температуры стали? Почему он выявляется при травке кислотой, в то время как сам по себе неоднородный аустенит исчезает начисто при температуре перехода гамма-железа в альфа-железо?

Объясняется это тем, что альфа-железо, образующееся при распадении твердого раствора, избирает местом своего выделения либо границы зерен аустенита, либо линии сдвигов, если кристалл достаточно велик и

скорость охлаждения настолько быстрая, что кристаллы альфа-железа не успевают вырасти до размеров, сравнимых с кристаллами аустенита, и тем замаскировать всю картину.

Это явление уже знакомо нам. На примере выделения феррита при достаточно быстром охлаждении нагретой стали мы видели, что феррит тоже сгруппировывается по границам зерен или выделяется в вид тонких нитей, пронизывающих на некоторую глубину параллельным пучком зерно стали.

При охлаждении до температур образования феррита последний стремится выделиться по границам аустенитовых зерен. Если твердый раствор неоднороден, то выделение феррита будет происходить в местах, содержащих меньшее количество углерода. Образующиеся кристаллы альфа-железа будут вытеснять углерод к местам, им обогащенным, и тем в еще большей степени усилят неоднородность стали.

Таким образом мы видим, что во время охлаждения стального слитка происходит ряд явлений, создающих его неоднородность. Им противодействуют процессы диффузии, стремящиеся выравнять состав стали. Но неоднородность литой стали вообще велика. Это сильно сказывается на ее механических свойствах, главным образом на вязкости. Н. И. Беляев приводит пример механических испытаний и химического анализа проб, вырезанных из разных мест слитка. Эта таблица хорошо иллюстрирует понижение вязкости стали от периферии к центру, понижение далеко не равномерное (табл. 16).

Т А Б Л И Ц А 16

Изменение механических свойств от периферии к центру в стальном слитке (по данным Н. И. Беляева).

Положение образца в слитке	Механические свойства			Колебания химического состава в пределах по различным сечениям слитка
	Предел упругости в кг/мм ²	Сопротивл. разрыву в кг/мм ²	Относит. сужение в процентах	
Край 1	36,4	61,5	36,1	Углерод = 0,43—0,51 Кремний = 0,34—0,44 Марганец = 0,24—0,25 Сера = 0,015—0,018 Фосфор = 0,014—0,025
» 2	35,1	62,3	31,6	
» 3	35,2	62,8	26,7	
» 4	36,0	61,8	24,4	
» 5	34,9	62,0	25,8	
» 6	36,5	62,6	19,2	
» 7	35,7	63,9	16,8	
» 8	35,1	61,5	20,0	
» 9	35,1	61,5	21,5	
Средина 10	35,7	61,2	12,7	

Так же как и вязкость, неравномерен и химический состав. В этой таблице приведены колебания содержания примесей, указывающие, что процессы вымораживания имели место в исследованной автором области слитка.

Пониженные механические свойства срединных областей слитка сохраняются при дальнейшем переделе. И в кованных, прокатанных и отштампованных заготовках всегда можно найти эти области.

На рис. 33 и 34 приведены фотографии шлифов двух коленчатых валов: один приготовлен из доски, посредством высверливания колен, как это видно на снимке, другой же гнутый. В первом случае хорошо видно расположение центральной зоны пересекающей щеки вала, ослабляя их, и следующей по шейкам коренных подшипников.

Второй вал гнутый; сильной проковкой средние части слитка вытянуты в тоненькую полоску, изогнутую, следуя за конфигурацией вала. Здесь во всех сечениях имеется достаточное количество здорового металла наружных слоев слитка, и такой вал оказывается прочнее.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ГОРЯЧАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Слиток охладился. Его вынимают из изложницы, осматривают и вырубают пневматическим зубилом литейные пороки. Но далеко не все пороки удается обнаружить при осмотре слитка, и поэтому при его дальнейшей обработке, ковке и прокатке, пороки постоянно обнаруживаются и их приходится снова удалять.

Радикальным способом, безусловно необходимым при изготовлении высококачественных сталей, является обдирка слитка на обдирочных станках. На светлой поверхности точеного слитка хорошо видны все пороки, и токарь, производящий обдирку, легко может их нацело удалить.

Если же очистка поверхности произведена недостаточно внимательно, и кое-какие мелкие трещинки сохранились, они при штамповке и термической обработке могут увеличиться и в окончательном результате вызовут брак изделия.

В особенности вредны они при быстрых нагреваниях и охлаждении изделий. Происходящее при этом неравномерное распределение



Рис. 33. Заготовка коленчатого вала, высверленного из доски.

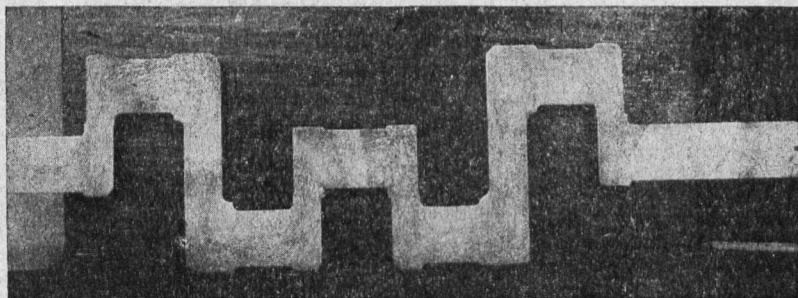


Рис. 34. Заготовка гнутого и отштампованного коленчатого вала.

температуры вызывает образование внутренних натяжений в стали, и мелкие острые трещинки перераспределяют напряжения таким образом, что у конца их создаются весьма значительные местные напряжения, могущие легко достигнуть величины, достаточной для излома металла, тогда происходит в этом месте разрушение металла и трещинки увеличиваются.

Попадая в штамп такое изделие рвется дальше и наконец, если не будет во время замечено и отбраковано, идет в термический цех, где при закалке дает глубокую трещину, обычно делающую изделие непригодным для работы. Почему при закалке изделия так сильно разрастаются мелкие трещинки и другие пороки? Это происходит от того, что при быстром охлаждении (при закалке) наружных слоев изделия они резко сжимаются, тогда как внутренние нагретые слои еще продолжают сохранять свой первоначальный объем. Это вызывает растягивание наружных слоев, и благодаря этому всякий поверхностный порок может повлечь за собой возникновение разрыва.

Тщательно вычищенный слиток или поступает непосредственно в прокатку или же подвергается отжигу. В тех случаях, когда слиток подвергается поверхностной обдирке, отжиг часто требуется для понижения поверхностной твердости слитка, для облегчения и удешевления процесса обдирки.

Отжиг имеет целью выравнять неоднородность стали и разрушить крупнозернистую структуру, образовавшуюся при застывании слитка. Он производится обычно при $850—950^{\circ}$ в больших печах, вмещающих несколько тонн стали. Особенно удобны печи с выдвижным подом, так как дают возможность загружать слитки пользуясь краном. С работой их мы познакомимся в главе об отжиге фасонного литья.

При нагреве, при отжиге стали, аустенитовые кристаллы образуются вновь. Однако они не успевают вырасти до той же величины, какой они достигли при остывании литой стали. Поэтому структура, образованная ими, обычно настолько мелка, что различима только под микроскопом. Макроструктурная сетка литой стали после такого отжига исчезает. Опыты Обергоффера показали, что выравнивание неоднородности стали (исчезновение дендритной структуры) достигается лишь при весьма длительном выдерживании стали при температурах около 1300° , что практически в промышленности не достижимо. Это показывает, что обычный заводский отжиг может лишь немного выравнять состав стали и практически значение его в этом смысле незначительно. Совершенно не оказывает он влияния на макроскопическую неоднородность слитка, то есть на ликвационную зону и количества содержащихся в ней примесей. Конечно не влияет он и на количество и распределение шлаковых включений.

Таким образом отожженный слиток имеет, в отличие от неотожженного, измельченную структуру. Если температура отжига была чрезмерно высока, то зерно опять разрастается, и вновь возрождается структура, близкая к структуре литой стали.

В литой стали и стали перегретой при отжиге часто наблюдается своеобразная структура вытянутых топких кристаллов феррита. Они располагаются один по отношению к другому под углами 60° или 120° , образуя треугольники. Эта структура, свойственная метеоритам носит, название в и д м а ш т е т т о в о й.

После осмотра и вырубки отжига или обдирки слиток загружают в печь и после медленного нагрева до ковочной температуры подвергают первому обжиму. Обычно первые удары молота даются не сильные. После предварительного обжима ковка производится смелее. Если сталь подлежит прокатке, то обжим ведется в специальных обжимных станах — блюмингах. Весьма важно при этом производить правильный нагрев стали. Сталь, нагретая до слишком высокой температуры, может быть пережжена, и тогда она рассыпается под молотом

и в станке, и ни ковка, ни прокатка ее не удаются. Механические свойства пережженной стали оказываются сильно пониженными (в особенности сопротивление удару) даже в том случае, если пережог не развился настолько, чтобы сделать невозможной ковку и прокатку.

Что такое пережог мы приблизительно знаем из примера быстрорежущих сталей. Там мы видели, что пережог характеризуется проникновением окислов железа между зерен аустенита нагретой стали. Окись железа, проникающая в сталь повидимому благодаря процессам диффузии, встречается между зернами аустенита включения сернистого железа, силикаты и т. д. При соприкосновении с ними она дает жидкие при этих температурах сплавы, и вся сталь в этот момент напоминает комок сырого песка, состоящий из отдельных крупинок, сцементированных между собою влагой. Такой комок легко рассыпается и пластичностью не обладает. Чтобы избежать пережога нужно следить за правильной температурой нагрева стали. Для мягких сортов стали недопустимой считается температура оплавления окалина, так как жидкая окалина легче диффундирует в сталь. Эта температура лежит около 1400° . Более твердые стали требуют более умеренного нагрева. Стали с содержанием специальных элементов тоже не допускаютковки при очень высокой температуре. Обычно считается, что мягкая сталь может коваться при температуре до 1300° , сталь с 0,9% углерода и выше — до 1100° Ц. При температурах $1000—1100^{\circ}$ куют хромо-никелевые, хромистые и быстрорежущие стали. Сталь Гадфильда куется при температуре $900—950^{\circ}$ и т. д.

Однако эти температуры не являются строго установленными. Некоторые факторы сильно понижают ковкость сталей. Так например, сера в количестве больше 0,05 обычно сильно понижает ковкость сталей, делая их кристаллоломкими. Объясняют это легкоплавкостью эвтектики сернистого железа и закиси железа, плавящихся уже при 985° и располагающихся по границам зерен. Само собою ясно, что оплавление этой эвтектики нарушает взаимное сцепление отдельных кристалликов стали, вызывая надрывы и рванины, характерные для стали, не выносящей ковку. Количество серы опасное в смысле ковкости различно. В легированных сталях едва ли можно успешно ковать без слишком повышенного процента брака стали с содержанием серы выше 0,05%, мягкое же железо хорошо прокатывается, когда серы в нем содержится даже более 0,1%. Стали марганцовистые могут содержать серы и больше. А так как последние при правильной термобработке обладают довольно высокими механическими свойствами и вместе с тем при повышенном содержании серы сохраняют почти полностью способность к повышению скорости резания на автоматах, свойственную сернистым сталям, они начинают привлекать внимание как высококачественные автоматные стали.

На вредное влияние серы существуют различные взгляды. Общеприятый взгляд это безусловно ее пагубное влияние во всех случаях.

Однако опыт Америки учит, что это далеко не так. Громадное количество изготавливаемой там сернистой стали показывает, что даже при содержании серы до 0,15% сталь можно успешно прокатывать.

Разница во взглядах американцев и наших объясняется тем, что в Союзе ССР сера попадает в сталь вместе с чугуном и в течении всей плавки присутствует в ванне. Она сильно затрудняет сталевара, делая шлаки густыми и не давая возможности точно определить температуру и степень раскисленности шлака. Чтобы сделать шлак жидким, сталевару приходится изменять его состав

и такое изменение остается не без вреда для стали. Поэтому выплавленная таким образом сталь кроме вредного влияния серы носит в себе следы и плохо проведенного процесса ее производства.

Обыкновенно не отличают эти неудачи процесса варки стали, и всю вину плохих качеств металла приписывают влиянию серы.

Американцы же плавку ведут всегда исходя из чистой шихты, а серу вводят уже после выпуска стали в ковш. Тем они исключают вредное влияние серы на ведение процесса мартенования стали, получают сталь «здоровую», в которой повышенное содержание серы сказывается значительно слабее.

Чем выше температура, тем пластичнее сталь и тем легче поддается она деформации, а потому тем меньше расход энергии на горячую механическую обработку. Поэтому кузнецы стараются нагреть сталь до температуры возможно более высокой. Во время процесса ковки сталь, плотно прижимаемая бойком пресса или молота, быстро охлаждается, и нужно торопиться ковать, чтобы сталь не застыла настолько, что уже не будет поддаваться воздействию бойка. При ковке больших сечений при низкой температуре наблюдается появление трещин. Это происходит при тех температурах, когда сталь претерпевает аллотропические превращения в наружных слоях поковки. В момент образования феррита в стали происходят сильные объемные изменения. Внезапное линейное расширение при переходе его из состояния гамма в альфа достигает 0,26%. Это вызывает дополнительное расширение металла в охлажденных соприкасающихся под бойком областях металла, сопровождающееся растяжением, когда поковка будет повернута на некоторый угол для обжима в другом направлении, вызванное обратным превращением выделившегося альфа-железа в гамма-железо за счет внутреннего тепла поковки. При нажиме в этот

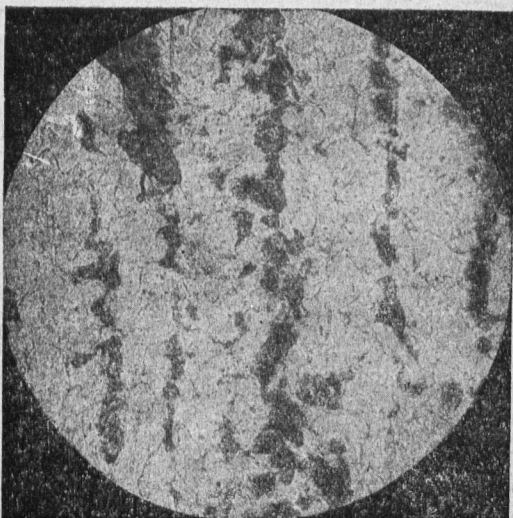


Рис. 35. Полосчатая структура стали.
Увел. в 100 раз.

момент легко образуются трещинки, сейчас же разрывающиеся выпирающими из под бойка внутренними слоями металла. Когда вся поверхность поковки остыла, то натяжения эти могут вызвать образования внутренних надрывов, около шлаковых включений и других пороков. Эти надрывы носят иногда название флексов, и встречаются главным образом у хромоникелевых сталей, в процессе производства которых не были соблюдены все — правила, гарантирующие получение продукта высокого качества.

По откованная при низкой температуре сталь, если она и не дает трещин, все же сильно ухудшается в своих качествах (в особенности

при испытании на разрыв поперечных проб). Это ухудшение обнаруживается микроанализом. Сталь, откованная при недостаточно высокой

температуре, имеет своеобразную полосчатую структуру. На микрофотографии рис. 34 приведен пример такой полосчатой структуры стали. Тут ясно видна полосчатость, выражающаяся в появлении чередующихся чисто перлитовых и чисто ферритовых полос. Механизм образования полосчатости до сих пор не ясен, и даваемые этому явлению объяснения не вполне удовлетворительны. Исследования однако показывают, что такая сталь обладает, вообще говоря, пониженными механическими свойствами и поэтому должна быть подвергнута специальной термообработке для возможного удаления этой полосчатости.

Теперь посмотрим, что делается при горячей механической обработке с макроструктурой стали с дендритным строением.

Макроструктура изменяется при горячей механической обработке и в тем большей степени, чем больше уковка. Выше мы видели, что неоднородный по своему строению слиток содержит массу мелких скоплений примесей, рассеянных по всему его объему в междендритных пространствах. Эти бесформенные скопления при протягивании слитка постепенно вытягиваются в длинные волокна. Дендриты же становятся труднее различимыми, теряют свою правильную форму и в конце концов при больших степенях уковки вытягиваются в волокна. Протравка обнаруживает эти волокна, следующие в направлении течения материала. На рис. 35 приведен пример волокнистого строения шатуна автомобильного двигателя.

Название волокно, введенное практиками, очень точно характеризует строение и свойства стали. Волокнистые материалы обладают, вообще говоря, одним свойством — зависимостью механических качеств от направления действия приложенной силы.

Этим же свойством обладают многие кристаллы, в том числе и кристаллы железа. Но в случае кристаллов явление объясняется конечно не наличием в них «волокон», а особенностями их атомного строения. Зависимость механических свойств вполне однородных кристаллов от направления действия силы носит название — анизотропии; оно принципиально отлично от подобного же свойства волокнистых веществ, и потому их не следует смешивать.

Примером волокнистых веществ может служить дерево, легко рвущееся и раскалывающееся при действии силы в поперечном направлении и очень прочное при растягивании вдоль волокна.

Кованая или прокатанная сталь обладает тем же свойством. Это иллюстрируется табл. 17, где приведены механические испытания на разрыв и удар образцов, выточенных таким образом, что оси их составляют с направлением протяжки болванки различные углы. Из таблицы этой видно, что предел текучести и сопротивления разрыву не изменяется в зависимости от направления расположения образца, а удлинение, сжатие и сопротивление удару падают очень сильно, когда угол, составляемый осью образца и осью прокатной болванки приближается к 90° .

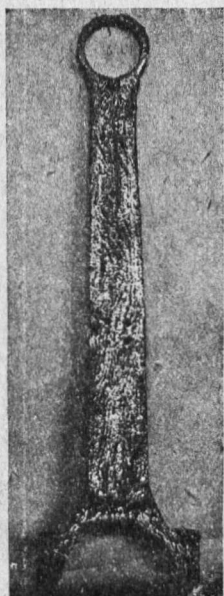


Рис. 36 Макроструктура шатуна автомобильного двигателя.

ТАБЛИЦА 17

Зависимость механических свойств 30% никелевой стали от направления вытяжки образца (термическая обработка: закалка при 850° в масло и отпуск при 650°) по данным А. и Х. Брирлей.

Угол между осью образца и осью прокатной болванки	Предел текучести кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относит. удлинение %	Относит. сужение %	Сопротивление удару (Наод) фунтфут кв. дюйма
Параллельно волокну	43,9	51,6	23,5	60,7	67 . 69 . 64
	—	50,0	23,5	61,0	63 . 61 . —
20°	42,3	51,2	23,0	59,2	68 . 62 . 62
	41,9	51,2	23,0	59,0	63 . 61 . 66
40°	43,4	50,9	23,5	58,2	44 . 35 . 40
	43,9	50,9	24,0	58,5	41 . 51 . 37
60°	43,3	51,0	17,5	28,3	25 . 29 . 27
	44,5	51,2	15,5	27,9	23 . 21 . 25
80°	43,7	51,5	15,5	26,1	16 . 19 . 17
	45,9	51,6	14,5	25,2	19 . 18 . 19
Перпендикулярно волокну	43,7	50,4	18,5	32,2	18 . 19 . 19
	45,6	51,4	15,5	25,5	17 . 18 . 16

Таким образом далеко не безразличен с точки зрения прочности метод штамповки, примененный для изготовления изделия.

Например на рис. 37 и 38 изображены макроснимки с двух совершенно одинаковых автомобильных шестерен. При ковке первой шестерни (рис. 36) производилась небольшая осадка под молотом круглых толстых дисков стали. Волокно прокатного материала при этом выгибалось, как это хорошо видно на фотографии. Полученный таким образом диск растачивался до нужного профиля сечения шестерни. Вторая шестерня (рис. 38) выштамповывалась в фигурном штампе сразу до нужного профиля. Радиальное течение материала было значительно больше, что вызвало расположение волокна по направлению радиусов шестерни. Ясно, что зуб второй шестерни будет при таком расположении волокна прочнее зуба первой шестерни, так как при изгибе его возникающие в нем напряжения расположатся параллельно волокну. Приведенные на рис. 33 и 34 фотографии коленчатых валов также могут служить хорошим примером неправильного и правильного расположения волокна.

Следует заметить, что продольное направление волокна обычно определяется по последней сильной вытяжке материала. Если например взять прокатную болванку и путем осадки с торца выковать из нее прутки, то волокно будет идти вдоль прутка, независимо от того, что вытягивание его происходило поперек направления волокна прокатки.

Вообще говоря, наивыгоднейшее расположение волокна достигается тогда, когда отштампованные заготовки наиболее близко подходят по своей форме к готовому изделию. Тогда волокно приблизительно сле-

дует за контуром изделия (конечно при достаточной уковке). При такой постановке штамповки одновременно достигается и значительная экономия материала, так как припуски на механическую обработку оказываются небольшими.

Идеальными в этом отношении будут изделия, выштампованные настолько точно, что без дальнейшей холодной механической обработки могут быть установлены на свое место в конструкции. Столь точная штамповка конечно может быть произведена только помощью специальных ковочных машин и требует особой удобной для штамповки формы изделий. Тенденция применения таким образом изготавливаемых изделий заметна особенно сильно в настоящее время. Во многих очень ответственных конструкциях, как например авиационных моторах выпусков последних лет, можно найти детали не подвергнутые после штамповки никакой механической обработке. Более консервативные фирмы иногда все-таки, из ложных стремлений придать более красивый вид, обрабатывают на станках всю поверхность изделий, но в громадном большинстве случаев ничего, кроме вреда, такая чрезмерная погоня за красотой не приносит. Но стремление применять штампованные «набело» изделия налагает на конструкторов обязанность согласовывать свои конструкции с возможностями кузнечного производства, которые не так велики.

Расположение волокна оказывает свое влияние на стойкость таких изделий, поверхность которых подвергается постоянным нагревам и охлаждениям. К числу подобных изделий относятся кузнечные штампы. Замечено, что стойкость штампов, изготовленных таким образом, что волокно располагается перпендикулярно рабочей поверхности значительно выше, чем у штампов, волокно которых параллельно рабочей поверхности. Но это улучшение достигается лишь в тех случаях, когда материал, идущий для изготовления штампов, особенно чист, так как в средних частях заготовки, как раз в рабочем месте штампа, при вертикальном расположении волокна оказываются срединные части слитка, т. е. наименее чистый металл ликвационной зоны. И этот ликвировавший металл должен быть достаточно чист и плотен, чтобы выдерживать очень трудную работу штампа, что возможно лишь при условии чрезвычайной чистоты всего слитка. Поэтому при изготовлении материала для штампа сталевары не жалеют раскислителей и часто вводят для этой цели ванадий.

Кроме получения волокнистой структуры со всеми ее достоин-

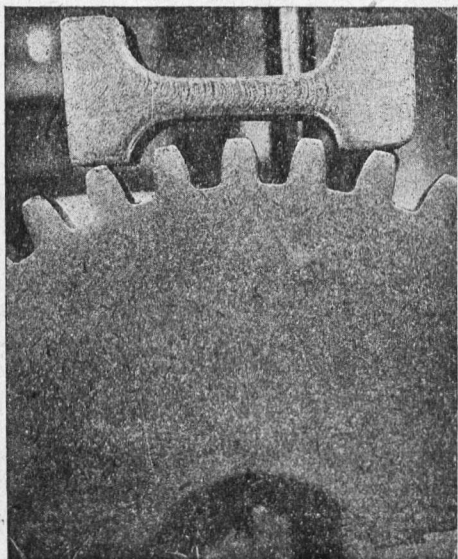


Рис. 37. Автомобильная шестерня, откованная в виде плоского диска.

ствами ковка способствует сильному измельчению зерна стали, а в сталях, содержащих ледебурит, разрушению последнего.

Причина измельчения зерна ясна. Сильные деформации металла сопровождаются конечно чисто механическим раздроблением аустенитовых кристаллов. А так как между размером зерна аустенита и образовавшейся из него при охлаждении вторичной (например перлитовоферритовой) структуры имеется определенная пропорциональность, то и вторичная структура стали послековки становится мельче.

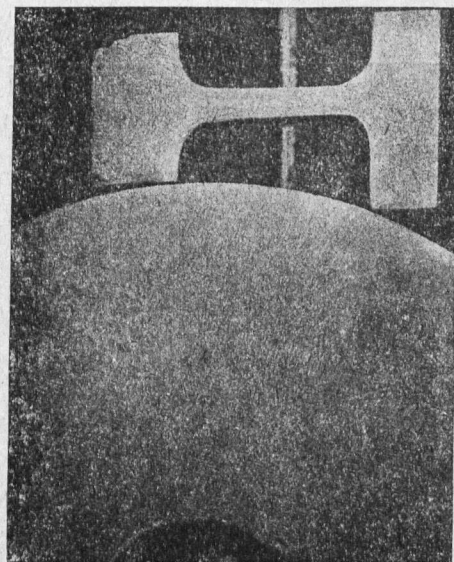


Рис. 38. Заготовка автомобильной шестерни, выштампованная в фигурном штампе.

дленно начинается их быстрый рост, тем более быстрый, чем выше температура. Таким образом мы имеем налицо два борющихся друг с другом явления. Первое — раздробление зерна под ударами молота, второе — восстановление и рост зерна.

В результате совместного действия этих двух процессов получается та или иная степень измельчения структуры поковки. Чем мельче зерно, тем выше механические качества стали. Это правило почти не имеет исключений. Поэтому ковкая сталь по сравнению с литой имеет всегда более высокие механические качества. Н. И. Беляев, посвятивший много времени изучению процессаковки, приводит следующие цифры, характеризующие улучшение ковкой механических свойств стали (см. табл. 18 на стр. 63).

Особенно благотворно влияет ковка на свойство инструментальной стали, содержащей углерода свыше 0,9%. В литом виде такая сталь состоит из крупных перлитовых зерен, между границами которых располагаются хрупкие кристаллы цементита, образующие на микрошлифе иглы и сетку.

Эта сетка не уничтожается обычной термической обработкой, так что структура литого инструмента будет состоять из трооститовых зерен, окаймленных цементитовой сеткой. Эта хрупкая межкристаллическая сетка сильно ослабляет прочность реза, способствуя выкрашиванию отдельных зерен из режущей кромки работающего инструмента. Ковка раздробляет цементитные кристаллы, и они в виде мелких

ТАБЛИЦА 18

Влияние термической обработки на свойства ковкой стали (по Н. И. Беллеву). Состав: углерода — 0,48%, кремния — 0,2%, марганца — 0,36%, фосфора — 0,028%, серы — 0,014%.

Термическая обработка		Предел упругости <i>кг./мм²</i>			Сопротивление разрыву <i>кг./мм²</i>			Относит. сужение <i>%</i>		
		Степень уковки								
		Литая	8- кратная	16- кратная	Литая	8- кратная	16- кратная	Литая	8- кратная	16- кратная
Закалка:	Отпуск:									
780°	740°	36,0	36,0	47,5	47,5	54,9	53,0	18,0	58,0	63,3
780°	700°	46,2	45,3	59,5	59,2	65,0	64,2	22,1	63,2	62,5
780°	600°	52,4	51,3	67,9	67,9	75,5	75,1	19,2	69,4	59,8
780°	500°	64,5	61,7	78,6	78,6	87,1	89,2	16,2	53,5	55,0
780°	400°	68,1	66,4	82,6	82,6	94,0	95,6	9,7	51,1	57,0
780°	300°	—	64,0	91,0	91,2	96,0	97,5	6,4	41,0	44,2

крупинки оказываются разбросанными по всему объему металла и межкристаллической хрупкости не могут уже вызвать. На микрофотографии, рис. 39, приведена структура хорошо прокованной и термически обработанной инструментальной стали, содержащей 1,1% углерода.

Для быстрорежущих сталей хорошая проковка необходима и по другим соображениям.

Мы видели, что ввиду задерживающего влияния вольфрама, препятствующего диффузии углерода во время застывания слитка, быстрорежущая сталь крайне неоднородна по своему составу. Эта неоднородность характеризуется наличием ледебурита в междендритных пространствах.

Длительным отжигом не удастся сколько-нибудь нарушить такую

структуру, и крупное зерно, окаймленное ледебуритом литой стали, сохраняется и после отжига. При ковке массивные дендриты вытягиваются в нити, ледебурит разрушается, и получившиеся при его раздроблении зерна карбидов перемешиваются с остальной массой металла. Если для выравнивания твердого раствора в литой стали углероду и

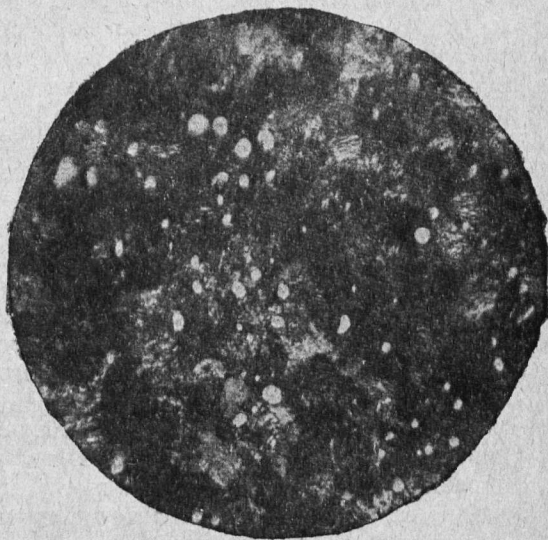


Рис. 39. Обычная структура прокованной и термически обработанной инструментальной стали. Увел. в 500 раз.

другим примесям приходилось диффундировать на глубину несколько десятых миллиметра, а может быть и целый миллиметр, то в прокованной стали примесь должна будет пройти лишь половину толщины вытянутого в тонкое волокно дендрита. Ясно, что это сильно облегчает диффузию примесей и вместе с тем облегчает растворение карбидов ледебурита, исправляя таким образом неоднородность, созданную отливкой. Поэтому только тогда можно требовать хороших качеств резца быстрорежущей стали, когда металл его был подвергнут сильной уковке. Это хорошо иллюстрируется микроструктурой, так как чем больше уковка, тем равномернее распределены карбидинки в стали и тем труднее обнаружить на продольном шлифе следы первичной деформированной ледебуритной стали.

Кроме сильной уковки стремятся уменьшить влияние ледебуритной сетки быстрорежущей стали путем уменьшения размеров слитка, так как чем меньше слиток, тем мельче его структура. Обычно вес слитка быстрорежущей стали не должен превышать 80—100 кг; при большем весе даже сильная уковка не может полностью разрушить ледебурит.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ ПОКОВОК И ИХ ИСПРАВЛЕНИЕ

Прокатка, штамповка и ковка — процессы сложные и несмотря на то, что изучены они достаточно хорошо, в производстве постоянно случаются неполадки, влекущие за собой появление пороков, делающих изделия непригодными. Все виды брака горячей обработки трудно перечислить. Это потребовало бы много места и времени. Остановимся поэтому на главнейших.

Дефекты прокатки. Одним из распространенных дефектов прокатки являются так называемые закаты. Получаются они следующим образом. Прокатка заключается в последовательном пропуске через ручьи прокатных валов нагретой полосы. Сечение ручьев последовательно от одного к другому уменьшается, и полоса, переходя из одного ручья в другой, постепенно утоняется, пока не достигнет нужной толщины. Размеры и формы ручьев должны строго соответствовать выработанным практикой и заданным калибровщиком нормам. Случается, что один какой-нибудь ручей разрабатается в процессе прокатки больше других, тогда степень обжатия в нем будет меньше требуемой, и полоса, попадая в следующий ручей, будет толста, металл, стараясь отыскать себе место, устремляется между валками, и вдоль полосы, обычно с двух противоположных сторон, образуется выступающая закромка. В дальнейших ручьях эта закромка закатывается, и в результате на полосе получается неглубокая трещинка, тянущаяся вдоль всей полосы. То же получается конечно в том случае, когда вальцовщик ошибочно пропустит один ручей и задаст в обжим слишком толстую полосу.

Другой порок, свойственный прокатке — это недостаточная отрезка усадочной раковины. При этом в готовой полосе в середине ее сечения обнаруживается глубокое отверстие, тянущееся вглубь заготовки по самому ее центру на несколько дециметров. Если заготовка недостаточно прогрета, и следовательно наружные слои, как более мягкие, вытягиваются больше внутренних, может стать, что с обоих концов

полосы получаются подобные же отверстия. Это тоже служит браком, хотя полоса и прокатана из вполне здорового материала. Это явление наблюдается чаще в листовом железе при плохой работе нагревательной печи.

При сильной окислительной атмосфере прокатных печей иногда наблюдается обезуглероживание поверхностных слоев металла, которое особенно сказывается в рессорной стали, нагрев при прокатке которой производится весьма сильный. Особенно вредно сказывается поверхностное обезуглероживание на свойствах листовых легированных сталей; например стали щитовые для противопульных щитов, настолько чувствительны к характеру нагрева при прокатке, что опытные рабочие по одному внешнему виду окалина (матовосерая иногда пузырящаяся) могут указать безошибочно негодные щиты.

Немнее вредно обезуглероживание инструментальных сталей. Практикой установлено, что если сталь обезуглерожена по поверхности, режущие свойства изготавливаемого из нее инструменты оказываются пониженными, и кроме того такой инструмент легко трескается при закалке. Это заставляет ограничивать допустимую толщину обуглероженного слоя при приеме стали.

Иногда для лучшего захватывания полосы прокатными валами на их поверхности делают довольно глубокую насечку. Если насечка излишне глубока, то при проходе через такой ручей получается ряд выступов, которые в дальнейшем могут дать плены.

Мы не останавливаемся на случаях пережога материала, порождающих мелкие рванинки, иногда также закатывающиеся в конце прокатки, так как о явлении пережога уже говорилось достаточно.

Кроме уже перечисленных можно привести еще ряд дефектов, сообщаемых стали неправильной прокаткой, но ради экономии времени на них останавливаться не будем.

При штамповке кроме явления пережога, часто наблюдаются завалы, складки, утяжины, происходящие главным образом от того, что примененная для штамповки заготовка не соответствовала по своим размерам обьему штампа, и в таких случаях металл неправильно распространяется по обьему последнего.

При обрезке штамповочных заусенок иногда происходит их заминание у поверхности поковки и порождаются таким образом завалы. При правильной штамповке металл правильно растекается по штампу и макроструктура штампованного изделия отличается именно этой правильностью расположения волокна. При ковке волокно не прямое вытянутое, а обычно извилистое. На рис. 35 мы видели макроструктуру кованого шатуна, где хорошо видно извилистое расположение волокна. Извилистость волокна объясняется тем, что при штамповке изделию придают нужную форму ударами молота или нажимом пресса в одном направлении, и металл течет во все стороны по линиям кратчайших расстояний. При ковке же форма придается постепенно от одного сечения к другому.

Желая выравнять поверхность, кузнецы иногда подковывают изделия легкими ударами молота. Это вызывает течение только поверхностных слоев металла и при этом может образоваться в центре поковки раковина-утяжина. Примером такой раковины может служить поковка автомобильного рулевого червячного колеса, макроструктура

разреза которой приведена на рис. 40. В этой поковке вдоль по оси удлиненного конца имеется такая утяжина в несколько сантиметров вглубь сечения.

При производстве крупных поковок иногда наблюдается смещение центральных нездоровых частей слитка в сторону. Это особенно неприятно при производстве таких поковок, из которых в дальнейшем высверливаются внутренние ликвационные части металла. Сместившись они остаются в изделии, понижая его прочность.

Смещение центра при ковке происходит оттого, что под ударами молота металл течет в стороны под бойком в большей степени, чем у наковальни. Это можно очень часто наблюдать, когда кузнец последовательными ударами проковывает с одной стороны штангу стали, с целью сделать ее более плоской. Тогда свободный конец штанги загибается вниз по направлению к наковальне, и кузнецу приходится вслед за проковкой править ее. Сечение таким образом прокованной полосы не остается прямоугольным, а принимает форму трапеции с основанием в стороне, по которой производились удары бойка. Так как расплющивание металла, сопровождающееся уменьшением толщины его слоев, под бойком больше, чем у наковальни, то следовательно расстояние от поверхности до центра слитка в этом месте после проковки будет меньше. Таким образом каждый удар молота сдвигает ликвационную зону по направлению к поверхности удара бойка, и если проковка производилась неравномерно со всех сторон, то в результате центр слитка будет смещен.

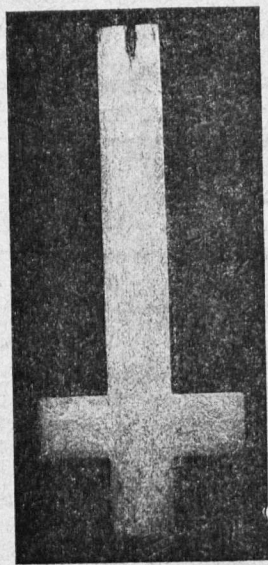


Рис. 40. Макроструктура заготовки червячного колеса рулевого управления автомобиля.

Далее при ковке недостаточно сильными ударами, что бывает в тех случаях, когда применен слишком слабый молот дляковки массивных изделий, внутри поковки может образоваться трещина, вызванная растяжением наружных слоев изделия. Некоторые стали особенно склонны давать такие трещины, например сталь с 1—2% углерода и 12% хрома, ковка которой требует особого внимания.

Слиток плохо раскисленной стали иногда имеет слой поверхностных пузырей. Пузыри эти завариваются при прокатке мягкого железа, но в углеродистой стали заварка затруднительна. Совершенно не наблюдается заварка пузырей в специальных сталях. При прокатке пузыри далеко не всегда обнаруживаются, но при штамповке вредное влияние их сказывается весьма сильно, так как они порождают свищи, а иногда и рванины на боковой поверхности изделий. Но если пузыри не обнаружатся при штамповке, дело еще далеко не благополучно, так как в термическом цехе пузыристая сталь легко дает при закалке трещины.

Рассмотренные выше случаи грубых пороков обычно вызывают забракование изделий до того момента, когда они попадают в терми-

ческий цех. Но если пороки развиты не сильно, слой окалины может закрыть их, и сразу послековки они обнаружены не будут. Поэтому полезно бывает удалить окалину перед термической обработкой посредством травления изделий в серной кислоте. Тогда по снятии слоя окалины пороки хорошо выявляются. Если они не велики, их удаляют или пневматическим зубилом или наждачным кругом или, что еще лучше, предварительной обдиркой поверхности изделий на обдирочных станках. Однако в большинстве случаев перед обдиркой приходится отжигать изделия, для того чтобы уничтожить внутренние натяжения, легко образующиеся при быстром охлаждении послековки, а также сделать металл мягче и удобнее для обдирки. Если эти натяжения не удалены, то возможна в дальнейшем поковка и коробление изделий.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

О ВНУТРЕННИХ НАТЯЖЕНИЯХ В СТАЛИ

Быстро охлаждая при закалке раскаленное изделие, мы вызываем далеко неравномерное по всей толще изделия быстрое падение температуры. Поверхностные слои погруженного в воду куска стали, охлаждаясь быстрее внутренних и претерпевая превращения, окружают все изделие твердой поверхностной коркой, и когда начинается превращение внутренних слоев последние не имеют уже возможности свободно изменять свой объем при охлаждении и аллотропических превращениях и принуждены приспособиться к тому объему, который фиксировался охлаждением поверхностной корки. Это вызывает сильные напряжения внутри стали.

Особенно неприятны эти натяжения, когда вредное их влияние проявляется при обдирке поковки. Возьмем простой пример цилиндрической поковки турбинного вала или орудия. Предположим, что послековки вал был положен на холодный пол кузницы, и одна сторона его охлаждалась быстрее другой. Такое неравномерное охлаждение вызывает обычно появление внутренних натяжений. Области, охладившиеся скорее, обычно бывают сжаты, охладившиеся медленнее — растянуты. Внутренние натяжения конечно должны взаимно уравниваться, иначе изделие будет постепенно все более и более искривляться. При установке на обдирочный станок редко удастся провести обдирку таким образом, чтобы не нарушить это равновесие, так как центрировка поковки при обдирке обычно весьма приблизительная. Если такое изделие установлено например таким образом, что растянутые слои снимаются при обдирке в большей степени, чем сжатые, натяжения в первых будут ослабляться. Тогда равновесие внутренних натяжений нарушается и поковку будет выпучивать в сторону растянутых областей. Выпучивание это будет сопровождаться увеличением количества снятого в этих местах металла и еще большим ослаблением натяжений их, а потому и еще большим короблением поковки. В результате обдирка такого изделия окажется невозможной.

Иногда коробление, наблюдающееся при обдирке, происходит не по вине внутренних натяжений. Поэтому необходимо внимательно изучать причины его появления. В практике автора был такой случай. Подвергались обдирке с одной

поверхности установочные сектора прицела. Обдирка производилась на фрезерном станке. Случилось так, что насосик станка, подающий охлаждающую воду, испортился, и фрезеровщик выключил его и стал производить обдирку без охлаждения. Так как скорость резания была высока, изделие сильно разогрелось и при том разогрелось неравномерно, это вызвало неравномерное термическое расширение различно нагретых слоев металла и выпучивание сектора прицела. Когда обдирка была закончена, изделие снято со станка, после охлаждения обнаружилось, что профрезерованная поверхность была не прямая, а вогнутая. Вначале казалось совершенно непонятным почему фрезерный станок снимает больше металла в средних частях стержня, и лишь тогда, когда обнаружили истинную причину и исправили насос, подающий охлаждающую жидкость, удалось ликвидировать это явление.

Внутренние натяжения в стали удаляются при нагреве ее 600—700°. Поэтому в тех случаях, когда необходимо их уничтожить, можно ограничиться этими температурами. Обычно же отжиг ведут при более высоких температурах, в зависимости от состава стали при 800—900°. Это делается для того, чтобы измельчить зерно стали, что облегчит дальнейшую термическую обработку и улучшит механические свойства. Удаление поверхностных дефектов способствует снижению процента брака в закалочной мастерской, и потому настоятельно рекомендуется.

Первый, кто обратил серьезное внимание на эти натяжения и попытался воспользоваться ими, чтобы повысить прочность некоторых изделий, был Калакутский. Идеи Калакутского можно вкратце уяснить следующим простым примером. Мы видим, что при неравномерном охлаждении стальной штанги в ней могут возникнуть с одной стороны растягивающие, с другой стороны сжимающие напряжения. Картина распределения напряжений в такой штанге приблизительно следующая. Нижняя поверхность штанги (положенной горизонтально) на глубину, скажем 10—15%, растянута. Средние слои металла не растянуты и не сжаты и удерживают штангу от изгиба; верхний слой примерно на ту же глубину, что и нижний, сжат. Начнем нагружать по середине нашу штангу. Нижние растянутые слои будут еще больше растягиваться, а верхние еще больше сжиматься. Таким образом штанга будет испытывать суммарные изгибающие напряжения и сломается раньше, чем мы ожидали на основании предварительных расчетов.

Теперь перевернем балку на 180° и положим ее так, что растянутые слои будут сверху, со стороны действия нагрузки, а сжатые — с противоположной. Нагружая балку мы будем сначала уменьшать имеющиеся в ней натяжения, а затем, когда балка уже нагружена настолько, что внутренние ее натяжения компенсируются нагрузкой, дальнейшее ее нагружение будет вызывать уже обычное напряжение балки. Такая балка окажется прочнее расчетной. Калакутский и хотел применить эту идею для получения такого рода внутренних напряжений в орудиях путем закалки их изнутри. К сожалению рутинная военная ведомств старого режима парализовала его работы, и ему не удалось осуществить свою идею. Но исследования, которые были им произведены, раскрыли много темных мест, и ознакомление с ними поможет нам разобраться в этом явлении и найти способы подчинить его своей воле.

Еще в 1897 г. Калакутский определял внутренние натяжения, возникающие в орудийных трубах при их закалке. С помощью построенного им прибора он нашел, что те части сечения трубы, кото-

рые охладились раньше, оказываются сжатыми, части же, охладившиеся при закалке позднее — растянуты. При замачивании трубы в воде (если в особенности закупорится ее канал) наружные слои сразу быстро захлаживаются соприкосновением с закаливающей жидкостью, и в них образуются сжимающие напряжения. Отрезав тонкий диск и начертив на нем ряд concentрических окружностей Калакутский заметил, что сострагивая цилиндрическую поверхность, можно уничтожить влияние поверхностных натяжений, и тогда диаметры начерченных concentрических окружностей будут уменьшаться. Такое распределение натяжений в трубе не выгодно. Тогда он попытался закалить трубу пропусканьем воды изнутри и это сразу изменило характер распределения натяжений. Сжатыми оказались внутренние наиболее работающие при внутреннем давлении в трубе слои и прочность такой трубы ставилась выше.

Итак мы видели, что части изделия, охладившиеся быстрее, оказываются сжатыми, а части, изделий, охладившиеся медленнее, — растянутыми, и между теми и другими имеются внутренние натяжения. Эти натяжения тем больше, чем больше расписание стали при превращении гамма-железа в альфа-железо. Присадка некоторых примесей увеличивает это расширение. Так например никель увеличивает в два раза это аллотропическое расширение. Поэтому никелевые, а особенно более твердые хромоникелевые стали имеют повышенную склонность давать внутренние натяжения и потому при закалке легче дают трещины. Примером трещин, происходящих в результате натяжения, является отлетание заостренных головок бронебойных снарядов. Головки снаряда имеют заостренную так называемую «оживальную» форму. При закалке снаряда могут образоваться натяжения, увеличивающиеся в этой заостренной части. Если закалка произведена слишком интенсивная (например в результате применения неподходящего масла или замены его нефтью), натяжения могут достигнуть такой силы, что если своевременно не произвести необходимый отпуск, головка снаряда может отскочить. Это явление наблюдается и с процековками, служащими для разворачивания конического отверстия под болт с потайной головкой, с фрезами из углеродистой стали и другими изделиями.

Изделия сложной формы, неравномерные по толщине, как мы видели, имеют склонность получать при закалке внутренние натяжения. В особенности велики эти натяжения у изделий с резким переходом от толстых к тонким частям.

На рис. 41 приведен пример протяжного кольца для волочения стали, изготовленного из инструментальной углеродистой электро- стали, при вытачивании которого образовался резкий (не закругленный) переход от тонкой за- крайны к массивному телу. Наличие этого резкого перехода и по-

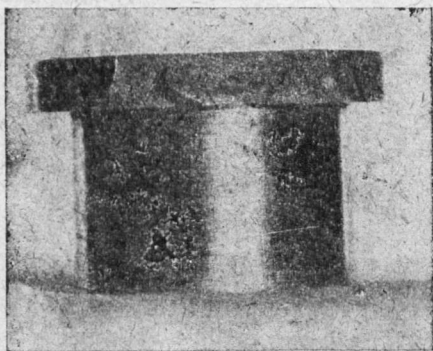


Рис. 41. Трещины, возникающие в месте перехода от толстой к тонкой части изделия

родило при закалке натяжения столь большой величины, что инструмент был разорван.

Недостаточно равномерный прогрев инструмента также может вызвать натяжения и трещины. На рис. 42 дана фотография метчика с отлетевшим зубом. Твердость зуба была настолько велика, что он не поддавался напильнику. Твердость же внутренних частей (желобков) была невелика. Микроисследование показало, что инструмент не был прогрет. Зубья, охваченные пламенем закалочной печи, быстро нагрелись до температур превращения стали и при термообработке закалились, сердечник же не успел достигнуть этих температур и закалки не принял. Так как удельный объем закаленной стали больше удельного объема незакаленной, между зубьями и сердечником возникли натяжения, вызвавшие отламывание зубьев.

Как выше было указано, не всегда излом происходит во время закалки. Иногда изделие после закалки ломается или дает трещину не сразу, а через некоторый промежуток времени. Поэтому необходимо всегда производить отпуск изделий тотчас же после закалки, так как при этом натяжения можно успеть устранить, прежде чем они успеют вызвать трещины.

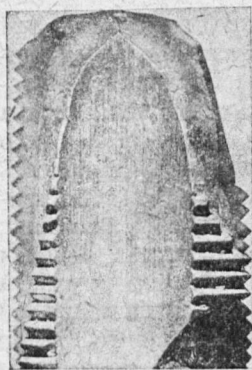


Рис. 42. Отлетание зуба у метчика при закалке вследствие неравномерного прогрева его

Крупные цилиндрические фрезы из углеродистой стали иногда при закалке раскалываются вдоль. Это также объясняется неравномерным прогревом стали. При нагреве инструментальной стали происходит образование гамма-железа и растворение в нем избыточного цемента. А чем больше перейдет цемента в раствор, тем больше будут объемные изменения при калке. Поэтому, если фрез прогрет неравномерно, количества поглощенного твердым раствором цемента будут в нем изменяться от слоя к слою, и при закалке возникнут натяжения между различно деформировавшимися слоями, что и породит трещины.

Это подтверждается данными Хеллера, определившего следующие изменения длины образца стали с 0,95% углерода в зависимости от температуры закалки, а следовательно от количества перешедшего в раствор цемента. (Длина образца 305 мм, сечение 12,7×12,7 мм.)

Температура закалки	Увеличение длины образца после закалки
740°	0,0457 мм
750°	0,0508 »
760°	0,0559 »
770°	0,0610 »
780°	0,0660 »

Из приведенных примеров видим, что аллотропические превращения стали, порождающие ее способность принимать закалку, сопровождаются значительными объемными изменениями. Чтобы избежать вредного влияния их, необходимо внимательное и умелое обращение со сталью при ее термообработке. Упущения и ошибки калильщика

могут повлечь за собой порчу изделий. Поэтому калильщика необходимо ставить в такие условия, чтобы он мог во-время заметить свои ошибки и исправить их раньше, чем они сыграют свою строгательную роль. А это достигается в том случае, когда термический цех при надлежащем оборудовании снабжен всеми необходимыми приборами, помогающими калильщику в его работе. Закалочные печи, баки, их расположение, должны быть удобны для работающего. Печи должны давать равномерную температуру в достаточном объеме рабочего пространства, они должны легко и точно регулироваться. В особенности важно снабдить их приборами для измерения температуры — пирометрами, так как закалка «на глаз», даже при большом опыте калильщиков, всегда дает повышенный процент брака.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ОТЖИГ И НОРМАЛИЗАЦИЯ СТАЛИ

Прокатная и отштампованная сталь в виде различного рода полуфабрикатов обычно поступает в отжиг. Отжиг, а в некоторых случаях нормализация, требуются для придания однородности как всей партии поковок, так и каждой поковке в отдельности. В кованом состоянии сталь неоднородна. В тех местах изделия, где проковка производилась в первую очередь, т. е. при более высоких температурах, намечается крупнозернистое строение стали. Части изделий, прокованные под конец операции, наоборот могут быть мелкозернисты. При ковке при низкой температуре может развиваться полосчатая структура. Кроме того неконтролируемое охлаждение послековки вызывает иногда частичную закалку изделия, препятствующую его механической обработке.

