

Общ. инж. ин. Б. А. А.

~~6217.~~
~~К. 809.~~

Инж. Н. С. КРЕЩАНОВСКИЙ

ЛИТЬЕ
ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ
И ЖАРОУПОРНЫХ СТАЛЕЙ

МАШГИЗ ★ 1941



ОПЕЧАТКИ

| <i>Стр.</i> | <i>Строка</i> | <i>Напечатано</i> | <i>Должно быть</i> | <i>По чьей вине</i> |
|-------------|--------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| 28 | Подпись под фиг. 13 | никель | углерод | авт. |
| 30 | 2 снизу | 1150° | 1100° | " |
| 31 | Таблица, в графе Химич. состав | n | Mn | тип. |
| 36 | 11 снизу | сталь 18/8 | сталь 8/18 | — |
| 65 | Табл. 37 и 38 | В табл. 37 пропущены номера по порядку 1—5, а в табл. 38 номера 1—4, указывающие химич. состав стали. | | техред |

К р е щ а н о в с к и й, Литье из нержавеющей и жароупорных сталей. Зак. 5263.

Инж. Н. С. КРЕЩАТОВСКИЙ

НА ДОМ НЕ ВЫДАТСЯ

ЛИТЬЕ
ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ
И ЖАРОУПОРНЫХ СТАЛЕЙ

НКТМ ★ СССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1941 Ленинград

621.74
К. 80

~~Государственная~~
НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
Наркомугля

~~2853 / 8~~

~~5217~~

В настоящей книге описаны механические и физические качества хромистых, хромоникелевых и других жароупорных сталей, применяемых для фасонного литья.

Наряду с этим приведены особенности технологического процесса производства отливок из этих сталей (формовочные материалы и смеси, примеры формовки, методы заливки, выбивки, очистки и т. д.).

В книге собраны данные отечественной и иностранной литературы по этому вопросу, а также освещены эксперименты и опыты, проведенные самим автором.

Книга рассчитана на квалифицированный инженерно-технический персонал.

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

3791

$\frac{22}{60}$

~~Д~~

5300

Редактор *Н. Б. Гельперин*. Техн. редактор *Е. Н. Симкина*. Корректор *В. К. Индри*.

Изд. № 31. Сдано в набор 1/VI 1940 г. Подписано к печати 30.XII 1940 г. Индекс МО-45-4-3
Тираж 200. Печатных листов 6 $\frac{1}{2}$. Бум. листов 1,56. Формат бумаги 80×108 $\frac{1}{2}$
Л-79518. Учетно-авт. л. 5,56. Учетн. № 3656. Зак. 5263. Цена 2 р. 75 к. Обложка 40 коп.

1 я типография Машгиза НКТП. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

~~ДОЗВЕРКА~~
~~ИЗДАНИЕ~~
1944

ПРЕДИСЛОВИЕ

Литье из нержавеющей и жароупорных сталей получает все большее распространение во всех областях нашей промышленности. Значительная потребность в фасонном литье из указанных сталей заставляет заводы налаживать этот вид производства. Недостаточный опыт, незнание свойств нержавеющей и жароупорных сталей в литом состоянии и ряда других вопросов, связанных с технологией их изготовления, ведут к материальным потерям, а иногда к прекращению работы по освоению этого вида литья.

В последнее время в иностранной литературе появилось небольшое количество работ по литым нержавеющей и жароупорным сталям. В большинстве случаев эти работы носят либо чисто рекламный характер, либо содержат сплошные противоречия. Это не позволяет составить правильное суждение по интересующему нас вопросу. Отечественная же литература еще не имеет серьезных работ, так как эта отрасль литейного производства у нас еще очень молода.

Опыт завода «Серп и Молот», впервые в СССР освоившего в 1932 г. производство фасонного литья из нержавеющей и жароупорных сталей, а также более поздний опыт других заводов, позволил по возможности осветить весь цикл вопросов, касающихся свойств и производства литья из указанных сталей. Ввиду того, что вопросы металловедческого характера в процессе производства отливок из жаро-кислотоупорных сталей являются первостепенными, автор отвел этим вопросам наибольшее место. Ограниченный же объем книги не дал возможности более глубоко осветить технологию плавки, формовку и пр.

В заключение автор выражает признательность инж. Н. В. Мельникову, который, обладая большим производственным опытом, оказывал ему большую помощь в практической работе, что способствовало созданию данной книги.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|---|------|
| Предисловие | 4 |
| Введение | 5 |
| 1. Хромистые стали | 11 |
| Сталь, содержащая 12,5 — 15 ⁰ / ₀ Cr | 11 |
| Сталь, содержащая 16 — 20 ⁰ / ₀ Cr | 16 |
| Сталь, содержащая 22 — 29 ⁰ / ₀ Cr | 18 |
| 2. Хромоникелевые стали | 28 |
| Отливки из стали 18/8 | 28 |
| Сталь 8/18 | 36 |
| Сталь, содержащая 25 — 28 ⁰ / ₀ Cr и 5 — 8 ⁰ / ₀ Ni | 38 |
| Сталь, содержащая 17 — 19 ⁰ / ₀ Cr и 24 — 26 ⁰ / ₀ Ni (типа ЭЯЗС) и обратные стали (24 — 26 ⁰ / ₀ Cr и 17 — 20 ⁰ / ₀ Ni) | 41 |
| 3. Хромомарганцовистые стали | 50 |
| 4. Хромокремнистые и хромоалюминиевые стали | 53 |
| Сильхромовые стали с содержанием 8 — 10 ⁰ / ₀ Cr и 2 — 4,5 ⁰ / ₀ Si | 53 |
| Хромоалюминиевые стали с содержанием: а) 12 — 17 ⁰ / ₀ Cr; 2 — 4,5 ⁰ / ₀ Al и б) 25 — 27 ⁰ / ₀ Cr; 2 — 4,5 ⁰ / ₀ Al | 56 |
| 5. Литейные свойства нержавеющей и жароупорных сталей | 60 |
| Хромистые, хромоалюминиевые и хромокремнистые стали | 63 |
| Хромоникелевые, хромомарганцевомедистые и силикони- хромовые стали | 68 |
| 6. Особенности процесса плавки жароупорных и нержавеющей ста- лей для фасонного литья | 74 |
| 7. Формовочные и стержневые материалы и смеси | 82 |
| 8. Формовка литья из нержавеющей и жароупорных сталей | 86 |
| Формовка когла | 88 |
| Формовка поддона цементационной печи | 88 |
| Формовка молотков для серносульфитных аппаратов | 90 |
| Формовка крылатки насоса | 91 |
| 9. Заливка и выбивка литья | 91 |
| 10. Очистка литья | 92 |
| Удаление литников, выпоров и прибылей | 92 |
| Заварка дефектов | 93 |
| Обмазка для электродов из жароупорных и нержавеющей сталей | 96 |
| Особенности работы при заварке | 97 |
| Основные правила термообработки | 99 |
| Правка, зачистка и травление | 100 |
| Указатель литературы | 100 |

ВВЕДЕНИЕ

Развитие авиационной, химической, автотракторной промышленности, особенно в течение последних пятнадцати-двадцати лет, в значительной мере обязано достижениям в области жароупорных, нержавеющей и кислотоупорных сталей.

Производство химической аппаратуры, термических печей конвейерного типа и т. д., все это возможно теперь без применения отливок из жароупорных сталей. Превосходство этих сплавов над керамическими изделиями заключается в большой вязкости и, следовательно, более высокой стой-

кости против ударных нагрузок и резких температурных колебаний. Нержавеющие стали часто заменяют цветные металлы.

Например из исследования Сельвига и Эноса следует, что отливки с 29,6% Cr и 0,36% C показали хорошую сопротивляемость действию кислотных вод угольных шахт. На частях насосов после 4—5 лет работы не оказалось никаких видимых следов коррозии, хотя на них воздействовала вода, содержащая серную и другие кислоты и окислы.

Значительные преимущества жароупорных и нержавеющей сталей перед обычными углеродистыми видны из сравнения изображенных на фиг. 1 ящиков для отжига ковкого чугуна, отлитых из этих сталей по одной и той же модели и работавших в одинаковых условиях,



Фиг. 1. Ящики для отжига ковкого чугуна. а — из углеродистой и б — из жароупорной стали после длительной работы (52 недели).

Техническая мысль уже давно работает над созданием таких сплавов, которые были бы стойкими в среде химических веществ и других реагентов, а также против образования окалины при высоких температурах. Наиболее систематизированные исследования этих сплавов были произведены в течение 1909—1912 гг. Первые патенты относятся к периоду 1911—1913 гг. Первые отливки из нержавеющей стали (насос из стали У-2-А) появились в декабре 1914 г. В апреле 1916 г. Бекер впервые подал заявку на литье из нержавеющей и жароупорной стали, содержащей 20—35% Cr и около 1,5% С, которая была утверждена в ноябре 1917 г. С этого времени начинается быстрое развитие производства литья из нержавеющей и жароупорных сталей, достигающее в 1922 г. уже коммерческого масштаба. В 1929 г. американские литейные дают 3 тыс. т фасонного жаро-кислотоупорного литья, в 1935 г. — 4,5 тыс. т, а в 1936 г. — 5,3 тыс. т.

Ниже приводятся данные J. M. Budich (Economic Review) о производстве нержавеющей отливок в США за 1935—1939 гг (в т).

| | | 1935 г. | 1936 г. | 1937 г. | 1938 г. | 1939 г. |
|---|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Отливки из стали | 18/8 | 402,4 | 790 | 1060 | 522 | 1080 |
| " " | 25/12 | — | 1160 | 1300 | 555 | 1170 |
| " " | 12—14% Cr | 11,1 | 85,9 | 108 | 248 | 495 |
| " " | 16—18% Cr | 111,2 | 284 | 310 | 237 | 341 |
| " " | 28—30% Cr | — | 171 | 204 | 109 | 271 |
| Другие хромистые, хромоникелевые и хромомарганцовистые стали . . | | 3167,3 | 2961,1 | 4373 | 2081 | 5392 |
| Итого | | 3692 | 5352 | 7255 | 3652 | 8749 |

Развитие производства отливок из жаро- и кислотоупорных сталей в СССР начинается примерно с конца 1931 г.

В 1932 г. наша автотракторная и химическая промышленность получает первые 100 т фасонного жаро- и кислотоупорного литья и с этого времени идет неуклонный рост производства литья из указанных сплавов. В 1936 г. наши литейные выдали уже примерно 700 т, в 1937 г. — 850 т, а в 1939 г. — 1250 т.

В табл. I приведена разбивка на группы применяемых в настоящее время жароупорных и нержавеющей сталей по физическим свойствам и структуре (по Гудремону).

Приведенная классификация сталей основана на влиянии легирующих элементов, главным образом хрома и никеля на аллотропические превращения железа. Стали разделены на ферритовые, мартенситовые и аустенитовые. Между ними есть промежуточные группы (полуферритовые, аустенитно-

Классификация жароупорных и нержавеющей сталей по структуре и их составу (в %)

| Группа | C | Si | Mn | Cr | Ni | Ti | Mo |
|---------------------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|-----------|----------|
| Ферритная | 0,30—0,45 0,20—0,40 | 0,25—0,45 0,25—0,45 | 0,30—0,50 0,30—0,50 | 24,0—26,0 30,0—32,0 | — — | — — | — — |
| Перлиго-мартен- ситная | 0,20—0,22 0,32—0,60 0,17—0,21 0,20—0,60 | 0,4—0,5 | 0,4—0,6 | 16,0—18,0 | до 2,5 % | — | — |
| | | 0,10—0,20 | 0,20—0,30 | 13,0—14,5 | 0,40—0,50 | — | — |
| | | 0,50—1,0 3,0—3,5 | 0,40—0,60 0,3—0,5 | 14,0—14,5 8,0—9,5 | 0,50—0,70 — | — — | — — |
| Аустенитовая | 0,15 0,15 0,30 0,15 0,35—0,40 | 0,30—0,60 | 0,30—0,50 | 17,5—18,5 | 8,50—9,5 | — | — |
| | | 0,30—0,60 | 0,30—0,50 | 17,5—18,5 | 8,5—9,5 | 0,40—0,60 | — |
| | | 0,30—0,60 | 0,30—0,40 | 20,0—22,0 | 7,0—8,0 | — | — |
| до | 0,45 | 0,20—0,50 2,30—3,00 | 0,15—0,30 0,50—0,70 | 17,5—18,0 16,0—20,0 | 9,0—9,5 23,0—27,0 | 0,5 — | 2,5 — |
| | | 0,30—0,40 | 12,0—14,0 | 16,0—18,0 | — | — | — |

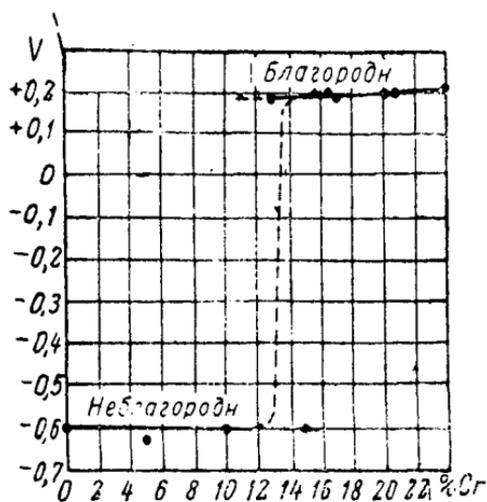
ферритовые и ферритно-аустенитовые). Структура сплавов зависит в основном от содержания углерода, хрома и никеля и от вида термической обработки.

Рассматривая процесс окисления стали, Гудремон и Эмке нашли, что легирующие элементы, повышающие антикоррозионные и жароупорные свойства стали, разделяются на две группы: 1) элементы, окисляющиеся легче, чем железо (хром, кремний, алюминий, титан и т. д.), 2) элементы, окисляющиеся труднее, чем железо (никель, кобальт, молибден и др.). Воздействуя на элементы, находящиеся в стали, кислород реагирующей среды окисляет в первую очередь элементы, принадлежащие к первой группе, которые и образуют при этом на поверхности металла защитную оксидированную пленку, предохраняющую металл от дальнейшей коррозии. Эта пленка должна прочно держаться на поверхности стали, иметь такой же коэффициент расширения, как и основной металл, и не быть склонной к образованию трещин при нагреве металла. Жароупорность сталей зависит, по видимому, от удельного веса или плотности окислов элементов. Удельные веса интересующих нас окислов, по данным Эмке, Cr_2O_3 — 5,21; Al_2O_3 — 3,96; SiO_2 — 2,2. Таким образом хром, дающий наиболее плотный окисел, а следовательно, и наилучшую оксидированную пленку, является самым желательным компонентом этого рода сталей. Однако пленка, сообщаящая стали пассивное состояние, т. е. переводящая, как говорят, металл из неблагородного потенциала в благородный, получается при определенном содержании хрома. При этом антикоррозийные свойства проявляются не только против свободного кислорода воздуха, но также и против связанного активного кислорода, имеющегося в окислителях (например в азотной кислоте).

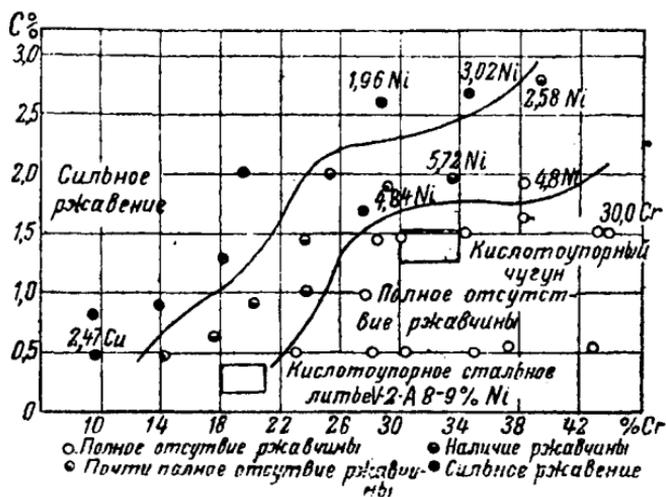
По теории Таммана, сплав из двух компонентов, из которых один имеет неблагородный, а другой благородный потенциал, может приобрести свойства благородного металла только в том случае, когда концентрация элемента с благородным потенциалом в растворе будет не менее $\frac{1}{8}$ Mol. Нержавеющая сталь, следовательно, должна содержать не менее $\frac{1}{8}$ Mol Cr, что при пересчете дает 11,7% Cr.

На фиг. 2 представлена диаграмма изменения потенциала, превращающего сталь в благородный металл, в зависимости от содержания хрома, построенная Benedicks и Spanns. Изменение потенциала происходит, начиная с 12% Cr, т. е. подтверждает сказанное выше.

Но так как имеющийся в стали углерод образует двойные хромо-железистые карбиды $(\text{CrFe})_4\text{C}$ и $(\text{CrFe})_7\text{C}_3$, причем на одну часть углерода идет 6—8 частей хрома, то ясно, что 12%



Фиг. 2. Изменение потенциала хромистой стали в зависимости от содержания хрома.



Фиг. 3. Диаграмма изменения антикоррозионных свойств сплавов в зависимости от концентрации хрома и углерода.

хромистая сталь, при содержании 0,15—0,20% С, в твердом растворе будет иметь уже не $\frac{1}{8}$ Mol Cr, а меньше. Таким образом при выборе марки стали необходимо строго учитывать зависимость между хромом и углеродом с таким расчетом, чтобы твердый раствор имел не меньше $\frac{1}{8}$ Mol Cr.

Зависимость антикоррозионных свойств сплавов от концентрации хрома и углерода представлена на фиг. 3.

Для характеристики кислото- и жароупорности сталей в дальнейшем применяются следующие условные обозначения, принятые на ряде заводов:

| | | | |
|---------------|-------------|-----------------------|------------------------------|
| Потеря в весе | 0,1 | г.м ² /час | I (весьма устойчива) |
| " | 0,1—1,0 | " | II (достаточно устойчива) |
| " | 1,0—3,0 | " | III (сравнительно устойчива) |
| " | 3,0—10,0 | " | IV (малоустойчива) |
| " | больше 10,0 | " | V (неустойчива) |

Границей огнестойкости можно считать потерю в весе — 0,8—1,1 г.м²/час.

Жароупорные и кислотоупорные стали могут быть разбиты на следующие группы по химическому составу: 1) хромистые, 2) хромоникелевые, 3) хромомарганцевые, 4) хромокремнистые и хромоалюминиевые.

1. ХРОМИСТЫЕ СТАЛИ

Эти стали разбиваются на три группы по содержанию хрома: 1) сталь с 12,5—15% Cr, 2) сталь с 16—20% Cr, 3) сталь с 22—29% Cr.

Сталь, содержащая 12,5—15% Cr

Эта сталь может иметь следующие структуры в зависимости от содержания углерода: 1) ферритовую при содержании до 0,08% C; 2) полуферритовую при содержании 0,08—0,17% C; 3) мартенситовую при содержании 0,17—0,26% C; 4) мартенсито-карбидную (карбиды выделены по границам зерен) при содержании 0,26—0,45% C (по Гудремону).

Наиболее распространенной сталью мартенситовой группы является сталь следующего состава: 0,20—0,25% C; 13,5—15,0% Cr; 0,4—0,7% Ni; 0,4—0,6% Si; 0,5—0,7% Mn.

Сталь с меньшим содержанием углерода, например состава: 0,16—0,22% C, 14—14,5% Cr и 0,5—0,7% Ni — непригодна для литейных целей, так как мартенситовая сталь весьма чувствительна к скорости остывания. Если в тонких сечениях отливок при таком содержании углерода и хрома удастся получить после термообработки чисто мартенситовую структуру, то в толстых получается свободно выделившийся феррит (главным образом по границам зерен), который не удастся устранить никакой тепловой обработкой. Закалка же при высоких температурах ведет только к увеличению размеров зерен. Отливки, имеющие в структуре свободно выделившийся феррит, очень хрупки, обладают очень низкими пластическими свойствами и не могут поэтому нести больших механических нагрузок, а тем более ударных. Например полуферритная сталь состава 0,19% C; 14,1% Cr имеет: временное сопротивление 58,4 кг/мм², удлинение 6,4%, сопротивление удару 1,8 кгм/см². Кроме того, сталь, содержащая свободно выделившийся феррит, теряет свои антикоррозионные свойства. Образование δ -феррита, не претерпевающего фазовых превращений, объясняется низким содержанием углерода при одно-

временно высокой концентрации хрома; при увеличении содержания углерода количество структурно свободного феррита все время уменьшается, причем сталь очень чутко реагирует на каждую вводимую в нее сотую процента углерода.

Зависимость микроструктуры отливок от увеличения содержания углерода представлена на фиг. 4 и 5. При 0,21% С сталь приобретает полностью нормальное мартенситовое строение, и это содержание углерода является нижним пределом для получения структуры, не имеющей свободного феррита.



Фиг. 4. Структура хромистой стали (13,5 — 15% Cr) при 0,17% С.

Фиг. 5. Структура хромистой стали (13,5 — 15% Cr) при 0,19% С.

Дальнейшее повышение содержания углерода дает увеличение карбидов, и при 0,26% С сталь приобретает мартенситно-карбидную структуру, причем свободно выделившиеся карбиды располагаются по границам зерен, сообщая стали чрезвычайно большую хрупкость. Так, мартенситно-карбидная сталь состава: 0,27% С; 14,5% Cr имеет: временное сопротивление 64,5 кг/мм², удлинение 2,0%, сопротивление удару 0,5 кгм/см². Кроме того, при этом понижается кислотоупорность стали, так как при воздействии реагентов между основной массой (обедненной хромом) и карбидами образуются гальванопары, создающие интеркристаллическую коррозию.

Добавка в нержавеющую хромистую сталь титана в значительной степени измельчает первичное зерно, что улучшает механические свойства стали.

Механические свойства рассматриваемых сортов стали, по данным некоторых заводов, приведены в табл. 2.

Приведенные данные указывают на большую вязкость сталей и одновременно высокий предел упругости и временное

Механические свойства хромистых литых сталей, содержащих 12,5—15% Cr

| Название завода | Химический состав, % | | | | | Предел упругости кг/мм ² | Временное сопротивление кг/мм ² | Удлинение % | Сжатие, % | Термообработка |
|--------------------------------|----------------------|-----------|---------|------|---------|--|---|----------------|-----------|--|
| | C | Cr | Ni | Ti | Mn | | | | | |
| Завод „Серп и Молот“ | 0,18 | 13,42 | 0,48 | 0,28 | 0,61 | — | 59,7 | 21,0 | 37,2 | Отжиг 900°; нормализация с 950° и отпуск 780° |
| Завод „Серп и Молот“ | 0,24 | 14,4 | 0,7 | 0,31 | 0,58 | 42,0 | 69,3 | 19,0 | 35,1 | Отжиг 900°; нормализация с 950° и отпуск 820° |
| Завод „Серп и Молот“ | 0,24 | 14,4 | 0,7 | 0,31 | 0,58 | 42,2 | 68,7 | 23,4 | 41,7 | Отжиг 900°; нагрев до 1025°, закалка на воздухе до 600°, далее нагрев до 1025°, закалка на воздухе до 300° и отпуск с 850° с охлаждением по 50° в час. То же |
| Завод им. Ленина | 0,21 | 13,2 | 0,65 | 0,15 | 0,52 | 47,6 | 71,8 | 26,8 | 52 | „ |
| „ „ „ | 0,19 | 11,2 | 0,78 | 0,12 | 0,60 | 41,0 | 62,1 | 28,8 | 45 | „ |
| Jones (США) . . . | 0,12 | 13,0—14,0 | 0,3—0,6 | — | 0,5—1,0 | — | 52,7—70,3 | 18—25 | 30—50 | Нормализация 1025° |

сопротивление. Следует отметить, что на вязкость этой стали большое влияние оказывает термическая обработка.

Применение диффузионного отжига при высокой температуре, нормализации при 1025° и более высокого отпуска на заводе им. Ленина (см. табл. 2) в значительной степени повысило удлинение и сопротивление удару.

В табл. 3 приведены данные об изменении механических свойств стали состава 0,18% С; 13,42% Cr в зависимости от различной температуры отпуска.

Таблица 3

Изменение механических свойств хромистых сталей, содержащих 12,5—15% Cr в зависимости от температуры отпуска

| Механические свойства | Образцы два раза нормализованы при 1025° и отпущены при | | | |
|---|---|------|------|------|
| | 620° | 700° | 780° | 850° |
| Временное сопротивление, кг/мм ² | 71,3 | 64,4 | 59,7 | 51,2 |
| Удлинение, % | 17,5 | 20,0 | 24,0 | 26,3 |
| Сжатие, % | не обмерялись | 35,0 | 43,0 | 47,4 |

Таким образом температурой отпуска можно регулировать удлинение и сжатие, а также временное сопротивление и твердость; последнее очень важно для механической обработки. Следует вообще воздерживаться от отпуска при 500°, который придает отливке чрезмерно большую хрупкость.

Длительная работа хромистой стали (13,5—15,0% Cr) при высоких температурах в значительной степени улучшает ее вязкость, одновременно понижая временное сопротивление. Например, образцы металла с 0,23% С, 14,62% Cr и 0,71% Ni после термообработки имели временное сопротивление 73,5 кг/мм² и удлинение 23,3%. Эти же образцы после 1000 час. нагрева в печи для отжига стального литья при 850—900° имели временное сопротивление 62,0 кг/мм² и удлинение 27,7%.

В табл. 4 приводятся данные о химической стойкости мартенситовой стали.

В соляной и серной кислоте мартенситовая хромистая сталь (13,5—14,5% Cr) совершенно неустойчива. В условиях водной среды сталь не ржавеет. Нержавеющие хромистые стали не подвержены также действию водяного пара. Для получения данных о стойкости этой стали в среде водяного пара по сравнению с фосфористой бронзой образцы обоих металлов

Таблица 4

Химическая стойкость хромистых сталей мартенситовой группы, содержащих 12,5—15% Cr (по данным Гудремона)

| Концентрация % | Температура °C | Условная стойкость | Концентрация % | Температура °C | Условная стойкость |
|-------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| Фосфорная кислота | | | Уксусная кислота | | |
| 10 | 20 | I | 10 | 20 | I |
| 10 | кип. | II | 10 | кип. | II |
| 45 | 20 | III | 50 | 20 | I |
| 45 | кип. | III | 50 | кип. | V |
| 80 | 20 | II | Двууглекислый натр | | |
| 80 | кип. | V | 20 | 20 | I |
| Азотная кислота | | | 20 | кип. | I |
| 7 | 20 | I | Едкий натр | | |
| 7 | кип. | IV | 20 | 20 | I |
| 37 | 20 | I | | | |
| 37 | кип. | II | | | |
| 66 | 20 | I | | | |
| 65 | кип. | III | | | |

были испытаны Монипенни в струе пара из инжектора давлением 8,4 ат в течение 200 час. После испытания бронза оказалась глубоко изъеденной в местах удара паровой струи, образцы же хромистой стали не подверглись коррозии. Смазочные материалы (сало, парафин, бензол, керосин и т. д.) не оказывают действия на нержавеющую сталь.

В табл. 5 приведены результаты исследований нержавеющей хромистой стали в различных условиях (по Гадфильду).

Стойкость нержавеющей стали в морской воде оказалась плохой.

Таблица 5

Результаты исследований антикоррозионных свойств хромистой стали

| Среда | Увеличение в весе в г/м ² /час при | | | |
|------------------------------------|---|-------|-------|-------|
| | 700° | 800° | 900° | 1000° |
| Атмосферный воздух | 0,166 | 0,320 | 0,447 | 27,78 |
| Синтетический печной газ | — | — | 7,63 | — |
| Кислород | 0,093 | 0,793 | 1,160 | 3,80 |
| Пар | 0,216 | 0,240 | 6,210 | 16,60 |
| Углекислый газ | 0,338 | 0,362 | 6,960 | 25,95 |
| Сернистый газ | 0,166 | 0,434 | 4,140 | 24,42 |

Сталь, содержащая 16—20% Cr

Антикоррозионные свойства 14% хромистой стали недостаточны ввиду низкого содержания хрома. Поэтому иногда применяют сплавы с содержанием 16—20% Cr, что придает им большую устойчивость в кислотах и при высоких температурах.

В зависимости от содержания углерода и никеля можно получить целый ряд структур: 1) полуферритовую (0,1—0,2% C, 16—18% Cr); 2) мартенситовую (0,2—0,22% C, 16—18% Cr, 1,8—2,2% Ni); 3) ферритно-карбидную (0,3—0,6% C, 17—19% Cr).

В зависимости от содержания углерода и никеля (т. е. в зависимости от влияния на структуру) изменяются и механические свойства отливок, например, мартенситовая сталь с 0,21% C; 18,02% Cr; 2,21% Ni после смягчающего отжига при 950°, нормализации с 1025° и отпуска с 760° имеет временное сопротивление 79,4 кг/мм², предел упругости 54,7 кг/мм², удлинение 16,4%, сжатие 24%, сопротивление удару 4,9 кг·м/см².

Испытание отожженной при 800° полуферритовой стали с 0,17% C; 18,1% Cr; 1,34% Si; 0,53% Mn; 2,0% Ni показывает слишком низкую вязкость ее (временное сопротивление 65 кг/мм, предел упругости 38,73 кг/мм², удлинение 5,1%, сжатие 8,4%).

Следует отметить, что полуферритовую сталь отливать в формы крайне трудно, вследствие очень малой жидкотекучести; ее приходится поэтому перегревать, что вредно отражается на размере зерна, а следовательно, и на механической прочности.

Применяя при выплавке ферритно-карбидной стали азотированный феррохром, автору совместно с инж. Мельниковым в 1934 г. удалось получить мелкозернистую структуру и повысить пластические свойства этой стали.

