

**А. В. БУРОВ**

**БИБЛИОТЕЧКА  
РАБОЧЕГО  
ЦВЕТНОЙ  
МЕТАЛЛУРГИИ**

**ЛИТЬЕ  
СЛИТКОВ МЕДИ  
И МЕДНЫХ СПЛАВОВ**

**ПОСОБИЕ  
ДЛЯ РАБОЧИХ**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«МЕТАЛЛУРГИЯ»  
МОСКВА 1972**

**Литье слитков меди и медных сплавов. Буров А. В. Изд-во «Металлургия», 1972, с. 176.**

Дана краткая характеристика меди и медных сплавов, а также цветных металлов, применяемых для производства этих сплавов; описаны классификация и конструкция печей, миксеров и другого технологического оборудования цехов заготовительного литья; изложены некоторые представления о металлургических процессах, происходящих при плавке, литье и кристаллизации металлов; значительное внимание уделено вопросам получения слитков методами полунепрерывного и непрерывного литья в соответствии с последними достижениями в этой области; подробно рассмотрены причины появления дефектов в слитках и способы их устранения; сообщены краткие сведения по экономике, организации труда и технике безопасности при производстве слитков.

Предназначена для подготовки и повышения квалификации рабочих цехов заготовительного литья, может быть полезна студентам металлургических техникумов.

# Содержание

|                                                                                                             |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Предисловие . . . . .                                                                                       | 5        |
| <b>Глава I. Медь и медные сплавы . . . . .</b>                                                              | <b>7</b> |
| Общие сведения о металлах, входящих в состав стандартных медных сплавов, обрабатываемых давлением . . . . . | 7        |
| Медные сплавы, обрабатываемые давлением . . . . .                                                           | 11       |
| Основные эксплуатационные свойства металлов и сплавов .                                                     | 22       |
| <b>Глава II. Печи, миксеры и огнеупоры</b>                                                                  |          |
| Огнеупоры . . . . .                                                                                         | 23       |
| Классификация плавильных печей . . . . .                                                                    | 26       |
| Индукционные печи со стальным сердечником . . . . .                                                         | 27       |
| Индукционные миксеры . . . . .                                                                              | 43       |
| Индукционные печи без стального сердечника . . . . .                                                        | 45       |
| Пламенные отражательные печи . . . . .                                                                      | 46       |
| Вакуумные печи . . . . .                                                                                    | 47       |
| Электроннолучевые печи . . . . .                                                                            | 48       |
| Печи электрошлакового переплава . . . . .                                                                   | 50       |
| <b>Глава III. Шихтовые материалы и их подготовка к плавке</b>                                               |          |
| Классификация шихтовых материалов . . . . .                                                                 | 51       |
| Раскислители . . . . .                                                                                      | 54       |
| Флюсы . . . . .                                                                                             | 55       |
| Подготовка шихтовых материалов к плавке . . . . .                                                           | 56       |
| Расчет и составление шихты . . . . .                                                                        | 59       |
| <b>Глава IV. Плавка</b>                                                                                     |          |
| Физико-химические процессы, происходящие при плавке меди и ее сплавов . . . . .                             | 67       |
| Приспособления для загрузки шихты в шихтовые кораба и плавильные печи . . . . .                             | 75       |
| Плавка меди . . . . .                                                                                       | 77       |
| Получение медных сплавов . . . . .                                                                          | 81       |
| Приготовление лигатур . . . . .                                                                             | 85       |
| Снижение потерь цветных металлов при плавлении . . . . .                                                    | 88       |
| <b>Глава V. Литье</b>                                                                                       |          |
| Свойства меди и медных сплавов в жидком состоянии и после затвердевания . . . . .                           | 91       |
| Метод наполнительного литья . . . . .                                                                       | 97       |
| Метод непрерывного литья слитков . . . . .                                                                  | 105      |
| Дефекты слитков, причины возникновения и меры предупреждения . . . . .                                      | 137      |
| Производительность установок непрерывного литья . . . . .                                                   | 137      |
| Выход годного . . . . .                                                                                     | 141      |

## **VI. Контроль процесса литья и качества слитков**

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| Контроль качества исходных шихтовых материалов . . . . | 143 |
| Контроль процесса производства слитков . . . . .       | 143 |
| Контроль качества слитков . . . . .                    | 148 |

## **Глава VII. Механическая обработка слитков**

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| Фрезерование прямоугольных слитков . . . . .      | 158 |
| Резка слитков . . . . .                           | 160 |
| Удаление дефектов с поверхности слитков . . . . . | 162 |
| Понятие о себестоимости слитков . . . . .         | 163 |

## **Глава VIII. Организация цехов заготовительного литья**

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Особенности организации и режимов работы цехов заготовительного литья . . . . . | 164 |
| Технологическая документация . . . . .                                          | 168 |

## **Глава IX. Правила техники безопасности в литейных цехах**

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Общие требования . . . . .                                                                              | 171 |
| Правила эксплуатации плавильных печей и миксеров . . . .                                                | 172 |
| Правила безопасности при литье слитков в изложницы . . .                                                |     |
| Правила безопасности при литье слитков на установках непрерывного и полунепрерывного действия . . . . . | 174 |
| Литература . . . . .                                                                                    | 174 |

# Предисловие

Роль меди и сплавов на ее основе в народном хозяйстве нашей страны исключительно велика. Благодаря комплексу ценных технологических, механических и эксплуатационных свойств изделия из меди и ее сплавов широко применяют во всех отраслях промышленности. Производство полуфабрикатов из меди и ее сплавов в общем объеме выпуска продукции цветных металлов занимает одно из первых мест.

По решению Коммунистической партии и Советского правительства в настоящее время производится техническое перевооружение существующих литейных цехов; на многих заводах по обработке цветных металлов строят совершенно новые цехи с высокопроизводительным плавно-разливочным оборудованием. Литейный цех завтрашнего дня — это полностью механизированный и автоматизированный производственный участок с высокой организацией труда, современными установками полунепрерывного и непрерывного литья и автоматами для подготовки и взвешивания шихты и обработки отлитых слитков.

В ближайшие годы ожидается не только значительное увеличение выпуска изделий из меди и ее сплавов, но и повышение уровня их качества. Отсюда неизбежно возникает потребность в высококвалифицированных рабочих кадрах, способных решать сложные производственные задачи.

Для заготовительного литья слитков тяжелых цветных металлов и сплавов характерно большое разнообразие особенностей, без знания которых невозможно получить качественные заготовки, используемые для последующей обработки давлением. Высокая стоимость цветных металлов требует бережного отношения к ним как с точки зрения ведения технологических процессов, так и с точки зрения сокращения потерь при плавлении и литье.

Несмотря на то что технология и оборудование литейных цехов за последние 15—20 лет претерпели коренные изменения, в несколько раз увеличились масштабы производства, значительно возросли размеры слитков и появился целый ряд новых сплавов, пособия для рабочих

литейных цехов, освещающие практические вопросы получения слитков тяжелых цветных металлов и сплавов современными методами литья, отсутствуют.

В настоящей книге рассматриваются практические вопросы, связанные с производством слитков из меди и ее сплавов, предназначенных для последующего изготовления из них полуфабрикатов (листов, лент, полос, фольги, труб, прутков, проволоки и различных профилей) методом прокатки или прессования.

Автором сделана попытка изложить в популярной форме необходимые сведения и основные практические вопросы получения слитков меди и ее сплавов методами напорного и непрерывного литья на заводах по обработке цветных металлов.

Книга не претендует на глубокое исследование теоретических проблем литейного производства.

Автор выражает благодарность рецензенту доценту, канд. техн. наук А. В. Курдюмову и инженеру Н. Ф. Головешко за сделанные ими замечания при просмотре рукописи, которые оказались весьма полезными при подготовке материалов к изданию.

# Глава I

## Медь и медные сплавы

Изделия и полуфабрикаты из меди и ее сплавов широко применяют в различных областях народного хозяйства: машиностроении, судостроении, приборостроении, химической, электротехнической, автотракторной и оборонной промышленности, различных видах транспорта и связи и многих других отраслях. Такое широкое распространение медь и ее сплавы получили благодаря хорошему сочетанию ценных свойств.

Медь образует сплавы со многими металлами, такими как цинк, никель, свинец, олово, алюминий, марганец, кремний, бериллий, хром и др. Медные сплавы по химическому составу разделяют на три группы: латуни, бронзы и медноникелевые сплавы. Медь и сплавы на ее основе, предназначенные для обработки давлением, отливают сначала в слитки, которые затем направляют на прокатку или прессование с целью получения полуфабрикатов в виде листов, полос, шин, лент, фольги, труб, прутков, проволоки и различных профилей, а также хозяйственной посуды.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛАХ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ СТАНДАРТНЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ДАВЛЕНИЕМ

Медь — мягкий металл розовато-красного цвета, имеющий плотность  $8,93 \text{ г/см}^3$  и температуру плавления  $1083^\circ \text{C}$ . По сравнению с другими металлами медь, содержащая минимальное количество примесей, обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью и коррозионной стойкостью на воздухе. Незначительные добавки других элементов резко изменяют ее технологические и эксплуатационные свойства. Присадка в медь, например, сотых долей процента фосфора значительно снижает ее электропроводность и теплопроводность, но повышает жидкотекучесть и улучшает механические свойства и свариваемость.