Исправление всех этих дефектов и производится отжигом.

Для отжига заготовки и поковки загружаются в специальные печи, вмещающие 20—30 т стали, снабженные пирометрами для наблюдения за изменением температуры.

Не останавливаясь пока на вопросе о конструкции печей и оборудовании отжигательных мастерских, рассмотрим подробнее, что будет происходить с металлом в процессе его отжига.

Посаженные в печь изделия постепенно нагреваются. С самого начала нагрева, при низких температурах, начинают исчезать внутренние натяжения. Как мы видели уже при 650—700° они исчезают окончательно. Если послековки изделие охладилось очень быстро и произошла его подкалка с образованием мартенсита, последний разлагается, постепенно переходя сначала в троостит, а затем в сорбит. При температуре 650—690° альфа-железо начинает растворять небольшие количества цементита. Оно быстро насыщается последним, и процесс этот мало заметен. Вместе с тем происходит умягчение железа. Тонкие пластинки цементита в перлите получают тогда возможность несколько менять свою форму и, подчиняясь силам поверхностного натяжения, начинают собираться в шарообразные зернышки. Если прекратить нагрев и охладить сталь, то под микроскопом уже не обнаружится пластинчатого перлита, так как он распадется на феррит,

сливающийся с остальной массой феррита, и мелкие зернышки цементита, так называемой зернистый перлит. Чем выше температура нагрева в указанных пределах, тем более полно происходит образование зернистого перлита. По вот температура достигла $700-710^{\circ}$. Это температура образования твердого раствора эвтектоидного состава. Зернышки цементита вместе с некоторой частью феррита образуют включения твердого раствора. Включения эти содержат 0,8% углерода. В этот момент сталь состоит из двух составляющих: сталь доэвтектоидная — из феррита и аустенита, и сталь заэвтектоидная — из цементита и аустенита. При дальнейшем повышении температуры феррит первой и цементит второй постепенно растворяются в твердом растворе, который захватывает все новые и новые области, разрастается и наконец, когда температура достигнет верхней «критической точки», то есть по диаграмме плавкости, линии GS, он захватит в идеальном случае весь объем стали. Мы говорим, в идеальном случае, так как практически часто в некоторых местах стали сохраняются включения феррита, которые продолжают существовать до 900° , когда сам феррит, без помощи углерода, переходит в гамма-строение, сливаясь с остальной массой твердого раствора. Эти ферритовые включения обычно окружают шлаковинки, всегда присутствующие в стали. Чем грязнее сталь, тем больше в ней таких, заключенных в ферритовые оторочки, шлаковинок.

Когда превращения заканчиваются, сталь приобретает однородную структуру аустенита. Но однородность эта лишь во внешнем строении аустенита. Химический состав его не однороден. Те места, где раньше был перлит, оказываются более насыщенными углеродом, а где был феррит — беднее им. При продолжительной выдержке идут процессы диффузии, постепенно выравнивающие состав твердого раствора. Чем выше температура, тем быстрее идут эти процессы, и тем равномернее распределяется углерод.

Однако затгивание выдержки влечет за собой рост зерна, что в особенности заметно при нагреве выше 950° . А увеличение размера зерна отражается на механических свойствах стали в нежелательном смысле. Поэтому слишком длительный нагрев нежелателен. Поэтому выдержку при максимальной температуре отжига необходимо прекратить в тот момент, когда весь объем металла принял надлежащую температуру, то есть поковка равномерно прогрелась, а температуру отжига выбирать наиболее низкую, какая возможна. Обычно отжиг производят при температуре градусов на 30—50 выше критической точки стали. Такая температура гарантирует при обычных условиях от чрезмерного укрупнения зерна и, если сталь достаточно чиста, обеспечивает достаточное выравнивание состава твердого раствора. Продолжительность выдержки при отжиге зависит от толщины изделия; обычно ее определяют по эмпирически установленному правилу. Общая продолжительность нагревания — 50 минут на 1 см толщины изделия при скорости нагревания 35° в час и охлаждения 25° в час. Таким образом изделие толщиной в 5 см потребует четырехчасового нагрева для отжига, а толщиной в 25 см — 20 часов. Все это время поковка должна находиться под действием пламени. По истечении этого срока обычно топку печи прекращают, замазывают все отверстия, закрывают шиберы дымовой трубы и оставляют печь остывать вместе с содержимым.

Если изделие недостаточно прогрето и выдержано при отжиге, и выравнивания твердого раствора не получилось, отжиг может дать неудовлетворительные результаты. Неоднородная сталь может сделаться еще более неоднородной. Если например тотчас же, когда перейдет в твердый раствор последнее зерно феррита, начать охлаждать сталь, не дав выравниваться твердому раствору, произойдет новое зарождение ферритовых кристалликов на прежних местах. Они будут по мере охлаждения расти, оттесняя углерод в области, более им обогащенные, и когда сталь остынет, неоднородность ее может даже увеличиться.

Так например для осколочных (бризантных) снарядов, для которых требуется сталь, разрывающаяся при взрыве снаряда на возможно большее количество осколков, можно сильно искусственно понизить вязкость стали повторным многократным отжигом до температуры лишь на 10° превышающей точку A_{c1} перехода твердого раствора. При таком отжиге нагревание рекомендуется вести возможно быстро, а охлаждение медленно. Это вызовет в окончательном результате полное обособление феррита и перлита и образование полосчатой структуры.

Но и при нормальном, правильно проведенном отжиге, иногда получается полосчатость. Это объясняется влиянием некоторых, так называемых вредных примесей: кислорода и фосфора. Кроме вредных примесей увеличивает склонность к обособлению феррита от перлита и никель.

Эти три примеси задерживают диффузию углерода, даже более того, при невысоких температурах отжига повидимому вытесняют углерод из областей, им занятых, и таким образом способствуют обособлению перлита. При высоких температурах стремление диффундировать у углерода настолько возрастает, что он, если этих примесей не слишком много, все-таки продолжает диффундировать и выравнивание твердого раствора происходит. Но при охлаждении таких сталей влияние примесей может снова сказаться. Поэтому в тех случаях, когда отжиг производят с целью уничтожить полосчатость, рекомендуется производить отжиг при высоких температурах, обычно $950-960^{\circ}$ и затем быстро охладить. Чем больше скорость охлаждения, тем лучше в этом случае отжиг. Поэтому если оборудование цеха это допускает, желательно в таких случаях производить закалку. При длительном отжиге сильно увеличивается зерно стали. Поэтому его сопровождают вторым отжигом при температуре градусов на 20 выше критической. Второй отжиг проводится обычно с небольшой выдержкой и медленным охлаждением в печи.

Нормальный отжиг сильно повышает вязкость изделий и одновременно понижает сопротивление разрыву и предел упругости. Это объясняется образованием зернистого перлита, характеризующегося по своим механическим свойствам уменьшенной зависимостью последних от количества углерода в стали.

Однако не всегда такое понижение свойств бывает выгодно. И так как образование зернистого перлита происходит при медленном охлаждении после отжига, для воспрепятствования этому явлению приходится охлаждение ускорять. Это достигается охлаждением прогретого в печи изделия в спокойном воздухе. Такой процесс носит название нормализации. При нормализации стягивания пластинок цемен-

тита, составляющих пластинчатый перлит, не происходит, и поэтому структура нормализованной стали характеризуется наличием пластинчатого перлита и следовательно более высокими механическими свойствами.

Для быстрого вынимания изделий из печи приходится применять конструкцию печей, допускающую легко проводить эту операцию. Таковыми являются печи с выдвижным подом, которые будут описаны нами в дальнейшем.

Одним из больших недостатков правильно отожженной стали является ее чрезвычайная вязкость, затрудняющая процесс резания при механической обработке.

При резке стали резец обычно частично скалывает, частично сдвигает друг относительно друга мелкие чешуйки металла. Если сталь чрезмерно вязка этого скалывания не происходит, и резцу приходится, поднимая под себя частицы металла, отрывать их от обрабатываемого предмета. Поверхность резания такой стали получается не гладкая, покрытая мельчайшими подрывами и намятая. При резке винтовой нарезки такая сталь не дает пригодной резьбы и поэтому применяться не может.

Для того, чтобы все-таки нарезку было возможно сделать, приходится повысить, или вернее, создать хрупкость стали. Если имеем дело с мягкими сортами железа, широко применяемыми для болтов и гаек, приходится вводить в сталь примеси, повышающие ее хрупкость. Такими примесями являются фосфор и сера. Американцы и пользуются ими для придания хорошей обрабатываемости болтовой стали.

Американцы применяют две марки болтовой стали, а именно:

Бессемеровская, с содержанием углерода 0,07—0,16%, марганца 0,4—0,6%, фосфора 0,09—0,13% и серы 0,075—0,12% и мартеновская, состава: углерода 0,10—0,20%, марганца 0,4—0,6%, фосфора не более 0,05% и серы 0,10—0,15%. Эти стали подвергаются холодной прокатке или протяжке и дают сопротивление разрыву 75—90 кг/мм² при небольшом удлинении и при обработке на автоматах дают возможность путем увеличения скоростей резания увеличить производительность в 2—3 раза и получить прекрасные по чистоте нарезки болты.

Углеродистые, более твердые стали обрабатываются достаточно хорошо в нормальном состоянии, и поэтому присадка в них фосфора и серы пользы не приносит, а так как понижение качества стали от этого получается значительное, его обычно не пользуются. Однако американцы иногда все-таки прибегают к присадке серы в сталь, содержащую 0,3% углерода и 1,5% марганца, применяемую ими как суррогат легированной стали в некоторых дешевых изделиях.

Если надо улучшить обрабатываемость специальных сталей, в частности хромоникелевых, то введение серы и фосфора делу не поможет, так как это слишком сильно отразится на механических свойствах этих сталей и сделает их непригодными. Выход из положения создает одна особенность большинства сталей, а именно, развитие хрупкости при нагреве до 650° и последующем медленном охлаждении.

В главе об отпуске мы подробнее ознакомимся с этой особенностью сталей и поэтому сейчас не будем подробно на ней останавливаться и коснемся ее лишь постольку, поскольку необходимо для выявления особенностей отжига при этих температурах,

Если нагреть до 650° нормально отожженную сталь, то хрупкости в ней не обнаружится. Необходимо ее предварительно закалить. Хромоникелевые стали при быстром охлаждении послековки легко самозакаляются. А закаленные стали делаются мягкими при отпуске и мягкими и хрупкими одновременно в том случае, если этот отпуск проведен при температурах не ниже $500-550^{\circ}$ и сопровождался весьма медленным охлаждением. Обычно однако отжиг для придания обрабатываемости ведут при 630° . Это создает большую мягкость и более легкую обрабатываемость. При таком отжиге также пужна выдержка, достаточная, чтобы изделие прогрелось и восприняло по всей толще одинаковую температуру. Когда изделие прогрето, его оставляют охлаждаться вместе с печью. При этом необходимо строго следить за тем, чтобы поковка ни в коем случае не нагрелась выше 680° , так как тогда в случае нагрева до 700° образуется твердый раствор, который при распаде дает зернистый перлит, что скажется на механических свойствах и на обрабатываемости.

Отжиг не повышает механического сопротивления кованой стали и поэтому применяется либо в тех случаях, когда почему-либо невозможна или экономически не оправдывается закалка изделий, либо как промежуточная операция термообработки. Так например отжиг подвергают штоки крупных молотов, дизелей, воздуходувок и т. д., где он необходим для устранения внутренних кованых натяжений.

Цели и крановые крюки изготавливаемые из мягкого железа, не принимающего закалки, подвергаются отжигу при 920° для устранения явлений наклепа, происшедшего при их работе; котельное железо (содержащее не более $0,2\%$ углерода) после прокатки, если таковая закончилась при слишком низкой температуре, отжигаются при 850° для измельчения микроструктуры и уничтожения хрупкости. Особенно часто применяется отжиг для улучшения качества изделий, изготовляемых отливкой в формы, — для фасонного литья.

Изготовление изделий помощью отливки — это весьма удобный и дешевый способ производства изделий весьма сложной формы, к которым предъявляются не слишком строгие требования прочности и веса.

Как мы видели при застывании слитка, литая сталь далеко не однородна. Этим же недостатком обладает и сталь, отлитая в сложные несчаемые формы. Неоднородность, с одной стороны, и крайне разнообразный режим охлаждения с другой, создают в изделии высокие внутренние натяжения, сильно отражающиеся на механической прочности отливки. Крупное зерно литой стали порождает и здесь слабость материалов, и для устранения этих недостатков и применяется отжиг.

Не будем подробно останавливаться на правилах конструирования литых стальных деталей. Это завело бы нас слишком далеко. Отметим лишь одно правило, применяемое для конструкции большинства таких деталей и потому могущее служить хорошим руководством конструктору. Это правило приблизительно следующее: конструктор, при конструировании стальной отливки должен копировать не чугунную отливку, где безболезненно удаются самые разнообразные переходы от толстых частей к тонким, а подобную же конструкцию приготовленную путем склеивания или сварки ее из листового или полосового железа. Это правило разумно применимое, избавит литейные мастерские от громадных затруднений, создаваемых иногда конструкторами, не считающимися с трудностями литейного дела.

Интересующихся подробнее правилами конструирования литых деталей отсылаем к специальным руководствам.

Отжиг фасонного литья ведется приблизительно так же, как и всякий отжиг, путем посадки, нагрева и, после соответствующей выдержки, охлаждения изделий, медленного или быстрого, в зависимости от химического состава отливок и тех требований, которые предъявляются к изделию.

Продолжительность выдержки при отжиге зависит от толщины изделий и от метода загрузки их в печь. Часто, желая поднять производительность печи, загружают в нее изделия, наваливая их одно на другое большой, плотной кучей. Чтобы хорошо прогреть эту кучу приходится затягивать время выдержки. Однако при хорошей конструкции печи, обычно 4—6 часов для этого бывает достаточно. По истечении этого времени, в тех случаях, когда желательна максимальная вязкость литья, печь замазывают и оставляют загрузку медленно в ней охладиться. В тех же случаях, когда механическая вязкость изделий не особенно необходима, можно загрузку вынуть из печи и дать ей охладиться на воздухе. Однако последние операции удовлетворительно удается только в печах с выдвижным подом, так как при вынимании из обыкновенной печи разогретых отливок можно вызвать их коробление, происходящее от неравномерности охлаждения и чаще от того, что разогретую отливку очень нетрудно погнуть при ее вытаскивании из печи.

Чем тоньше стенки отливки, чем мягче примененная для ее изготовления сталь, тем мелкозернистее структура ее до отжига. Поэтому тонкостенные отливки могут быть отожжены при более низких температурах, а именно при температурах достаточных для уничтожения внутренних натяжений. Таковой обычно является 700°. В некоторых случаях и этот отжиг оказывается излишним; это бывает в тех случаях, когда изделия имеют столь простую форму, что ожидать возникновения в них внутренних натяжений не приходится (например гаечные ключи, наковальни с паварной рабочей поверхностью и т. д.). Тогда отжиг оказывается беспредельным и даже иногда вредным, так как, сильно повышая вязкость изделий, он понижает их механическое сопротивление. У Обергоффера имеется следующее правило, дающее руководящие указания, когда следует применять отжиг для изделий простой формы и когда не следует. Он дает таблицу, связывающую минимальную толщину стенки изделий, требующих отжига, с содержанием в стали углерода.

Его данные следующие:

Содержание углерода	Минимальная толщина стенки
Процент	в миллиметрах
0,0	9
0,1	11
0,2	13,5
0,3	18,5
0,4	27
0,5	39

Однако следует заметить, что применение этой таблицы на практике оправдывается не всегда, и поэтому необходимо опытом убеждаться, можно ли в каждом данном случае избежать отжига.

Микроструктура литой стали характеризуется наличием своеобразной крупнозернистой структуры, отличающейся расположением в виде треугольников вытянутых кристаллов феррита. Это так называемая видманштеттова структура. При нагревании выше критических точек происходит образование аустенита, который при последующем медленном охлаждении распадается на феррит и перлит, и последний, если охлаждение очень медленное (например со скоростью около 25° в час), — на феррит и округленные зернышки цементита (зернистый перлит).

На микрофотографии рис. 43 приведена видманштеттова структура неотожженного фасонного литья. На рис. 44 — перлитно-ферритовая структура нормализованного металла, а на рис. 45 — структура металла, отожженного до максимальной вязкости.

Отжиг при хорошем оборудовании мастерской — операция простая, и легко выполняемая, и при достаточно внимательной работе он не должен давать бра-

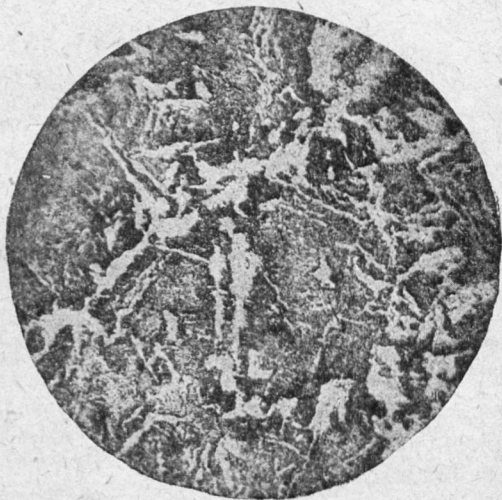


Рис. 43. Микроструктура литой стали до отжига. Увел. в 100 раз.

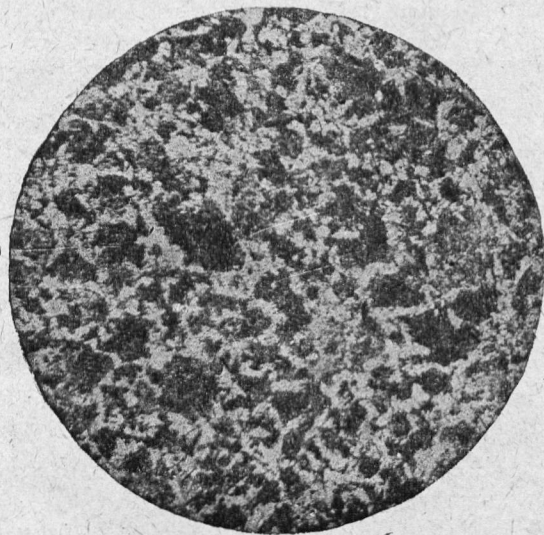


Рис. 44. Микроструктура нормализованной стали с 0,4% углерода. Увел. в 100 раз.

ка. Если же при его проведении не были соблюдены минимальные требования, выполнение которых необходимо, все же может случиться, что он не только не сообщит нужных качеств стали, но, наоборот, может сильно ухудшить их.

Вот некоторые наиболее часто встречающиеся ошибки отжига.

При отжиге наклепанного мягкого железа при температурах ниже 700° , а это случается иногда в плохо работающих печах, или когда изделия (например цепи) загружены в печь слишком плотно и не были достаточно прогреты, наблюдается сильный рост

кристаллов феррита. Это вызывает хрупкость изделий. Несколько более

высокая температура отжига не менее вредна, если она ниже температуры полного перехода всего объема стали в состояние аустенита. При таком отжиге аустенит образуется лишь в местах занятых, пер-

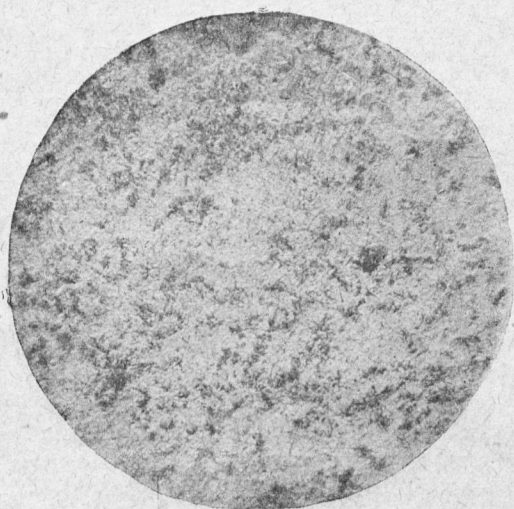


Рис. 45. Микроструктура полностью отожженной стали с 0,4% углерода. Увел. в 750 раз.

Инструментальные углеродистые стали не так боятся недогрева при отжиге, но зато они чувствительны к скорости нагревания. Если например бросить на разогретый под печи тонкий прутки углеродистой стали с 1% углерода, то он легко может треснуть вдоль. Трещина получается глубокая, почти достигающая в глубину центра сечения прутка. Этим она отличается от неглубоких трещинок-закатов, происходящих по вине прокатки. Появление трещин при неаккуратной загрузке и быстром нагреве имеет место и в других, главным образом легированных сталях.

Длительное выдерживание при недостаточно высоких температурах высокоуглеродистой инструментальной стали может вызвать появление своеобразного явления, так называемого черн о л о м а. Характеризуется оно появлением черных пятен на све-

литом. Эти области поглощают некоторое количество близлежащего феррита, соединяются друг с другом и при медленном охлаждении легко дают перлитовую сетку, охватывающую быстрорастущие при этих температурах зерна феррита. При очень медленном охлаждении может образоваться вместо перлита сетка структурно свободного цемента. Такая сталь, несмотря на малое содержание углерода, оказывается хрупкой (рис. 46).

Более твердые стали тоже боятся недогрева при отжиге, так как склонны давать полосчатую структуру, о которой говорилось выше.

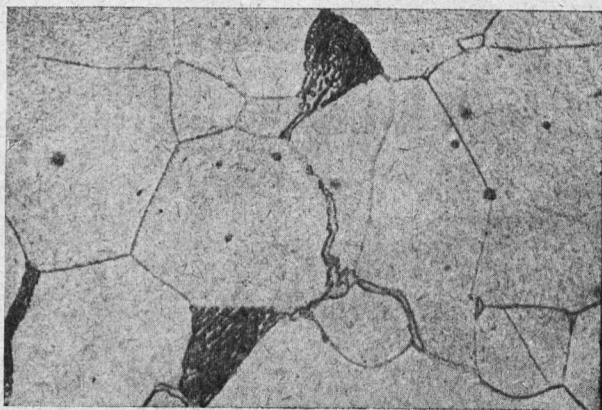
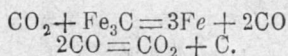


Рис. 46. Структурно свободный цемент в мягком железе, получившийся при неправильном отжиге его (Ганнеман и Шредер). Увел. в 200 раз.

жем изломе стали. Вид такого излома дан на рис. 47. На рис. 48 приведена микроструктура этой стали. Микрофотография эта объясняет причину появления чернолома. На ней черные включения. Это графит, выделившийся при длительном нагреве при отжиге.

Причина появления чернолома в точности еще не выяснена. Повидимому графит выделяется в результате реагирования газов, всегда заключающихся в стали или диффундирующих от ее поверхности в толщу металла.

Среди этих газов наибольшее значение имеет окись углерода, реагирующая с цементитом согласно следующим двум реакциям:



В результате этих двух реакций состав газовой фазы изменяется, и следовательно углекислота является катализатором, содействующим распадению нестойкого цементита.

Сталь, обладающая черноломом, не годится для инструмента, так как не принимает полной закалки. Но она может быть до некоторой степени исправлена отжигом при 950° и выше с последующим достаточно быстрым охлаждением.

При нагреве при отжиге наблюдается образование крупнозернистой, иногда видманштетовой структуры. На рис. 49 приведена структура перегретой при отжиге крупной орудийной поковки. Сравнивая ее с рис. 45, мы замечаем, что распределение цементитных зернышек в первой ориентировано по определенным направлениям, тогда как во второй они рассыпаны равномерно по всему шлифу. Это следы видманштетовой структуры, разрушенной медленным охлаждением.

Перегрев чаще наблюдается местный, происходящий при плохой работе печи в тех местах изделия, которых коснулось острое пламя

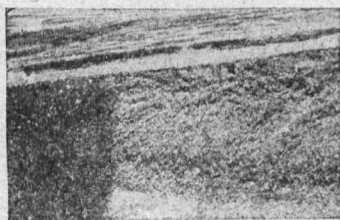


Рис. 47. Излом стали с черноломом.

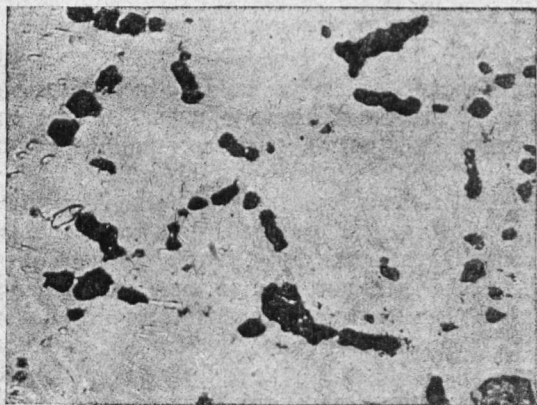


Рис. 48. Графитовые включения в стали с 1,1% С, обладающей черноломом. Увел. в 500 раз.

печи. Он часто сопровождается образованием толстого слоя окалины, а иногда и пережога. Иногда толстый слой окалины и связанное с ним поверхностное обезуглероживание наблюдается и при нормальных температурах отжига при окислительной атмосфере в печи. Поверхностное обезуглероживание особенно неприятно при отжиге деталей, подвергнутых цементации, так как сводит на-нет эту последнюю. Для воспрепятствования появлению поверхностного обезуглеро-

живания иногда, изделия помещают в горшки, ящики и т. д., засыпан-

ные углем или песком, или ведут отжиг в муфелях, полностью заполненных материалом. Ниже мы познакомимся с подобными печами.

Операция отжига, имеющая целью устранить напряжения, выровнять и исправить структуру, сильно искаженную при ковке, или смяг-

чить, измельчить грубую структуру литья, ведется при умеренном томильном жаре, медленно поднимаемом до не слишком высоких температур, длительном выдерживании и небыстром охлаждении. Эта операция как бы успокаивает металл после могучих воздействий на него жаром и механической силой, приводит его в равновесное состояние, умягчая его, ослабляя сопротивление резанию и делая его податливым при воздействии изгибающих, сжимающих и других усилий. Понижая механические свойства стали, отжиг все же способствует лучшему проявлению их



Рис. 49. Перегретая при отжиге сталь крупной поковки. Увел. в 750 раз

при закалке, и поэтому почти всегда, прежде чем закалить сталь, ее отжигают, давая ей, как бы успокоиться перед суровой операцией калки.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ОБОРУДОВАНИЕ ОТЖИГАТЕЛЬНЫХ МАСТЕРСКИХ

Простейшей отжигательной печью является печь с неподвижным подом. На рис. 50 изображена такая отжигательная печь. Рассмотрим ее конструкцию. Буквой *a* обозначено место расположения форсунки под подом печи.

Горение нефти происходит в узком канале *b*. Обычно процесс горения в печах ведут при минимальном расходе воздуха с целью получить по возможности нейтральную атмосферу. Тогда процесс сгорания затягивается, и часть нефти коксуется и в виде мельчайших пылинкок кокса увлекается горячими газами в рабочее пространство печи, заполняя его целиком. Если печь хорошо разогрета, пылинки кокса медленно тлеют, поддерживая равномерную температуру рабочего пространства. Горячие газы коснувшись холодных отжигаемых изделий, охлаждаются в свою очередь, при этом делается тяжелее. Они скапливаются у пода печи, где сделаны для них хода *в* в дымовой боров *г*. Эти хода равномерно распределены по боковой стенке у самого пода печи, что обеспечивает быстрое их удаление,

Работа этой печи ведется следующим образом. Если печь после предыдущего отжига остыла ниже 300° , производится посадка туда изделий. Не следует укладывать их плотной кучей. Лучше загрузить меньше, но не рисковать неравномерным прогревом плотной, плохо прогреваемой загрузки. Количество помещающихся изделий зависит от площади пода печи и от формы изделий. Обычно в печь помещают на 1 м^2 пода до 200—300 кг изделий. Когда изделия загружены в печь, закрывают садовые окна, вставляют в отверстия δ пирометры и разжигают форсунку. Для разжигания обычно пользуются куском пакли, смоченным в нефти или керосине. Его помещают перед форсункой в подподовом канале и зажигают. Пускают очень слабое дутье и слегка приоткрывают вентиль, регулирующий подачу нефти. Тонко распыленная дутьем нефть, касаясь пламени, воспламеняется. По мере разогревания подподового канала δ увеличивают количество поступающей нефти и дутья, регулируя их взаимное количество таким образом, чтобы получилось слабо коптящее пламя. Пламя прорывается в рабочее пространство печи и обогревает его. Постепенно увеличивая приток горючего и воздуха, заполняют пламенем весь объем печи. Когда стенки печи разогреются, производят точную регулировку форсунки. Наиболее экономичное горение достигается тогда, когда весь объем печи заполнен пламенем. Необходимо при этом отрегулировать пламя так, чтобы задняя стенка печи была видна и вместе с тем не было бы у пламенного пролета яркого языка пламени. Такой характер горения пламени соответствует минимальному расходу воздуха, необходимому для сжигания нефти, так называемому теоретическому расходу воздуха, наиболее экономичному. Поддерживая такое горение, увеличивая и уменьшая поступление нефти и воздуха и следя за показаниями пирометра, постепенно доводят температуру печи до нужной высоты, после чего производят выдержку. Продолжительность выдержки, как говорилось выше, зависит от размера изделий. Во всяком случае она не должна быть меньше 1 часа. Лишь в тех случаях, когда есть основание остерегаться поверхностного обезуглероживания, можно ее сократить, но при условии нетесной загрузки изделий.

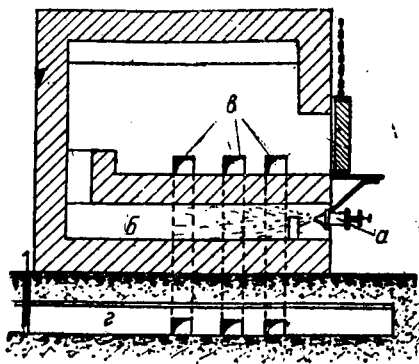


Рис. 50. Простая отжигательная печь.

Необходимо следить за температурой изделий, она узнается по цвету каления. Если изделия еще не прогрелись, они темнее кирпичной кладки печи. Это указывает, что необходимо продолжать нагрев. Момент достаточного прогрева загрузки имеет место тогда, когда цвет каления стенок печи, пирометрической трубки и загруженных в печь изделий одинаковый. Тогда бывает трудно различить их контуры. Поэтому, наблюдая за нагревом печи, никогда не следует прекращать топку печи, даже по истечении назначенного времени выдержки, если изделия все еще резко выделяются в виде темных силуэтов на более светлом фоне раскаленной кирпичной кладки. Когда наконец цвет

каления нагреваемых предметов сравнися, температура, показываемая пирометром, соответствует заданной, и произведена нужная выдержка, выключают форсунку, закрывают шиберы и замазывают глиной дверцы печи и все отверстия, через которые может быть засосан холодный атмосферный воздух. Печь оставляют остывать.

За характером остывания ее рекомендуется также следить. Для этого лучше всего пользоваться саморегистрирующими прирômetros. Ниже они будут описаны. Остывание печи должно идти до падения температуры до 300—400°. При этих температурах уже можно производить разгрузку и новую загрузку.

Если отжигаются хромоникелевые или быстрорежущие стали, желательно разгружать печь при еще более низкой температуре, так как у этих сталей отставание превращений даже при медленном охлаждении может быть значительным.

Выпущенные из печи изделия обычно при правильно проведенном отжиге покрыты тонким слоем окалины, цвет которой серовато-коричневый или серый. Он должен быть одинаковым у всех изделий, что указывает на равномерность нагрева; если же некоторые изделия, лежавшие при отжиге на поду и заваленные другими изделиями отличаются по своему внешнему виду от изделий лежавших выше, можно предполагать наличие недостаточного прогрева, а следовательно недостаточного их отжига. В таких случаях лучше их снова отжечь, приняв во внимание это наблюдение, чтобы в дальнейшем, загружая новую завалку, не повторить прежней ошибки.

Описанная печь пригодна для отжига мелких деталей в небольших количествах. При отжиге больших количеств изделий размеры печи приходится увеличивать. Тогда бывает удобно устанавливать печь та-

ким образом, чтобы под ее приходился на уровне заводского пола. Тогда делаются у печи большие дверцы, и в нее при достаточной высоте от пода до свода может войти рабочий, производящий ее загрузку, и ввести ручную тележку с изделиями. Это облегчает работу отжигальщиков.

Однако такие печи непригодны для отжига крупных изделий так, как загрузка их слишком трудна. Непригодны они и для производства нормализации, поэтому они применяются только для отжига больших количеств однородных не тяжелых изделий. Крупные детали отжигаются в печах с

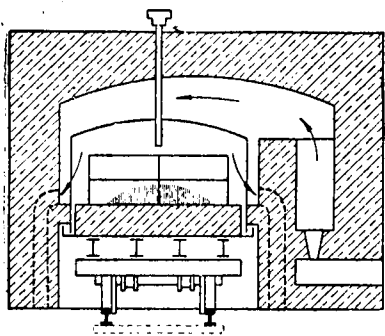


Рис. 51. Печь с выдвижным подом.

выдвижными подами. Печи с выдвижными подами чрезвычайно удобны и поэтому широко применяются в отжигательных мастерских. Конструкции их разнообразны. На рис. 51 изображена одна из таких печей с подиной, установленной на двухосной тележке. Иногда тележку заменяют полозьями, положенными на шары. Шары, обычно литые чугунные или лучше из чугуна с закаленной поверхностью. Иногда их делают и стальными. Шары укладываются в жолоба и на них кладется выдвижной под. Такая установка отличается своей грузоподъемностью, но требует большего расхода энергии для передвижения. По-

Этому применяется она для печей, предназначенных для отжига крупных тяжелых изделий. Приведенный на рис. 51 чертеж дает представление о конструкции печей обычной емкости 20—30 т.

Не будем останавливаться на рассмотрении устройства ее подробно. Оно достаточно просто, чтобы понять его из чертежа. Рассмотрим метод работы.

Для загрузки печи выдвигается посредством ручной или электрической лебедки подина. На нее укладываются изделия. Тяжелые изделия укладываются с помощью мостового крана, более легкие вручную или помощью легких лебедок,двигающихся по двутавровым балкам, прикрепленным к стропилам здания. Аккуратно уложенных изделий или неплотно заваленной мелочи (фасонное литье и т. п.) помещается обычно 180—250 кг на квадратный метр подины. Более крупных изделий простой формы можно вместить больше, но превышать плотность загрузки мелочью (весом примерно до 10 кг штука) не рекомендуется. Часто подину вагона делают не гладкой, а снабжают ее выступами, идущими поперек вагона. На эти выступы и укладывают изделия, следя за тем, чтобы мелочь не провалилась между ними и не загородила подовые каналы, так как подовые каналы необходимы для лучшего удаления остывших газов и следовательно способствуют лучшему прогреванию садки. Загруженный вагон вводят в печь. На его заднем конце устроена стенка, плотно закрывающая отверстие, в которое вводится вагон. Щель между этой стенкой и стенкой печи замазывают глиной.

По введении вагона в печь разжигают топку и производят отжиг, как выше было описано.

Нормализацию производят, выдвигая вагон после прогрева изделий при назначенной температуре. Для увеличения производительности печей для нормализации устраивают двойной вагон, а печь делают с двумя окнами для вагона на противоположных стенках, перенося топку к боковой стенке. Такая печь может быть разогрета все время и работать непрерывно, а следовательно ее можно снабдить рекуператором, использующим тепло отходящих газов,—это ее достоинство. Недостаток тот, что для печей больших емкостей приходится делать очень большой вагон, получающийся конструктивно и очень тяжелым и неподвижным. Поэтому печи с одинарным вагоном применяются чаще для тонажа печи превышающего 10 т, а печи с двойным вагоном обычно бывают меньших размеров и сомнительно, чтобы можно было успешно построить их вместимостью, превышающей 15—20 т.

Печи с вагоном вместимостью меньше 2 т строить невыгодно. Поэтому для производства отжига столь мелких садок применяют обычно малые печи с неподвижным подом. Но для облегчения работы пользуются для загрузки и разгрузки их специальными садочными машинами. На рис. 52 изображена такая машина.

Как видно из рисунка, изделия погружаются на листы котельного железа, положенные на садочную машину. Нагруженные листы вводятся в печь при помощи машины и остаются там во все время нагрева. По окончании отжига лист с изделиями выдвигают помощью той же машины и перевозят к месту разгрузки. Одна такая садочная машина обслуживает сразу несколько печей.

При нормализации больших количеств одноименных изделий в со-

временных заводах массовой продукции применяют конвейерные печи или печи с толкателем.

Первые снабжены конвейером,двигающимся вдоль печи. На конвейер укладываются изделия одно за другим и при медленном движении кон-

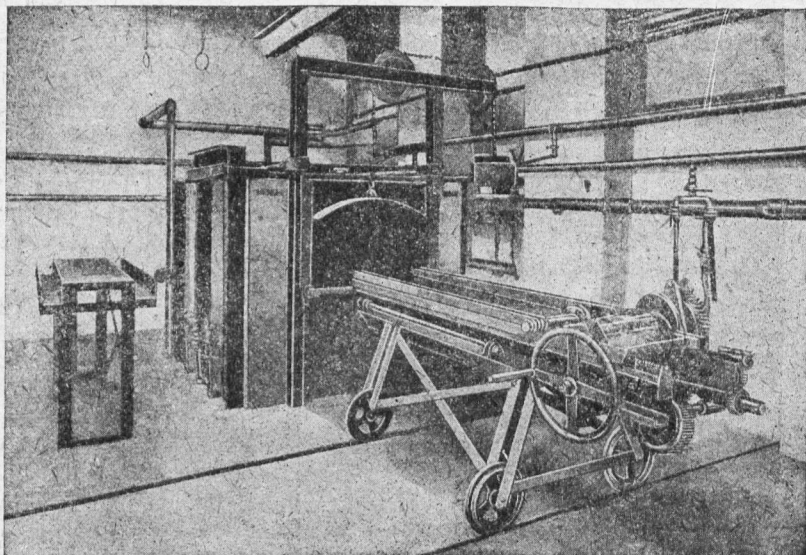


Рис. 52. Садочная машина для отжигательных печей.

веера сквозь печь они постепенно подогреваются. Скорость их движения подобрана таким образом, чтобы за время пребывания в печи изделие успело достаточно прогреться при нужной температуре и вышло у противоположного конца печи хорошо термически обработанным. Отапливаются такие печи газом, чаще нефтью или в новейших конструкциях нагреваются электрическим током. Так как конвейерные печи для нормализации сходны по своей конструкции с автоматическими закалочными печами, мы рассмотрим их в главе о закалочных печах.

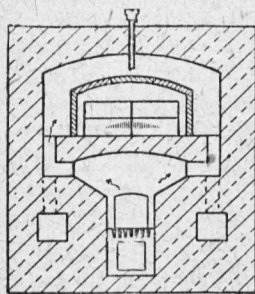


Рис. 53. Муфельная отжигательная печь

в муфелях, горшках, колодах и т. д. Отжиг в муфелях ведется в специальных муфельных печах. Пример такой установки изображен на рис. 53.

Эта печь отличается от обычной отжигательной печи с неподвижной подиной тем, что рабочее пространство печи выделено из остального ее объема непроницаемым для печных газов муфелем. Муфели делают кирпичные, чугунные и стальные. Наиболее стойки кирпичные, но ввиду малой теплопроводности кирпича они менее экономичны, чем чугунные

и стальные. Стальные муфели дороги, но стоят дольше чугунных; это окупает перерасход при их установке, и поэтому, если имеется возможность приобрести стальные муфеля, их всегда рекомендуется предпочитать чугунным.

Кирпичные муфели, сложенные из шамота, выдерживают температуру до $1100-1200^{\circ}$, стальные и чугунные — не более 900° . Малая стойкость стали при высоких температурах отчасти объясняется тем, что примерно при 950° окалина, образующаяся на поверхности муфеля, легко дает с кремниескислотой печи легкоплавкий шлак. Шлак стекает с муфеля, обнажая свежую поверхность стали, и засоряет дымоходы печи. Для повышения стойкости металлических муфелей делают их иногда из хромоникелевых жароупорных сплавов, из железа с присадкой хрома, алюминия, никеля и т. д. Но все эти сплавы дороги, что сильно понижает выгодность их применения.

Муфельная печь дает возможность медленно поднять, хорошо прогреть и медленно опустить температуру изделий при отжиге. Наоборот, ускоренные изменения температуры в ней затруднительны. Эту особенность ее необходимо всегда учитывать и применять муфельную печь лишь в тех случаях, когда технологический процесс требует медленного нагрева и охлаждения.

Другой особенностью муфельной печи является то, что при правильной загрузке муфеля удается избежать поверхностного обезуглероживания изделий. Однако при неплотной загрузке муфеля, когда он заполнен изделиями неполностью, и следовательно в нем имеется большое количество воздуха, окисление может произойти и в муфеле. То же происходит с открытыми муфелями, так как в них автоматически создается циркуляция воздуха: внизу на подине муфеля засасывание свежего холодного воздуха и вверху вытекание струек нагретого в муфеле воздуха. Эта циркуляция воздуха чрезвычайно невыгодна: она вызывает неравенство температур вдоль муфеля и окисление отжигаемых изделий и таким образом сводит на-нет всю выгоду применения муфельной печи.

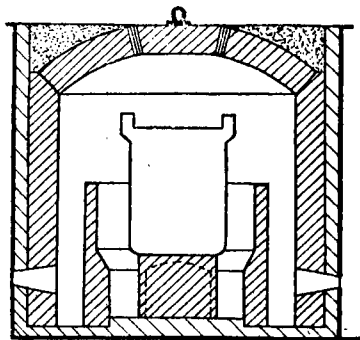


Рис. 54. Колодезная печь для отжига в горшках.

Необходимость плотной изоляции муфеля делает выгодным для отжига мелких изделий, как например напильники, проволока, трансформаторное железо, применение, вместо муфелей, горшков. Укладывание таких изделий в горшки удобно, так как горшки вынимаются из печи и могут быть переданы краном в соответствующее помещение для загрузки. Затем они доставляются к печи и вводятся в нее. Наиболее удобными для отжига в горшках или ящиках являются колодезные печи. Примером такой печи может служить установка, изображенная на рис. 54.

При требуемой большой производительности печи можно применять и методические коридорные печи. Такие печи снабжаются толкателем, проталкивающим горшки (вернее ящики) вдоль печи по рельсам, уложенным на подине. Если количество металла очень велико, подина печи делается подвижной, на вагонах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЕЧАХ. ПИРОМЕТРЫ

Лет тридцать-пятьдесят тому назад определяли температуру нагрева изделий на-глаз. Это требовало громадной опытности для рабочих, производивших эти определения, и даже при наличии такого опыта точности не достигалось, так как температуры распознавались по слабым оттенкам цвета каления изделий. Уловить эти оттенки можно было только в темном помещении. Отсюда выработалась традиция строить термические цеха почти без окон, темные, таинственные. Калильщики, определявшие температуру, перед работой должны были приучить глаза к темноте, не могли выходить наружу из своих цехов, так как глазу, привыкшему к дневному свету, цвет каления казался темнее и следовательно температура ниже. Калильщики, эти жрецы термических цехов прошлого столетия, прячась от дневного света, гордые своим опытом, приписывали себе странные свойства и знания, умение сообщить пужные свойства закаливаемой стали, мнили себя чудодеями, одаренными особыми свойствами, и за это требовали больших денег.

Ученые в тиши лаборатории, изучив сталь, разгадали секреты стариков-калильщиков и установили громадное влияние фактора — температуры на результаты термообработки стали, и перед техниками встал вопрос научиться измерять эти температуры во время хода процесса, чтобы регулировать их, управлять ими.

Потребовалось создать прибор, пригодный для этого. В этой области было проявлено большое изобретательство. Сименс, учтя пропорциональность между температурой куска металла и количеством заключенного в нем тепла, построил удобный для цеха калориметр, дававший возможность измерить температуру, определив количество тепла, поглощенного эталоном, медным, железным или никелевым, специально для этого посаженным на несколько минут в печь. Затем появились сэнтанели — глиняные шарики, внутри которых помещался пистон, разрывавшийся через несколько минут после того, как глиняная их оболочка успела достаточно прогреться. Чем выше температура в печи, тем скорее прогревалась изолирующая их оболочка, т. е. тем меньше времени требовалось для их прогрева. И измеряя это время, можно было определять температуру. Зегер предложил пирамидки, узкие, трехгранные, из материала с точно определенной температурой плавления. Вводя серию таких конусов Зегера в печь и наблюдая порядок их плавления, можно было с некоторой степенью точности определять температуру печи. Это последнее изобретение было несколько более удачно, чем предыдущее, и в тех случаях, когда температура слишком высока или надо фиксировать максимальную температуру нагрева, оно применяется до сих пор. Появилось еще много различных изобретений более или менее остроумных, но последнее слово, окончательно разрешившее проблему, было сказано французским ученым Ле-Шателье, сумевшим воспользоваться замечательным явлением появления электротока в спаяе проволок из двух разных металлов при нагреве спая. Электродвижущая сила возникающего тока приблизительно пропорциональна разности температур концов этих проволок. Созданный им пирометр сделал возможным производство термообработки более точно, более совершенно и более

экономно. Открытие пирометра Ле-Шателье создало новую эру в деле термообработки стали, и имя его войдет в историю промышленности.

Как устроен и работает пирометр Ле-Шателье? Войдя в хорошо оборудованный термический цех, мы увидим ряд гальванометров, установленных в удобной, отдельной от цеха будке. Некоторые из них самопишущие, и на ленте бумаги, свешивающейся от них, мы сможем увидеть весь режим нагревания и охлаждения печей. Гальванометры снабжены шкалами температур, и включая контакты, мы сможем сразу узнать, не глядя на печь и не оповещая о том рабочих печи, какая там температура. Если проследим провода, тянущиеся от гальванометров, то на конце их увидим длинные метровые или полутораметровые жезлы, прямые или изогнутые под углом, одним своим концом введенные в рабочее пространство печи через специальные отверстия, другим концом, снабженным клеммами, соединенные с проводами. Это и есть так называемые термопары Ле-Шателье.

Термопары устроены следующим образом. В наружном трубчатом кожухе, обычно стальном, или лучше изготовленном из какого-нибудь жароупорного сплава (нихром, силхром, нержавеющая сталь и т. п.), помещается закрытая с одного конца толстая фарфоровая трубка. В фарфоровую трубку введены две спаянные с одного конца проволоочки, из коих одна изолирована от другой при помощи надежной на нее тонкой фарфоровой трубки диаметром 5 мм. Иногда эта тонкая трубка имеет два отверстия (двухканаловая трубка), и тогда обе проволоочки введены сквозь нее. Наружная трубка и внутренние фарфоровые одинаковой длины, так что не спаянные концы проволок высовываются из них. Они введены в прикрепленные к наружной металлической трубке клеммы и через них связаны с проводами гальванометра (рис. 55).

Проволоки, применяемые для термопар, обычно одна платиновая, другая из сплава платины и 10% родия или платины и 10% иридия. Платина не окисляется в атмосфере раскаленного воздуха, и поэтому, если наружная толстая фарфоровая трубка цела, платиновая термопара дает очень точные и неизменяющиеся от времени показания.

Следует всегда помнить, что термопара указывает не абсолютную температуру печи, а разность температур нагретого спаия, находящегося в печи, и холодных наружных концов. Поэтому если термопара коротка, головка, с ее клеммами может нагреться, и тогда показания пирометра будут ошибочными. А потому необходимо следить за температурой головки и не допускать ее нагрева. Лучше всего для этого поместить головку в кожух, охлаждаемый водопроводной водой. Если почему-либо этого нельзя сделать, рекомендуется помещать термопару таким образом, чтобы она высовывалась из печи по крайней мере на полметра.

На рис. 56 показана схема расположения термопар в печах и их соединение с самопишущим гальванометром.

Платиновые проволоки термопар обычно имеют толщину 0,6 мм. Более тонкие проволоки слабы, более толстые дороги. Но при толщине проволок 0,6 мм они легко рвутся, поэтому необходимо весьма береж-

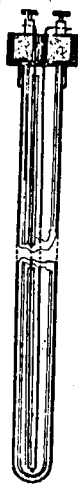


Рис. 55.
Термопара
Ле-Шателье.

ное обращение с термопарой. Ее необходимо всегда хорошо укреплять и не доверять устанавливанию ее низкоквалифицированным рабочим. Устанавливать ее предпочтительнее в вертикальном положении, так как при долгом нагреве фарфоровые трубки постепенногибаются, что ведет в конце концов к разрыву проволочек.

Так как более толстые проволоки дороги, уже давно ощущалась необходимость заменить дорого стоящую платину другим металлом. В 1918—1920 гг., когда главнейший поставщик платины, Советский союз, был отрезан от остального мира кольцом блокады, и добыча платины не велась, эти поиски заместителей платины в Западной Европе и Америке были и усилены, в результате удалось подобрать сплавы никеля, хрома и алюминия, дающие также электродвижущие силы термоэлектричества, как и вышеупомянутые платиновые сплавы, противостоящие окислению и даже лучше платины в том отношении, что не боятся действия окиси углерода и значительно более дешевые.