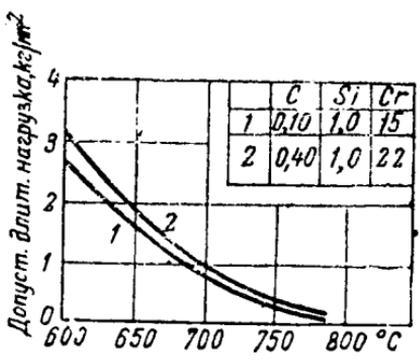
При 0,33% C; 19,4% Cr; 0,52% Ni временное сопротивление термически обработанных образцов составляло: 73,4 кг/мм², удлинение — 14,2%, сопротивление удару — 3,7 кг·м/см².

Повышенное содержание углерода (1,0—1,5%) делает хромистую сталь 17—18% Cr еще более хрупкой (удлинение едва достигает 1,5%; сжатие 1,4—1,6%).

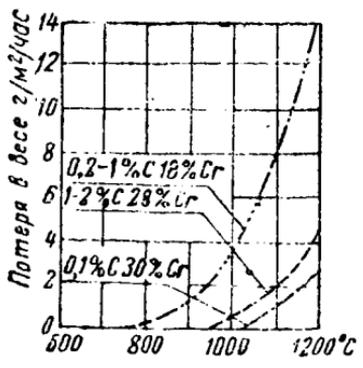
Режим термообработки литой 18% хромистой стали в значительной степени влияет на механическую прочность отливок. Диффузионный отжиг сильно увеличивает удлинение и сопротивление удару.

Особенно опасен в сплавах с 18% Cr отпуск при 500—550°, так как медленное охлаждение через эту температурную область обуславливает хрупкость отливок, аналогично тому как это наблюдается для сталей с 13,5—14,5% Cr.

Специальной термической обработкой можно получить из мартенситовой структуры аустенитовую. Полученный таким путем аустенит будет иметь, однако, ряд существенных недостатков (его отличие от собственно аустенитовой хромоникелевой стали будет выражаться в повышенной хрупкости, вследствие сохранения остаточных карбидов по границам зерен и сравнительно крупной величины зерна). 18-процентная



Фиг. 6. Механическая прочность хромистых сталей при высоких температурах.



Фиг. 7. Диаграмма жароупорности хромистых сталей.

хромистая сталь следующего химического состава: 1,0—1,5% C; 18—19% Cr; 1,3—1,5% Si; 0,4—0,6% Mn; 2,3—2,5% Ni имеет:

- Временное сопротивление при 900° — 8,5 кг/мм²; при 1000° — 5,9 кг/мм²
- Предел текучести 900° — 5,5 кг/мм²; при 1000° —
- Удлинение „ 900° — 28%; при 1000° — 39%

Интересные данные о допустимых длительных нагрузках на хромистые стали при высоких температурах приводит Ралатц (фиг. 6).

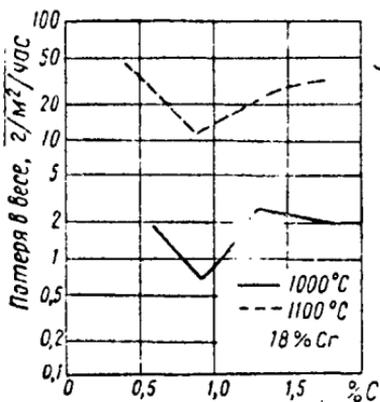
На фиг. 7 представлена диаграмма жаростойкости стали в зависимости от содержания хрома. Хромистую сталь с 17—19% Cr можно применять в качестве жаростойкого металла только до 900—950°, причем механические свойства ее

НАУЧНАЯ 2852/8

при данной температуре сравнительно низки. Поэтому отливки из данной стали нельзя применять при высоких механических нагрузках.

На фиг. 8 представлены кривые влияния углерода на жароупорные свойства стали с 17—19% Cr. Как видно из диаграммы, с увеличением углерода до 1% жароупорные свойства стали понижаются; при дальнейшем увеличении углерода жароупорность повышается.

Содержание до 2—2,2% Si значительно улучшает жароупорные свойства 18% хромистой стали, уменьшает окиснообразование, делая отливки стойкими уже до 1000°, причем отливки эти могут нести сравнительно невысокие механические нагрузки.



Фиг. 8. Влияние углерода на жароупорность хромистых сталей с 17—19% Cr.

Одна американская фирма, выпускающая 18% хромистую сталь под маркой Ascoloy-66 с 0,12% С; 18,5% Cr; 0,43% Si; 0,4% Mn гарантирует стойкость ее в воздухе и в окислительных топочных газах до 900°.

Антикоррозионная стойкость стали с 17—19% Cr значительно выше, чем сталь с 13,5—14,5% Cr. Например, в морской воде сталь с 17—19% Cr вполне устойчива, в то время, как сталь 13,5—14,5% Cr неустойчива. Особенно стойка 18% хромистая сталь против азотной кислоты.

Эта сталь оказывает сопротивление многим реагентам из органических и неорганических веществ и сопротивляется щелочным растворам; она применяется для изготовления машин пищевой промышленности.

В табл. 6 приведены данные химической стойкости хромистой стали с 17—19% Cr.

Прекрасно работают отливки из мартенситовой стали (17—19% Cr) в условиях перегретого пара и высокого давления (отливки арматуры).

Сталь, содержащая 22—29% Cr

Сплавы с 22—29% Cr в зависимости от количества входящего в них углерода можно разделить по структуре на следующие группы:

| | C % | Cr % | Si % | Ni % | Mn % | |
|----|-----------|-------|---------|---------|---------|---|
| 1) | 0,15—0,25 | 22—28 | 0,3—1,2 | 0,5—1,5 | 0,3—0,5 | ферритно-карбидная (малоуглеродистая) феррито-карбидная (высокоуглеродистая) ледебуритная (доэвтектически) |
| 2) | 0,4—0,8 | 22—28 | 0,3—1,2 | 0,5—1,5 | 0,3—0,5 | |
| 3) | 0,8—1,2 | 22—28 | 0,3—1,2 | 0,5—1,5 | 0,3—0,5 | |

Последняя группа относится скорее к чугунам.

Структура указанных сталей состоит из хромистого феррита и двойных карбидов, расположенных по границам зерен. На фиг. 9 и 10 представлены типичные микроструктуры их.

Для изучения свойств рассматриваемых сталей автором был проведен ряд исследований.

Исследованные сорта стали приведены в табл. 7.

В табл. 8 приведены механические свойства сталей; испытания проводились при комнатной температуре.

На основании приведенных данных можно выявить влияние азота и титана на механические свойства высокохромистых

Таблица 6

Антикоррозионные свойства стали с 17—19% Cr

| Концентрация % | Температура °C | Условная стойкость | Концентрация % | Температура °C | Условная стойкость |
|-------------------|----------------|--------------------|------------------|----------------|--------------------|
| Фосфорная кислота | | | Серная кислота | | |
| 10 | 20 | I | 10 | 20 | V |
| 10 | кип. | II | | | |
| 45 | 20 | II | | | |
| 45 | кип. | II | Едкий натр | | |
| 80 | 20 | II | — | 20 | I |
| 80 | кип. | V | | | |
| Соляная кислота | | | Сероводород | | |
| 0,5 | 20 | II | — | 20 | II |
| 0,5 | кип. | V | | | |
| 3,6 | 20 | III | | | |
| 3,6 | кип. | V | | | |
| Азотная кислота | | | Уксусная кислота | | |
| 7 | 20 | I | 10 | 20 | I |
| 7 | кип. | I | 10 | кип. | II |
| 37 | 20 | I | 50 | 20 | I |
| 37 | кип. | II | 50 | кип. | V |
| 66 | 20 | I | | | |
| 66 | кип. | II | | | |

Состав сталей с содержанием 22—29% Cr, подвергнутых исследованию автором

| № изучаемой стали | Химический состав % | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-----------------------|
| | C | Cr | Si | Mn | Ni | Ti | P | S | N ₂ (азот) |
| 1 | 0,21 | 22,11 | 0,58 | 0,64 | 0,52 | — | 0,008 | 0,020 | — |
| 2 | 0,22 | 22,14 | 0,62 | 0,59 | 0,47 | — | — | — | 0,27 |
| 3 | 0,19 | 22,70 | 0,61 | 0,61 | 0,51 | 0,44 | — | — | — |
| 4 | 0,19 | 28,90 | 0,40 | 0,40 | — | — | 0,025 | 0,021 | — |
| 5 | 0,20 | 28,47 | 0,44 | 0,30 | 0,31 | 0,41 | 0,019 | 0,012 | — |
| 6 | 0,19 | 28,92 | 0,41 | 0,38 | 0,54 | — | — | — | 0,31 |
| 7 | 0,30 | 29,1 | 0,45 | 0,34 | — | — | — | — | — |
| 8 | 0,50 | 26,0 | 1,5 | 0,63 | 2,0 | — | — | — | — |
| 9 | 0,70 | 30,0 | 0,50 | — | 2,5 | — | — | — | — |
| 10 | 0,79 | 28,96 | 0,30 | 0,35 | 1,17 | — | — | — | — |
| 11 | 0,78 | 28,74 | 0,33 | 0,35 | 1,12 | 0,49 | — | — | — |
| 12 | 0,78 | 29,04 | 0,35 | — | 1,01 | — | — | — | 0,27 |
| 13 | 0,85 | 27,5 | 1,84 | 0,78 | 2,73 | — | — | — | — |
| 14 | 0,96 | 26,16 | 0,21 | 0,37 | 0,56 | — | — | — | — |
| 15 | 2,0 | 27,3 | 1,34 | 0,72 | 1,44 | — | — | — | — |

Таблица 8

Механические свойства литых сталей, исследованных автором

| № сталей по табл. 7 | Временное сопротивление, кг/мм ² | Предел текучести, кг/мм ² | Удлинение, % | Сжатие, % | Сопротивл. удару, кг·м/см ² | Твердость по Бриггеллю | Примечание |
|---------------------|---|--------------------------------------|--------------|-----------|--|------------------------|--|
| 1 | 47,7 | 31,4 | 0,8 | 0,92 | 0,4—0,5 | 180—185 | } После отжига 860° |
| 2 | 52,3 | 35,2 | 17,8 | 22,4 | 2,9—3,4 | 185—195 | |
| 3 | 49,3 | 32,7 | 3,2 | 2,6 | 0,9—1,1 | 175—185 | |
| 3 | 50,4 | 31,9 | 1,1 | 0,94 | 0,8—0,9 | 175—190 | } Литые сырые с образцы, не подвергнутые термической обработке |
| 4 | 54,5 | 35,3 | 0,0 | 0,0 | 0,2—0,3 | 200—220 | |
| 5 | 56,7 | 37,1 | 1,3 | 0,92 | — | — | } Отжиг при 875° |
| 6 | 58,7 | 38,7 | 14,1 | 18,3 | 2,4—2,7 | — | |
| 10 | 63,7 | не произв. | 0,0 | 0,0 | 0,1—0,2 | 228—240 | |
| 11 | 65,1 | " | 0,7 | 0,90 | 0,4—0,45 | 228—240 | |
| 12 | 69,1 | " | 5,9 | 7,40 | 1,2—1,3 | — | |

сталей. Азот резко повышает пластические свойства стали. Если сталь 1 при 22,11% Cr является весьма хрупкой (удлинение 0,8%), то сталь 2 с 0,27% N₂ имеет удлинение, равное 17—18% и сопротивление удару до 3 кг·м/см². Азотируемая высокохромистая сталь может быть применена для изготовления ряда ответственных кислотоупорных деталей. С увеличением содержания углерода, несмотря на введение азота, вязкость стали падает, как это видно из данных по сталям 2,6 и 12. Однако даже в случае высокого содержания углерода (0,70—0,80%)



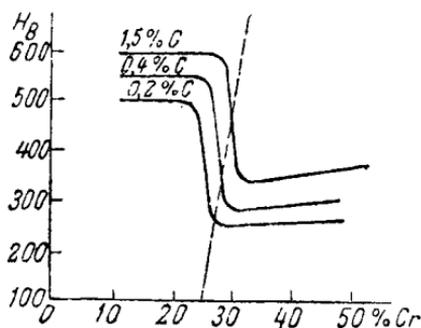
Фиг. 9. Структура литой высокохромистой стали с 0,20% С (×500).



Фиг. 10. Структура литой высокохромистой стали с 0,96% С (×500).

при введении азота от 0,27% и выше удлинение будет значительно больше, чем без добавления азота.

На фиг. 11 представлена



Фиг. 11. Диаграмма зависимости твердости стали от содержания хрома.

введения в сплав 0,27% N₂ явление крупнозернистости и трансформации было моментально устранено.

{1} Мнения разных исследователей о влиянии азота на трансформацию высокохромистых сталей различны.

Большое значение имеет добавка в хромистые стали титана, который образует карбиды титана (TiC), обладающие температурой плавления 3000° и являющиеся, так же как и нитриды хрома, центрами кристаллизации. Титан в значительной сте-

Таблица 9

Механические свойства литых высокохромистых сталей при высоких температурах

| № стали по табл. 7 | Временное сопротивление кг/мм ² | Удлинение % | Сжатие % | Сопротивление удару кг·м/см ² | № стали по табл. 7 | Временное сопротивление кг/мм ² | Удлинение % | Сжатие % | Сопротивление удару кг·м/см ² |
|--------------------|--|-------------|----------|--|--------------------|--|-------------|----------|--|
| При 800° | | | | | При 1000° | | | | |
| 1 | 10,4 | 31,0 | 29,0 | — | 6 | 4,21 | 78,4 | 72,1 | 5,12 |
| 2 | 10,9 | 30,5 | 28,5 | — | 10 | 7,0 | 50 | 39,5 | 1,5 |
| 3 | 9,9 | 29,7 | 27,3 | — | 11 | 5,7 | 42,7 | 38,1 | 1,4 |
| 4 | 13,5 | 25,0 | 21,2 | — | 12 | 6,21 | 47,0 | 41,5 | 1,2 |
| 5 | 11,8 | 23,1 | 17,4 | — | 15 | 11,0 | 12,1 | 15,9 | — |
| 6 | 14,91 | 27,3 | 20,5 | — | При 1100° | | | | |
| 10 | 17,6 | 12,0 | 18,5 | 1,30 | 4 | 3,3 | 110,0 | 94 | — |
| 11 | 15,9 | 10,4 | 16,0 | 1,25 | 5 | 2,49 | 100,5 | 97,3 | — |
| 12 | 17,9 | 12,6 | 17,3 | 1,15 | 6 | 8,34 | 102,0 | 90,5 | — |
| 15 | 21,4 | 6,1 | 7,4 | — | 10 | 4,2 | 61,8 | 81,0 | 1,6 |
| При 900° | | | | | 11 | 3,61 | 56,5 | 77,5 | 1,6 |
| 1 | 5,1 | 44,0 | 52,0 | — | 12 | 4,0 | 60,0 | 80,5 | 1,2 |
| 2 | 5,0 | 40,4 | 52,5 | — | 15 | 7,25 | 27,5 | 35,0 | — |
| 3 | 4,7 | 42,2 | 48,8 | — | При 1200° | | | | |
| 4 | 7,85 | 37,5 | 41,4 | — | 4 | 1,30 | 115,0 | 105 | 5,5 |
| 5 | 6,93 | 33,5 | 40,5 | — | 5 | 1,01 | 105,5 | 101,4 | 5,5 |
| 6 | 8,7 | 41,5 | 40,0 | — | 6 | 1,02 | 107,2 | 105,5 | 5,10 |
| 10 | 12,1 | 20 | 25,0 | 1,30 | 10 | 2,68 | 73,6 | 93,5 | 1,9 |
| 11 | 11,32 | 16,5 | 23,0 | 1,30 | 11 | 2,08 | 70,0 | 90,3 | 1,75 |
| 12 | 10,4 | 18,1 | 24,5 | 1,15 | 12 | 3,11 | 72,0 | 91,35 | 1,55 |
| 15 | 14,2 | 4,5 | 9,5 | — | При 1000° | | | | |
| 1 | 3,9 | 87,0 | 81,0 | 6,0 | 1 | 3,9 | 87,0 | 81,0 | 6,0 |
| 2 | 4,0 | 84,0 | 80,7 | 5,9 | 2 | 4,0 | 84,0 | 80,7 | 5,9 |
| 3 | 3,2 | 85,5 | 80,3 | 5,85 | 3 | 3,2 | 85,5 | 80,3 | 5,85 |
| 4 | 4,60 | 79,3 | 76 | 5,60 | 4 | 4,60 | 79,3 | 76 | 5,60 |
| 5 | 4,11 | 75,0 | 70 | 5,50 | 5 | 4,11 | 75,0 | 70 | 5,50 |

Примечание. Предел текучести стали № 15 при 900° составляет 10,0 кг/мм², при 1000°—8,0 кг/мм², при 1100°—1,5 кг/мм².

пени измельчает зерно и делает макроструктуру хромистой стали квази-изотропной. Однако значительного повышения вязкости металла при этом не наблюдается (табл. 7 и 8). Это объясняется тем, что интеркристаллитная деформация здесь весьма затрудняется, так как по границам зерен имеется большое количество хрупких карбидов титана. Для получения мелкозернистой структуры в хромистую сталь с 0,20% С и 23—26% Сг необходимо ввести 0,30—0,32% Тi. Нужно учитывать, что каждая лишняя десятая процента титана ухудшает антикоррозионные и литейные свойства стали.

Результаты исследования механических свойств литых высокохромистых сталей при высоких температурах приведены в табл. 9 (среднее из трех испытаний).

Из таблицы видно, что временное сопротивление высокохромистых сталей при высоких температурах сильно падает. Это ограничивает применение этих сталей для изготовления отливок, несущих большую нагрузку при температурах 900—1000°.

Углерод повышает временное сопротивление и предел текучести высокохромистой стали, так как при этом увеличивается карбидная составляющая; удлинение и сжатие при этом, однако, понижается. С повышением температуры удлинение и сжатие высокохромистых сталей в значительной степени возрастают.

Влияние азота на механические свойства хромистых сталей сказывается следующим образом: сопротивление разрыву увеличивается, но вязкость при высоких температурах понижается. Титан оказывает противоположное влияние. Образцы, разорванные при высоких температурах, имели пониженное временное сопротивление по сравнению с образцами из стали без добавки титана.

Большое влияние на временное сопротивление разрыву оказывает хром. Разница в 6% Сг (сталь 1 и 4) значительно повышает сопротивление разрыву, но зато уменьшает удлинение и сжатие.

Те же исследования показали, что сопротивление удару хромистых сталей с повышением температуры увеличилось во всех случаях, но в сталях с повышенным содержанием углерода оно значительно ниже, чем в малоуглеродистых сплавах. Влияние азота сказалось на понижении ударной вязкости при повышенных температурах. Карбиды титана тоже незначительно понизили ударную вязкость.

Большое значение при изучении механических свойств жароупорных сталей имеет предел ползучести. L. Stanbury, собравший многочисленные сведения об исследованиях и практике

работы заводов США, указывает, что в литых сталях с 0,2—0,4% С и 24—28% Cr удельная нагрузка, вызывающая за 10 тыс. час. деформацию, равную 1% (ползучесть), выражается следующими цифрами:

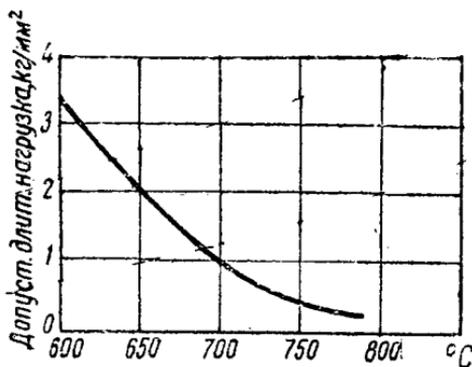
| | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Температура, °С | 550 | 600 | 650 | 700 | 760 | 820 | 870 |
| Удельная нагрузка кг/мм ² | 5,6 | 2,9 | 1,4 | 0,52 | 0,27 | 0,17 | 0,09 |

L. Stanbury утверждает, что эти значения удельных нагрузок можно принимать при конструировании печных деталей без коэффициентов безопасности и что практика работы подтвердила несомненную пригодность предложенных цифр.

На фиг. 12 приведена кривая допустимой длительной нагрузки (по Ф. Рапатц) для стали с 0,60% С; 30% Cr; 1,5% Si. Как видно из диаграммы, допустимая постоянная нагрузка при 750° составляет примерно 0,5 кг/мм².

Длительная работа отливок из высокохромистых сталей при повышенных температурах, как показала практика, неизбежно связана с возрастанием хрупкости деталей, т. е. с изменением первоначальных механических свойств.

Исследования, проведенные автором, показали, что в высокохромистых катаных или кованных деталях после некоторого времени работы при высоких температурах увеличивается зерно. В литых деталях рост зерна не наблюдается. Единственное изменение, которое можно было наблюдать в литых деталях после работы в течение 1000 час. в печи, предназначенной для закалки стали Гадфильда, т. е. при 1150—1200°, — это изменение формы карбидов. Карбиды после продолжительного времени работы несколько коагулируются и из отдельных включений превращаются в поля; при этом в значительной степени изменяются механические свойства стали. Только после 10 000 час. работы в отливках заметно некоторое увеличение размеров зерна по сравнению с первоначальным, причем сращение карбидов происходит в еще большей степени. Мало чем отличается структура этой же стали, работавшей при более низкой температуре (800—900°). Как и в случае работы при высоких темпе-



Фиг. 12. Кривая допустимой длительной нагрузки для высокохромистых сталей.

ратурах, после 5000 час. работы при указанной температуре наблюдалось сращивание (укрупнение) карбидов, расположенных по границам зерен.

С увеличением времени пребывания отливок в печи наблюдается значительное понижение временного сопротивления и твердости.

Следует указать, что несмотря на введение в хромистые сплавы азота и титана, которые в значительной степени измельчают зерно и увеличивают механическую прочность, температура разлива стали по формам является одним из самых важных факторов, определяющих те или иные механические свойства.

Автором были залиты разрывные образцы сталью с 0,41% С; 28,1% Cr; 0,92% Si; 0,54% Ni при различной температуре. Разрыв образцов дал резкое понижение временного сопротивления в зависимости от увеличения температуры заливаемого металла, чем свидетельствуют следующие данные:

| Температура заливки образцов по Рурорто | Временное сопротивление кг/мм ² |
|---|--|
| 1560 | 40,0 |
| 1500 | 51,1 |
| 1470 | 59,4 |

Данные о жароупорности литых высокохромистых сталей, по исследованиям автора, приведены в табл. 10.

Таблица 10

Данные о жароупорности высокохромистых сталей

| № стали по табл. 7 | Потеря в весе в г/м ² /час при | | | | Примечание |
|--------------------|---|-------|-------|-------|--------------------|
| | 900° | 1000° | 1100° | 1200° | |
| 1 | 0,83 | 1,37 | 3,1 | 5,32 | Стойкость до 1000° |
| 4 | — | 0,37 | 1,42 | 2,09 | Стойкость до 1100° |
| 10 | — | 0,43 | 1,72 | 3,2 | То же |
| 14 | — | 0,51 | 1,71 | 3,71 | " |
| 15 | — | 0,62 | 1,91 | 4,31 | " |

Исследования показывают, что увеличение содержания углерода в высокохромистых сталях очень мало влияет на потери в весе при прокаливании образцов. Это весьма ценно, так как позволяет использовать для жароупорных отливок более дешевые, высокоуглеродистые сплавы, имеющие повышенные

Данные о жароупорных сталях из американской практики

Таблица II

| Промышленное наименование сплава | Название деталей и назначение сталей | Химический состав, % | | | | Температура среды, °С | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|----------------------|------|------|-------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|----------------|-------------|----------|-------------|---------------|------------|--------------|---------------------|-----------------------|--------------------|------|
| | | C | Si | Cr | Ni Мп | Воздух | Окислительные топочные газы | Восстановительные газы | Оксид углерода | Углекислота | Углероды | Сероводород | Сернистый газ | Серный газ | Оксиды азота | Газообразный аммиак | Плавленный едкий натр | Плавленные хлориды | |
| Uniloy 2825 | Аппаратура для бурного и химического производства | 0,25 | 0,25 | 28,5 | — | 0,4 | 1150 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Uniloy 1809 | Части печей | 0,10 | 0,25 | 17,0 | — | 0,4 | 900 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Gurloy A Thermaloy С и D | Ящики для обжига, свинцовые ванны, мешалки, трубки для термонар (при совместном действии SO ₂ и высокой температуры) | — | — | 28,5 | — | — | 1150 | 980 | 1150 | 980 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | — | — | — |
| Fahrite C | Особенно рекомендуется для работ в атмосфере H ₂ S и выскокой температуры | 0,4—0,5 | 0,4 | 27,5 | 2,5 | 0,5 | — | 1095 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Sweetaloy 19 | — | — | — | 25,0 | — | — | — | 925 | 925 | 1035 | 1035 | 1035 | 1035 | 925 | 925 | 1035 | 1035 | 1035 | 1035 |

механические свойства (при плавке металла, следовательно, можно пользоваться высокоуглеродистыми FeCr).

Испытания, произведенные автором в заводских условиях, показали, что границей применения высокохромистых сталей в качестве жароупорного материала является температура 1100—1150°. Более высокая температура вызывает быстрое сгорание отливок. При 900—950° в отливках не наблюдается окалинообразования, и детали могут работать до 20—30 тыс. час. В условиях угольных топок высокохромистая сталь работает очень хорошо. Автором испытывались отливки в туннельных отжигательных листопрокатных печах при 800—880°. Детали, вынутые из печи, спустя 10 тыс. час. работы покрылись только очень тонким слоем окалины.

Гарантированные цифры стойкости хромистых сплавов в различных средах (по данным американских фирм, поставляющих жароупорное литье различных составов) приведены в табл. 11.

В табл. 12 указана стойкость высокохромистой стали с 0,12% С; 0,22% Si; 28,0—32,0% Cr в различных средах.

Таблица 12

Кислоупорность стали 0,12% С, 0,22% Si и 28—32% Cr

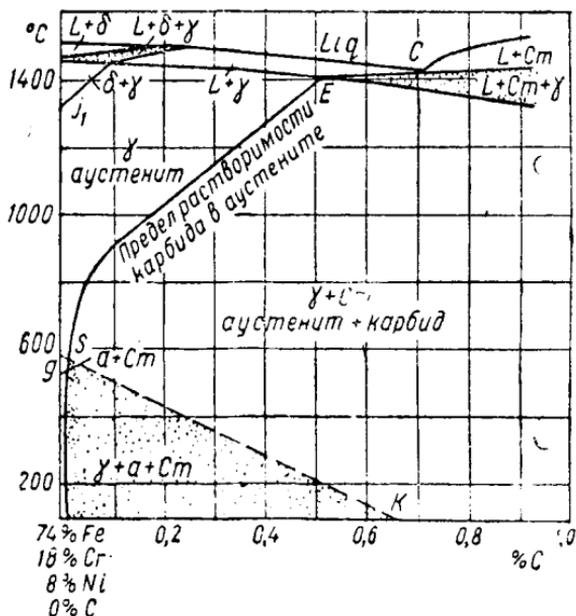
| Концентрация % | Температура °С | Условная стойкость | Концентрация % | Температура °С | Условная стойкость |
|-------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| Соляная кислота | | | Уксусная кислота | | |
| 0,5 | 20 | II | 10 | 20 | I |
| 3,6 | — | V | — | — | — |
| 10 | — | V | 10 | кип. | II |
| 10 | — | V | 50 | 20 | I |
| | | | 50 | кип. | V |
| Фосфорная кислота | | | Серная кислота | | |
| 10 | 20 | I | 10 | 20 | V |
| 10 | кип. | I | Едкий натр | | |
| 45 | 20 | I | 20 | 20 | I |
| 45 | кип. | I | 20 | кип. | I |
| 80 | 20 | I | Едкий калий | | |
| 80 | кип. | V | 50 | 28 | I |
| Азотная кислота | | | 50 | кип. | I |
| 7 | 20 | I | Двууглекислый натр | | |
| 7 | кип. | I | 10—25 | 20 | I |
| 37 | 20 | I | 10—25 | кип. | I |
| 37 | кип. | I | | | |
| 66 | 20 | I | | | |
| 66 | кип. | II | | | |

Высокохромистые отливки также хорошо работают в среде аммиака, молока, молочной кислоты и пр.

Результаты исследований стойкости отливок из хромистой стали с добавкой меди 0,27% С, 27,97% Cr, 1,6% Cu, проведенных инж. Снитко, приведены в табл. 13.

Стойкость высокохромистой стали 26,0% Cr в токе сероводорода при 800° С по данным инж. Чулкова (завод им. Молотова) характеризуется следующими данными:

прибавка в весе 56,7 г/м²/час для стали без добавки азота и титана
 " " 52,3 " " " с добавкой 0,120% N₂
 " " 68,0 " " " " 0,600% Ti



Фиг. 13. Диаграмма состояния железо-хром-никель (при 80% Ni).

Таблица 13

| Концентрация % | Температура °С | Потеря в весе, г/м ² /час | Условная стойкость |
|----------------|----------------|--------------------------------------|--------------------|
|----------------|----------------|--------------------------------------|--------------------|

Соляная кислота

| | | | |
|----|------|------|----|
| 10 | 20 | 5,2 | IV |
| 10 | кип. | 1080 | V |

Серниая кислота

| | | | |
|----|------|------|----|
| 10 | 20 | 6,32 | IV |
| 10 | кип. | 1528 | V |

Азотная кислота

| | | | |
|----|------|---|---|
| 10 | 20 | — | I |
| 10 | кип. | — | I |

2. ХРОМОНИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ

Основные хромоникелевые стали, применяемые для производства жароупорных и кислотостойких отливок, указаны в табл. 14.