Медь для переплава в слитки поставляют в виде катодов марок М00, М0 и М1 (ГОСТ 859—66) массой от 30 до 120 кг. Не исключена возможность поставки меди

в виде вайербарсов и различных отходов промышленности.

Благодаря высокой электропроводности значительное количество меди потребляется в электротехнической промышленности для проводников тока. Много меди используется в различных теплообменных аппаратах, радиаторах и т. д. Медь хорошо сплавляется с другими металлами, поэтому широко применяется для приготовления сплавов с цинком, никелем, оловом, алюминием и целым рядом других металлов.

**Цинк** — при комнатной температуре хрупкий металл синевато-белого цвета. Плотность его  $7,13 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $419,5^\circ \text{С}$ . По сравнению с другими металлами цинк обладает низкой температурой кипения, которая при атмосферном давлении составляет  $907^\circ \text{С}$ .

Около половины всего производимого на металлургических заводах цинка расходуется для получения сплавов. Значительная часть его идет на покрытие (оцинкование) листовой стали, стальных труб и проволоки с целью защиты их от коррозии. Широкое применение цинк находит также для производства различных припоев, автомобильных деталей, хозяйственной посуды, красок и многих других целей.

Цинк поставляется в виде плит с двумя пережимами массой 19—21 кг. По ГОСТ 3640—65 цинк производится шести марок; на торец каждой чушки цинка в зависимости от марки несмываемой краской наносят одну полосу установленного цвета.

Цинк хорошо сплавляется с медью и другими металлами. Для приготовления медноцинковых сплавов применяют цинк марок Ц0 и Ц1; в сплавы его вводят в чистом виде.

**Никель** — достаточно твердый и прочный металл серебристого цвета. Плотность его  $8,90 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1452^\circ \text{С}$ . В отличие от других тяжелых цветных металлов никель обладает высокими механическими свойствами. Он относится к числу металлов, образующих в той или иной комбинации с другими металлами тугоплавкие, жаропрочные и химически стойкие сплавы, широко применяющиеся в различных областях техники. Его вводят во многие важнейшие технические сплавы с медью, хромом, марганцем и др. В больших количествах никель расходуется на изготовление специ-

альных, магнитных, нержавеющей и жаропрочных сталей. В качестве декоративного материала его широко используют для покрытия поверхностей различных деталей.

Эксплуатационные свойства никеля значительно улучшаются при температурах ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , что выгодно отличает его от стали и большинства цветных металлов и сплавов.

Никель хорошо поддается обработке давлением в горячем и холодном состояниях. Изделия из него сильно магнитны.

По ГОСТ 849—56 никель поставляется в виде катодов, слитков и гранул. В медные сплавы его вводят как в чистом виде, так и в виде двойной лигатуры медь — никель.

С в и н е ц — в свежем разрезе блестящий металл; быстро окисляясь, тускнеет и приобретает синевато-серый цвет. Он является тяжелым и легкоплавким металлом: его плотность  $11,34\text{ г/см}^3$ , температура плавления  $327,4^{\circ}\text{C}$ . Свинец чрезвычайно мягок и пластичен. Ценное свойство чистого свинца — высокая стойкость против действия кислот. Это свойство позволяет широко применять его в химической промышленности и в качестве кабельной брони, защищающей от коррозии. Кроме того, свинец применяют в качестве незаменимого средства для защиты от радиоактивных излучений.

В качестве легирующего компонента для улучшения технологических и эксплуатационных свойств свинец входит в состав некоторых латуней и бронз.

По ГОСТ 3778—65 свинец поставляют в виде чушек массой 30—40 кг. В медные сплавы его вводят в чистом виде.

О л о в о — металл белого цвета. Его плотность  $7,3\text{ г/см}^3$ , температура плавления  $232^{\circ}\text{C}$ . Олово хорошо поддается обработке давлением; оно обладает высокой коррозионной стойкостью. Применяется в качестве легирующей присадки при производстве оловянных латуней и бронз, подшипниковых сплавов, различных припоев, для лужения консервной жести и т. д.

По ГОСТ 860—60 олово поставляют в виде чушек массой около 25 кг. В медные сплавы олово вводят в чистом виде.

А л ю м и н и й — один из самых распространенных в

природе металлов. Мягкий, имеет серебристо-белый цвет. Плотность его  $2,7 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $658^\circ \text{С}$ . Алюминий по сравнению с другими металлами, за исключением меди, обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью и пластичностью. Как в твердом, так и в расплавленном состоянии алюминий на воздухе покрывается тонкой пленкой окиси, которая надежно предохраняет его от дальнейшего окисления. Защитная пленка окиси алюминия образуется также и на поверхности расплавленной латуни и бронзы даже при небольшом содержании его в сплаве (десятые доли процента).

Основная масса алюминия расходуется для производства легких сплавов, широко применяемых в различных областях народного хозяйства. Благодаря высокой электропроводности алюминия и способности покрываться защитной пленкой окиси его используют для изготовления электропроводов, кабелей и др. В качестве легирующей присадки алюминий используют в производстве латуней и бронз.

По ГОСТ 11070—64 алюминий поставляют в чушках массой около 15 кг. В медные сплавы его вводят в чистом виде.

Марганец — хрупкий металл серебристо-белого цвета. Плотность его  $7,42 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1260^\circ \text{С}$ .

Основным потребителем марганца является черная металлургия. Практически он содержится в сталях и чугунах всех марок. Применяют его для улучшения свойств меди, латуней, бронз и сплавов с высоким омическим сопротивлением. В расплавленном состоянии марганец легко окисляется и переходит в шлак. Его окислы понижают жидкотекучесть сплавов.

По ГОСТ 6008—51 марганец поставляют в кусках массой не более 15 кг. В медь и ее сплавы его обычно вводят в виде двойной лигатуры с медью.

Кремний — очень хрупкий и твердый металлоид (неметалл) серо-стального цвета с металлическим блеском. Плотность его  $2,4 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1415^\circ \text{С}$ .

По ГОСТ 2169—43 кремний поставляют в кусках размерами не менее 20 мм. В медь и ее сплавы его вводят главным образом в виде лигатуры с медью.

**Бериллий** — хрупкий металл серебристо-белого цвета. Его плотность  $1,82 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1284^\circ \text{C}$ , температура кипения  $2970^\circ \text{C}$ .

Бериллий применяют в атомной промышленности, для изготовления окон рентгеновских трубок, а также наносят в качестве твердого диффузионного слоя на поверхность стальных деталей. Исключительно большой интерес представляет бериллий в качестве легирующей присадки при изготовлении бериллиевых бронз.

**Хром** — тяжелый тугоплавкий металл. Плотность его  $7,1 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1615^\circ \text{C}$ . Благодаря высокой коррозионной стойкости на воздухе хром широко применяют для покрытия поверхности всевозможных изделий. Хром входит в состав хромистой бронзы, нихрома, хромеля и др.

## **МЕДНЫЕ СПЛАВЫ, ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ ДАВЛЕНИЕМ**

### *Общие сведения*

Сплавами обычно называют однородную систему, состоящую из двух или нескольких чистых компонентов, твердых растворов или химических соединений.

Роль сплавов на современном этапе развития техники исключительно велика. Свойства чистых металлов во многих случаях оказываются недостаточно высокими, чтобы удовлетворять требованиям, предъявляемым к ним быстро развивающимися отраслями народного хозяйства. Свойства сплавов, в зависимости от химического состава и строения, могут изменяться в более широких пределах. Так, например, технически чистая медь имеет твердость по Бринелю  $40\text{—}50 \text{ кг/мм}^2$  и сопротивление разрыву  $23\text{—}24 \text{ кг/мм}^2$ ; добавка к ней  $2,0\text{—}2,5\%$  Ве повышает ее твердость до  $375\text{—}400 \text{ кг/мм}^2$  и сопротивление разрыву до  $125\text{—}130 \text{ кг/мм}^2$ . Кроме того, значительно улучшаются и другие эксплуатационные свойства меди.

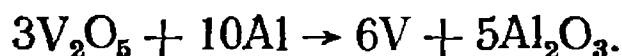
Сплавы получают следующими способами:

- 1) сплавлением шихтовых материалов;
- 2) диффузионным;
- 3) в результате обменных реакций;
- 4) металлокерамическим;
- 5) электролизом.

Самым старым, наиболее простым и широко распространенным способом получения сплавов является непосредственное сплавление входящих в сплав компонентов в печах различных конструкций.

Диффузионный способ применяется для получения сплавов, один из компонентов которых обладает низкой температурой кипения. Этим способом, например, получают меднофосфористую лигатуру. В закрытый сосуд загружают медь и фосфор и медленно подогревают до температуры, значительно ниже температуры плавления основного компонента, т. е. меди. Легкокипящий фосфор (температура кипения около  $300^{\circ}\text{C}$ ) испаряется, и пары его диффундируют в куски меди. Если выдержать сосуд достаточное время при температуре  $800^{\circ}\text{C}$ , то можно получить однородный сплав с гарантированным химическим составом.