Наиболее употребительными сплавами для термопар являются для одной проволоки весьма чистый хромоникелевый сплав с 15% хрома, для другой — чистый никель с 2% алюминия. Эти термопары годны для температур до 1100° , тогда как платиновые можно применять

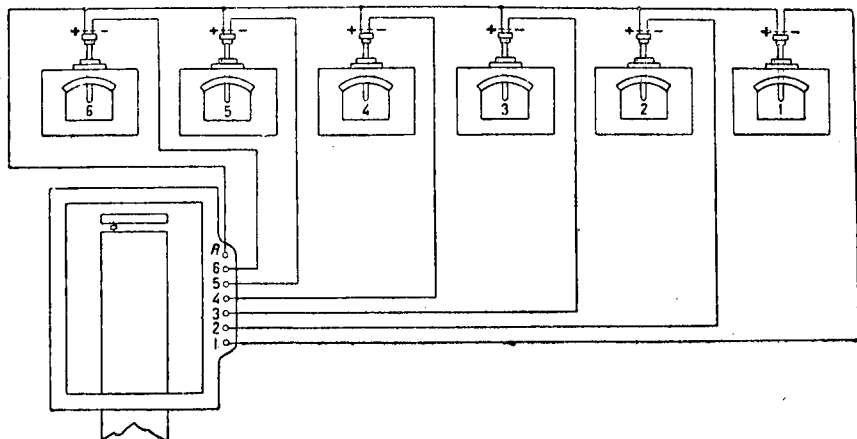


Рис. 56. Схема расположения термопар в печах и их присоединения к самопишущему гальванометру.

даже до температур $1500—1600^{\circ}$. Но в обычной практике термических цехов температура, превышающая 1000° , редка, и поэтому никельхромовые термопары быстро завоевали себе место в промышленности.

Гальванометры для определения электродвижущей силы тока, возникающего в термопаре, употребляются обычно с постоянным магнитом и рамкой, помещенной между полюсами магнита, соединенной с кабелем термопары, могущей легко вращаться на осях и удерживаемой спиральной пружинкой. Эти гальванометры (системы Де пре-Д'Арсенваля) выпускаются в большом количестве разными фирмами с теми или иными усовершенствованиями. Подробнее о них можно узнать в специальных руководствах.

Открытие Ле-Шателье быстро было использовано термическими цехами, и его термопара стала необходимой принадлежностью

всякой закалочной. К сожалению обычные технические термометры удалось приспособить только для температур не превышающих 1200° . Однако в заводской практике часто встречается надобность измерить еще более высокие температуры. Необходимо было создать такой прибор, который подобно глазу, но более точно, мог оценить температуру печи, не касаясь ее. Это требование подсказало исследователям обратиться к оптическим явлениям, сопровождающим нагрев стали.

Нам хорошо известно свечение раскаленного тела тем более яркое, чем выше его температура. Яркость такого излучения можно измерить и, пользуясь известными законами физики, определить по яркости свечения и температуру раскаленного тела. Вот эта идея и легла в основу так называемых оптических пирометров.

Итак для определения высоких температур, таких температур, когда трудно бывает защитить термометру кожухами, которые обгорают, плавятся, когда плавится и сама термометра, у нас имеется еще один весьма совершенный прибор: оптический пирометр.

Существует много различных конструкций таких пирометров. Простейший по идее — это пирометр Хольборна-Курльбаума. Принцип устройства его следующий. Если на фоне раскаленного предмета поместить волосок электрической лампочки и рассматривать ее в оптическую трубу, постепенно увеличивая силу тока, проходящего через лампочку, и тем самым повышая температуру волоска, мы увидим следующее явление: сперва, когда волосок холоден, он будет выделяться в виде черной нити на фоне разогретого предмета, нагреваясь он начнет светиться сперва красным светом, а затем желтым и белым, и разница его яркости и яркости изучаемого предмета будет уменьшаться. Когда яркость каления волоска совпадет с яркостью каления предмета, волосок делается невидимым. Если теперь еще увеличить его накал, то он вновь выделится на фоне раскаленного предмета, но уж не в виде черной, а в виде более яркой нити. Момент, когда яркость каления волоска совпадает с яркостью каления предмета, улавливается довольно точно, и поэтому, если соответствующим образом отградуировать прибор, можно пользоваться им для измерения температуры. Этот пирометр в различных своих видоизменениях выпускается рядом фирм и путем многолетнего своего развития достиг высокого совершенства. Однако конструкция этого пирометра в силу необходимости довольно сложна. Электрическая лампочка требует источника тока, аккумулятора, который приходится постоянно носить с собой. Это утяжеляет прибор и делает его менее портативным. Другой более важный недостаток его — это то, что при его пользовании не исключается фактор субъективности. То есть при измерении одной и той же температуры разными лицами или одним и тем же лицом в светлом и темном помещении не всегда получаются одинаковые результаты. В этом отношении он, совершенствуясь старый способ измерения температуры на-глаз, все-таки не исключает главную причину ошибок глаза, его неспособность достаточно отчетливо различать мало различающиеся цвета каления тел.

Мы не описываем здесь других подобных приборов (среди которых видную роль играет полутеневой оптический пирометр Ванныера), так как они при высоких температурах дают меньшую точность показаний, чем пирометры с нитью накала, подобные вышеописанному. Применение же их при температурах ниже 1000° только в редких случаях может быть предпочтено перед термометром.

Поэтому вскоре вслед за изобретением пирометров чисто оптических появились приборы, созданные по принципу измерения тепловой энергии лучей. Первый и пожалуй наиболее точный, но вместе с тем и наиболее капризный такой пирометр был создан фирмой Ферри. Он состоит из небольшой телескопической трубки с вогнутым металлическим зеркалом, в фокусе которого помещается термонара. Направляя прибор помощью визирной трубки на нагретый предмет, мы вызываем нагревание шарика термонары лучами, отраженными от зеркала и собранными им в одну точку. Термонара связана с чувствительным гальванометром, и по отклонению стрелки последнего, определяя электродвижущую силу тока, возникшего в термонаре, мы можем после соответствующей градуировки определить температуру исследуемого предмета. Наличие очень нежного гальванометра делает этот прибор не всегда удобным в цехах, и в тех случаях, когда он все-таки применяется, на установку его необходимо обратить серьезнейшее внимание. Поэтому дальнейшее развитие оптической пирометрии шло по пути освобождения этого прибора от нежного гальванометра. Весьма удовлетворительно была разрешена задача применением вместо термонары тоненькой спиральной пружинки, приготовленной из так называемого «биметалла».

Под термином «биметалл» в данном случае подразумевается тоненькая полоска, состоящая из двух наложенных друг на друга и сваренных металлических полосочек, состоящих из металлов с разным коэффициентом расширения. Нагревая такую спиральную пружинку, мы вызываем различное термическое расширение полосок, сопровождающееся скручиванием или раскручиванием пружинки. Прикрепив к такой пружинке стрелку, мы сможем построить пирометр. Такой прибор портативен и, правда, при меньшей точности измерения, должен быть признан необходимым в каждом цехе, имеющем дело с измерением температур. К числу таких приборов относится пирометр К. S. — фирмы Кейзер-Шмидт. Не менее удобны подобные же приборы Широ и Ардометр, снабженные, правда, термонарами, но более мощными, чем пирометр Ферри и значительно более прочными гальванометрами, и следовательно более удобными в цеховой обстановке, несмотря на то, что все-таки они дают менее точные показания.

Существует большое количество разных систем оптических пирометров, и несмотря на это, постоянно появляются все новые и новые конструкции. Поэтому мы не останавливаемся на более подробном описании их, которое можно найти в соответствующих проспектах, и перейдем к вопросу о ценности тех данных, которые получаем от оптического пирометра. Ознакомившись с ними, мы сможем установить правила обращения с пирометрами и гарантируем себя от неприятных ошибок.

Прежде всего рассмотрим особенности лучеиспускания, имеющего место в печах и в других цеховых устройствах. Не будем останавливаться на общих законах лучеиспускания, на зависимости энергии лучей от температуры и т. д. Все это интересующийся найдет в курсах физики.

Предполагая, что законы эти нам более или менее известны, рассмотрим конкретные факты. Предположим, что нам надо измерить температуру закрытой со всех сторон, равномерно нагретой печи. Измерение ведем через маленькое отверстие в гляделке печи. Напра-

вим пирометр через гяделку на лежащую в печи поковку, которая нагрета и следовательно излучает во все стороны световые и тепловые лучи. Лучи попадают на стенку и поглощаются ею. И, с другой стороны, нагретые стенки, излучая тепло, заливают поковку со всех сторон лучами, возвращая ей таким образом то тепло, которое они только что от нее получили. Таким образом царит лучистое равновесие. Место, где пробита гяделка, пропускает лучи наружу, но ввиду его относительной незначительности оно не оказывает влияния на это равновесие. Из физики известно, что при наличии такого состояния в печи последняя дает излучение через глазок подобно гипотетическому «абсолютно черному телу» физики. Лучеиспускающая способность этого тела не зависит от свойств составляющих его, и потому, если отградуировать оптический пирометр в лаборатории по такому искусственному телу, то применяя пирометр для измерения температуры в печах, мы не сделаем ошибки. Другое дело, если производится измерение температуры предмета, вынутого из печи. Тогда количество испускаемой им лучистой энергии зависит от качества его поверхности. Способность излучения тепла пропорциональна способности поглощения, следовательно обратно пропорциональна способности отражения. Абсолютно черное тело, ничего не отражающее, обладает максимальной излучательной способностью. Обычные тела, куски железа, покрытые сажей, окалиной, шлаки и т. д. обладают меньшей, по сравнению с абсолютно черным телом, излучательной способностью. Поэтому и измерение температуры их дает более низкие цифры в том случае, если измерение это производит на свободном воздухе. Однако сажа и окалина очень слабо отражают свет и следовательно довольно близки к абсолютно черному телу. Поэтому ошибка при измерении температуры получается небольшая. Но чистая поверхность металла, например жароупорной стали, расплавленного алюминия и т. п., излучает слабо. Поэтому измерить температуру таких предметов оптическим пирометром трудно. Приходится вводить поправки, величину которых определить не всегда возможно. Приходится пользоваться всякими более или менее приблизительными данными опытов различных авторов, желавших уточнить этот способ измерения, и это сильно понижает точность результатов.

Однако не всегда так уже нужна истинная температура предмета. Часто бывает нужно следить за тем, чтобы в цехе соблюдались опытом установленные правила термообработки однородных деталей, и если показания пирометра и будут неправильны, то все же ошибка их будет всегда одна и та же, и установив помощью термонары ее величину, можно будет без всякого риска применять его в массовом производстве, если он окажется более удобным в данной обстановке.

Итак мы познакомились с главной ошибкой. Существует еще много других ошибок, свойственных разным конструкциям оптических пирометров. Как их избежать, указывается в описаниях, прилагаемых к приборам, и поэтому мы и не считаем нужным останавливаться на них подробнее.

Оптические пирометры дают возможность измерять температуры, превышающие $600-700^{\circ}$, так как лишь при таком нагреве тело излучает достаточное количество лучистой энергии.

Для работы в цехах оптические пирометры применяются лишь в качестве контрольных приборов в руках мастеров или же для теку-

шей работы. В последнем случае, учитывая обычно низкую квалификацию калильщиков, приходится применять стационарные установки на штативах или кронштейнах. Раз навсегда точно установив прибор и проверив его показания, можно быть уверенным в надежной его работе. Отнесенный на некоторое расстояние от печи и не подверженный жару он не должен изнашиваться, и поэтому обращение с ним проще, чем с термопарой. Это его достоинство. Недостаток тот, что до сих пор повидимому не построено самопишущих оптических пирометров. Что же касается термопар, то для них сконструированы и широко применяются самопишущие гальванометры. Это делает их, несмотря на их относительно легкую повреждаемость, все-таки предпочтительными перед оптическими пирометрами. Для целей автоматического контроля печей существуют различные реле, приводимые в действие также термопарой. Оптические же приборы для этого до сих пор не применялись.

В заключение главы о пирометрах рассмотрим правила измерения температур.

При работе с оптическим пирометром необходимо последний обязательно направлять на изделие, температуру которого желательно измерить, а не просто в печь. Оптический пирометр указывает температуру поверхности тела, излучающего свет. Он не дает указаний на температуру атмосферы печи, и, так как стенки печи, служа передатчиком тепла в окружающее пространство, всегда должны быть холоднее атмосферы печи, измерение их температуры легко может дать ошибочный результат. Кроме того при неравномерном нагреве плохо спроектированной печи оптический пирометр может также дать неверные показания.

В отличие от оптического пирометра термопара дает как раз показания, зависящие не только от лучистого тепла печи, но и от температуры печных газов, т. е. она пользуется для своего нагревания теми же источниками теплоты, что и нагреваемые предметы и изделия. Поэтому ее необходимо ставить в условия, сходные с условиями нагревания изделий. А именно ее кончик должен касаться пода печи. Если она установлена вертикально, что особенно выгодно с точки зрения ее прочности, то лучше всего, когда она упирается в под. Далее она должна омываться тем же потоком газов, каким омывается обрабатываемый предмет, и следовательно должна располагаться возможно ближе к нему.

Для проверки того, одинаково ли прогреты термопара и изделие, необходимо следить за тем, чтобы цвета каления были одинаковы. Лишь при соблюдении этих условий можно ручаться за правильность показаний термопары.

Как оптические пирометры, так и термопары подлежат периодической проверке. Для этого необходимо пользоваться контрольной, отградуированной по точкам плавления чистых металлов, термопарой. При этом необходимо, проверяя термопару или гальванометр, пользоваться и цеховым, и специальным контрольным гальванометром, так как иногда наблюдающиеся неправильности показаний термоэлектрического пирометра могут происходить от неисправности одновременно и термопары, и гальванометра. Если отклонения показаний цехового пирометра разнятся на 10—20 до 50°, можно после тщательной проверки ограничиться лишь сообщением цеховому персоналу на

ошибку пирометра, чтобы она была припята во внимание при дальнейшей работе. Если же разница показаний больше, рекомендуется отдать пирометр в ремонт.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

ЗАКАЛКА СТАЛЕЙ

Отожженная или сырая прокатанная сталь обладает средними механическими качествами, средней вязкостью. Наибольшие прочность и вязкость сообщаются ей специальной термообработкой — закалкой с отпуском. Закалка — это операция термообработки, заключающаяся в нагреве стали до определенного температуры и последующего быстрого охлаждения в соответствующей среде. Скорость охлаждения играет здесь большую роль; чем она выше, тем резче закалка и наоборот, чем медленнее, тем закалка слабее. При достаточно малой скорости охлаждения можно сообщить стали еще большую вязкость, чем она имела в прокатанном состоянии. Такая закалка носит название «отрицательной закалки». Обычно однако при закалке стремятся получить максимум твердости, поскольку это позволяет состав стали и возможность избежать появления трещин, с тем чтобы в дальнейшем путем отпуска сообщить необходимую минимальную вязкость. Такая двойная термообработка выгоднее тем, что дает возможность точнее и с меньшим количеством неудач удовлетворить предъявленным требованиям. Вместе с тем для многих сталей закалка с отпуском дает в общем итоге лучшие механические качества. Поэтому для ответственных изделий последняя главным образом и применяется. Одинарная термообработка (отрицательная закалка) применяется в тех случаях, когда при массовом производстве изделию предъявляются не слишком высокие требования. Так например при производстве шрапнелей вполне рационально подвергать стаканы одинарной термической обработке, закаливая их в подогретую до 80° воду без отпуска.

К числу затруднений, встречаемых при прямой закалке, относится трудность регулирования скорости охлаждения. Существует лишь немного различных сортов применимых в цехе закаливающих жидкостей. Это — вода, холодная или подогретая, растворы солей, нефть, масло льняное, сурепное, сало и наконец сильная струя воздуха. Все они различаются по своим закаливающим свойствам, так как сообщают предмету различные скорости охлаждения. Эти скорости зависят не только от свойств и температуры закаливающей жидкости. В меньшей степени они зависят и от формы и главным образом толщины изделия. При этом, так как скорость охлаждения разных слоев металла массивного изделия различная, то и степень закалки их получается различная. С этим необходимо считаться, так как иногда можно неожиданно получить недостаточно прочное изделие при правильной, как будто, закалке его.

Необходимо следить, чтобы наиболее нагруженные при работе волокна изделий были наилучшим образом закалены; в большинстве случаев таковыми являются наружные волокна; тогда термообработка проста. Но в изделиях сложной формы (цилиндры для сжатого газа и т. д.) и в особенности у труб, назначение коих выдерживать высокое

внутреннее давление например орудия, наиболее нагруженными оказываются как раз внутренние волокна. При закалке таких изделий необходимо следить за тем, чтобы были соблюдены необходимые условия охлаждения этих внутренних стенок труб. Иногда требования, предъявляющиеся калильщику, предусматривают неравномерную термическую обработку. И это налагает особые требования при производстве закалки. В дальнейшем мы разберем несколько подобных примеров

Закаливающие жидкости различаются по своим закаливающим способностям. Эти последние зависят от теплоты испарения жидкостей. Чем больше теплота испарения, тем энергичнее, резче закаливается сталь в данной жидкости.

Если расположить жидкости в порядке возрастания их закаливающей способности, то опыт показывает, что порядок их будет следующий (по данным Фрэнча и Клоппа):

- 1) кипящая вода,
- 2) вода нагретая до 80° ,
- 3) масло льняное, сурепное и нефть,
- 4) вода нагретая до 60° ,
- 5) 95-процентная серная кислота,
- 6) вода нагретая до 40° ,
- 7) вода нагретая до температур $0-80^{\circ}$,
- 8) 10—20-процентный раствор серной кислоты в воде (20°),
- 9) 10-процентный водяной раствор поваренной соли (20°),
- 10) 5-процентный водяной раствор едкого натра.

Рассматривая эту таблицу, мы увидим, что наиболее слабо закаливающей средой является вода, нагретая почти до кипения. Даже мелкие 10-миллиметровые образцы стали не принимают в ней закалки и остаются с перлитоферритовой структурой. Вода, нагретая до 80° , дает уже некоторую закалку. Однако закалка эта весьма слабая и обнаруживается только у поверхностных слоев тонких изделий. Закалка в воде нагретой до $60-40^{\circ}$ уже при исследовании микроскопом выражена ясно, характеризуясь наличием мартенситотрооститовой структуры. Однако твердость при этом оказывается все же невысокой. Такая закалка сразу сообщает изделиям вязкость, а также повышение и других механических свойств. Поэтому она применяется в тех случаях, когда ради экономии желают обойтись без операции последующего отпуска. Как видно из предыдущего, она (называемая иногда «отрицательной») практически оказывается вполне пригодной для некоторых категорий изделий. Вода, охлажденная до 30° и ниже, является уже сильным закаливающим средством. Прибавка солей к холодной воде еще несколько повышает ее закаливающие свойства. Но действие солей сравнительно невелико, и поэтому лишь в редких случаях можно наблюдать разницу между структурой и твердостью изделий закаленных в чистой холодной воде и воде, содержащей в растворе соли. Поэтому, желая повысить резкость закалки изделия прибавкой в закаливающую воду раствора солей, мы не всегда этого достигаем. Практики однако любят иногда приписывать тому или другому составу водяного раствора особо благотворные свойства. Но, как видим, это не подтверждается наукой, и поэтому всякие секреты в этой области немного стоят.

Однако, если в воде растворены газы, закаливающая способность ее ослабляется. Это объясняется тем, что при замачивании разогретого

изделия у его поверхности выделяются в большом количестве пузырьки газов. Они окутывают изделие, изолируя его от соприкосновения с водой, препятствуя таким образом закалке его. И в результате изделие получается плохо, неравномерно закаленным. Поэтому закаливающую воду необходимо освободить от газов путем предварительного кипячения ее. Если же этого сделать нельзя, необходимо, закаливая изделие, приводить его в движение. Тогда пузырьки газов будут сниматься движением воды, и таким образом вредное влияние их будет парализовано. Еще лучше пользоваться баками, снабженными приспособлением для приведения воды в быстрое движение со скоростью до 1 метра в секунду. Это довольно быстрое движение не всегда достижимо, так как при больших объемах баков требуется сильный насос. Коль скоро движение воды в баке имеет целью парализовать вредное действие газов, то конечно, если вода газов не содержит, необходимость в столь энергичной циркуляции отпадает. Тогда бывает достаточно создать слабый ток воды снизу вверх, с тем чтобы удалять верхние слои нагретой воды. Это требует уже значительно меньшей установки и поэтому применяется чаще.

Практически лучше всего пользоваться всегда одной и той же водой, лишь понемногу добавляя, по мере расхода ее, свежей воды. Вода при постоянных погружениях в нее нагретого изделия быстро освобождается от растворенных в ней газов, а это, как только что было объяснено, весьма желательно. Этим объясняется, почему многие практики так берегут закаливающую жидкость, ни в коем случае не разрешая ее переменить. Это требование практиков конечно заслуживает внимания, в особенности если завод пользуется для своего потребления сильно газистой артезианской водой, но тогда необходимо обеспечить хорошее охлаждение водяного бака.

Ниже, при разборе конструкций баков, мы увидим, каким образом обычно это достигается.

Говоря о закаливающих свойствах воды, необходимо остановиться на некоторых особенностях изменения скорости охлаждения. Исследования показывают, что в первые моменты погружения в воду раскаленного изделия скорость охлаждения его невелика. В особенности это заметно, когда изделие погружено в холодную воду. Мгновенно покрывшись тонким слоем плохо проводящего тепло пара, изделие, передавая тепло через этот слой пара окружающей жидкости, вызывает ее циркуляцию. По мере усиления циркуляции воды слой пара уменьшается в своей толщине, смываемый токами воды и таким образом вредное действие его ослабляется, и скорость охлаждения изделия увеличивается. При закалке необходимо, чтобы скорость охлаждения изделия была бы максимальной в момент перехода температур критических точек. Если изделие нагрето только немного выше температуры критических точек, то за время, потребное для создания циркуляций, оно успеет их достигнуть, и тогда закалка может произойти недостаточно интенсивно. Чем выше температура погружаемого изделия, тем дольше оно остывает до температуры верхней критической точки, тем следовательно энергичнее развивается циркуляция, и тем быстрее переходит оно критический интервал, и в конечном счете тем энергичнее закалка. Таким образом, желая усилить интенсивность закалки в баках с неподвижной водой, выгодно несколько повысить температуру нагревания.

Другой весьма распространенной закаливающей средой является льняное и сурепное масло, нефть и некоторые сорта животного масла (сало). Как видно из таблицы, масло принадлежит к числу не сильно закаливающих жидкостей. По исследованиям Френча и Клоппа все они повидимому обладают примерно одинаковыми закаливающими свойствами, разве за исключением нефти, закаливающая способность которой несколько больше. Отличительной особенностью характера охлаждения в маслах является более пологая и плавная, по сравнению с водой, кривая охлаждения опущенных в них предметов. Это объясняется большей теплопроводностью газов, образующихся на поверхности изделия, и следовательно меньшим влиянием сильной циркуляции. Второй отличительной особенностью масла является замедление остывания в нем изделий при температурах ниже 300°. Это вызывает некоторый отпуск изделия во время самого процесса закалки и, что более важно, ослабление внутренних натяжений. Поэтому сорта сталей, в особенности склонные давать закалочные трещины, легко выдерживают закалку в масле.

Последнее свойство масла и делает его особенно пригодным закаливающим средством. Масло дорого, поэтому масляные баки делаются обычно небольшой емкости. Для того чтобы не вызвать чрезмерного нагревания масла, необходимо баки снабжать хорошими приспособлениями для действительного охлаждения масла. Об этих устройствах мы также будем говорить в дальнейшем.

В некоторых случаях медленное окончательное охлаждение изделия в масле бывает невыгодным. Для устранения влияния медленного охлаждения иногда производят комбинированную закалку. Замачивают нагретое изделие в масле, а затем через некоторое время переносят его в водяной бак, где и дают ему окончательно остыть. Такая закалка конечно энергичнее, чем простая закалка в масле, но она вместе с тем обладает и преимуществами последней, так как характер остывания при переходе критических точек сохраняется.

Третьей, часто применяемой на практике, закалочной жидкостью является керосин. Характер охлаждения изделий в керосине не был обстоятельно исследован. Но практически закалка в керосине резче закалки в масле и приближается по своей интенсивности к водяной закалке.

Другим важным фактором процесса закалки является нагрев изделия перед закалкой, так как от него зависит и равномерность закалки, и, как мы видим, ее интенсивность.

Обычно для закалки производится специальный нагрев. Пользоваться жаром, сохранившимся послековки или прокатки, не всегда рекомендуется. Деформированное проковкой крупное зерно стали лучше измельчается, если сталь охладить и снова нагреть, чем если фиксировать резким охлаждением то, что получилось при ковке. Конечно еще лучше, и это применяется при ответственных термообработках, произвести отжиг стали перед закалкой. В главе об отжиге мы познакомились с преимуществами подобной практики.

Нагрев стали необходимо вести, постепенно поднимая ее температуру. Не рекомендуется прямо загружать холодное изделие в раскаленную печь. Если при непрерывном процессе печь уже разогрета, лучше предварительно перед посадкой в печь подогреть изделие до температуры 500—600°. Для этого можно пользоваться либо специ-

альной печью, либо использовать теплоту отходящих газов, поставив на пути их чугунный или стальной муфель. Однако лучше всего применять методический постепенный нагрев изделий. Это достигается в методических печах, где изделия загружаются у холодного конца печи и потом тем или иным способом постепенно подвигаются в зону высокой температуры, откуда после некоторой выдержки и подаются для заковки.

О конструкции таких печей мы узнаем из следующей главы.

Особенно осторожно приходится нагревать изделия, боящиеся коробления. Всякая неравномерность при нагревании, сопровождающаяся неравномерным термическим расширением предмета, легко ведет к поводке. Так например, большие затруднения вызывает заковка изделий, отштампованных из листового железа. Обычно такие изделия, имеющие корытообразную форму, сажаются в разогретую печь на несколько минут, так как прогрев их идет очень быстро. Тогда части, соприкасающиеся с подиной печи, нагреваются с другой скоростью по сравнению с выступающими фланцами. Это вызывает обычно разводку фланцев. Опыт показывает, что такие изделия лучше всего нагревать в подвешенном состоянии, если это допускает конструкция печи. В некоторых случаях для избежания поводки полезно бывает перекладывать изделия с места на место, переворачивать их или, если изделия это допускают (например тарельчатые конические шестерни), скреплять их попарно болтами, с тем чтобы получить из такого сложного комплекта симметричную фигуру. Тогда связанные изделия удерживают друг друга от поводки. Однако устранить поводку, вообще говоря, очень трудно и поэтому, если изделия имеют сложную форму, их приходится после заковки выправлять. Правка ведется или после заковки и отпуска, или же в момент заковки. В этом последнем случае замачиваемое изделие закладывается в специальный закалочный пресс. Пресс этот снабжен штампом соответствующей формы, который плотно зажимает изделие и в таком зажатом состоянии опускает его в закалывающую жидкость.

Особенного внимания при нагреве для заковки требуют изделия, приготовленные из сталей, склонных давать трещины при быстром нагревании. Это относится главным образом к инструментальным сталям или твердым высоколегированным хромоникелевым. Наилучший метод термообработки их это медленный подогрев в муфеле до 500—600° и затем перенесение сразу в печь, нагретую до нужной температуры, и после непродолжительной выдержки, достаточной для прогрева изделия,— заковка. Быстрорежущие стали, заковка которых производится при очень высоких температурах, безусловно требуют предварительного подогрева. Последний необходим не только для избежания трещин или внутренних натяжений, но и для получения наиболее мелкозернистой структуры, так как после подогрева требуется значительно более короткая выдержка, чем в том случае, если заковка производится без подогрева. Чем короче выдержка, тем мельче зерно, и вместе с тем слабее обезуглероживание—обгорание поверхности изделия, которое особенно сильно развивается на выступающей режущей кромке и значительно понижает работоспособность резца и тем самым понижает качество инструмента.

Для быстрорежущей стали рекомендуется нагрев перед закалкой и закалку производить следующим образом. В сравнительно большую

печь, в которой поддерживается температура $600-650^{\circ}$ загружаются изделия из быстрорежущей стали. В этой печи они подогреваются. По мере надобности они вынимаются и переносятся в печь меньших размеров, вмещающую небольшое количество инструментов и нагретую до $820-860^{\circ}$. После дальнейшего подогрева в этой печи изделия по одному вынимаются и вводятся в небольшую печку—горн, нагретую до 1260° , где после выдержки продолжительностью одной-двух минут быстро доводятся до желаемой температуры и затем вынимаются оттуда для закалки. Закалка производится в масле или в струе воздуха, и после закалки дается отпуск при $300-600^{\circ}$. Иногда закалку ведут в расплавленном свинце или лучше в расплавленных солях, нагретых до 500° , с окончательным охлаждением на воздухе. Тогда отпуска не требуется.

При нагреве перед закалкой требуется достаточная выдержка при назначенной температуре, необходимая для полного прогревания изделия. В противном случае при процессе быстрого охлаждения, если изделие неравномерно прогрето, различные слои его будут испытывать различные по своей величине деформации, что поведет к возникновению внутренних натяжений и вслед за ними трещин. Так например массивные изделия из инструментальной стали (штампы), для прогрева которых требуется подчас длительная многочасовая выдержка, при наличии неравномерного нагрева иногда сохраняют в сердечнике структуру отожженной стали. Тогда все объемные изменения, сопровождающие закалку, происходят лишь в наружных слоях; внутренние же играют роль твердой колодки и препятствуют этой деформации, что в конечном счете усиливает внутренние натяжения, коробление и трещины.

Заэвтектоидные углеродистые стали требуют удлиненной выдержки для растворения карбидов. Как уже говорилось, изменение объема стали пропорционально количеству перешедшего в твердый раствор углерода. Если наружные слои, лучше прогретые при закалке, будут содержать больше углерода, перешедшего в твердый раствор, и следовательно меньше карбидов, чем внутренние, то при закалке они расширятся больше внутренних, что повлечет появление внутренних трещин. Однако иногда у изделий малых размеров эти натяжения не так велики, и поэтому, пренебрегая ими с целью повысить вязкость сердечника, искусственно стараются закалить только поверхностные, работающие слои инструмента. Это достигается при закалке в печах со свинцовыми или соляными ваннами. Изделие погружается в ванну на несколько минут—на срок, достаточный для нагревания лишь поверхностных слоев, и затем смачивается в масле. Вслед за тем дают невысокий отпуск для устранения внутренних натяжений. Такая термообработка, придавая достаточную твердость поверхности, сохраняет вязкий сердечник, что особенно выгодно для инструментов, испытывающих при работе удары. Такой метод особенно применим для закалки плашек для нарезки болтов.

Другой способ—способ, уже требующий специальных закалочных приспособлений,—это закалка помощью обрызгивания поверхности изделия струйками воды. Направляя струю на рабочую поверхность изделия, можно подвергнуть закалке только ее, оставив всю остальную массу изделия мягкой. Струйки воды от специального разбрызгивателя, вытекающие под давлением, быстро охлаждают только поверхность из-

деля на небольшую глубину, а последующие слои остывают медленнее. При этом медленном охлаждении успевают выравняться внутренние натяжения, так что изделие, таким путем обработанное, не становится ломким, но в первые моменты, когда происходит сокращение объема поверхности, внутренний еще пластичный металл поддается ему, и, когда вслед за этим начинают охлаждаться внутренние слои, то удерживаемые наружными они не могут претерпеть нужную усадку. В результате происходит коробление изделия. При этом плоская поверхность, подвергнутая закалке, становится обычно выпуклой. Почему именно она становится выпуклой, нетрудно сообразить, основываясь на предыдущем. Такому методу термической обработки подвергают сложные штампы, применяемые в кузнечно-штамповочных цехах. Для этого устраивается специальное приспособление в баке для закалки. Оно состоит из ряда тонких параллельных полудюймовых трубок, сообщающихся с водопроводом. Трубки расположены в ряд на расстоянии одна от другой примерно 20—30 мм. Вдоль по верхней образующей трубок сверлятся тонким 2-миллиметровым сверлом ряд отверстий на расстоянии одно от другого примерно тоже 20—30 мм. Включив кран водопровода, мы получаем помощью такого приспособления ряд вертикальных фонтанчиков, бьющих с силой вверх. Если поместить на специальных поддерживателях нагретый под закалку штамп рабочей поверхностью навстречу фонтанчикам, он будет обильно орошаться с одной только своей поверхностью водой и в результате при методностороннюю закалку. Выше мы видели, что такая односторонняя закалка вызывает коробление изделия. Чтобы избежать ее, лучше всего между штампом и трубками положить шаблон, приближающийся по своей форме к конфигурации штампа. Тогда закалке подвергнутся лишь только необходимые области. Их объем будет минимальный, и в результате большая масса штампа сможет противостоять деформирующим усилиям. При этом необходимо особенно следить за тем, чтобы передние части штампа, например хвостовая часть, служащая для его закрепления в бойке молота, не заклинилась. Если это произойдет, то обычно штамп быстро разбивается молотом, поэтому необходимо после закалки рабочей части штампа подвергать отпуску нерабочую часть, это легче всего сделать, посадив штамп на шесток печи и подвинув хвост под приподнятую заслонку печи. Поливая водой выставленную таким образом наружу рабочую поверхность штампа, можно легко предохранить ее от отпуска и вместе с тем разогреть хвостовую часть того же штампа до 450—500° и тем самым полностью сообщить ей требуемую вязкость.

Такая закалка конечно может вызвать появление натяжений, но практика показывает, что последние бывают незначительны. Следует заметить, что поломка штампов далеко не всегда происходит от наличия опасных натяжений. Чаще происходит она от неправильной установки штампа на наковальню или боек молота. Так например, если штамп оперт только посередине, то при ударе, когда давление горячего металла выштамповываемого изделия распределяется более или менее равномерно по поверхности, может произойти излом штампа, совершенно независимо от термической его обработки.

Мелкие матрицы, протяжные кольца, зубила для пневматических молотков, заклепочники и т. д. также выгодно подвергнуть местной закалке. При этом такие изделия, как например протяжные кольца, приходится калить, пропуская сильную струю воды сквозь очко. Осуществляется это устройством зажимочного прессика. Разогретое кольцо укладывается между захватами прессика. В захватах предусмотрены

отверстия, сквозь которые подается струя воды, пропускаемая через отверстие кольца. При этом получается резкая закалка рабочей поверхности кольца, само же кольцо сохраняет вязкость. Возникающие при этом натяжения как раз противоположны рабочим напряжениям кольца, что выгодно, так как повышает его прочность.

Зубила пневматических молотов, заклёпочники и т. д. можно также подвергать закалке струей, иногда однако, если в цехе имеется свинцовая или соляная ванна, бывает удобно производить закалку с местным нагревом в них. Для этого предварительно термически обработанное зубило, для придания прочности и достаточной вязкости рукоятки, опускают в свинцовую ванну таким образом, что нагреву подвергается только режущая часть. Нагрев до нужной температуры, зубило вынимают из ванны и закалывают в воде. Затем производится его отпуск.

Особого внимания требует закалка точных инструментов, калибров, шаблонов и т. п. Обычно для калибров применяются следующие составы сталей:

ТАБЛИЦА 19
Деформирующиеся стали.

Наименование	C	Mn	Si	Cr	W	Другие примеси
	П р о ц е н т ы					
Высокохромовая	2—2,5	0,5	0,25	11,0—12,0	—	—
Марганцовистая	0,85—0,95	1,5—1,75	0,1	—	—	—
Хромистая	0,85—0,95	1,0—1,2	0,1	0,4—0,55	—	—
Хромовольфрамовая	0,85—0,95	1,1—1,2	0,1	0,45—0,55	0,45—0,55	Va до 0,2
Цементируемая	0,1—0,2	0,3—0,6	0,10—0,20	—	—	—
То же	0,1—0,2	0,3—0,6	0,25	0,8—1,1	—	Ni 3,0—3,5

По американским данным наиболее стойкой против изнашивания является высокохромовая сталь. Затем идут не упомянутые в таблице стали, подвергаемые нитрации (о них будем говорить в дальнейшем). Далее следует марганцовая и другие стали.

Для режущего инструмента наилучшими являются высокохромовая, хромовольфрамовая, затем хромистая и наконец марганцовистая. Последняя пригодна для режущего инструмента только в тех случаях, когда в состав ее не введена сера. Марганцовистые стали, содержащие серу, иногда практикуются для калибров с очень мелкой и точной резьбой, так как сера способствует получению чистой парезки.

Перед закалкой изделия, изготовленные с весьма малыми припусками в несколько сотых миллиметра, нужно отжечь для устранения наклепа, произведенного резцом. Отжиг ведется со всеми предосторожностями против обезуглероживания, например в цементовочных ящиках или ящиках наполненных песком и т. д. Температура отжига невысокая, лучше 750—760°. Эта температура препятствует раздроблению

цементита, а последнее обстоятельство необходимо для уменьшения деформации. После прогрева изделия оставляются в печи до полного охлаждения.

Затем производится проверка и окончательное исправление размеров.

Закалка производится в обычных пламенных печах, в соляных ваннах или хорошо работающих и хорошо прогретых электрических печах. Электрические печи имеют то преимущество, что снабжены автоматическими регуляторами и дают возможность чрезвычайно точно выдерживать температуру нагрева. Недостаток их — сильное окисление поверхности изделий, вследствие чего необходимо применять специальные меры. Этим недостатком не обладают соляные ванны (свинцовые ванны неудобны, так как к изделию легко прилипает свинец, запутывающийся в нарезной части), однако нагрев в них слишком быстрый, вследствие чего калибры большого размера легко дают трещины.

Закалку необходимо производить, весьма точно регулируя температуру и время выдержки. Оба эти фактора влияют на количество перешедшего в твердый раствор цементита, а последний на величину деформации. Так как деформация неизбежна, величину ее приходится задавать наперед при изготовлении изделия, и калильщик должен суметь подобрать такие условия, чтобы деформация калки строго соответствовала заданной. Опытом подобрав условия калки изделия данного вида, калильщик в точности соблюдает их при массовой закалке.

Для иллюстрации приведем пример закалки фрезы для нарезки зуба шестерни по данным Эдди.

Пример 1. Фрез был изготовлен из хромовольфрамовой недеформирующейся стали с допуском в меньшую сторону в 0,015 мм. Он загружен в цементационный ящик, наполненный углем, и нагрет до 800°. После нагрева в течение строго определенного времени фрез был вынут из ящика за проволочку, прикрепленную к нему, и опущен плашмя в бак с маслом, где он приводился в движение вверх и вниз. После отпуска при 150° фрез дал требуемое увеличение размеров.

Пример 2. Длинный метчик для расточки ступицы диаметром 19 мм ($\frac{3}{4}$ " с нарезкой Витворта № 12. После закалки шлифовке должны были подвергнуться только зубцы. Метчик подогрели до 230° и затем подвесили вертикально (для избежания прогиба от собственного веса) в печь с температурой 830° и выдержали там 12 минут. Закалку произвели подобно предыдущему примеру. После закалки он был отпущен при 135° в течение 30 минут. В результате термообработки метчик удлинился на 0,025 мм (0,001").

Из этих примеров мы видим, что недеформирующиеся стали всетаки претерпевают деформации, но в отличие от других сталей деформации эти не велики и, что важнее, правильны. Другие стали дают неправильные деформации, различные в зависимости от формы изделия и метода погружения в закаливающую жидкость.

Так например, кольцо с профилем сечения в виде параллелограмма после закалки принимает сечение с выпуклыми гранями — бочкообразное.

Желая совершенно избежать деформации калибров, пытаются применить стали цементируемые с незакаливающимся сердечником. Тогда после цементации, которая ведется при достаточно высоких температурах, чтобы вызвать рост зерна сердечника, и медленного охлаждения

при отжиге, сопровождающегося образованием трудно переходящего в твердый раствор, структурно свободного цементита, производят закалку при 760° с непродолжительной выдержкой при нагреве. Лучше всего производить закалку с подогревом в соляных ваннах. Нагрев в них происходит быстро и, не дав калибру прогреться насквозь, производят закалку только его поверхности. Для цементованных калибров ввиду вязкости сердечника это не опасно.

Сталь высокохромовая закаливается при температурах $850-880^{\circ}$; ввиду ее склонности давать трещины безусловно необходимым предварительный подогрев. Сталь эта только недавно обратила на себя внимание как недеформирующаяся. Поэтому метод ее термообработки еще не освещен в литературе и держится в секрете применяющими ее фирмами. Вообще говоря, вопросы об изготовлении точного инструмента часто тщательно скрываются специалистами или ограждаются патентами.

При изготовлении калибров часто натываются на одно неприятное явление, а именно на изменение размеров при длительном лежании на складах, — это так называемое старение.

Вебер говорит, что даже после $30-40$ лет лежания в складах процесс старения не всегда заканчивается. Вполне понятны неудобства такой стали в случае ее применения для точных приборов. Вебер рекомендует подвергать старению сталь искусственно. Он нашел, что обыкновенная сталь для калибров уже после 200-часовой выдержки при 120° в дальнейшем не претерпевает изменений объема.

Высокохромовая сталь требует подобной же выдержки в течение 500 часов. Явление старения связано с наличием закалочных внутренних натяжений.

Требования, предъявляемые к калибрам, различны. Обычно требуется, чтобы при проверке калибром отверстия или нарезки, если отверстие расшлифовано точно, ощущалось особо приятное скольжение калибра без заеданий. Для этого требуется очень высокая твердость калибра. $85-90$ единиц Шора обычно обеспечивают необходимую твердость. Но иногда предъявляют требования столь высокой твердости, чтобы калибр ни в коем случае не царапался напильником. Это требование повидимому чрезмерно. Оно выполнимо только в сталях, не содержащих хрома, никеля, вольфрама и т. д., так как эти элементы вызывают сохранение небольших количеств закалочного аустенита, порождающего мягкость при испытании напильником. Поэтому, если необходимо соблюсти требование сопротивления напильнику, марганцовая сталь с присадкой $0,1\%$ серы или без нее оказывается наилучшей.

Выше мы видели, что можно, вызывая местную закалку изделия, уменьшить его деформацию. В массовом производстве иногда пользуются этим методом. Так например применяют способ вольтовой дуги для закалки режущей кромки сложных резцов. Присоединяя инструмент к одному полюсу источника тока, быстро проводят по режущей кромке другим полюсом. Тогда происходит под влиянием дуги, образующейся между полюсами, быстрое разогревание острия резца и затем помощью теплопроводности, под влиянием остальной холодной массы предмета, быстрое охлаждение его.

Для закалки шестерен применяют вместо дуги ацетиленовую горелку. На рис. 57 изображен зуб шестерни, подвергнутый подобной термообработке. Помощью специальной травки выявлена картина рас-

пределения местной закалки у зуба. Такой метод термообработки весьма капризен и может применяться только в хорошо налаженном массовом производстве.

Познакомившись с практическими методами закалки, коснемся некоторых теоретических вопросов, необходимых нам для определения правил назначения температур закалки.

Как мы знаем, при нагревании стали, при прохождении температуры через критический интервал, происходят аллотропические превращения. Когда эти превращения закончатся, дальнейшее повышение температуры вызывает рост зерна стали и вместе с тем выравнивание твердого раствора.

Крупнозернистое строение стали невыгодно, так как такая сталь легко дает межкристаллический излом, сопровождающийся часто хрупкостью. Поэтому сильное повышение температуры закалки с этой точки зрения невыгодно.

С другой стороны, тотчас же после окончания превращений сталь состоит из далеко не однородного твердого раствора, и, если качество стали невысокое, закалка при температурах, лишь немного превышающих критические точки, может также сообщить стали недостаточную прочность, связанную в данном случае с ее неоднородностью. Поэтому существуют, собственно говоря, два метода назначения температур. Первый, распространенный главным образом в Германии и СССР,—это применение невысоких температур закалки, примерно на $20\text{--}30^\circ$ превышающих критические точки. Другой метод, применяемый англичанами и часто американцами,—закалка при температурах, сильно превышающих критические точки.

По второму методу назначают обычно температуры закалки в пределах $900\text{--}950^\circ$ в зависимости от содержания углерода, марганца и других примесей. А именно, чем больше содержание углерода и марганца, тем ниже температура закалки.

При закалке по первому методу также температура закалки понижается при повышении содержания примесей. Ниже, в конце книги, приводится таблица, в которой даны температуры закалки сталей, рекомендуемые Американской ассоциацией автомобильных инженеров. Ею можно пользоваться в обычной цеховой работе.

При закалке по первому варианту, если сталь достаточно чиста, получаются наивысшие механические качества. Правда, температура закалки в известных пределах мало влияет на последние, но все же такие величины, как предел пропорциональности, вязкость, связанные с крупностью зерна стали, подвержены изменению в зависимости от температуры закалки.

Однако, если неоднородность стали чрезмерна и в особенности в тех случаях, когда максимальные напряжения, возникающие при службе изделия, располагаются перпендикулярно направлению волокна, например в орудийных трубах, лучше воспользоваться вторым вариантом. Наилучшие же результаты дает двойная закалка. При этом первый раз закаливают примерно при 900° в масле, а затем без отпуска производят вторую закалку с несколько укороченной выдержкой и

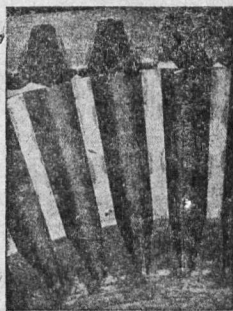


Рис. 57. Коронная шестерня автобуса фирмы Лейланд.

с минимальным перегревом против температур критических точек. Выравненный при первой закалке твердый раствор при последующем нагреве не может восстановить свою неоднородность, и вторая закалка, сообщая стали мелкозернистое строение, делает ее особенно вязкой. Такой способ конечно дороже, но в ответственных случаях, например в оружейном производстве, он себя оправдывает. Следует и здесь обратить внимание на принятие мер предосторожности против поверхностного обезуглероживания, особенно вредного при термообработке чистых изделий.

На этом закончим главу о закалке, об операции ответственной и трудной, трудней не столько для рабочего, сколько для самой закаливаемой стали, резким термическим ударом превращаемой из вязкого, тягучего, ковкого вещества в твердое, хрупкое, напряженное своими беспорядочными превращениями. Закаленная сталь, находящаяся в состоянии максимальной своей мощи, готова освободиться от избытка последней при первом удобном случае, будь то резкий удар, вызывающий тогда в стали проявление этой мощи в виде разрыва, глубоких неожиданных трещин, или иногда слабая царапинка, концентрирующая около себя внутренние натяжения и таким образом вызывающая ее разрыв, или наконец неровный нагрев, также вызывающий трещины. После вторичного нагрева — отпуска сталь, сохраняя свою мощь, становится более вязкой и упругой, поддается действию внешних усилий, но по прекращении последних вновь восстанавливающая свою форму, а если эти усилия и превзойдут возможные пределы, сгибаясь под ними, израсходовав всю свою способность сопротивляться, но не ломаясь.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ

ОТПУСК ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

Итак сталь закалена. Ей сообщена наивысшая твердость и максимальный предел упругости. Последний у некоторых сортов стали поднимается настолько высоко, что разрыв ее происходит раньше, чем будет первый достигнут. А этим свойством обладают хрупкие материалы: стекло, кристаллы солей, например каменной соли, и др.

Хрупкость закаленных и не отпущенных сталей далеко не общее их свойство. Чем меньше в стали углерода, тем в меньшей степени проявлена эта хрупкость, и, например при содержании 0,15% углерода, применяемые в промышленности стали, независимо от количеств других составляющих, оказываются достаточно вязкими даже при самой энергичной закалке.

Влияние углерода на явление хрупкости сказывается только в тех сталях, которые после закалки дают мартенситовую структуру. Стали аустенитовые даже при 1% углерода, как например сталь высокомарганцовистая (Гадфильда) весьма вязки. Правда и здесь, если содержание углерода превзойдет известный предел (для стали Гадфильда 1,5%) и аустенитовая сталь, переходя в карбидный класс, становится хрупкой.

Это — отрицательное свойство углерода сообщать стали хрупкость. Оно всегда стоит на пути техники, желающей использовать полностью другие благотворные изменения в свойствах стали, которые вносятся

тем же углеродом, а именно чрезвычайное новышение предела упругости и сопротивления разрыву. И весь смысл специальных добавок заключается в том, чтобы несколько ослабить хрупкость закаленной стали и избавить таким образом углеродистую сталь от этого порока.

Кроме хрупкости закалка создает в стали внутренние натяжения. Эти натяжения тем больше, чем значительнее объемные изменения стали при переходе из одного аллотропического видоизменения в другое. Поэтому натяжения наблюдаются в сталях закаливающихся «на мартенсит». Стали аустенитовые при закалке не претерпевают внутренних превращений, и поэтому натяжения, возникающие в них, ничтожны. А внутренние натяжения редко полезны, и их приходится уничтожать и, коль скоро наблюдаются они даже при закалке самых мягких сортов сталей, приходится подвергать отпуску, хотя бы и при очень низких температурах, и последние.

Малоуглеродистые стали очень хорошо воспринимают цементацию, производимую с целью создать на поверхности стали твердую корку. Это значительно повышает сопротивление стали износу.

После цементации сталь закаливается, и таким образом ей сообщается нужная твердость. Но это вызывает образование внутренних натяжений. Их надо уничтожить, что лучше всего достигается отпуском. Однако твердость поверхностного слоя при отпуске быстро падает. Едва ли можно говорить о возможности отпуска цементованной стали при температурах, превышающих 200—250°. Этим пределом обычно и ограничиваются, и опыт показывает, что все же достигают цели.

Каким образом провести наиболее экономично и точно такой отпуск? Техника выработала много способов, и на рассмотрении их сейчас и остановимся.

Если отшлифовать пластинку стали и положить ее на разогретую градусов до 600—700° плиту, то, как мы знаем, поверхность пластинки, нагреваясь и покрываясь побежалостью, будет менять свою окраску.

Вначале, до 200°, она будет сохранять свой серебристо-серый, стальной цвет. Примерно при 220° цвет ее начнет желтеть. Вначале пластинка становится соломенно-желтой, затем цвет этот усиливается, переходит в коричневый, далее появляется красный оттенок, сменяющийся пурпуровым, фиолетовым, голубым, синим и наконец серым. Последний цвет побежалости уже сходен с цветом окарины. Цвета побежалости тесно связаны с температурами стали, так что, наблюдая их, легко определить эту последнюю. Это очень удобный способ наблюдения за отпуском стали, и он часто применяется на практике. На основании ряда исследований установлена следующая зависимость между цветами побежалости и температурой:

ТАБЛИЦА 20

Зависимость цвета побежалости стали от температуры нагрева.