Отливки из стали 18/8

Хромоникелевые стали рассматриваемого состава известны под марками У-2-А (Германия), Анка (Англия), К-А-2 Enduro, Rezistal К-А-2 (США) и т. д. Они представляют собой сталь, в состав которой входит 18% Cr и 8% Ni (остальное — железо и незначительное количество углерода, марганца, кремния и пр.). Эти стали вполне пригодны для литейного произ-

водства. Из этого сплава отливается наибольшее количество деталей химической аппаратуры, а в некоторых случаях и жароупорные отливки.

Таблица 14

На фиг. 13 представлена псевдобинарная диаграмма состояния стали 18/8, составленная Кривобоком. Из диаграммы видно, что все критические точки железоуглеродистых сплавов резко передвинуты влево: так, например, эвтектическая точка С вместо 4,3% С имеет 0,7% С, точка Е вместо 1,7% С имеет 0,5% С и т. д. Далее видно, что при неизменном содержании никеля, но при уменьшении содержания углерода ниже 0,1%, при кристаллизации из жидкого состояния образуется феррит, причем с уменьшением процентного содержания углерода количество феррита возрастает. В стали 18/8 при содержании углерода, несколько превышающем 0,1%, кристаллизация идет уже в виде γ -твердого раствора, с конца затвердевания которого при дальнейшем охлаждении выделяются свободные карбиды, располагающиеся по границам зерен. При высоком содержании углерода скопления карбидов получаются настолько крупными, что никакой

Хромоникелевые жаро- и кислотоупорные стали

| Химический состав % | Структура после термообработки | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------|---------|-----------|-----------|---------|-----|--------|-------|-------------------|
| | C | Cr | Ni | Si | Mn | Mo | Ti | Cu | |
| До 0,1 | 17—19 | 7—9 | 0,4—0,8 | 0,3—0,7 | — | — | — | — | Аустенит + феррит |
| 0,12—0,25 | 17—19 | 7—9 | 0,4—0,8 | 0,4—0,7 | — | — | — | — | Аустенит |
| 0,30—0,5 | 17—19 | 7—9 | 0,4—0,8 | 0,4—0,7 | — | — | — | — | Аустенит + карбид |
| 0,1—0,2 | 8,0—9,0 | 17—20 | 0,8—0,9 | 0,5—0,7 | 2,5 | 0,5 | — | 4—4,2 | Аустенит |
| 0,2—0,3 | 27—29 | 7—9 | 0,75—1,25 | 0,55—0,75 | — | — | — | — | Феррит + аустенит |
| 0,1—0,2 | 24—25 | 4,5—6,0 | 0,3—0,6 | 0,4—0,5 | 1,0—4,5 | — | До 0,3 | — | Феррит + аустенит |
| 0,2—0,4 | 24 | 12 | 0,5—1,4 | 0,3—0,5 | — | — | — | — | Аустенит + карбид |
| 0,3—0,4 | 17—19 | 26—28 | 1,5—3,0 | 0,4—0,6 | — | — | — | — | Аустенит + карбид |
| 0,25—0,40 | 24—27 | 17—19 | 2—3,5 | 0,5—0,7 | — | — | — | — | Аустенит + карбид |
| 0,25—0,6 | 17—19 | 35—40 | 1—1,5 | 0,4—0,7 | — | — | — | — | Аустенит |

температурой нагрева (в особенности в толстых сечениях) их нельзя перевести в твердый раствор, а это недопустимо при применении таких отливок в качестве нержавеющих. Большое влияние на образование свободного феррита в хромоникелевой стали имеет кремний и молибден, с повышением содержания которых количество свободного феррита увеличивается, например, при введении свыше 1,3% Si в сталь 18/8, имеющую 0,12—0,13% С, структура получится аустенитно-ферритная.

Точно так же при введении 2,5—3,5% Мо в сталь 18/8, содержащую 0,17—0,19% С, в структуре образуется непревращаемый феррит. Структура аустенит + феррит + карбиды образуется как в тонких, так и в толстых сечениях отливки, но в массивной отливке зерно значительно крупнее, чем в тонкостенной. При низком содержании углерода количество карбидов, выделившихся по границам зерен, относительно невелико. Закалка тонкостенных отливок в этом случае с 1150° на воздухе полностью устраняет их. Однако в толстых сечениях отливок этого достигнуть невозможно, и карбиды остаются нерастворенными. При дальнейшем повышении углерода получить чисто аустенитовую структуру (без карбидов) даже в тонких сечениях совершенно невозможно. Такая сталь не может работать в среде кислот ввиду возможности сильной интеркристаллической коррозии.

При введении в сталь 18/8 титана образуется TiC, что затрудняет образование карбидов хрома. Количество потребного в этом случае титана рассчитывается по содержанию углерода. Атомный вес углерода — 12, титана — 48. Следовательно, для образования TiC нужно ввести титана в 4 раза больше, чем углерода. В этом случае получится аустенитовая, мелкозернистая структура, и отливка будет стойкой против интеркристаллической коррозии.

Введение титана сверх количества, необходимого для образования TiC, понижает антикоррозионную стойкость. В стали 18/8 с добавкой титана при нагревании до 600—700° по границам зерен не выделяется карбиды. Вследствие этого отливки после закалки можно зачищать наждачным камнем, заваривать небольшие раковины автогеном и пр., не опасаясь выпадения карбидов.

Температура закалки повышается при увеличении содержания углерода. Если при 0,06—0,08% С отливки достаточно подвергать воздушной закалке с 1000—1050°, то при 0,22—0,24% С отливки требуют более интенсивного охлаждения в воде с температуры закалки 1150°. При 0,24% С и выше механическая обработка отливок затрудняется, так как чистый

Механические свойства литых сталей 18,8

| № по порядку | Химический состав % | | | | | | Механические свойства | | | | | | Термообработка | Исследователь | | |
|--------------|---------------------|-------|-------|------|------|------|-----------------------|--|---|-------------|----------|--|----------------|---------------|---|---------------------------------------|
| | C | Cr | Ni | Si | Mo | Ti | п | Предел упругости кг/мм ² | Временное сопротивление кг/мм ² | Удлинение % | Сжатие % | Сопротивление удару кгм/см ² | | | Твердость по Бринеллю | |
| 1 | 0,10 | 18,5 | 9,0 | 0,49 | — | — | — | 0,58 | 24,0 | 52,5 | 68,0 | 58,0 | 19,4 | 143 | Закалка 1100°, вода Закалка 1050°, воздух | Завод Авеста Франкс |
| 2 | 0,23 | 22,58 | 11,44 | 0,25 | — | — | — | — | 32,0 | 63,3 | 28,6 | — | 13,3 | 170 | | |
| 3 | 0,27 | 17,94 | 9,04 | 0,19 | — | — | — | — | 31 | 58,7 | 27,8 | — | 11,0 | 170 | Литое (сырое) состояние После закалки при 1050°, воздух | " " |
| | 0,27 | 17,94 | 9,04 | 0,19 | — | — | — | — | 32 | 63,3 | 33,2 | — | 16,2 | 179 | | |
| 4 | 0,29 | 18,72 | 8,40 | — | — | — | — | — | 34,3 | 63,4 | 19,7 | 18,7 | — | — | Закалка 1100°, вода Литое (сырое) состояние | Автор Гудремон |
| 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | 33 | 61,0 | 30,5 | 29 | — | — | | |
| 6 | 0,08 | 18,0 | 8,0 | — | 1,5 | — | — | — | 27,0 | 66,0 | 45,0 | 39 | 16 | 160 | Закалка 1050°, вода Закалка 1100°, вода | Литая шведская сталь Невский завод |
| 7 | 0,11 | 19,14 | 8,31 | 0,42 | 2,73 | — | — | — | 20,1 | 64,3 | 36,4 | 37,1 | 23,1 | — | | |
| 8 | 0,28 | 18,41 | 8,14 | 0,39 | 2,7 | 0,34 | — | — | 39,4 | 69,2 | 15,7 | 17,4 | 9,30 | — | Закалка 1000°, вода Закалка 1100°, вода | Автор |
| 9 | 0,10 | 17,8 | 8,09 | 0,40 | — | — | — | — | 18,2 | 70,1 | 55,0 | 58,0 | 22,1 | 132 | | |
| 10 | 0,13 | 17,8 | 7,75 | 0,56 | — | 0,12 | — | — | 20,3 | 72,0 | 48,2 | 56,1 | 20,1 | 152 | Закалка 1100°, вода | Инж. П. В. Маннин |
| 11 | 0,18 | 17,6 | 7,90 | 0,89 | — | — | — | — | 22,2 | 72,0 | 44,9 | 50,8 | 19,3 | 155 | | |
| 12 | 0,10 | 16,8 | 8,74 | 1,27 | 2,43 | 0,18 | — | — | 21,3 | 59,9 | 51,4 | 51,3 | 16,4 | 154 | Закалка 1100°, вода | |
| 13 | 0,10 | 17,4 | 8,02 | 0,35 | 5,70 | — | — | — | 24,3 | 66,1 | 49,2 | 40,9 | 20,4 | 161 | | |

аустенит не получается, несмотря на высокую температуру закали, особенно при толстых стенках деталей.

Механические свойства хромоникелевой нержавеющей стали достаточно хорошо изучены. В табл. 15 приведены механические свойства литых сталей 18/8 в зависимости от химического состава при нормальной температуре.

Из табл. 15 видно, что хромоникелевые стали обладают высоким временным сопротивлением, удлинением, сжатием и сопротивлением удару, но низким пределом упругости. С увеличением содержания углерода предел упругости повышается, но одновременно понижаются удлинение, сжатие и сопротивление удару, несмотря на то, что образцы во всех случаях подвергнуты термической обработке. С введением молибдена предел упругости значительно увеличивается, но одновременно наблюдается значительное снижение удлинения, сжатия и сопротивления удару. Точно такое же действие оказывает кремний.

Термическая обработка (закалка) улучшает пластические свойства стали, в значительной степени увеличивая удлинение и сжатие.

Следует указать, что высокое сопротивление разрыву и удлинение стали 18/8 получается только в случае правильного температурного интервала разливки.

Механические свойства образцов стали 18/8, залитых при различных температурах, следующие:

| Температура заливки (Puropto) | Сопротивление разрыву $кг/мм^2$ | Удлинение % |
|-------------------------------|---------------------------------|-------------|
| 1420 | 64,5 | 18,9 |
| 1450 | 60,2 | 16,4 |
| 1510 | 38,4 | 7,0 |
| 1545 | 29,5 | 6,8 |

Приведенные данные показывают, что с повышением температуры заливки временное сопротивление и удлинение падают.

Высокая температура заливки стали 18/8 в значительной степени отражается на размере зерна и вызывает явления транскристаллизации, вследствие низкой теплопроводности стали (особенно в толстостенных отливках). Механическая прочность отливок с сильно развитой транскристаллизацией ничтожна: сопротивление разрыву едва достигает 20—22 $кг/мм^2$ при удлинении лишь 2,0—2,5%.

Результаты исследования механических свойств сталей 18/8 при высоких температурах приведены в табл. 16.

По данным Battele Memorial Institute при содержании 0,067% С и температурах 550—660° напряжения в течение 10 тыс. час., вызвавшие 1% крипа, составили соответственно 14,5 и 8,5 $кг/мм^2$, а при 0,125% С и тех же температурах —

Механические свойства стали 18/8 при высоких температурах

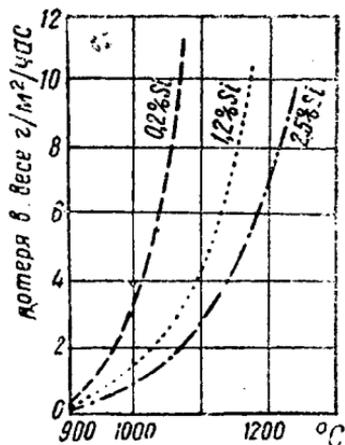
| № стали по табл. 15 | Предел текучности кг/мм ² | Временное сопротивление кг/мм ² | Удлинение % | Сжатие % |
|------------------------|--|--|----------------|-------------|
| | | При 800° | | |
| 4 | 8,4 | 12,4 | 28 | 40 |
| 8 | 11,5 | 17,3 | 34,5 | — |
| | | При 900° | | |
| 4 | 7,0 | 9,2 | 35 | 49 |
| 8 | 8,9 | 13,4 | 50 | — |
| | | При 1000° | | |
| 4 | 3,8 | 5,5 | 54 | 68 |
| 8 | 4,6 | 7,5 | — | — |

19,645 и 9 кг/мм², как показывают исследования, механические свойства сталей типа 18/8 значительно выше, чем чисто хромистых сталей, в особенности при добавке в сталь 18/8 молибдена; при этом значительно повышается при высоких температурах сопротивление удару и крипу. Углерод также повышает сопротивление удару и предел текучести, однако не в такой сильной степени, как молибден.

Результаты исследования жароупорных свойств хромоникелевой литой стали приведены в табл. 17. Из таблицы видно, что жароупорные свойства литой стали 18/8 сравнительно низки и для применения ее в качестве жароупорного материала необходимо добавлять кремний, который значительно повышает жароупорные свойства.

На фиг. 14 представлена диаграмма жаростойкости хромоникелевой стали с 0,2% С, 19,0% Cr и 8,0% Ni, в зависимости от увеличения содержания кремния при различных температурах.

Данные табл. 18 весьма ярко характеризуют возможность применения стали 18/8 для производства жароупорных изделий. Эти данные, гарантированные фирмами, выведены на основании промышленных и лабораторных испытаний.

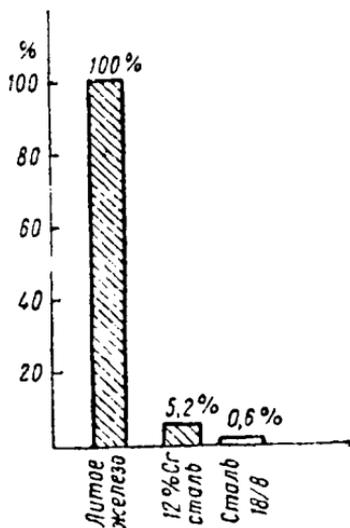


Фиг. 14. Диаграмма жаростойкости хромоникелевой стали в зависимости от содержания кремния.

Жароупорность стали при 900 после испытания в течение 240 час.

| Химический состав, % | | | | | Потеря в весе г/м ² /час |
|----------------------|------|------|------|------|--|
| C | Si | Cr | Ni | Мп | |
| 0,12 | 0,55 | 17,7 | 9,0 | 0,45 | 0,75 |
| 0,16 | 0,65 | 18,2 | 9,42 | 0,30 | 0,59 |
| 0,12 | 2,13 | 21,4 | 7,08 | 0,63 | 0,23 |
| 0,14 | 2,10 | 18,8 | 9,14 | 0,71 | 0,34 |
| 0,10 | 3,99 | 17,9 | 7,92 | 0,41 | 0,41 |
| 0,12 | 4,04 | 18,3 | 7,88 | 0,56 | 0,45 |

Кислотоупорные детали из хромоникелевых сталей 18/8 широко применяются в химической, пищевой и других отраслях промышленности. Вследствие чисто аустенитовой структуры кислотоупорные свойства сталей 18/8 значительно выше, чем мартенситовых сталей. На фиг. 15 представлена диаграмма стойкости в морской воде углеродистой, хромистой и хромоникелевой сталей. Как видно из диаграммы, сопротивляемость стали 18/8 значительно выше, чем углеродистой и хромистой. Добавка молибдена еще больше повышает сопротивление коррозии стали 18/8 в некоторых средах и позволяет применять эту сталь для работы в слабых растворах серной кислоты.



Фиг. 15. Диаграмма сравнительной стойкости различных сталей в морской воде.

Исследования стойкости стали 18/8 с молибденом и без него в 5% кипящем растворе серной кислоты в течение 24 час. показали, что потеря в весе составляет (в г/м²час): при 0,07% С—70,2; при 0,13% С—103,0; при 0,1% С и 2,5% Мо—115 и при 0,18% С и 4,0% Мо—23,9.

Отливки из стали 18/8 с содержанием до 4% молибдена широко применяются в бумажной промышленности, так как они сопротивляются действию серной кислоты. Эти отливки прекрасно сопротивляются также действию азотной кислоты, морской воды, воздуха. При производстве жиров синтетическим путем, а также при обработке жирных кислот и масел

применение отливок из стали 18/8 с молибденом весьма рационально. Если в сталь 18/8 вводится кремний, то отливки приобретают большую устойчивость против органических кислот.

В табл. 19 приведены данные о кислотоупорных свойствах сталей 18/8.

Отливки из стали 18/8, так же как и из чисто хромистых сталей, весьма устойчивы в окислительных средах (азотная кислота, влажный воздух и др.). Их можно применять и в неокислительных средах, при небольшой концентрации водорода, а также и одновременно присутствии кислорода (кислород воздуха или связанный активный кислород). Указанные выше сплавы неустойчивы против соляной, плавиковой и вообще галоидоводородных кислот, а также серной и других крепких неокислительных кислот. Особенно понижается стойкость сплавов при работе в горячих кислотах (в частности, в серной).

Таблица 18

Свойства стали 18/8 по данным некоторых заводов

| Наименование сплавов | Химический состав, % | | | | | | Температура среды, °С | | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|------|------|------|------|-----|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------------|-------------|-----|
| | C | Cr | Ni | Si | Mo | Mn | Воздух | Окислительные топочные газы | Восстановительный топочный газ | Окись углерода | Углекислота | Углекислота | Углекислота | Сероводород | Сернистый газ | Серный газ | Окись азота | |
| Allegheny Metal | 0,20 | 18 | 8,5 | 0,5 | — | 0,5 | 925 | 925 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Stainless N | 0,15 | 18 | 9,0 | 0,35 | — | — | 900 | 900 | 980 | 1205 | 980 | 980 | 1205 | 815 | — | — | — | 815 |
| U | 0,15 | 19 | 9,0 | 0,35 | 1,50 | — | 900 | 900 | 980 | 1205 | 980 | 980 | 1205 | 815 | — | — | — | 815 |
| Uniloy Special (21—22) | 0,18 | 21,5 | 11,5 | 1,05 | — | 0,7 | 1150 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| (18—8) | 0,05 | 18,5 | 8,5 | 0,38 | — | 0,5 | 925 | 925 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Enduro K-A-2 | 0,15 | 18,0 | 8,5 | 0,75 | — | 0,5 | 925 | 925 | 925 | 760 | 925 | 925 | 925 | 870 | — | — | — | 925 |
| Sweetaloy | — | 18 | 8,0 | — | — | — | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | — | 925 |

Кислотоупорные свойства сталей 18/8

| Химическая среда | Температура испытания °С | Условная стойкость | |
|---|--------------------------|------------------------------|---|
| | | стали 18/8 C 0,13—0,15% С | стали 18/8 + + 2,5% Мо + + 0,13—0,15% С |
| Сернистый газ | 20 | I | I |
| Сернистый газ при давлении 15 ат | 20 | III | III |
| Фосфорная кислота 80% | 110 | V | I |
| 45% | 20 | I | I |
| Уксусная кислота 50% | кип. | II | I |
| 10% | 20 | I | I |
| Молочная кислота 10% | кип. | II | I |
| Лимонная 25% | " 20 | IV | I |
| Серная 5% | " 20 | II | I |
| 5% | кип. | V | V |
| 10% | 20 | II | I |
| Соляная кислота 0,5% | 20 | II | II |
| 3,6% | 20 | III | II |
| 3,6% | кип. | V | V |
| 10% | 20 | II | II |
| 30% | 20 | III | II |
| Азотная кислота при всех концентрациях | 20 | I | I |
| Морская вода | | I | I |
| Едкий натр 50% | кип. | II | II |
| 20% | " | I | I |
| 50% | " | II | II |
| 20% | " | I | I |

Сталь 8/18

Новая марка стали, так называемая «обратная» сталь 8/18, является вполне устойчивой в серной и слабом растворе соляной кислоты. Для большей гарантии в отношении устойчивости против кислот с водородными ионами в сталь 18/8 добавляют медь и молибден.

В табл. 20 указаны кислотоупорные свойства стали 8/18 по данным инж. Манина и инж. Скорчелетти.

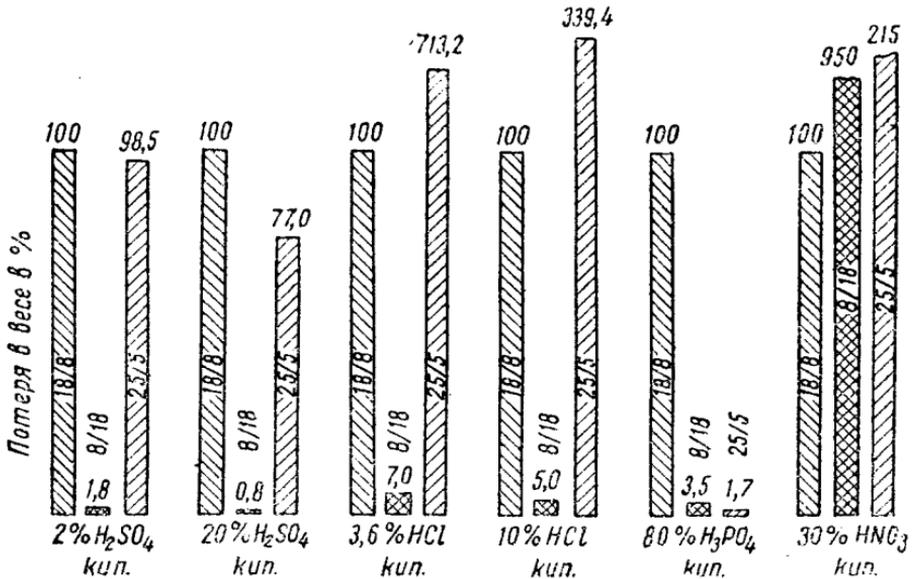
Из таблицы видно, что сталь 8/18 (3,5% Мо и 4% Сu) в отношении кислотостойкости стоит выше стали 18/8. Сталь 8/18 хорошо работает в кипящей серной кислоте любой концентрации (до 65%), соляной холодной кислоте при концентрации до 30%, в сульфате аммония и пр.

Сталь 8/18 слабо сопротивляется действию азотной кислоты (значительно хуже, чем сталь 18/8).

Кислоупорные свойства стали 8/18

| Кислоты и среда | Концентрация % | Температура °С | Потеря в весе г/м ² /час | Условная стойкость |
|-------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------------------|
| Соляная кислота | 10 | 20 | 0,04 | I |
| " " | 30 | 20 | 0,05 | I |
| Серная кислота | 5 | кип. | 0,50 | II |
| " " | 20 | " | 0,39 | II |
| " " | 50 | " | 0,59 | II |
| " " | 65 | " | 61,1 | V |
| Фосфорная кислота | 45 | 20 | 0,025 | I |
| Азотная кислота | 30 | кип. | 850,0 | V |
| Уксусная кислота | 10 | 20 | 0,006 | I |
| Морская вода | — | 20 | 0,0013 | I |
| Хлористый натр | 3 | кип. | 0,005 | I |
| Сернокислый аммоний | 10 | 20 | 0,004 | I |

На фиг. 16 представлена диаграмма сравнительной стойкости отливок из сталей 18/8 и 8/18 в различных средах.



Фиг. 16. Диаграмма сравнительной стойкости стали 8/18 и 18/8 в различных реагентах (по данным инж. Манина).

На фиг. 17 представлена диаграмма механических свойств стали 8/18 по данным Пиллинга и Вортингтона. Приведенные данные показывают, что эта сталь имеет несколько большее

удлинение и сжатие, но меньший предел упругости по сравнению со сталью 18/8.

Отлитые автором стали имели следующий химический состав в %:

| | C | Cr | Ni | Si | Mn | Mo | Ti | Cu |
|----|------|------|------|------|------|-----|------|-----|
| 1) | 0,17 | 8,72 | 19,1 | 0,94 | 0,49 | 2,9 | 0,14 | 4,1 |
| 2) | 0,19 | 9,11 | 18,4 | 0,83 | 0,48 | 2,1 | 0,32 | 2,3 |
| 3) | 0,20 | 8,41 | 18,2 | 0,72 | 0,59 | 3,3 | — | 3,8 |

Структура стали приведенных составов после закалки с температуры 1050—1100° представляет собой аустенит. Литые

закаленные образцы всех трех плавок имели временное сопротивление 55—60 кг/мм²; предел текучести 25—30 кг/мм²; удлинение 33—35% и сжатие 45—50%.

При первичной кристаллизации «обратная сталь» имеет крупнозернистое строение и кристаллизация существенно не зависит от температуры разливки. Однако в толстых сечениях, где кристаллизация происходит более медленно, размер зерна крупнее по сравнению с тонкостенными отливками. Характерной особенностью стали 8/18 при остывании является отсутствие транс-кристаллизации.

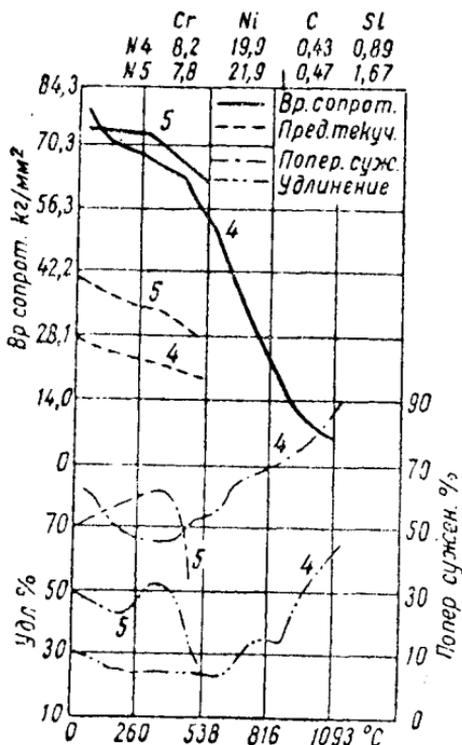
Сталь, содержащая 25—28% Cr и 5—8% Ni

При повышении в стали 18/8 содержания хрома (выше 18%) и одновременном снижении содержания никеля (ниже 8%) образуется двухфазная структура.

Основная структура: феррит + аустенит, причем количество феррита преобладает.

Микроструктура стали с 0,08—0,12% C, 25—27% Cr, 5—5,5% Ni до 1,5% Mo, 0,4—0,5% Mn представлена на фиг. 18.

При содержании меньше 0,1% C структура представляет собой феррит, окаймленный аустенитом; это придает сталям



Фиг. 17. Диаграмма механических свойств стали 8/18 по данным Пиллинга и Вортингтона.

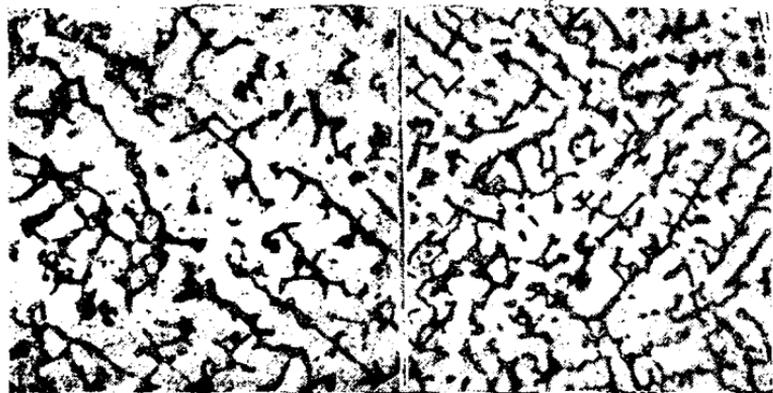
хорошие пластические свойства, а также и высокий предел упругости.

С увеличением содержания молибдена в стали 25/5 увеличивается количество феррита и уменьшается количество аустенита. Отливки из стали с 0,08—0,12% С достаточно подвергнуть нормализации с температуры 1000—1025°, чтобы перевести карбиды в твердый раствор.

С повышением содержания никеля до 7,8% при 25,0—27,0% Cr получается уже аустенитно-ферритная структура (фиг. 19) с преобладанием аустенита. Химический состав такой стали: 0,12—0,20% С, 27—28% Cr, 7,0—8,0% Ni, 0,65—1,5% Si, до 1,3% Mo, 0,5—0,8% Mn. Стали такого состава нашли широкое применение в США и Англии (завод в Шеффилде). При нагреве такой стали до 1000—1100° карбиды растворяются, однако количество феррита при этом не меняется. Зерно как ферритно-аустенит-



Фиг. 18. Структура ферритно-аустенитной стали 25/5 (×150).



Фиг. 19. Структура аустенитно-ферритной стали 28/8 в сыром (левая) и термически обработанном (правая) состоянии.

ной, так и аустенитно-ферритной стали по сравнению с ранее рассмотренными сталями (18/8, 8/18) значительно мельче. Величина зерна возрастает с уменьшением скорости остыва-

ния отливки, причем уменьшить размер первоначального зерна путем термической обработки не удается.

Транскристаллизация в отливках из сталей 25/5 отсутствует особенно при добавке молибдена. Это в значительной степени облегчает работу литейщиков и не вызывает необходимости в специальных мерах предосторожности.

С увеличением содержания углерода в указанных сталях выпадают первичные карбиды ледебуритного типа, которые никакой термообработкой невозможно перевести в твердый раствор. Структура в этом случае состоит из феррита + аустенит + карбиды или из аустенита + феррит + карбиды. Такие стали применяются, главным образом, как жароупорные, причем содержание углерода в них колеблется от 0,3 до 0,5%.