Получение сплавов путем обменных реакций основано на различной способности отдельных элементов вступать в химическое взаимодействие с кислородом. Этим способом, например, получают лигатуру ванадий — алюминий, восстанавливая ванадий из окисла по реакции



Исходные компоненты шихты первоначально смешивают и загружают в тигель. Затем смесь поджигают. Реакция восстановления ванадия идет с выделением тепла.

В зависимости от процентного содержания алюминия в шихте можно получать сплавы, содержащие от 30 до 70% V. Для перевода образующихся окислов алюминия в жидкий шлак в шихту добавляют флюс — например, фтористый кальций.

Металлокерамический способ из-за своей сложности применяется в тех случаях, когда получение сплава другими методами невозможно. Таким способом, например, получают сплав меди с углеродом. При этом берут компоненты в виде порошка, который прессуют под большим давлением и прокаливают при высокой температуре. В результате этих операций происходит взаимное проникновение частиц одного компонента в частицы другого или, как принято называть, спекание.

Способ электролиза применяют для получения тон-

ных металлических покрытий с заданным химическим составом. Так, в растворе электролита с ионами цинка и меди при определенном напряжении и плотности тока на катоде будут оседать цинк и медь.

Основная характеристика сплава — это его химический состав. В составе сплава различают основу, легирующие добавки (присадки) и примеси. С изменением химического состава сплава меняются и его свойства. Поэтому содержание легирующих добавок в сплаве ограничивается определенными пределами (верхним и нижним). Допуски по содержанию легирующих элементов в сплавах могут колебаться от десятых и даже сотых долей процента до нескольких процентов.

В составе сплавов допускается и определенное количество примесей. Абсолютно чистых веществ в природе не существует. Первым источником загрязнения сплава являются первичные металлы, вместе с которыми в печь попадают и посторонние примеси. Примеси в сплав могут попадать также из футеровки печи, из атмосферы цеха и др. Содержание примесей в сплаве ограничивается верхним пределом. Так, например, содержание железа в бронзе марки Бр.А5 допускается не более 0,5%.

Понятие о вредности отдельных примесей в сплаве до некоторой степени условно, так как в ряде случаев свойства сплавов без примесей неизвестны. В практике литейного производства для улучшения технологических свойств некоторых сплавов иногда специально вводят примеси. Так, для улучшения пластичности при горячей прокатке прямоугольных слитков сплава ЛС59-1 в расплав вводят до 0,5% Ni, 0,3% Mn и 0,2% Si. Примеси в этом случае полезны.

Химический состав всех металлов и сплавов регламентируется Государственными общесоюзными стандартами (ГОСТами) или техническими условиями.

### *Двойные латуни*

Латуни делят на простые (двойные) и сложные (специальные). Двойные латуни состоят из двух компонентов — меди и цинка. Специальные латуни, кроме меди и цинка, содержат в небольших количествах один или несколько других компонентов (свинец, олово, алюминий, марганец, кремний и т. д.).

Практически из двух компонентов можно получить большое число различных сплавов. Однако применение имеют те сплавы, которые обладают наиболее ценными технологическими и эксплуатационными свойствами. Краткая характеристика распространенных в Советском Союзе простых латуней приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. МАРКИ, СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ ПРОСТЫХ ЛАТУНЕЙ

| Марка | Химический состав, % |           |         | Температура плавления, °С |
|-------|----------------------|-----------|---------|---------------------------|
|       | Cu                   | Zn        | примеси |                           |
| Л96   | 95,0—97,0            | Остальное | 0,2     | 1070                      |
| Л90   | 88,0—91,0            |           | 0,2     | 1045                      |
| Л85   | 84,0—86,0            |           | 0,3     | 1025                      |
| Л80   | 79,0—81,0            |           | 0,3     | 1000                      |
| Л70   | 69,0—72,0            |           | 0,2     | 950                       |
| Л68   | 67,0—70,0            |           | 0,3     | 938                       |
| Л63   | 62,0—65,0            |           | 0,5     | 910                       |
| Л60   | 59,0—62,0            |           | 1,0     | 900                       |

Механические свойства латуни в зависимости от химического состава различны. Пластичность латуней по мере увеличения содержания цинка до 30—32% сначала растет, а затем падает. Сопротивление разрыву также растет вплоть до 45—47% Zn. Наиболее благоприятными свойствами обладают латуни, содержащие до 43% цинка.

Вредные примеси, встречающиеся в простых латунях, — сурьма, висмут, свинец, сера, мышьяк и др.

### *Специальные латуни*

Все специальные (многокомпонентные) латуни по своему назначению подразделяются на две большие группы:

1) литейные латуни, предназначенные для получения фасонных отливок;

2) латуни, предназначенные для получения полуфабрикатов путем обработки слитков давлением.

Из литейных латуней изготавливают втулки, вкладыши подшипников, шестерни, сантехарматуру и другие коррозионностойкие и антифрикционные детали. Про-

стые (двойные) латуни в фасоннолитейном производстве не применяют.

Из специальных латуней наибольшее распространение получили свинцовые, оловянные, алюминиевые, марганцевые и кремниевые латуни. В некоторые специальные латуни для улучшения структуры и повышения механических и коррозионных свойств вводят легирующие добавки — никель, мышьяк, железо и др.

**Свинцовые латуни.** Присадка в латуни от 0,6 до 3,0 Рb значительно улучшает их обрабатываемость резанием. Стружка при обработке свинцовой латуни получается мелкой и сыпучей. В точном приборостроении, например, в часовой промышленности, где требуется высокая чистота поверхности после обработки режущим инструментом, широко применяют свинцовые латуни. Состав промышленных марок свинцовых латуней приведен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. МАРКИ, СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ СВИНЦОВЫХ ЛАТУНЕЙ

| Марки   | Химический состав, % |         |           |              | Температура плавления, °С |
|---------|----------------------|---------|-----------|--------------|---------------------------|
|         | Сu                   | Рb      | Zn        | при-<br>меси |                           |
| ЛС74-3  | 72,0—75,0            | 2,4—3,8 | Остальное | 0,25         | 965                       |
| ЛС64-2  | 63,0—66,0            | 1,5—2,0 |           | 0,3          | 910                       |
| ЛС63-3  | 62,0—65,0            | 2,4—3,0 |           | 0,25         | 905                       |
| ЛС60-1  | 59,0—61,0            | 0,6—1,0 |           | 0,50         | 900                       |
| ЛС59-1  | 57,0—60,0            | 0,8—1,9 |           | 0,75         | 900                       |
| ЛС59-1В | 57,0—61,0            | 0,8—1,9 |           | 1,5          | 900                       |

**Оловянные латуни.** Добавка в латуни небольшого количества олова (0,25—1,5%) резко повышает их стойкость в морской воде и в различных теплообменных аппаратах. Краткие сведения об оловянных латунях приведены в табл. 3. Ввиду дефицитности и высокой стоимости олова в последнее время разработано несколько новых марок медноцинковых сплавов с присадкой мышьяка (0,025—0,06%), обеспечивающего высокую стойкость изделий против коррозии. Из мышьяковистых латуней наибольшее распространение получили латуни марки ЛМш68-0,05 и ЛОМш70-1-0,05, применяемые для изготовления конденсаторных труб.

Т а б л и ц а 3. МАРКИ, СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ  
ОЛОВЯННЫХ ЛАТУНЕЙ

| Марка  | Химический состав, % |           |                |         | Темпера-<br>тура плав-<br>ления, °С |
|--------|----------------------|-----------|----------------|---------|-------------------------------------|
|        | Cu                   | Sn        | Zn             | примеси |                                     |
| ЛО90-1 | 88,0—91,0            | 0,25—0,75 | Оста-<br>льное | 0,2     | 1015                                |
| ЛО70-1 | 69,0—71,0            | 1,0—1,5   |                | 0,3     | 935                                 |
| ЛО62-1 | 61,0—63,0            | 0,7—1,1   |                | 0,3     | 906                                 |
| ЛО60-1 | 59,0—61,0            | 1,0—1,5   |                | 1,0     | 900                                 |

Алюминиевые латуни. При определенном содержании алюминий оказывает благоприятное влияние на структуру и свойства латуней. Особенно повышаются такие свойства, как твердость, прочность и коррозионная стойкость. Пластические свойства латуни при введении более 2% алюминия ухудшаются.

В отличие от большинства медноцинковых сплавов алюминиевые латуни можно подвергать термической обработке. При добавке никеля в алюминиевые латуни значительно повышается сопротивление коррозии. Алюминиевая латунь с содержанием до 6% Ni хорошо обрабатывается давлением в холодном и горячем состояниях и поддается термообработке.

Наибольшее применение в виде труб и прутков алюминиевые латуни марок ЛА77-2, ЛАЖ60-1-1 и ЛАН59-3-2 имеют в судостроении, электромашиностроении и специальных производствах для изготовления высокопрочных и химически стойких деталей, работающих при обычной температуре.