Температура	Цвет побежалости
220°	Очень слабый соломенно-желтый.
230°	Светлый соломенно-желтый,
240°	Соломенно-желтый.

Температура	Цвет побежалости
250°	Буровато-желтый.
260°	Светлобурый.
270°	Буровато-пурпуровый.
280°	Пурпуровый.
290°	Буро-фиолетовый.
300°	Голубой.
310°	Темно голубой.
320°	Сине-серый.
330°	Серый.

Побежалость вызывается появлением тонкой поверхностной пленки окислов, столь тонкой, что через нее легко проходит свет. А как известно из физики, такие тонкие прозрачные пленочки вызывают явления интерференции света, в результате которой и появляется та или иная окраска. Кроме того окислы железа сами по себе окрашены, и поэтому интерференционные цвета, складываясь с собственной окраской окислов, и дают цвета побежалости. Нетрудно сообразить, что цвета побежалости связаны с толщиной этой пленки, и конечно, чем выше температура, тем пленка толще. Но толстую пленку можно получить и при более низкой температуре, лишь стоит удлинить продолжительность нагревания.

И действительно образец, выдерживавшийся при 290° длительное время, менял свои цвета: через 1 минуту выдерживания он стал соломенно-желтым, через 10 минут — бурый, а через 40 минут — пурпуровым. Это показывает, что определение температуры данным способом не может претендовать на точность.

Однако, как увидим ниже, на процесс отпуска влияет также не только его температура, но и время выдержки. Поэтому практически оказалось, что если цвет побежалости получен, совершенно не важно каким образом он получен, повышенной ли температурой и малой выдержкой или, наоборот, длительной выдержкой при невысокой температуре. А потому метод этот нашел широкое применение в практике для отпуска мелких цементованных изделий и инструмента, изготовленного из углеродистой, а иногда и специальной инструментальной стали.

Температура отпуска конечно зависит от тех требований, которые предъявляются к инструменту. В тех случаях, когда нужна большая твердость, применяется более низкая температура, когда же нужна некоторая вязкость — более высокая. Установленные практикой температуры отпуска различных видов инструментов даны в табл. 21. Пользуясь табл. 20, мы легко установим и соответствующие температурам цвета побежалости (см. табл. 21).

Практически отпуск по цветам побежалости производится следующим образом.

Над каким-нибудь дымоходом от печи устраивается плита, подогреваемая печными отработанными газами. Около плиты устанавливается небольшой бак с водой, снабженный подъемной решеткой для

вынимания из него изделий. Конструкция его вполне сходна с другими закалочными баками. Рабочий укладывает в ряд у края плиты в более холодном месте 10 или 15 штук изделий с зачищенной наждачной бумагой поверхностью. Затем берет с края 3—4 штуки, в зависимости от размера инструмента и температуры нагрева плиты, и перекладывает их одно около другого на более горячее место. Внимательно наблюдая за изменением цвета побежалости, образующегося на зачищенном месте, рабочий в нужный момент помощью щипчиков снимает изделие и бросает его в бак с водой. Когда первая партия отпущена, он кладет вторую партию и с ней, а также и со всеми последующими, поступает так же.

ТАБЛИЦА 21

Температуры отпуска различного инструмента (при отпуске по цветам побежалости).

Температура отпуска	Наименование инструмента
220—225°	Шаберы для латуни, чистовые токарные резцы, ножовки для металла, граверные инструменты.
230—235°	Плашки винторезные, резцы строгальные для стали и железа, инструменты для резания слоновой кости, ножи для резки бумаги, сверла, инструменты для гравирования по дереву.
240—245°	Инструменты для резания кости, развертки, фрезы, шарошки, ножи для ножиц, штампы для резки кожи, бурава для камня.
250—255°	Метчики, гребенки, пуансоны, матрицы, обжимки, окарды для насечки жерновов, перочинные ножи, фасонные фрезы и строгальные ножи для твердого дерева.
260—265°	Спиральные сверла, строгальные резцы и фасонные фрезы. Инструменты для обработки камня, железки рубалочные и полукруглые стамески, бочарные инструменты и бурава для дерева.
270—275°	Зубила для горячего металла, штампы, плоские сверла для латуни, буравчики, топоры, тесла, зубоврачебные и хирургические инструменты, бурава.
280—285°	Зубила для холодной рубки чугуна и стали, иголки, стамески плоские, фасонные фрезы и строгальные ножи для мягкого дерева. Пилы для простой и слоновой кости.
290—295°	Отвертки, круглые пилы для металла.
300°	Пилы для дерева, пружины.

Как видим, это кропотливая, утомительная и мало производительная работа, к тому же требующая опытности от рабочего. Более того, работа эта удовлетворительно может выполняться лишь в дневное время. Вечернее желтоватое освещение электрических лампочек скрадывает оттенки окраски побежалости, и поэтому даже очень опытные рабочие легко ошибаются при работе при искусственном освещении, в особен-

ности, если работа ведется на две или три смены, так что время работы каждого рабочего периодически меняется. Поэтому применяется этот способ отпуска при низких температурах лишь в плохо оборудованных мастерских с небольшой производительностью.

Способ отпуска необладающий указанными недостатками, это отпуск в нагретом масле или расплавленных солях и свинцовых сплавах. Отпуск в масле возможен до температур не выше 250° , так как этому препятствует низкая температура кипения масел, лежащая между $250-280^{\circ}$. Выше 250° с успехом может применяться отпуск в расплавленной соли. Наиболее употребительными солями для отпуска является сплав, состоящий из двух частей калиевой селитры и трех частей натриевой селитры. Этот сплав плавится при 240° и пригоден к употреблению до 550° . При более высоких температурах отпуска приходится применять уже свинцовую ванну. Температура плавления свинца 321° . Она может быть даже понижена присадкой олова. Наиболее низкая температура плавления получается у смеси, состоящей из 7 частей свинца и 4 частей олова. Но при столь низких температурах применение свинцовой ванны невыгодно, свинец легко налипает на изделие. Это принуждает вводить еще одну операцию — операцию очистки изделий. Это создает лишнюю работу и сопровождается потерей дорого стоящего свинца. Свинцовая ванна поэтому применяется для температур не ниже 500° . Отпуск в ваннах удобен тем, что в первых, дает возможность, пользуясь достаточно вместительной ванной, производить работу с большими партиями изделий. Такой метод работы обеспечивает равномерность результатов отпуска всей партии, сильно повышает производительность калильщика и кроме того дает возможность установить точный контроль температуры помощью пирометра.

При отпуске на плите размер изделий сильно ограничивался возможностью получить равномерный нагрев. В ваннах это затруднение устранено, и практически весь цеховой инструмент можно с успехом отпускать в ваннах. Однако кроме достоинств имеются и недостатки. Производительность ванн значительно больше плиты, но при массовой работе все-таки недостаточна. Кроме того изделия весом выше 1—2 кг уже отпускать в ваннах неудобно, так как приходится производить операцию для каждого изделия отдельно, а это сильно понижает производительность. Поэтому для массовой работы предпочтительным оказывается отпуск в печах.

При низких температурах отпуск производится в муфельных или электрических печах, при более высоких — могут применяться и пламенные печи с открытым пламенем. Конечно особенно удобны автоматические печи. Ниже, в следующих главах, мы познакомимся с их конструкцией.

Отпуск в печах требует хорошего оборудования и работы последних. Если при закалке, при температурах свечения, изделие окажется неравномерно нагретым, это нетрудно заметить, при отпуске же, когда свечение изделия или слабо, или иногда и совсем отсутствует, заметить неравномерности нагрева бывает очень трудно. Приходится всецело доверяться печи. Лишь при 400° появляется слабое красновато-бурое свечение, заметное только в темном помещении. Но оно настолько слабо, что, наблюдая его, тоже нетрудно не заметить неравномерность нагрева. Это недостаток отпуска в печах, тем более сильный, чем хуже

конструкция печей и чем меньше опыта у персонала, обслуживающего их. Лишь автоматические печи не обладают этим недостатком, но они требуют больших партий однородных изделий, а это не всегда имеет место.

Отпуск оказывает весьма сильное влияние на свойства закаленных сталей. Понижая их твердость, меняя магнитные и электрические свойства, он меняет их сопротивление, вязкость и в известных пределах дает возможность придать им любые комбинации этих свойств.

Обычно наивысшей температурой отпуска стали является 680° . При ней металл получает наивысшую вязкость, превосходящую вязкость даже хорошо отожженного материала, и таким образом механические свойства отпущенной при $650-680^{\circ}$ стали диаметрально противоположны свойствам неотпущенной.

При всех промежуточных температурах получаются промежуточные механические свойства. Грубо говоря, чем выше отпуск, тем более вязок и тягуч металл. Это правило особенно хорошо подтверждается при отпуске выше $350-400^{\circ}$. При более низких температурах наблюдаются часто аномалии, когда повышение температуры отпуска сопровождается понижением вязкости.

Повидимому это связано с наличием аустенитовых образований, возникающих при закалке почти во всех сталях. Аномалии эти выражаются внезапным повышением сопротивления разрыву и предела текучести при соответствующем понижении сопротивления удару.

Диаграмма рис. 58 дает представление об изменении механических свойств хромистой стали, содержащей $0,13\%$ углерода и $1,0\%$ хрома, закаленной в воде и подвергнутой отпуску при различных возрастающих температурах.

В этой диаграмме буквой *R* обозначено сопротивление разрыву, *E* — предел текучести, *C* — относительное сужение площади сечения, *A* — относительное удлинение.

Кроме того внизу диаграммы даны кривые сопротивления удару (на копре Шарпи) и твердость Бринелля.

Рассматривая ее, мы обращаем внимание на следующий характер изменения механических свойств. В закаленном состоянии сталь характеризуется сопротивлением разрыву 116 кг/мм^2 и соответствующими другими цифрами прочности. Их величину нетрудно установить по диаграмме. Отпуск $100-150-200^{\circ}$ вызывает понижение всех этих

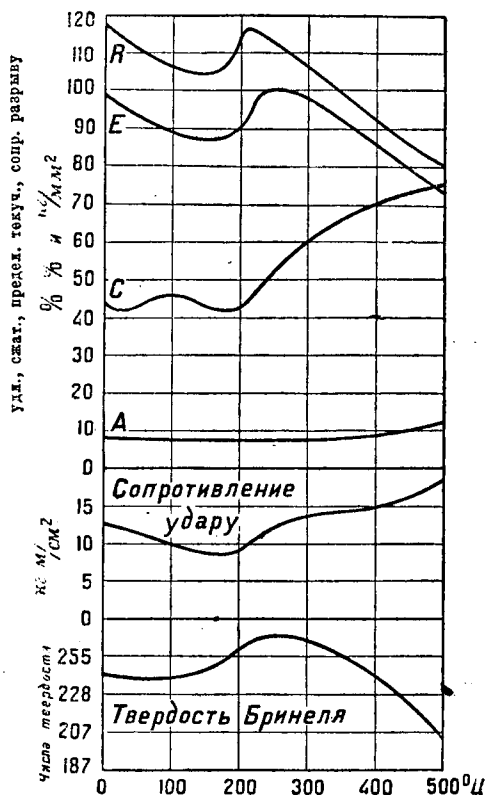


Рис. 58. Диаграмма механических свойств малоуглеродистой стали с 1% хрома.

свойств за исключением твердости, которая наоборот возрастает, но при 250° наступает резкий перелом. Сопротивление разрыву и предел упругости возрастают почти до прежней своей величины. Твердость достигает максимума и затем начинает падать; сопротивление удару при этой температуре достигает минимума. При еще более высоких температурах снова начинается понижение сопротивления разрыву и предела упругости, но сопровождающиеся уже повышением вязкости и сопротивлением удару и понижением твердости.

Этот характер кривой объясняется законами распада мартенсита и аустенита закаленной стали. Законы эти до сих пор неясны. Однако ряд косвенных данных, а также рентгенографических исследований, показывает, что аустенит закалки полностью распадается при температурах около $250-300^{\circ}$ у углеродистой стали и при более высоких — у сталей легированных. Температуры этого распада зависят от химического состава стали.

Вообще говоря, специальные примеси повышают температуру распада закалочного аустенита, поэтому, чем больше примесей содержит сталь, тем выше температура распада. В некоторых сортах, например в быстрорежущей стали, температура распада аустенита поднимается до $650-700^{\circ}$, так что при отпуске твердость ее растет по мере повышения температуры отпуска. Особенно заметно наблюдается это при отпуске при 650° , когда твердость возрастает с 500 единиц Бринелля до 600—650 единиц. На рис. 59 приведена диаграмма изменения твердости быстрорежущей стали, составленная по данным Булленса. Явление это носит название вторичной твердости и играет большую роль при термообработке быстрорежущей стали. Действительно, если отпуск быстрорежущей стали повышает ее твердость, то можно ожидать повышения стойкости реза,

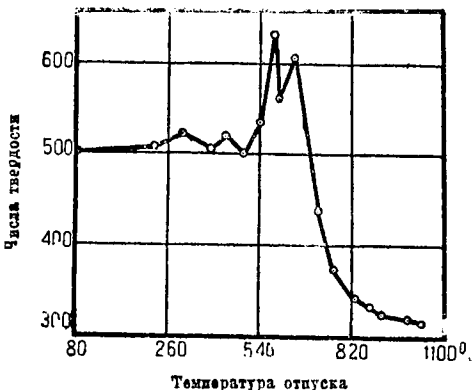


Рис. 59. Диаграмма изменения твердости быстрорежущей стали в зависимости от температуры отпуска (Bullens).

если конечно не появится хрупкость, всегда до известной степени сопутствующая высокой твердости стали. Опыт показывает, что хрупкости, такой хрупкости, которая вызвала бы выкрашивание реза, в этом случае не получается, и следовательно есть прямой смысл подвергать такому отпуску резы из быстрорежущей стали. Лишь в тех случаях, когда скорости резания доводится до таких пределов, что резец сам по себе разогревается до красного каления, его можно применять без отпуска, рассчитывая, что он отпустится сам во время работы на станке.

Вторичная твердость наблюдается не только у быстрорежущей, но и у большинства других сталей, что мы видели уже на примере хромистой стали. Правда, в большинстве случаев она выражена весьма слабо, иногда характеризуясь действительно подъемом твердости, иногда же заметная лишь в виде небольшой выпуклости на нисходящей кривой. Влияние вторичной твердости сказывается и на других механиче-

ских свойствах стали, и, как мы видели, момент ее исчезновения сопровождается повышением последних. Это наводит на мысль, что аустенит, присутствующий в стали, понижает ее механические свойства, и если провести кривые нашей диаграммы, не учитывая влияния аустенита, мы получили бы при низких температурах гораздо более высокие цифры сопротивления разрыву и твердости.

Однако во многих случаях, главным образом в сталях средней твердости, эта аномалия выражена резко. Это объясняется тем, что закалочный аустенит успевает разложиться под влиянием сильных внутренних натяжений, возникающих при закалке. Но разложение его, повидимому далеко не полное, вызывает появление межкристаллических местных натяжений между зернами, вступающих на место прежних общих макроскопических натяжений. Они также отзываются на прочности стали, делая ее весьма хрупкой.

Чем резче была закалка, тем больше образуется закалочного аустенита, но в то же время тем больше внутренние натяжения, разрушающие аустенит. Поэтому при более резкой закалке многие стали становятся более хрупкими. Выбирая закалочную жидкость, необходимо учитывать не только возможность появления трещин, но и остерегаться сообщить стали хрупкость. Поэтому многие стали, которые можно совершенно свободно закалывать в воде, часто калят в масле, несколько жертвуя таким образом высокими механическими свойствами, но выгадывая в вязкости.

Из всего вышеизложенного видим, что существует некоторый интервал температур отпуска, при которых наблюдается сильное повышение хрупкости. Этот интервал у различных сталей различный. У большинства он начинается с весьма низких температур, недостаточных даже для уничтожения внутренних натяжений. Практически поэтому принимают, что начало его идет от закаленной и еще не отпущенной стали. Но у некоторых сталей он начинает сказываться при более высоких температурах. Так например кремнехромоникелевая сталь для противопульных артиллерийских щитов обладает интервалом хрупкости, лежащим в пределах приблизительно от 450 до 580°. Такая сталь, содержащая 0,2—0,28% углерода, 0,4—0,6% марганца, 1,2—1,5% кремния, 0,9—1,2% хрома и 2—3,5% никеля, чрезвычайно хрупкая после отпуска при этих температурах, разлетается при ударе на осколки, но уверенно выдерживает удар, будучи отпущена при температурах ниже или выше интервала хрупкости. При более низких температурах она оказывается очень твердой и выдерживает сильнейшие удары, поглощая почти нацело всю энергию их своими упругими деформациями, при температурах же выше интервала хрупкости, она, наоборот, вытягивается, например под действием пули, давая глубокую вдавленную.

Обычные сорта хромоникелевых сталей перестают быть хрупкими при температурах 300—400°. Чем больше углерода и марганца в стали, тем выше эта температура, поэтому калильщик должен всегда учитывать влияние этих примесей. Так например при 0,25% углерода можно безнаказанно в большинстве случаев производить отпуск при 400°, при 0,35% углерода — приходится поднять температуру до 450—500°, а при 0,45% углерода — и до 600—650°. При малом содержании хрома и никеля конечно температуры могут быть понижены. Влиянием марганца при содержании его ниже 0,5% можно пренебрегать, но если его больше, приходится учитывать и его влияние.

Другой особенностью отпуска сталей служит явление хрупкости после отпуска. Явление это впервые выявилось на заводах Круппа. Оно носило характер бедствия. Целые партии ответственных изделий не выдерживали испытаний и браковались, несмотря на то, что завод применял всяческие меры, чтобы выйти из затруднения. Явление это настолько развилось, что появился даже специальный термин «круппова болезнь стали». После ряда опытов инженерам завода Круппа удалось разрешить проблему и, как это ни странно, выход оказался довольно простой. Необходимо было после отпуска производить быстрое охлаждение изделий. Это в большинстве случаев легко осуществимо и вполне гарантирует от хрупкости.

На рис. 60 изображен конец сломавшейся при испытании автомобильной полуоси, приготовленной из хромоникелевой стали — материал, который при испытании дал очень высокое сопротивление разрыву,

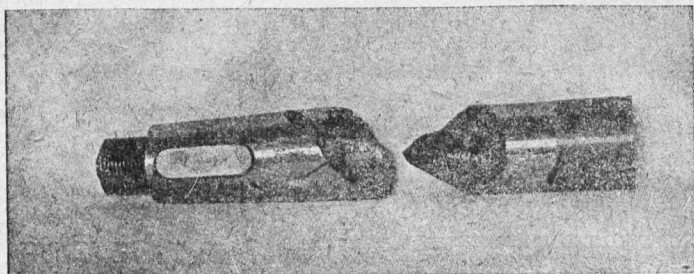


Рис. 60. Хрупкая полуось автомобиля, сломавшаяся при пробном побеге.

предел текучести и сжатия сечения в шейке, но весьма низкое сопротивление удару. (Вместо требуемых 6 кгм/см^2 всего $0,6 \text{ кгм/см}^2$.)

На рис. 61 изображен разрывной образец, выточенный из этой полуоси, после его испытания. Как видно, образец при разрыве дал

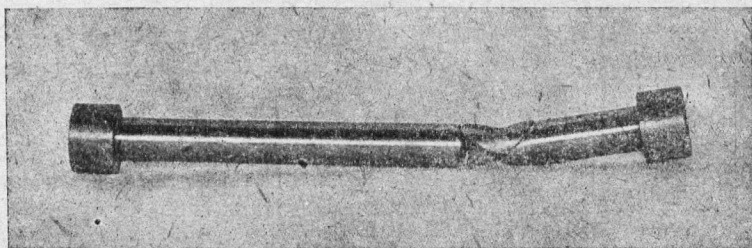


Рис. 61. Разрывная проба, приготовленная из хрупкой полуоси после испытания.

пужное сжатие сечения, но разлетелся на несколько кусков. Это характерно для хрупкой после отпуска стали.

После перекалки в лаборатории образца этой стали с соблюдением необходимых предосторожностей были получены удовлетворительные механические качества материала, что и указало на наличие неправильной термической обработки полуоси.

До сих пор нет удовлетворительного объяснения этому явлению. Микроструктура стали практически неотличима от обычной, нормаль-

ной микроструктуры. Правда, некоторым исследователям удавалось наблюдать по границам зерен металла выделения мелких карбидов. Это заставило их предположить наличие выделения цементита, растворенного в альфа-железе и выделившегося при медленном охлаждении после отпуска. Такие межкристаллические включения хрупкого цементита ослабляют взаимное сцепление кристаллов стали и порождают таким образом хрупкость.

Однако многим исследователям не удавалось обнаружить подобной цементитной сетки. Повидимому она чрезвычайно мелка и трудно уловима в микроскоп.

Несмотря на это, теория эта хорошо объясняет явление. Так например становится ясно, почему та же сталь, охлажденная после отпуска быстро, делается достаточно вязкой, охлажденная медленно — хрупкой. Согласно этой теории это происходит от того, что при медленном охлаждении цементит, растворенный в альфа-железе, успевает выделиться по границам зерен, а при быстром охлаждении выделиться не может и сохраняется в переохлаждающемся твердом растворе. Кроме того хрупкость после отпуска наблюдается при отпуске выше 400—450°. При более низких температурах этого явления не бывает. Согласно вышеприведенной теории происходит это от того, что лишь при температурах, превышающих 400—450° альфа-железо способно растворять заметные количества цементита. Значит, если подвергнуть медленному охлаждению сталь после ее отпуска до 400°, никакого выделения цементита не произойдет, и хрупкости следовательно не появится.

Однако эта теория повидимому не исчерпывает всего комплекса явлений. Замечено, что хрупкость после отпуска зависит не только от состава, но и от метода производства плавки стали. Хорошо сваренная, раскисленная и дегазифицированная чистая сталь иногда почти не обладает этим недостатком, тогда как у плохо, неправильно сваренной стали это явление выступает резко.

Имеются веские указания на отрицательное влияние азота, в небольших количествах всегда присутствующего в стали.

Так например, очень чистые хромоникелевые стали после нитрирования, даже после удаления нитрационного слоя, приобретают этот недостаток, даже если первоначально они обладали им в наименьшей степени.

Кроме того стали, с повышенным содержанием фосфора, марганца, иногда и кремния часто особенно чувствительны к скорости охлаждения после отпуска. Присутствие молибдена, наоборот, вполне излечивает их от «крупновской болезни». Поэтому в тех случаях, когда почему-либо нельзя подвергать изделие быстрому охлаждению после отпуска (во избежание коробления, развития внутренних натяжений в крупных изделиях, как например орудиях и т. д.), присадка молибдена до 0,30—0,40% оказывается необходимой. В тех случаях, когда молибдена в стали нет, быстрое охлаждение после отпуска неизбежно. Необходимая скорость этого охлаждения невелика: мелкие изделия можно охладить, вынув их из печи на свободный воздух. Более крупные детали лучше охлаждать, погружая в масло, еще более крупные в воду. Такой метод работы и признан в настоящее время наиболее отвечающим требованиям.

Механические свойства, сообщаемые термообработкой, зависят не

только от характера последней. Безусловно, они зависят и от химического состава стали, от количества специальных примесей, оказывающих решительное влияние на превращения, происходящие при закалке и отпуске, и от степени развития которых зависит то или иное строение стали. Со строением стали связаны ее механические свойства, но не только им они определяются. Существует еще много других причин, влияющих на прочность стали, причин часто не обнаруживаемых микроскопом, трудно изучаемых и потому до сих пор неясных, но все же существующих.

Причины эти кроются в методе производства стали. Разбирая вопрос о законах застывания слитка в предыдущих главах, мы познакомились со сложными процессами вымораживания отдельных примесей, происходящими при отливке слитка и в результате создающими то сложное микроскопическое строение его, далеко неоднородное как в смысле химического состава, так и в смысле плотности и чистоты стали. Мы видели, что в областях, застывших последними, скапливаются примеси и загрязнения; области, застывшие первыми, наоборот, оказываются более чистыми. Мы видели, что газы при застывании стали тоже далеко неравномерно выделяются в процессе застывания, порождая рыхлость или пузыри. Мы видели, что сталь может содержать шлаковые включения, количество которых зависит от процесса ее варки и разливки. Следовательно, чем хуже проварена, раскислена и дегазефицирована сталь, чем больше в ней вредных примесей, тем более неоднороден полученный из нее слиток.

Эти неоднородности, как мы знаем, не уничтожаются в обычных условиях производства и, несмотря на ковку, прокатку, отжиг и т. д., они сохраняются в стали до последних стадий ее производства, и когда такая неоднородная сталь поступает в термообработку, последняя не в состоянии радикально излечить зараженные примесями ее области пусть обычно микроскопических размеров, но в общей своей сумме занимающие большой процент общего объема. Стали, обогащенные примесями, при закалке будут вести себя, как стали другого состава, чем общий средний состав нашего образца. Области, обедненные примесями, будут вести себя иначе, и, несмотря на то, что первые и последние тесно между собой перемешаны, влияние термообработки как на те, так и другие, будет различно.

Для уяснения вышесказанного возьмем например неоднородную углеродистую сталь. В такой стали будут иметь место микроскопические области, содержание углерода в которых будет значительно превосходить цифру, характеризующую общее среднее его содержание. При закалке в этих областях легче образуется закалочный аустенит, чем если бы сталь была вполне однородна. Другой пример, когда сталь недостаточно плотна. Образец наш например вырезан из ликвационной зоны. Что может сделать с ним небольшой нагрев при закалке и отпуске, если сильнейший жар, соединенный с механическими усилиямиковки, не смог заварить ликвационной рыхлости?

Итак лишь в том случае можем мы говорить о надежных результатах термообработки, когда сталь чиста и однородна. Но идеалов в природе не существует. Сам процесс производства стали вносит, как мы видели, пороки, и поэтому всегда приходится рассчитывать на известное их развитие, допустимое, если оно не превосходит известных пределов.

А коль скоро приходится допускать пороки стали, вопрос о точной зависимости механических свойств ее от термообработки сильно затрудняется. Приходится оперировать лишь с некоторыми средними цифрами, почерпнутыми из наблюдения за массовым производством, и заботиться лишь о выполнении необходимого минимума. И на все наши вышеприведенные выводы, составленные на основании массового наблюдения различных исследователей повседневного опыта заводов, необходимо смотреть именно как на такие средние выводы, в единичном случае могущие не оправдаться, и если например мы говорили, что сталь после медленного охлаждения, после отпуска бывает хрупка, то на практике могут встретиться случаи, когда даже очень медленный отпуск лишь немного повысит хрупкость, или например если мы указали, что цитовая кремнехромоникелевая сталь после отпуска при 500° обычно очень хрупка, то это лишь общее правило, тоже допускающее исключения.

Все вышеизложенное должно привести нас к выводу, что термическая обработка, в сущности говоря, лишь проявляет скрытые свойства стали, создать же их не может. Максимум, что она может дать,— это лишь, несколько сглаживая «первородные» пороки металла, ослабить их влияние. Таков действительный смысл термической обработки.

Возвращаясь снова к отпуску сталей, к этой последней и наиболее важной операции, операции окончательно придающей стали нужные ей свойства, сделаем несколько замечаний по вопросам техники производства этой операции.

Сильно напряженная структура закаленного металла в громадном большинстве случаев требует немедленного отпуска. В особенности справедливо это

для инструмента, так как иногда хорошо закаленная твердая инструментальная сталь после непродолжительного лежания, в особенности если в цеху холодно, иногда внезапно дает трещины и ломается.

Так например, на рис. 62 приведен снимок с процековки, применяемой для расточки отверстия под потайную заклепку, с отлетевшим коническим концом. Она была закалена в холодной воде и оставлена на некоторое время без отпуска. Когда взяли ее отпускать, то обнаружили, что конический носик ее отвалился, как это показано на рисунке.

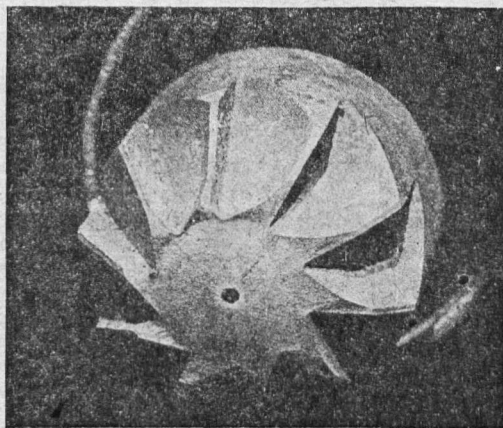


Рис. 62. Процековка с отлетевшим через некоторое время после закалки кончиком.

Эта процековка имела недостаточно хорошую микроструктуру, связанную с ошибками, происшедшими при отжиге заготовки. Последняя характеризовалась наличием крупных карбидов и частично карбидной сетки. При закалке карбиды не перешли в твердый раствор, а лишь науглеродили окружающий их металл.

Получилась неоднородная по содержанию углерода сталь и связанные с этим внутренние напряжения, вызвавшие в окончательном итоге излом прокатки. Если бы отпуск был совершен своевременно, то можно было бы вовремя уничтожить напряжения и спасти изделие.

Как выше было указано, отпуск производят при различных температурах, начиная с самых низких; чем ниже температура, тем медленнее превращения испытываемые сталью. Это общее правило, и оно в полной мере оправдывается в нашем случае. Поэтому совершенно безразлично, сколько времени выдерживается сталь при температуре отпуска. И это особенно верно, если отпуск преследует цель освободить сталь от напряжений. Поэтому всегда необходима достаточно продолжительная выдержка, тем более продолжительная, чем ниже температура отпуска. Если например при отпуске $600-650^{\circ}$ обычно достаточно продержать изделие 10—20 минут, после того, когда оно прогреется, при отпуске при 400° необходимо продержать изделие не менее часа, а если температура еще ниже, то и несколько часов. Мы видели выше, что с целью полностью уничтожить внутренние напряжения в стали недеформирующейся рекомендуют эту выдержку затягивать на несколько суток, правда, производя нагрев изделия лишь до температуры кипения воды.

Иногда с целью уменьшить продолжительность выдержки при отпуске производят закалку изделия не до полного охлаждения.

Так например в Америке практикуется способ закалки быстрорежущей стали с охлаждением ее в кипящем масле или расплавленной соли, нагретой не ниже 160° . После такой закалки, не дав изделию полностью охладиться, его переносят в печь для отпуска, где выдерживают при 600° несколько часов. По мнению американцев такой метод весьма сильно повышает качество стали и следовательно, оправдывается практикой.

Повышая температуру расплавленной соли закалочной ванны до температуры последующего отпуска, можно совершенно избавиться от необходимости производить отдельно эту операцию. Во многих случаях такой метод работы оправдывается, но все же повидимому двойная термообработка дает лучшие результаты.

На этом заканчиваем главу об отпуске сталей. Дальше, в главе пятнадцатой, мы приводим диаграммы, связывающие механические свойства с температурой и условиями закалки и отпуска наиболее характерных сталей. Эти диаграммы служат необходимым цифровым дополнением к этой главе.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛЕЙ

Термин «цементация» уже встречался нам несколько раз в нашей книге. Вскользь упоминалось, что цементация заключается в искусственном поверхностном науглероживании стали, производимом с целью создать на поверхности изделия твердую износостойкую корку.

В настоящей главе мы познакомимся с процессом цементации подробнее.

В кратких словах, процесс цементации заключается в длительном, многочасовом нагреве при высоких температурах изделия в ящике, заполненном древесным углем, смешанным с некоторыми солями, выделяющими при нагреве с углем окись углерода. Окись углерода при соприкосновении с металлом разлагается на уголекислоту и свободный углерод. Последний поглощается металлом и, медленно диффундируя вглубь его, создает науглероженную корку.

Необходимость длительного выдерживания при высоких температурах предъявляет некоторые особые требования к стали, подвергаемой цементации. Из предыдущего нам известно, что длительная выдержка при достаточно высокой температуре сопровождается ростом зерна стали. А крупнозернистая сталь хрупка. Поэтому для цементации оказывается пригодной только такая сталь, которая даже при развитии достаточно крупного зерна все же не делается хрупкой. Такими свойствами обладает малоуглеродистая сталь с содержанием углерода не более 0,17%, и, чем меньше, тем лучше. Но, чем меньше углерода, тем ниже предел упругости стали. Поэтому часто повышают его содержание доводя, максимум, до 0,20—0,22%. Но это уже сопровождается часто появлением хрупкости, которую необходимо уничтожить специальными методами термообработки. Кроме углерода на хрупкость такой перегретой стали влияет марганец и особенно сильно фосфор. Поэтому содержание и того, и другого не следует допускать, первого выше 0,6%, второго — 0,045%. Эти цифры безусловно необходимо соблюдать, если процесс цементации ведется по вышеописанной схеме. В тех случаях, когда производится ускоренный процесс цементации в ванне с расплавленной солью (цианистый натрий, железосинеродистый калий, сода в смеси с мелко размолотым графитом и т. д.), продолжительность выдержки можно сократить, следовательно уменьшить степень нагрева, и параллельно этому повысить содержание углерода, марганца и других примесей.

Что касается других примесей, вводимых для придания высоких механических качеств сердечнику цементованного изделия, то практически влияние их невелико и легко учитывается при проведении процесса.

Обычно таким образом вводят никель, хром, ванадий и молибден. В нижеследующей таблице приведены наиболее часто применяемые для цементации стали:

ТАБЛИЦА 22.
Стали, применяемые для цементации.

Наименование	Углерод	Марганец	Хром	Никель	Ванадий	Молибден
	п р о ц е н т ы					
Углеродистая . .	0,1—0,17	0,3—0,6	—	—	—	—
3½% никелевая .	0,1—0,17	0,3—0,6	—	3,3—3,8	—	—
5% никелевая . .	0,1—0,17	0,3—0,6	—	4,5—5,3	—	—
Малолегированная хромоникеле- вая	0,1—0,2	0,3—0,6	0,45—0,75	1,0—1,5	—	—

Продолжение таблицы 22

Наименование	Углерод	Марганец	Хром	Никель	Ванадий	Молибден
проценты						
Средне легированная хром-никелевая	0,1—0,2	0,3—0,6	0,9—1,25	1,5—2,0	—	—
Высоколегированная хромоникелевая	0,1—0,17	0,3—0,6	0,7—1,1	3,5—3,9	—	—
То же	0,1—0,17	0,3—0,6	1,2—1,7	3,5—3,8	—	—
Хромистая	0,1—0,2	0,5—0,8	0,9—1,1	—	—	—
Хромованадиевая	0,1—0,2	0,5—0,8	0,9—1,1	—	0,15—0,2	—
Никельмолибденовая	0,1—0,2	0,3—0,5	—	1,25—1,75	—	0,2—0,3

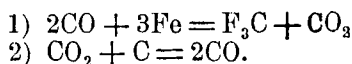
Из этой таблицы мы видим, что для цементации применяется большое разнообразие разных сортов сталей и, как мы увидим ниже, это большое разнообразие не сопровождается подобным же разнообразием методов цементации. Это показывает, что влияние дополнительных элементов на процесс цементации имеет второстепенное значение. Но влияние их на прочность сердечника и самого цементированного слоя весьма велико. Это дает возможность в зависимости от требования конструкции и возможностей получения на рынке подобрать сталь наиболее подходящего состава, лишь были бы выдержаны пределы содержания углерода и других примесей, и сталь обладала всеми признаками высококачественной стали.

Термический цех должен справиться с цементацией и термообработкой такой стали. Поэтому, изучая этот процесс, нам необходимо познакомиться, хотя бы коротко с теоретическими его основами. Этим и займемся в начале главы.

Всякий достаточно высокий нагрев стали в атмосфере могущих реагировать с железом газов сопровождается воздействием этих газов на ее поверхность. Если эти газы содержат в избытке кислород (в виде атмосферного воздуха, уголекислоты и т. д.), то последний, реагируя с металлом, образует на поверхности окалину и кроме того создает, как мы знаем, поверхностный обезуглероженный слой. Если газы содержат например пары аммиака, то окалины уже не образуется (в отсутствие конечно кислорода), но реакция с металлом все равно возникает. В результате этой реакции поверхность металла воспринимает азот. Происходит процесс так называемой нитрации, сопровождающийся весьма сильным повышением твердости. Этот процесс, введенный в практику несколько лет назад, привлекает к себе внимание промышленности ввиду той чрезвычайно высокой износостойкости, которой обладает нитрованная поверхность.

Если атмосфера, окружающая нагреваемую сталь, содержит в избытке окись углерода, метан, этилен или какие-нибудь другие углеводородные газы, она производит при длительном нагреве поверхностное науглероживание стали, иными словами на общепринятом цеховом языке — цементацию.

С химической стороны процесс цементации определяется следующими реакциями:



Получившаяся по второму уравнению окись углерода вновь реагирует с железом, и процесс идет непрерывно. Следует заметить, что если привести уголь в непосредственное соприкосновение с железом, то в отсутствии газов цементации не произойдет. Следовательно газовая фаза служит переносчиком углерода. Для успешного ее действия таким образом необходим, с одной стороны, соответствующий ее состав, с другой, — возможность хорошей циркуляции газов между углем и цементуемым изделием.

Влияние состава газовой смеси изучал Джиолитти. Он производил опыты цементации чистыми газами и затем, снимая тонкие слои металла и анализируя их, получил весьма интересные данные, характеризующие влияние различных факторов цементации.

Результаты его опытов сведены в табл. 23.

ТАБЛИЦА 23.

Влияние состава газовой смеси при цементации на количество поглощенного (углерода Джиолитти).

Состав газовой смеси.	Чистая окись углерода	Чистый этилен	Чистый этилен.	Смесь окиси углерода и 3,1% этилена
	проценты			
Температура ° Ц	1 100°	1 000°	1 050°	1 000°
Продолжительность процесса	10 часов	5 часов	4 часа	4 часа
Количество поглощенного углерода на глубине: $\left\{ \begin{array}{l} 0,0 \text{ мм} \\ 0,5 \text{ »} \\ 1,0 \text{ »} \\ 1,5 \text{ »} \\ 2,0 \text{ »} \\ 2,5 \text{ »} \\ 3,0 \text{ »} \end{array} \right.$	0,32 0,28 0,24 0,19 0,15 0,12 0,09	1,33 1,08 0,65 0,35 0,15 0,00 0,00	1,38 1,32 1,28 0,89 0,65 0,35 0,15	0,80 0,67 0,56 0,45 0,33 — —

Эти опыты дают нам следующие указания. Чистая окись углерода производит относительно слабую цементацию. У Джиолитти десятичасовая выдержка при температуре 1 100°, температуре на практике недопустимой, все же вызвала образование лишь слабонауглероженного, глубокого цементованного слоя, с максимальным содержанием у поверхности всего лишь 0,32% углерода.

Угледородороды (в данном случае этилен), наоборот, вызывают весьма энергичную цементацию. Вдвое более короткая выдержка и более низкая температура сообщили очень энергичную цементацию, доведя поверхностное содержание углерода до 1,33%. Некоторое повышение

температуры, несмотря на сокращение продолжительности выдержки, сопровождалось еще более энергичной цементацией. Следовательно углеводороды вызывают весьма интенсивную цементацию.

Составив смесь из окиси углерода и углеводородов, исследователь получил смесь, дающую при умеренной температуре и выдержке достаточно глубокую и достаточно науглероженную зону.

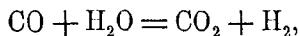
Следует остановиться на вопросе: какое количество углерода надлежит вводить в поверхностные слои, чтобы получить максимальную их износоупорность. Практика показывает, что существуют определенные пределы содержания углерода. Эти пределы приблизительно 0,8—0,9%. При более низком содержании углерода поверхностный слой получается слишком мягкий и легко снимается; при большем содержании в слое образуются свободные карбидные включения, легко выкрашивающиеся из слоя. Выкрашиваясь, они, обладая твердостью корунда, в виде пыли остаются на поверхности, смешиваются со смазочным маслом и истирают поверхность, подобно наждаку. Поэтому хорошая цементация характеризуется максимальным науглероживанием, но полным отсутствием свободных карбидов. Это достигается с одной стороны, правильным подбором цементационного порошка, с другой, — соответствующей термической обработкой.

Практика выработала ряд рецептов таких порошков. Эти рецепты многими хранятся в секрете и неграмотные мастера часто подмешивают в порошки самые разнообразные примеси, приписывая им особые благодетельные действия. Фактически все это не так важно, и часто порошки самого сложного и самого секретного состава ничем не отличаются от обычных, общепринятых. Поэтому можно смело рекомендовать ограничиваться лишь теми составами, которые хорошо проверены в цехах, достаточно дешевы и экономны.

Как мы видели, для успешного проведения процесса цементации, порошок должен при своем нагреве создать атмосферу газов, содержащую достаточное количество окиси углерода и некоторое количество углеводородов.

Древесный уголь при своем прокаливании при малом доступе воздуха выделяет наравне с окисью углерода и углеводороды и поэтому может служить сам по себе цементующим средством. Но ввиду того, что главным источником газов угля является все же воздух, сгорающий в присутствии избытка угля в окись углерода, смешанную с азотом, газовая смесь, создаваемая углем, оказывается сильно разбавленной нереагирующим азотом.

Более того, необходимый для сгорания угля воздух окисляет и углеводороды, уменьшая их количество и давая водяной пар. Последний, реагируя с окисью углерода по реакции:



дает уголекислоту, являющуюся при температурах цементации окислителем. В результате часто при прокаливании изделий в угольном порошке вместо цементации получается как раз обратное — поверхностное обезуглероживание металла.

Но если этого и не произойдет, то сильно разбавленная инертным азотом атмосфера цементовочного ящика оказывается плохим карбюризатором, действующим слабо и неравномерно. Необходимо добавить к углю другой источник газов. Таковым являются органические соеди-

нения: рои, кожа, копыта, волос и т. д. Эти материалы, истертые в порошок, при прокаливании дают большое количество углеводородов, насыщающих атмосферу ящика и таким образом улучшающих и усиливающих процесс. Органические материалы вводятся в количестве до 30% в цементующую смесь. Они создают весьма интенсивную цементацию, связанную с большим количеством углеводородов в газе. Эти смеси применяются в тех случаях, когда необходимо получить очень высокую твердость поверхности. В тех случаях, когда на первом месте стоит вопрос о сопротивлении истиранию, в особенности деталей, работающих во втулках, столь высокая твердость оказывается не только не полезной, но даже и вредной. Недостатком ее являются присутствующие в слое карбиды железа, как мы знаем уже, легко выкрашивающиеся. Поэтому цементация таких изделий требует менее интенсивно действующих порошков. Таковыми являются порошки, заключающие в себе углекислые соли бария, натрия (сода) или калия (поташ). Эти углекислые соли разлагаются твердым углеродом, давая окись соответствующего металла и окись углерода. Последняя, смешиваясь с углеводородами, получающимися из угля, дает хорошую цементующую атмосферу, реагирующую не слишком интенсивно, но достаточно быстро.

Количество этих солей повидимому не играет заметной роли. Чем аккуратнее отсеян порошок, чем равномернее его зерно, чем лучше перемешивание, тем меньше требуется солей. Нольтон, изучая влияние количества соли, нашел, что уже при 9% соли получается хорошая цементующая смесь, если порошок приготовлен идеально. Практически однако такое количество оказывается все же недостаточным. Трудность вполне равномерного смешивания соли с углем вызывает неравномерную цементацию. Поэтому обычно вводят 25—30 и даже до 40% солей.

Приведем несколько подобных рецептов:

1) Древесного угля	60%
Углекислого бария	40%
2) Древесного угля	70%
Соды	10%
Поташа	10%
Углекислого бария	10%
3) Древесного угля	70%
Соды	6%
Толченого известняка	6%
Углекислого бария	18%

и т. д.

Кроме углекислых солей часто вводятся ферроцианиды калия и натрия, цианистые соли и т. д. Не будем останавливаться на изучении их, так как действия их близки, и в конце концов получение хорошего цементационного слоя, завися конечно от состава порошка, все же регулируется главным образом другими факторами.

Цементационный порошок расходуется при цементации, поэтому всегда необходимо подбавлять к работавшей смеси нового, обычно, примерно к 2 частям старого порошка примешивают 1 часть нового. Однако лучше пользоваться не этим, довольно плохо обоснованным правилом, а вводить добавочный порошок на основании химического исследования порошка, отработавшего. При этом вовсе не следует производить полный анализ порошка, дорогой и хлопотливый. Можно

сделать проще. Отвесив несколько грамм порошка, погрузить навеску в сосуд с раствором серной кислоты. Кислота, реагируя с солями, дает углекислый газ, измеряя объем которого легко узнать количество солей, содержащихся в порошке. Тогда-то прибавляя новый порошок, можно совершенно точно восстановить состав и тем регенерировать старый. Такая практика ведет к значительной экономии солей и потому может смело рекомендоваться.

В начале этой главы мы говорили, что порошок должен быть хорошо проницаем для газов. Это достигается применением крупного, отсеянного от мелочи древесного угля. Обычно наилучшим считается порошок угля с величиной крупинок 5—6 мм. Американцы применяют часто более крупный уголь, иногда заменяя его коксом, доводя размер крупинок до 15—20 мм в поперечнике. При такой величине зерна продолжительность службы порошка увеличивается, но приходится прибегать к специальным приемам для получения удовлетворительной смеси угля с солями.

Для проведения процесса цементации изделия закладываются в цементовочные ящики, наполненные порошком. Ящики эти делаются сваренные из железных листов или жароупорных сплавов.

Размеры ящиков должны допускать свободное размещение в них цементуемых изделий. Но следует остерегаться применения слишком больших ящиков. Прогрев их затруднителен, и тогда изделия, лежащие ближе к стенкам ящиков, лучше прогреваются и нацементовываются сильнее, чем внутренние. Поэтому лучше делать ящики уже. Ширина ящика должна быть достаточной, чтобы между уложенными в него изделиями и боковой стенкой был промежуток в 40—50 мм, заполненный порошком. Порядок укладки изделий зависит от их характера. Крупные изделия простой формы укладываются в ящики легко, изделия сложной формы иногда бывает очень трудно уложить так, чтобы не вызвать коробления их и дать им возможность зацементоваться равномерно. Так длинные стержни лучше помещать в ящики вертикально. Иначе они легко могут прогнуться и это потребует в дальнейшем правки их. Шестерни и тому подобные круглые дисковые предметы лучше закладывать в круглые ящики или трубы с тем, чтобы цементуемая боковая поверхность, например зубья шестерен, находилась бы вся в одинаковых условиях. Цементуя головки болтов, лучше последние располагать горизонтально в ряд, головками наружу. В середину ящика засыпается старый порошок, а к стенкам новый, действующий энергичнее. Тогда головки нацементовываются сильнее стebelьков, что и требуется. Если же требуется равномерная цементация по всей длине, поступают обратно: старый, действующий менее интенсивно порошок кладут к краям, где прогрев идет скорее, а новый — в середину.

Укладывать изделия необходимо неплотно, оставляя зазоры между ними 20—40 мм. Чем массивнее цементуемые изделия, тем свободное пространство между ними должно быть больше. Необходимо следить за тем, чтобы изделия ни в коем случае не касались друг друга.

Как первый слой порошка, так и все последующие должны быть немного утрамбованы, чтобы при выгорании порошка не образовалось пространств. Но при этом необходимо следить, чтобы сохранилась достаточная проницаемость порошка для циркулирующих в ящике газов.

Когда уложен первый ряд изделий, его покрывают новым слоем порошка толщиной в 30—50 мм. На него укладывают второй ряд

изделий, затем следующий слой порошка и т. д., пока ящик не будет заполнен доверху. Верхний слой порошка лучше делать несколько толще. Когда ящик заполнен, его закрывают крышкой и замазывают глиной все отверстия. В крышке ящика иногда делают отверстия, в которые вставляются железные прутки, служащие для контроля процесса цементации. Собранный таким образом ящик готов для цементации.

В печь вводится обычно несколько ящиков. Они устанавливаются на поду неплотно, с зазорами между ними для хорошей циркуляции нагревающих их печных газов.

Если под печи гладкий необходимо устанавливать ящики на кирпичах, с тем, чтобы было обеспечено омывание дна ящиков и тем самым лучшее прогревание его. Для этой цели дно ящика делают

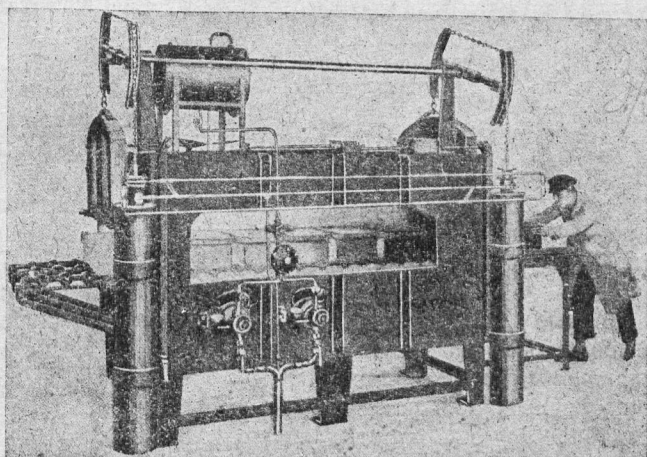


Рис. 63. Методическая печь для цементации.

иногда не плоским, а снабжают ножками. Ящики вводятся в печь, где устанавливаются, как было сказано, на некотором расстоянии друг от друга и от стенок печи. Все это делается, как само собою понятно, для лучшего прогревания изделий.

Иногда применяются для цементации печи конвейерного типа или печи методические. Последние должны быть снабжены приспособлениями для передвижения ящиков вдоль печи. Примером конструкции подобной печи служит нефтяная печь, изображенная на рис. 63.

Печь эта содержит на поду ролики из жароупорного сплава, на котором движутся цементовочные ящики. Нагрев печи неравномерный. Один ее конец нагрет до высокой температуры, другой — более холодный. Ящики вводятся в печь с более холодного конца и проталкиваются у маленьких печей от руки, а у больших — специальным толкателем через печь. С другого конца они выходят нагретые до температуры цементации после соответствующей выдержки.