Оба сорта стали (с 5% Ni и с 7—8% Ni) обладают значительной сопротивляемостью интеркристаллической коррозии даже в литом состоянии, так как в твердом растворе пограничной зоны хрома значительно больше чем $\frac{1}{8}$ Mol. После термообработки сопротивление коррозии увеличивается еще значительнее. Это преимущество широко используется литейщиками в тех случаях, когда отливки вследствие их габаритных размеров не могут быть подвергнуты термообработке.

Таблица 21
Потеря в весе сталей 25/5, 25/7 + 20% Mo, 25/9 + 50% Mo в зависимости от среды и температуры

| Кислоты и среды | Концентрация % | Температура °C | Потеря в весе, г/м ² /час, для сталей | | |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|---|------------------|------------------|
| | | | 25/5 | 25/7 + 20% Mo | 25/9 + 50% Mo |
| Серная | 2 | 20 | 0,03 | 0,01 | — |
| | 2 | кип. | 33,0 | 5,15 | — |
| | 20 | 20 | 0,001 | 0,001 | — |
| | 20 | кип. | 42,4 | 25,0 | — |
| | 50 | 20 | 0,001 | 0,001 | — |
| " | 50 | кип. | полн. | 188,0 | — |
| | | | раств. | | |
| Соляная | 10 | 20 | 10,6 | 25,3 | 1,43 |
| | 30 | 20 | 11,3 | 23,7 | 2,23 |
| Фосфорная | 45 | 20 | — | — | 0,004 |
| Уксусная | 10 | 20 | 0,018 | 0,005 | 0,001 |
| Морская вода | — | 20 | 0,002 | 0,001 | 0,002 |
| Сернистый алюминий | 10 | кип. | 0,02 | 0,02 | 9,12 |
| Серноватокислый алюминий | 10 | " | 0,006 | 0,006 | 0,01 |

Сплавы 25/5 и 28/8 хорошо сопротивляются при комнатной температуре действию серной, соляной, уксусной и фосфорной кислот; только в азотной кислоте и в кипящих кислотах стойкость этих сплавов значительно ниже, чем стали 18/8.

Исследованием химической стойкости сталей 25/5 занимались инж. Монин и инж. Скорчелетти. Результаты исследования приведены в табл. 21.

Стали типа 25/5 устойчивы против коррозии в фосфорной кислоте высокой концентрации при высокой температуре, а также в других средах.

Механические свойства литых сталей типа 25/5 и 28/8 после термической обработки приведены в табл. 22.

По данным L. Stanbury, удельная нагрузка, вызывающая в сталях 28/8 деформацию в 1% за 10 тыс. час., равна

| | | | | | |
|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|--------------------|
| при 550° | 9,7 | кг/мм ² | при 870° | 0,33 | кг/мм ² |
| " 600° | 5,1 | " | " 930° | 0,26 | " |
| " 650° | 3,3 | " | " 980° | 0,20 | " |
| " 700° | 2,1 | " | " 1040° | 0,16 | " |
| " 760° | 1,3 | " | " 1100° | 0,1 | " |
| " 820° | 0,61 | " | | | |

Механические свойства сталей 25/5 и 25/8 при повышенных температурах приведены в табл. 23.

- С увеличением содержания никеля с 5 до 8% механические свойства повышаются. Углерод и молибден повышают предел текучести и временное сопротивление, но понижают удлинение.

Жароупорность сталей 25/5 и 28/8 близка к жароупорности сталей ферритового класса с 24—28% Cr.

В табл. 24 приведены данные о жаростойкости этих сталей.

Стали рассматриваемого типа можно применять до температур 1150—1200°.

Сталь, содержащая 17—19% Cr и 24—26% Ni (типа ЭЯЗС) и обратные стали (24—26% Cr и 17—20% Ni)

Наиболее часто встречающиеся жароупорные хромоникелевые сплавы, идущие на фасонное литье, имеют следующий состав (в %):

| | C | Cr | Ni | Si | Mn | Условное обозначение |
|----|-----------|-------|-------|---------|---------|----------------------|
| 1) | 0,25—0,40 | 24—25 | 12—14 | 0,5—1,5 | 0,4—0,6 | 24/12 |
| 2) | 0,25—0,50 | 17—19 | 24—26 | 0,5—3,5 | 0,5—0,7 | 20/25 |
| 3) | 0,25—0,45 | 24—26 | 17—19 | 0,5—3,5 | 0,4—0,7 | 25/20 |
| 4) | 0,25—0,40 | 17—20 | 35—40 | 0,4—0,8 | 0,5—0,7 | |

Жароупорность сталей типа 25,5 и 28,8 по данным автора

| Химический состав, % | | | | | | Потеря в весе в г/м ² /час при | |
|----------------------|------|------|------|------|------|--|-------|
| C | Cr | Ni | Si | Mn | Mo | 1000° | 1100° |
| 0,15 | 26,1 | 5,3 | 0,71 | 0,47 | 1,7 | 0,19 | 1,11 |
| 0,21 | 27,4 | 8,11 | 0,42 | 0,51 | — | 0,29 | 1,23 |
| 0,19 | 26,9 | 8,24 | 0,22 | 0,45 | 1,94 | 0,09 | 0,89 |

Стали всех перечисленных составов имеют аустенитно-карбидную структуру (фиг. 20); карбиды выделяются по границам зерен, располагаясь большими или меньшими скоплениями. В толстых сечениях отливки из стали 1 при низком содержании углерода получается двухфазная структура (выделяются небольшие участки свободного феррита). При высоком содержании углерода карбиды имеют ледебуритное строение, и такие стали относятся к ледебуритным. Величина первичного зерна этих хромоникелевых сталей зависит от толщины стенок отливки, температуры заливаемого металла и скорости охлаждения.



Фиг. 20. Структура лигой хромоникелевой стали 20/25.

С понижением скорости остывания и повышением температуры разливки размер зерна увеличивается и одновременно уменьшается механическая прочность, а также удлинение. Хромоникелевые стали этого типа сильно подвержены транскристаллизации; лишь при низкой температуре разливки, а также при уменьшении толщин стенок можно до некоторой степени избежать этого явления. Механические свойства литой стали 20/25 в зависимости от температуры разливки стали по формам следующие:

| Температура разливки (Puropto) | Временное сопротивление кг/м.м ² | Удлинение, % |
|--------------------------------------|---|--------------|
| 1420 | 65,3 | 21,4 |
| 1450 | 61,1 | 19,7 |
| 1550 | 45,3 | 11,8 |
| 1575 | 34,7 | 7,1 |

Механические свойства сталей, содержащих 17—19% Cr и 24—26% Ni

| № по пор. | Химический состав % | | | | | Механические свойства | | | | | | Исследователь |
|-----------|---------------------|-------|-------|---------|--------|--|--|--------------|-----------|---|--------------------------|--|
| | C | Cr | Ni | Si | W | Предел текучести кг/мм ² | Временное сопротивление кг/мм ² | Удлинение, % | Сжатие, % | Сопротивление удару, кгм/см ² | Твердость по Бринеллю | |
| 1 | — | 30 | 15 | — | — | 35—42 | 50—60 | — | — | — | 215—220 | Хайгер " Розенгейм и Дженкинс Гадфильд; сталь нормаль- зована при 1100° Завод Уралмаш Автор; отжиг 1100° Автор; отжиг 1100° Автор; отжиг 1100° Автор; отжиг 1100° Автор; отжиг 1100° Автор; отжиг 1100° |
| 2 | — | 15 | 30 | — | — | 28—35 | 35—49 | — | — | — | 170—180 | |
| 3 | 1,3 | 28,5 | 30,0 | 1,0 | 3,8 | — | 76 | 2 | — | — | — | |
| 4 | 0,25 | 23,9 | 17,2 | 2,20 | — | 20,0 | 90,3 | 27 | — | — | — | |
| 5 | 0,19 | 20,3 | 19,8 | 0,84 | — | 35,0 | 78,5 | 35 | — | — | — | |
| 6 | 0,4—0,6 | 24—26 | 19—21 | 1,5—2,5 | — | — | 40—44 | 5—7 | 8—10 | 0,8—1,1 | 156—179 | |
| 7 | 0,31 | 22,3 | 14,1 | 1,31 | — | 42,7 | 68,3 | 11,2 | 21,1 | 3,7 | — | |
| 8 | 0,17 | 25,3 | 19,7 | 2,63 | — | 34,8 | 65,1 | 15,3 | 20,7 | 4,1 | — | |
| 9 | 0,26 | 25,1 | 19,91 | 1,87 | — | 38,7 | 67,7 | 13,4 | 19,4 | — | — | |
| 10 | 0,47 | 26,4 | 18,4 | 1,93 | — | 47,3 | 74,5 | 10,6 | 17,4 | 2,3 | — | |
| 11 | 0,25 | 19,3 | 26,7 | 1,31 | — | 31,4 | 65,3 | 12,4 | 23,12 | 5,2 | — | |
| 12 | 0,26 | 18,7 | 25,3 | 2,4 | Мо 3,1 | 38,3 | 61,4 | 12,7 | 18,11 | 3,1 | — | |

Введение азота (в виде добавки азотированного феррохрома в расплавленную ванну) почти полностью устраняет явление транскристаллизации в сталях этого типа; сталь принимает квази-изотропное строение. Автор вводил в ванну некоторых плавок силиконихромовых сталей азотированный феррохром; содержание азота в отливках колебалось в пределах 0,11—0,14%; явления транскристаллизации исчезали.

Указанные выше хромоникелевые стали (ЭЯЗС, силиконихром, нихром и т. д.) широко применяются в качестве огне-стойких материалов ввиду высоких механических свойств их при повышенных температурах (высокое сопротивление разрыву, крипу и пр.); по теплоустойчивости литые стали не уступают кованным, а в некоторых случаях даже превосходят их.

В табл. 25 приведены химический состав и механические свойства литых образцов при нормальной температуре по данным различных исследований.

Результаты исследования механических свойств литых хромоникелевых сталей при высоких температурах приведены в табл. 26 и 27.

Таблица 26

Механические свойства литых хромоникелевых сталей при высоких температурах

| № стали по табл. 25 | Временное сопротивление кг/мм ² | Предел текучести кг/мм ² | Удлинение, % | Сжатие, % | № стали по табл. 25 | Временное сопротивление кг/мм ² | Предел текучести кг/мм ² | Удлинение, % | Сжатие, % |
|---------------------|--|-------------------------------------|--------------|-----------|---------------------|--|-------------------------------------|--------------|-----------|
| При 800° | | | | | При 1000° | | | | |
| 7 | 16,1 | — | 17,3 | 19,4 | 7 | 7,0 | — | 37,2 | 40,0 |
| 8 | 17,3 | 11,4 | 16,4 | 18,5 | 8 | 7,4 | 5,0 | 39,0 | 42,0 |
| 10 | 23,4 | — | 11,7 | 12,1 | 10 | 11,0 | — | 27,0 | 24,5 |
| 11 | 26,4 | 15,0 | 19,1 | 21,3 | 11 | 14,3 | 8,1 | 38,4 | 41,2 |
| 12 | 29,1 | 19,9 | 15,7 | 17,5 | 6 | 8—11,5 | — | 28—30 | 50—60 |
| | | | | | 12 | 17,7 | — | 27,0 | 34,3 |
| При 900° | | | | | При 1100° | | | | |
| 7 | 11,2 | — | 26,1 | 31,4 | 7 | 3,9 | — | 52,1 | 69,0 |
| 8 | 12,6 | 9,0 | 29,1 | 33,1 | 8 | 4,0 | — | 55,4 | 70,5 |
| 10 | 17,1 | — | 18,3 | 22,3 | 10 | 7,7 | — | 36,5 | 35,5 |
| 11 | 20,5 | 12,8 | 27,5 | 30,4 | 11 | 9,2 | — | 51,3 | 52,4 |
| 12 | 22,6 | 15,3 | 21,8 | 19,0 | 12 | 11,8 | — | 35,3 | 40,5 |
| При 1200° | | | | | При 1200° | | | | |
| | | | | | 8 | 2,0 | — | 64,0 | 71,0 |
| | | | | | 10 | 4,7 | — | 63,0 | 70,0 |

Механические свойства хромоникелевых сталей типа 25/20 и 20/25 и др. значительно выше хромистых. С увеличением содержания никеля сопротивление разрыву и предел текучести повышаются, одновременно повышается и удлинение. Углерод увеличивает сопротивление разрыву, одновременно

Таблица 27

Механические свойства литых хромоникелевых сталей при высоких температурах (по опытам автора)

| Химический состав, % | | | | | | Сопротивление удару по Шарпи в кгм/см ² при | | | |
|----------------------|-------|-------|------|------|-----|---|------|------|-------|
| C | Cr | Ni | Si | Mn | Mo | 700° | 850° | 900° | 1000° |
| 0,22 | 19,1 | 24,12 | 2,73 | 0,52 | — | 3,4 | 5,1 | 6,0 | 7,4 |
| 0,62 | 17,28 | 20,43 | 2,39 | 0,51 | — | 1,95 | 3,70 | 4,0 | 4,5 |
| 0,80 | 18,33 | 25,34 | 3,8 | 0,62 | — | 1,58 | 2,11 | 2,72 | 3,48 |
| 0,23 | 18,4 | 26,1 | 2,81 | 0,49 | 3,1 | 1,62 | 1,94 | 2,31 | 3,11 |

понижая сопротивление удару и удлинение. Молибден в значительной степени понижает вязкость, но повышает сопротивление разрыву и предел текучести.

Следует указать, что сопротивление удару литых образцов с увеличением температуры нагрева повышается незначительно. L. Stanbury приводит данные о пределе ползучести литой стали с 0,3—0,5% C; 25—30% Cr; 18—25% Ni. Деформация в 1% за 10 тыс. час. происходит при следующих нагрузках в кг/мм² и температуре:

| | | | | | |
|----------------|------|----------------|------|-----------------|------|
| 550° | 13,7 | 760° | 2,2 | 980° | 0,25 |
| 600° | 7,0 | 820° | 1,1 | 1040° | 0,20 |
| 650° | 4,4 | 870° | 0,58 | 1100° | 0,15 |
| 700° | 3,1 | 930° | 0,35 | | |

Пластические свойства отливок, работающих длительное время при 700—1000°, ухудшаются; в случае же длительной работы при 1100—1150° отливки становятся более вязкими и могут выдерживать динамические нагрузки. Данные о жароупорности рассматриваемых сталей приведены в табл. 28.

При работе отливок из сталей 25/20, 20/25 и других хромоникелевых сталей в восстановительной среде первоначальные свойства их значительно изменяются. Исследования автора показали, что стали 25/20 весьма склонны к науглероживанию, и, следовательно, к приобретению поверхностной хруп-

кости и образованию поверхностных трещин (фиг. 21).

Автор обнаружил, что в отливках топливников газогенераторов для автомобилей, содержащих 0,36% С; 27% Cr; 18,7% Ni после 400—450 час. работы в сильно восстановительной атмосфере (топливники газогенераторов для автомобилей) углерода оказалось 1,08%. Это совпадает с результатами исследования Гудремона. Отливки кольца смолоперегонных печей из стали, содержащей 0,20% С, 25% Cr и 20% Ni после 10 000—12 000 час. работы при 850—900° имели 1,28% С.

Такое науглероживание обуславливается каталитическим действием никеля. Поэтому применение стали 25/20 несколько усложняется в целом ряде промышленных предприятий.

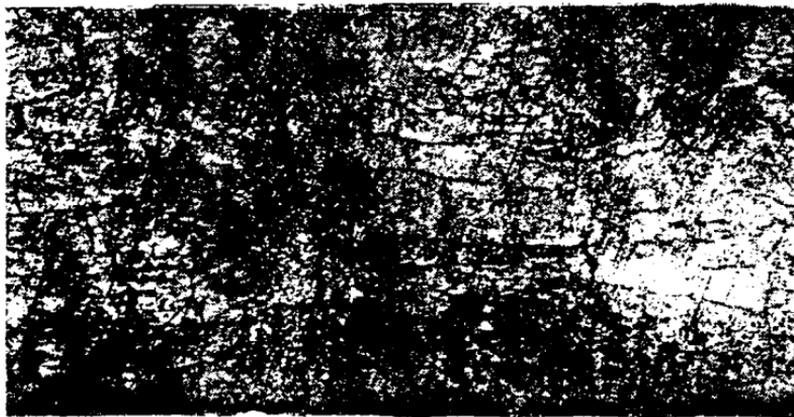
Сера также вредно влияет на эту сталь, образуя легкоплавкие никельсернистые соединения (температура плавления NiS 797°).

Таблица 28

Жароупорность хромоникелевых сталей (по данным американских фирм)

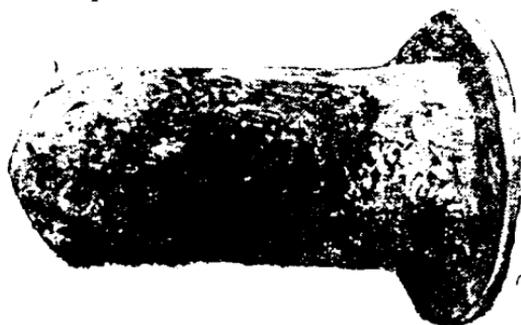
| Название сплава | Химический состав, % | | | | Температура среды, °С | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------|-------------|--------------|-------------|---------------|------------|-------------|--------------------|
| | C | Si | Cr | Ni | Воздух | Окислительные топочные газы | Восстановительные топочные газы | Окись углерода | Углекислота | Углеродоводы | Сероводород | Сернистый газ | Серный газ | Окись азота | Газобразный аммиак |
| Rezistal 7 | 0,20 | 1,5 | 25 | 17,5 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 180 | — | — | 540 |
| Rezistal 4 | 0,20 | 2,5 | 17 | 25,5 | 1035 | 1035 | 1036 | 1035 | 1035 | 1035 | — | — | — | — | 1035 |
| Ascoloy 44 | 0,20 | 0,5 | 25 | 17,5 | 1125 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Alloy 1100 | 0,65 | 1,85 | 22,0 | 23,0 | 1150 | 1150 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 | — | — | — | — | — |
| Calite A | — | — | 15,0 | 35,0 | 1095 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Thermoloy A и B | 0,4—0,8 | 1,0 | 17,0 | 40,0 | 1095 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Sweetaloy 20 | — | — | 18,0 | 36,0 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 | 1095 |

На фиг. 22 представлен котел, работающий в атмосфере, насыщенной серой; поверхность котла очень сильно корродировала и он быстро вышел из строя.



Фиг. 21. Трещины на поверхности отливки, образовавшиеся вследствие науглероживания стали 25/20.

Гудремон, исследуя сталь 25/20, нашел, что в отливке, содержащей лишь 0,01% S, после 10 тыс. час. эксплуатации в топках, работающих на каменном угле, содержание серы увеличилось до 5,1%. Автором были заложены в печь листопрокатного цеха, работающую на каменном угле, образцы следующего состава (в %):



Фиг. 22. Влияние серы на хромоникелевые отливки при высоких температурах.

| | C | Ni | Cr | S |
|----|------|------|------|--------|
| 1) | 0,42 | 6,2 | 19 | 0,030% |
| 2) | 0,51 | 16,4 | 20 | 0,020% |
| 3) | 0,32 | 20 | 18,4 | 0,029% |

После непрерывной работы в течение 7500 час. в 1-м образце оказалось 1,71% S, в 2-м образце — 2,28% S и в 3-м образце — 4,72% S.

Для работы в атмосфере, содержащей выше 10 г/м³ S пригодна только хромистая сталь, при 5—2 г/м³ S — сталь с 28% Cr до 14% Ni (28/8); при содержании менее 2 г/м³ S — сталь с 25% Cr и до 20% Ni.

Сопротивляемость хромоникелевых сталей действию сероводорода и других сернистых газов резко возрастает при содержании 2,5—4% Si.

Такое же положительное влияние оказывает кремний в стали 25/20 и на уменьшение науглероживания. Отливки из стали 25/20 более устойчивы при высоких температурах в атмосфере азота, чем хромистые, так как никель снижает способность хрома поглощать азот. В табл. 28а приведены данные о жаростойкости хромоникелевых сталей.

Таблица 28а

| № испытуемых сталей | Химический состав % | | | | Потеря в весе, гм ² /час при | | | | |
|---------------------|---------------------|------|------|------|---|------|-------|-------|-------|
| | C | Cr | Ni | Si | 800° | 900° | 1000° | 1100° | 1200° |
| 1 | 0,2 | 25,3 | 18,9 | 2,61 | — | — | 0,52 | 1,41 | 3,22 |
| 2 | 0,3 | 19,2 | 27,4 | 2,50 | 0,5 | 1,3 | 1,80 | 4,2 | 20,2 |
| 3 | 0,27 | 19,1 | 14,2 | 2,1 | — | 0,8 | 2,40 | 5,2 | 12,0 |
| 4 | 0,15 | 24,8 | 2,14 | 2,25 | — | — | 0,90 | 2,1 | 3,3 |

Результаты исследования антикоррозионных свойств стали состава 0,15% C; 25% Cr; 20% Ni; 2,50% Si в различных средах приведены в табл. 29 (по данным Гудремона).

Таблица 29

Коррозионная стойкость стали 25/20 при содержании 2,5% Si и температуре 20°

| Химическая разъедающая среда | Условная стойкость | Химическая разъедающая среда | Условная стойкость |
|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| Соляная кислота 3,6% | II | Азотная кислота 66% | II |
| " " " 37% | V | Серная кислота 15% | II |
| Азотная кислота 7% | I | Фосфорная кислота 10% | I |
| " " " 7% | I | " " " 10% | II |
| (кипящая) | I | (кипящая) | II |
| Азотная кислота 37% | I | Уксусная кислота 10% | I |
| " " " 37% | I | (кипящая) | II |
| (кипящая) | I | | |

Из таблицы видно, что хромоникелевые стали типа 25/20 устойчивы в сильно окисляющих кислотах и поэтому пригодны для изготовления химической аппаратуры. Отливки из силикохромовой стали хорошо поддаются механической обработке.

В Лаборатории им. Игнатьева установлено, что при обработке литой стали наивысшая стойкость реза достигается при следующих условиях: угол резания реза 75°, задний угол 8°, угол среза стружки 15°, угол в плане 45°, радиус закругления 1,5 мм, при сечении реза 16 × 16 мм, скорость

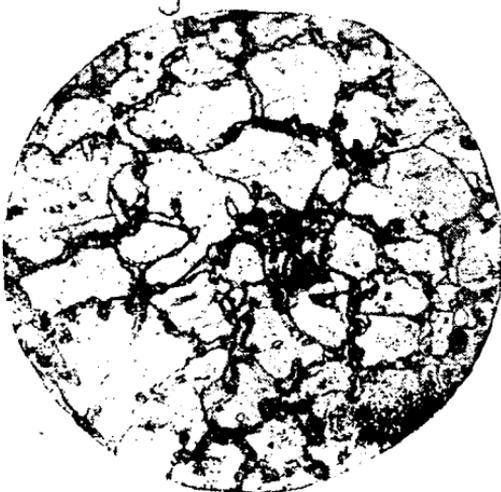
резания 13 м/мин, подача 0,35 мм, глубина резания 2,5—3 мм. Резцы из быстрорежущей стали марки ЭМ, термически нормально обработанные.

3. ХРОМОМАНГАНЦОВИСТЫЕ СТАЛИ

В последнее время для производства фасонных отливок применяют такие сорта стали, в которых дорогостоящие элементы (никель и др.) заменены более дешевыми.

Одним из таких сплавов является хромоманганцовистая сталь, заменяющая сталь 18/8 в производстве фасонного литья для некоторых сред. Существующие хромоманганцовистые стали можно разделить на две группы: 1) с содержанием 7—9% Mn и 17—19% Cr и 2) с содержанием 17—20% Mn и 17—19% Cr.

В зависимости от содержания марганца, углерода и хрома стали могут иметь аустенитную, аустенитно-ферритовую и феррито-аустенитовую структуру.



Фиг. 23. Структура литой хромоманганцевомедистой стали (сырой).

2,5—3,0% Si различную кислотоупорную аппаратуру для химической промышленности (насосы, тройники, кнопки для мостовых и пр.).

На фиг. 23 представлена микроструктура литой стали: 0,55% C; 8,1 % Mn; 17,51% Cr; 0,46% Si; 2,65% Cu, представляющая собой аустенит и карбиды, расположенные по границам зерен. При понижении содержания углерода до 0,15—0,20% структура хромоманганцовистой стали из однофазной переходит в двухфазную — в ней появляется феррит.

Исследования режимов термообработки (проведенные инж. Снитко) показывают, что при нагреве до 1200° карбиды полностью растворяются. При повышении температуры закалки размер зерна увеличивается, а твердость падает (фиг. 24). На получение чисто аустенитной структуры значительное влияние оказывает, кроме температуры закалки, также и время выдержки металла в печи.

С повышением температуры отпуска твердость возрастает вследствие увеличения количества карбидов. Из вышеизложенного следует, что закаленные отливки из этой стали так же, как и отливки из стали 18/8 и 8/18, нельзя подвергать последующему нагреву (даже на 350—400°), так как это вызывает выпадение карбидов, а следовательно, понижение антикоррозионной стойкости и падение вязкости.

Так, сопротивление удару образца, закаленного при 1200°, составляло 9,9 кг/см², а после отпуска при:

220° . . . 13,70 кг/см²

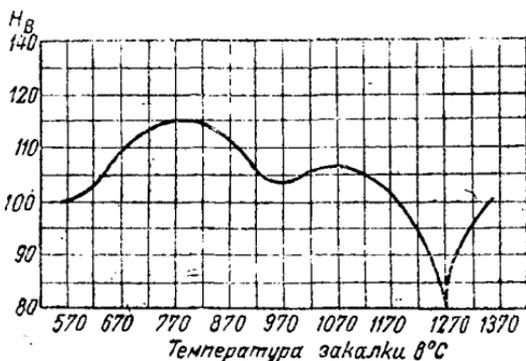
420° . . . 7,25 "

620° . . . 2,28 "

820° . . . 0,99 "

С увеличением температуры разливки этих сталей так же, как и хромоникелевых, значительно увеличиваются размер зерна и явления транскристаллизации.

Механические свойства литых закаленных образцов, по данным автора, приведены в табл. 30.



Фиг. 24. Изменение твердости стали в зависимости от температуры закалки.

Таблица 30

Механические свойства закаленных хромомарганцевомедистых сталей при температуре 20° (по данным автора)

| Химический состав, % | | | | | Сопротивление разрыву кг/мм ² | Предел текучести кг/мм ² | Удлинение % | Сжатие % |
|----------------------|-------|------|------|------|--|-------------------------------------|-------------|----------|
| C | Cr | Mn | Cu | Si | | | | |
| 0,55 | 17,51 | 8,1 | 2,65 | 0,46 | 75,4 | 41 | 19,5 | 20,4 |
| 0,17 | 18,1 | 7,94 | 2,41 | 0,62 | 66,7 | 37,4 | 23,7 | 27,8 |

Большое влияние на механические свойства хромомарганцевой стали оказывает содержание MnO.

При неправильном режиме плавки количество закиси марганца может достигать до 0,1—0,12%. Вязкость и коррозионная стойкость металла при этом, несмотря на хороший химический состав стали, а также безупречную термообработку,

Таблица 31
 Антикоррозионная стойкость хромомарганцевомедистых сталей (потеря в весе в г/м²/час)

| Марки сталей | Действие кислот при комнатной температуре | | Действие кипящих кислот | | Термообработка |
|--|---|----------------|-------------------------|----------------|--------------------|
| | Соляная кислота | Серная кислота | Соляная кислота | Серная кислота | |
| | | | | | |
| 0,55% С; 17,5% Cr; 8,1% Mn; 2,65% Cu | 14,54—34,0 | 11,26—25,30 | 178,5—1169,0 | 660,0—1545,0 | Закалка при 1200° |
| 0,27% С; 18,53% Cr; 7,94% Mn; 2,51% Cu | 37,08 | 52,00 | 771,0 | 900,0 | Закалка при 1200° |
| 0,27% С; 27,97% Cr | 5,2 | 6,32 | 1080,0 | 1528 | Без термообработки |

будут весьма низкими. Так, например, сталь с 0,32% С, 17,91% Cr, 8,14% Mn, 2,41% Cu и 0,52% Si при наличии 0,14% кислорода (который главным образом находился в виде MnO) после закалки с температуры 1220° при чисто аустенитной структуре имела сопротивление разрыву 41,0 кг/мм², удлинение 5,4%, сопротивление удару 2,7 кгм/см².

В табл. 31 приведены данные о стойкости этих сталей в различных кислотах.

Стойкость хромомарганцево-медистых сталей в морской воде, медном купоросе, и аммиачной среде достаточно высока; исследуемые образцы не корродировали в этих условиях. Отливки из стали с 18% Cr, 8% Mn, 2,5% Cu в бумажной промышленности в условиях воздействия сульфитной, угольной и муравьиной кислоты работали прекрасно. Из табл. 31 видно, что однофазная сталь (0,55% С) гораздо лучше сопротивляется коррозии, чем двухфазная (0,27% С). Добавка 2,5% Cu сильно повышает сопротивляемость отливок из хромомарганцевых сталей окислению в различных средах. Брейль установил, что присадка 2,0% Cu в три раза уменьшает скорость растворения стали в кислотах.

Жароупорные свойства хромомарганцевомедистых сталей ниже, чем хромоникелевых и хромистых. Если прирост в весе

образца силиконхромовой стали при 600° ничтожен, то хромомарганцевомедистая сталь дает при той же температуре прирост $0,61 \text{ г/м}^2/\text{час}$. При 800° силиконхромовая сталь дает прирост в весе $0,5 \text{ г/м}^2/\text{час}$, хромомарганцевомедистая — $1,3 \text{ г/м}^2/\text{час}$, т. е. стойкость последней в 2,5 раза ниже чем сталей 25/20.