Марганцевые латуни. Присадка в латуни небольших количеств марганца приводит к повышению механических свойств, улучшению стойкости против коррозии и прочности при повышенных температурах. Марганцевые латуни с добавкой 0,5—1,5% Al отличаются высокой стойкостью в морской воде, поэтому их (марки ЛЖМц59-1-1, ЛМц58-2 и ЛМцА57-3-1) широко применяют в судостроении для изготовления нагруженных деталей.

Кремнистая латунь. Кремний вводят в латунь марки ЛК80-3 в количестве 2,5—4,0% для улучшения механических и антикоррозионных свойств. Кремнистая

латунь обладает высокими литейными свойствами, отлично поддается горячей и холодной обработке давлением, механической обработке резанием и хорошо сваривается со сталью. Кроме того, эта латунь сохраняет механические свойства при низкой температуре. Полуфабрикаты из кремнистой латуни в виде труб, прутков, листов и полос широко применяют для изготовления различных деталей в морском судостроении и некоторых других областях.

## Бронзы

К бронзам относят сплавы меди с другими элементами, главным образом металлами (за исключением цинка). Бронзы подразделяют на две большие группы: оловянные, в которых преобладающим легирующим компонентом является олово, и безоловянные, или специальные бронзы. Безоловянные бронзы в зависимости от содержания основного легирующего компонента подразделяют на алюминиевые, кремниевые, бериллиевые, хромовые, марганцевые и др. Простые бронзы, состоящие из двух компонентов (медь и олово, медь и хром и т.д.), называют двойными или двухкомпонентными, а сложные бронзы, содержащие три или более компонентов, — многокомпонентными. Так же, как и латуни, бронзы широко применяют в народном хозяйстве не только благодаря их хорошим технологическим, механическим и коррозионным свойствам, но и из-за исключительно высоких антифрикционных свойств.

**Оловянные бронзы.** Все оловянные бронзы отличаются высокими антифрикционными свойствами, жидкотекучестью и отсутствием концентрированных усадочных раковин в литниковой части слитков. В современной технике почти не применяют бронзы, содержащие более 10% Sn. Свойства оловянных бронз с малым содержанием олова улучшаются при введении в них добавок фосфора, свинца и цинка.

Присадка фосфора в оловянную бронзу повышает ее прочность и жидкотекучесть. Оловянно-фосфористые бронзы обладают исключительно высокой износоустойчивостью при трении. Свинец в оловянных бронзах способствует улучшению обрабатываемости их резанием и увеличивает стойкость в кислотах. Бронзы, содержа-

щие около 10% Pb, обладают высокими антифрикционными свойствами. Цинк повышает жидкотекучесть оловянных бронз и уменьшает склонность к газонасыщению и образованию пористости. Вместе с тем он понижает антифрикционные свойства бронз.

Наиболее распространенные марки оловянных бронз приведены в табл. 4.

Таблица 4. МАРКИ, СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ ОЛОВЯННЫХ БРОНЗ

| Марка         | Химический состав, % |          |         |         |           |         | Температура плавления, °C |
|---------------|----------------------|----------|---------|---------|-----------|---------|---------------------------|
|               | Sn                   | P        | Zn      | Pb      | Cu        | примеси |                           |
| Бр.ОФ6,5-0,15 | 6,0—7,0              | 0,1—0,25 | —       | —       | Остальное | 0,1     | 995                       |
| Бр.ОФ4-0,25   | 3,5—4,0              | 0,2—0,3  | —       | —       |           | 0,1     | 1060                      |
| Бр.ОЦ4-3      | 3,5—4,0              | —        | 2,7—3,3 | —       |           | 0,2     | 1045                      |
| Бр.ОЦС4-4-2,5 | 3,0—5,0              | —        | 3,5     | 1,5—3,5 |           | 0,2     | 1018                      |

Из-за дефицитности олова оловянные бронзы применяют лишь для изделий ответственного назначения, от которых требуется высокая износоустойчивость и коррозионная стойкость.

В настоящее время разработаны и широко применяются безоловянные бронзы (алюминиевые, кремниевые, бериллиевые, хромовые, марганцевые и др.), которые в целом ряде случаев по своим эксплуатационным свойствам превосходят оловянные бронзы.

**Алюминиевые бронзы.** Сплавы меди с алюминием благодаря высоким эксплуатационным свойствам имеют широкое применение. По механическим и коррозионным свойствам алюминиевые бронзы значительно превосходят сплавы меди с оловом. Однако по антифрикционным свойствам алюминиевые бронзы уступают оловянным. Свойства алюминиевых бронз значительно улучшаются с введением в них железа, марганца и никеля. Некоторые сведения о химическом составе алюминиевых бронз приведены в табл. 5.

**Кремниевые бронзы.** Широкое распространение получили кремниевые бронзы с добавками марганца

или никеля. Эти сплавы более дешевы и по своим механическим свойствам превосходят оловянные бронзы. С добавкой марганца стойкость их в морской воде и других агрессивных средах повышается. Кремниевые бронзы с присадкой никеля успешно применяются для изготовления деталей, работающих на трение в тяжелых условиях, и по эксплуатационным свойствам не уступают более дорогим оловянно-фосфористым бронзам.

Таблица 5. МАРКИ, СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ БРОНЗ

| Марка           | Химический состав, % |         |         |           |         | Температура плавления, °С |
|-----------------|----------------------|---------|---------|-----------|---------|---------------------------|
|                 | Al                   | Fe      | Mn      | Cu        | примеси |                           |
| Бр.А5           | 4,0—6,0              | —       | —       | Остальное | 1,6     | 1075                      |
| Бр.А7           | 6,0—8,0              | —       | —       |           | 1,6     | 1040                      |
| Бр.АМц9-2       | 8,0—10,0             | —       | 1,5—2,5 |           | 1,7     | 1060                      |
| Бр.АЖ9-4        | 8,0—10,0             | 2,0—4,0 | 1,0—2,0 |           | 1,7     | 1040                      |
| Бр.АЖМц10-3-1,5 | 9,0—11,0             | 2,0—4,0 | Ni      |           | 0,75    | 1045                      |
| Бр.АЖН10-4-4    | 9,5—11,0             | 3,5—5,5 | 3,5—5,5 |           | 0,8     | 1084                      |

Кремниевые бронзы обладают высокой пластичностью; они хорошо обрабатываются давлением как в холодном, так и в горячем состоянии. Химический состав наиболее распространенных кремниевых бронз приведен в табл. 6.

Таблица 6. МАРКИ, СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ БРОНЗ

| Марка     | Химический состав, % |         |         |           |         | Температура плавления, °С |
|-----------|----------------------|---------|---------|-----------|---------|---------------------------|
|           | Si                   | Mn      | Ni      | Cu        | примеси |                           |
| Бр.КМц3-1 | 2,75—3,5             | 1,0—1,5 | —       | Ост.<br>» | 1,1     | 1025                      |
| Бр.КН1-3  | 0,6—1,1              | 0,1—0,4 | 2,4—3,4 |           | 0,4     | 1084                      |

Бериллиевые бронзы. В сплавах меди с бериллием благоприятно сочетаются высокие механические, физико-химические и коррозионные свойства. Бериллий по сравнению с другими элементами оказывает наиболее сильное влияние на свойства меди. Бериллиевые бронзы не теряют своих высоких эксплуатационных свойств при повышенной и низкой температуре, немагнитны и не дают искры при ударах; обладают высокой электро- и теплопроводностью, пластичны и хорошо поддаются термической обработке и всем видам обработки давлением.

Из-за дефицитности и высокой стоимости бериллия бериллиевые бронзы в настоящее время — самые дорогие из медных сплавов. Поэтому их применяют только для изготовления наиболее ответственных деталей, работающих в тяжелых условиях и при повышенной или пониженной температуре. С целью экономии бериллия в отдельные марки бериллиевых бронз вводят никель и титан. Химический состав бериллиевых бронз приведен в табл. 7.

Таблица 7. МАРКИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ  
БЕРИЛЛИЕВЫХ БРОНЗ

| Марка      | Химический состав, % |           |           |           |         |
|------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
|            | Be                   | Ni        | Ti        | Cu        | примеси |
| Бр.Б2      | 1,9—2,2              | 0,2—0,5   | —         | Остальное | 0,5     |
| Бр.Б2,5    | 2,3—2,6              | 0,2—0,5   | —         |           | 0,5     |
| Бр.БНТ-1,7 | 1,60—1,85            | 0,20—0,40 | 0,10—0,25 |           | 0,5     |
| Бр.БНТ-1,9 | 1,85—2,10            | 0,20—0,40 | 0,10—0,25 |           | 0,5     |

Хромовая бронза. Медь, содержащая в своем составе 0,3—0,8% Cr, отличается высокими механическими свойствами при повышенной температуре. Ее применяют там, где от деталей по условиям работы требуется высокая твердость, прочность, электропроводность и антифрикционные свойства.

Хромовая бронза хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии; ее широко применяют

для изготовления сварочных электродов, коллекторов электромоторов, гильз кристаллизаторов и т. д.