Иногда применяются для цементации печи с подвижным подом. На рис. 64 изображена подобная небольшая печь, построенная по проекту профессора В. Е. Грум-Гржимайло. Удобство этой печи

то, что она, снабженная двойным подом, работает фактически непрерывно. Когда одна половина пода введена в печь, другая половина разгружается после только что оконченной цементации и затем загружается новой партией ящиков. Затем через определенный промежуток времени, вводится эта вторая половина пода, и процесс таким образом повторяется. Необходимо заметить, что при работе на печи подобного типа есть опасность слишком быстрого и следовательно неравномерного прогрева цементовочных ящиков. Для избежания этого необходимо,

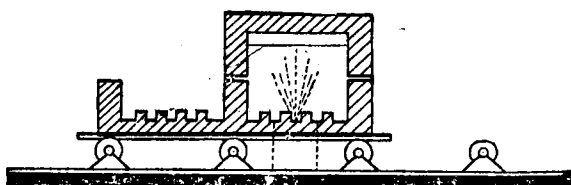


Рис. 64. Печь для цементации с выдвижным подом, сист. В. Е. Грум-Гржимайло.

расстоянии друг от друга (100—150 мм), обязательно и здесь.

Третий тип печей: это обычно небольшие печи обычной конструкции. На рис. 65 приведен пример такой печи (конструкции проф. В. Е. Грум-Гржимайло). Это — обычная печь с дровяной топкой уже знакомой нам конструкции.

Кроме того для цементации применяются печи электрические, особенно удобные автоматичностью регулировки температуры. Их делают разнообразных конструкций: с неподвижным подом, коридорные, конвейерные, кольцевые и т. д. Подробнее о них будет сказано ниже.

Итак ящики, заполненные цементовочной массой и изделиями, погружены в печь и начинают медленно прогреваться. Чем медленнее ведется нагревание, тем равномернее прогреваются ящики и следовательно тем равномернее нацементовываются изделия. Когда температура достигает 700° , сталь изделий претерпевает аллотропические превращения. Небольшие количества перлита переходят в аустенит. В этот момент лучше несколько ускорить нагрев, так как может начаться слабая цементация стали и ввиду того, что сложенная из смеси феррита и аустенита сталь неоднородна, процесс цементации тоже не будет однородным и эта неоднородность в дальнейшем может сохраниться.

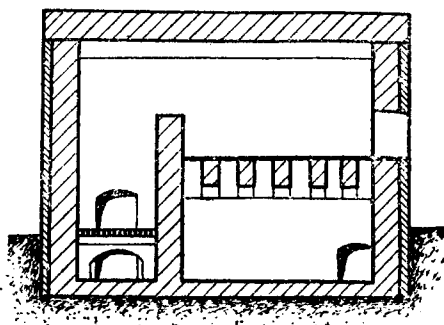
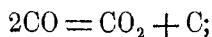


Рис. 65. Обычная печь для цементации.

По мере подъема температуры площадь, занятая аустенитом увеличивается, и параллельно этому увеличивается и способность стали воспринимать углерод, нацементовываться.

Что происходит в этот момент с горошком? Когда температуры еще невысоки, начинается слабый процесс сгорания окиси углерода

вначале в уголекислоту, так как окись углерода при температурах 400—600° неустойчива и разлагается по так называемой реакции Беля:



затем уголекислота реагируя с углем по той же реакции, но при высоких температурах идущей в обратном направлении, начинает переходить в окись углерода. Одновременно происходит выделение некоторого количества углеводородов. Если уголь плохо пережжен, углеводороды выделяются раньше и тогда, реагируя с кислородом воздуха и уголекислотой, легко дают вредные для процесса цементации пары воды. Поэтому для цементации необходимо применять хорошо пережженный уголь.

Различные породы деревьев дают различный по своим механическим качествам уголь. Надо выбирать те породы, уголь которых достаточно прочен и не склонен рассыпаться в порошок. Такими углями являются ореховый или отчасти березовый. Сосновый уголь сильно пережженный слишком слаб и потому не годится.

При низких температурах соли, примешанные к порошку, почти не реагируют и потому цементация идет слабо. Моментом начала действия солей является момент их расплавления. Расплавленная соль, впитываемая углем, плотно соприкасается с последним и реакция сильно облегчается. Этот момент обозначается резким появлением цементовочного слоя. Температуры плавления солей мало изучены, поэтому затруднительно привести необходимые данные, но практика показывает, что обычно явственный процесс начинается при 800—820°. Повидимому примерно при этих температурах и происходит плавление солей и связанное с этим резкое изменение состава газовой атмосферы ящика. Обычно в ящике давление несколько повышается. Поэтому, чтобы удержать газы, рекомендуется плотно закрывать его непроницаемой для них крышкой. Насколько это удается на практике сказать трудно, но необходимо к этому стремиться. Когда температура внутри ящика достигнет верхней критической точки, весь объем стали становится аустенитовым, и цементация дальше может идти равномерно легко. Однако, если сталь нечиста и содержит шлаковые включения (окисидные или сернистые), углерод, диффундируя в толщу металла и соприкасаясь с ними, может реагировать с окислами железа, восстанавливая их, а сам окисляясь. В результате получается все-таки неравномерная «пятнистая» цементация. В особенности плохо цементуются недостаточно раскисленные стали, содержащие закись железа в виде субмикроскопических включений, весьма мелких и потому обладающих очень большой поверхностью, вдоль по которой свободно протекает эта реакция. Такие стали, называемые часто «абнормальными», совершенно непригодны для цементации и должны браковаться.

Для выявления их существует так называемая проба Эна, заключающаяся в цементации пробного образца стандартных размеров и, после зачистки цементованной поверхности шлифованной бумагой, травки ее в 5-процентном водном растворе азотной кислоты. Нормальная, пригодная для цементации сталь после травки примет равномерный светлосерый цвет, сталь же абнормальная будет пятнистая.

Поэтому для цементации необходима очень чистая, хорошо сваренная сталь. Но предположим, что наши изделия приготовлены из

весьма чистой стали. Тогда после перехода верхней критической точки они будут состоять из чистого аустенита, способного растворять углерод, количество последнего, которое таким образом может быть поглощено железом, определится по диаграмме плавкости по линии *SE* (см. рис. 20).

Линия эта наклонная и показывает, что чем выше температура, тем требуется большее количество углерода для насыщения стали. Однако при цементации никогда не удастся довести насыщение стали до пределов, отмечаемых этой линией. Происходит это потому, что, с одной стороны, чем больше углерода содержит поверхность стали, тем с меньшей энергией он поглощается дальше, и с другой, — мало углеродистый сердечник как бы отсасывает углерод из более науглероженных поверхностных слоев. Но чем выше температура, тем энергичнее, быстрее проникновение углерода, и при одинаковых продолжительностях процесса меньше разница между количеством углерода, поглощенным сталью, и тем количеством, которое требуется для ее насыщения при температурах более низких. Поэтому, удлиняя процесс при невысоких температурах, мы можем получить такое же сильное науглероживание, как и при непродолжительном процессе, но ведущемся при повышенной температуре. Итак температура и время выдержки — это два взаимно усиливающие фактора и от лица, ведущего процесс требуется правильное определение как того, так и другого. Скорость диффузии углерода внутрь сердечника повышается с повышением температуры, но значение этого фактора значительно меньше, чем увеличение скорости поглощения углерода. Поэтому при цементации при высоких температурах толщина слоя увеличивается в меньшей степени, чем степень науглероживания, и в результате последний воспринимает больший процент углерода. Это ведет к тому, что содержание углерода быстро достигает величин, соответствующих заэвтектоидной стали. При распадении твердого раствора образуется тогда свободный цементит, невыгодность получения которого уже нами отмечалась. Практически не следует поднимать температуру так высоко. Лучше вести процесс при более низких температурах, но более продолжительное время. Тогда количество углерода в поверхности будет увеличиваться медленно и процесс диффузии внутрь сердечника успеет развиваться настолько, что цементованный слой будет достаточно толст и не будет содержать свободного цементита. С этой точки зрения наивыгоднейшими будут температуры, на $40 - 50^\circ$ превосходящие температуры критических точек стали. Обычно это примерно $870 - 890^\circ$.

Из сказанного следует, что при цементации необходимо длительное и спокойное томление при точно контролируемых и выдерживаемых температурах.

Поэтому и печи для цементации должны давать хороший равномерный нагрев, мало меняющийся в течение выдерживания, так как согласно Джоули-Томпсона колебания температуры во время этой выдержки способствуют образованию свободного цементита.

Продолжительность выдерживания при цементации зависит от характера и толщины требуемой твердой корки. Если требуется очень высокая твердость, и образование свободного цементита не встречает возражений, то можно температуру поднять, и сократить продолжительность выдержки. В тех же случаях, когда требуется хорошая

износоустойчивая структура слоя, приходится для получения данной глубины слоя выдержку затягивать. Длительная выдержка при высоких температурах конечно отражается на механических свойствах сердечника изделия, так как способствует росту зерна стали, а последняя всегда связана с повышенной хрупкостью стали. Но высокая температура нагрева оказывается более вредным в этом смысле фактором, чем длительная выдержка при более умеренном нагреве. Гийе производил испытания на удар сердечников из цементованных при разных температурах образцов стали. Полученные им данные вполне подтверждают вышеизложенное и, ознакомившись с ними по нижеприведенной табл. 24, мы ясно представим себе картину развития хрупкости стали при ее нагреве при цементации. Гийе производил испытания стали, до цементации дававшей сопротивление удару 28 кгм/см^2 , после выдерживания ее в течение 8 часов при разных температурах. Вот, что было им получено.

ТАБЛИЦА 24

Влияние температуры процесса цементации на механические свойства сердечника изделия.

Температура процесса ° Ц	Сопротивление удару кгм/см^2
800	26
850	28
900	15
950	12
1 000	4
1 050	3
1 100	4

Обращает на себя внимание резкое падение сопротивления удару после нагрева до $1\,000^\circ$. Это резкое падение прочности объясняется не столько наличием каких-то значительных изменений в металле, а особенностями прибора для испытания на удар — копра Шарпи. Когда проба этого прибора состоит из мелкозернистого металла, излом получается волокнистый, с высокими показаниями сопротивления удару. По мере роста зерна излом становится смешанным: наряду с волокнистым строением на поверхности излома обнаруживаются области, обладающие кристаллическим изломом. Тогда цифры сопротивления удару падают. Они достигают минимума при чисто кристаллическом изломе. Но характер излома, несомненно связанный с размером зерна стали, зависит от формы надреза пробы Шарпи, а также и от некоторых других условий опыта. Поэтому, рассматривая эту таблицу, не следует делать вывода, что при $1\,000^\circ$ имеется какая-то особая «точка нагрева стали». Правильным будет вывод, что по мере поднятия температуры цементации зерно растет и постепенно достигает такой величины, при которой начинает развиваться склонность к транскристаллическому излому, свойственному хрупкой стали.

Обычно выдержка длится от 4 часов для мелких изделий и до 10—12 для более крупных. Лишь в тех случаях, когда требуется особо толстый цементационный слой, выдержку приходится затягивать дольше. Но эти случаи, вообще говоря, редки и в обычной практике не встречаются.

Примером длительной цементации может служить цементация брони по способу завода Крупна. Для толстой бортовой брони броненосцев требуется слой толщиной в несколько сантиметров. Его получают, цементуя броню в течение 80—100 и более часов.

Длительность процесса выдерживания при температуре цементации определяется обычно опытом. Однако, пользуясь вставленными в отвер-

стия крышки ящиков прутками стали, можно перед окончанием заданной выдержки проверить глубину полученной корки. Для этого вынимают эти прутки, закаливают их в воде или масле, в зависимости от их состава, и затем ломают. На поверхности излома хорошо виден цементационный слой и, измеряя его, можно судить о степени законченности процесса. Однако, в обычной практике заводов при установленном производстве такого контроля часто не требуется, и выдержку закалывают точно в назначенное время.

Для руководства приводим следующую таблицу, связывающую глубину слоя с температурой и продолжительностью выдержки, данную Американской ассоциацией деятелей по термической обработке.

ТАБЛИЦА 25

Влияние продолжительности выдержки при цементации на глубину слоя.

Глубина слоя мм Температура °C	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
	Продолжительность выдержки в часах							
870	3 ^{1/2}	7	10	13	16	19	22	25
900	3	6	8	10	12	14	16	18
930	2 ^{3/4}	5	6 ^{1/2}	8	9 ^{1/2}	11	12 ^{1/2}	14
955	2	4	5	6	7	8 ^{1/2}	11	11 ^{1/2}
980	1 ^{1/2}	3	4	5	6	7	8	9
1000	1	2	3	4	5	6	7	8

Закончив цементацию, изделия необходимо охладить. Здесь возможны три способа. Первый — это оставление ящика в печи до полного охлаждения; второй — вынимание ящика из печи и охлаждение его на воздухе; третий — вынимание изделий из цементовочного ящика и быстрое их охлаждение на воздухе или закалка.

Старая практика рекомендовала как наилучший первый способ, обосновывая это, как мы увидим ниже, неправильным теоретическим представлением, будто бы при медленном охлаждении получается более постепенный переход цементованного слоя к сердечнику и тем самым ослабляются внутренние натяжения между разнородными по составу слоями, возникающие при закалке. Однако за последнее время появились веские указания, свидетельствующие о принципиальной неправильности этой теории. Дело в том, что процесс диффузии углерода внутрь стали при медленном охлаждении не дает плавную кривую изменения состава слоев корки. Джолиитт, исследуя это явление, установил, что как раз плавная кривая изменения состава корки, изображенная на рис. 66, получается при немедленной закалке изделия прямо из цементовочного ящика (рис. 66). Проба же, закаленная по охлаждении до 750°, дает кривую, изображенную на рис. 67.

Сравнивая эти две кривые, мы замечаем поразительное явление миграции углерода с поверхностных слоев изделия в промежуточный слой на глубине в данном случае 0,6 мм и образование в этом месте максимальной его концентрации. Такой высоконауглероженный слой, будучи хрупок, делает связь между коркой и сердечником непрочной. В результате этого цементационный слой может легко отколоться от сердечника, и изделия будут испорчены.

Как объяснить это явление? Какие причины заставляют углерод так странно мигрировать своеобразной волной внутри стали вместо того, чтобы диффундировать равномерно, диффундировать так, как это предписывают законы физики? Повидимому аллотропические превращения стали играют здесь не последнюю роль, но вряд ли только их влиянием можно объяснить это явление. В чем однако истинная причина этого явления? До сих пор окончательного объяснения исследования не дали. Но все же факт многократно наблюдаемый, остается фактом и потому, во избежание легкого откалывания цементованного слоя от сердечника, необходимо избегать иногда удобного метода охлаждения после цементации в печи, и в тех случаях, когда служба изделия такова, что откалывание корки может иметь место, во всяком случае вынимать ящики из печи, предоставляя им остыть на воздухе. Еще лучше вынимать изделия из неостывших ящиков для еще более ускоренного охлаждения. Ниже, приводя различные стандартные методы цементации, принятые в Америке, мы встретимся с указанием метода охлаждения. И там часто будет попадаться «охлаждение в ящике». Чтобы не было

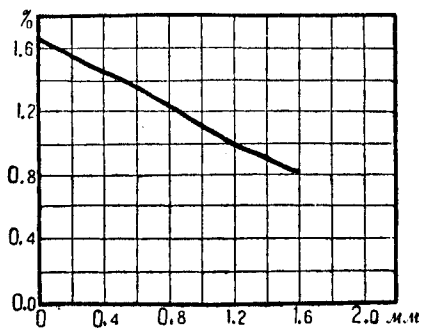


Рис. 66. Распределение углерода в цементованном слое изделия, закаленного прямо из цементовочного ящика (Джиолитти).

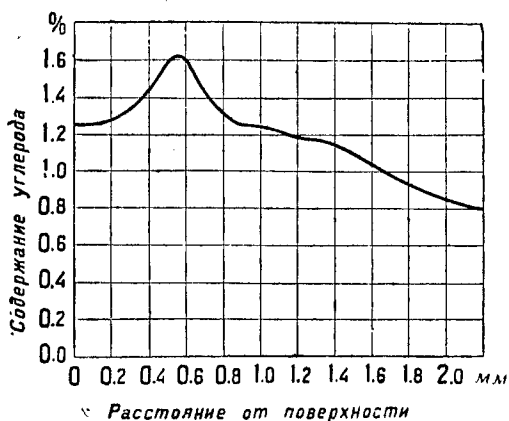


Рис. 67. Распределение углерода в изделии, закаленном при 750° Ц после цементации с медленным охлаждением в печи (Джиолитти).

увеличивается, и те небольшие количества перлита, которые в этой стали имеются, сосредоточиваются по его границам, создавая таким образом межкристаллическую хрупкость. Чтобы разбить крупное зерно, необходим нагрев выше критических точек, т. е. в данном случае 880—900°, а это как раз и есть температура цементации. Спрашивается, зачем охлаждать медленно изделие и затем вновь

недоразумения, отметим, что в этих случаях будет предполагаться охлаждение в ящиках в течение не более 5 часов до потемнения.

После цементации изделия подлежат термической обработке.

Наиболее простой метод — это непосредственная закалка из ящиков. Этот простой метод часто дает великолепные результаты, и совершенно поэтому неправильно мнение многих металлургов, что он устарел и непригоден.

Так например при цементации мягкого железа часто цементацию ведут с медленным охлаждением. В результате такой работы зерно стали сильно

нагревать, рискуя при повторном нагреве обезуглеродить только что нацементованную корку и тем аннулировать всю работу.

Однако поверхностный цементованный слой при такой закалке не выделит карбидов ни в нежелательной форме иголок или сетки, ни в виде опасных мелкокристаллических карбидов. Более того микроисследование показывает, что иногда образуется аустенитовая структура, (рис. 68) отличающаяся слабым сопротивлением изнашиванию в условиях работы при хорошей смазке.

Выше мы видели, что наличие аустенита в специальных аустенитовых сталях для болтов экскаваторных цепей обеспечивает и высокое

сопротивление истиранию. Там же было объяснено, что высокая стойкость аустенита проявляется лишь при чрезвычайно высоком удельном давлении на поверхность, создаваемом песком и гравием, попадающими между вкладышем и болтом цепи, вызывающими местное разложение аустенита с соответствующим его твердением и следовательно появлением свойств требуемых для хорошего сопротивления истиранию. При отсутствии столь высокого давления на поверхность аустенит может не разложиться, и следовательно слои не приобретут необходимых для развития износоупорности качеств. А последнее и имеет место во



Рис. 68 Аустенит в цементационном слое сильно перецементованном и закаленной хромоникелевой стали с 1% хрома и 4% никеля. Увел. в 100 раз.

всех тех случаях, когда деталь работает в условиях хорошей смазки, не допускающей необходимого для разложения аустенита высокого давления.

Поэтому аустенитовую структуру необходимо разрушить. Это достигается наилучшим образом вторичной закалкой при 740°. Тогда при нагреве избыточный цементит выделяется в виде чрезвычайно мелких крупинок, и оставшееся в твердом растворе количество углерода не может уже при столь низкой температуре дать аустенит, в результате получается более твердая, однородная и износоупорная структура поверхностного слоя. Что касается сердечника, то при второй термообработке конечно происходит его полный отпуск с образованием после нагрева смешанной ферритоаустенитовой структуры, которая при закалке переходит в смесь феррита и мартенсита. Но поскольку последнего образуется мало, и кроме того он оказывается разбросанным в виде мелких включений в основной ферритовой массе, влияние его сказывается лишь в незначительном понижении сопротивления удару по сравнению с отожженным железом.

Хромистые, хромоникелевые, и другие цементированные стали также не следует медленно охлаждать в печи. Правда, в данном случае бывает рациональным все-таки не ускорять охлаждение их, оставив их в вынутых из печи ящиках. Это необходимо в тех случаях, когда нужно после цементации произвести некоторую механическую обработку и следовательно сталь должна быть достаточно мягка. Кроме того при вынимании раскаленного изделия из ящика легко погнуть его или его может покоробить от неравномерного охлаждения. Все это часто бывает нежелательно для тех изделий (как например шестерен), правка коих после цементации затруднительна.

Такой медленный нагрев однако может вызвать миграцию углерода в корке с образованием неравномерного изменения состава корки и последующим легким отскакиванием слоя. Так как это явление особенно легко развивается, когда цементационный слой содержит избыток карбидов, необходимо принимать все меры, чтобы избежать этого и получить корку с максимальным содержанием углерода, не превосходящим 0,9—1,0%.

Длительный нагрев во время процесса отражается на свойствах сердечника и у специальных сталей, поэтому необходимо исправить его структуру. Это достигается двойной закалкой. Первую ведут при 840—850°, вторую при 760°. С теоретическим обоснованием такой работы мы уже познакомились в главе о закалке стали.

После медленного охлаждения, после цементации структура наружных слоев корки состоит из перлитовых зерен, окаймленных цементитовой сеткой (рис. 69). Чтобы уничтожить эту сетку, необходимо сталь нагреть до температуры растворения карбидов. Так как при цементации принимались меры к тому, чтобы содержание углерода в слое не было выше 1%, то достаточной температурой будет 850°. Тогда карбиды, перейдя в твердый раствор, удержатся в нем при закалке, и благодаря их избытку сталь приобретает невыгодную аустенитовую структуру. Для уничтожения ее и делается вторичная закалка при 760—780°.

Однако, если содержание углерода в корке превосходило допустимый предел, температура первой закалки может оказаться недостаточ-

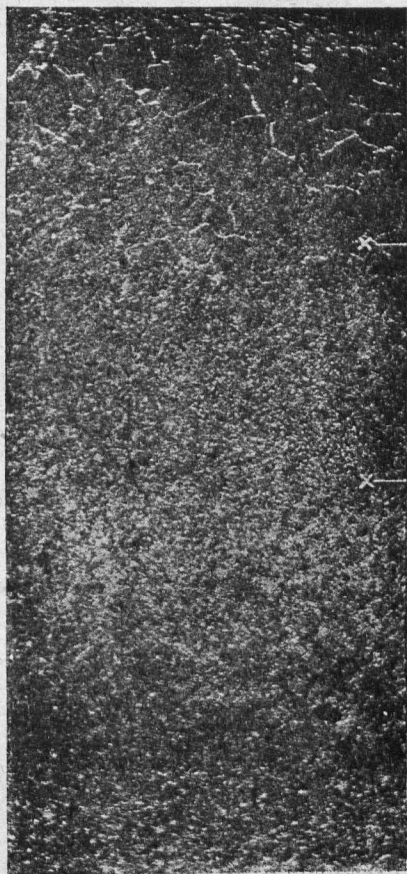


Рис. 69. Микроструктура поверхностного слоя нецементованной углеродистой стали с медленным охлаждением после цементации. Увелич. в 250 раз.

ной. Цементитная сетка не будет уничтожена и сохранится. Таким примером может служить микрофотография (рис. 70), где снят цементованный слой таким

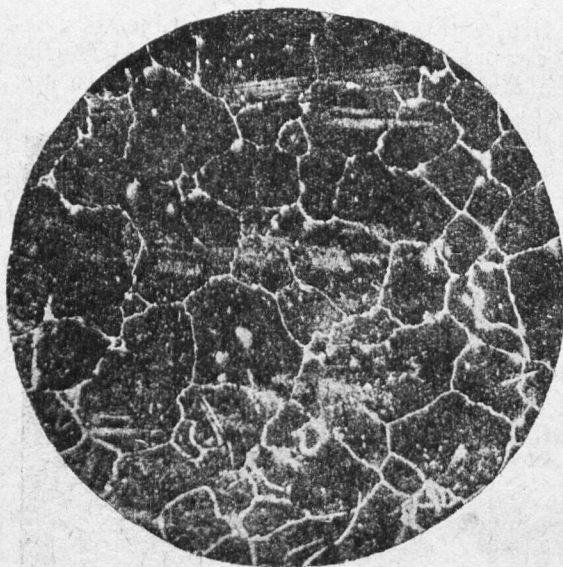


Рис. 70. Сетчатое распределение карбидов перемцементованной стали. Увел. в 100 раз.

метить однако, что при избытке карбидов некоторое выгорание углерода даже желательно. Нагрев изделие, его осторожно вынимают из печи или выдвигая под или же осторожно выдвигая изделие на шесток печи, где и дают ему охладиться. При такой термообработке карбиды во время нагрева переходят в твердый раствор, но при ускоренном охлаждении не успевают мигрировать к границам зерен и выделяются в виде мелких крупинок. Примером такой структуры может служить микрофотография (рис. 71).

Подвергая такую сталь даже двойной закалке, мы конечно не уничтожим карбидных вернышек, но ввиду их размельченности и равномерного распределения они не будут вредны для службы изделий.

Приведем еще несколько микрофотографий такой перемцементи-

образом обработанной стали. Для уничтожения такой сетки приходится нагревать сталь до более высоких температур. В некоторых случаях, когда необходимо избежать коробления изделий, такие высокие температуры заковки бывают нежелательны, так как, вынимая изделие из печи, легко его погнуть. Тогда приходится процесс заковки заменять нормализацией. Укладывая изделие на выдвигной подпечки или на гладкую подину, производят нагрев его, принимая меры предосторожности против чрезмерного окисления поверхности. Следует за-

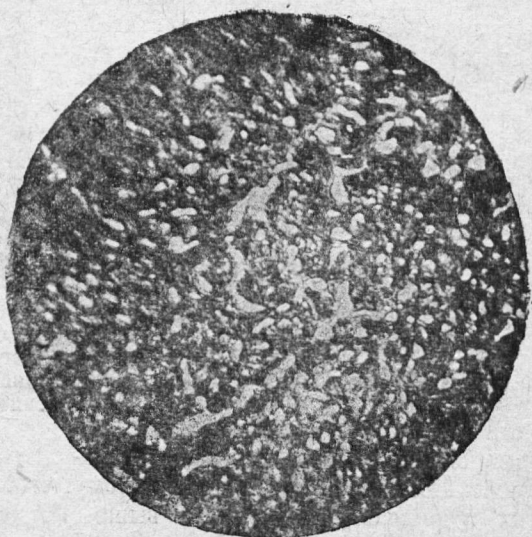


Рис. 71. Перемцементованная сталь после нормализации при 930°C . Поверхностный слой с раздробленными карбидами. Увел. в 1000 раз.

ванной стали. На рис. 72 приведена структура слоя перещеменированной и подвергнутой высокой закалке стали. Белая петля образована игольчатыми выделениями цемента. Снаружи этой петли видны мелкие, иногда треугольных очертаний, светлые структурные образования закалочного аустенита, погруженные в трооститовый фон.

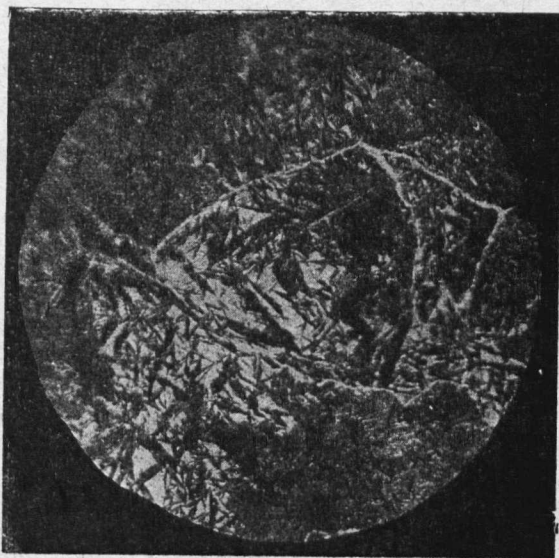


Рис. 72. Корка перещеменированной хромоникелевой стали после закалки при 840°C . Увел. в 500 раз.

На рис. 73 структура слоя сильно перещеменированной стали после обычной закалки. В данном случае с целью сэкономить работу на нагрев была произведена одинарная закалка при 780°C . Охлаждение после цементации было произведено неправильно — в печи. Иглы цемента совсем не растворились при закалке, сохранившись в самом опасном для службы изделия состоянии.

Эти примеры показывают, как трудно исправить микроструктуру корки, если изделие перещеменировано. А так

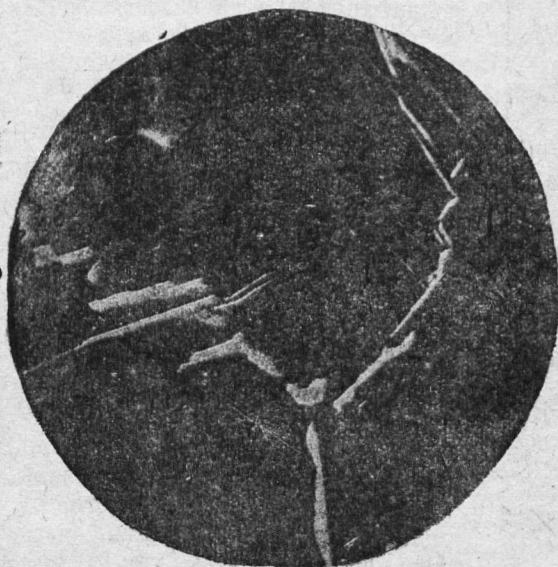


Рис. 73. Корка перещеменированной хромоникелевой стали после закалки при 780°C . Увел. в 375 раз.

как далеко не всегда можно наладить соответствующий микрографический контроль процесса цементации, опасность того, что подобные изделия не будут замечены своевременно контролем, велика и поэтому все внимание необходимо сосредоточить на том, чтобы во время производства цементации соблюдались все необходимые мероприятия, предупреждающие возможность перещеменирования изделия. Среди этих мероприятий главнейшими являются состав цементовочного порошка и правильно определенная, вы-

держанная и проконтролированная температура в ящике. Для наилучшего достижения этого безусловно необходим саморегистрирующий

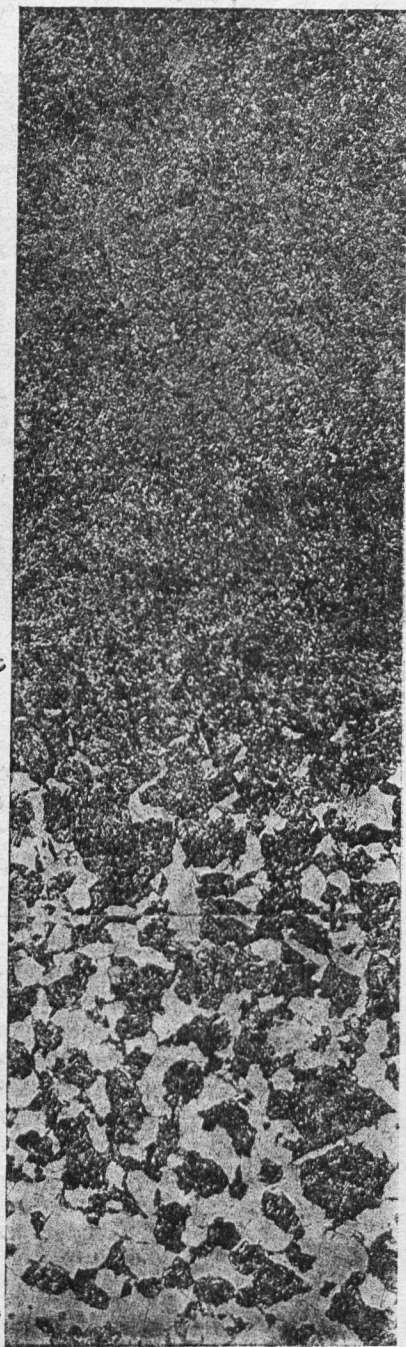


Рис. 74. Цементационный слой углеродистой стали. Увел. в 75 раз.

пирометр, точно фотографирующий все особенности нагрева печи.

Следует отметить, что для избежания возможности перецементации необходимо правильно задавать контрольные цифры твердости. Наилучшая структура корки, не содержащая свободного цементита и следовательно эвтектоидного состава (0,9% углерода) даст твердость по Шору около 75 единиц. Допуская содержание углерода до 1% и применяя двойную закалку, можно эту твердость поднять до 80—82 единиц Шора, а при особых предосторожностях, при закалке прямо из ящика, науглероживая еще выше, можно получить и до 85—87 единиц. Если желательна твердость стекла и вопросы истирания не играют роли, приходится задавать твердость 92—95 и даже выше. Но тогда изделие приходится сильно перецементовывать, мирясь с наличием в нем карбидных включений.

В этом случае особенно опасно натолкнуться на явление хрупкости и отскакивания цементной корки. Как с этим бороться нами уже освещено.

В некоторых случаях при использовании непригодного порошка или при плохой работе печи и при недостаточном нагреве ящиков бывает недоцементация изделий, обычно обнаруживающаяся по недостаточной твердости поверхностной корки после закалки. Этот недостаток при условии своевременного его обнаружения легко исправим путем повторной цементации изделия. При этом обычно используется старый порошок, лишь с небольшой добавкой нового, но ящик обязательно должен быть вновь упакован, так как в нем могут образоваться оседания порошка и прогары ввиду его разрыхленности после первой цементации. Высокие качества цементной корки определяются не только

твердостью и структурой, но и толщиной цементованного слоя. Поэтому необходимо научиться определять его. Простейшим способом измерения толщины слоя является измерение его на поверхности излома пробного образца или сломанного изделия. Однако при таком определении глубины цементованного слоя не учитывается один весьма важный фактор, а именно глубина, единственно ценного, твердого слоя. При изломе обнаруживается полная глубина проникновения углерода, включая сюда и промежуточные переходные зоны, которые играют лишь второстепенную роль, и если они сильно развиты, то может статься, что действительно ценная, твердая корка будет все же тонка, несмотря на большую общую глубину цементации.

Для более точного определения глубины твердого цементованного слоя познакомимся подробнее с микроструктурой всех слоев корки. Для этого рассмотрим микрофотографию (рис. 74), где приведен снимок при малом увеличении всего слоя.

Начнем сверху с наружной поверхности стали, где помещается наиболее науглероженная зона корки. На микрофотографии это хорошо видно. Сильно протравившиеся и окрасившиеся в черный цвет зерна окаймлены тонкой белой линией, как мы уже видели, сложенной из игольчатых, иногда искривленных кристаллов карбида железа. Чем больше углерода содержится в этом слое, тем толще эта белая сетка и тем прямолинейнее кристаллы карбида. При еще большем содержании углерода иглы карбидов размещаются уже не только в сетке. Они пронизывают зерно большей частью параллельным редким пучком, или пересекаются друг с другом под углами 120° . Такая структура явно свидетельствует о перегреве металла. Наоборот при меньших содержаниях углерода сетка становится тонкой, прерывистой. Тогда свободный карбид сосредоточивается большей частью в стыках нескольких зерен, образуя отдельные мелкие включения, тем более мелкие и редкие, чем содержание углерода в этой зоне ближе к эвтектоидному.

Если же слой первой зоны не содержит избыточного углерода против эвтектоидного, свободного цементита совсем не образуется и зона эта имеет равномерную неясно выраженную трооститовую структуру. Тогда она сливается со второй зоной, зоной эвтектоидного состава. Строение второй зоны такое же, как и строение внутренних областей зерен первой зоны. Отличительной особенностью ее является отсутствие даже намеков на мартенситовое строение, характеризующееся наличием, как мы знаем, более или менее светлых, обычно весьма мелких, различных только при больших увеличениях микроскопа иглах, имеющих тенденцию складываться в треугольники. В углеродистой стали эта зона легко отличима от третьей переходной зоны, так как в последней всегда присутствует феррит. В высоколегированных хромоникелевых сталях часто свободный феррит обнаруживается труднее, а окраска эвтектоидной зоны при нормальной травке получается несильная. Тогда границу перехода от второй к третьей зоне различить бывает трудно и только при внимательном рассмотрении строения шлифа можно находить эти мартенситовые образования.

Третья зона, переходная зона, имеет более неоднородную структуру. Почти сливаясь с эвтектоидной, она по мере удаления от своей наружной границы ввиду убывания содержания углерода все более и более приближается к структуре сердечника. Вначале это темные зерна, кое-где охваченные мелкими включениями феррита, за-

тем феррита становится больше, а троостита меньше. Последний светлеет, постепенно приобретая мартенситовое строение и, если процесс цементации велся правильно, структура третьей зоны незаметно переходит в структуру сердечника, обычно смешанную, мартенситоферритовую.

Совершенно ясно, что все три зоны имеют различную твердость. Первая, насыщенная карбидами, наиболее твердая. Зона эвтектоидная уже несколько мягче, но все же твердость ее еще высока. Третья, с ее переменным содержанием углерода, обладает тоже переменной, но невысокой твердостью. Отсюда видно, что интересными для нас являются лишь первые две зоны, и, если измерить их общую глубину, мы получим цифру по крайней мере на 40% меньшую, чем то, что получилось при измерении глубины слоя по данным излома пробного образца.

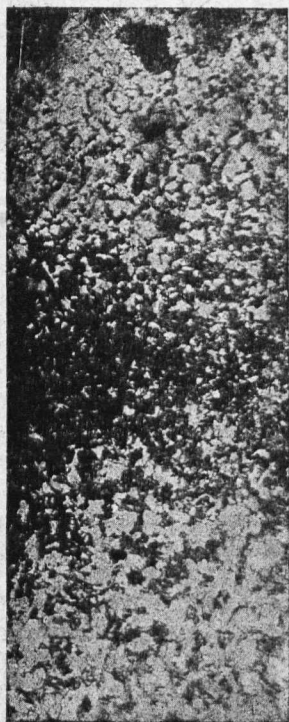


Рис. 75. «Абнормальный» цементованный слой мягкого железа. Увел. в 105 раз.

Поэтому-то и важно, желая узнать насколько практически удачно проведена цементация, измерить глубину слоя, пользуясь микроскопом и измеряя общую глубину лишь первых двух зон. Конечно далеко не всегда корка имеет подобную структуру. Во-первых, во всегда присутствует первая, карбидная зона. Ведь, как выше говорилось, всегда стремятся избавиться от нее ввиду ее вредного влияния на хрупкость изделия. Тогда слой имеет лишь две зоны — эвтектоидную и переходную. В этом случае изредка можно найти отдельные мелкие карбидные зерна у самой поверхности стали, но ввиду их малого количества их обычно не принимают во внимание и говорят, что карбидная зона отсутствует. Глубина эвтектоидной зоны так же может меняться, и чем она меньше, тем тоньше твердая корка и тем слабее цементация. Если корка слишком тонка, то приходится признавать, что изделие недоцементировано и производить повторную цементацию.

Но иногда структура слоя оказывается совершенно отличной от вышеописанной: цементитовые иглы первой зоны оказываются сильно изогнутыми и наряду с свободным цементитом встречаются слабо окрашиваемые места, иногда обладающие всеми признаками

феррита. Основная масса цементованной зоны тоже приобретает какое-то странное, неясное строение. Местами эта структура простирается вглубь, захватывая иногда и эвтектоидную и переходную зоны. Такая сталь после цементации не дает нужной твердости и поэтому совершенно непригодна для дела и подлежит забракованию. Она носит название ненормальной или, пользуясь английским произношением, «абнормальной» стали. Практика показывает, что многократная перецементация редко исправляет этот дефект, и поэтому, если подобный материал встретится, лучше с ним не возиться и переменить его назначение, израсходовав на изделие, не требующее цементации.

На рис. 75 приведена микрофотография такой «абнормальной» стали.

Из всего вышеизложенного мы видим, что варьируя процесс цементации, мы можем получить много разнообразных структур цементованной корки, обладающих различными свойствами. Когда корка содержит много свободных карбидов, она чрезвычайно тверда, но хрупка. Если корка содержит лишь немного карбидов или не содержит их совсем, будучи эвтектидного состава, она значительно мягче первой, но чрезвычайно износоупорна. Далее, чем толще цементационный слой, тем лучше противостоит он смятию, поэтому если взаимно трущиеся изделия имеют выпуклые поверхности, необходима более глубокая цементация, чем для изделий, работающих в охватывающих их втулках. Поэтому в зависимости от характера изделия приходится варьировать структуру и толщину корки, а следовательно подбирать наивыгоднейший метод цементации. Для лучшего и более наглядного руководства приведем выработанную Булленсом в его книге классификацию цементованных слоев и рекомендуемые им методы термообработки.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ

Группа А. Стали, цементуемые при температурах близких к их верхней критической точке.

Группа В. Стали, цементуемые при температурах, значительно превосходящих температуры их критических точек.

Класс 1. Максимальное содержание углерода в слое не должно превосходить 0,9%.

Класс 2. Максимальное содержание углерода в слое более 0,9%, но не более того содержания, какое определится по диаграмме плавкости (рис. 20) по линии *SE* при температуре *A_m*, равной температуре верхней критической точке сердечника стали *A_{c3}*.

Класс 3. Максимальное содержание углерода превышает предел указанный для класса 2.

Как группа А так и группа В сталей могут иметь конечно все три класса цементованных слоев. А так как степень перегрева при цементации сталей группы А будет значительно меньше, чем сталей группы В, термическая обработка тех и других сталей будет различна.

Булленс рекомендует нижеследующие термообработки:

Группа А.	Класс 1.	Термообработка I.
»	»	» 2
»	»	» 3
Группа В.	Класс 1	Термообработка I.
»	»	» 2
»	»	» 3

Под термообработками I, II, III и IV подразумеваются следующие операции:

Термообработка I.

- 1) Медленное охлаждение в ящиках, вынутых из печи.
- 2) Закалка при температуре немного превышающей нижнюю критическую точку *A_{c1}*, *A_{c2}*, *A_{c3}*, или при 760°.

Термообработка II.

- 1) Медленное охлаждение в ящиках, вынутых из печи.
- 2) Закалка при температуре слегка превышающей верхнюю критическую точку A_{c3} сердечника. В зависимости от содержания углерода в сердечнике она будет колебаться в пределах $830 - 900^\circ$.
- 3) Вторая закалка при температуре несколько превышающей температуру нижней критической точки A_{c1} , 2, 3, или около 760° .

Термообработка III.

- 1) Закалка прямо из ящика при температуре наиболее приближающейся к температуре цементации, но не ниже температуры верхней критической точки A_{c1} стали по своему составу, соответствующей цементованной корке изделий.

Точка A_{c1} будет в зависимости от содержания углерода в корке лежать: при 1,2% углерода при 900° , при 1,45% углерода при 985° . При больших содержаниях углерода все же не рекомендуется поднимать температуры закалики еще выше.

- 2) Двойная закалка как у термообработки II, пункты 2 и 3.

Термообработка IV.

- 1) Медленное охлаждение в ящиках, вынутых из печи.
- 2) Закалка при температурах, указанных в пункте 1 *термообработки III*.
- 3) Закалка при температурах близких к нижней критической точке A_{c1} , 2, 3, или при 760° .

Приведенные рецепты термообработок имеют в виду сообщить максимальное сопротивление истиранию при минимальной хрупкости корки и сердечника. Правда, некоторым исключением является *термообработка IV*, где с целью получить наилучшую стойкость против истирания, до некоторой степени жертвуем вязкостью сердечника.

При толщине слоя не более 1,5 мм можно несколько упростить термическую обработку.

Так например для деталей, для которых требуется очень твердая корка, но хрупкость сердечника или возможность откакивания слоя нестрашна, Булленс рекомендует *термообработку V*, заключающуюся в непосредственной закалке из ящика при температуре не ниже $730^\circ A_{c1}$. Результаты такой термообработки меняются от температуры закалики в довольно широких пределах.

Детали, требующие вязкого сердечника и сравнительно твердой корки, т. е. в тех случаях, когда устранение хрупкости важнее, чем получение очень высокой поверхностной твердости, подвергаются *термообработке VI*.

Термообработка VI.

- 1) Медленное охлаждение в ящиках, вынутых из печи.
- 2) Закалка при температуре немного выше верхней критической точки сердечника A_{c3} , т. е. при температурах, лежащих в пределах $900 - 830^\circ$.

И наконец Булленс рекомендует *термообработку VII*, совершенно тождественную с термообработкой I, но применяемую и при более

интенсивной цементации, чем та, которая получается у сталей группы А, класса 1. В этом случае указанная термообработка уже не дает наивысших износостойкости и вязкости, а сообщает лишь высокую твердость поверхности. Она применяется для тех деталей, которые не требуют вязкости сердечника и особой прочности слоя.

После термической обработки цементованных изделий, вообще говоря, необходим отпуск для уничтожения внутренних натяжений. Наиболее простой способ проведения этого отпуска — это выварка в масле при температурах 180—220°. Более высокие температуры не рекомендуются, так как могут отразиться на поверхностной твердости.

Конечно детали с особо высокой твердостью поверхности, простой формы и не испытывающие при своей работе резких ударов и чрезмерного сосредоточенного груза, могут быть пущены в работу и без отпуска.

На этом заканчиваем описание наиболее распространенного метода цементации в ящиках и перейдем к изучению ускоренных методов цементации в жидких соляных и цианистых ваннах и затем закончим главу ознакомлением с новейшим открытием последних лет, открытием, давшим в руки производственников возможность получения таких твердых и износостойких слоев, о каких не смели мечтать лет десять назад. Это открытие, произведенное в лаборатории завода Круппа, носит название процесса нитрации. С ним мы уже имели случай сталкиваться.

При цементации в расплавленных солях, так же как и при обычном процессе, происходит науглероживание поверхности за счет углерода солей. Механизм этого процесса неясен, но по видимому здесь также имеет место реакция между металлом и газом, растворенным в расплавленной соли. На это указывает между прочим тот факт, что при жидкой цементации в цианистых ваннах, при так называемом процессе «цианизации», происходит сильное науглероживание, поглощения же азота, входящего в состав цианистых солей в разных количествах с углеродом, не происходит вовсе или если и происходит, то в весьма незначительной степени.

Присутствие газов в растворенном состоянии в соляной ванне обнаруживается легко. Если опустить кусок стали в расплавленную поваренную соль и продержать там некоторое время, то поверхность его обезуглероживается. Если же посыпать толстым слоем угля поверхность ванны, то уже обезуглероженного слоя не образуется. При некоторых условиях при этом может получиться даже слабое науглероживание. Чтобы увеличить последнее, необходимо усилить влияние углерода, плавающего на поверхности ванны.

Инженер В. А. Чернушев и ч. предложил для достижения этого воспользоваться особенностью расплавленной соды, заключающейся в том, что удельный ее вес очень близок к удельному весу графита. Следовательно если ввести мелкоизмельченный графит в расплавленную соду, то после перемешивания он не будет оседать и ввиду громадной общей поверхности частичек графита влияние их на состав растворенного в соли газа будет весьма сильно, а это и требуется для успешного хода процесса цементации. И действительно опыт показывает, что в такой смеси происходит весьма быстрая и энергичная цементация. Как и при обычном процессе, здесь время выдержки и температура определяют глубину и состав слоя. Ввиду того что процесс происходит более интенсивно, продолжительность выдержки оказывается более ко-

роткой, таким образом в течение одного часа при 900° можно легко получить слой толщиной в 0,7—0,9 мм. Слой получается сильно науглероженный и с резким переходом к сердечнику. Понижение температуры замедляет процесс цементации и ослабляет степень науглероживания, но это невыгодно, так как практически затягивать выдержку неудобно.

Этот способ заслуживает полного внимания благодаря своей дешевизне и безвредности. За границей повидимому он неизвестен, так как там пользуются большей частью весьма ядовитыми ваннами, содержащими цианистый натрий. В цианистых ваннах процесс идет еще интенсивнее; так например Форд для цианизации деталей автомобиля ограничивается во многих случаях 15-минутным нагревом и получает при этом достаточно толстую твердую корку. Ввиду чрезвычайной ядовитости процесса цианистая ванна должна быть снабжена всеми необходимыми приспособлениями, чтобы предохранить от отравления работающий персонал. С этой же целью не рекомендуется вводить цианистого натрия в ванну в количестве больше 10%, смешивая его с хлористым барием или натрием.

Так как синильная кислота нестойка при температурах цементации, пары ее разлагаются тотчас же у поверхности ванны, и хорошая, закрытая над ванной тяга гарантирует от отравления работающих, но громаднейшую опасность представляет сама соль, которая в особенности во время загрузки или чистки ванны может, смешавшись с пылью, отравить помещение. Поэтому цементацию в цианистых ваннах следует признать при невнимательной работе опасным методом производства.

Это побудило исследователей искать заместителей цианистым солям. Таковыми оказались железосинеродистые соли — желтая и красная кровяная соли. Эти соли известны в практике термических цехов, так как часто применяются при цементации, а иногда и закалке для науглероживания обезуглеродившейся поверхности инструмента.

Для этого разогретый под закалку инструмент посыпают солью, вновь подогревают и закаляют. Такой метод закалки особенно удобен для фасонных резцов из быстрорежущей стали.

Смешивая железосинеродистые соли с различными флюсами, получают препарат ванны не ядовитый и дающий быструю, но нечрезмерно интенсивную цементацию. Примером такого препарата может служить следующий состав:

Желтая кровяная соль	15%
Поташ	10%
Хлористый барий	45%
Хлористый калий	30%

Этот состав дает быструю, но не сильную, довольно глубокую цементацию, с содержанием углерода в слое до 1,0—1,1%, но продолжительность выдержки в нем должна быть все же около 1 часа.

После цементации изделие вынимается из горшка и закаливается. Так как температура закалки при этом будет высокая, равная температуре цементации, необходимо затем произвести вторичную закалку при 760—780°. Ввиду того что продолжительность нагрева при цементации все-таки невелика, можно для менее ответственных изделий ограничиться лишь первой закалкой.

Изделия сложной формы, для которых существует опасность поводки, также лучше калить один раз, так как при всякой перекалке

возможен неравномерный нагрев, особенно вредный для уже закаленных изделий.

Из всего вышеизложенного следует, что процесс жидкой цементации или цианизации — это быстрый способ науглероживания поверхности удобный и дешевый при наличии на рынке дешевых солей. Он требует простого оборудования соляных ванн и далеко не так сложен, как обычный процесс в ящиках. Поэтому он быстро завоевывает свое место, и это сказывается в особенности в последнее время, когда под влиянием сильной конкуренции заводы вынуждены были снижать стоимость изделий.