Обрабатываемость отливок из хромомарганцевой стали зависит от содержания углерода. Если при $0,15\text{—}0,35\%$ С отливки легко обрабатываются резцом из быстрорежущей стали, то при $0,35\%$ С и выше приходится применять специальные резы и режимы резания. Лаборатория резания им. Игнатьева установила следующий режим резания: резец из быстрорежущей стали с углом резания $80\text{—}85^{\circ}$, углом зазора 8° , углом в плане 45° , радиусом закругления $1,5 \text{ мм}$, глубина резания 2 мм , подача $0,2 \text{ мм}$, скорость резания $5,5 \text{ мм/мин}$.

4. ХРОМОКРЕМНИСТЫЕ И ХРОМОАЛЮМИНИЕВЫЕ СТАЛИ

При сравнительно низких температурах вполне удовлетворительно работают отливки из сильхромовых и хромоалюминиевых сталей.

Сильхромовые стали с содержанием $8\text{—}10\%$ Cr и $2\text{—}4,5\%$ Si

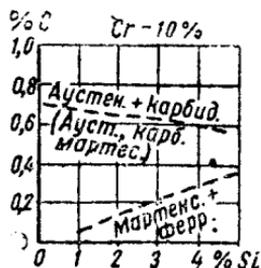
Химический состав сильхромовых сталей может колебаться в очень широких пределах: $0,1\text{—}1,0\%$ С; $7\text{—}30\%$ Cr; $2\text{—}4,5\%$ Si.

В зависимости от взаимного содержания элементов, структура может быть перлитной, полуферритной и ферритной.

На фиг. 25 представлена структурная диаграмма сильхромовой стали в зависимости от содержания хрома, кремния и углерода.

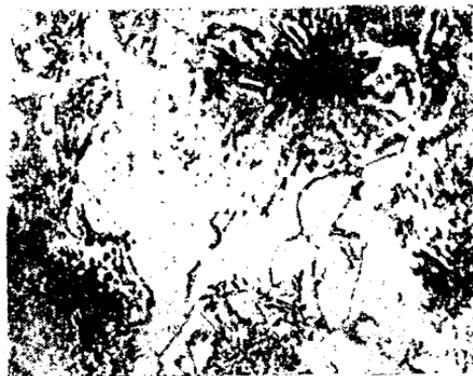
Здесь мы рассматриваем только заэвтектоидную сильхромовую сталь с перлитной структурой состава: $0,2\text{—}0,5\%$ С; $7,7\text{—}9,5\%$ Cr; $2,5\text{—}4,5\%$ Si; $0,4\text{—}0,6\%$ Mn и до $0,06\%$ P + S.

На фиг. 26 представлена характерная структура такой стали — хромокремнистый феррит с неравномерным распределением в нем перлита. Длительный отжиг улучшает распределение перлита, однако вязкость стали не увеличивается.



Фиг. 25. Структурная диаграмма сильхромовой стали в зависимости от входящих в нее элементов.

Кристаллизация сильхромовых сталей мало зависит от скорости остывания отливок. Зерна в толстых и тонких сечениях имеют почти одинаковые размеры. В изломе образцы из сильхрома показывают мелкозернистое строение. Для получения такого строения, однако, необходимо соблюдать определенные условия технологии плавки и заливки стали. С повышением температуры разливки размеры зерен увеличиваются. Несмотря на содержание большого количе-



Фиг. 26. Структура литой сильхромовой стали (X 150).

ства кремния, значительно уменьшающего теплопроводность стали, явления транскристаллизации в отливках из сильхрома незначительны.

Исследования механических свойств сильхрома (табл. 32) показывают, что с увеличением содержания углерода повышается сопротивление разрыву, но одновременно уменьшается удлинение, сжатие и сопротивление удару.

Сильхромовая сталь обладает плохими пластическими свойствами, что не дает возможности изготавливать из нее детали, работающие при дина-

Таблица 32

Механические свойства литых сильхромовых сталей

| № по пор. | Химический состав, % | | | | Временное сопротивление кг/м.м ² | Удлинение % | Сжатие, % | Сопротивление удару кг.м/см ² | Твердость по Бринеллю |
|-----------|----------------------|------|------|------|---|-------------|-----------|--|-----------------------|
| | C | Cr | Si | Mn | | | | | |
| 1 | 0,42 | 9,66 | 2,23 | 0,44 | 61,8 | 0,5 | 1,3 | 0,45 | 239 |
| 2 | 0,48 | 9,75 | 3,00 | 0,49 | 70,5 | — | — | 0,22 | 256 |
| 3 | 0,61 | 8,75 | 2,94 | 0,68 | 60,5 | 2 | 3 | 0,22 | 251 |

мических нагрузках. Термообработка, как показали исследования, также не улучшает пластических свойств литых сталей. Механические свойства последних значительно снижаются, если кремний находится в силикатном состоянии.

Механические свойства литого силхрома при высоких температурах приведены в табл. 33.

При высоких температурах углерод повышает сопротивление разрыву и удару, понижая удлинение и сжатие.

Механические свойства позволяют сделать вывод, что силхромовую сталь можно применять в качестве жароупорного материала, способного выдерживать небольшие нагрузки, только до температуры 850—900°.

При длительной работе отливки из силхромовой стали приобретают ферритовую структуру с расположенными по границам зерен карбидами. В связи с этим изменяются и механические свойства. Работа таких отливок при 1100—1200° способствует росту зерен. Сгорание отливок сопровождается сильным поверхностным обезуглероживанием (толщина обезуглероженного слоя достигает до 9—10 мм). Исследование жароупорности силхромовых сталей показывает, что с увеличением содержания хрома и кремния потеря в весе при нагреве образцов значительно уменьшается.

В табл. 34 приведены данные о влиянии хрома и кремния на жароупорность стали.

Потеря в весе (в г/м²/час) литой силхромовой стали нормального химического состава равна:

Таблица 33

Механические свойства литых силхромовых сталей при высоких температурах

| № стали по табл. 32 | Сопротивление разрыву, кг/мм ² | Удлинение, % | Сжатие, % | Сопротивление удару по Шарпи кгм/см ² |
|---------------------|---|--------------|--------------|--|
| | При 700° | | | |
| | 3 1 | 27,4 29,2 | 6,0 11,5 | 4,3 7,8 |
| | При 800° | | | |
| | 3 1 | 8,75 7,1 | 13,2 19,4 | 7,0 14,2 |
| | При 850° | | | |
| | 3 1 | — — | — — | — — |
| | При 900° | | | |
| | 3 1 | 5,0 4,3 | 45,0 60,3 | 17,2 22,0 |
| | При 1000° | | | |
| | 3 1 | 4,1 3,8 | 61,5 72,0 | 32,4 48,1 |

| Температура, °С | Сильхром (0,600% С) | Сильхром (0,400% С) |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| 700 | 0,1 | — |
| 800 | 0,8 | 0,6 |
| 900 | 2,6 | 2,35 |
| 1000 | 8,7 | 7,49 |

Результаты производственных исследований показывают, что применять отливки из сильхромовых сталей при температурах выше 900—950° нерационально, так как они при этом очень быстро сгорают.

Таблица 34

Влияние хрома и кремния на жароупорность сильхромовых сталей

| Химический состав, % | | | | Потеря в весе в г/м ² /час при | | |
|----------------------|------|------|------|---|------|------|
| С | Si | Cr | Mn | 700° | 800° | 900° |
| 0,16 | 4,23 | — | 0,50 | 46,5 | — | — |
| 0,13 | 4,16 | 1,04 | 0,51 | 20,5 | 35,5 | 81,0 |
| 0,15 | 4,26 | 2,50 | 0,53 | 9,1 | 23,2 | 37,9 |
| 0,14 | 4,16 | 5,90 | 0,53 | 3,5 | 8,0 | 21,9 |
| 0,14 | 1,02 | 0,94 | — | 1092 | 2422 | 5185 |
| 0,14 | 2,14 | 0,94 | — | — | 258 | 253 |
| 0,14 | 3,17 | 0,89 | — | 110 | 163 | 161 |
| 0,13 | 4,16 | 1,04 | — | 11,4 | 35,5 | 81,0 |

Хромоалюминиевые стали с содержанием:

а) 12—17% Cr; 2—4,5% Al и б) 25—27% Cr; 2—4,5% Al.

Эти стали применяются, главным образом, для отливок, от которых требуется высокое омическое сопротивление; однако, они могут заменить целый ряд отливок из хромоникелевой стали, работающих при высоких температурах и при небольших нагрузках.

Хромоалюминиевые стали для фасонного литья (имеют нормально следующий химический состав: 1) 0,15—0,25% С; 12,4—14,5% Cr; 2,0—4,5% Al; 0,4—0,6% Mn; 0,4—1,0% Si; 2) 0,2—0,35% С; 24—26% Cr; 2,0—4,5% Al; 0,4—0,6% Mn; 0,5—1,5% Si.

Литые стали приведенных составов имеют ферритно-карбидную структуру (фиг. 27 и 28); они не подвержены аллотропическим превращениям и остаются ферритными при всех температурах. Карбиды этих сталей имеют эвтектоидное строение и располагаются по границам зерен хромоалюминиевого

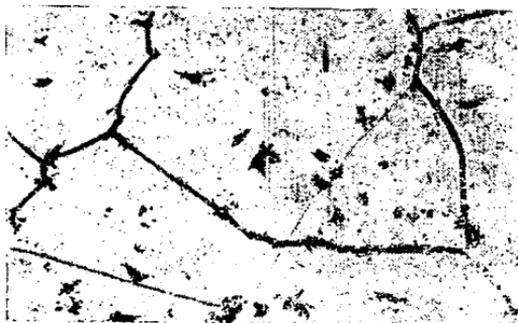
феррита; перевести их в твердый раствор термической обработкой невозможно. Зерна этих сталей весьма велики и уменьшить их тепловой обработкой не удастся. В толстых сечениях наблюдаются явления транскристаллизации. Весьма чувствительны эти стали к скорости охлаждения; отливки, выбитые из опок еще красными при протравке на макроструктуру показывают очень большое количество микротрещин как в середине, так и на поверхности (фиг. 29). Это необходимо учитывать при производстве фасонного литья и не допускать больших скоростей охлаждения отливок.

Некоторые отливки приходится охлаждать в специальных печах, чтобы понизить скорость охлаждения и тем самым устранить микротрещины.

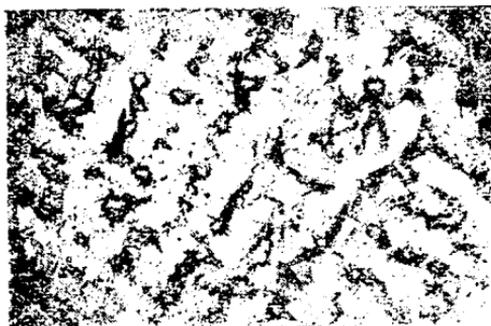
Азот (0,15% и выше) значительно изменяет первичную кристаллизацию хромоалюминиевых сталей. Зерно становится значительно мельче и транскристаллизация уменьшается. Структура литого металла с добавкой азота представлена на фиг. 30.

Несмотря на введение азота, зерно хромоалюминиевых сталей значительно крупнее, чем у хромистых ферритных. Это объясняется влиянием алюминия.

Механические свойства литой хромоалюминиевой стали вследствие хрупкости хромоалюминиевого феррита и карбидов (см. табл. 35) сравнительно низки, особенно удлинение, сжатие и сопротивление удару. Добавка азота несколько повышает вязкость, но не в такой степени, как при хромистых сталях. Титан несколько измельчает зерно, но механические

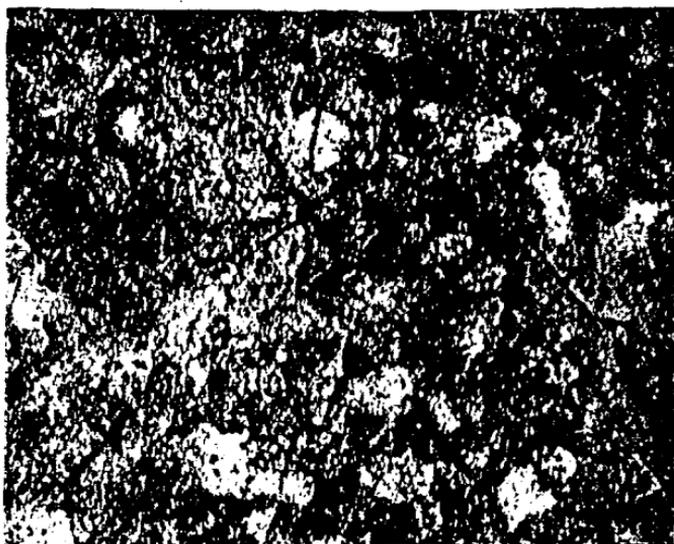


Фиг. 27. Структура литой хромоалюминиевой стали 1 ($\times 250$).



Фиг. 28. Структура литой хромоалюминиевой стали 2 ($\times 150$).

свойства, в частности, удлинение и сжатие, существенно не изменяет.



Фиг. 29. Макросруктура стали из фехраля в отливке, выбитой из опок в красном состоянии (видно большое количество микротрещин).

Приведенные выше механические свойства достигаются лишь при правильном режиме плавки. При наличии в стали

Таблица 35

Механические свойства литых хромоалюминиевых сталей

| № по порядку | Химический состав, % | | | | | | Временное сопротивление, кг/мм ² | Удлинение, % | Сжатие, % | Сопротивление удару, кг/см ² | Твердость по Бринеллю |
|--------------|----------------------|-------|------|------|------|----------------|---|--------------|-----------|---|-----------------------|
| | C | Cr | Al | Si | Mn | N ₂ | | | | | |
| 1 | 0,13 | 11,88 | 3,9 | 0,59 | 0,59 | — | 40,2 | 1,52 | 1,70 | 0,2 | 187 |
| 2 | 0,11 | 13,95 | 4,54 | 0,72 | 0,49 | — | 42,7 | 1,65 | 1,75 | 0,35 | 196 |
| 3 | 0,12 | 12,48 | 3,8 | 0,61 | 0,32 | 0,20 | 54,6 | 5,3 | 7,1 | 1,8 | 190 |
| 4 | 0,17 | 13,6 | 4,78 | 0,52 | 0,15 | — | 48,4 | 1,60 | 1,42 | 0,40 | 200 |
| 5 | 0,13 | 19,31 | 1,4 | 0,73 | 0,42 | — | 51,5 | 1,1 | 1,4 | не определялось | не определялось |
| 6 | 0,19 | 26,3 | 3,8 | 1,1 | — | — | 49,4 | 0,8 | нет | не определялось | не определялось |
| 7 | 0,17 | 25,4 | 4,1 | 0,8 | — | 0,15 | 55,1 | 3,9 | 4,3 | 1,3 | не определялось |

Al_2O_3 механические качества ухудшаются, что видно из следующих данных по фехралю:

Таблица 35

Механические свойства литых хромоалюминиевых сталей при высоких температурах

| № стали по табл. 35 | Сопротивление разрыву, кг/м.м ² | Удлинение, % | Сжатие, % | Сопротивление удару, кгм/см ² |
|---------------------|--|--------------|-----------|--|
| 2 6 | При 700° 23,3 | 10,0 | 10,1 | 10,9 |
| | — | — | — | 4,3 |
| 2 5 | При 800° 13,3 | 25,4 | 27,0 | — |
| | 10,2 | 40,0 | 50,1 | — |
| 2 5 6 | При 900° 8,2 | 44,1 | 50,3 | — |
| | 5,5 | 52,4 | 61,7 | — |
| | 8,20 | 24,0 | 20,0 | — |
| 2 5 6 | При 1000° 4,4 | 66,2 | 70,0 | — |
| | 3,45 | 60,1 | 82,0 | — |
| | 4,0 | 43,2 | 35,7 | 6,5 |
| 5 6 | При 1100° 2,4 | 64,0 | 91,0 | — |
| | 2,46 | 57,7 | 49,8 | — |

| Количество Al_2O_3 % | Сопротивление разрыву кг/м.м ² |
|------------------------|---|
| 0,022 | 41,3 |
| 0,04 | 36,5 |
| 0,07 | 30,3 |
| 0,11 | 20,4 |
| 0,42 | 14,7 |

Результаты механических испытаний литых хромоалюминиевых сталей при высоких температурах приведены в табл. 36.

С повышением углерода сопротивление разрыву повышается, но одновременно понижаются удлинение и сжатие.

Хром резко уменьшает сопротивление удару и повышает жароупорные свойства литых хромоалюминиевых сталей. Это видно из следующих данных:

| Температура, °С | Потеря в весе в г/м ² /час | |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------|
| | Сталь 2 (табл. 35) | Сталь 6 (табл. 35) |
| 800 | 0,30 | — |
| 900 | 0,92 | — |
| 1000 | 2,1 | 0,20 |
| 1100 | 7,9 | 0,85 |
| 1200 | — | 1,7 |

Отливки из хромоалюминиевых сталей показывают прекрасную устойчивость в печах, отапливаемых топливом, богатым серой.

Из всего вышесказанного следует, что хромоалюминиевые стали с содержанием 12—14% Cr и 2—4% Al можно применять для изготовления некоторых отливок, работающих при 900—950°, а стали с содержанием 24—26% Cr и 2—4% Al —

для отливок, работающих при 1200—1150°, но не несущих больших нагрузок.

Без азота



С азотом



Фиг. 30. Величина зерна хромоалюминиевой стали при азотированном феррохроме (при сечении отливки в 200 *мк*).

5. ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА НЕРЖАВЕЮЩИХ И ЖАРОУПОРНЫХ СТАЛЕЙ

Литейные свойства высоколегированных сталей зависят от их состава. Незначительное изменение в содержании элементов, резко изменяет жидкотекучесть и усадку высоколегированных сталей. Если жидкотекучесть нержавеющей стали 18/8 при нижнем пределе углерода крайне мала, что не позволяет отливать тонкостенные детали, даже при сильном нагреве металла, то при верхнем пределе (0,20—0,25% С) эта сталь является вполне жидкотекучей.

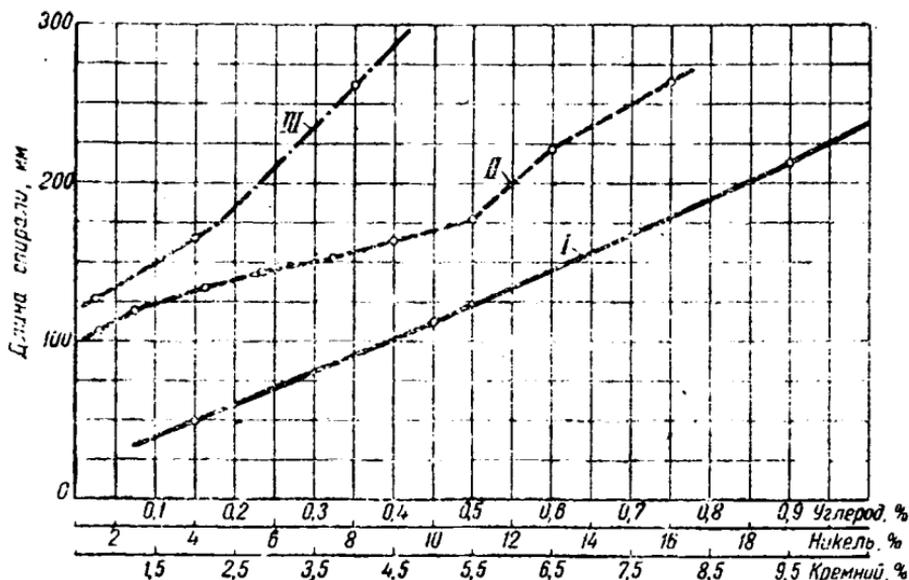
Часто физико-механические свойства позволяют применить для данной отливки хромистую или хромоалюминиевую сталь, но литейные свойства их не дают возможности выполнить отливку несмотря на целый ряд специальных мер. Необходимо учесть, что при производстве высоколегированных сталей нельзя допускать перегревов и увеличения содержания углерода, титана, молибдена, так как это может привести отливку в совершенно непригодное состояние. Основные литейные свойства, на которых необходимо остановиться, — это жидкотекучесть и усадка сталей.

Жидкотекучесть, как известно, зависит от целого ряда факторов. М. Bastien дает следующее математическое выражение жидкотекучести в зависимости от температуры затвердевания металла F , температуры металла в момент от-

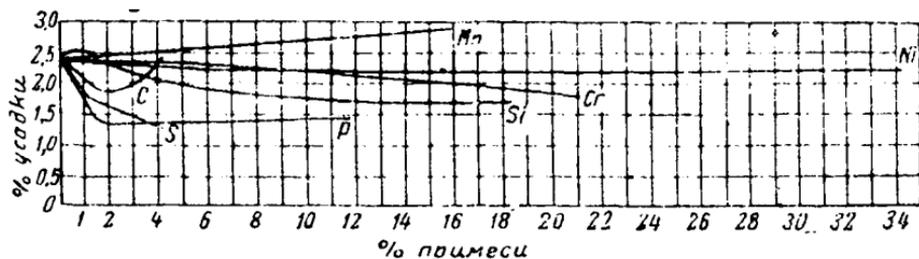
ливки θ , температуры заливаемой формы Q , плотности ρ , скрытой теплоты затвердевания L и удельной теплоты c :

$$\lambda = \alpha \frac{dc(\theta - F)}{F - Q} + \beta \frac{L \cdot d}{F - Q},$$

где λ — длина спирали, характеризующая жидкотекучесть данного сплава, α и β — коэффициенты, зависящие от размеров и



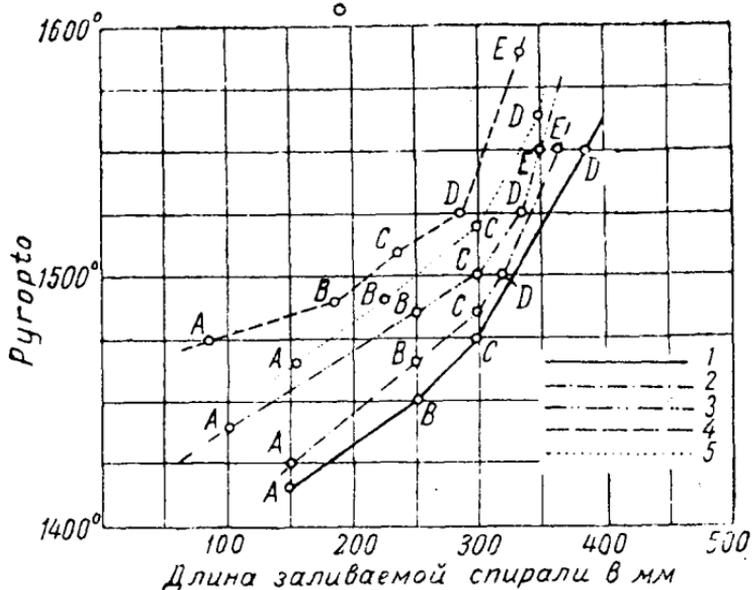
Фиг. 31. Жидкотекучесть стали при 1560° в зависимости от изменения содержания углерода — I (по данным Сержента и Мидлхэма); никеля — II (по данным Эндрю и Персавая); кремния — III (по данным Боттомлея и Эндрю).



Фиг. 32. Влияние различных элементов на усадку металла (Вкст).

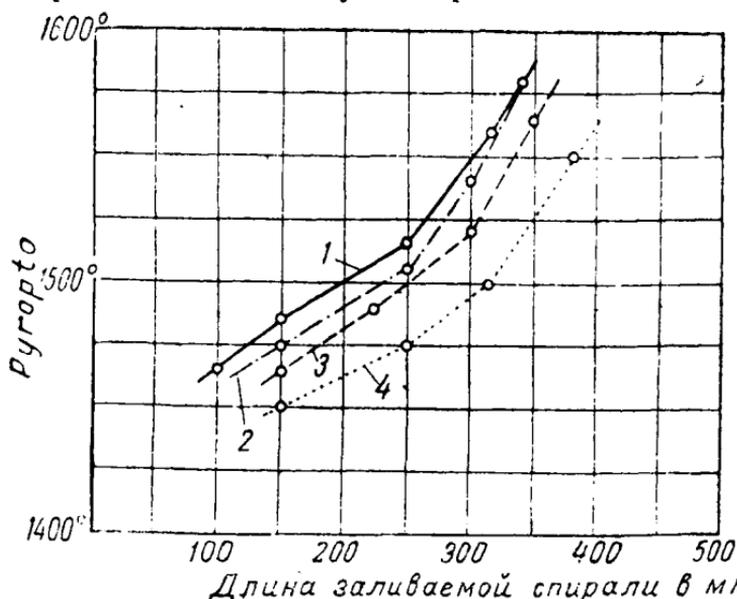
свойств формы (в особенности от ее теплопроводности), условий разливки (высоты столба заливаемого металла и способа заливки) и вязкости металла η .

Из этой формулы вытекает, что жидкотекучесть увеличивается с уменьшением разности $F - Q$ (т. е. при повышении



Фиг. 33. Диаграмма жидкотекучести различных хромистых сталей, залитых при различных температурах.

Кривые 1—5 соответствуют номерам сталей в табл. 37.



Фиг. 34. Диаграмма жидкотекучести хромистой стали в зависимости от содержания в ней кремния.

Кривые 1—4 соответствуют номерам сталей в табл. 38.

начальной температуры формы) и увеличением разности $\theta - F$ Жидкотекучесть прямо пропорциональна плотности, удельной теплоте и скрытой теплоте затвердевания.

На фиг. 31 показаны кривые изменения жидкотекучести стали при 1560° , в зависимости от изменения содержания углерода, никеля и кремния.

При отливке важна не только общая величина усадки, но и величина ее в определенные температурные интервалы. Усадка L является функцией температуры разливки и химического состава:

$$L = f(t, x),$$

где t — температура металла, x — химический состав.

На фиг. 32 представлена диаграмма влияния примесей (Cr, Ni, Mn и др.) на усадку железа, по данным Вюста. Из диаграммы видно, что углерод и кремний влияют положительно на величину усадки.

Хромистые, хромоалюминиевые и хромокремнистые стали

Практически жидкотекучесть высокохромистых сплавов по сравнению с углеродистыми сталями значительно ниже, так как хром повышает вязкость металла. Если углеродистую сталь можно заливать при 1420° (по Ругорто), то при незначительной добавке хрома форму не удастся заполнить при этой температуре.

На фиг. 33 представлены кривые жидкотекучести хромистых сталей различного состава, построенные на основании средних арифметических длин спиралей, залитых при температурах, приведенных в табл. 37.

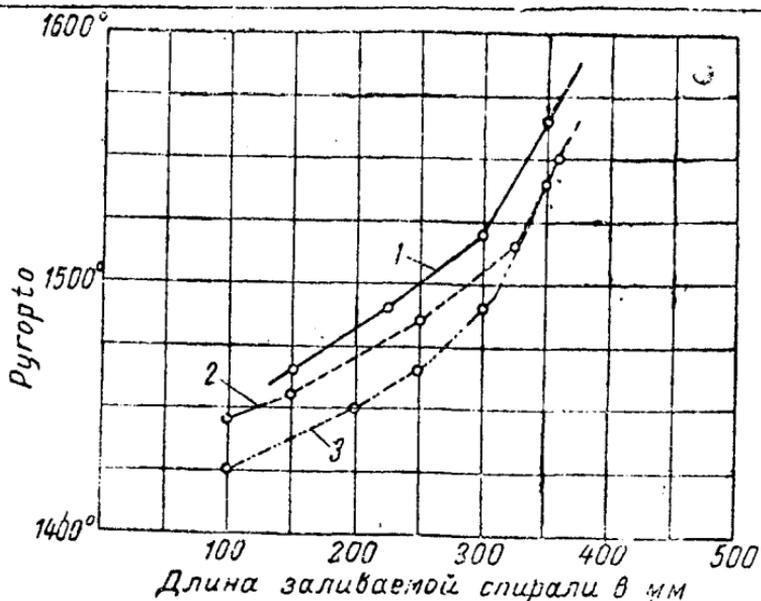
Диаграмма показывает, что с увеличением содержания хрома жидкотекучесть понижается: особенно низка жидкотекучесть сталей с содержанием хрома выше 22%.

На фиг. 34 и 35 представлены диаграммы жидкотекучести высокохромистых сталей, залитых при различных температурах в зависимости от содержания кремния и углерода. Химический состав этих сталей приведен в табл. 38.

Как видим из результатов опытов, каждые две-три десятых процента кремния значительно увеличивают жидкотекучесть высокохромистой стали.

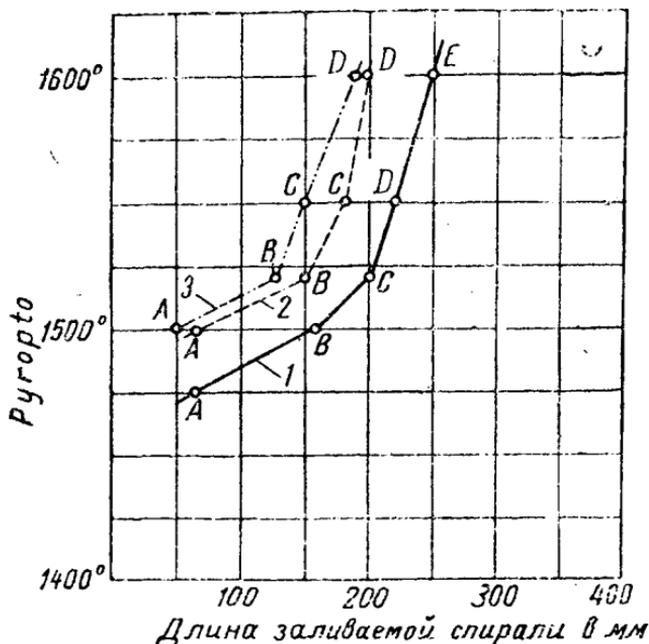
Уже при 1,5—2,4% Si сталь приобретает хорошую жидкотекучесть, что позволяет заливать целый ряд отливок (цементационные ящики, поддоны, роликовые опоры и пр.) с незначительной толщиной стенок.