**Марганцевые бронзы.** Медь с присадкой небольшого количества марганца обладает повышенной жаропрочностью, высокой пластичностью, а также хорошей коррозионной стойкостью. Ее применяют в судостроении для изготовления различной арматуры и деталей теплообменных аппаратов, работающих в морской воде.

В ряде случаев для повышения жаропрочности, антифрикционных и других эксплуатационных свойств в медь вводят в небольших количествах кадмий, магний, цирконий, серебро и некоторые другие металлы. Медь с добавками этих элементов применяется для изготовления ответственных деталей в электротехнике, радиотехнике, транспортном машиностроении и других отраслях народного хозяйства.

### Медноникелевые сплавы

Сплавы меди с никелем благодаря их высоким механическим свойствам, коррозионной стойкости, электросопротивлению и термоэлектрическим характеристикам

Таблица 8. МАРКИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ  
МЕДНОНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

| Название и марка сплава  | Химический состав, % |         |              |    |              |
|--------------------------|----------------------|---------|--------------|----|--------------|
|                          | Ni                   | Fe      | Mn           | Cu | при-<br>меси |
| Мельхиор                 |                      |         |              |    |              |
| МНЖМц30-0,8-1 . . .      | 29,0-33,0            | 0,6—1,0 | 0,8-1,3      |    | 0,3          |
| Мельхиор МН19 . . .      | 18,0-20,0            | —       | —            |    | 1,5          |
| Нейзильбер МНЦ15-20 .    | 13,5-16,5            | —       | 18,0-22,0 Zn |    | 0,9          |
| Мельхиор МНЖ5-1 . . .    | 5,0-6,5              | 1,0—1,4 | 0,3-0,8      |    | 0,7          |
| Монель                   |                      |         |              |    |              |
| НМЖМц28-2,5-1,5 . . .    | 65,0-70,0            | 2,0—3,0 | 1,2-1,8      |    | 0,6          |
| Куниаль А МНА13-3 : .    | 12,0-15,0            | —       | 2,3-3,0 Al   |    | 1,9          |
| Куниаль Б МНА-1,5 . . .  | 5,5-6,5              | —       | 1,2-1,8 Al   |    | 1,1          |
| Константан МНМц40-1,5    | 39,0-41,0            | —       | 1,0-2,0      |    | 0,9          |
| Сплав ТБ МН16 . . . . .  | 15,3-16,3            | —       | —            |    | 0,2          |
| Сплав ТП МН0,6 . . . . . | 0,57-0,63            | —       | —            |    | 0,1          |
| Манганин МНМц3-12 . . .  | 2,5-3,5              | —       | 11,5-13,5    |    | 0,9          |
| Копель . . . . .         | 42,5-44,0            | —       | 0,1-1,0      |    | 0,6          |

занимают исключительно важное место в современной технике.

Все медноникелевые сплавы условно делят на две группы: а) коррозионностойкие (мельхиор, нейзильбер, монель, куньаль и др.); б) электротехнические (константан, сплав ТБ и ТП, манганин, копель и др.).

Химический состав наиболее распространенных медноникелевых сплавов приведен в табл. 8.

## **ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Среди технических металлов, применяемых в народном хозяйстве, медь и ее сплавы по своему значению занимают особое место. Медь и сплавы на ее основе являются наиболее распространенными в современной технике благодаря удачному сочетанию высоких технологических и эксплуатационных свойств. Без применения медных сплавов было бы невозможно развитие большинства важнейших отраслей современной промышленности.

Технически чистая медь имеет невысокую прочность и поэтому почти не применяется в качестве конструкционного материала. Однако в изделиях, где от материала требуется высокая электро- и теплопроводность в сочетании с коррозионной стойкостью, медь незаменима.

Из всех медных сплавов наибольшее применение находят медноцинковые сплавы, обладающие высокими технологическими и антикоррозионными свойствами.

Исключительно большой интерес для современной промышленности представляют различные виды бронз, обладающих отличными антифрикционными свойствами, что делает их незаменимыми при изготовлении деталей, работающих на трение в различных машинах и агрегатах.

Изделия из медноникелевых сплавов, по сравнению с другими металлами, до настоящего времени считаются наиболее надежными для работы в условиях низкой температуры вплоть до  $-200^{\circ}\text{C}$ . Эти сплавы отличаются высокой жаропрочностью и жаростойкостью.

Общим недостатком медных сплавов является их высокая стоимость и сравнительно большая плотность.

# Глава II

## Печи, миксеры и огнеупоры

### ОГНЕУПОРЫ

Рабочее пространство плавильных печей и миксеров, а также различные переливные и разливочные устройства выкладывают огнеупорными материалами, важнейшие из которых рассмотрены ниже.

#### *Требования, предъявляемые к огнеупорам*

Основные требования, которые предъявляются к огнеупорным материалам, применяемым для футеровки плавильных печей, следующие:

- 1) высокая огнеупорность, обеспечивающая надежность работы печи при температурах 1400—1500° С;
- 2) достаточная механическая прочность при обычной и высокой температуре;
- 3) способность противостоять колебаниям температуры;
- 4) стойкость против действия расплавленных металлов, флюсов, окислов и газов, образующихся в процессе плавки;
- 5) низкий температурный коэффициент расширения или сжатия;
- 6) низкая теплопроводность, обеспечивающая минимальные тепловые потери.

Все огнеупорные материалы по свойствам окислов, входящих в их состав, подразделяются на следующие три группы.

1. Кислые огнеупорные материалы, к которым относится кремнезем (кварцит), содержащий 97,0—99,5% окиси кремния. Кварцевые (кислые) огнеупорные изделия весьма стойки по отношению к действию кислых шлаков, содержащих окись кремния, однако они очень быстро разъедаются основными шлаками, имеющими в своем составе, например, окись магния.

2. Огнеупорные материалы с основными свойствами, не содержащие в своем составе кремнезем. К этой груп-

не относятся боксит, доломит и магнезит. Основная футеровка печи хорошо сопротивляется действию основных шлаков, образующихся в результате окисления примесей, но разъедается кислотами.

3. Нейтральные (промежуточные) огнеупорные материалы, в состав которых входят окислы, реагирующие как с кислотами, так и с основными шлаками. К этой группе относится шамот, содержащий от 30 до 46% глинозема.

В производственных условиях выбор футеровки определяется назначением печи.

### Кварцит

Для набивки подового камня индукционных канальных печей со стальным сердечником применяют в большинстве случаев кварцит. Кварцит — это горная порода, содержащая не менее 97% кремнезема и до 3% различных примесей. Плотность его 2,5—2,7 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 1700° С, температура размягчения 1400° С.

Из всех огнеупорных материалов кварцит в меньшей степени сохраняет объем при изменении температуры.

Поставляют его в виде кусков массой 20—25 кг, а для футеровки плавильных печей его измельчают. Перед размолотом куски рассортировывают так, чтобы в годный кварцит не попали посторонние предметы (кирпичи, древесина, бетон и т. д.). Большие куски кварцита предварительно разбивают на более мелкие, дробят в щековой дробилке до размера 30×30×50 мм, а затем размалывают в шаровой мельнице и просеивают через сито с отверстиями 2,5 мм.

Существует мнение, что чем крупнее зерна футеровки, тем она в большей степени склонна к трещинообразованию. С другой стороны, тонкий помол всей массы кварцита также нежелателен, так как порошкообразная масса недостаточно уплотняется и, следовательно, плохо спекается. Примерный гранулометрический состав молодого кварцита следующий:

| Размер гранул, мм           | 2,0—2,5 | 1,5—2,0 | 1,0—1,5 | 0,5—1,0 | Меньше 0,5 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|
| Содержание, %<br>(по массе) | 5—10    | 10—15   | 15—20   | 50—60   | Ост.       |

## *Шамот*

Шамотные огнеупорные материалы (изделия) содержат не более 65%  $\text{SiO}_2$  и от 30 до 46% глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Огнеупоры такого состава при изменении температуры сохраняют постоянный объем. Объясняется это тем, что кремнезем, входящий в состав шамота, при повышении температуры расширяется в объеме, а глинозем, наоборот, уменьшается.

Рабочая температура шамотных огнеупорных изделий  $1350^\circ\text{C}$ , плотность колеблется в пределах 2,5—2,7 г/см<sup>3</sup>.

## *Высокоглиноземистые огнеупоры*

В последнее время для набивки подового камня и кладки шахты индукционных канальных печей и миксеров все больше применяют высокоглиноземистые огнеупоры, к которым относят материалы и изделия, содержащие более 45% глинозема. Стойкость таких огнеупорных изделий в несколько раз превышает стойкость огнеупоров на основе кварцита или шамота.

В состав высокоглиноземистых огнеупорных масс и изделий входят высокоглиноземистый шамот, электрокорунд и глина. Плотность таких огнеупоров составляет 3,0—3,1 г/см<sup>3</sup>. В качестве связующего материала при спекании высокоглиноземистых огнеупоров применяют ортофосфорную кислоту плотностью 1,4 г/см<sup>3</sup>.