Недостаток его — это некоторая чрезмерная интенсивность цементации, выражающаяся или в очень высоком науглероживании, или в отсутствии переходного слоя. В первом случае страдает износоупорность изделия, во втором — возникает опасность откакивания корки. Но при неглубокой, а следовательно непродолжительной цементации эти недостатки не проявляются, и тогда процесс цианизации оказывается чрезвычайно выгодным и удобным способом. Следует еще заметить, что ввиду недлительной выдержки, цианизации можно подвергать твердые стали, например: стали, содержащие до 0,25% углерода. В условиях обычного процесса они настолько перегреваются, что пригодность сделанных из них изделий становится сомнительной.

Как мы видели, износоупорность цементованного слоя зависит, во-первых, от его структуры и, во-вторых, от его твердости. С точки зрения структуры, говоря кратко, он не должен содержать ни свободных карбидов, ни мягкого, сминающегося аустенита; твердость же способствует стойкости его при появлении местных нагрузок, вызываемых часто имеющимися в смазочных маслах твердыми частичками. Кроме того чем выше твердость трущихся частей, тем меньше коэффициент трения, следовательно тем меньше поглощают они на трение энергии, — тем меньше износ. Поэтому, выполнив требования надлежащей структуры корки, надо стремиться затем повысить твердость. Практика показывает, что хороший износоупорный слой получается при твердости Шора не ниже 75, или Бринелля — 534, при работе по бронзе. При работе стали, по стали лучше иметь твердость Шора 85—90 или Бринелля 600—630. При твердости по Шору выше 90 без наличия большого количества карбидов обойтись невозможно. Однако эти твердости все же недостаточны, так как все-таки в конце концов приводят к истиранию поверхностей, выводя из строя детали, надлежаще рассчитанные и еще достаточно прочные.

Таким образом цементационная корка лишь увеличивает срок службы трущихся деталей, не являясь все-таки средством полностью уничтожить явление истирания. Повидимому полное излечение стали от этого недостатка можно ожидать лишь тогда, если каким-либо путем придать поверхности ее еще более высокую твердость.

Такой способ найден — это нитрация.

Впервые промышленность узнала о нитрации в 1913 году, когда некто Машлэ запатентовал процесс насыщения поверхности стали азотом помощью длительного нагревания в парах аммиака при температурах выше 480°. Однако в то время этот процесс не получил распространения. Причиной этому служило то, что нитрация обыкновенных сортов сталей не достигала цели, так как поверхностный слой получался сравнительно невысокой твердости, не превышающей твердость

обычных цементованных изделий, а кроме того поглощаемый металлом сердечника азот сообщал ему хрупкость. Проблемой этой занялся завод Крупна. После тщательных изысканий, произведенных Фрайем в лабораториях Крупна, был найден наконец анализ сталей, дающих ту требуемую чрезвычайно высокую твердость поверхности, которая так выделяет нитрованные изделия своей изнosoупорностью.

Как оказалось в этом отношении чрезвычайно важную роль играет наличие в стали алюминия в количествах 0,6—1,2%.

Алюминий, вообще говоря, повышает хрупкость стали, но, обладая замечательным свойством препятствовать проникновению в сердечник нитруемого изделия азота, он, с одной стороны, этим самым повышает концентрацию поглощенного азота у поверхности, с другой,— предохраняет сердечник от более сильно развитой хрупкости, которая сообщается ему проникающим азотом. Таким образом сталь для азотизации должна содержать около 1% алюминия. Для повышения механических свойств приходится, не ограничиваясь присутствием алюминия, вводить туда хром, никель, молибден. Последний особенно необходим, так как он совершенно уничтожает хрупкость.

Вот некоторые анализы стали для нитрации.

ТАБЛИЦА 26
Стали для нитрации.

№	Углерод	Марганец	Кремний	Алюминий	Хром	Никель	Молибден	Ванадий
	П	Р	О	Ц	О	Н	Т	Ы
1	0,15—0,40	0,5	0,3	0,9—1,2	1,5—1,7	0,5	0,2	—
2	0,25—0,45	0,5	0,3	1,0—1,2	1,5—1,8	—	0,2	—
3	0,1—0,4	0,5	0,3	0,8—1,0	1,4—1,6	—	—	—
4	0,1—0,4	0,5	0,3	0,8—1,0	1,4—1,6	—	—	0,15

Стали эти после процесса нитрации дают сопротивление разрыву до 100 кг/мм² и выше в зависимости, главным образом, от содержания в них углерода. В настоящее время пытаются уменьшить содержание алюминия до 0,6% и это повидимому оправдывается в менее ответственных деталях.

Введение в сталь алюминия встречает трудности при процессе плавки. По этому некоторые заводы с успехом заменяют присадку алюминия, присадкой титана, причем количество последнего ограничивается 0,2—0,4%. По некоторым сведениям стали с 0,3—0,4 углерода, 1,5—2,0% хрома и 0,2—0,4% титана дают при нитрации слой, не уступающий слою сталей содержащих алюминий.

Процесс нитрации ведут следующим образом. В плотно закрываемый горшок укладываются изделия. Вниз горшка вводится трубка, подающая хорошо просушенный пропуском через трубку, наполненную прокаленной известью, амиак. Вверху горшка делается выпускное отверстие, сообщающееся с газоанализатором. Последний имеет целью определить степень разложения амиака. Он состоит из отградуированного сосуда, наполненного отмеренным количеством воды. Над поверхностью воды пропускается отработанный газ, состоящий из азота, водорода и неразложившегося амиака. Амиак легко растворяется в больших пропорциях в воде. При его растворении объем раствора увели-

чивается и тогда, наблюдая за изменением объема раствора, можнй при соответствующей градуировке прибора определить состав газовой смеси. Регулируя количество поступающего в печь газа, можно, влияя на продолжительность пребывания его в печи, регулировать и его состав.

Практика установила, что наилучший состав смеси получается тогда, когда при выходе из печи газа останется неразложенного амиака от 20 до 40%. Печь, снабженная автоматическим регулятором, нагревается обычно до 510°, — это практически выработанная наилучшая температура. Однако можно вести процесс и при более низкой температуре. Тогда процесс идет медленнее. При более высокой температуре процесс, наоборот, ускоряется, но более высокая температура нагрева стали вызывает ее более сильный отпуск с соответствующим понижением предела упругости и сопротивления разрыву. С другой стороны, чем выше температура, тем меньше твердость полученной корки. В. О. Хонерби и И. П. Вальтер приводят следующую таблицу глубины слоя нитрации и его твердости, определенной прибором Герберта и пересчитанной на числа Бринелля, в зависимости от температуры (после 48-часовой выдержки).

ТАБЛИЦА 27

Глубина азотированного слоя и твердость его по Бринеллю по данным В. О. Хонерби и И. П. Вальтера. (Сталь с содержанием углерода 0,23% и 0,16%).

Температура азотизации ° Ц.	Толщина слоя в мм		Твердость Бринелль.	
	C = 0,23%	C = 0,16%	C = 0,23%	C = 0,16%
425	след	след	700	800
480	0,25	0,28	1140	1600
540	0,50	0,62	990	960
590	0,71	0,75	905	840
650	1,0	1,12	780	765
705	1,25	1,40	685	670
760	1,12	1,25	670	670

В этой таблице мы видим, что при нитрации при температуре выше 650° твердость слоя получается всего 760 единиц Бринелля — твердость, достижимая и при обычном процессе цементации углеродом. При более низких температурах толщина слоя получается малая, но твердость сильно повышается. Наилучшей следует признать твердость Бринелля около 1 000 единиц и, как видно из таблицы, она как раз и достигается при 480—540°, но ввиду того что слой получается тонкий, приходится выдержку затягивать. Так и поступают, доводя ее до 80—90 часов.

Столь большая длительность процесса является его недостатком, и это конечно задерживает его распространение.

По окончании процесса нитрации изделия оставляют медленно охлаждаться в печи. При таком медленном охлаждении, как нам известно, стали склонны приобретать чрезвычайную хрупкость. Чтобы этого избежать и приходится вводить в состав ее молибден, как уже говорилось,

обладающий благородным свойством парализовать вредное влияние медленного охлаждения после отпуска. Конечно можно было бы перекалить изделие после нитрации. Однако опыт показывает, что при этом в силу поверхностного обезуглероживания свойства корки понижаются. Поэтому лучше этого не делать, и процесс термообработки стали заканчивать процессом нитрации. Необходимость производить нитрацию стали после ее закалки и отпуска диктуется и другими соображениями. Если подвергнуть нитрации отожженную сталь, то в корке образуется своеобразная нитридная сетка, очень похожая на карбидную сетку, которую мы уже видели в цементованных сталях. Она обладает теми же недостатками, и поэтому наличие ее недопустимо. При чрезвычайном измельчении зерна стали, достигаемом закалкой, сетка не образуется, и это и определяет вышесказанное требование нитровать только закаленные и отпущенные изделия. Казалось можно было бы ограничиться только закалкой, так как нитрация сама по себе является и отпуском стали. Однако это не так. При нагреве в нитрационном ящике закаленных изделий их ведет. Отпуск же освобождает от поводки изделия, уничтожая закалочные внутренние натяжения, наличие которых безусловно недопустимо в изделиях, так как после азотизации, обычно изделия не подвергаются никакой дальнейшей обработке. Конечно иногда можно производить шлифовку их, но это невыгодно, так как твердость слоя от этого понижается.

При цементации углерод поглощался металлом без заметного изменения объема стали. При азотизации наблюдается это явление, так как азотизованный слой сопровождается некоторым наращиванием металла. Поэтому необходимо предварительно предусмотреть возможность этого наращивания. Обычно однако оно не превосходит 0,05—0,08 мм. На величину его влияет форма изделий. Так например при нитрации цилиндров круглого сечения диаметр их у концов увеличивается на несколько тысячных миллиметра больше, чем в середине. Это объясняется более энергичным проникновением азота с двух сторон у острого угла, между основанием и боковой поверхностью цилиндрика. Чтобы этого избежать, необходимо закруглить этот угол.

Изменение размеров детали затрудняет в некоторых случаях применение процесса нитрации. Так например нитрация шестерен до сих пор все-таки не дает ожидавшихся результатов из-за развертки притертых друг другу венчиков пары зубчаток. Зато такие детали, как, например болты, цапфы, поршневые пальцы, коленчатые валы и т. д. дают при нитрации хорошие результаты, и здесь этот новый процесс завоевывает свое место.

В настоящее время нельзя предсказать насколько широко будет применяться нитрация. Длительная выдержка при высоких температурах отпуска, сложность состава стали, изменение размеров изделий и другие особенности процесса во многих случаях аннулируют его преимущества. С другой стороны, возможно открытие еще новых процессов, не обладающих этими недостатками.

Заканчивая главу о придании стали поверхностной твердости и износоупорности следует в заключение вкратце остановиться на вопросе о способах предохранения от нацементовывания некоторых частей изделий, поступающих в цементацию или нитрацию.

Остановимся сперва на цементации.

Для предохранения от нацементовывания части изделий простейший

способ — это обмазка глиной. Во избежание растрескивания глины ее смешивают с молотым асбестом и жидким стеклом в разных пропорциях и кроме того поверх обмазки обматывают, если это допускается формой изделия, асбестовым шнуром, смоченным в жидком стекле.

Более чистый способ, но требующий внимания, — это покрытие медью гальванопластическим путем всей поверхности изделия за исключением мест, подлежащих науглероживанию. Эти места предварительно перед бронзировкой (т. е. омеднением) покрываются слоем воска. Перед бронзировкой изделия промывают в кипящем 15—20-процентном растворе поташа с примесью 1—2% зеленого мыла, затем обмазывают места, которые подлежат цементации, воском и опускают в гальванопластическую ванну, содержащую раствор 2 кг медного купороса, 10 кг едкого натра и 3 кг цианистого кали на 100 л воды. Соединяя изделие с отрицательным полюсом генератора постоянного тока, производят покрытие медью током силой 8 А. При этом необходимо получить довольно толстый слой (0,5—0,7 мм толщиной), так как медь проницаема для окиси углерода и, если слой ее тонок, не предохранит от нацементовывания поверхности.

Винтовую нарезку, если это допускает форма изделия лучше предохранять, завинчивая в гайку. Практика показывает, что тогда практически цементации нарезки не происходит.

В некоторых случаях однако бывает выгодно места, которые не должны цементироваться, сделать несколько толще. Тогда после цементации их можно сточить на станке. Само собою разумеется, эта обточка ведется до закалки изделия.

При нитрации лучшим предохранением является никелирование. Слой никеля в 0,015 мм вполне предохраняет поверхность от проникновения азота. Если почему-либо никелирование произвести неудобно, можно произвести лужение оловом или еще проще обмазать изделие кисточкой или обрызгать пульверизатором смесью, содержащей окись олова. Последняя, восстанавливаясь во время нитрации, сама производит полуду,

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ СТАЛЕЙ

О ВЗАИМОЗАМЕНИМОСТИ СТАЛЕЙ

В предыдущих главах мы познакомились с теми многосложными производственными процессами, которые превращают сырую сталь в замечательный по разнообразию и качеству свойств материал. Изучая шаг за шагом с момента отливки до окончательной термической обработки, мы узнали ее особенности, ее болезни, ее достоинства и «капризы». Мы познакомились с теоретическими основами, которые объяснили нам эти особенности и указали на методы наилучшего их использования, научили нас изменять свойства стали по своему усмотрению, комбинировать их, управлять ими. Теперь познакомимся со сталью, как с материалом для конструкций, попытаемся разобраться в ее свойствах, чтобы, применяя ее, использовать ее особенности полностью,

с максимальным эффектом, с максимальной экономией. Выясним, какими механическими свойствами будет сталь обладать в наших конструкциях, и как наиболее выгодно использовать для данной детали сталь, какую сталь выбрать, как ее обработать.

Для этого посмотрим, как меняются механические свойства правильно термически обработанной стали в зависимости от характера этой термообработки.

Из вышеизложенного мы знаем, что наиболее сильно практически меняет механические свойства отпуск стали после ее закалки. Именно, регулируя температуру отпуска, мы можем комбинировать вязкость стали с ее упругостью, сопротивлением разрыву, твердостью. Поэтому наиболее интересным для нас будет указать, как меняет отпуск эти свойства, каковы численные величины механических свойств, так как только зная их мы можем сознательно установить нужные нам методы обработки стали.

Наиболее наглядный способ представить себе эти изменения — это составление так называемых характеристических диаграмм стали, т. е. диаграмм, на которых нанесены кривые изменения механических

свойств в зависимости от температуры отпуска. Поскольку лучшим способом узнать свойства стали является ее испытание на разрыв, для составления характеристик и воспользуемся данными, получаемыми при этом испытании.

При испытании на разрыв мы получаем следующие характеристические цифры:

1) Предел текучести E — цифра, указывающая напряжение стали в момент, когда сталь, исчерпав всю свою упругую энергию, поддается действию усилия, к ней приложенного, и начинает, вытягиваясь, приспособляясь к своей нагрузке.

2) Сопротивление разрыву R — цифра, указывающая ту максимальную нагрузку, которую сталь может выдержать, не разорвавшись, но уже полностью израсходовав свое упругое и неупругое сопротивление.

3) Сжатие сечения: относительное сужение — C и удлинение A , характеризующие вязкость стали,

способность стали деформироваться при чрезмерных усилиях и ударах.

Мы не будем рассматривать кривые ударных свойств стали, так как метод испытания на удар страдает многими недостатками и слишком зависит от формы образца, характера удара и метода испытания. Поэтому, даваемые им цифры могут внести много путаницы, если не учесть всех недостатков испытания.

Начнем с простой углеродистой стали.

Сталь S. A. E. 1035

Состав:

$C = 0,30-0,40$

$Mn = 0,50-0,80$

$P_{max} 0,045$

$S_{max} 0,050$

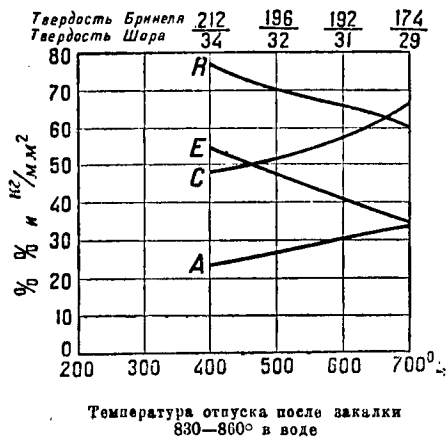


Рис. 76. Характеристика углеродистой стали с содержанием углерода 0,3—0,4%.

1. *Характеристика углеродистой стали с средним содержанием углерода 0,35%, после ее закалки в воде при 830—860° и отпуска.* Поскольку интересным с промышленной точки зрения интервалом температур отпуска является интервал 400—700°, на диаграмме нанесены кривые только в этих пределах. При отпуске ниже 400° эта сталь хрупка и для конструкций не годится; при отпуске выше 700° уже происходит частичный отжиг, и свойства стали падают. Из диаграммы видим, что сталь эта, закаленная в виде квадратной дюймовой заготовки, может иметь сопротивление разрыву в пределах 77—60 кг/мм² в зависимости от температуры отпуска. Предел текучести лежит низко, составляя примерно 60% сопротивления разрыву. Сталь эта обладает значительной вязкостью и весьма тягуча. Тягучесть (удлинение) *A* является ее особенностью, так как легированные стали, обладая весьма высокой вязкостью, все же не отличаются своей тягучестью, ибо они обладают той особенностью, что пластические деформации у них сосредоточиваются обычно в одном месте, в месте наименьшей прочности, и не распространяются на весь объем перегруженного металла.

Наверху у диаграммы цифрами отмечены твердости Бринелля и Шора. Они интересны нам с той точки зрения, что пользуясь ими, мы можем установить пормы контроля заданной нами термической обработки.

Примечание. Диаграммы составлены на основании английских и американских источников. Поэтому они относятся к испытаниям образцов стандартных американских размеров диаметром 12,8 мм (0,505 дюйма) при расчетной длине 50,8 мм (2 дюйма). Образцы закалывались в виде штанг квадратного сечения со стороной квадрата 38 мм (1½ дюйма).

2. *Характеристика углеродистой стали с содержанием углерода от 0,4 до 0,5%, закаленной в воде при 800—830° после соответствующего отпуска.* Здесь механические свойства указывают, что эта сталь в общем более хрупка и менее вязка, чем предыдущая, но если мы сравним ее качества, получившиеся при более высоких температурах, с качествами предыдущей стали при низких температурах отпуска то мы увидим, что они тождественны. Следовательно в некотором интервале механических свойств одна сталь может заменять другую и поэтому, при выборе среди этих двух сталей, мы можем руководствоваться уже другими их особенностями, например особенностям производства или эксплуатационного характера. Если например деталь наша изготавливается путем сложной операции штамповки, лучше взять сталь помягче, с меньшим содержанием углерода, если же мы вынуждены учесть некоторые эксплуатационные качества, например сопротивление истиранию — лучше будет остановиться на стали с большим содержанием углерода.

3. *Характеристика мало углеродистой 3% никелевой стали.* Мы приводим две характеристики, одна для стали, закаленной в воде (рис. 78), и другая для закаленной в масле (рис. 79).

Сравнивая диаграммы, видим, что масляная закалка дает несколько меньшее сопротивление разрыву и большую вязкость, чем закалка в воде. Но закалка в масле менее опасна в смысле возможности появления трещин, поэтому она предпочтительнее водяной для изделий неудобной для закалки формы. С другой стороны, закалка в воде более

энергичная, лучше прокаливает изделие большого сечения, чем масляная закалка. Поэтому для массивных изделий лучше будет применять водяную закалку.

Сравнивая эти диаграммы с предыдущими, мы видим, что 3-процентная никелевая сталь, обладая приблизительно одинаковыми, или при низких температурах отпуска, более высокими цифрами сопротивления разрыву, обладает значительно большей вязкостью по сравнению с углеродистыми сталями. Поэтому во всех тех случаях, когда изделие сложной формы в своей работе подвергается сильным ударам, более вязкая никелевая сталь будет предпочтительнее.

4. *Характеристика 3% никелевой стали с средним содержанием углерода.* Сравнивая характеристические диаграммы этой стали с предыдущими, мы видим, что 3-процентная никелевая сталь с средним

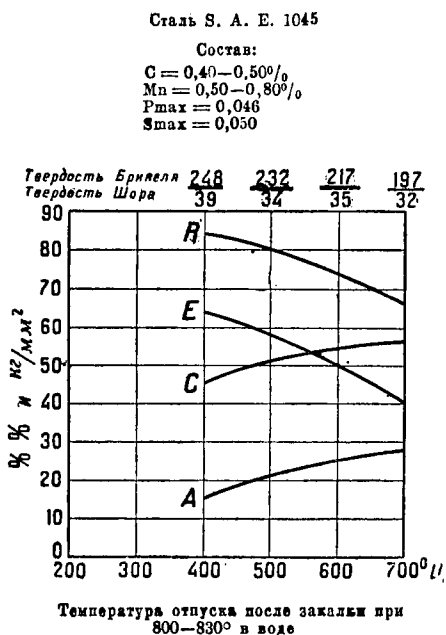


Рис. 77. Характеристика углеродистой стали с содержанием углерода 0,4–0,5%.

содержанием углерода занимает по отношению к более бедной углеродом стали такое же место, как более твердая углеродистая к более мягкой.

Так же, как и для двух рассмотренных нами углеродистых сталей, и здесь повышение содержания углерода влечет за собой возрастание сопротивления разрыву и предела текучести за счет тягучести и вязкости. Но цифры, характеризующие прочность и вязкость стали, за исключением тягучести (удлинения) у никелевой стали значительно превосходят таковые углеродистых сталей. Это делает 3-процентную никелевую сталь более мощной, более надежной, чем углеродистая, и поэтому она, допуская высокие напряжения, дает возможность конструктору

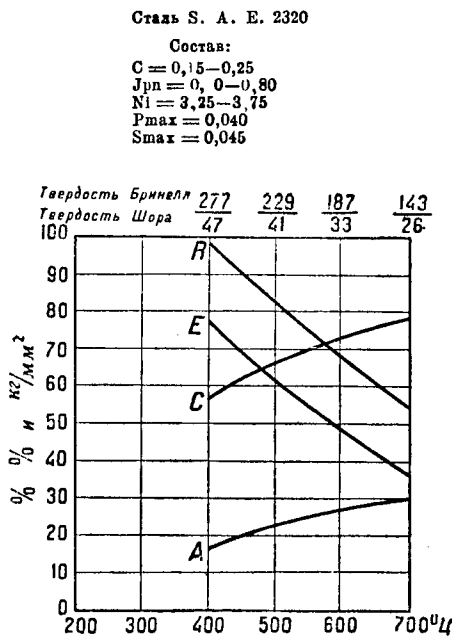


Рис. 78. Характеристика 3% никелевой стали с малым содержанием углерода. Закалка в воде.

проектировать легкие конструкции, и получающаяся от этого экономия в расходе материала окупает повышенную стоимость стали.

Закалка в воде и закалка в масле дают мало различающиеся цифры, и поэтому, выбирая тот или другой метод термообработки, нужно руководствоваться проницаемостью закалики, выбирая для крупных сечений закалку в воде, а для мелких закалку в масле.

Б. Характеристика 5% никелевой стали с средним содержанием углерода. Значительно более высокими механическими качествами обладает 5% никелевая сталь. Особенно бросается в глаза на прилагаемой диаграмме (рис. 82) повышенное положение предела текучести, достигающего 90% и более сопротивления разрыву. При

Сталь С. А. Е. 2330

Состав:

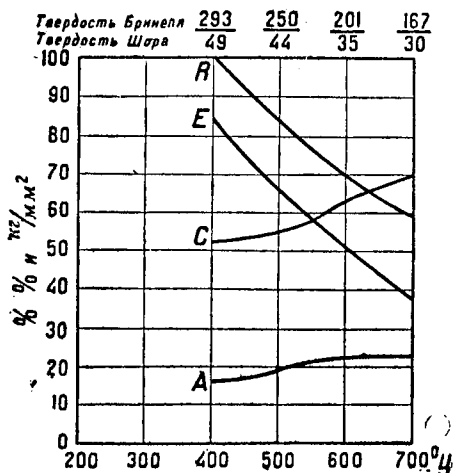
C = 0,25—0,35

Mn = 0,50—0,90

Pmax — 0,40

Smax — 0,045

Ni = 3,25—3,75



Температура отпуска после закалки при 790—815° в масле

Рис. 80. Характеристика 3% никелевой стали со средним содержанием углерода. Закалка в масле.

разрыва, тянется только в области образования шейки, и в этом месте тягучесть ее в действительности чрезвычайно высокая. Отсюда мы можем сделать вывод, что высокое удлинение не служит обязательной гарантией хорошего качества. Поэтому, рассматривая сталь с точки

Сталь С. А. Е. 2320

Состав:

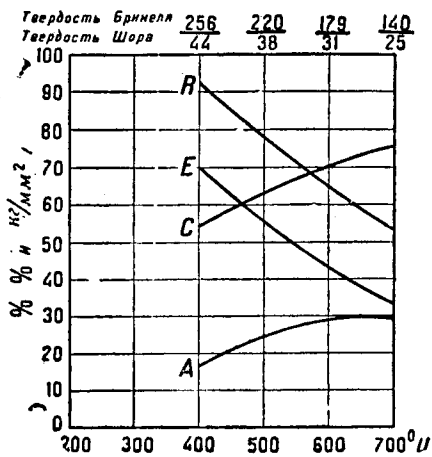
C = 0,15—0,25

Mn = 0,50—0,90

Pmax — 0,040

Smax — 0,045

Ni — 3,25—3,75



Температура отпуска после закалки при 900—950° в масле

Рис. 79. Характеристика 3% никелевой стали с малым содержанием углерода. Закалка в масле.

таким повышении цифр сопротивления разрыву вязкость этой стали неменьше, чем у простой углеродистой с таким же содержанием углерода. Здесь яснее всего видна благотворная роль присадки никеля. Обращает также внимание малое удлинение, характерное для сталей, содержащих достаточное количество никеля. Это малое удлинение отнюдь не указывает, что сталь эта недостаточно вязка, наоборот, она, обладая высоким сужением площади сечения образца в месте

ее эксплуатационных свойств, лучше не руководствоваться, желая узнать ее вязкость, цифрой удлинения, ограничиваясь лишь ее показателем сужения площади сечения.

6. *Характеристика малолегированной хромоникелевой стали.* С целью удешевления никелевой стали уменьшают в ней содержание никеля, но добавляют немного хрома. На диаграммах приведена характеристика (рис. 83 и 84) закаленной в масле и воде хромоникелевой стали состава 0,25—0,35% углерода, 1,0—1,5% никеля и 0,45—0,75% хрома. Эта сталь, как

Сталь S. A. E. 2330

Состав:

C = 0,25—0,25

Mn = 0,50—0,80

Pmax = 0,04

Smax = 0,045

Ni = 3,25—3,75

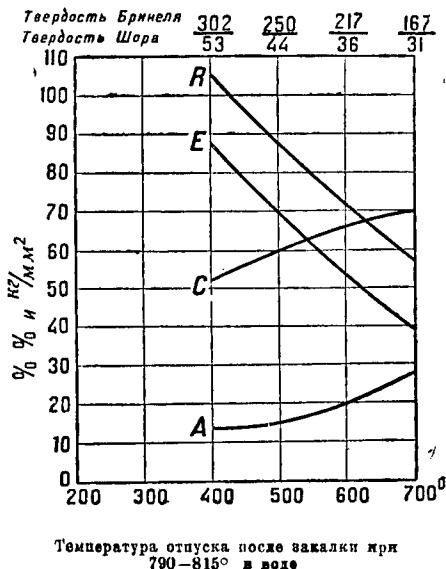


Рис. 81. Характеристика 3% никелевой стали со средним содержанием углерода. Закалка в воде.

показывают диаграммы, во всех отношениях лучше 3% никелевой, так как обладает и несколько большими цифрами сопротивлений и на ряду с ними и большей вязкостью. В особенности это сказывается на поперечных пробах, а также в сталях, содержащих близкое к предельному содержание фосфора. Особенно пригодна она для изготовления листовых деталей, подвергаемых штамповке.

7. *Характеристика высоколегированной хромоникелевой стали.* Высоколегированная хромоникелевая сталь принадлежит к категории наиболее прочных сталей. При достаточной вязкости для изготов-

5% никелевая сталь

Состав:

C = 0,33%

Mn = 0,40%

Si = 0,15%

Ni = 5,00%

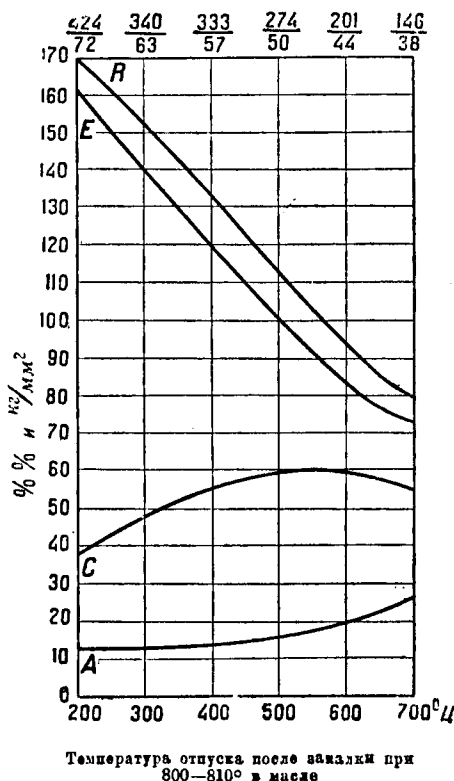


Рис. 82. Характеристика 5% никелевой стали со средним содержанием углерода.

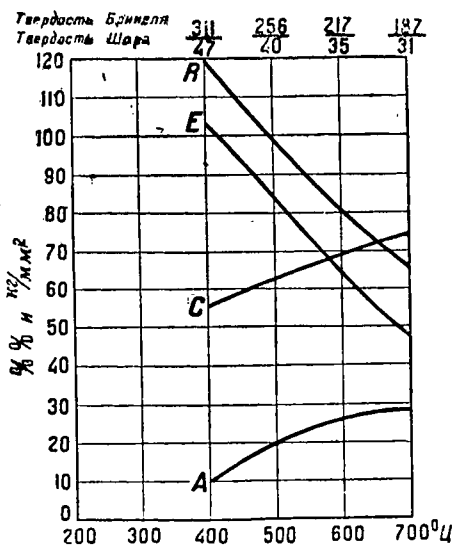
ления сложных деталей она дает сопротивление разрыву до 160 кг/мм^2 (рис. 85). При более низких температурах отпуска эта цифра может быть еще повышена, правда уже за счет сильного понижения вязкости, допускаемого лишь в исключительных случаях. Предел упругости ее лежит очень высоко, достигая 90% и более сопротивления разрыву. Удлинение, как у всех никелесодержащих сталей, малое.

Особенностью этой стали является трудная обрабатываемость на станках. Этой особенностью обладают в большей или меньшей степени все никелесодержащие

Сталь С. А. Е. 3130

Остаток:

C = 0,25—0,35%
Ni = 1,00—1,50%
Mn = 0,50—0,30%
Cr = 0,45—0,75%
Pmax = 0,045%
Smax = 0,045%



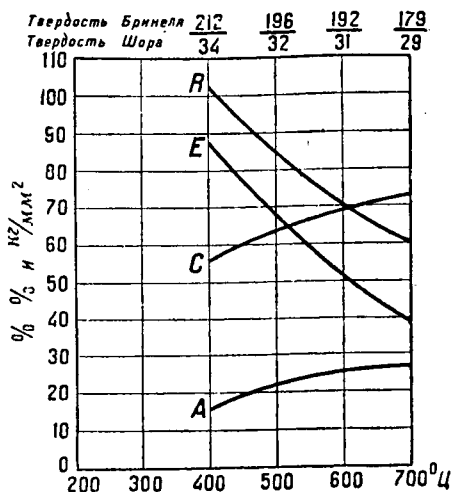
Температура отпуска после нормализации при $9.0-910^\circ$ и закалики $500-810^\circ$

Рис. 84. Характеристика малолегированной хромоникелевой стали. Закалка в воде.

Сталь С. А. Е. 3130

Состав:

C = 0,25%—0,35%
Mn = 0,50—0,80%
Ni = 1,00—1,50%
Cr = 0,45—0,75%
Pmax = 0,045%
Smax = 0,045%



Температура отпуска после закалки при $815-855^\circ$ и масле.

Рис. 83. Характеристика малолегированной хромоникелевой стали. Закалка в масле.

стали. Этот недостаток стоит безусловно в связи с обычной для них комбинацией цифр высокого сжатия сечения и пониженного удлинения, обнаруживаемого на диаграммах.

8. Характеристика никель-молибденовой стали. Никель-молибденовая сталь состава 0,15% углерода, 1,6% никеля и 0,3% молибдена обладает рядом особенностей. Первая,—это вы-

пуклость кривой изменения сопротивления разрыву. Если в предыдущих случаях, по мере повышения температуры отпуска, сопротивление разрыву и предел упругости падали приблизительно пропорционально под'ему температуры, у никельмолибденовой стали этой пропорциональности не существует. Это объясняется задерживающим влиянием молибдена на

явление разложения мартенсита при отпуске. Поэтому затягивание выдержки при температуре отпуска молибденовых сталей дает больший эффект, чем сталей, его не содержащих. Но поскольку явление вязкости повидимому зависит не только от строения, но и от натяжений, развивающихся в стали при ее за-

калке, от так называемых межструктурных натяжений, исчезновение их возможно и без изменения структуры, лишь была бы придана частицам стали достаточная подвижность. При нагреве при отпуске они приобретают требуемую подвижность, и в результате натяжения быстро исчезают, и сталь делается вязкой более вязкой, чем какая-либо другая сталь, обладающая той же структурой.

Это отражается на кривой удлинения и сжатия поперечного

Сталь высоколегированная хромоникелевая

Состав:

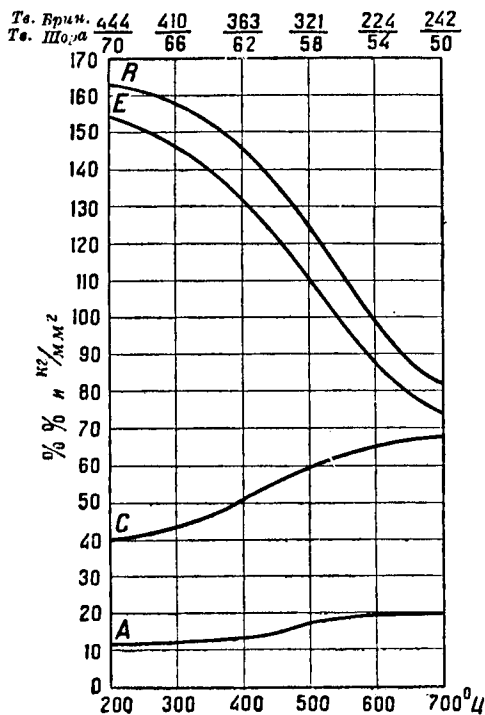
C = 0,40%

Mn

Si = 0,40%

Cr = 1,5 %

Ni = 3,50%



Температура отпуска после закалки при 760° в масле

Рис. 85. Характеристика высоколегированной хромоникелевой стали.

Сталь никельмолибденовая

Состав:

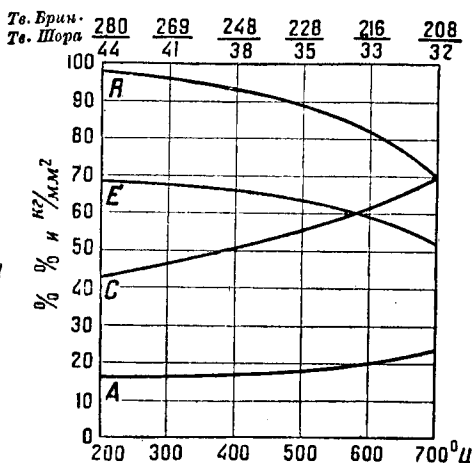
C = 0,15%

Mn = 0,55%

Si = 0,25%

Ni = 1,6 %

Mo = 0,29%



Температура отпуска после закалки 850 — 870° в масле

Рис. 86. Характеристика никельмолибденовой стали.

сечения, возрастающих пропорционально возрастанию температуры отпуска независимо от величины сопротивления разрыву и предела упругости.

Предел упругости лежит у нее низко, но изменение его при разных температурах отпуска невелико, меньше чем сопротивления разрыву, вследствие чего относительная высота его возрастает с 69 до 77% при возрастании температур отпуска от 200 до 700°. Обработывается никельмолибденовая сталь лучше, чем хромоникелевая. В этом сказывается благотворное

влияние молибдена. Кроме того, как мы знаем, наличие в ней молибдена делает ее нечувствительной к скорости охлаждения после отпуска.

Ввиду малого содержания углерода она может хорошо цементироваться и в цементованном виде, обладая высокоизносостойким слоем, часто применяется в Америке для ответственных шестерен.

Следует отметить еще одну ее особенность, имеющую большое экономическое значение. Как никель, так и молибден совершенно не шлакуются при переплавке стали. Поэтому вся стружка, все обсежки и отбросы никельмолибденовой стали могут быть собраны, сплавлены и снова пущены в дело.

9. *Характеристика хромо-никельмолибденовой стали.* Ряд ценных качеств, вносимых молибденом, породил попытки улучшить свойства хромоникелевых сталей присадкой молибдена. После многих экспериментов, практика выработала одну из наиболее прочных и удобных в производстве сталей, сталь хромо-никельмолибденовую; примерный состав ее: углерода — 0,34%, хрома — 0,77%, никеля — 3,07%, молибдена — 0,4%. Как видно из характеристической диаграммы (рис. 87) сталь эта обладает весьма высоким сопротивлением разрыву, падающим обратно пропорционально температуре отпуска, пределом упругости, изменяющимся параллельно первому и лежащем примерно на 10—12 кг/мм² ниже, и наконец мало изменяющимся высокими цифрами вязкости стали при низких температурах отпуска.

Эта повышенная вязкость хромо-никельмолибденовой стали делает возможным применять в практике невысокие температуры отпуска, после которых при достаточно продолжительной, многочасовой выдержке сталь делается чрезвычайно прочной и вязкой. В деталях сложной формы, подверженных ударам и работающим на утомление, сталь эта может иметь сопротивление разрыву до 150 кг/мм² и выше. Столь высокие цифры в хромоникелевых сталях, если и достижимы, то во всяком случае рискованы.

Сталь хромо-никельмолибденовая

Состав:

C = 0,34%
Mn = 0,67%
Si = 0,11%
Mo = 0,41%
Cr = 0,77%
Ni = 3,07%

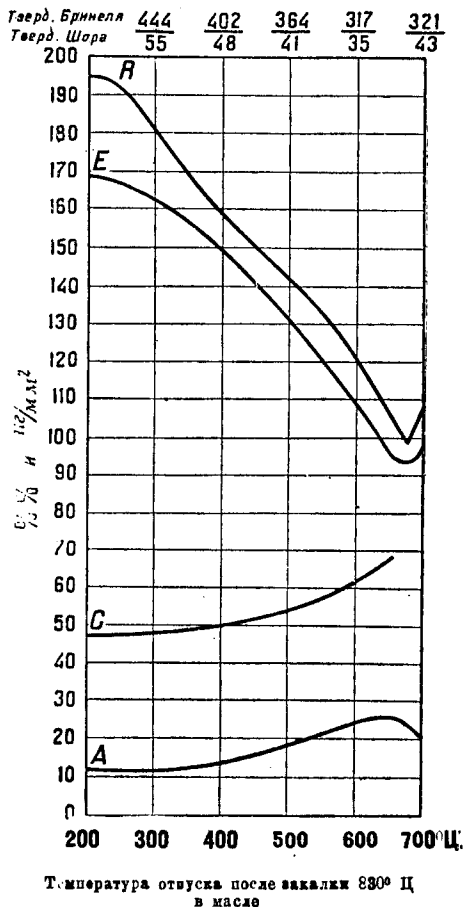


Рис. 87. Характеристика хромо-никельмолибденовой стали.

10. *Характеристика хромомолибденовой стали.* Хромомолибденовая сталь несколько более хрупка, чем предыдущая хромоникельмолибденовая. Поэтому, применяя ее, приходится прибегать к более высоким температурам отпуска, а именно не ниже 500° . При этих температурах, как видно из диаграммы (рис. 88), сталь дает сопротивление разрыву до 130 кг/мм^2 .

При более низких температурах она более хрупка, вследствие чего применима на деталях простой формы и не подверженных резким

Сталь хромомолибденовая

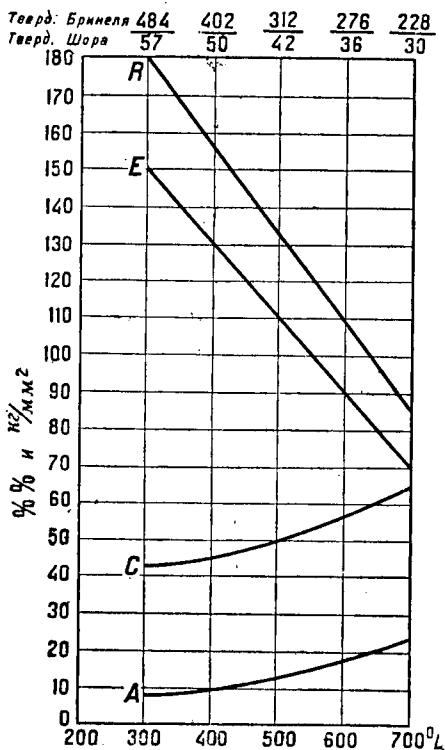
Состав:

C = 0,41%

Mn = 0,68%

Cr = 0,95%

Mo = 0,24%



Температура отпуска после закалки при 820° в масле

Рис. 88. Характеристика хромомолибденовой стали.

ударам. Сопротивление разрыву, как видно из диаграммы, падает пропорционально повышению температуры отпуска. Предел упругости тот же, но падение его медленнее, он сохраняет довольно точно свою относительную высоту, около 81—85% от сопротивления разрыву. Сжатие сечения и удлинение возрастают нормально.

Хромомолибденовая сталь, как видно из характеристики, может конкурировать с лучшими хромоникелевыми сталями. Отличается она от них несколько меньшей прокаливаемостью, но лучшей обрабатываемостью на станках. Вместе с тем она значительно более дешева, так как помимо меньшего расхода дорогих примесей, производство ее великолепно удается в мартеновских печах, тогда как высоколегированные хромоникелевые стали приходится варить почти исключительно в электрических.

11. *Характеристика хромистой конструкционной стали.* Хромистая конструкционная сталь при содержании углерода до 0,42% достаточно вязка при всех температурах отпуска выше 400° . Обычный состав ее: углерода 0,32—0,42%, хрома 0,9—1,1% и выше, марганца 0,5—0,8%. Она вполне надежна в сложных деталях, подверженных

ударам, при сопротивлении разрыву, равном 90—100 кг/мм^2 .

Более высокое сопротивление разрыву допустимо лишь в простых деталях и деталях, работающих в условиях слабо или равномерно изменяющейся нагрузки.

Сопротивление разрыву, предел текучести, сжатие и удлинение изменяются под влиянием температуры отпуска, почти точно следуя

закону прямой линии, но качество стали, т. е. степень чистоты ее, уковка и т. д. сильнее отражаются на ее вязкости, чем у хромо-молибденовой стали. Поэтому часто в хромистую сталь вводят ванадий для ее лучшей очистки.

Хромистая сталь дешева, легко обрабатывается, штампуются и при хорошо налаженном процессе изготовления ее и термической обработки дает меньший брак, чем хромоникелевые, ей подобные.

12. Характеристика марганцовистой стали. За последние время начинает привлекать к себе внимание сталь с присадкой около 2% марганца. Главнейшее ее достоинство — дешевизна, делающая воз-

Сталь марганцовистая конструкционная

Состав:

C = 0,37%

Mn = 1,80%

Si = 0,24%

Сталь хромистая конструкционная

Состав:

C = 0,33—0,42%

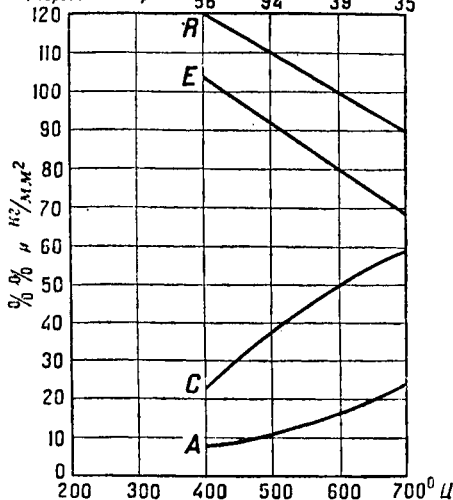
Mn = 0,50—0,80%

Cr = 0,90—1,10

Pmax = 0,040%

Smax = 0,045%

Твердость Бриннеля 346 321 255 228
Твердость Шора 56 94 39 35



Температура отпуска после закалки
830—850° в воде

Рис. 89. Характеристика хромистой конструкционной стали.

можным применение высоконагруженных, но легких деталей в недорогих конструкциях без повышения их стоимости.

Как видно из диаграммы (рис. 90), она дает сжатие площади сечения выше 50% при очень высоком сопротивлении разрыву, достигающем даже 110 кг/мм².

Состав ее: 0,3—0,4% углерода, 1,6—2,0% марганца, до 0,3% кремния и не более 0,045%

Температура отпуска после закалки при 845° в воде

Рис. 90. Характеристика марганцовистой конструкционной стали.

фосфора. Что касается серы, то количество ее иногда поднимают даже до 0,12% с целью повысить обрабатываемость стали. Наличие больших количеств марганца вполне парализует влияние последней на механические свойства и не мешает при ковке, штамповке, прокатке и т. д. Лишь в листовой стали, штампуемой в холодном состоянии, сера оказывается нежелательной, и тогда предел ее назначается обычно 0,05%.

Как видно из диаграммы, сопротивление разрыву и предел текучести падают пропорционально под'ему температуры. Предел текучести достигает 85—86% от разрывного груза. Сжатие площади сечения растет по закону выпуклой кривой. Удлинение значительное. Это показывает, что сталь эта не обладает свойством никелевой стали давать чрезвычайно большое местное удлинение в шейке при небольшом общем удлинении, а следовательно в некоторых случаях при механической обработке не должно встретиться тех трудностей, которые наблюдаются у первой.

Приведенные нами характеристические диаграммы различных сталей хорошо иллюстрируют идею взаимозаменяемости сталей.

Действительно, каждая сталь дает возможность, подвергая ее термической обработке, сообщить ей разнообразные свойства, и свойства эти очень часто совпадают у разных сталей, и тогда с точки зрения прочности конструкций стали они оказываются равноценными. Обращаясь к другим требованиям, предъявляемым к изделию, рассматривая производственные возможности цеха, возможности рынка специальных сталей и т. д., мы выбираем наиболее удобную и дешевую сталь.

Так например, если изделие должно быть особенно легким и особенно прочным, мы выбираем высоколегированные хромоникелевые стали или лучше хромоникельмолибденовые, чтобы, применив высокие температуры отпуска, получить изделие абсолютно надежное. Если требование легкости к изделию поставлено еще более жестко, то применение таких сталей уже неизбежно.

Но стали эти капризны. В массовом производстве, когда практически невозможно производить кропотливую приемку их, приходится уступит чрезвычайно высокой упругости их и, рассчитав изделия с меньшими допускаемыми напряжениями, применить более простые, но более надежные стали. Тогда на сцену выплывают малолегированные хромоникелевые стали, хромомолибденовая, более прочная, мало уступающая ей хромистая и никельмолибденовая и наконец, правда еще мало известная, марганцовистая сталь. Марганцовистая сталь вместе с хромистой особенно интересны нам, так как наша страна богата рудами марганца и хрома, вследствие чего эти две примеси дешевы и применяющий их завод не боится осложнений с Западом, импортирующим к нам другие примеси стали, среди которых особенно ненадежным является дорого стоящий никель.

Выбрав сталь, конструктор должен правильно указать заведующему термическим цехом, какие механические качества требуются для спроектированной им детали. Если он воспользуется характеристическими диаграммами, то перед ним встает задача, как же определить по ним те механические качества, которые должна иметь сталь изделия, чтобы оно не было хрупко и вместе с тем наиболее прочно и упруго.

Этот вопрос очень сложен. Неточность расчета заставляет делать поправки, принимая расчетное напряжение стали в два—три раза меньшим предела текучести стали. Детали же, подверженные многократным переменным нагрузкам, работающие на усталость, не должны быть нагружены выше так называемого предела усталости.

Предел усталости — это то критическое переменное напряжение, при приближении к которому начинает резко уменьшаться число вынесенных до поломки деталей периодов нагрузки. Обычно при пределе усталости сталь выдерживает еще от 4 000 000 до 10 000 000 периодов нагрузки, но превышение его уже на

каких-нибудь 2—3 кг/мм² сразу уменьшает число периодов до нескольких сотен тысяч и даже меньше. При нагрузках ниже предела усталости число периодов очень быстро растет. До сих пор однако не удалось установить, существует ли такой предел утомляемости, ниже которого сталь становится абсолютно неустойчивой. Опыты Велера и других, доводивших количество периодов до 1 500 000 000 показали, что и при таком числе циклов, все же если нагрузка достаточно высока, сталь ломается. При этом оказалось, что напряжение, необходимое, чтобы сталь сломалась при таком громадном числе периодов, все же немногим ниже предела усталости.

Но в деталях сложной формы трудно определить точно распределение напряжений. Правда, сталь по некоторым данным обладает замечательной способностью приспособляться к местному переменному напряжению. Это показывают опыты исследователей, определивших предел усталости проб с острым надрезом. Опыты эти показали, что влияние острого надреза сказывается на утомляемости пробы значительно слабее, чем это следовало ожидать. Но все-таки и при наличии этого благоприятного свойства наличие надрезов или острых внутренних углов вносит большие затруднения в расчет детали, ошибки которого могут быть исправлены лишь введением в расчет так называемого коэффициента безопасности, который может лучше было бы называть „фактором незнания“, т. е. сознательно уменьшить в несколько раз расчетное напряжение детали, увеличением ее сечения.

Предел усталости тесно связан с сопротивлением разрыву. Для хорошо проваренной чистой стали он лежит не ниже 50% сопротивления разрыву. Если же сталь недостаточно чиста, он понижается еще ниже, достигая 45 и даже 40% сопротивления разрыву.