Углерод еще в большей степени, чем кремний, увеличивает жидкотекучесть хромистых сталей. В табл. 39 представлены



Фиг. 35. Диаграмма жидкотекучести хромистой стали в зависимости от содержания в ней углерода.

Кривые 1—3 соответствуют номерам сталей в табл. 39.



Фиг. 36. Диаграмма жидкотекучести хромоалюминиевой стали.

Кривые 1—3 соответствуют номерам сталей в табл. 41.

длины спиралей высокохромистых сталей в зависимости от содержания углерода.

Практика показала, что значительно лучше отливать сталь с высоким содержанием углерода (0,60—0,70%) и хрома (28—29%), чем сталь с 22—23% хрома, но низким процентом углерода (0,20—0,25%), так как разница в жидкотекучести от увеличения содержания хрома с 22 до 28% незаметна (как первая, так и вторая плохо заполняют форму). Увеличение же содержания углерода с 0,2 до 0,7% сильно улучшает литейные свойства стали, причем при содержании 28—30% хрома углерод в количестве даже 0,5—0,7% не понижает жароупорных свойств стали.

Таблица 37

Состав хромистых сталей и температура заливки образцов, исследованных на жидкотекучесть

| Химический состав, % | | | | | Температура Пуррито |
|----------------------|-------|------|------|-----|------------------------|
| C | Cr | Si | Mn | Ni | |
| 0,23 | 13,8 | 0,48 | 0,54 | — | 1415 |
| | | | | | 1450 |
| | | | | | 1475 |
| | | | | | 1510 |
| | | | | | 1550 |
| 0,22 | 18,1 | 0,44 | — | 2,3 | 1425 |
| | | | | | 1465 |
| | | | | | 1485 |
| | | | | | 1500 |
| | | | | | 1550 |
| 0,20 | 23 | — | — | — | 1440 |
| | | | | | 1485 |
| | | | | | 1500 |
| | | | | | 1525 |
| 0,19 | 28,86 | — | — | — | 1475 |
| | | | | | 1490 |
| | | | | | 1510 |
| | | | | | 1550 |
| | | | | | 1590 |
| 0,33 | 26,28 | 1,56 | — | 1,2 | 1465 |
| | | | | | 1490 |
| | | | | | 1520 |
| | | | | | 1550 |
| | | | | | 1565 |

Таблица 38

Влияние кремния на жидкотекучесть хромистых сталей

| Химический состав, % | | | | Температура Пуррито | Средняя длина залитых спиралей, мм |
|-------------------------|-------|------|------|------------------------|--|
| C | Cr | Si | Ni | | |
| 0,29 | 26,58 | 0,5 | 1,50 | 1465 | 100 |
| | | | | 1485 | 150 |
| | | | | 1515 | 250 |
| | | | | 1560 | 315 |
| | | | | | |
| 0,31 | 27,01 | 0,94 | 1,72 | 1475 | 150 |
| | | | | 1505 | 250 |
| | | | | 1540 | 300 |
| | | | | 1580 | 340 |
| 0,33 | 26,28 | 1,56 | 1,43 | 1465 | 150 |
| | | | | 1490 | 224 |
| | | | | 1520 | 300 |
| | | | | 1565 | 350 |
| 0,32 | 26,94 | 2,42 | 1,51 | 1450 | 150 |
| | | | | 1475 | 250 |
| | | | | 1500 | 315 |
| | | | | 1550 | 380 |

Рекомендуемые температуры заливки хромистых сталей приведены в табл. 40.

Для исследования влияния алюминия на жидкотекучесть хромистых сталей были отлиты спирали из двух марок хромоалюминиевых сплавов: 1) 12—14% Cr и 2,5—4,0% Al; 2) 24—28% Cr и 2,5—4,5% Al.

В табл. 41 приведены длины спиралей из хромоалюминиевых сталей, залитых при различных температурах.

Таблица 39

Таблица 40

Влияние углерода на жидкотекучесть хромистых сталей

Температура заливки хромоникелевых сталей

| № по пор. | Химический состав, % | | | Температура Pyropto | Средняя длина спиралей мм | Cr % | C % | Температура разливки Pyropto |
|-----------|----------------------|-------|------|------------------------|------------------------------------|---------|-----------|------------------------------------|
| | C | Cr | Si | | | | | |
| 1 | 0,33 | 26,28 | 1,56 | 1465 | 150 | 12,5—15 | 0,19—0,22 | 1450—1460 |
| | | | | 1490 | 224 | | | |
| | | | | 1520 | 300 | | | |
| | | | | 1565 | 350 | | | |
| 2 | 0,75 | 26,13 | 1,42 | 1445 | 100 | 16,0—20 | до 0,25 | 1465—1470 |
| | | | | 1455 | 150 | | | |
| | | | | 1485 | 250 | 22—24 | 0,2—0,25 | 1470—1490 |
| | | | | 1515 | 325 | | | |
| | | | | 1550 | 360 | | | |
| 3 | 0,92 | 27,1 | 1,54 | 1425 | 100 | 26—29 | 0,15—0,30 | 1510—1515 |
| | | | | 1450 | 200 | | | |
| | | | | 1465 | 250 | — | 0,40—0,60 | 1490—1515 |
| | | | | 1490 | 300 | | | |
| | | | | 1535 | 350 | | | |

На фиг. 36 построены кривые жидкотекучести указанных в таблице сталей. Из кривых видно, что среднее повышение жидкотекучести на участке AC гораздо ниже по сравнению с такой же хромистой сталью, но без добавки алюминия (фиг. 33). Пониженная жидкотекучесть значительно затрудняет заливку форм и требует увеличения количества прирезов, большего сечения литников и пр.

Примерная температура заливки хромоалюминиевых сталей на фасонное литье (печная арматура, подовые плиты и пр.) при 12—14% Cr, 2,5—4,0% Al и 0,10—0,25% C, равна 1510° (Pyropto), а при 20—22% Cr, 1,5—3,5% Al и 0,10—0,25% C равна 1540° (Pyropto).

Перегревать металл выше указанных температур не следует, так как отливка будет иметь много газовых раковин, крупнокристаллическое строение, транскристаллизацию и большое количество горячих трещин.

Добавка незначительного количества никеля не оказывает решающего влияния на жидкотекучесть металла; при добавке же 2,5—5,5% Ni жидкотекучесть значительно улучшается, что дает возможность заливать формы при более низкой температуре.

Введение азота и титана также ухудшает жидкотекучесть стали. Практика показала, что хромистые стали при введении азота и титана приходится для возможности заливки перегревать на 20—25° выше, чем сталь без этих элементов.

Несколько обособленное место занимает сильхромовая сталь, так как содержание хрома в ней по сравнению с рассмотренными сплавами сравнительно невысоко.

Исследование сильхромовых сталей с 0,35—0,50% C; 8,5—10% Cr и 2,5—3,5% Si показало довольно неплохую жидкотекучесть их.

В табл. 42 даны результаты заливки спиралей сильхромовой сталию.

Из таблицы видно, что жидкотекучесть электростали выше, чем мартеповской. Это объ-

ясняется исключительно качеством выплавленного металла. Мартеповская сталь имеет много растворенных газов, оказы-

Таблица 41
Влияние алюминия на жидкотекучесть хромистых сталей

| № по пор. | Химический состав, % | | | | | Температура заливки (Puropto) | Средняя длина залитой спирали, мм |
|-----------|----------------------|-------|------|------|------|-------------------------------|-----------------------------------|
| | C | Cr | Al | Si | Mn | | |
| 1 | 0,11 | 13,95 | 4,54 | 0,62 | 0,51 | 1475 | 65 |
| | | | | | | 1500 | 160 |
| | | | | | | 1520 | 200 |
| | | | | | | 1550 | 220 |
| 1600 | 250 | | | | | | |
| 2 | 0,13 | 13,31 | 1,4 | 0,71 | 0,44 | 1500 | 65 |
| | | | | | | 1520 | 150 |
| | | | | | | 1550 | 150 |
| | | | | | | 1600 | 200 |
| 3 | 0,12 | 20,21 | 3,42 | 0,57 | 0,52 | 1500 | 50 |
| | | | | | | 1520 | 125 |
| | | | | | | 1550 | 150 |
| | | | | | | 1600 | 200 |

Таблица 42
Результаты исследований сильхромовой стали на жидкотекучесть

| Сталь | Химический состав, % | | | | Температура заливки металла (Puropto) | Средняя длина залитых спиралей, мм |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|---------------------------------------|------------------------------------|
| | C | Cr | Si | Mn | | |
| Электросталь Мартеповская | 0,5 | 10,2 | 2,44 | 0,4 | 1360 | 70 |
| | | | | | 1390 | 195 |
| | | | | | 1420 | 263 |
| | | | | | 1450 | 340 |
| | | | | | 1475 | 370 |
| | 0,43 | 9,48 | 2,51 | 0,39 | 1355 | 160 |
| | | | | | 1385 | 250 |
| | | | | | 1425 | 375 |
| | | | | | 1475 | 475 |

вающих значительное влияние на величину α , β , d , c . Точно так же, как и в ранее рассмотренных случаях кремний и углерод значительно повышают жидкотекучесть сплавов хромовых сталей. Примерный температурный интервал разлива сплавов хромовых сталей по формам при 0,35—0,45% С; 8—9,5% Cr; 2,5—3,5% Si составляет 1420—1445 (Puropt). При этой температуре можно без опасения отливать печное арматурное литье с толщиной стенок 10—12 мм.

Величина усадки хромистых, хромокремнистых и хромоалюминиевых сталей выше, чем простых углеродистых. Если литье из углеродистой стали садится при остывании всего лишь на 1,2—1,5%, то хромистые сплавы дают усадку 1,8—2,2%. Кроме того, в отливках из этих сталей развиваются значительные внутренние напряжения, что можно наблюдать по большому количеству холодных трещин.

Усадка хромоалюминиевых и сплавов хромовых сталей близка к усадке хромистых и колеблется в пределах 1,6—2,2%. Наибольшая усадка образца диаметром 100 мм и длиной в 0,5 м, происходит в тот момент, когда отливка имеет еще ничтожную механическую прочность, т. е. при высоких температурах. Это указывает, что хромистые стали более склонны к образованию горячих трещин, чем углеродистые. Кривые усадки сплавов хромовых и хромоалюминиевых сталей более плавные, а поэтому вероятность образования горячих трещин в отливках из этих сталей меньше, чем в чисто хромистых.

Усадочные раковины в отливках из хромистой стали имеют значительно большие размеры, чем в отливках углеродистых сталей. Увеличенные размеры усадочных раковин можно объяснить малой теплопроводностью хромистых сталей, а также высокой температурой разлива. Повышая содержание углерода и кремния, можно уменьшить размеры усадочных раковин, так как при этом температура заливки соответственно понижается. Учитывая изложенное, при разработке технологического процесса необходимо увеличивать сечения литниковой системы (диаметр стояка, количество питателей), подбирать соответствующую формовочную массу, которая облегчила бы усадку, и грамотно расставлять прибыли, придавая им наиболее выгодную конфигурацию.

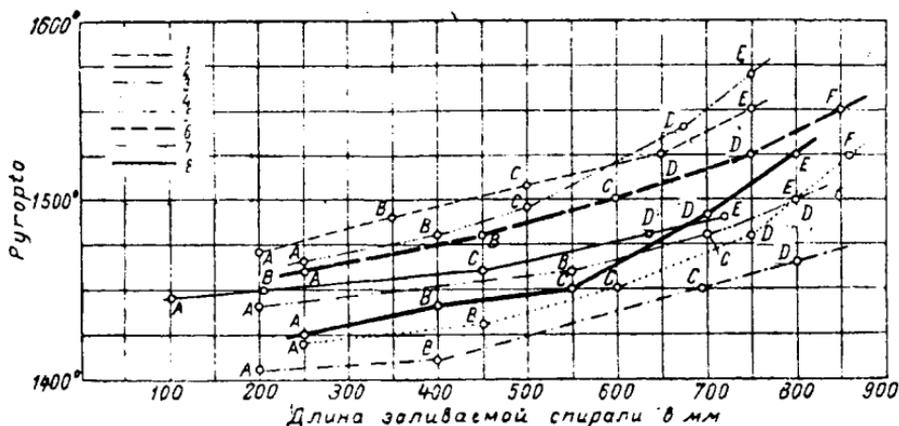
Хромоникелевые, хромомарганцевомедистые и силиконихромовые стали

Никель, в противоположность хрому, улучшает жидкотекучесть сталей. Жидкотекучесть хромоникелевых сталей в значительной степени зависит от содержания углерода,

хрома, никеля, а также кремния. Составы хромоникелевых сталей, жидкотекучесть которых определялась автором, приведены в табл. 43. Стали разбиты по группам для уяснения зависимости жидкотекучести от введения того или иного элемента и температуры заливки.

На фиг. 37 представлены кривые жидкотекучести хромоникелевых сталей на основании данных табл. 43. Из фигуры видно, что жидкотекучесть повышается при увеличении содержания углерода (в связи с увеличением интервала за твердевания стали) и кремния (больше даже чем углерода).

Благоприятное влияние кремния на жидкотекучесть сталей



Фиг. 37. Кривые жидкотекучести хромоникелевых сталей.
Кривые 1—8 соответствуют номерам сталей в табл. 43.

18/8 очевидно объясняется раскисляющим действием его, а также уменьшением коэффициента вязкости и понижением внутреннего трения в жидкой стали.

Аналогично хромистым сталям, жидкотекучесть хромоникелевых сталей с увеличением температуры нагрева повышается, однако не пропорционально повышению температуры, т. е. если на участках АВ кривая жидкотекучести подчинена уравнению прямой, то при дальнейшем повышении температуры она становится изогнутой. Это можно объяснить непропорциональным изменением коэффициентов γ , α и β с повышением температур разлива.

Введение в хромоникелевую сталь 18/8 молибдена снижает жидкотекучесть ее, очевидно вследствие повышения внутренней вязкости стали (при образовании карбидов молибдена). Длины спиралей сталей № 6 и 7 (табл. 43), нанесенные на диаграмму, наглядно иллюстрируют снижение текучести

Жидкотекучесть хромоникелевых сталей

| № ста- лей | Химический состав, % | | | | | | Температура заливки спирали Ругопто | Средняя длина заливки спирали мм |
|------------------|----------------------|-------|------|------|------|------|--|--|
| | C | Cr | Ni | Mo | Si | Mn | | |
| 2 | 0,24 | 18,33 | 7,2 | — | 0,46 | 0,51 | 1445 | 100 |
| | | | | | | | 1455 | 397 |
| | | | | | | | 1460 | 450 |
| | | | | | | | 1480 | 637 |
| | | | | | | | 1495 | 720 |
| 1 | 0,12 | 18,17 | 7,1 | — | 0,43 | 0,62 | 1470 | 200 |
| | | | | | | | 1485 | 350 |
| | | | | | | | 1505 | 500 |
| | | | | | | | 1525 | 650 |
| | | | | | | | 1550 | 750 |
| 5 | 0,35 | 18,5 | 7,9 | — | 2,5 | 0,61 | 1410 | 406 |
| | | | | | | | 1450 | 695 |
| | | | | | | | 1465 | 790 |
| 3 | 0,38 | 18,12 | 7,4 | — | 0,41 | 0,58 | 1440 | 200 |
| | | | | | | | 1460 | 550 |
| | | | | | | | 1480 | 700 |
| | | | | | | | 1500 | 800 |
| 4 | 0,32 | 18,61 | 7,14 | — | 0,98 | 0,53 | 1420 | 250 |
| | | | | | | | 1430 | 450 |
| | | | | | | | 1450 | 600 |
| | | | | | | | 1480 | 750 |
| | | | | | | | 1525 | 860 |
| 6 | 0,2 | 19,4 | 8,1 | — | 0,41 | 0,48 | 1460 | 250 |
| | | | | | | | 1480 | 450 |
| | | | | | | | 1500 | 600 |
| | | | | | | | 1525 | 750 |
| | | | | | | | 1550 | 850 |
| 7 | 0,21 | 19,28 | 7,91 | 2,72 | 0,47 | 0,44 | 1465 | 250 |
| | | | | | | | 1480 | 400 |
| | | | | | | | 1495 | 500 |
| | | | | | | | 1540 | 675 |
| | | | | | | | 1570 | 750 |
| 8 | 0,14 | 8,34 | 19,1 | 3,11 | 0,44 | 0,56 | 1425 | 250 |
| | | | | | | | 1440 | 400 |
| | | | | | | | 1450 | 550 |
| | | | | | | | 1485 | 700 |
| | | | | | | | 1525 | 800 |

стали при введении молибдена. Среднее повышение жидкотекучести стали № 6 на участке АС составляет 8,7 мм на 1°; при том же содержании углерода, хрома, кремния и никеля, но с добавкой 2,7% Мо жидкотекучесть ее на участке АС понижается до 8,0 мм на 1°.

Титан также понижает жидкотекучесть стали 18/8. Поэтому при введении титана температура разливки должна быть выше на 20—25°.

Исследования «обратной» стали (т. е. содержащей 8% Cr и 18% Ni) показывают, что она обладает очень хорошей жидкотекучестью, так как содержание хрома и никеля — элементов, противоположно влияющих на жидкотекучесть, изменилось в обратном соотношении (фиг. 37).

С увеличением содержания молибдена жидкотекучесть «обратной стали» понижается. Поэтому температуру разливки приходится повышать на 20—25°.

Влияние углерода в сталях 8/18 сказывается на жидкотекучести не в такой мере, как в сталях 18/8; поэтому с точки зрения заполнения форм высокого содержания углерода не требуется; при 0,1—0,12% С вполне возможно заливать фасонное литье, не перегревая металл.

В табл. 44 даны результаты заливки спиралей хромомарганцевомедистой стали. Замена никеля в стали 18/8 марганцем, кроме изменения физико-механических свойств, отражается также и на литейных качествах.

На фиг. 38 представлена кривая жидкотекучести хромомарганцевомедистой стали, построенной на основании табл. 44. Из диаграммы видно, что жидкотекучесть этой стали лучше, чем стали 18/8.

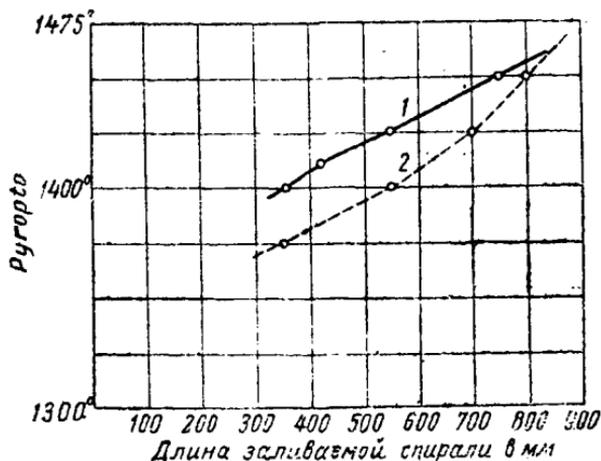
Увеличение содержания углерода с 0,16 до 0,50% значительно улучшает жидкотекучесть хромомарганцевомедистой стали. При 0,5—0,6% С температуру заливки металла можно снизить на 20—25° по сравнению с той же сталью, но с меньшим содержанием углерода.

Таблица 44

Жидкотекучесть хромомарганцевомедистой стали

| № по пор. | Химический состав, % | | | | Температура разливки Ругорто | Средняя длина на спирали мм |
|-----------|----------------------|------|-------|-----|------------------------------|-----------------------------|
| | С | Mn | Cr | Cu | | |
| 1 | 0,16 | 9,86 | 18,45 | 2,0 | 1400 | 357,5 |
| | | | | | 1410 | 418,5 |
| | | | | | 1425 | 549,5 |
| | | | | | 1450 | 751,0 |
| 2 | 0,52 | 9,34 | 19,3 | 2,4 | 1375 | 350 |
| | | | | | 1400 | 550 |
| | | | | | 1425 | 700 |
| | | | | | 1450 | 800 |

Исследование жидкотекучести сталей, легированных марганцем, показало, что марганец, аналогично никелю, улучшает жидкотекучесть сталей, т. е. с повышением содержания марганца жидкотекучесть увеличивается, поэтому заливать формы можно металлом при более низкой температуре.



Фиг. 38. Кривые жидкотекучести хромомарганцевистой стали.

Кривые 1 и 2 соответствуют номерам сталей в табл. 44.

Из сталей типа силиконихром автором исследовались стали с 17—20% Cr, 24—26% Ni, 0,2—0,8% C и 1—3,5% Si.

В табл. 45 представлены длины спи-

Таблица 45

Результаты исследования на жидкотекучесть силиконихромовых сталей

| № по пор. | Химический состав, % | | | | | Температура разлики Pyropo | Средняя длина заливки спирали мм | № по пор. | Химический состав, % | | | | | Температура разлики Pyropo | Средняя длина заливки спирали мм |
|-----------|----------------------|-------|------|------|------|----------------------------|----------------------------------|-----------|----------------------|-------|------|------|------|----------------------------|----------------------------------|
| | C | Cr | Ni | Si | Mn | | | | C | Cr | Ni | Si | Mn | | |
| 1 | 0,17 | 18,44 | 26,2 | 2,48 | 0,22 | 1415 | 250 | 3 | 0,72 | 19,11 | 24,8 | 2,54 | 0,19 | 1375 | 250 |
| | | | | | | 1430 | 500 | | | | | | | 1400 | 750 |
| | | | | | | 1445 | 725 | | | | | | | 1420 | 1100 |
| | | | | | | 1480 | 950 | | | | | | | 1440 | 1200 |
| | | | | | | 1520 | 1100 | | | | | | | | |
| 2 | 0,38 | 19,59 | 24,0 | 2,51 | 0,18 | 1400 | 250 | 4 | 0,37 | 18,31 | 24,4 | 0,8 | 0,31 | 1415 | 400 |
| | | | | | | 1415 | 599 | | | | | | | 1425 | 550 |
| | | | | | | 1425 | 831 | | | | | | | 1440 | 725 |
| | | | | | | 1440 | 1063 | | | | | | | 1485 | 900 |
| | | | | | | 1460 | 1127 | | | | | | | 1535 | 1050 |

ралей, залитых сталями с различным содержанием углерода, хрома, никеля и кремния при различных температурах.

Спиральи, залитые силиконихромовой сталью, имеют бо́льшую длину, чем спиральи из стали 18/8, залитые при той же температуре.

Углерод и кремний также оказывают положительное влияние на жидкотекучесть этих сталей.

Жидкотекучесть силиконихрома, так же как и вышерассмотренных сталей, независимо от содержания углерода и кремния, увеличивается с повышением температуры металла. Однако при этом снижаются физико-механические свойства, а так же увеличиваются линейная усадка и усадочные раковины.

В табл. 46 приведены практические данные о температурах разливки рассматриваемых сталей.

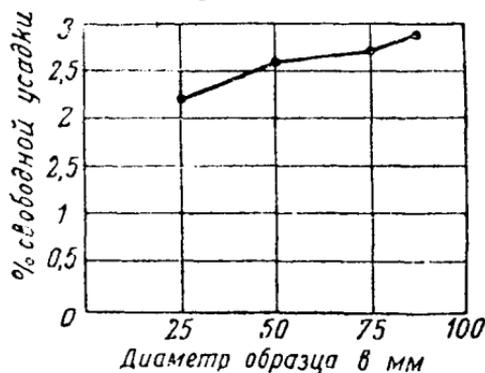
Линейная усадка хромоникелевых сталей значительно выше, чем хромистых и углеродистых, поэтому больше и опасность образования горячих трещин в отливках из этих сталей.

На фиг. 39 представлена диаграмма свободной усадки сталей типа 18/8. Средний процент усадки хромоникелевых сталей можно считать равным 2,6%, но в зависимости от массы и конфигурации отливки усадка может иметь большее или меньшее значение (колебания от 2,25% до 3%).

Хромоникелевые стали по характеру усадки несколько отличаются от хромистых. Если усадка хромистых сталей

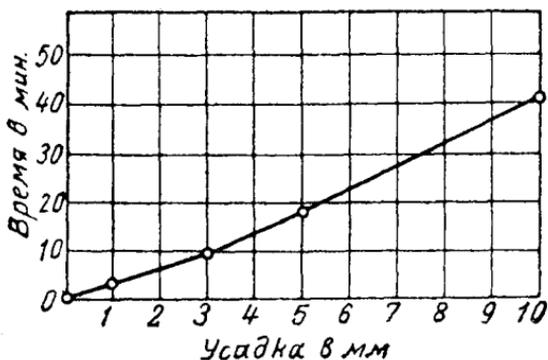
Таблица 46
Температура разливки различных сталей

| Тип стали | Содержание углерода % | Температура разливки Pyopto |
|--|-----------------------|-----------------------------|
| Хромоникелевая 18/8 | 0,12—0,20 | 1440—1450 |
| 18/8 + 2,50% Si | 0,12—0,20 | 1415—1440 |
| Хромоникелевая „обратная“ 8/18 | 0,12—0,20 | 1400—1420 |
| Хромомарганцевомедистая | 0,15—0,20 | 1410—1425 |
| 17—19% Cr; 8—10% Mn | 0,5—0,70 | 1380—1410 |
| Силиконихром | 0,2—0,25 | 1410—1425 |
| 17—19% Cr; 24—26% Ni | 0,35—0,40 | 1400—1415 |
| 2,5—3,5% Si | 0,40—0,8 | 1380—1410 |



Фиг. 39. Величина свободной усадки хромоникелевых сталей.

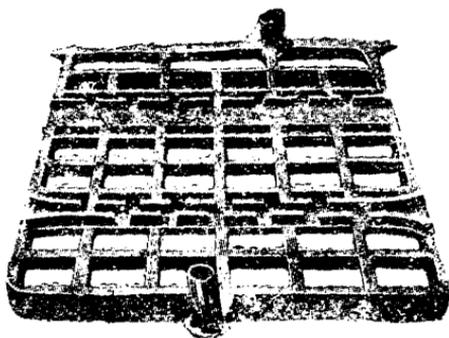
в начальный период остывания больше, чем в последующие, то хромоникелевые стали во все время остывания имеют равномерную усадку (фиг. 40), что способствует уменьшению горячих трещин. Учитывая, однако, большую величину линейной усадки этих сталей, необходимо для облегчения усадки отливки заливать формы при более низкой температуре, применять специальную землю, холодильники и пр.



Фиг. 40. Характер усадки хромоникелевых сталей.

хромоникелевых сталей значительно больше по сравнению с хромистыми и углеродистыми. Даже небольшое скопление металла в каком-либо месте дает уже усадочную раковину.

Автор заливал поддоны для печей конвейерного типа углеродистой и хромоникелевой сталью типа 20/25. Поддон, залитый углеродистой сталью, не имел ни «подсадин», ни усадочных раковин; в поддоне, залитом сталью 18/25, на плоскостях катания роликов получились глубокие усадочные раковины, выходящие наружу (фиг. 41). Поэтому приостановка прибылей на отливках из хромоникелевых сталей требует грамотного подхода.



Фиг. 41. Подсадины, получающиеся в отливках из стали типа 20/25 при незначительном даже скоплении металла.

6. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ ЖАРОУПОРНЫХ И НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ФАСОННОГО ЛИТЬЯ

Плавка нержавеющей и жароупорных сталей для фасонного литья в настоящее время производится в мартеновских и в электрических печах как в дуговых, так и в индукционных. Печи высокой частоты дают металл более высокого качества;

кроме того, угар элементов (хрома, марганца, титана и др.) в них меньше, чем в других печах.

При выплавке жароупорных и нержавеющей сталей необходимо обращать внимание на следующие основные моменты:

- 1) сталь должна иметь минимальное количество газов;
- 2) минимальное количество неметаллических включений;
- 3) оптимальную температуру разливки.

Следует отметить, что даже такие стали, как: силхромовые, хромоалюминиевые, хромомарганцовые и др., несмотря на высокое содержание кремния, алюминия, марганца, могут получиться окисленными, газистыми (ситовидность в изломе); часто во время заливки приходится наблюдать даже явления роста этих сталей.

Газистость силхромовых, хромоалюминиевых и хромоникелевых сплавов объясняется наличием большого количества водорода, который может находиться в ферросилиции, никеле и пр. При небольшой концентрации водорода в связанном состоянии металл может получиться все же спокойным и плотным. Если же концентрация водорода превышает предел растворимости его, то выделяется большое количество свободного водорода, и предотвратить рост металла в форме путем добавки кремния и алюминия не удается.

На фиг. 42 представлен образец силхромовой стали 3—4,5% Si, имеющий в изломе сплошную ситовидность вследствие присутствия водорода.

То же можно сказать о неметаллических включениях.

Автор наблюдал большое количество окислов в силхромовой и хромоалюминиевой стали. Это объясняется исключительно неправильным ведением процесса плавки. Если при плавке силхромовой и хромоалюминиевой стали феррохром добавлялся в печь на нераскисленную ванну, то получилось окисление хрома. Ферросилиций и алюминий, присаженные в последний период плавки, раскисляли окислы хрома, но при этом сами переходили либо в силикатное, либо в алюминатное состояние и, не успев подняться в шлак, вследствие чрезвычайно большого количества их, а также большой густоты стали, в значительной степени загрязняли металл (содержание Al_2O_3 в фехрале доходило до 0,44% и SiO_2 в силхrome — до 0,71%).