Наиболее важное свойство высокоглиноземистых огнеупоров — отсутствие усадки или увеличения объема в процессе работы, что достигается соответствующим подбором химического и гранулометрического составов.

## *Графит*

Углерод, являющийся основой графитовых изделий, по сравнению с другими огнеупорными материалами обладает наиболее высокой температурой плавления; при температуре около  $3500^\circ\text{C}$  он возгоняется, переходя непосредственно из твердого состояния в газообразное. Медь и большинство металлов, входящих в состав медных сплавов, не вступает с углеродом в химическое взаимодействие. Исключение составляют лишь никель и

железо, которые образуют с ним карбиды. Вместе с тем углерод обладает хорошими восстановительными свойствами. При высокой температуре он весьма активно восстанавливает из окислов медь и некоторые другие металлы.

Графит применяют для изготовления тиглей, вставок для кристаллизаторов, электродов, чехлов термпар, воронок, втулок и различных деталей стопорной и разливочной систем. Графитовые изделия обладают наибольшим постоянством объема при изменении температуры.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ**

При производстве слитков из меди и ее сплавов для расплавления твердых шихтовых материалов применяют специальные устройства — плавильные печи, в которых в процессе приготовления расплава одновременно смешиваются составляющие сплав компоненты.

По способу нагрева плавильные печи разделяют на две группы: а) печи, нагреваемые путем сжигания топлива; б) печи, нагреваемые энергией электрического тока.

Среди печей, нагреваемых в результате сжигания топлива, давно известны отражательные печи и тигельные горны (коксовые, нефтяные и газовые).

В начале XX столетия, в связи с развитием электротехнической промышленности, для нагрева и расплавления металлов и сплавов стали широко применять электрическую энергию. В настоящее время для приготовления меди и сплавов на ее основе применяют главным образом электрические печи. Известны следующие виды электрических печей:

- 1) индукционные со стальным сердечником;
- 2) индукционные без стального сердечника;
- 3) электроннолучевые;
- 4) печи электрошлакового переплава;
- 5) печи сопротивления;
- 6) дуговые.

Преимущества электрических печей, обусловившие их широкое применение для приготовления цветных металлов и сплавов, следующие:

- 1) лучшее санитарно-гигиеническое состояние атмос-

феры цеха, вследствие отсутствия продуктов сгорания топлива;

- 2) меньшие потери цветных металлов при плавке;
- 3) высокий коэффициент полезного действия;
- 4) простота конструкции и легкость обслуживания;
- 5) высокая производительность;
- 6) постоянная готовность к работе;
- 7) высокое качество выплавляемого металла;
- 8) возможность ведения процесса плавки в вакууме.

## **ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ СО СТАЛЬНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ**

Для плавки меди и ее сплавов в настоящее время наибольшее распространение имеют электрические индукционные печи со стальным сердечником и закрытым каналом. Емкость таких печей колеблется от нескольких сот килограммов до нескольких десятков тонн. Первая печь этого типа была сконструирована, построена и введена в эксплуатацию в 1910 г.; с этого времени ее конструкция непрерывно совершенствуется. Уже в 30-е годы индукционные канальные печи вытеснили тигельные, широко применявшиеся в прошлом при производстве слитков тяжелых цветных металлов.

Основными преимуществами индукционных канальных печей по сравнению с другими электропечами являются:

- 1) простота конструкции и компактность;
- 2) удобное ведение процессов загрузки шихты, плавки, защиты расплава от окисления и разлива;
- 3) высокая скорость процесса плавки и обеспечение однородности химического состава сплава в результате интенсивной циркуляции расплава в ванне печи под действием электромагнитного поля и тепловых потоков;
- 4) обеспечение минимальных потерь цветных металлов, поскольку образующиеся при нагреве пары, соприкасаясь с более холодными массами расплава в ванне, конденсируются и остаются в печи;
- 5) более высокие технико-экономические показатели.

К основным недостаткам канальных печей следует отнести:

- а) дополнительный расход электроэнергии и производственные затраты при переходе со сплава на сплав

с различным содержанием основных и легирующих компонентов, а также при простое печей;

б) низкую температуру шлака (нагревается только от жидкого металла);

в) снижение срока службы печей, так как загрузка шихты производится на подовый камень, который является наиболее теплонапряженной частью печи и находится под большим металлостатическим давлением.

Индукционные каналные печи различают по следующим признакам.

По числу фаз: однофазные, двухфазные, трехфазные и т. д.

По числу каналов: одноканальные — с одним каналом на каждую фазу; двухканальные — с двумя каналами на каждую фазу.

Число фаз и каналов определяется мощностью и рабочей емкостью печи. Основные характеристики индукционных каналных печей приведены в табл. 9.

Т а б л и ц а 9. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДУКЦИОННЫХ КАНАЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

| Параметры                                               | Марка печи |         |         |       |        |
|---------------------------------------------------------|------------|---------|---------|-------|--------|
|                                                         | ИЛК-1      | ИЛК-1,6 | ИЛК-2,5 | ИЛК-6 | ИЛК-16 |
| Емкость полезная, т . . .                               | 1,0        | 1,6     | 2,5     | 6,0   | 16,0   |
| Емкость каналной части, т . . . . .                     | 0,3        | 0,9     | 3,0     | 4,3   | 9,0    |
| Потребляемая мощность, кВт . . . . .                    | 250        | 750     | 750     | 1264  | 1644   |
| Число фаз . . . . .                                     | 1          | 3       | 3       | 4     | 6      |
| Номинальное напряжение, в . . . . .                     | 350        | 500     | 500     | 475   | 475    |
| Коэффициент мощности с компенсацией . . .               | 1,0        | 0,94    | 0,95    | 1,0   | 1,0    |
| Производительность по меди, т/ч . . . . .               | 0,75       | 2,0     | 2,0     | 4,4   | 5,5    |
| Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т . .             | 200        | 200     | 200     | 265   | 284    |
| Продолжительность расплавления и перегрева, ч . . . . . | 0,8        | 0,5     | 0,9     | 1,3   | 2,75   |
| Мощность печи при холостом ходе, кВт . .                | 25         | 55      | 80      | 166   | 226    |
| Масса печи с металлом, т . . . . .                      | 7,8        | 15,5    | 32      | 60    | 97     |

Конструкция однофазной индукционной канальной печи со стальным сердечником показана на рис. 1. Печь состоит из следующих основных частей: подового камня с кольцевым каналом, смонтированных в бронзовом или латунном каркасе; магнитопровода с индукционной катушкой; стального кожуха, в котором выложена шахта печи.

Чтобы исключить образование замкнутого магнитного потока вокруг индуктора, каркас делают сборным, а между его частями устанавливают асбестовые или минераловатные прокладки. С такой же целью изолируют все стягивающие каркас болты.

Подовый камень печи изготовляют из огнеупорной массы путем уплотнения ее в каркасе с последующим спеканием при высокой температуре. Внутри подового камня размещают один или несколько каналов, в которых в период работы печи выделяется значительное количество тепла.

Условия работы подового камня исключительно тяжелые. Завалка шихты при загрузке ее в ванну печи производится на подовый камень. Температура металла в закрытых каналах намного превышает температуру плавления или литья. Быстрое движение металла в каналах способствует механическому разрушению футеровки.

В канальных печах для получения высокого коэффициента полезного действия стремятся, чтобы жидкий металл в кольцевом нагревательном канале был отделен от индукционной катушки футеровкой небольшой толщи-

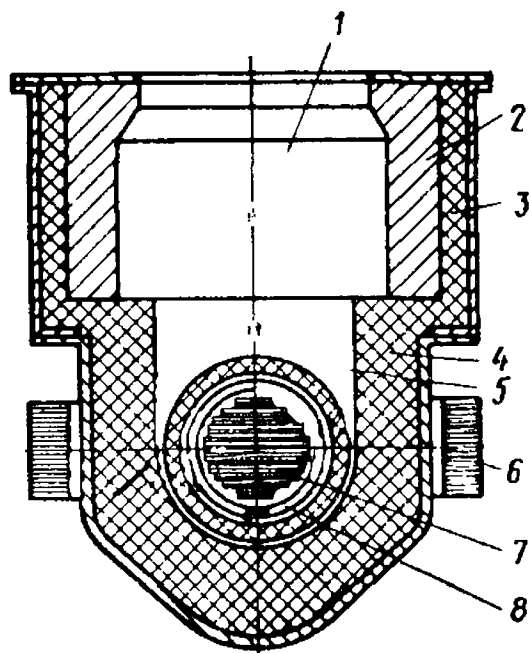


Рис. 1. Принципиальное устройство индукционной канальной печи со стальным сердечником:

1 — ванна; 2 — шамотная кладка; 3 — тепловая изоляция; 4 — подовый камень; 5 — кольцевой нагревательный канал; 6 — ярмо; 7 — сердечник; 8 — индукционная катушка

ны. Как правило, из-за прорыва жидкого металла через футеровку работа на канальных печах прекращается. Поэтому материалы для набивки подового камня должны быть особенно стойкими по отношению к воздействию расплавленных металлов.