Еще более низкое положение его весьма редко и если и наблюдается, то разве в фасонном литье.

Эти цифры могут дать руководящие указания конструктору, рассчитывающему деталь, подверженную переменным напряжениям. Но все-таки для этого расчета необходимо исходить из ранее заданного сопротивления разрыву.

В этой важнейшей области сделано поразительно мало, и обычно конструктора, задавшись одной какой-нибудь цифрой, характеризующей свойство стали, рассчитывают самые разнообразные детали и назначают контрольные твердости большей частью в зависимости от различных внешних требований, как например необходимость обработать стали обрабатываемость (тогда назначают меньшую твердость, примерно не более 300), или, желая понизить износ трущихся поверхностей детали, повышают твердость. При этом, совершенно не учитывают, что параллельно идет изменение механических свойств стали, иногда незаметно приближаясь к опасному пределу.

Однако характеристики стали, хоть они и являются лишь весьма приблизительными, так как не учитывают степени чистоты стали и связанных с ней колебаний свойств, все же дают некоторые указания. Ведь действительно в них имеется очень хороший показатель вязкости — сужение площади сечения образца. Поэтому, если необходимо определить, какое же сопротивление разрыву и предел текучести (или, как его иногда называют, — «практический предел упругости») должна иметь сталь данной конструкции, будут руководствоваться необходимой вязкостью, то пользование диаграммами характеристик упустится.

Автор предлагает следующую руководящую таблицу.

ТАБЛИЦА 28

Минимальное допускаемое сжатие поперечного сечения (вязкость) испытательных разрывных проб, изготовляемых из материала детали вблизи опасного сечения.

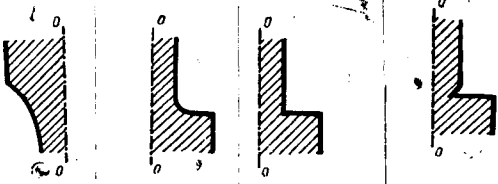
Вид нагрузки и направление действия сил	Характер перехода от толстого сечения к тонкому				
1. Статическая.					
а) вдоль оси OO . . .		10%	15%	20%	25%
б) поперек оси OO . .		15%	20%	25%	30%
2. Равномерно переменная.					
а) вдоль оси OO . . .		20%	25%	30%	35%
б) поперек оси OO . .		25%	30%	35%	40%
3. Динамическая (ударная)					
а) вдоль оси OO . . .		30%	35%	40%	45%
б) поперек оси OO . . .		35%	40%	45%	50%

Таблица это конечно только приближительна. Назначение ее — учесть влияние резких и плавных надрезов и переходов от тонких частей детали к толстым и характера приложенной нагрузки в опасном сечении детали.

Определив помощью ее необходимое сжатие поперечного сечения стали для гарантирования себя от хрупкости, мы на основании характеристик определяем другие механические свойства стали и на основании их производим расчет, принимая во внимание конечно все необходимые поправки и коэффициент безопасности.

Следует заметить, что приведенные выше характеристики стали, а также другие характеристики, которые можно найти в других книгах, не являются безусловно точными. Степень чистоты металла, характер ведения процесса плавки и рафинирования, форма слитка и метод его заливки и целый ряд других моментов влияют на свойства стали, и каждая плавка, каждый слиток в этом отношении, строго говоря, индивидуален.

Но некоторые средние качества, близкие к свойствам нормально изготовленной стали все же существуют. Таблицы наши и являются приближением к этим средним данным.

Более точное определение последних возможно только путем массовых наблюдений, длительных и кропотливых, и до сих пор еще не произведено.

Для цементуемых сталей конечно не требуется характеристик. Достаточно для них знания только механических свойств, получающих-

ся в сердечнике, так как никакому отпуску цементованные стали, за исключением мало влияющего на прочность невысокого отпуска, редко превышающего 250 они не подвергаются. В табл. 29 приведены механические свойства сердечников некоторых цементуемых сталей.

Однако эта таблица дает далеко недостаточные данные. Ведь твердая корка, обладающая весьма высокими цифрами сопротивления механическим усилиям заметно увеличивает прочность детали, и, практически проверяя расчетом деталь, пользуясь этими данными, мы часто наталкиваемся на кажущуюся недостаточную ее прочность, тогда как на самом деле она работает хорошо. Лишь достаточно массивные детали можно рассчитывать, пренебрегая свойствами корки.

ТАБЛИЦА 29

Механические свойства сердечника цементованных изделий некоторых сталей.

Химический состав				Механические свойства			
Углерод %	Никель %	Хром %	Молибден %	Предел текучести кг/мм ²	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относит. удлинение %	Относит. сужение %
0,1—0,16	—	—	—	33	54	30	62
0,1—0,18	1,8—2,2	—	—	39	60	30	65
0,1—0,18	2,75—3,25	—	—	39	75	30	55
0,09—0,17	4,75—5,25	—	—	75	97	17	50
0,10—0,16	2,75—3,25	0,8—1,2	—	90	120	15	42
0,15—0,2	—	0,8—1,2	—	60	80	20	50
0,10—0,20	1,25—1,75	—	0,2—0,3	80	100	17	47

Заканчиваем на этом нашу главу, в которой мы познакомились со свойствами некоторых специальных сталей, среди которых есть и знакомые в Советском союзе марки и незнакомые. Но эти данные далеко не полные.

На русском языке к сожалению до сих пор нет изданных таблиц и характеристик механических свойств сталей, да и за границей такие издания редки. Лишь в Америке серьезно занялись этим вопросом, и ассоциация автомобильных инженеров САСИ (S. A. E.) издала справочник, содержащий ряд характеристик наиболее употребляемых сталей, и вместе с тем сообщила рекомендуемые методы термической обработки их. В заключение нашей главы приведем список сталей этой ассоциации и рекомендуемые ею термообработки. Таблица эта может сослужить службу практике своей полнотой и проработанностью.

ТАБЛИЦА 30.
Марки стали стандартов S. A. E.

	Марка S A. E. мар.	Углерод %	Марганец %	Фосфор макс. %	Сера макс. %	Никель %	Хром %	Молибден %	Ванадий		Вольфрам %	Кремний %
									мин. %	Желат. %		
Углеродистые стали	1 010	0,05—0,15	0,3—0,6	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 015	0,10—0,20	0,3—0,6	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 020	0,15—0,25	0,3—0,6	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 025	0,20—0,30	0,3—0,5	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 030	0,25—0,35	0,5—0,8	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 035	0,30—0,40	0,5—0,8	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 040	0,35—0,45	0,5—0,8	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 045	0,40—0,50	0,5—0,8	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 046	0,40—0,50	0,4—0,6	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 050	0,45—0,55	0,5—0,8	0,045	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 095	0,90—1,05	0,25—0,5	0,040	0,050	—	—	—	—	—	—	—
	1 315	0,10—0,20	1,25—0,55	0,040	0,08—0,13	—	—	—	—	—	—	—
	1 350	0,45—0,55	0,9—1,2	0,040	0,050	—	—	—	—	—	—	до 0,30
	1 360	0,55—0,70	0,9—1,2	0,040	0,050	—	—	—	—	—	—	до 0,30
Автоматные	1 112	0,08—0,16	0,6—0,8	0,09—0,13	0,075—0,15	—	—	—	—	—	—	—
	1 120	0,15—0,25	0,6—0,9	0,060	0,075—0,15	—	—	—	—	—	—	—
Литье	1 235	В зависимости от треб. качества		0,050	0,050	—	—	—	—	—	—	—
Никелевые стали	2 015	0,10—0,20	0,3—0,6	0,045	0,045	0,4—0,6	—	—	—	—	—	—
	2 115	0,10—0,20	0,3—0,6	0,045	0,045	1,25—1,75	—	—	—	—	—	—
	2 315	0,10—0,20	0,3—0,6	0,040	0,045	3,25—	—	—	—	—	—	—
	2 320	0,15—0,25	0,5—0,8	0,040	0,045	3,15—3,75	—	—	—	—	—	—
	2 330	0,25—0,35	0,5—0,8	0,040	0,045	3,25—3,75	—	—	—	—	—	—
	2 335	0,30—0,40	0,5—0,8	0,040	0,045	3,25—3,75	—	—	—	—	—	—
	2 340	0,35—0,45	0,5—0,8	0,040	0,045	3,25—3,75	—	—	—	—	—	—
	2 345	0,40—0,50	0,5—0,8	0,040	0,045	3,25—3,75	—	—	—	—	—	—
	2 250	0,45—0,55	0,5—0,8	0,040	0,045	3,25—3,75	—	—	—	—	—	—
	2512	макс. 0,17	0,3—0,6	0,040	0,045	4,50—5,25	—	—	—	—	—	—
												0,15—0,30 0,15—0,30

	Марки SAE №	Углерод %	Марганец %	Фосфор макс. %	Сера макс. %	Никель %	Хром %	Молибден %	Ванадий		Вольфрам %	Кремний %
									Мин. %	Желат. %		
Хромоникелевые стали	3 115	0,10—0,20	0,3—0,6	0,040	0,045	1,00—1,50	0,45—0,75	—	—	—	—	—
	3 120	0,15—0,15	0,3—0,6	0,040	0,045	1,00—1,50	0,45—0,75	—	—	—	—	—
	3 125	0,20—0,30	0,5—0,8	0,040	0,045	1,00—1,50	0,45—0,75	—	—	—	—	—
	3 130	0,25—0,35	0,5—0,8	0,040	0,045	1,00—1,50	0,45—0,75	—	—	—	—	—
	3 135	0,30—0,40	0,5—0,8	0,040	0,045	1,00—1,50	0,45—0,75	—	—	—	—	—
	3 140	0,35—0,45	0,5—0,8	0,040	0,045	1,00—1,50	0,45—0,75	—	—	—	—	—
	3 215	0,10—0,20	0,3—0,6	0,040	0,040	1,50—2,00	0,90—1,25	—	—	—	—	—
	3 220	0,15—0,25	0,3—0,6	0,040	0,040	1,50—2,00	0,90—1,25	—	—	—	—	—
	3 230	0,25—0,35	0,3—0,6	0,040	0,040	1,50—2,00	0,90—1,25	—	—	—	—	—
	3 240	0,35—0,45	0,3—0,6	0,040	0,040	1,50—2,00	0,90—1,25	—	—	—	—	—
	3 245	0,40—0,50	0,3—0,6	0,040	0,040	1,50—2,00	0,90—1,25	—	—	—	—	—
	3 250	0,45—0,50	0,3—0,6	0,040	0,040	1,50—2,00	0,90—1,25	—	—	—	—	—
	3 312	max. 0,17	0,3—0,6	0,040	0,040	3,25—3,75	1,25—1,75	—	—	—	—	—
	3 325	0,20—0,30	0,3—0,6	0,040	0,040	3,25—3,75	1,25—1,75	—	—	—	—	—
	3 335	0,30—0,40	0,3—0,6	0,040	0,040	3,25—3,75	1,25—1,75	—	—	—	—	—
	3 340	0,35—0,45	0,3—0,6	0,040	0,040	3,25—3,75	1,25—1,75	—	—	—	—	—
	3 415	0,10—0,20	0,45—0,75	0,040	0,040	2,75—3,25	0,6—0,95	—	—	—	—	—
	3 435	0,30—0,40	0,45—0,75	0,040	0,040	2,75—3,25	0,6—0,95	—	—	—	—	—
	3 450	0,45—0,55	0,45—0,75	0,040	0,040	2,75—3,25	0,6—0,95	—	—	—	—	—
Молибденовые стали	4 130	0,25—0,35	0,4—0,7	0,040	0,045	1,25—1,75	0,5—0,8	0,15—0,25	—	—	—	—
	4 140	0,35—0,45	0,4—0,7	0,040	0,045	—	0,5—0,8	0,15—0,25	—	—	—	—
	4 150	0,45—0,55	0,4—0,7	0,040	0,045	—	0,5—0,8	0,15—0,25	—	—	—	—
	4 615	0,10—0,30	0,3—0,5	0,040	0,045	—	—	0,20—0,30	—	—	—	—
Хромистые стали	5 120	0,15—0,25	0,3—0,6	0,040	0,045	—	0,6—0,9	—	—	—	—	—
	5 140	0,35—0,45	0,5—0,8	0,040	0,045	—	0,8—1,10	—	—	—	—	—
	5 150	0,45—0,55	0,5—0,8	0,040	0,045	—	0,8—1,10	—	—	—	—	—
	52 100	0,95—1,10	0,2—0,5	0,030	0,030	—	1,20—1,50	—	—	—	—	—
Хромоалюминиевые стали	6 120	0,15—0,25	0,5—0,8	0,040	0,040	—	0,8—1,10	—	0,15	0,18	—	—
	6 125	0,20—0,30	0,5—0,8	0,040	0,040	—	0,8—1,10	—	0,15	0,18	—	—
	6 130	0,25—0,35	0,5—0,8	0,040	0,040	—	0,8—1,10	—	0,15	0,18	—	—
	6 135	0,30—0,40	0,5—0,8	0,040	0,040	—	0,8—1,10	—	0,15	0,18	—	—
	6 140	0,35—0,45	0,5—0,8	0,040	0,040	—	0,8—1,10	—	0,15	0,18	—	—
	6 145	0,40—0,50	0,5—0,8	0,040	0,040	—	0,8—1,10	—	0,15	0,18	—	—
	6 150	0,45—0,55	0,5—0,8	0,040	0,040	—	0,8—1,10	—	0,15	0,18	—	—
	6 195	0,90—1,05	0,2—0,45	0,030	0,030	—	0,8—1,10	—	0,15	0,18	—	—
Вольфрамовые стали	7 1 360	0,50—0,70	max. 0,3	0,035	0,035	—	3,00—4,00	—	—	—	12,0—15,0	—
	7 1 660	0,50—0,70	» 0,3	0,035	0,035	—	3,00—4,00	—	—	—	15,0—18,0	—
	7 260	0,50—0,70	» » 0,3	0,035	0,035	—	0,50—1,00	—	—	—	1,50—2,00	—
Кремнемарганцевые стали	9 250	0,45—0,55	0,6—0,9	0,045	0,045	—	—	—	—	—	—	1,80—2,20
	9 260	0,55—0,65	0,6—0,4	0,045	0,045	—	—	—	—	—	—	1,80—2,20

ТАБЛИЦА 31

Рекомендуемые методы термообработки сталей С. А. Е. (температуры при переводе градусов Фаренгейта в градусы Цельсия округлены).

Т е р м о о б р а б о т к а I			
Сталь С. А. Е. №	О п е р а ц и и		
	Цементация при °C	Закалка	Отпуск при °C
1 010—1	900—925	вода	120—260
1 015—1	900—925	»	120—260
1 020—1	900—925	»	120—260

Этот метод термообработки рекомендуется в тех случаях, когда не требуется рафинирования сердечника.

Т е р м о о б р а б о т к а II					
Сталь С. А. Е. №	О п е р а ц и и				
	Цементация при °C	Закалка из ящика	Нагрев до °C	Закалка	Отпуск при °C
1 010—II	900—925	вода	760—790	вода	120—260
1 015—II	900—925	»	760—790	»	120—260
1 020—II	900—925	»	760—790	»	120—260
2 315—II	870—900	масло	730—760	масло	120—260
2 320—II	870—900	»	730—760	»	120—260
3 115—II	885—910	масло	760—790	масло	120—260
3 120—II	885—910	»	760—790	»	120—260
3 215—II	885—910	»	750—775	»	120—260
3 220—II	885—910	»	750—775	»	120—260
3 312—II	870—910	»	750—775	»	120—260
3 415—II	870—910	»	750—775	»	120—260
5 120—II	900—925	масло	775—800	масло	120—260
6 120—II	900—925	масло	775—800	масло	120—260

Этот метод термообработки рекомендуется в тех случаях, когда желательно получить максимальную твердость корки в случае, если коробление изделия не имеет значения.

Т е р м о о б р а б о т к а III							
Сталь С. А. Е. №	О п е р а ц и и						
	Цементация при °C	Закалка из ящика	Нагрев до °C	Закалка	Нагрев до °C	Закалка	Отпуск при °C
1 010—III	900—925	вода	900—925	вода	760—790	вода	120—260
1 015—III	900—925	»	900—925	»	760—790	»	120—260
1 020—III	900—925	»	900—925	»	760—790	»	120—260
2 315—III	870—900	масло	820—845	масло	730—760	масло	120—260
2 320—III	870—900	»	820—845	»	730—760	»	120—260
3 115—III	890—920	масло	830—860	масло	750—775	масло	120—260
3 120—III	890—920	»	830—860	»	750—775	»	120—260
3 215—III	890—920	»	830—860	»	750—775	»	120—260
3 220—III	890—920	»	830—860	»	750—775	»	120—260
3 312—III	870—900	»	800—830	»	750—775	»	120—260
3 415—III	870—900	»	820—845	»	750—775	»	120—260
5 120—III	900—915	масло	870—900	масло	775—800	масло	120—260
6 120—III	900—925	масло	870—900	масло	775—800	масло	120—260

Этот метод термообработки рекомендуется, когда требуется максимальное улучшение свойств, как сердечника, так и корки, но коробление изделия не имеет значения.

Термообработка IV

Сталь С. А. Е. №	О п е р а ц и и			
	Цементация при °C	Охлаждение в ящике и нагрев до °C	Закалка	Отпуск °C
1 010—IV	900—925	760—790	вода	130—260
1 015—IV	900—925	760—790	»	120—260
1 020—IV	900—925	760—790	»	120—260
2 315—IV	875—900	750—775	вода	120—260
2 320—IV	875—900	750—775	»	120—260
2 512—IV	875—900	760—790	масло	120—260
3 115—IV	890—920	760—790	масло	120—260
3 120—IV	890—920	760—790	»	120—260
3 215—IV	890—920	750—775	»	120—260
3 220—IV	890—920	750—775	»	120—260
3 312—IV	875—900	760—790	»	120—260
3 415—IV	875—900	760—790	»	120—260
4 615—IV	875—900	800—830	масло	120—260
5 120—IV	900—925	830—860	масло	120—265
6 120—IV	900—925	830—860	масло	120—260

Этот метод термообработки рекомендуется, когда необходимо получить высшую твердость корки и избежать деформации, но свойства сердечника не важны.

Термообработка V

Сталь С. А. Е. №	О п е р а ц и и					
	Цементация при °C	Охлаждение в ящике и на- грев до °C	Закалка	Нагрев до °C	Закалка	Отпуск °C
1 010—V	900—925	900—925	вода	760—790	вода	120—260
1 015—V	900—925	900—925	»	760—790	»	120—260
1 020—V	900—925	900—925	»	760—790	»	120—260
2 315—V	875—900	820—845	масло	730—760	масло	120—260
2 320—V	875—900	820—845	»	730—760	»	120—260
2 512—V	875—900	820—845	»	730—760	»	120—260
3 115—V	890—920	830—860	масло	750—775	масло	120—260
3 120—V	890—920	830—860	»	750—775	»	120—260
3 215—V	890—920	830—860	»	750—775	»	120—260
3 220—V	890—920	830—860	»	750—775	»	120—260
3 312—V	875—900	830—860	»	750—775	»	120—260
3 415—V	875—900	830—860	»	750—775	»	120—260
4 615—V	875—900	750—775	масло	750—775	масло	120—260
5 120—V	900—925	775—800	масло	775—800	масло	120—260
6 120—V	900—925	775—800	масло	775—800	масло	120—260

Этот метод термообработки рекомендуется, когда необходимо получить высшее качество и корки, и сердечника, но коробление изделия не имеет значения.

Термообработка VI			
Сталь S. A. E. №	О п е р а ц и и		
	Нагрев до °Ц	Закалка	Отпуск
1-020—VI 1 025—VI 1 030—VI 1 035—VI 1 040—VI 1 045—VI 1 046—VI 1 050—VI 1 095—VI	860—920 860—920 860—920 830—860 830—860 820—845 820—845 820—845 760—790	вода » » » » масло или вода » » » » » » » » »	Отпуск в зависимости от требуемой твердости
2 320—VI 2 330—VI 2 335—VI 2 340—VI 2 345—VI	800—830 790—820 790—820 775—800 775—800	масло » » » »	
3 120—VI 3 125—VI 3 130—VI 3 135—VI 3 140—VI 3 220—VI 3 230—VI 3 240—VI 3 245—VI 3 250—VI 3 255—VI	860—920 820—845 820—845 800—830 800—830 830—860 820—845 800—830 775—800 775—800 800—830	масло » » » » » » » » » »	
4 130—VI 4 140—VI	845—900 830—890	масло »	
5 140—VI 5 150—VI 52 100—VI	820—875 790—845 820—845	масло » »	
6 125—VI 6 130—VI 6 135—VI 6 140—VI 6 145—VI 6 150—VI 6 195—VI	860—920 860—920 845—900 845—900 830—890 830—890 820—895	масло » » » » » »	
9 250—VI 9 260—VI	820—900 820—900	масло »	

Этот метод термообработки применяется для дегалей, изготовленных из отожженных прокатных заготовок и в тех случаях, когда не требуется нормализация.

Термообработка VII				
Сталь С. А. Е. №	О п е р а ц и и			
	Нормализация при °Ц	Нагрев до °Ц	Закалка	Отпуск
1 025—VII	930—980	860—900	вода	Отпуск в зависимости от требуемой твердости
1 030—VII	930—980	860—900	»	
1 035—VII	900—980	830—860	»	
1 040—VII	900—950	830—860	»	
1 045—VII	875—930	800—830	масло или вода	
1 045—VII	875—930	800—830	» » »	
1 050—VII	875—930	800—830	» » »	
2 320—VII	900—950	800—830	масло	
2 380—VII	900—950	790—820	»	
2 335—VII	900—950	790—820	»	
2 340—VII	890—940	775—800	»	
2 345—VII	890—940	775—800	»	

Этот метод термообработки применяется для поковок и когда требуется нормализация.

Термообработка VII				
Сталь С. А. Е. №	О п е р а ц и и			
	Нормализация при °Ц	Нагрев до °Ц	Закалка	Отпуск
3 120—VII	900—950	860—890	масло	Отпуск в зависимости от требуемой твердости
3 125—VII	900—950	820—845	»	
3 130—VII	900—950	820—845	»	
3 135—VII	890—940	800—830	»	
3 140—VII	890—940	800—830	»	
3 220—VII	890—940	830—860	»	
3 240—VII	890—940	820—845	»	
3 245—VII	875—930	800—830	»	
3 250—VII	875—930	775—800	»	
3 325—VII	875—930	800—830	»	
3 335—VII	875—930	775—800	»	
3 440—VII	875—930	775—800	»	
3 435—VII	845—900	775—800	»	
3 450—VII	845—900	760—790	»	
4 180—VII	900—930	845—900	масло	
4 140—VII	900—930	830—890	»	
5 140—VII	890—940	820—875	масло	
5 150—VII	875—930	790—845	»	
6 125—VII	900—950	860—920	масло	
6 130—VII	900—950	860—920	»	
6 135—VII	900—950	845—900	»	
6 140—VII	900—950	845—900	»	
6 145—VII	900—950	830—890	»	
6 150—VII	900—950	830—890	»	

Этот метод термообработки применяется для поковок, и когда требуется нормализация.

Термообработка VIII					
Сталь С.А.Е. №	О п е р а ц и я				
	Нормализация при °Ц	Нагрев °Ц	Охлаждение в печи, механ. обраб., нагрев до °Ц	Закалка	Отпуск
1 045—VIII	875—930	760—790	800—830	вода	Отпуск в зависимости от требуемой твердости
1 046—VIII	875—930	760—790	800—830	»	
1 050—VIII	875—930	760—790	800—830	»	
2 345—VIII	890—945	760—790	775—800	масло	
2 350—VIII	872—930	750—775	760—890	»	
3 240—VIII	890—945	675—705	790—820	масло	
3 245—VIII	8 5—930	675—705	760—790	»	
3 250—VIII	875—930	675—705	760—790	»	
3 325—VIII	875—930	650—675	800—830	»	
3 335—VIII	875—930	650—675	775—800	»	
3 340—VIII	875—930	650—675	775—800	»	
3 435—VIII	845—900	675—705	775—800	»	
3 450—VIII	845—900	675—705	760—790	»	
4 140—VIII	900—950	675—705	830—890	масло	
5 140—VIII	890—945	675—705	820—875	масло	
5 150—VIII	875—930	675—705	790—845	»	
6 135—VIII	900—950	675—705	845—900	масло	
6 140—VIII	900—950	675—705	845—900	»	
6 145—VIII	900—950	675—705	830—890	»	
6 150—VIII	900—950	675—705	830—890	»	
9 250—VIII	900—950	760—790	875—900	масло	
9 260—VIII	900—950	760—790	875—900	»	

Этот метод термообработки применяется, когда после нормализации поковок производится их обдирки на станках или полная механическая обработка.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ

ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

Оборудование термических цехов составляют: печи, закалочный инструмент, закалочные баки, закалочные приспособления (прессы и т. д.), подъемные приспособления и различные механизмы для передвижения материалов и топлива. Кроме того в цехе имеется различное вспомогательное оборудование, как-то: компрессоры для подачи сжатого воздуха, насосы для подачи нефти к печам, для перекачки масла с целью создать его циркуляцию в баке и для охлаждения его. Для контроля температур должна иметься пирометрическая установка, а для контроля качества продукции — отделение для испытания твердости Бринелля, Шора, Роквелла и т. д. Помимо того необходимо иметь различные правильные и проверочные приспособления, прессы, проберочные плиты и т. д. Описание всех этих приспособлений не входит в нашу задачу. Нам интересно только познакомиться с главнейшим видом оборудования — с печами, баками и некоторыми другими специальными механизмами, являющимися исключительно принадлежностью термических цехов.

Начнем с печей. Познакомимся с теми требованиями, которые предъявляет к нам обычная заводская практика хорошо оборудованных цехов.

Требования эти следующие.

Во-первых, печь должна соответствовать своему назначению. Так например часто практикующееся стремление, остановившись на одном типе печи, применять его для самых разнообразных термообработок, в корне недопустимо.

Если это имеет место, то безусловно цех будет работать либо с большим процентом брака по некоторым видам изделий сложной его программы, либо будет работать неэкономно и непроизводительно, так как постоянные недогревы и перегревы при закалке и отпуске заставят производить повторную термообработку, задерживая выполнение программы, расходуя лишнее топливо и рабочую силу.

Каждая операция термообработки требует определенных температур и определенного характера нагрева и охлаждения изделий, а следовательно и различных по своей конструкции и расположению в цехе печей.

Кроме того печь должна обладать достаточной мощностью, чтобы нагреть изделие данного размера. Если например печь обладает большим объемом рабочего пространства, могущим вместить массивную поковку, то этого далеко недостаточно, чтобы эту поковку правильно нагреть в ней. Печь, приспособленная для термообработки мелких деталей (в больших количествах), будет, даже в том случае, если имеет относительно большие размеры, расходовать мало топлива и тепловая мощность ее будет недостаточна, чтобы достаточно быстро и равномерно нагреть крупное изделие. А с последствием недостаточного прогрева мы уже знакомы. Это постоянная ошибка. С другой стороны, закалка каких-нибудь мелких пружинки в печи, приспособленной для изделий в несколько килограммов веса, может вызвать слишком быстрый нагрев, сопровождающийся или короблением или появлением трещин, и кроме того такая закалка будет неэкономична.

Мощность печи определяется расходом топлива. Обычно на нагрев при закалке топлива расходуется 7—10% от веса изделия. Определив, примерно общую продолжительность нагрева изделия 1 час на 20—25 мм минимального сечения, мы можем рассчитать, сколько топлива в единицу времени должна сжигать печь, чтобы работа ее соответствовала нашим требованиям.

Вторым требованием является необходимость равномерного нагрева изделия. Способность печи давать равномерный нагрев определяется ее конструкцией. Проектируя печь, необходимо продумать и движение в ней газов, направив его таким образом, чтобы острое, выходящее из горловины точки пламя, ни в коем случае не могло коснуться изделий и направлялось под свод, где должно быть достаточно места, чтобы горячие газы могли равномерно растечься по нему. Тогда под сводом получается достаточный объем равномерно нагретых газов. Движение газов в рабочей камере должно быть сверху вниз и, коснувшись холодного изделия, сами охладившись, они как более тяжелые будут опускаться вниз, создавая вокруг изделия циркуляцию. Под печи и расположение пролетов для отходящих газов должны быть таковы, чтобы холодные струйки, стекая с изделия, как можно скорее удалялись из печи в дымовую трубу, не мешались и не препятствовали смыванию всей поверхности изделия свежими горячими газами.

Для лучшего удаления этих холодных струек рекомендуется делать подовые каналы или, еще лучше, сделать решетчатый под.

Однако это не всегда удобно. Мелкие изделия могут проваливаться в отверстия решетчатого пода, теряться и засорять дымоход. Для избежания этого проф. В. Е. Грум-Гржимайло предложил делать обогреваемые снизу поды. Конструкция их следующая (рис. 91).

На ряд арок, перекрывающих дымоход, расположенный под подом печи, укладывается лист котельного железа толщиной 15—20 мм.

Арки отстают друг от друга на расстоянии 100—120 мм и пролет их больше ширины листа. Изделия нагружаются на лист. Газы, омывая под, попадают в боковые отверстия между стенками печей, кромкой листа и арками и скапливаются у нижней поверхности листа обогревая его снизу. Затем они, продолжая охлаждаться, опускаются вниз и уходят в дымовую трубу.

Такой под обеспечивает равномерный нагрев всей массы наваленных кучей мелких изделий, для нагрева которых он особенно пригоден.

Иногда боятся, что железный лист будет коробиться. Это и имеет место при плохом расчете печи, когда скорость движения газов в пролетах вокруг листа делают слишком большой. При правильном расчете никакого коробления не наблюдается и большое количество различных печей, снабженных такими подами, показало, что такой под служит вполне исправно 8—10 месяцев и более. Еще одно его достоинство — он очень скользкий, поэтому передвижение тяжелых изделий по нему крайне легко, чем не обладают кирпичные поды. Ширина его ограничена — не более 600 мм.

Следующим фактором, характеризующим печь, является ее производительность. Чем больше печь, тем больше производительность ее в весовом выражении. Но, как мы знаем из только что изложенного, между размером обрабатываемого изделия и размерами печи существует известная пропорциональность. Это указывает, что при данном типе

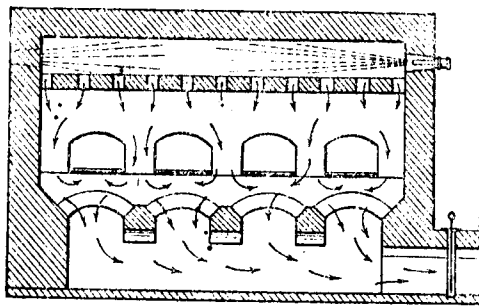


Рис. 91. Закалочная печь конструкции проф. В. Е. Грум-Гржимайло с обогреваемыми снизу подами.

печей производительность ее для данного изделия имеет границы. Поэтому, чтобы увеличить пропускную способность цеха, приходится устанавливать не одну, а несколько печей.

Это имеет еще то достоинство, что обеспечивает непрерывную работу цеха при выходе из строя в ремонт одной из однопечных печей. Следующим фактором является характер атмосферы печи. Громадным недостатком многих печей является их окислительная атмосфера, подчас делающая их не пригодными для закалки готовых «беловых» и цементованных изделий. С этой точки зрения лучшими печами оказываются хорошо рассчитанные и отрегулированные печи с открытым пламенем. Муфельные и электрические печи часто оказываются гораздо хуже.

Для того чтобы пламенная печь не окисляла, необходимо работать

на ней с теоретическим расходом воздуха. Это достигается следующим образом. Если уменьшить количество поступающего в колосники печи воздуха, то пламя делается коптящим, непрозрачным и, взглянув в печь мы не увидим сквозь пламя задней стенки рабочего пространства и изделий, загруженных в печь. В дымовые пролеты будут уходить коптящие языки пламени. Начнем прибавлять дутье. Пламя начнет проясняться и количество копоти, идущей в дымовые пролеты, будет меньше. Увеличивая еще дутье, мы наконец заметим, что в дымовые пролеты уже пламя не доходит. Лишь изредка отдельные языки его, отрываясь от остальной массы огня, попададут в пролеты и скрываются в них. Взглянув в рабочее пространство, мы увидим, что все оно заполнено огнем, но пламя уже прозрачное, и, равномерно освещая печь красным светом, оно не препятствует обожрению внутренности печи. Взглянув на заднюю стенку, мы увидим сквозь пламя границы слагающих ее кирпичей. Тот момент, когда

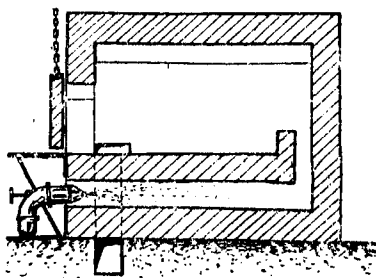


Рис. 92. Обыкновенная закалочная печь с кирпичным подом.

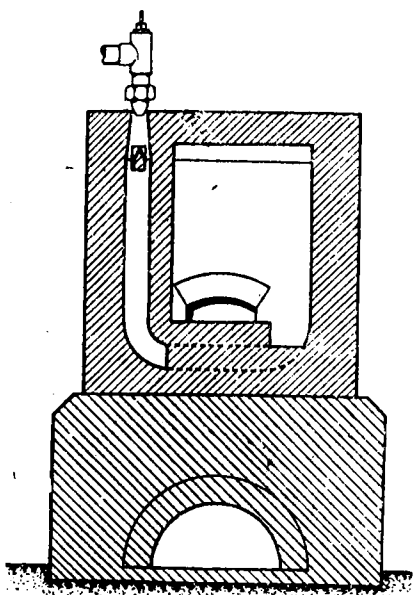


Рис. 93. Маленькая нефтяная печь системы В. Е. Грум-Гржимайло для заковки быстрорежущей стали.

впервые можно рассмотреть кирпичи стенки, и соответствует теоретическому горению пламени. Если прибавить еще дутье, то горение газов настолько ускорится, что пламя уже не заполнит печи и соберется под сводом, сильно раскалится и окисляя изделия.

Правильно работающая печь должна иметь мягкое, тлеющее, «томильное» пламя, не коптящее и не острое. Регулирующий работу печи рабочий должен добиться именно такого вида пламени. Но для его получения необходима кроме того правильная конструкция печей. Пламя теоретического горения газов обладает большим объемом. Поэтому и печи должны обладать также большим объемом, достаточным, чтобы вместить его, иначе они будут неэкономичны и непроизводительны. Для определения размеров печей необходимо производить расчет их, расчет сложный и требующий специальных познаний.

Изложить теорию расчетов в кратких словах в нашей книге не представляется возможным, и поэтому не будем на этом останавливаться. И отошлем интересующихся вопросом к основному руководству в области конструирования печей, к курсу покойного проф. В. Е. Грум-Гржимайло «Пламенные печи».

Опишем несколько наиболее обычных конструкций.

На рис. 92 изображена простая закалочная печь, работающая на нефти. Эта одна из распространенных конструкций, дешовая и удобная.

На рис. 93 изображена маленькая нефтяная печь, дающая очень высокую температуру, пригодная для закалки быстрорежущих сталей.

Форсунка у этой печи поставлена инвертно и бьет в подину. У подины создается таким образом интенсивный очаг горения весьма высокой температуры и отработавшие газы уходят в окна печи, препятствуя засасыванию атмосферного окисляющего воздуха.

На рис. 94 приведена электрическая печь сопротивления простейшего устройства.

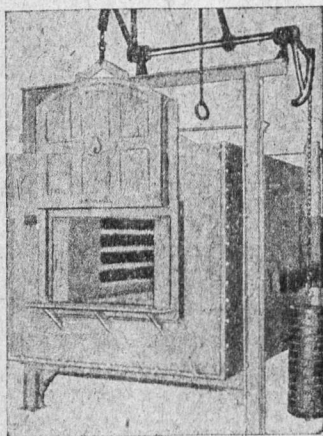
Конструкция ее приблизительно следующая. В хорошо снаружи изолированной теплонепроницаемым пористым кирпичем и защищенной железным клепаным кожухом кирпичной камере, являющейся рабочим пространством печи, по обеим боковым ее стенкам расположены нагревающие элементы. Нагревающие элементы отлиты из специального жароупорного сплава в виде длинных изогнутых полос различных конструкций. Соединенные по-

Рис. 94. Электрическая печь для термообработки.

следовательно один с другим, они образуют проводник, по которому пропускается электрический ток достаточной мощности, чтобы раскалить элементы. Удобство этой печи — быстрое разогревание, чистота и точность работы. Легко управляемая автоматическими регуляторами, она весьма мало зависит от умения обслуживающего персонала, поэтому при ней может работать малоквалифицированный и следовательно более низко оплачиваемый калильщик. Недосток ее — окислительная атмосфера раскаленного чистого воздуха, плохо нагретый под и дороговизна ремонта. Кроме того, расходуя много электроэнергии, стоимость которой в СССР часто не так низка, эта печь может оказаться настолько неэкономичной, что придется от нее отказаться, несмотря на ряд существенных ее преимуществ.

Для отпуска применяются обычно такие же печи, как и для закалки, но ввиду более низкой температуры, требующейся для отпуска, их снабжают слабыми форсунками, дающими небольшое количество пламени, успевающего догореть или в сжигательной камере или под сводом печи. Иногда лучше применять даже муфельные печи, обладающие большей инерцией и дающие равномерный нагрев. В главе об оборудовании отжигательных мастерских уже говорилось о таких муфельных печах; там приведен и чертеж печи.

Особенно удобны для отпуска электрические печи, так как регулировка температуры при низких температурах на глаз затруднительна. Поэтому применение автоматической регулировки электропечей оказывается настолько выгодным, что искупает все их недостатки.



При очень низких температурах отпуска, например при отпуске шариков для подшипников или инструмента, удобно применять электрические установки вполне сходные с обычными лабораторными сушильными шкафами. На рис. 95 приведен общий вид термического цеха

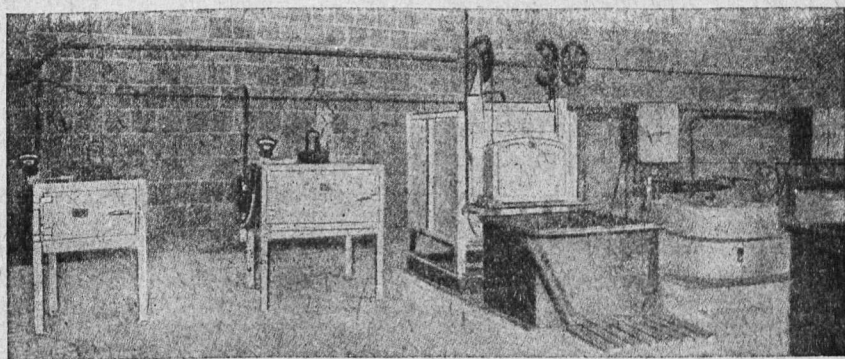


Рис. 95. Термическая мастерская шарикоподшипниковой фабрики.

для закалки шариков, оборудованного такими печами — шкафами для отпуска.

Выше описанные печи не обладают очень большой производительностью. Обладая площадью пода, редко превосходящей 4 м^2 , они вмещают небольшое количество деталей, вследствие чего в течение рабочего дня приходится повторять несколько раз операцию нагрева и охлажде-

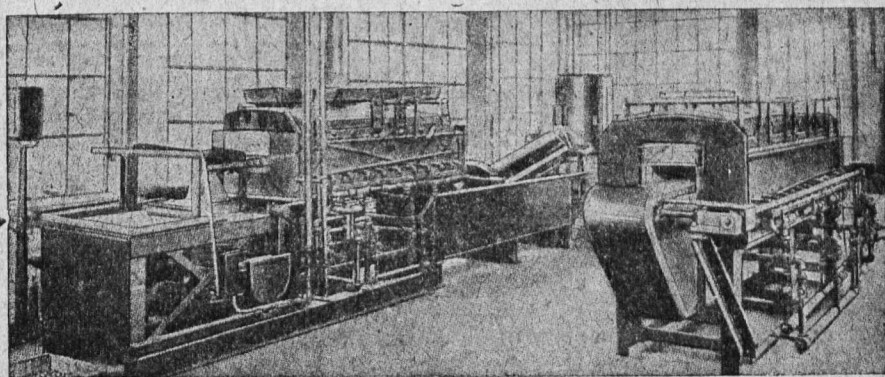


Рис. 96. Конвейерные печи для термической обработки. Слева агрегат для закалки и отпуска, справа — для нормализации.

ния. Вынимание изделий по одному, ручным способом, еще больше замедляет работу печей, уменьшая количество посаженных изделий.

С целью увеличить разгрузку печей приходится механизировать закалку изделий. Это достигается посадкой изделий на подвижных решетках, после нагревания выдвигаемых из печи и затем захватываемых мостовым краном. Кран отвозит их к баку и погружает в него вместе с изделиями.

Но и такой способ закалки часто оказывается недостаточным для требуемой производительности. Тогда приходится прибегать к печам методическим, конвейерным и т. д., в которых изделия двигаются вдоль печи, проходя последовательно зоны низкой, средней и закалочной температур и затем автоматически выдвигаемые из печи на шесток, откуда их берет рабочий для закалки вручную; иногда изделия из печи посредством других механизмов автоматически направляются в закалочный бак. На рис. 96 изображена такая автоматическая закалочная установка, состоящая из отапливаемой газом закалочной конвейерной печи, подающей изделия после нагрева прямо в закалочный бак, откуда они передаются, также автоматически, в печь для отпуска. Устанавливая такой агрегат на пути общего конвейера, можно, воспользовавшись трудом двух неквалифицированных рабочих (одного, переключавшего изделия с конвейера, подающего изделия, на конвейер печи у одного конца агрегата, и другого, снимающего изделие с конвейера печи для отпуска), осуществить весьма дешевую точную и производительную термообработку.

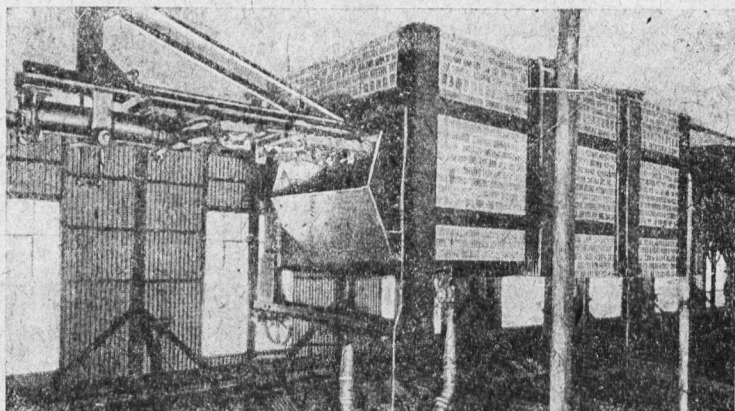


Рис. 97. Печь с толкателем.

Справа на том же рисунке изображена другая печь для нормализации. Изделия загружаются на ее конвейер с заднего конца, и пройдя печь, достигая противоположного конца конвейера, падают, направляемые воронкой, видной на рисунке, в данном случае на пол, а лучше на другой конвейер, доставляющий их к закалочному агрегату.

Описанная установка является примером новейшего агрегата для автоматической термообработки изделий. Она обладает громадной производительностью, но требует вполне однородных деталей. Поэтому применяется она на заводах с однородной массовой продукцией, среди которых автомобильные заводы занимают первое место.

Конечно это не единственный вид установки. В зависимости от различных условий подобные агрегаты составляются из разнообразных печей, имеющих между собой лишь то общее сходство, что нагрев в них ведется методически и изделие в печи не находится в покое, а постепенно двигается от холодного конца к горячему.

Существуют следующие типы этих печей: 1) печь с толкателем, с движением материала в одном направлении; 2) печь с толкателем, с движением материала по двум встречным направлениям; 3) печь с рольгангом. 4) Конвейерная печь с подвижным подом; 5) конвейерная печь с цепью, идущей под сводом и 6) кольцевая «карусельная» печь с вращающимся подом.

1) Печи с толкателем являются копией давно известных в прокатном деле печей с толкателем. Отличаются они меньшими размерами и более низкими температурами. Изделия в этих печах, если имеют сложную форму, загружаются в ящики на поддоны или на башмаки, которые и проталкиваются по направляющим пневматическим, или приводимым в движение электромотором толкателем. Мы уже имели пример такой печи в главе об оборудовании отжигательных фабрик, печи, предназначенной для нормализации.

2) Для отжига применяются подобные же печи, но движение материала производится с помощью двух толкателей, расположенных у концов

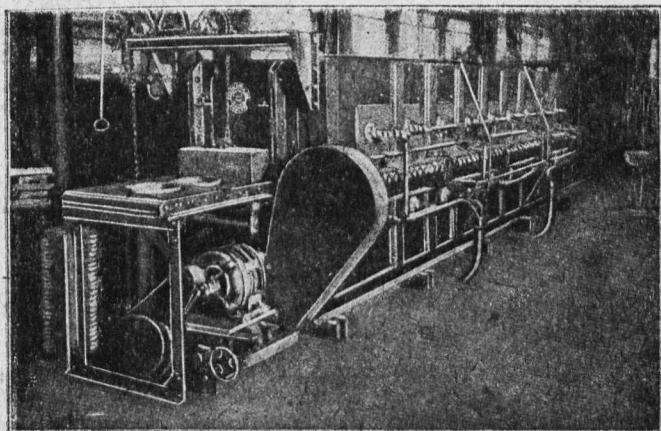


Рис. 98. Роликовая печь фирмы Роквелл.

печи, и проталкивающих садку по двум встречным параллельным направлениям. Поступая с одного конца печи, изделия медленно нагреваются; доходя до середины, они попадают в зону наивысшей температуры и затем, двигаясь далее, отдают свое тепло соседней линии, двигающейся навстречу первой. Эти печи весьма экономичны, так как тепло остывания изделий при отжиге теряется в обычных конструкциях печей, тут же оно утилизируется для нагрева следующей партии изделий. Общий вид такой печи изображен на рис. 97.

Печи эти делают с двумя или четырьмя линиями движения материала. Отапливаются они обычно газом, нефтью или нагреваются электричеством. Электрические радиаторы тогда устанавливаются в средней части свода у боковых стенок, под полозьями, по которым движутся ряды ящиков с изделиями.

Для облегчения движения ящиков полозья заменяют роликами. Иногда ролики делают самодвижущимися. Тогда толкатель уже не нужен, и печь обращается в роликовую.

3) Роликовые печи удобны для термообработки плоских деталей, например деталей, отштампованных из листового железа, тарельчатых шестерен, различных дисков и т. д. На рис. 98 изображена такая печь с роликовым подом, отапливаемая газом и применяемая в данном случае для термообработки коронных автомобильных шестерен.

Как видно из рисунка, детали укладываются на ролики, приводимые во вращение от электромотора. Ролики, по крайней мере часть их, должны находиться при высокой температуре. Поэтому применение жароупорных сплавов здесь безусловно необходимо. Однако, если печь предназначена для отпуски деталей и следовательно температура ее никогда не превышает 700° , их можно делать и из более дешевой, обыкновенной стали без риска скорого износа.

Регулируя горение газовых горелок, можно изменять характер распределения температур в печи в зависимости от характера обрабатываемых деталей. Если детали требуют постепенного подогрева, то в переднем конце печи, сбавляя газ, получают более низкую температуру, необходимую для более медленного подогрева. Если однако

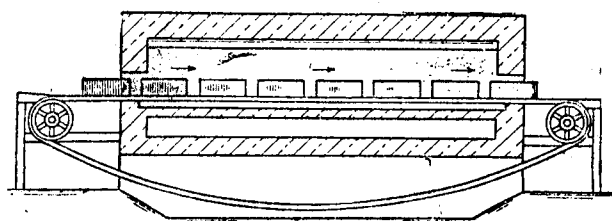


Рис. 99. Эскизный чертеж конвейерной печи.

термообработке подвергаются детали из листового материала, длинные штанги или трубы, то, отказавшись от методического, постепенного нагрева, поднимают температуру в печи до нужной высоты и быстрым движением роликов, введя в печь изделие, нагревают его сразу по всей длине. Если печь снабжена реверсивным механизмом, дающим возможность вращать ролики в обоих направлениях, то посадку и выдачу таких длинных изделий можно производить с одного конца, если же реверсивного механизма нет, то приходится производить посадку с одной стороны и выдачу с другой стороны печи. В зависимости от планировки мастерской можно применять тот или другой метод работы.

4) Конвейерная печь с подвижным подом более универсальна, чем печь с рольгангом или печь с толкателем, так как на подвижной можно укладывать детали любой формы.

На рис. 99 схематически изображена конструкция такой печи. Как видно из эскиза, через длинную, коридорного типа печь, протянута длинная бесконечная лента, охватывающая по концам печи два ведущих колеса. В печи лента движется по полозьям, что необходимо для избежания провисания.

Существует ряд конструкций ленты цепи. Так например иногда цепь делают из больших звеньев, имеющих огнеупорную, часто карбундовую набойку. При выпрямлении цепи эти звенья плотно прилегают друг к другу, образуя сплошной подвижной под; звенья скреплены друг с другом шарниром.

Ввиду большого веса такой цепи, следовательно большой ее теплоемкости, печи, снабженные таким конвейером, оказываются неэкономичными, так как тепло нагрева пода конечно теряется при выходе звена наружу. С целью уменьшить потери тепла, стали делать конвейер печи более легким, воспользовавшись высокой жароупорностью некоторых сплавов, отказавшись от применения футерованных звеньев и заменив их рядом цепей, приготовленных по типу цепей Галья связанных между собой легкой решеткой из жароупорного сплава. Цепи, проходя печь, опираются на продольные рельсы и по выходе из нее огибают ведущее колесо и затем, проходя под печью, достигают второго колеса, обогнув которое, снова попадают в печь.

Это видно из рисунка 99.

Такая конструкция конечно более экономична, чем предыдущая, так как цепь легче и уносит с собой тепла меньше. Однако и она имеет ряд существенных недостатков. Постоянное нагревание и охлаждение элементов цепи вызывает ускорение их износа и вытягивания цепи, иногда сопровождающегося перекосами.