Излом отливки из силхромовой стали, насыщенной водородом.

В мартеновских печах выплавляют нержавеющей и жароупорные стали с содержанием хрома не выше 14—15%, т. е. такие стали, как фехраль, силхром, мартенситная хромистая и пр. Стали с более высоким содержанием хрома целесообразнее выплавлять в электропечах, так как для этого требуется высокая температура, которую в мартеновских печах получить крайне трудно.

Процесс ведения плавки стали в мартеновских печах протекает следующим образом. После выжигания углерода, содержание которого в ванне можно довести до 0,06—0,08%, и спуска шлака, металл следует хорошо раскислить и завести новый шлак. После этого только можно добавлять феррохром. Феррохром обычно добавляют порциями по 200—300 кг в зависимости от емкости печи, причем его предварительно подогревают на порогах печи. Во время добавления феррохрома шлак раскисляют алюминием или боркальком (диффузионное раскисление шлака).

Никель лучше всего вводится вместе с шихтой при загрузке печи или по расплавлению ванны; это понижает содержание водорода в металле. Легкоокисляющиеся элементы (молибден, титан и пр.) следует вводить в ванну перед выпуском металла в ковш.

В случае выплавки хромоалюминиевых сталей алюминий расплавляют в ковше отдельно и выпускают в него металл из печи. Такой метод смешения дает неплохие результаты.

Кремний при силхромовых сталях частично дается в печь, а частично в ковш и на жолоб.

Шлак при плавке на силхром в процессе расплавления хрома раскисляют, главным образом, ферросилицием, а не алюминием, как при хромоалюминиевых сталях. Иногда плавку ведут на хромистой руде, т. е. хром вводят в ванну не в виде феррохрома, а восстанавливают из хромистой руды. При этом, однако, затягивается плавка и получается много шлака. Кроме того, неметаллических включений значительно больше, чем при плавке на феррохроме.

Ниже приводится хронометраж хромоалюминиевой плавки в 4,5-т мартеновской печи, дающий представление о ходе плавки.

Плавка № 542

| | | |
|-------------|---|---------|
| 17 ч. 25 м. | Завалка железа (сугунка) | 2000 кг |
| | Завалка чугуна саткинского | 2200 " |
| 17 ч. 55 м. | Начало расплавления | |
| 18 ч. 55 м. | Шихта расплавилась; первая проба металла для экспресс-лаборатории (1,62% С) | |
| | Первая проба шлака | |

- 19 ч. 21 м. Начало рудения
 21 ч. 03 м. Конец рудения и скачивания шлака } Руды дано 150 кг;
 21 ч. 08 м. Вторая проба для экспресс-лаборатории 0,13% С; 0,13% Мп;
 0,024% Р
 21 ч. 10 м. Вторая проба металла
 Вторая проба шлака
 21 ч. 13 м. Дано 32 кг ферросилиция (45%)
 21 ч. 16 м. Дано 15 кг алюминия (под шлак)
 21 ч. 20 м. На порог положено 300 кг феррохрома
 21 ч. 23 м. Температура металла 1505° (по Pyropto)
 21 ч. 25 м. Феррохром подан в ванну
 21 ч. 27 м. На порог положен феррохром
 21 ч. 37 м. На шлак дано 5 кг алюминия в порошке
 22 ч. 02 м. Температура металла 1505° (по Pyropto)
 22 ч. 34 м. Подана в ванну последняя порция феррохрома (всего феррохрома дано 1380 кг)
 На шлак дан алюминий; температура металла 1500° (по Pyropto)
 22 ч. 43 м. На шлак дано 20 кг алюминия в порошке
 22 ч. 50 м. Дано 20 кг алюминия в порошке
 23 ч. 07 м. Дано 20 кг алюминия в брикетах на шлак
 23 ч. 17 м. Третья проба металла
 Третья проба шлака (шлак густоват)
 23 ч. 25 м. Выпуск. Температура выпуска 1470° (по Pyropto)

Металл выпускался в ковш, в котором находился расплавленный алюминий. После смещения получилась хромоалюминиевая сталь следующего состава: 0,17% С; 14,03% Cr; 4,50% Al; 0,93% Si; 0,72% Мп; 0,04% S; 0,48% P.

Состав шлаков

| № шлаков | SiO ₂ | FeO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MnO | P ₂ O ₅ | MgO | Cr ₂ O ₃ |
|----------|------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|--------------------------------|
| 1 | 41,20 | 3,33 | Нет | 2,89 | 26,24 | 13,69 | 0,07 | 12,21 | — |
| 2 | 23,45 | 14,59 | 4,45 | 1,80 | 28,57 | 10,97 | 0,48 | 15,40 | — |
| 3 | 19,00 | 18,10 | 5,05 | 2,41 | 31,49 | 6,82 | 0,12 | 15,40 | 1,14 |
| 4 | 17,80 | 2,84 | Нет | 24,81 | 29,82 | 0,56 | 0,32 | 22,43 | 1,48 |

Плавку нержавеющей и жароупорных сталей в электропечах можно вести как на основной, так и на кислой подинах. Сталь выплавляют в электропечах следующими методами:

1. Немецкий метод. Шихтовку производят так, что после расплавления в ванне получается высокое содержание углерода и марганца (0,7—0,9% С; 0,9—1,0% Мп). Процесс кипа — длительный со снятием черного шлака. Для стали 18/8 содержание углерода следует доводить до 0,06—0,07% и фосфора до 0,015—0,020%; для жароупорных сталей до 0,10—0,15% С. После снятия шлака необходимо хорошо раскислить металл и завести новый восстановительный шлак, состоящий при основной подине из извести, плавикового шпата, молотого ферросилиция и древесного угля, а при кислой подине — из шамота, битого стекла, кварцевого песка и небольшого количества марганцевой руды, добавка которой

необходима для связывания кремния в шлаке. После образования в печи достаточно жидкоподвижного шлака и раскисления металлических окислов шлака двумя-тремя порциями раскислительной смеси вводят феррохром частями, предварительно подогрев его. С момента введения феррохрома необходимо следить за температурой металла. Особенно это важно при добавке азотированного феррохрома. Так как начало распада нитридов хрома происходит при $1530\text{--}1540^\circ$ (по Ругорто), повышать температуру сверх 1530° (по Ругорто) не следует, потому что при этом невозможно получить мелкое зерно, отливки же будут пузыристыми. При введении каждой порции феррохрома необходимо раскислять шлак либо ферросилицием с углем, либо алюминием; при этом из шлака восстанавливается хром.

Если требуется весьма низкое содержание кремния, а феррохром содержит много этого элемента, раскисление ведут алюминием или боркальком (смесь 40% Al и 60% CaO в измельченном виде).

При немецком методе плавки процесс рафинировки металла весьма длителен.

После расплавления всего феррохрома, шлак и металл раскисляют окончательно и, если требуется, вводят дополнительно легирующие элементы — титан, молибден и пр. (примерно за 15—20 мин. до выпуска). Сталь получается вполне удовлетворительного качества, но процесс плавки длителен и требует большого расхода электроэнергии.

2. Американский метод. Шихту составляют либо из мягкого железа (0,08—0,10% C), либо из отходов с содержанием 0,25—0,30% C и 0,5—0,6% Mn. В первом случае процесс расплавления ведут под белым шлаком с последующим введением феррохрома частями при одновременном раскислении шлака. Во втором случае дают небольшой кип, причем допускается понижение содержания марганца до 0,1—0,12% (в отличие от немецкого метода). Американский метод характеризуется малым количеством шлака во второй период (восстановительный шлак) и чрезвычайно форсированным расплавлением феррохрома. Таким образом продолжительность плавки и расход электроэнергии значительно сокращаются. После расплавления феррохрома шлак и металл раскисляют окончательно и выливают в ковш. Ферротитан вводят в струю металла и частично в ковш.

3. Метод переплавки отходов. Этот метод часто применялся на заводе Круппа, «Серп и Молот» и на заводе им. Ленина (Ленинград). Он состоит в том, что отходы расплавляются в электропечи, причем после расплавления

в ванну дается 2—3% руды для того, чтобы понизить содержание углерода на 0,04—0,05%; это очень важно при выплавке таких сталей, как 18/8, фурродит и пр. Выгоревший же хром (около 6—8% от общего количества) частично восстанавливается, а частично восполняется дачей феррохрома.

4. Метод Кировского завода. Завалка производится таким образом, чтобы после расплавления было 0,3—0,4% С. В завалку дается известь. Окисление идет нормальное, на обычных железистоизвестковых шлаках с удалением их. После удаления шлака металл раскисляют сплавом АМС и при поднятых электродах вводят двумя-тремя крупными порциями предварительно подогретый феррохром. Рафинировка плавки идет под полуокислым шлаком, отчасти «с а м о р о д н о м», отчасти полученным путем присадки небольших количеств шамота (боя). Количество шлака весьма незначительно, оно составляет только 1—2% от веса металлической шихты. Шлак раскисляется толченым ферросилицием. После доведения плавки до требуемого состава, металл выпускают из печи. Ферротитан вводят за 15 мин. до выпуска при выключенном токе; ток включают только за 3—4 мин. до выпуска плавки.

Некоторые заводы ведут процесс плавки на карбидном шлаке. Для образования карбидных шлаков необходима очень высокая температура; это ведет к сильному перегреву металла и, следовательно, недопустимо при производстве нержавеющей и жароупорных сталей; кроме того, при этом происходит значительное науглероживание металла.

Ниже приведен хронометраж некоторых плавок на нержавеющей и жароупорную сталь в дуговых электропечах при различных исходных материалах.

Плавка 25/20. Основная дуговая печь (с полным окислением)

- 5 ч. — м. Завалка — 6140 кг: стальной лом, чугуна 2,5—4,00% Mn, отходы стали 25/20, известь 200 кг, шпат 100 кг
- 6 ч. 40 м. I проба после расплавления: 0,96% С; 1,55% Mn
- 6 ч. 45 м. Дача руды и извести порциями (руды всего 600 кг + извести всего 100 кг)
- 7 ч. 15 м. Спуск шлака
- 7 ч. 30 м. II проба 0,16% С; 0,35% Mn
- 7 ч. 35 м. Дача руды порциями (руды всего 400 кг + извести 100 кг)
- 8 ч. 15 м. III проба 0,05% С; 0,14% Mn
- 8 ч. 30 м. Дача 50 кг FeMn (87,4% Mn; 0,81% С)
- 8 ч. 40 м. Окончательный спуск шлака
- 8 ч. 50 м. Дача 50 кг F. Mn. Заводка нового шлака
- 9 ч. 10 м. IV проба: 0,04% С, 0,5% Mn
- 9 ч. 15 м. Дача отходов стали 25/20 — 4000 кг
- 11 ч. 10 м. V проба: 0,1% С; 8,74% Cr; 17,0% Ni
- 11 ч. 15 м. Начало дачи FeCr (подогретого) порциями по 400 кг

- 12 ч. 05 м. Конец дачи FeCr (62,60% Cr; 0,080% C), всего дано 3200 кг
При расплавлении FeCr на шлак дано (75%) FeSi — 300 кг, кроме того — 700 кг FeSi — дано в виде кусков
- 12 ч. 20 м. Выпуск металла. Окончательный состав: 0,130% C; 2,180% Si; 0,90% Mn; 25,30% Cr; 20,20% Ni; 0,010% P; 0,010% S
Температура разливки 1420 (по Ругорто)

Плавка 18/8. Основная дуговая печь (переплавка отходов)

- 22 ч. 45 м. Завалка — 12 000 кг: отходов — 18/8, стружки — 18/8, брака литья — 18/8.
- 1 ч. 40 м. Расплавление
- 2 ч. 05 м. I проба: 0,310% C; 6,540% Ni; 15,040% Cr
- 2 ч. 05 м. Дача руды — 250 кг
- 2 ч. 30 м. II проба: 0,280% C; 12,20% Cr
- 2 ч. 40 м. Дача FeCr по частям, всего 1800 кг
Дача никеля 300 кг
- 3 ч. 35 м. Дача 20 кг FeSi + 10 кг боркалька + 5 кг алюминия
- 4 ч. 00 м. Дача 10 кг FeSi + 5 кг боркалька + 5 кг алюминия
- 4 ч. 30 м. Дача 5 кг FeSi
- 4 ч. 45 м. Выпуск 10 кг AMS в ковш
Окончательный состав
0,30% C; 0,260% Si; 0,370% Mn; 21,00% Cr; 7,70% Ni

Плавка № Ф315

- 15 ч. 10 м. Загружено 4 т шихты (ВАО-1010)
- 16 ч. 05 м. Включен ток (V — 104; kW — 500)
- 17 ч. 55 м. Дано 56 кг извести
- 17 ч. 56 м. Переключен ток (V — 147; kW — 2000)
- 18 ч. 00 м. Шихта расплавлена; перемешана ванна
- 18 ч. 00 м. Первая проба для экспресс-лаборатории (0,130% C; 0,130% Mn; 0,030% P.)
- 18 ч. 08 м. Дано 7 кг FeMn
- 18 ч. 29 м. Скачан шлак
- 18 ч. 40 м. Дано частями 18 кг FeMn
- 18 ч. 48 м. Дано 52 кг извести
- 19 ч. 20 м. Дано 10 кг молотого FeSi (40% Si) и 40 кг извести,
- 19 ч. 24 м. Дано 5 кг FeMn
- 19 ч. 25 м. Дано 5 кг плавикового шпата
- 19 ч. 40 м. Перемешана ванна
- 19 ч. 40 м. Вторая проба для экспресс-лаборатории (0,170% C; 0,340% Mn; 0,0250% P)
- 19 ч. 42 м. Дано 39 кг смеси [4 кг торфяного кокса, 10 кг молотого FeSi (45% Si), 20 кг извести и 5 кг шпата]
- 19 ч. 52 м. Перемешана ванна
- 19 ч. 54 м. Дано 40 кг указанной выше смеси
- 19 ч. 57 м. Дано 3 кг Al
- 19 ч. 59 м. Перемешана ванна. Вторая проба металла
Вторая проба шлака
- 20 ч. 00 м. Дано 400 кг FeCr (подогретого)
- 20 ч. 12 м. Дано 12 кг извести
- 20 ч. 18 м. Перемешана ванна
- 20 ч. 19 м. Выключен ток, подняты электроды
Дано 350 кг FeCr (подогретого)

- 20 ч. 22 м. Включен ток (V —147; kW —1200)
 20 ч. 31 м. Дано 84 кг извести
 20 ч. 42 м. Дано FeCr (подогретого)
 20 ч. 59 м. Перемешана ванна
 21 ч. 08 м. Дано 30 кг извести
 21 ч. 13 м. Дано 40 кг FeCr
 21 ч. 19 м. Дано 32 кг извести
 Дано FeCr
 21 ч. 49 м. Перемешана ванна
 21 ч. 30 м. Переключен ток (V —147; kW —2000)
 21 ч. 01 м. Дано 400 кг FeCr
 22 ч. 10 м. Дана смесь [4 кг торфяного кокса; 10 кг молотого FeSi (45% Si); 16 кг извести]
 Перемешана ванна
 23 ч. 5 м. Перемешана ванна
 23 ч. 36 м. Третья проба для экспресс-лаборатории (0,28% C)
 23 ч. 43 м. Дано 400 кг FeCr
 0 ч. 05 м. Перемешана ванна. Дано 10 кг плавикового шпата
 0 ч. 11 м. Дано 600 кг FeCr
 0 ч. 30 м. Дано 12 кг извести
 0 ч. 35 м. Перемешана ванна. Дано 200 кг FeCr
 1 ч. 01 м. Четвертая проба металла; третья проба шлака
 1 ч. 08 м. Дано 22 кг извести
 1 ч. 17 м. Дано 3 кг Al
 1 ч. 20 м. Выпуск металла — 1480° (Pyropto)

Химический состав металла (в %) во время плавки

| № проб | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni |
|-----------------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 1 | 0,06 | Следы | 0,11 | 0,015 | 0,015 | — | — |
| 2 | 0,19 | 0,29 | 0,47 | 0,018 | 0,017 | — | — |
| 3 | 0,26 | 0,34 | 0,34 | 0,024 | 0,010 | 29,62 | — |
| Конечный состав | 0,24 | 0,19 | 0,33 | 0,021 | 0,010 | 27,06 | 0,26 |

Процесс плавки в высокочастотных печах сводится, главным образом, к переплаву отходов нержавеющей жароупорных сталей, т. е. брака, скрапа, стружек и пр., либо на чистой шихте.

В последнем случае в завалку дают чистые отходы от проката армко или ВАТО-1008, феррохром (малоуглеродистый), рафинированный ферромарганец и пр.

Ниже приводится хронометраж одной плавки из стали 18/8 на фасонное литье в 350 кг высокочастотной печи.

Шихта

| | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|
| Отходы 18/8 | 225 кг | |
| Стружка 18/8 | 50 " | |
| ЭЯЗС — отходы | 20 " | |
| FeCr (64,50% Cr; 0,10% C) | 5 " | |
| FeMn (86,0% Mn; 1,00% C) | 2 " | |
| FeSi (76,00% Si) | 2 " | |
| Al | 0,15 " | (в жолоб) |
| Стекло (бой) | 3,0 " | (для наводки шлака) |
| Всего | 307 кг | |

| | |
|--|-------------------------------------|
| Начало завалки | 11 ч. 03 м. |
| Счетчик умформера | 5825 kW |
| Начало плавнения | 11 ч. 17 м. |
| Рабочее напряжение печи | 165 kW |
| Ампераж конденсатора тока 2000/100 | 600 A (lim — 700 A) |
| Вольтаж генератора | 1600 V (мощность генератора 100 kW) |
| „ конденсатора 3000/100 | 1500 VA, конденсатор 500 |
| Ампераж генератора тока | 96 A |
| Вольтаж (возбудителя) | 80 V |
| Ампераж „ | 75 A |

| | |
|--|-------------|
| Дано 2 кг битого стекла | 12 ч. 00 м. |
| „ 0,5 кг камня „ шлама | 12 ч. 05 м. |
| Дано 0,5 кг камня „ шлама | 12 ч. 08 м. |
| Дано 1 кг стекла для шлама | 12 ч. 10 м. |
| Снижен V и A (для улучшения кипа) | 12 ч. 14 м. |
| Дано FeSi | 12 ч. 14 м. |
| Даны FeMn | 12 ч. 14 м. |
| Взята проба в стаканчик | 12 ч. 16 м. |
| Добавлено 0,3 кг FeSi | 12 ч. 18 м. |
| Подан нагретый ковш | 12 ч. 21 м. |
| Выключен ток | 12 ч. 23 м. |
| Начат выпуск металла | 12 ч. 24 м. |
| Начата разливка металла в формы | 12 ч. 26 м. |
| Закончена разливка металла (залито 6 форм) | 12 ч. 33 м. |

Расход электроэнергии 260 kW

Завалка начинается с крупных кусков, по мере расплавления добавляются стружка и мелочь.

7. ФОРМОВОЧНЫЕ И СТЕРЖНЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СМЕСИ

Выбор формовочных материалов для облицовочных и стержневых смесей на различных заводах зависит от местных условий и от применяемых исходных материалов. Физические и механические свойства этих смесей должны, однако, соответствовать особенностям хромистых, хромоникелевых, хромомарганцевых и других сортов сталей этой категории. Из сказанного выше видно, что усадка этих сталей значительно больше, чем простых углеродистых. Следовательно, формовочная смесь для формовки деталей из этих сталей должна оказывать минимальное сопротивление усадке. При этом, однако, необходимо, чтобы смесь обладала большой крепостью ввиду больших скоростей заполнения формы. Следует учесть, что всякого рода намывы, засоры в отливках из этих сталей трудно устранимы. Дефекты отливок трудно завариваются. Дефекты формы ведут либо к увеличению количества неметаллических включений, либо (если удастся вырубить и зава-

ритель получающиеся дефекты) заставляют производить повторную термообработку отливок для выравнивания структур.

Для установления оптимальных физико-механических свойств формовочных и стержневых смесей для литья из нержавеющей и жароупорных сталей, автор исследовал физико-механические свойства целого ряда смесей зарубежных заводов. После этого были подобраны идентичные по физико-механическим свойствам смеси.

В качестве исходных материалов автор применял люберецкий и часов-ярский пески, а также целый ряд органических связующих.

Люберецкий песок относится к категории кварцевых. 75—80% зерен остается на сите № 70 и от 17 до 21% на сите № 100. На ситах № 6, 12 и 20 остатков не имеется. От 93 до 97% зерен располагается на двух соседних ситах и лишь только от 3 до 7% зерен на остальных трех.

По форме зерна люберецкий песок относится к типу смешанных со значительным преобладанием круглых и овальных зерен. Недостатком его является высокое содержание глинистых веществ (0,73—0,75%) и полевого шпата (6—6,5%).

Содержание плавней в песке достигает почти 2%, особенно много в нем Fe_2O_3 . Отсутствие MgO и низкое содержание CaO (около 0,3%) обуславливает высокие огнеупорные свойства песка. Испытание показало, что при 1600° образец песка не дал спекания. Этот песок вполне пригоден для форм мелкого и среднего литья из высоколегированных сталей.

Часов-ярский песок также довольно однороден: 65% зерен падает на три соседние номера сит (№ 70, 100, 140). До сита № 40 песок почти не дает остатков и только 5% его остается на остальных трех ситах, не считая глинистых веществ, содержание которых равно примерно 17—19%.

Песок относится к классу № 4 с числом зерновой тонкости 83.

При исследовании песка под микроскопом отчетливо видно, что каждое зерно окружено тончайшей глинистой оболочкой; это качество очень ценно, так как обеспечивает большую крепость при хорошей газопроницаемости.

Глинистая составляющая этого песка в противоположность германским пескам хорошая и спекается при $1550—1575^\circ$ при хорошей клейкости.

При 4% влаги крепость на сжатие этого песка составляет $1,05 \text{ кг/см}^2$ при газопроницаемости 100 см/мин .

В часов-ярском песке форма зерен смешанная, преобладают угловатые зерна; он содержит до 3,35% Fe_2O_3 и до 1,13% $CaO + MgO$.

Ниже приведены составы смесей, которые по физико-механическим свойствам подобны немецким и американским.

Смесь для мелкого и среднего жароупорного и нержавеющей тонкостенного литья (облицовочная по-сырому и стержневая): часов-ярского и люберецкого песков — по 50 частей (по объему), угольной пыли (древесный уголь) — 3 части, сульфитного щелока в порошке — 3—3,5 частей.

По тонкости зерновой структуры эту смесь можно отнести к классу № 5 с числом зернистости 52 (по АФА). При добавке 4—4,5% воды газопроницаемость смеси составляет 90—95 см/мин, а крепость на сжатие — 0,74—0,76 кг/см².

Смесь для очень тонкостенных отливок (стержневая и облицовочная по-сырому), склонных к горячим трещинам (топливники, ящики с толщиной стенок 5—5,5 мм и пр.), и особенно для набивки болванов и больших стержней в формах, заливаемых всырую: часов-ярский песок и люберецкий песок — по 40 частей, сухих опилок — 20 частей, молотого древесного угля — 1 часть, сульфитного щелока — 5 частей.

При набивке стержней и форм необходима хорошая поверхностная плотность. Форма, изготовленная из этого состава, не должна подсушиваться ни с поверхности, ни целиком. Формы и стержни из этого состава, подлежащие сушке, надо красить специальной краской. При добавке 4,0—4,5% влаги газопроницаемость смеси составляет 80—90 см/мин и крепость на сжатие — 0,65—0,67 кг/см².

Облицовочная смесь для среднего и крупного литья из жароупорных сталей (колеса Пельтона, котлы толстостенные и пр.): часов-ярского песка — 60 частей, люберецкого песка — 40 частей, угольной пыли — 4 части, сульфитного щелока — 5 частей.

Смесь по тонкости зернового строения мельче, чем первая. Это дает, кроме повышенной крепости, также повышенную шлакоустойчивость поверхности формы, т. е. уменьшает возможность образования различных силикатов и легкоплавких эвтектик (уменьшает величину пригара).

При 4,5% влаги газопроницаемость равна 75—80 см/мин, крепость — 0,80—0,85 кг/см².

Стержневая смесь. Для отливок из нержавеющей и жароупорной стали чаще всего приходится применять песчано-масляные стержни. Преимущества этой смеси: 1) при изготовлении стержней не требуются железные каркасы, и стержни хорошо выдерживают давление металла; 2) стержни обеспечивают свободную усадку металла, имеют очень хорошую газопроницаемость, могут долгое время храниться на складах, могут быть выполнены с острыми краями (в противо-

положность стержням с другими связующими) и легко поддаются подгонке.

Однако изготовление масляных стержней связано со следующими затруднениями. Смесь песка и масла при наполнении стержневого ящика не имеет никакой связи в сыром состоянии, и упрочняется только во время сушки при 220—200°, когда образуется вязкая эластичная пленка, покрывающая и соединяющая зерна песка. Поэтому изготовленный стержень в целях придания ему большей крепости приходится выдерживать некоторое время в стержневом ящике. Кроме того, при сушке стержень оседает, меняя объем и форму, что недопустимо при производстве ответственных отливок из высоколегированных сталей.

Стержни из смеси, состав которой приведен ниже, приобретают требуемую крепость в стержневом ящике в течение короткого промежутка времени. После этого их можно переносить в сушила, не опасаясь повреждений. Размеры стержней из этого состава при сушке не меняются. Смеси приготавливают следующим образом: смешанные предварительно 10 л льняного масла, 110 г сурика (в порошке), 450 г свинцовых белил (в порошке) и 450 г гипса загружают в смеситель, в котором находится высушенный песок. После смешения в смесителе нужно немедленно приступать к изготовлению стержней. Для масляных стержней лучше всего применять чистый кварцевый песок (типа люберецкого), желательнее более мелкий, так как при крупнозернистом песке поверхность отливки получается негладкой, что недопустимо при изготовлении кислотоупорных деталей насосов.

При крупном песке можно также получить ровную и гладкую поверхность отливок, но это связано с окраской стержней, удлиняющей процесс изготовления их и понижающей газопроницаемость. Для масляных стержней лучше всего применять песок, состоящий преимущественно из зерен кремнезема однообразной сферической формы, не содержащий засоров (ила или мелких известковых раковин). Масла необходимо ввести в песок 2,5—3% по весу.

В последнее время успешно применяют стержни из молотого кварца, связанного маслом с указанными выше добавками. Крепость такой смеси равна 0,3—0,40 кг/см² при газопроницаемости 30—50 см/мин. Крепость сухих образцов составляет 80—85 кг/см² при газопроницаемости 60—85 см/мин.

В этом случае масла вводят 2,0—2,5%. Необходимо добавлять 2—3% воды. Стержни из молотого кварца и масла с добавкой гипса, сурика и белил просты в изготовлении, дают

ровную и чистую поверхность (без пригара) и совершенно не изменяются в размерах при сушке.

Краски для форм и стержней изготавливаются на маршалитовой основе или из каустического магнезита. Крепителем в маршалитовых красках является пектиновый клей либо патока. Содержание в маршалите кремнекислоты должно быть не ниже 98%.

Краска из каустического магнезита растворяется на сульфитном щелоке (раствор сульфитного щелока 8—10° по Боме).

8. ФОРМОВКА ЛИТЬЯ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ И ЖАРОУПОРНЫХ СТАЛЕЙ

Литье из нержавеющей и жароупорных сталей формуют в стержнях (американский метод) с поверхностной подсушкой формы (немецкий метод).

Учитывая трудность обработки отливок из этих сталей зубилами и наждаками, особое внимание надо уделить подводу литников, простановке прибылей и выпоров, а также тщательности отделки поверхности формы. Литники нужно выбирать соответствующего сечения и подводить так, чтобы форма наполнялась равномерно с возможно большей скоростью; металл при этом должен хорошо заполнять самые тонкие части отливок. Литники следует подводить, по возможности, в тонкие места отливки симметрично и равномерно по сечению формы.

Подвод литников в тонкие места отливки обеспечивает заполнение последних даже при холодном металле и выравнивает условия охлаждения толстых и тонких сечений отливки, что приводит к уменьшению натяжения. Кроме того, прирезка литников в тонкую часть отливки устраняет образование подлитниковых усадочных раковин, которые обычно наблюдаются в случае прирезки литников в толстую часть отливки.

Нессимметричность и неравномерность наполнения форм металлом при неправильной прирезке литников приводит к различным величинам зерен в разных местах отливки и к местной близлитниковой транскристаллизации, что ослабляет механические качества и вызывает вредные натяжения в отливке. Сечение литников не должно быть очень большим, так как это вызывает подлитниковые усадочные раковины. При

необходимости целесообразно увеличить количество питателей. Направление питателей следует вести так, чтобы металл не ударялся о стенки формы и стержня. При изготовлении некоторых деталей металл нужно подводить сифоном через двойные соединяющие стояки. Выпор устанавливают лишь в случае заливки без прибылей, например в тонкостенных жароупорных отливках (цементационные ящики, поддоны и т. д.).

Учитывая большую склонность специальных сталей к образованию усадочных раковин, даже при небольшом местном утолщении отливки, при конструировании деталей нужно стремиться к равномерной толщине сечения стенок и избегать резких переходов.

Прибыли следует располагать так, чтобы было обеспечено питание наиболее толстых и, следовательно, медленнее остывающих сечений детали. Прибыли на деталях, отливаемых из кислотоупорной стали, необходимы еще и потому, что эти отливки должны быть весьма плотными. Весьма желательна простановка шаровых прибылей.