Т а б л и ц а 10. СОСТАВ ФУТЕРОВКИ ПОДОВОГО КАМНЯ  
ИНДУКЦИОННЫХ КАНАЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

| Выплавляемый металл (сплав) | Огнеупорный материал и связующие добавки                                                  | Содержание, %               |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Медь, латуни, бронзы        | Кварцит<br>Бура (борная кислота)                                                          | 98,0<br>2,0                 |
|                             | Кварцит<br>Электрокорунд<br>Бура (борная кислота)                                         | 86,0<br>12,0<br>2,0         |
|                             | Шамот высокоглиноземистый<br>Электрокорунд<br>Глина<br>Ортофосфорная кислота (сверх 100%) | 66,0<br>20,0<br>14,0<br>6,5 |
| Хромовая бронза             | Молотый магнезит или хромомagneзит<br>Электрокорунд<br>Бура (борная кислота)              | 84,0<br>14,0<br>2,0         |
| Медноникелевые сплавы       | Плавленный магнезит<br>Молотый магнезит или хромомagneзит<br>Бура (борная кислота)        | 50,0<br>47,5<br>2,5         |

При плавлении меди и ее сплавов для набивки подового камня наиболее распространены следующие группы материалов:

- 1) огнеупорные массы на основе кварцита;
- 2) огнеупорные массы на основе магнезита или хромомagneзита;
- 3) высокоглиноземистые огнеупорные массы.

Состав огнеупорных масс приведен в табл. 10.

В качестве связки огнеупорных материалов при спе-

кании применяют буру или борную кислоту, оконное стекло и ортофосфорную кислоту. Бой стекла перед употреблением промывают, сушат, размалывают в шаровой мельнице и просеивают.

Индукционная катушка, или индуктор, представляет собой цилиндрическую спираль, изготовленную из медной полосы или трубы прямоугольного сечения. Для однофазных или двухфазных печей применяют обычно

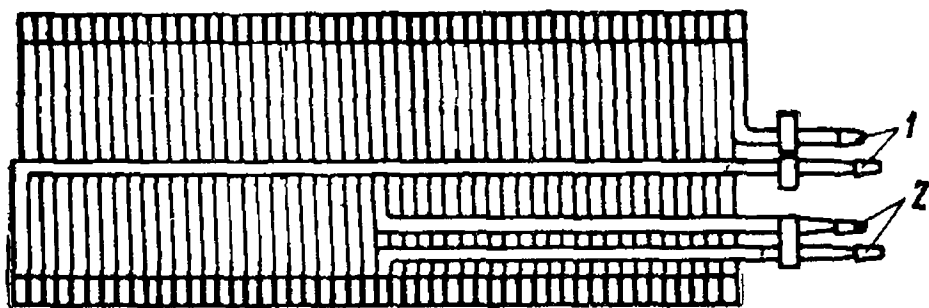


Рис. 2. Схема двухсекционной индукционной катушки:

1 — подвод воды; 2 — отвод воды

полосы сечением  $6 \times 22$  мм или  $8 \times 17$  мм; для более мощных печей — прямоугольные трубы из меди марки М1 сечением  $10 \times 16$  мм с толщиной стенки 1,5—2,0 мм. К концам индуктора приваривают клеммы для электрокабелей и специальные наконечники, служащие для крепления водяных шлангов. Катушки из полых трубы, перед тем как поставить на печь, проверяют на герметичность при давлении воды 8—10 ат. Для лучшего охлаждения индукционной катушки циркуляционной водой ее иногда komponуют из двух отдельных секций с равным количеством витков, с отдельным охлаждением (рис. 2).

Смонтированную индукционную катушку плотно насаживают на сердечник так, чтобы она не перемещалась в процессе работы. Слабое крепление катушки и нарушение изоляции приводят к потерям электроэнергии и к преждевременному выходу индуктора из строя.

Магнитопровод печи, служащий для замыкания силовых линий и усиления магнитного поля, создаваемого индукционной катушкой, состоит из одного или нескольких сердечников с круглым сечением и общего ярма (рис. 3). Магнитопровод собирают из отдельных листов специальной трансформаторной стали толщиной 0,4—

0,5 мм. Перед сборкой магнитопровода листы для уменьшения потерь изолируют один от другого папиросной бумагой, лаком, краской или жидким стеклом.

Шахту печи выкладывают шамотным кирпичом или высокоглиноземистыми блоками в металлическом кожухе.

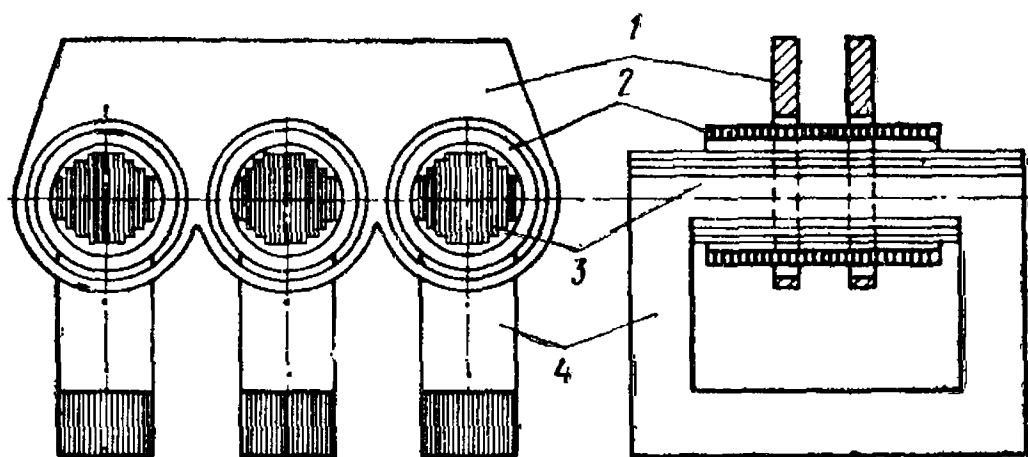


Рис. 3. Схема электромагнитной системы трехфазной двухканальной индукционной печи:

1 — литой шаблон (нагревательный канал); 2 — индукционная катушка; 3 — сердечник; 4 — яма

хе, изготовленном из листовой стали. Внутренние размеры шахты зависят от типа печи и вида металла или сплава, подлежащего плавке, а также от предполагаемой компактности шихты. Для соединения подового камня с шахтой в нижней части кожуха имеется прямоугольный вырез. Верх шахты закрывают стальной крышкой с горловиной, служащей для загрузки шихты. В верхней части шахты имеется отверстие и носок (летка) для слива расплава.

### *Принцип работы*

По принципу действия электрическая индукционная печь со стальным сердечником напоминает типичный понижающий трансформатор, вторичной обмоткой которого служит короткозамкнутый виток канала с расплавленным металлом. Переменный ток промышленной частоты (50 периодов в секунду) подводится к первичной катушке — индуктору. При прохождении тока по первичной цепи вокруг индуктора создается переменное по величине и направлению магнитное поле, которое, пе-

риодически разворачиваясь и сворачиваясь, пересекает вторичную цепь — нагревательный канал и возбуждает в нем электрический ток.

Ток, проходящий по металлу в нагревательном канале, превышает ток в индукционной катушке в число раз, равное числу витков индуктора:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — ток в первичной и вторичной цепях, а;  
 $n_1$  и  $n_2$  — число витков в первичной и вторичной цепях.

Учитывая, что число витков во вторичной цепи равно единице, выражение для тока, проходящего по нагревательному каналу печи, примет вид:

$$I_2 = I_1 n_1. \quad (2)$$

Если амперметр, фиксирующий ток в первичной катушке печи, показывает 650 а, а число витков катушки составляет 56, то ток в канале печи будет иметь величину:

$$I_2 = I_1 n_1 = 650 \cdot 56 = 36400 \text{ а.}$$

С другой стороны, напряжение во вторичной цепи во столько раз меньше напряжения в первичной цепи, во сколько раз число витков вторичной цепи меньше числа витков первичной цепи:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (3)$$

где  $U_1$  и  $U_2$  — напряжения в первичной и вторичной цепях, в.

Аналогично выражению для тока (2) напряжение во вторичной цепи можно рассчитать по формуле

$$U_2 = \frac{U_1}{n_1}, \quad (4)$$

Если номинальное напряжение на индукторе с 56 витками составляет 500 в, то напряжение в плавильном канале будет иметь значение:

$$U_2 = \frac{U_1}{n_1} = \frac{500}{56} = 8,93 \text{ в.}$$

Из приведенных расчетов следует, что при работе индукционной печи ток в ее каналах увеличивается во столько раз, во сколько раз уменьшается напряжение, т. е. в число раз, равное количеству витков первичной катушки:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = n_1. \quad (5)$$

Важно подчеркнуть, что мощность печи при трансформации электрического тока остается неизменной:

$$P = I_1 U_1 = I_2 U_2, \quad (6)$$

где  $P$  — мощность печи, *квт.*

Количество теплоты, выделяющейся в канале печи при прохождении тока, рассчитывают по формуле

$$Q = 0,24 \rho I^2 \frac{l}{f} t, \quad (7)$$

где  $Q$  — количество теплоты, выделяемое в канале, *кал*;

$\rho$  — электрическое сопротивление металла в канале  $\times 10^{-4}$ , *ом · см*;

$l$  — длина канала, *м*;

$f$  — площадь поперечного сечения канала, *мм<sup>2</sup>*;

$t$  — время, *сек.*

В процессе работы печи металл в нагревательных каналах и в ванне не остается в спокойном состоянии. Движение его происходит вследствие тепловой конвекции, моторного эффекта и цинковой пульсации.