Для избежания этого конвейер печи разбивают на три отдельные секции, конструируя их таким образом, что внутренняя секция работает только в зоне высоких температур и две крайние секции служат лишь для передачи изделий и выдачи их из печи и воздействию тепла совсем не подвергаются, тогда колебания температуры конвейеров доводится до минимума. Вследствие этого стойкость их сильно увеличивается и уменьшаются потери тепла.

5) Иногда бывает выгоднее устраивать конвейер под сводом печи и тогда изделия подвешиваются к нему помощью специальных захватов.

Конвейерные печи удобны тем, что, автоматически передавая изделия с одного конвейера на другой, они делают возможным полностью механизировать процесс термобработки. Изделие, положенное на конвейер, проходит через такую печь, нагревается, переносится или сбрасывается в закалочный бак, откуда извлекается новым конвейером, автоматически передается в печь для отпуска и т. д., пока не будет закончена эта операция, и по ее окончании автоматически же передается дальше.

Иногда выгоднее ставить так называемые карусельные печи. Примером такой печи может служить печь, построенная по проекту проф. В. Е. Грум-Гржимайло, для закалки кос (рис. 100). Печь круглая, под печи установлен на отдельном, охлаждаемом водой, вращающемся столе. В этой конструкции под не сплошной, а состоит из

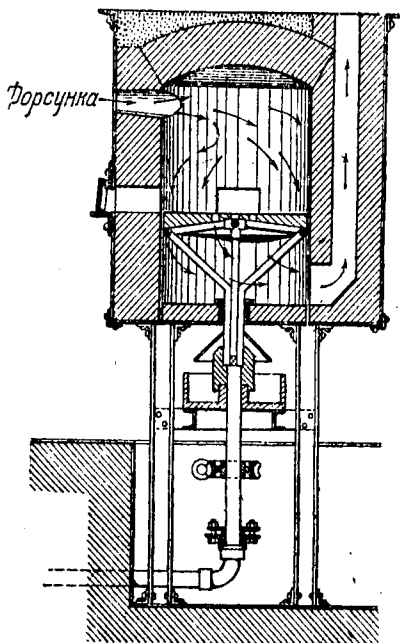


Рис. 100. Карусельная печь системы проф. В. Е. Грум-Гржимайло.

четырёх отдельных секций. Секции эти при вращении печи проходят мимо двух окон, одного садочного, другого для выдачи изделий. Окна расположены рядом. Когда секция пода подойдет к садочному окну, дверца его автоматически открывается и рабочий закладывает изделия. Вращаясь и обходя кругом всю печь, под подносит изделие ко второму окну, которое тоже снабжено автоматическим затвором. Когда окно откроется, тот же рабочий вынимает изделия и опускает его в бак.

Эта печь, построенная для закалки кос, дала чрезвычайно высокую производительность, доходящую до 500 кос в час.

Это не методическая печь, так как вращающийся под все время находится в атмосфере раскаленных газов при одной температуре. В тех случаях, когда это недопустимо, увеличивая диаметр печи и делая ее кольцевой, можно получить кольцеобразный коридор с изменяющейся вдоль по его окружности температурой. Тогда в месте между посадочным окном и окном для выдачи изделий приходится ставить разделительную стенку для отделения горячей зоны печи от холодной.

Такие печи очень удобны для полуавтоматической закалки деталей автомобилей, авиационных двигателей, инструмента и т. д., т. е. деталей весом, не превышающим 6—10 кг, так как при большем весе одному рабочему уже трудно своевременно производить посадку и вынимание изделий, да и для прогрева более массивных изделий пришлось наладить очень медленное вращение подины, что невыгодно.

Ввиду малой ширины получающегося у такой печи канала размеры изделий ограничены.

Существует еще много различных конструкций автоматических печей, но мы не будем затягивать изложение их описанием.

Перейдем к рассмотрению некоторых специальных конструкций.

Первой рассмотрим соляную ванну, применяемую как для нагрева при закалке и отпуске, так и для цианизации изделий.

Конструкции соляных ванн крайне разнообразны. В зависимости от того, какой вид энергии применяется для нагрева ванны, от характера топлива и наконец в зависимости от тех температур, которые необходимо получить в ванне, конструкции их меняются.

При невысоких температурах, а именно до 900°, печи строятся, отапливаемые нефтью, иногда углем, дровами. Иногда применяют и электрический подогрев ванн, устанавливая вокруг ванны электронагревательные радиаторы. При более высоких температурах, когда уже затруднительно приготовить тигель, достаточно прочный и огнестойкий, единственным, практически оправдывающимся методом подогрева является электрический. При этом конструкция печи радикально меняется. Такая печь уже не содержит радиаторов. Нагревающим телом служит сама расплавленная соль, по которой пропускается помощью опущенных в ванну чугунных электродов электроток. Соль проводит электричество и в том случае, когда температура ее достаточно высока, но электросопротивление ее падает настолько, что создается возможность делать печи с обычной угольной ванной и пользоваться током от трансформатора в 10—15 V.

Однако при обыкновенной температуре и пока соль еще не расплавилась и не прогрелась, электросопротивление ее чрезвычайно высокое. Поэтому, пуская печь, необходимо сперва расплавить соль. Это проще всего достигается засыпкой угольного порошка на поверхность ванны. Тогда ток пойдет по углю и, накалив его, разогреет печь. При

этом соль конечно начинает плавиться с поверхности. Если соль недостаточно, сухая может произойти сильный взрыв соли, когда расплавленные ее капли коснутся влаги и испарят ее. Поэтому при работе с соляной ванной безусловно необходимо тщательно следить за тем, чтобы соли, загружаемые в печь, были бы безусловно сухие.

Электродная соляная ванна обладает многими недостатками. Она трудно поддается регулировке, так как всякая загрузка металлических предметов меняет электропроводность ванны, а следовательно и ее температуру. Это создает большое затруднение при пользовании электродной ванной, и поэтому в Америке, где всюду стремятся по возможности автоматизировать производство, такие установки применяются мало. В Европе однако печи эти пользуются успехом и часто применяются для закалки инструмента, главным образом быстрорежущей стали, так как дают возможность поднимать в них температуру до 1300° .

Не будем останавливаться на описании электрованны, нагреваемой установленными вокруг тигля электронагревательными элементами, и перейдем к описанию более простой установки ванны, отапливаемой нефтью.

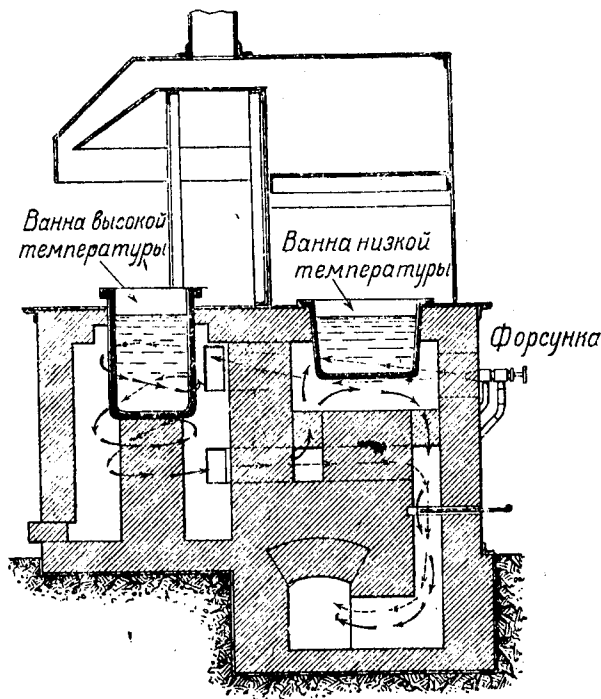


Рис. 101. Соляная ванна (по проекту проф. В. Е. Грум-Гржимайло).

На рис. 101 приведен чертеж ванны, спроектированной под руководством проф. В. Е. Грум-Гржимайло. Как видно из чертежа, ванна, представляющая собой тигель, отлитый или из стали, или лучше из жароупорного сплава, помещается в кирпичной камере кольцевого сечения, отапливаемой нефтью. Пламя форсунки окружает тигель со всех сторон. По мере охлаждения вокруг стенок тигля печные газы идут вниз в сборник, откуда идут либо по направлению к баку для подогрева масла, либо прямо в дымовую трубу. Количество газов идущее для подогрева масла, может быть уменьшено посредством шиберы, помещенного между ванной и баком. Тигель наполняется солью или свинцом и при достаточном нагреве может служить для нагрева под закалку. Ванна, наполненная маслом, служит для отпуска. Наполнив ванну легкоплавкой смесью солей, можно производить закалку инструмента прямо в расплавленную соль по ранее описанному методу.

Эта установка очень удобна для небольших инструментальных мастерских, для термической обработки фрез, плашек, разверток и другого инструмента из углеродистой инструментальной стали. Может она применяться и для цианизации. Цианирующая же смесь должна разгружаться в тигель. Максимальная температура такого агрегата достигает 900—950° в зависимости от качества материала, из которого изготовлен тигель.

Кроме печей существенной частью оборудования термических цехов является закалочный бак. Недостаточно внимательное отношение к его конструкции сказывается и на производительности цеха, и на качестве термообработки. Поэтому опишем вкратце конструкцию бака, оправдавшую себя на практике.

Это—бак с двойными стенками в промежутке между которыми циркулирует охлаждающая вода. Но одного внешнего охлаждения бака далеко недостаточно для поддержания температуры закаливающей жидкости. Дело в том, что как масло, так и вода, будучи нагреты нагретым в них накалившимся стальным изделием, расширяются и следовательно единица их объема становится легче; это вызывает поднятие этих частиц жидкости кверху и скапливание их у поверхности. Если не удалить их оттуда, то очень скоро поверхностный слой нагретой жидкости будет так толст, что влияние его будет уже сказываться на качестве закалки. При закалке в масло температура его может быстро достигнуть температуры вспышки масла, а это, если бак заполнен почти до краев, уже опасно. Поэтому вверху у самой поверхности жидкости в баке делается отверстие для свободного стока верхних слоев жидкости. Эта нагретая жидкость спускается по трубам, идущим под полом в другой бак, снабженный змеевиком, где производится его охлаждение. Здесь также более теплая жидкость должна скапливаться сверху. Внизу у бака с холодильником имеется труба, связывающая его с насосом, передающим охлажденную жидкость вниз закалочного бака. Таким образом устанавливается циркуляция жидкости: сверху из закалочного бака в холодильник, опускание жидкости в холодильник (по мере охлаждения), насос, низ закалочного бака и т. д.

Охлаждение массивного закаливаемого предмета длится несколько минут. Рабочему некогда ждать так долго, держа в клещах изделие. Поэтому он должен, опустив изделие в бак, там его и оставить. Для облегчения вынимания изделия приходится делать подъемную решетку, на которую и забрасываются закаливаемые изделия. В глубоких баках делают иногда двойные решетки, так как при повреждении первой решетки изделие может провалиться, и тогда достать его будет трудно.

Обычно баки делают стационарными, вкапывая их в землю на расстоянии приблизительно—2 м от окна печи. Чем ближе расположены они к печи, тем лучше. Но с другой стороны, при открывании дверцы печи вблизи окна печи делается настолько жарко, что пребывание там калильщика делается невозможным. Ему приходится отходить от печи, а потому между баком и печью должно быть достаточное пространство. При посадке изделий в печь если бак будет слишком близок, он будет мешать работе. Это тоже заставляет относить его несколько дальше.

В некоторых новейших цехах баки делают подвижные. Прокладывая широкий рельсовый путь перед загрузочным окном ряда печей, устанавливают на него тележку с закалочным баком. При погрузке

изделия, бак отводят в сторону, а при закалке его подводят, и он устанавливается вплотную к печи. Действуя кочергой или длинными щипцами, выдвигают изделие из печи и дают ему скатиться по наклонным полозьям в бак. В хорошо оборудованных цехах эта операция производится специальным краном, вынимающим сразу все изделия из печи и погружающим их в бак. Для облегчения этой операции погрузку изделий в печь производят на железных решетках, легко захватываемых краном. Когда бак загружен, его уводят по рельсам в специально отведенное помещение для разгрузки, где и производят выемку изделий. Создание циркуляции жидкости в таком подвижном баке труднее. Эти трудности избегают, делая около каждой печи краны, связанные с общей магистралью, сообщающейся с насосом и холодильником. Иногда же делают эти приспособления только в конце пути, подавая бак к печи с холодной жидкостью и затем, после закалки, сменяя ее. Это допустимо в том случае, если количество закаливаемых предметов, хотя бы и довольно массивных, невелико.

Такая организация производства очень удобна, так как обеспечивает правильное движение материалов в цехе: подача изделий производится к печам. Они раскладываются перед печами на решота и закаливаются. Подвижной бак отводит изделие в другое помещение цеха, где производится их испытание, пересортировка и дальнейшее назначение и отправка.

Подобная система организации термического цеха должна быть хорошо продумана и рассчитана. Необходимо точно рассчитать время нагревания изделий в печи и продолжительность их охлаждения в баке. Один подвижной бак может хорошо обслуживать 3—4 печи. Поэтому, если печей больше, необходимо предусмотреть возможность движения по рельсам нескольких баков.

Применяется этот метод работы в тех случаях, когда все изделия слишком велики для успешной работы конвейерных печей или когда программа цеха настолько разнообразна, что приходится отказаться от методического, однообразного нагрева больших количеств изделий. Это часто имеет место на универсальных заводах, не имеющих устойчивого объекта производства. При более однородной программе применение автоматических печей и бака, также снабженного конвейером, выгоднее.

Вот вкратце описание новейших приборов для термической обработки стали. Мы не приводили подробного описания. Слишком разнообразны эти устройства, и изучающему гораздо лучше ознакомиться с ними при посещении термических цехов многих наших заводов. Работа в них хотя бы и недлительный промежуток времени принесет больше пользы, чем чтение сколько угодно длинных повествований, описывающих эти устройства. И остановившись на оборудовании цеха, мы имели в виду описать только наилучшее оборудование, уже построенное и испытанное, чтобы побудить всякого занимающегося термообработкой к дальнейшему улучшению своего производства.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО ТЕРМООБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ

Практические занятия по термообработке сталей проводятся на заводе под руководством выделенных заводоуправлением руководителей. Они имеют целью познакомить обучающегося с практическими приемами работы и контроля, принятыми на заводе, и выявить перед ним те «узкие места», те мелочи, которые так часто не учитываются в достаточной мере и иногда совершенно неожиданно порождают неполадки, брак, простой и другие бичи производства. Обучающийся вовсе не должен проработать на всех механизмах цеха. Но он должен составить общее представление обо всем цехе, а лучший метод этого ознакомления — самому прощупать все больные, все узкие места цеха и, узнав их, подумать об их устранении.

Перед проведением практических работ студенты должны получить разъяснения от руководителя цеха или его помощников о характере производства и о тех задачах, которые выполняет цех. Они должны узнать из его объяснения, на что необходимо обратить особенное внимание и что в цехе не является столь важным. И кроме того они должны узнать от него правила охраны труда, без знания которых посещение цеха, и тем более работы в нем, недопустимы.

Различно оборудованные цехи, с различными программами конечно настолько непохожи друг на друга, что составление подробного описания работы, проводимой в них, невозможно. Несмотря на это, ряд отдельных моментов является общим для всех цехов, и именно эти то моменты и необходимо изучить, изучить на практике, а не по книгам. Только тогда учащийся поймет, как трудно порой на практике избавиться от какой-нибудь неувязки, и на первый взгляд незначительная, как дорого обходится она производству.

Увидав ее, пусть учащийся подумает об ее устранении, и если придет к нему счастливая мысль, как избавиться от нее, пусть сообщит, посоветуется с руководителями. Но как бы хороша ни казалась ему его мысль, он должен быть достаточно скромным и внимательным к той критике, которую он услышит, так как часто мысль его не будет новой, и незнакомый еще со всеми тонкостями производства, он легко может не учесть других, более важных сторон дела. И тогда, если возомнит о себе и будет навязчив, то ничего кроме плохого из этого не получится. Если все же он считает, что мысль его верна, он должен заняться более глубоким ее изучением и проработкой. Представив результаты своих изысканий, он увидит, что и администрация и другие заводские организации придут к нему на помощь в проведении его идеи, если она действительно окажется правильной и экономически выгодной.

Приводимые ниже работы и составлены таким образом, чтобы учащийся прошел по всем этим больным местам цеха.

1. Определение качества стали по искре. Учащийся получает от руководителя набор проанализированных эталонов стали. Удобнее всего эталоны заготовить из отожженного металла в виде отрезков от прутков сталей круглого или квадратного сечения 15—20 мм и длиной 150—200 мм.

Необходимо иметь стали примерно следующего состава: (см. рис. 102)

мягкое железо с содержанием углерода . . .	0,1— 0,15%	(фиг. 1)
конструкционная сталь » . . .	0,3— 0,4%	(фиг. 2)
» » » . . .	0,4— 0,5%	(фиг. 3)
инструментальная сталь » . . .	0,8— 1,1%	(фиг. 4)
быстро режущая сталь		(фиг. 5)

Никельмолибденовая, хромоникелевая или ка-
кая-нибудь другая специальная сталь

Ознакомившись с устройством точил и надев прозодежду и очки для защиты глаз от наждачной пыли, учащийся медленным движением рукоятки контрпривода приводит во вращение наждачные диски. Прижимая к боковой поверхности диска эталон и стачивая с его кромки

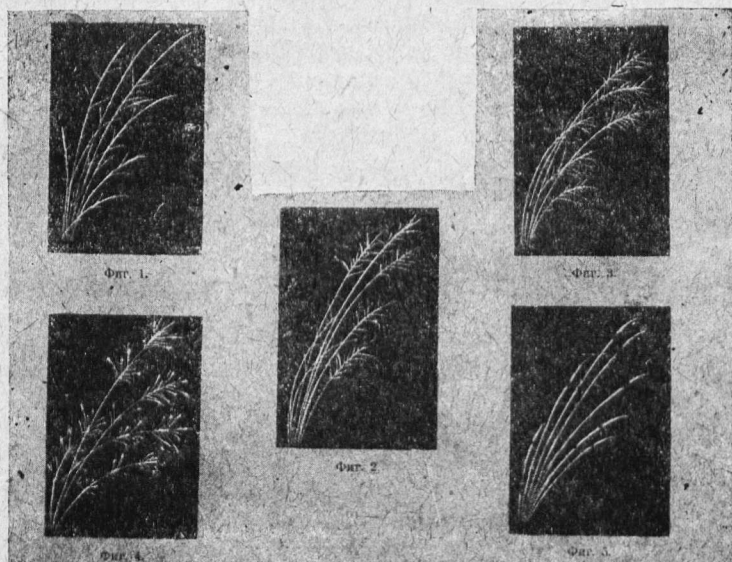


Рис. 102. Вид искр различных сортов сталей.

металл, он наблюдает за характером искр. Прodelывая несколько раз этот опыт со всеми эталонами, он замечает отличительные особенности искры различных сталей. На рис. 102 приведены виды искр различных сталей.

Ознакомившись с видом искр разных сталей и запомнив их отличительные особенности, учащийся направляется в склад хранения материалов, где по указанию руководителя выбирает ячейку с вложенными в нее прутками стали. Взяв ручное электрическое точило, он подносит его к концу каждого прутка. Наблюдая за характером искры металла, он приблизительно определяет, с какой сталью он имеет дело. Если при испытании всех прутков искра у некоторых окажется отличной, он вынимает их. Еще раз проверяет характер искры, сравнивая ее с эталонами, и если окажется, что в ячейку попала сталь другого качества, немедленно сообщает об этом руководителю и заведующему складом.

2. *Химикоаналитический способ отсортровки никелевых и никельсодержащих сталей.* На заводах, случается, возникают сомнения, изготовлена ли какая-либо ответственная деталь из предназначенной для того никелевой и хромоникелевой стали. Иногда бывают случаи перепутывания стали на складах. Поэтому возникает иногда необходимость пересортровки и отсортровки от них никельсодержащих сталей. Для этого пользуются следующим методом.

Составляется три раствора:

- 1) 40-процентный водный раствор едкого кали,
- 2) 1-процентный спиртовый раствор диметилглиоксина,
- 3) 50-процентный водный раствор фосфорной кислоты.

На зачищенную напильником поверхность капают первым раствором, затем вторым и наконец третьим. Когда реакция между фосфорной кислотой и едким кали закончится, то, если сталь содержала никель,

капля окрашивается в розовый цвет, если же сталь безникелевая, то окраска капли будет коричневая. Обыкновенно окраска появляется спустя некоторое время, когда реакция вполне закончится.

Учащийся, ознакомившись с методом на подобных образцах, проверяет затем на складе какую-нибудь ячейку, отсортровывая никельсодержащие стали от несодержащих его.

3. *Определение твердости на прессе Бринелля.* Пресс Бринелля служит для определения твердости стали. Это—небольшой гидравлический масляный пресс, боек которого снабжен шариком из очень

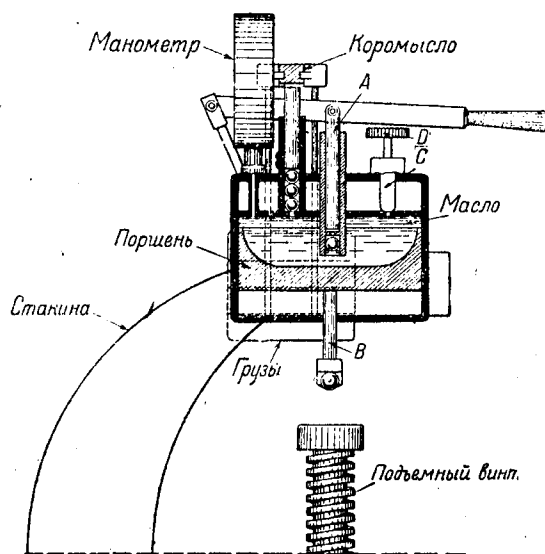


Рис. 103. Пресс Бринелля.

твердой стали. Пресс устроен следующим образом: ручной масляный насосик *А* перекачивает масло в цилиндр, внутри которого ходит поршень. Поршень очень плотно прилегает к стенкам цилиндра. Он круглого сечения и снабжен шпинделем *В*, несущим десятимиллиметровый шарик. В цилиндре имеется три отверстия: одно, сообщающее его с масляным насосиком, другое — с манометром, указывающим давление поршня, и третье, связывающее его со специальным предохранительным приспособлением, не дающим возможности чрезмерному поднятию давления на поршень при быстром накачивании масла.

Это приспособление представляет собою трубку, внутри которой ходит поршенок (обычно несколько шариков). Поршенок связан с коромыслом, к которому подвешены грузы.

Когда давление в цилиндре достигнет требуемой величины, усилие действующее на поршень, будет равно весу, гирь и при дальнейшем накачивании масла давление уже подняться не может, так как поднимает грузы. Чертеж пресса Бринелля приведен на рис. 103.

Для определения твердости по Бринеллю изделия зачищаются на наждачном колесике, укладываются на под'емный винт пресса, поднимаются и легко прижимаются к шарiku.

При этом производится выравнивание зачищенной площадки. Она должна быть приблизительно горизонтальна. Когда изделие прижато к шарiku, начинают действовать насосом, предварительно закрыв клапан *C*. При этом наблюдают движение стрелки по циферблату. Когда стрелка достигнет цифры 3000 *м*, поднимается коромысло с грузами. В этот момент необходимо прекратить ускоренное накачивание масла, подкачивая его лишь столько, что поддержать коромысло с грузами и не дать ему опуститься.

Это длится примерно 20—30 секунд. После этого прекращают совершенно накачивание, тихонько опускают вентиль *D*, наблюдая за движением стрелки на циферблате. Когда давление дойдет до нуля, освобождают под'емный винт и вынимают изделие.

Следует всегда при разгрузке пресса помощью вентили *D* производить последнюю медленно во избежание ударов, могущих попортить пресс.

Сняв изделие с пресса, производит измерение диаметра отпечатка помощью специального микроскопа, в окуляре которого имеется градуировка. Рекомендуется производить два промера по двум перпендикулярным диаметрам и брать среднее из них. По диаметру отпечатка помощью соответствующих таблиц определяют твердость.

Ознакомившись с работой пресса на эталонах и проверив его, приступают к массовому испытанию изделий в цехе. Для этого сперва зачищают на наждачном круге место для испытания, затем перецесят партию к прессу, производят испытание всех изделий партии и после этого делают обмеры отпечатков, записывая на каждом изделии полученные результаты и рассортировывая их по твердости.

Пользуясь этими данными, легко вычислить увеличение микроскопа по формуле:

$$\text{увеличение микроскопа} = \frac{250}{\text{фокусное расст. объектива в мм}} \times \text{увелич. окуляра.}$$

Часто вычисленные по этой формуле увеличения несколько отличаются от непосредственно измеренных. Это происходит от того, что иногда фокусное расстояние объектива, отмеченное на его оправе, не вполне точно соответствует истинному его увеличению. Колебания эти все же невелики.

6. Приготовление микрошлифа. Для рассматривания микроструктуры изготавливается микрошлиф.

Для изготовления его учащийся отрезает или отламывает, если металл очень тверд и хрупок, небольшой кусок и зачищает, пользуясь наждачным кругом, одну его сторону.

Необходимо эту предварительную обдирку вести очень аккуратно, недопуская нагрев шлифа до температуры выше 100°. Лучше конечно производить зашлифовку с охлаждением круга водой.

Зачистив сторону шлифа и высушив его помощью тряпочки, производят предварительную шлифовку его. Для этого берут лист наждачной бумаги, кладут его на кусок зеркального стекла и, прижав к нему шлиф, зачищенной поверхностью, начинают водить шлиф взад и вперед в одном и том же направлении. Шлифованную поверхность изредка осматривают и когда заметят, что всякие следы наждачного круга удалены, берут более мелкий сорт наждачной бумаги и вновь шлифуют на нем, но уже в поперечном прежнему направлении. И здесь продолжают шлифовку до тех пор, пока риски от первой шлифовки не выведутся. Так поступают несколько раз, все время переходя на более мелкие сорта наждака и бумаги, пока не дойдут до № 0000 или № 00000. Тогда шлифовку заканчивают и приступают к полировке.

4. Определение твердости Шора. Прибор Шора основан на совершенно другом принципе, чем прибор Бринелля. Существенной частью его является небольшой грузик, снабженный алмазным наконечником. При испытании дают грузику свободно упасть на строго горизонтально установленную поверхность изделия и по высоте отскакивания грузика и определяется твердость Шора. Прибор, дающий возможность производить эту операцию, называется склероскопом Шора.

Склероскоп Шора пригоден для определения твердости только хорошо отделанных изделий; малейшие неровности, следы окислы и т. д. сильно влияют на его показания. Поэтому, применяется он для контроля качества уже готовых изделий.

Устройство склероскопа в кратких словах следующее. В стеклянной трубке, снабженной шкалой, падает боек. Трубка закреплена вертикально в штативе и может двигаться в нем посредством вращения рукоятки

вдоль своей оси. Поверху трубки имеется довольно сложный пневматический механизм, всасывающий боек вверх трубки и освобождающий его при производстве испытания. Механизм этот приводится в действие резиновой грушей. Внизу трубки имеется несколько заостренный наконечник, облегчающий точную установку прибора на поверхности испытуемого предмета. Штативы имеют двух систем. Одна переносная система, состоящая из небольшой станины с наковаленкой, на которую укладывается испытуемый предмет, и вторая, стационарная конструкция, когда прибор привинчивается на штативе с подвижной шарнирной рукояткой к столу. В этом случае испытуемый предмет зажимается в тисках. На рис. 104 изображена такая установка.

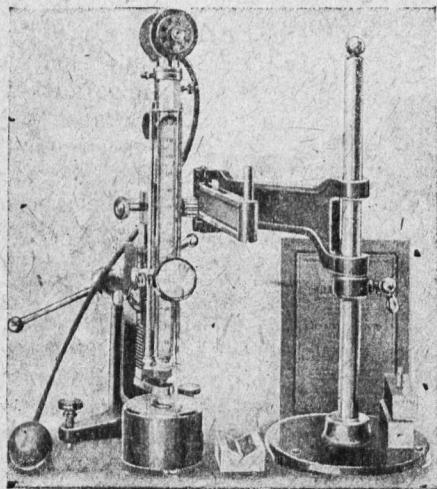


Рис. 104. Прибор Шора.

В этом случае испытуемый предмет зажимается в тисках. На рис. 104 изображена такая установка.

Для получения правильных показаний прибора необходимо установить его в строго вертикальном положении. Для проверки этого справа, около стеклянной трубки, имеется отвесик в виде металлического стер-

жёйлька, свободно подвешенного в верхней части прибора. Внизу он удерживается в широком отверстии. Устанавливая прибор, необходимо поставить его в такое положение, чтобы этот стержнепек не касался краев отверстия. Когда прибор выравнен, и изделие зажато в тисках, придвигают прибор на шарнирной рукоятке, и прижимают, действуя под'емным винтом его к испытываемой поверхности. Затем нажимом на резиновую грушу освобождают боек. Боек падает, ударяется о предмет и отскакивает. Наблюдая по шкале до какой высоты он отскочил, определяют твердость Шора. Для более точного определения твердости вдоль стеклянной трубки движется небольшая луна. Устанавливая ее примерно на высоте под'ема бойка и наблюдая через нее можно лучше уловить максимальную высоту отскакивания бойка и таким образом определить твердость.

Следует всегда производить по несколько измерений твердости, записывая их и беря затем среднюю арифметическую величину за величину твердости. При этом каждый раз необходимо менять место удара, так как повторные удары по одному и тому же месту вызывают наклеп стали и следовательно сильное возрастание твердости.

Для усвоения метода испытания и для того чтобы учащийся убедился, что способ Шора вполне надежный метод контроля, рекомендуется испытать несколько партий изделий.

5. Металлографический микроскоп. Существует много систем металлографических микроскопов, систем, отличающихся друг от друга главным образом конструктивным выполнением деталей. В зависимости от систем микроскопа изменяется правило обращения с ним, и поэтому руководитель должен ознакомить учащихся с этими правилами.

Ознакомившись с устройством микроскопа, приступают к определению его увеличений. Для этого устанавливают на его столик. микрометр. Микрометр представляет собой пластинку из металла с нанесенными на ней делениями в 0,01 мм. Наводят микроскоп на фокус и, установив позади микроскопа линейку с миллиметровыми делениями стараются, глядя одним глазом в окуляр, другим на линейку и двигая линейку наложить видимые изображения микрометра и линейки. Это обычно удается несразу. После некоторой практики нетрудно добиться такого совмещения. Тогда, глядя обоими глазами, мы увидим светлое поле микроскопа с видимыми в нем увеличенными делениями, микрометра и наложенное на него изображение линейки. Отсчитав по линейке, величину нескольких делений (пяти, десяти; при больших увеличениях — одного, двух) уже нетрудно определить и увеличения, т. е. размер изображения единицы длины, видимого в микроскоп. В этом измерении необходимо следить за тем, чтобы линейка находилась на расстоянии, равном 250 мм от глазка окуляра, иначе определение увеличения будет неправильно.

В тех случаях, когда конструкция микроскопа не допускает поместить линейку именно на такое расстояние, ее можно поместить и дальше, но тогда необходимо полученную цифру увеличения уменьшить пропорционально возрастанию этого расстояния.

Можно определить увеличения некоторых микроскопов и просто путем расчета. Но для этого необходимо знать фокусное расстояние объектива и увеличение окуляра. Лучшие фирмы, изготавливающие микроскопы, отмечают на оправе объектива его фокусное расстояние. На окулярах ставится прямо увеличение окуляра. Обозначается оно знаком умножения и цифрой увеличения.

Полировку от руки производить очень долго, и поэтому необходимо воспользоваться машинной полировкой. Существенной частью этой машины является диск с натянутым на нем сукном. Смочив сукно разболтанным в воде мелким крокусом и приведя диск во вращение, прижимают к поверхности сукна полируемую поверхность. Так как диск обычно дает до 1200 оборотов в минуту, необходимо прикладывать шлиф в центре диска и затем двигать его к периферии. Такой метод работы обеспечивает от неправильного укладывания шлифа, часто влекущего за собой порчу сукна.

Полировку производят уже во всех направлениях, только поворачивая шлиф. Ее кончают, когда будут совершенно выведены все малейшие следы рисок, оставшиеся после шлифовки. Закончив полировку, шлиф промывают в воде протирают мягким полотенцем и кладут в эксикатор.

7. Рассматривание микрошлифа. Сперва рассматривают микрошлиф в нетравленном виде. Если имеем дело со сталью, то хорошо полированный шлиф дает ровную поверхность, без видимой структуры. На этой поверхности хорошо выявляются шлаковые включения. Рассматривая их, легко определить направление волокна стали. Если шлаковые включения представляются в виде примерно равносторонних пятнышек, то шлиф, надо полагать, вырезан перпендикулярно прокатке, если же они имеют вид вытянутых полосок, то шлиф приготовлен примерно параллельно направлению прокатки.

Определив направление прокатки и приблизительно оценив количество шлаковых включений, снимают шлиф с микроскопа и производят его протравку.

Для этого наливают в часовое стеклышко немного 3-процентного спиртового раствора азотной кислоты (или какой-либо другой реактив по указанию руководителя) и, тщательно очистив и протерев поверхность шлифа ваткой и промыв ее спиртом и эфиром, опускают шлиф полированной поверхностью вниз в реактив. Опуская шлиф, необходимо взять его щипцами.

Продолжительность травки зависит от качества стали, от аккуратности полировки и крепости реактива и длится от нескольких секунд, иногда до десятка минут. Обычно однако 20—30 секунд бывает вполне достаточно, чтобы выявить микроструктуру стали. Продержав шлиф в реактиве положенное время, его промывают в струе воды, и затем, пользуясь ручным мехом, сильной струей воздуха сдувают с его поверхности воду и просушивают.

Затем ставят шлиф вновь на микроскоп и рассматривают микроструктуру.

8. Определение состояния стали микроаналитическим методом.

При микроаналитических определениях необходимо знать по крайней мере химический состав стали. Несмотря на великое разнообразие микроструктур, все же очень часто различные стали в различных состояниях обладают очень сходным строением. Это делает часто совершенно невозможным прийти к каким-либо выводам при рассматривании микроструктуры, поэтому, получив образец стали, необходимо справиться у руководителя о его составе. Приготовив и протравив микрошлиф, устанавливают его на микроскоп и затем рассматривают микроструктуру.

Необходимо при этом обращать внимание на следующее.

1) Имеется ли в стали пластинчатый перлит. Если да, то сталь в отожженном состоянии или вовсе не подвергнута термообработке.

Если перлит имеется, но даже при большом увеличении, порядка 1 500 раз нельзя различить его пластинчатое строение, то повидимому сталь содержит специальные примеси. Впрочем это должно быть заранее известно.

2) Если перлита нет, то имеется ли свободный цементит, зернистый или в виде сетки или в каком-либо другом виде. Пользуясь изложенным в настоящем курсе и приведенными микрофотографиями, приходим к заключению об особенностях тепловых процессов, которые претерпел наш образец.

3) Имеется ли мартенсит. Если да, то насколько резко выражено расположение игол мартенсита треугольниками. Чем выше температура закалки, тем тоньше и длиннее иглы и тем яснее расположение их треугольниками; сравнивая структуру своего образца с эталонами или микрофотографиями нашего курса или какого-либо атласа нетрудно определить температуру или характер термообработки.

4) Если сталь быстрорежущая, то обращаем внимание, нет ли ледебуритной сетки или полосчатого расположения карбидов. Это указывает на недостаточную степень уковки.

5) Обращаем внимание на количество карбидов. Чем их меньше, тем выше температура закалки. При еще более высокой температуре и при длительной травке выявляется зернистое строение стали. По величине зерна и, сравнивая с эталонами, определяем температуру закалки.

6) Нет ли пережога у данного образца стали. Пережог выражается наличием между зернами окисленного металла и более или менее крупным размером зерна (см. микрофотографии в курсе).

7) Если структура сильно окрашивается — повидимому сталь отпущена. Несмотря на окрашивание, все же мартенситовое строение еще сохраняется. Температура отпуска стали была невысока, сравнивая с эталонами такого же состава, можно примерно ее определить. Если же мартенсита нет, и структура окрашивается очень сильно, то температура отпуска повидимому около 400—550°. Если же удастся при большом увеличении порядка 1 500 различить отдельные черные точки или зернышки цемента — температура отпуска была высокая. Это сорбитовая структура.

8) Обращаем внимание на феррит, есть он или его нет. Если он расположен по сетке — очевидно сталь охлаждалась при закалке слишком медленно или нормализована. (В прокатном состоянии часто углеродистая сталь имеет такую же структуру.)

9) Не наблюдается ли полосчатое строение стали. Наличие его характерно для сталей с невысокими механическими свойствами в поперечном направлении.

10) Нет ли видманштетовых фигур.

Выше приведенный список вопросов далеко неполный, и учащийся, описывая микроструктуру, должен сам найти ее особенности и различие данного образца с эталонами и сделать вывод о характере его термообработки, обосновав свои выводы.

9. *Устройство и сборка пирометра.* Конструкция термоэлектрического пирометра описана нами в 12 главе. Прежде чем приступить к изготовлению прометра, учащийся должен прочитать эту главу и ознакомиться с его устройством.

Разобравшись теоретически с конструкцией его, он получает от преподавателя две проволоки длиной в 1 м разных металлов.

Для этой работы вовсе не нужно брать платиновую и платинородиевую проволоочки; лучше взять медную, железную, константановую, никелиновую или какие-нибудь другие проволоочки, так как метод сварки их на вольтовой дуге так же прост, как и платиновых. Существенно только то, чтобы обе проволоочки были различных металлов.

Первым делом необходимо сварить с одного конца эти проволоочки. Для этого учащийся зажимает в ручные тиски обе проволоочки таким образом, чтобы из тисков выковывались небольшие кончики длиной 10-12 мм, скручивает один раз эти кончики, потом аккуратно выгибает проволоочки, выправляя самые кончики их таким образом, чтобы они лежали параллельно друг другу и соприкасались друг с другом, но не нажимали бы одна на другую. Если проволоочки будут нажимать друг на друга, то при расплавлении концы их под нажимом упругих сил обязательно разойдутся, и сварки их не произойдет.

Собрав таким образом ручные тисочки и убедившись, что проволоочки не нажимают одна на другую, учащийся берет дуговую лампу, очищает дуговые угли, устанавливает их и, надев на глаза темные очки, приступает к сварке.

Сварка производится следующим образом. Держа левую руку на регуляторе расстояния между углями, учащийся берет правой рукой проволоочки и осторожно, не торопясь, но быстро вводит самые кончики в наиболее горячую часть дуги и, внимательно следя за их мгновенным оплавлением, быстро вынимает их. Если сварка удачная, на конце обеих проволоочек получится общий королек, — шарик. Если проволоочки разойдутся при сварке, несомненно был их взаимный нажим, если же их продержать слишком долго, то они могут слишком обгореть и опять разойдутся. Если это произойдет, надо отрезать концы проволоочек примерно на 5—10 мм и, сложив их, снова повторить опыт. Чтобы овладеть техникой сварки, лучше повторить ее несколько раз.

Сварив проволоочки, учащийся представляет их руководителю, который, осмотрев их и убедившись, что сварка произведена правильно, выдает учащемуся другие части термонары, а именно тонкую фарфоровую трубку, наружную фарфоровую трубку, закрытую с одного конца, железный кожух и головку.

Получив их, учащийся приступает к сборке прибора. Сперва он вдевает одну проволоочку в тонкую трубку, затем вставляет трубку с проволоочками в наружную, запаивая с одного конца трубку, и затем вдевает их в чехол и надевает головку, предварительно закрепив концы проволоки в клеммы головки.

9. Градуировка термонары. Собрав термонару, учащийся должен ее проградировать.

Для этого он получает от руководителя небольшую плавильную печку и тигельки, наполненные различными чистыми металлами. Сняв с термонары железный чехол и опустив предварительно подогретую и присоединенную к милливольтметру термонару в тигель, в расплавленный металл, таким образом, чтобы спай проволоочек был бы погружен в металл, и выключив ток, он следит за охлаждением тигля и за понижением электродвижущей силы термонары. Он записывает показание пирометра через каждые 30 секунд, определяя время записи, наблюдая одновременно за секундной стрелкой часов. Как мы знаем, при застывании металла температура понижается неравномерно, так как в момент его затвердевания происходит остановка понижения температуры.

Поэтому учащийся вскоре после начала опыта заметит эту остановку и, охладив сплав градусов на 100 ниже момента этой остановки, вновь включает ток печи и расплавляет металл. При этом он также следит и записывает изменение электродвижущей силы.

Кончив опыт, учащийся вычерчивает диаграмму изменения электродвижущей силы пирометра во время охлаждения и нагревания тигля и замечает моменты остановки этого изменения соответствующие моменты плавления или застывания металла. Прделав этот опыт с рядом различных металлов, он строит диаграмму градуировки пирометра.

Для этого он откладывает по оси абсцисс показания милливольтметра при плавлении металлов, показанные ему его прибором, а по оси ординат истинные температуры плавления металлов. Полученные отдельные точки соединяет плавной кривой и полученную диаграмму представляет руководителю.

В нижеприведенной таблице приведены температуры плавления наиболее употребительных для градуировки пирометров металлов.

ТАБЛИЦА 32

Температура плавления чистых металлов.

Олово	231,9°С
Свинец	327,4°»
Цинк	419,4°»
Сурьма	630,5°»
Алюминий	657,3°»
Серебро	960,9°»
Медь (под слоем угля)	10 3,0°»

Для градуировки собранной термопары необходима довольно большая плавильная печь, вмещающая до 5 кг металла. Обычно такой печи нет. Тогда лучше вновь разобрать термопару и, воспользовавшись тоненькими трубочками, полученными от руководителя для защиты ее конца, произвести градуировку без кожука.

10. Измерение температуры печи при отжиге. Прежде чем приступить к означенной работе, учащийся получает от преподавателя подробные указания о методе разжигания и регулирования печи. Кроме того весьма желательно непосредственное наблюдение за работой печи в цехе, когда печь находится в руках опытных рабочих. Эти наблюдения необходимо фиксировать и в виде отчета представить руководителю.

Когда учащийся познакомится со всеми деталями работы при печи, он приступает к самостоятельной работе.

Для этого, пользуясь инструкциями руководителя, он загружает и разжигает печь, и когда топка печи разгорится, прогреются дымоходы и печь начнет нагреваться, вставляет туда термопару и соединяет термопару с гальванометром посредством соответствующего провода. При этом проверяет, правильно ли присоединены провода. Если провода присоединены неправильно и ток термопары идет в обратную сторону, гальванометр показаний не даст, и стрелка его откатнется в обратную сторону.

Включив гальванометр и постоянно регулируя топку печи таким образом, чтобы пламя печи касалось пода, но печь не дымила (если

конечно печь правильной конструкции, в противном случае придется руководствоваться указаниями руководителя), учащийся постепенно разогревает печь до заданной температуры. При этом необходимо через промежутки времени—5 минут—записывать показания гальванометра. Когда нужная температура достигнута, прекращается усиленная топка печи, и регулируя подачу топлива и дутья, учащийся выдерживает печь при заданной температуре, продолжая повременные записи.

Наблюдая в глделку, учащийся следит за изменением цвета каления изделий, загруженных в печь. Когда цвет каления изделий будет одинаковым с цветом каления конца термопары, можно считать, что изделия достигли нужной температуры. Записав этот момент, учащийся продолжает выдержку печи заданное время. Когда истечет время, он прекращает топку печи и, замазав все отверстия печи, следит за охлаждением ее.

Если по заданию руководителя необходимо охлаждение производить с замедленной скоростью, то топка печи не прекращается, а только постепенно ослабляется и регулируется таким образом, чтобы падение температуры соответствовало заданному.

Окончив работу, учащийся вычерчивает диаграмму изменения температуры и представляет ее руководителю.

При этом очень полезно взять некоторые замеченные при отжиге изделия из разных мест печи и, приготовив из них микрошлифы, познакомиться с результатами отжига.

11. Проверка цеховой термопары помощью контрольной. Учащийся, получив от руководителя цеховую термопару и контрольную термопару, вставляет их в небольшую контрольную электрическую трубчатую печь. Ввиду узости трубки печи вставлять приходится с обоих ее концов, но так, чтобы концы термопар соприкасались друг с другом в середине печи. Необходимо при этом, чтобы массы оболочек термопар были одинаковые. Поэтому, если контрольная термопара применяется без защитных трубок, необходимо и цеховую термопару проверять тоже, вынув из защитной трубки. Обыкновенно это и имеет место.

Собрав печь и присоединив термопары к гальванометрам, включают электрический ток печи и записывают температуры, показываемые термопарами при под'еме и охлаждении печи.

Обычно цеховые, долго работавшие термопары дают показания, отличающиеся от истинных. Конечно эта разница не зависит от того, достигнута ли температура при нагревании или при охлаждении печи, но практически при проверке термопар часто наблюдается изменение этой поправки в зависимости от того, нагревается или охлаждается печь.

Это происходит вследствие разности масс защитных трубок термопар. Ясно, что истинная поправка будет равна средней арифметической из наблюденных при нагревании и охлаждении прибора.

12. Закалка инструмента из углеродистой стали.

13. Закалка инструмента из быстро режущей стали.

14. Закалка изделий. Эти три задачи выполняются учащимся в цеховой обстановке; и ввиду громадного различия в оборудовании разных цехов, описание этих работ чрезвычайно затруднительно, поэтому руководителю приходится ознакомить учащихся с оборудованием цеха, дать им подробные указания о характере работы при той или другой операции.

Учащиеся, усвоив объяснения руководителя, в течение нескольких смен наблюдают за работой рабочих при печках. Лучшее всего, если

того допускает характер работы, они станут на место подручных. Это даст им возможность лучше изучить практику закалки.

Подготовившись таким образом, они приступают к самостоятельной работе и в течение одной—двух смен производят термообработку инструмента. При этом необходима чрезвычайная внимательность, так как не имея необходимых навыков, которые так скоро не приобретешь, легко испортить изделие, а всякая такая порча приносит убытки заводу и потому совершенно недопустима.

15. Приготовление макрошлифа. Макрошлифы готовят с целью установить доброкачественный ли металл, установить причину пороков, выяснить характер распределения волокон, усадочной раковины и т. д.

Получив от преподавателя изделие, из которого необходимо приготовить шлиф, учащийся, пользуясь механической или ручной ножовкой, строгальным станком, шлифовальным станком или напильником вырезает из изделия в нужном месте диск и отшлифовывает его поверхность. После шлифовки (или, если шлифовального станка на заводе нет, зачистки его пилой) учащийся берет лист крупнозернистой наждачной бумаги (Эмери № 1 или № 0) и отшлифовывает ею подлежащую исследованию поверхность шлифа. Необходимо зачистку наждачной бумагой продолжать до тех пор, пока не будут выведены все самые глубокие риски от шлифовального круга или рашпиля. Вместе с тем, надо стремиться по возможности меньше закатать края шлифа.

После шлифовки шлиф тщательно протирается, промывается спиртом, сушится и окончательно подготавливается к травке.

16. Травка на макроструктуру. Существует очень много различных способов травки, но мы не будем останавливаться на разборе их всех и опишем наиболее простой способ — травку персульфатом аммония (надсернистый аммоний).

Травка производится следующим образом.

В фарфоровую ступку насыпается 2 г кристаллического надсернистого аммония, приливается 10 cm^3 воды и с ней растирается до максимального измельчения кристаллов аммония.

В свежеприготовленный (обязательно) таким образом раствор обмакивается чистая тряпочка и с помощью ее протирается отшлифованная и промытая спиртом поверхность макрошлифа. Необходимо, чтобы тряпочка была достаточно влажной и поверхность шлифа была покрыта слоем раствора. Как само собой понятно, шлиф необходимо положить в горизонтальное положение. Травка длится несколько минут. Все это время необходимо сильно прижимая тряпку, протирать поверхность шлифа, наблюдая за тем, чтобы выявление строения стали происходило равномерно. Когда структура выяснится, шлиф промывается и протирается сухой чистой тряпкой, и учащийся описывает обнаруженное на нем строение металла.

Примечание. Иногда при травке персульфатом аммония шлиф начинает ржаветь. Это нестрашно, так как ржавчина немедленно легко смывается тем же самым раствором. Однако всегда необходимо пользоваться свежеприготовленным раствором.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
<i>Введение</i>	3
<i>Глава первая. Углеродистые стали</i>	—
Железо Армко	—
Мягкая магнитно-поделочная сталь	5
Сталь средней твердости	6
Твердые стали	7
<i>Глава вторая. Микроструктура углеродистых сталей</i>	12
<i>Глава третья. Специальные стали</i>	17
Никелевые стали	18
Хромистые и хромованадиевые стали	19
Хромникелевые стали	21
Быстрорежущие стали	23
Стеллит. Силав Видиа	27
Стали особого назначения	29
Сталь высокомарганцовистая (Гадфильда)	30
Стали для электротехнических целей	31
Нержавеющие стали	32
<i>Глава четвертая. Теоретические основы термообработки</i>	33
Твердый раствор	36
Аллотропические превращения	38
<i>Глава пятая. Строение стального слитка</i>	45
<i>Глава шестая. Горячая механическая обработка стали</i>	55
<i>Глава седьмая. Поверхностные дефекты поковок и их исправление</i>	64
<i>Глава восьмая. О внутренних напряжениях в стали</i>	67
<i>Глава девятая. Отжиг и нормализация стали</i>	71
<i>Глава десятая. Оборудование обжигательных мастерских</i>	80
<i>Глава одиннадцатая. Определение температуры в печах Пирометры</i>	86
<i>Глава двенадцатая. Закалка сталей</i>	93
<i>Глава тринадцатая. Отпуск закаленных сталей</i>	104
<i>Глава четырнадцатая. Цементация сталей</i>	116
Классификация цементованных слоев	137
<i>Глава пятнадцатая. Характеристические диаграммы механических свойств некоторых сталей</i>	145
О взаимозависимости сталей	—
<i>Глава шестнадцатая. Оборудование термических цехов</i>	166
<i>Приложение. Практические занятия по термообработке сталей</i>	180

A
2050

343