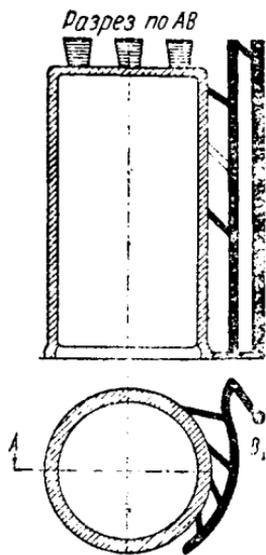
Для получения мелкозернистой структуры, а также для устранения местных усадочных раковин (которые невозможно вывести в общую прибыль) можно охлаждать толстые сечения с помощью наружных и внутренних холодильников. Простановка наружных холодильников полезна и поэтому часто практикуется при отливке специальных сталей. Несколько сложнее обстоит дело с внутренними холодильниками. При отливке деталей для кислотоупорной аппаратуры, в особенности аппаратуры, работающей под высоким давлением, внутренние холодильники, а также жеребейки для укрепления стержней, проставлять не следует, даже если они сделаны из того же металла, что и отливаемая деталь, так как эти холодильники или жеребейки явятся очагами коррозии в отливках. При отливке жароупорных сталей допускается простановка внутренних холодильников небольших размеров, чтобы они после предварительной очистки могли целиком развариться в металле.

Выход годного для жароупорного литья составляет 55—65%, литники, выпоры и прибыли — 27—35%; скрап (всплески и пр.) — 2,5%, брак — 8—12,5%.

При кислотоупорном литье (из стали 18/8 У-4-А) скрап составляет 2—2,5%, литники, выпоры и прибыли — 50—55%; брак — 12—14%. Выход годного, по данным немецких заводов, при жароупорном литье колеблется от 50 до 55%, а при кислотоупорном от 35 до 37%.

Формовка котла

Большие котлы (фиг. 43) заливают вертикально, дном кверху. Питатели подводят по касательной. Литник соединяют снизу двумя стойками, что способствует ослаблению ударов струи поступающего металла. Питатели можно подводить в несколько ярусов, с убывающими в каждом ярусе площадями (от верха вниз) в зависимости от толщины стенок, высоты отливки и химического состава металла (если котел является отливкой для отжига или цементации; если в котле будет находиться жидкость, то ярусную подводку металла делать нельзя). Для обеспечения большей плотности дна на нем устанавливают прибылы. Формовку можно производить с болваном при металлической модели и со стержнем при деревянной. Для облегчения усадки отливки болван, а также стержень необходимо делать пустотелыми с шлаковой или коксовой набивкой.



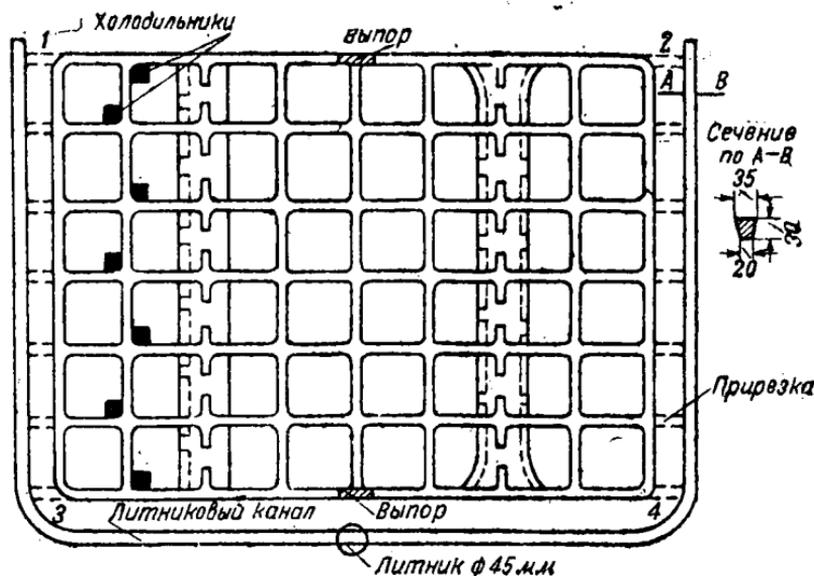
Формовка поддона цементационной печи

Фиг. 43. Формовка котлов из жароупорных сталей.

На фиг. 44 показана формовка поддона цементационной печи для Харьковского тракторного завода. Для облегчения формовки модель лучше всего делать металлической. Для обеспечения правильного положения бобышек на роликовой плоскости, их лучше делать съемными, прикрепляя на общую планку, которая соединяется на шипах с моделью (фиг. 45). Толщина планки 5—7 мм, ширина берется по основанию бобышки. Формовка производится в двух опоках. Нижнюю опоку помещают на специальную подмодельную доску, на которой в соответствующих пазах имеются рейки с направляющими бобышками. Одновременно проставляют наружные холодильники, охлаждающие каждое пересечение решетки (по одному на пересечение). У холодильников следует избегать острых углов, которые способствуют образованию трещин в отливке. Решетки, отлитые без холодильников, непрочны (в местах пересечения наблюдаются усадочные раковины) и при нагреве быстро лопаются.

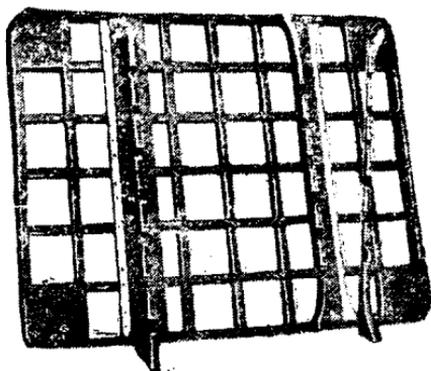
После набивки облицовочной и наполнительной смесью нижнюю опоку переворачивают. Подмодельную доску сни-

мают и приступают к формовке верхней опоки. Набивку верхней опоки следует вести осторожно, чтобы не сдвинуть вбок



Фиг. 44. Формовка поддона для цементационной печи.

планку с прикрепленными бобышками. После раскрытия опок, прирезки литников и выемки модели отделяют форму, причем в бобышки, находящиеся в верхней опоке, вставляют внутренние холодильники для предотвращения подсадин, образующихся под бобышками. На фиг. 44 показаны подвод литников и выпоров и постановка холодильников. В случае длинных и узких решеток литники подводят только с длинной стороны, причем питатели делают либо во все перекладины, либо через одну в зависимости от жидкотекучести стали. При квадратных решетках симметрично. При одностороннем подводе литника заливку в формах литники подводят с двух сторон, и форма заполняется производят в наклоненную форму.



Фиг. 45. Модель поддона.

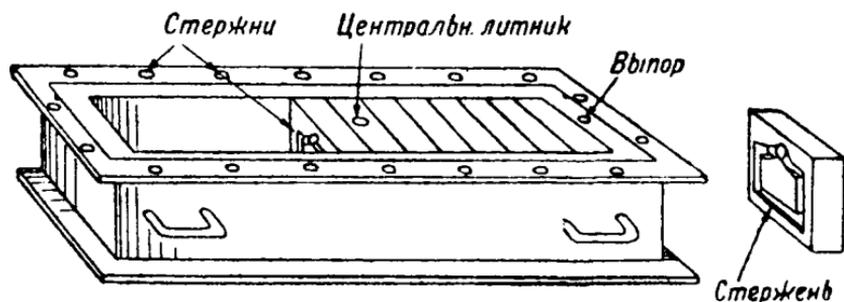
Формовка молотков для серносульфитных аппаратов

Эти детали отливаются из хромомарганцевомедистой стали. На фиг. 46 изображена отливка этих деталей в стержнях. По-



Фиг. 46. Метод отливки молотков для серносульфитных аппаратов.

ловинки стержней приставляют одну к другой так, что два сложенных стержня образуют в середине форму молотка (фиг. 47). В одной опоре проставляют 40—50 стержней, так



Фиг. 47. Собранная форма для отливки молотков.

что одновременно получается 20—25 молотков. Форма заполняется металлом из одного сквозного, проходящего через все молотки литникового канала, являющегося одновременно прибыльной частью. При изготовлении стержней на внутренние углы плоскости, подверженной действию поступающего металла, и на цапфы необходимо ставить наружные массивные холодильники.

Формовка крылатки насоса

На фиг. 48 представлена крылатка насоса. Прибыли устанавливают сверху отливки, закрывая всю втулку, так как только такая большая прибыль может полностью обеспечить питание отливки и вывести вверх усадочную раковину.

Чтобы иметь гарантию в том, что усадочная раковина будет выведена полностью, в прибыль снизу крылатки устанавливают еще наружный кольцеобразный холодильник.

На фиг. 49 дан разрез отливки крылатки насоса. Усадочная раковина целиком вышла в прибыль и отливка получилась очень плотной.

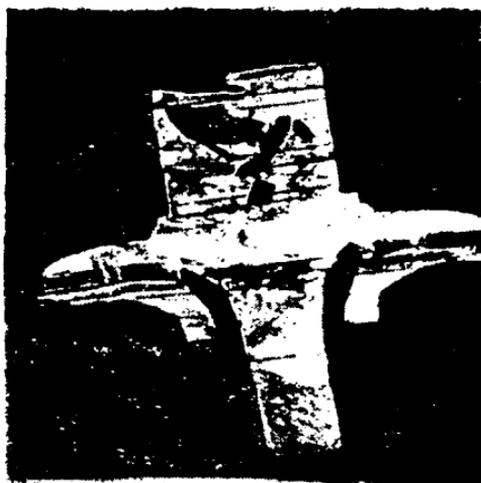


Фиг. 48. Формовка крылатки насоса.

9. ЗАЛИВКА И ВЫБИВКА ЛИТЯ

Разливку жароупорных и нержавеющей сталей в формы можно производить из ковша через носок или через стопор. Преимущество разливки через носок состоит в том, что при этом способе можно применять нужные скорости наполнения формы при надлежащем ферростатическом давлении. Недостатком стопорной разливки является частое замораживание стопора. Несмотря на это многие заводы производят разливку этих сталей через стопор. При стопорной разливке стаканчик нужно ставить не в уровень с дном ковша, а на 30—40 мм выше. Это до некоторой степени способствует меньшему замораживанию и затягиванию стакана.

Как правило, перед разливкой в формы металл нужно обязательно выдерживать в ковше. При этом обеспечивается соответствующая температура разливки, а кроме того и неме-



Фиг. 49. Разрез отливки крылатки насоса.

таллические включения успевают всплыть¹. Температура заливки стали в формы зависит от свойств заливаемой стали.

Для получения чистых поверхностей и достижения большей плотности отливок заливку плоских деталей следует производить в формы, поставленные наклонно. Если деталь не имеет прибыли, металл следует перепускать через выпор². Через 2—4 мин. после заливки формы, расчеканивают и разрушают большие стержни (вытащив каркас или потревожив стержень ломом). Это делается с целью уменьшения количества горячих трещин в отливках.

Так как описанные стали имеют большую усадку, то неоднократная доливка металла в прибыль («добавка») весьма полезна, так как при этом уменьшается усадочная раковина и сокращается расход металла на прибыли.

Некоторые стали (сильхром, хромоалюминиевые) вследствие слишком малой теплопроводности при ускоренном остывании отливок в формах дают микротрещины, а при чрезмерных напряжениях — также и холодные трещины. Для предотвращения этого явления литье приходится охлаждать очень медленно, а в некоторых случаях, например при сложной конфигурации отливки, прибегают к охлаждению в специальных печах. Деталь после заливки при температуре 1000—1100° помещают в подогретую до этой же температуры печь, где она и остывает вместе с печью. Выбивать отливки из форм нужно весьма осторожно, так как ударами кувалды можно разбить детали, особенно из таких сталей как: сильхром, фехраль и др. Аустенитные стали менее подвержены образованию холодных трещин, однако отливки из них следует выдерживать в формах до полного остывания с тем, чтобы уменьшить внутренние напряжения.

10. ОЧИСТКА ЛИТЬЯ

Очистка литья из жароупорных и нержавеющей сталей состоит в основном из следующих операций: 1) удаления литников, прибылей, выпоров; 2) заварки поверхностных дефектов; 3) термообработки; 4) зачистки наждаком; 5) правки; 6) травления.

Удаление литников, выпоров и прибылей

Эту операцию производят автогеном или электродугой. Отрезка автогеном крайне затруднительна и требует специального режима. При резке автогеном давление кислорода и

¹ Чрезмерная выдержка в ковше, однако, нежелательна. *Ред.*

² Заливка с перепуском во многих случаях желательна даже и при наличии прибылей. *Ред.*

ацетиленом должно быть очень высоким, а режущее пламя сильно восстановительным, так как только при этом условии можно расплавить металл. Ввиду того, что восстановительная атмосфера может сильно науглеродить расплавленный металл, линия отреза не должна идти вровень с телом отливки (обычно оставляют примерно 1,5—2 мм). Кроме того, недостатком автогенной резки являются напряжения и трещины, возникающие в детали вследствие сильного разогрева. В особенности это относится к сталям ферритового и полуперлитового классов.

При отрезке литников и выпоров электродугой, особенно при постоянном токе, такого разогрева не наблюдается. Отрезку дугой можно вести при помощи угольных и металлических электродов. При обратной полярности и длинной дуге опасна опасность науглероживания металла даже в случае применения угольного электрода. При использовании металлического электрода науглероживание металла совершенно отсутствует, но скорость отреза по сравнению с угольным электродом уменьшается. Для резки применяют мягкие углеродистые электроды с обмазкой (марки ОМ. ММ2). Наиболее рациональным и правильным методом является отрезка на пиле «Марс». При этом методе совершенно устраняется нагрев детали и, следовательно, отсутствуют тепловые напряжения в отливке а также изменения структуры.

Иногда прибыли отрезают на станках резцами. Для этого отливки из хромистых 12—29% Cr, хромоалюминиевых и других сталей приходится предварительно отжигать при 800—950°. Стали мартенситного и ферритного классов легче поддаются обработке режущим инструментом после отжига. Стали аустенитного класса легче обрабатываются после закалки, т. е. при полном растворении карбидов. В некоторых цехах литники, выпоры и прибыли отбивают кувалдой. Это совершенно недопустимый метод, ведущий к образованию трещин и пр. Однако при применении литников и прибылей с пережимами или специальных конструкций отбивка желательна.

Заварка дефектов

Заварка дефектов в отливках из рассматриваемых сталей является очень трудной операцией, требующей тщательного подхода, так как при этом может получиться чрезвычайно большой рост зерна, пузыристость шва, изменение структуры.

Эти дефекты не удается исправить последующей термообработкой.

Влияние элементов и особенностей сварки сводится к следующему.

Хромистые стали. Хром понижает жидкотекучесть стали, следовательно, из хромистой стали затруднен выход газов, находящихся в металле шва. Высокое содержание хрома ведет к понижению теплопроводности стали. Вследствие этого при остывании сварных швов получают значительные натяжения. Кроме того, образовавшиеся при сварке окислы хрома, температура плавления которых очень высока (2180°), затрудняют процесс сварки. Во избежание этого в состав электрода и обмазки вводят кремний, при наличии которого окислы хрома переходят в легкоплавкий хромистый силикат (температура плавления 1500°), легко переходящий в шлак. Electroды из высокохромистой стали должны содержать примерно на 2,5% выше верхнего предела хрома, так как в процессе сварки хром выгорает.

Ниже приводится состав стали для электродов, неоднократно проверенный на практике и дающий при соответствующей обмазке высококачественный шов: не более 0,25% С; 30% Cr; 1% Ni; 1—1,3% Si; 0,5% Mn.

Азотированный металл для электродов применять нельзя, так как при температуре вольтовой дуги в шве нитриды хрома разлагаются и появляются газовые пузыри.

Титан значительно измельчает размер зерна в заваренном шве, а поэтому в состав металла для электродов из хромистой стали следует вводить 0,25—0,40% Ti; однако вязкость шва от этого не увеличивается.

Мартенситные и полужерритные стали лучше всего заваривать хромоникелевыми электродами типа 18/8, но с низким содержанием углерода и с добавкой в обмазку титана для получения чисто аустенитной структуры. Заварку этих деталей можно производить также электродами того же состава, что и основной металл (с учетом лишь выгорания хрома). Однако швы при этом получаются хрупкими, хотя структура металла в шве соответствует структуре основного тела.

Хромоникелевые стали. Electroды для заварки хромоникелевых сталей можно изготавливать из стали того же состава, что и завариваемая, но с повышением содержания хрома, учитывая угар его (примерно на 2—2,5% выше верхнего предела). Содержание никеля в металле электрода может быть в пределах заданного химического состава металла

отливки, так как никель при сварке не выгорает. Угар кремния можно не учитывать, так как кремний вводится в обмазку.

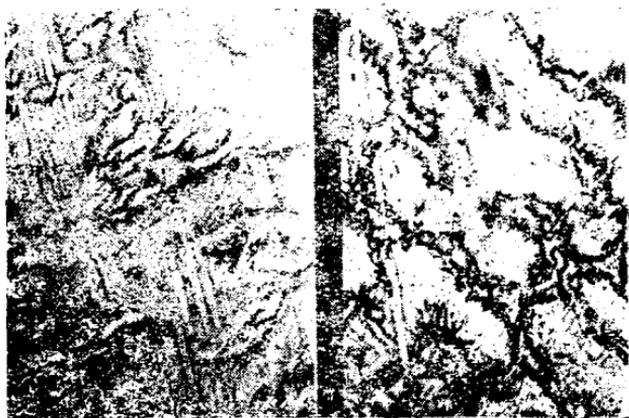
На фиг. 50 и 51 представлены микрофотографии наваренных швов силиконихромовой и хромо-никелевой сталью типа 18/8. Как шов, так и близлежащие места отливки имеют большое количество карбидов.

Добавка в металл электрода титана резко изменяет микроструктуру — шов получается чисто аустенитным.

Закалка с высоких температур значительно снижает твердость шва, приближая ее к твердости основного металла. Временное сопротивление швов как из силиконихрома, так и из стали 18/8 на 15—17% ниже, чем литых образцов. Исследование жароупорности и кислотостойкости пока-



Фиг. 50. Микроструктура шва и тела стали 18/8 в термически не обработанном состоянии ($\times 150$).



Фиг. 51. Микроструктура шва и тела стали 25/20 в термически не обработанном состоянии ($\times 500$).

зывает, что в этом отношении швы ведут себя так же, как и основной металл.

Обмазка для электродов из жароупорных и нержавеющей сталей

Влияние обмазки на качество и процесс сварки заключается в следующем: 1) обмазка придает устойчивость дуге; 2) защищает расплавленный металл от газов окружающей среды; 3) уменьшает скорость охлаждения металла, покрывая его в виде шлака; 4) смачивая основной (свариваемый) металл, обмазка облегчает соединение основного и наплавленного металла; 5) расплавленный шлак из обмазки электрода дает возможность получить высококачественный металл в расплавленном шве, ввиду раскисления, обесфосфоривания и обессеривания элементами, входящими в состав обмазки; обмазка позволяет при добавке к ней соответствующих элементов получить жароупорную сталь при простом углеродистом электроде.

Приведем один из составов обмазок, применяемых для электродов хромистых и других сталей мрамора 50 частей; плавикового шпата 27 частей; каолина 5 частей; ферросилиция 2,5 части; ферротитана 2,5 части.

Жидкое стекло добавляется в зависимости от требуемой густоты. Обычно на указанное количество компонентов дают 25—30 г жидкого стекла, в зависимости от концентрации последнего. Для сварки жароупорных сталей можно применять обмазку, рекомендованную доктором Рапатцом, в состав которой входят: 33% кварца, 37% магнезита, 12% плавикового шпата, 12% феррохрома, 6% ферромарганца с добавкой необходимого для связи жидкого стекла.

Все материалы при приготовлении тех или иных обмазок необходимо очень тщательно размолоть и просеять через сито с отверстиями диаметром не выше 0,105 мм. От тонкости помола материала зависит и качество наваренного металла.

При изготовлении обмазанных электродов для вышеуказанных марок сталей необходимо обращать особое внимание на поверхность электродных прутков. Масляные и жировые покрытия очень вредно отражаются на качестве заварки, поэтому перед покрытием электроды необходимо обезжирить путем промывки в растворе соды. Наличие внутренних трещин, поверхностных заусенцев, плен и других подобных дефектов электродной катанки никакого влияния на качество сварки не оказывает.

При нанесении обмазки на электроды не должно быть местных утолщений и неравномерного покрытия.

Особенности работы при заварке

При заварке жароупорных сталей сварщик должен сообщать концам электрода не колебательное движение, как при сварке мягкой стали, а движение по перекрывающимся овалам. Так как вольтова дуга при заварке жароупорных сталей должна быть по возможности короче во избежание сильного выгорания примесей, потерь на разбрызгивание и для предотвращения чрезмерного поглощения водорода сварным швом, то напряжение дуги в этом случае должно быть значительно меньше, чем при сварке углеродистой стали.

Большое удельное сопротивление жароупорных сталей при малой теплопроводности их дает концентрированный быстрый нагрев. Поэтому при заварке данных сталей можно применять ток меньшего ампеража, по сравнению с углеродистыми.

При заварке фасонного литья необходимо вырубить спекшуюся массу земли, а также рыхлый металл из усадочных раковин, а при толщине стенки отливки в 7—8 мм и выше сделать X-образные скосы. Обычно подготовку к заварке ведут путем выжигания, так как ни пневматическое, ни ручное зубило не берут жароупорную сталь. Выжженное место необходимо зачистить либо наждаком, либо, в крайнем случае, проволочной щеткой, для того чтобы снять верхнюю пленку окислов (хрома, кремния и других элементов), затрудняющую получение плотного шва.

Полярность, как уже говорилось выше, должна быть обратная. Учитывая высокое омическое сопротивление указанных сталей, особенно хромоникелевых и силиконихромовых, электроды следует делать более короткими, во избежание быстрого нагрева, затрудняющего сварку и ухудшающего привар. Для сокращения потерь на сгарки и времени на смену электродов, следует применять электроды длиной 400 мм и зажимать их по середине (очистив от обмазки 2—3 см). Для уменьшения влияния нагрева швы следует наваривать в несколько слоев. При накладывании в каждом слое тонких валиков не следует задерживать дугу на одном и том же месте. Такой прием значительно уменьшает перегрев металла.

Для уменьшения влияния магнитного поля на дугу ток к свариваемому изделию нужно подводить так, чтобы направление его было обратным направлению сварки. При временном прекращении сварки нужно проследить, чтобы оставшиеся в кратере шлак и окислы не попали в шов при возобновлении работы. Для этого перед началом сварки место обрыва надо зачистить зубилом или щеткой.

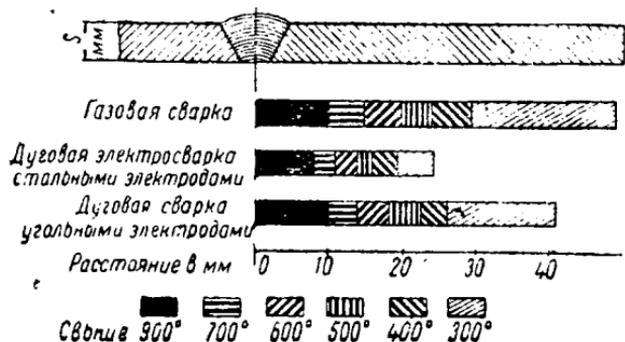
Ввиду незначительной теплопроводности этих сталей вблизи шва концентрируется очень большое количество тепла, создавая напряжения в завариваемой детали. Для отвода тепла под шов рекомендуется подкладывать медную подкладку, а в исключительных случаях заварку производить в нагретом состоянии.

Отливки из нержавеющей и жароупорных сталей можно исправлять газовой сваркой. Следует, однако, оговориться, что эти стали сваривать можно только при восстановительном пламени, что в значительной степени науглероживает металл

и понижает его антикоррозионные свойства.

Во избежание науглероживания металла не следует погружать в расплавленный металл светящийся внутренний конус пламени; он должен находиться на расстоянии 1—2 мм от места сварки.

Как электрозаварка, так и газовая за-



Фиг. 52. Диаграмма влияния температуры на структуру металла при различных способах сварки.

варка в значительной степени влияют на изменение структуры завариваемой детали.

На фиг. 52 представлена диаграмма влияния температуры на структуру металла при различных способах сварки. Из фигуры видно, что наибольшее распространение тепла наблюдается при газовой заварке; поэтому здесь изменение структуры охватывает большее пространство. Наилучшим сварочным материалом в данном случае, как и при электрозаварке, являются хромоникелевые стали, которые дают вязкий шов после соответствующей термообработки. Однако если сварочные прутки содержат титан, или же он введен в обмазку электрода, то шов будет иметь чисто аустенитную структуру непосредственно после заварки. Наилучший эффект дает заварка слева направо, так как в этом случае сварочное пламя захватывает и основной металл, и сварочный пруток. Кроме того, при этом можно все время двигать сварочный пруток. Для заварки нержавеющей и жароупорных сталей, при которой соединение металла шва и тела затрудняется пленками окислов, постоянное перемещение прутка и лучшая концентрация тепла представляют очень большое преимущество. Дру-

гими преимуществами являются: меньшее влияние соседней зоны основного (завариваемого) металла, более быстрая работа и лучшее проваривание.

Основные правила термообработки

Жароупорное литье, как правило, не подвергается термической обработке и лишь только в некоторых случаях отжигается для устранения напряжений или нагревается для правки покоробленных отливок. Нагрев под закалку или нормализацию и для других видов термообработки надо вести с очень малой скоростью, чтобы уменьшить количество микроскопических трещин, получающихся при большой скорости нагрева. Отливки из нержавеющей стали нельзя сразу помещать в горячую печь (500—600°). Лучше всего обрабатывать литье в методических печах (с предварительным подогревом).

Литье следует укладывать так, чтобы при охлаждении к каждой детали был свободный доступ воды и чтобы они не зажимали друг друга.

На каждую тележку следует грузить детали с примерно одинаковыми толщинами стенок. Это необходимо для равномерного подогрева всей подины. Излишняя выдержка литья в печи при температуре, близкой к закалке, вредна, так как при этом увеличивается рост зерна.

Ниже приводится примерный порядок работы при термообработке отливок.

Мартенситная нержавеющая хромистая сталь

1. Смягчающий отжиг (для отрезки на станках прибылей и пр.)

- а) Медленный нагрев до 600° по 45—55° в час;
- б) выдержка в печи при 600°—1 час;
- в) нагрев до 880—900° по 70—80° в час;
- г) выдержка в печи при 900°—2 часа (в зависимости от характера отливок);
- д) медленное охлаждение с печью.

2. Диффузионный отжиг и нормализация

- а) Нагрев до 700° по 40° в час;
- б) выдержка при 700°—2—2,5 часа (в зависимости от отливок);
- в) нагрев до 1025° по 60° в час;
- г) выдержка при 1025°—10 час.;
- д) быстрозастывание (во второй камере с продувкой воздуха) до 600°
- е) вторичный нагрев до 1025° по 75° в час;
- ж) охлаждение до 200—250° на воздухе (нормализация).

3. Отпуск

- а) Нагрев до 780° по 40—45° в час;
- б) выдержка 6—8 час. при 780°;
- в) охлаждение в печи по 35° в час.

Нержавеющая сталь

1. Нагрев до температуры 600—650° со скоростью 70—75° в час (камера подогрева должна иметь начальную температуру не выше 200—250°).

2. Нагрев литья в нагревательной камере до нужной температуры (сталь 18/8 до 1100°, марганцевохромомеднистая сталь 1200° и т. д.) со скоростью 90—100° в час.

3. Выдержка литья в печи при температуре закалки:

- а) при мелком литье с толщиной стенок до 20 мм . . . 1 ч.
- б) " средним " " " " " 50 " . . . 1 ч. 30 м.
- в) " " " " " " с 50—70 " . . . 2 часа
- г) при крупном литье с толщиной стенок 100 мм и выше 2, 5—3 ч.

После надлежащей выдержки литья в печи литье быстро снимается бугелем и также быстро погружается в воду (температура воды 20—25°).

Правка, зачистка и травление

Правка производится в том случае, если литье после закалки окажется покоробленным. Отливки из аустенитных сталей можно править под прессом в холодном состоянии, а из ферритовых, перлитных, высокохромистых, хромоалюминиевых и сильхромовых сталей — в нагретом. Правка литья в нагретом состоянии кувалдами совершенно недопустима.

Окончательная зачистка литья производится наждаками и зубилами. Зачистку лучше производить сырым наждаком, т. е. места зачистки поливать водой. Зачистка с водой предохраняет отливку от поверхностных микротрещин, которые неизбежно получают при сухой наждачной обработке. Если у термически обработанных отливок обнаруживаются какие-либо трудно удалимые наждачным кругом дефекты, то их можно удалить автогенной резкой в воде. Для увеличения стойкости кислотоупорные и нержавеющие отливки подвергают травлению в смеси соляной и серной кислот с последующей нейтрализацией в содовом растворе.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудремон, Учение о специальных сталях. ОНТИ, 1937.
2. Акимов, Металлы и сплавы в химическом аппаратостроении, ГИТИ, 1931.
3. Романов и О. Вер, Вопросы химической стойкости сплавов, ОНТИ, 1933.
4. Нехендзи, Стальное литье, КУБУЧ, 1931.
5. Сборник переводных статей под редакцией Либсманна „Нержавеющие, кислотоупорные и жароупорные сплавы“. Госмаштехиздат, 1932.
6. Романов и О. Вер. Огнестойкие сплавы, ОНТИ, 1935.
7. Лекция проф. Нехендзи в Ленинградском Доме техники, Нержавеющие стали, изд. Дома техники, 1936.
8. Материалы конференции по стальному литью, Ленинград 15/V 1939.

КАТЕГОРИЯ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

3 p. 15 K.

1
5300