Явление тепловой конвекции заключается в том, что нагретый в каналах печи металл, как более легкий вследствие термического расширения при нагревании, стремится подняться вверх, а на его место в каналы поступает более тяжелый холодный металл из верхних слоев ванны.

В процессе взаимодействия образующихся вокруг индуктора и нагревательного канала магнитных полей, создаваемых током в катушке, возникает сила, которая стремится отбросить металл от центра индуктора. Это явление получило название центробежного или моторного эффекта. Наиболее ярко этот эффект проявляется в печах с открытым горизонтальным каналом (рис. 4). В печах с закрытыми вертикальными каналами это способствует циркуляции металла и более равномерному его прогреву во всем объеме ванны.

Цинковая пульсация наблюдается в индукционных канальных печах при плавлении медноцинковых сплавов, содержащих более 30% Zn. Возникновение цинковой пульсации связано с образованием в каналах печи паров цинка, которые оказывают большое сопротивление прохождению электрического тока, чем расплавленная латунь, вследствие чего вторичная цепь периодически разрывается. Пары цинка, поднимаясь из каналов в атмосферу через слой расплавленного металла, обеспечивают эффективное перемешивание ванны. Колебания стрелки амперметра и частые выбросы паров цинка из печи служат внешним признаком готовности латуни к разливке.

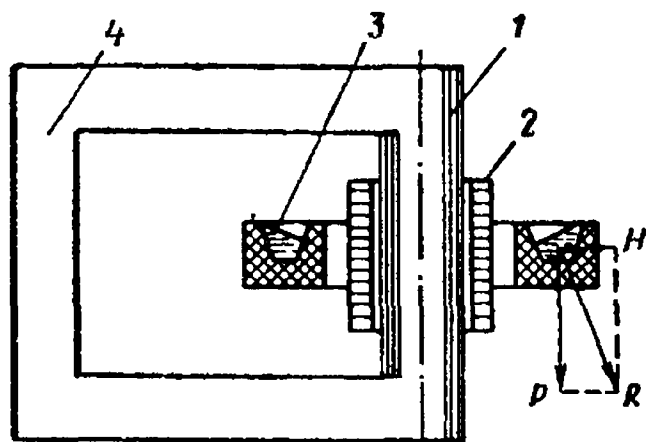


Рис. 4. Поверхность расплава в индукционной печи с открытым горизонтальным каналом:

1 — сердечник; 2 — индуктор; 3 — кольцевой нагревательный канал; 4 — ярмо;  $P$  — сила тяжести металла;  $H$  — центробежная сила;  $R$  — равнодействующая сила

### Монтаж печей

Монтаж индукционных печей со стальным сердечником — сложная и ответственная работа. Выполняется она, как правило, в мастерской или на специально отведенной для этой цели площадке. Печи емкостью до 1500 кг для замены футеровки вынимают из гнезда вместе с фермой и транспортируют в мастерскую. Печи с отъемными индукционными единицами перефутеровывают непосредственно на месте их установки, за исключением подового камня, который монтируют в мастерской.

Наиболее трудна в изготовлении и эксплуатации та часть подового камня, в которой расположен нагревательный канал. От качества набивки футеровки подового камня зависит в основном продолжительность работы печи до капитального ремонта.

Набивку подового камня кварцевой или магнезитовой футеровкой ведут в следующей последовательности.

Все составные части огнеупорной массы взвешивают

в строгом соответствии с принятым для данного сплава составом навесками по 180—220 кг и перемешивают в смесителе в течение 1,5—2,0 ч. Подовый камень набивают непосредственно в каркас после облицовки его внутренней поверхности листовым асбестом и укладки на дно каркаса одного ряда теплоизоляционного кирпича. Перемешанную огнеупорную массу порциями по 20—25 кг для однофазных и двухфазных печей и по 120—140 кг для трехфазных печей засыпают на дно каркаса и уплотняют ручными или пневматическими трамбовками до уровня отверстий под индукторы. В процессе изготовления подового камня особое внимание обращают на тщательность набивки огнеупорной массы. Если на операции уплотнения занято несколько рабочих, то трамбование надо вести последовательно по кругу, чтобы обеспечить однородную плотность набивки. Литые шаблоны (каналы) перед установкой в каркас тщательно обрабатывают — удаляют заусенцы, раковины, трещины и другие дефекты. Поверхности отдельных шаблонов подгоняют (прострагивают) так, чтобы они плотно прилегали друг к другу.

Часть уплотненной футеровки в месте установки шаблонов вынимают до необходимой глубины. У одноканальных печей шаблоны устанавливаются по центру каркаса на одинаковом расстоянии от его боковых стенок. При монтаже трехфазных печей в каркас сначала устанавливают средние шаблоны, а затем крайние. При монтаже двухканальных печей ряды шаблонов устанавливают параллельно на одинаковом расстоянии от боковых стенок каркаса и строго соосно с отверстиями для этернитовых цилиндров.

После проверки правильности установки шаблонов нижнюю их часть засыпают огнеупорной массой и тщательно уплотняют. Утрамбованную массу разгребают деревянной рейкой, в отверстия каркаса вставляют этернитовые цилиндры, засыпают очередную порцию огнеупорной массы и снова набивают подовый камень. Для лучшего уплотнения массы стенки каркаса и этернитовых цилиндров периодически простукивают деревянным молотком. Каркас набивают до верхнего среза. Когда подовый камень полностью готов, зафутерованный каркас помещают в ферму и крепят к нему кожух шахты.

Чтобы подину печи сделать в форме ванны, на подо-

вый камень устанавливают рамку из пластин меди или деревянных планок, засыпают огнеупорную массу и равномерно уплотняют ее до верхнего среза литых шаблонов.

Внутреннюю поверхность кожуха шахты облицовывают листовым асбестом. Шахту печи выкладывают шамотным кирпичом на водном растворе огнеупорной глины и молотого кварцита. Рабочее пространство шахты рекомендуется делать овальной формы. Пространство между кирпичной кладкой и кожухом шахты печи заполняют бывшей в употреблении огнеупорной массой. Для выпуска металла из печи в передней части шахты делают летку. Печь накрывают крышкой и производят монтаж магнитопроводов, индукторов, вентиляторов с электродвигателями и т. д. По окончании монтажа проверяют схему электрической цепи, опробывают в работе все механизмы и блокировку и проверяют подачу и слив охлаждающей воды.

Набивку съемных индукционных единиц высокоглиноземистой массой производят через отъемную боковую стенку. Полости каналов в этом случае выполняют при помощи стальных разъемных шаблонов, которые удаляют после окончания набивки. Зафутерованные индукционные единицы выдерживают в помещении при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  в течение 10 суток, затем устанавливают в вакуумные камеры на 15—20 суток; за это время температура повышается от комнатной до  $110\text{—}120^{\circ}\text{C}$ . Давление в вакуум-камере поддерживают около 500 мм рт. ст. Подготовленную индукционную единицу устанавливают на стенд и выдерживают при температуре  $90\text{—}100^{\circ}\text{C}$  (подогревают электроспиралями). Непосредственно перед установкой на печь нагревают футеровку индукционных единиц до температуры  $900\text{—}1000^{\circ}\text{C}$ . Разогретые единицы крепят к корпусу печи в возможно короткий срок (не более 25—30 мин). Подключение индукционных катушек к силовой сети и ввод новых единиц в работу производят сразу же после заливки в полость каналов расплавленного металла.

Стойкость футеровки индукционных единиц, изготовленных из высокоглиноземистой массы, составляет 2—2,5 года. Заменяют их по графику, до момента выхода из строя.

Рабочую поверхность шахты печи со сменными индукционными единицами футеруют блоками, изготовленными

ми также из высокоглиноземистой огнеупорной массы. Блоки укладывают на мертель. Кладку печи сушат с помощью электрических спиралей при температуре  $100^{\circ}\text{C}$  в течении 7—10 суток.

### *Ввод печей в работу*

Подовый камень с кварцевой набивкой и кладку плавильных печей перед пуском в эксплуатацию медленно сушат, чтобы предупредить возникновение термических напряжений в футеровке. В качестве топлива используют древесный уголь; для ускорения процесса сушки в шахту иногда помещают корзину с нихромовым сопротивлением.

Размораживание (разогрев) литых медных шаблонов печей проводят по строго установленному режиму, обеспечивающему постепенный разогрев и расплавление меди и спекание футеровки подового камня. Процесс спекания футеровки можно разделить на три периода: 1) сушка, в течение которой удаляется излишняя влага и футеровка печи приобретает некоторую начальную прочность; 2) период постепенного повышения температуры до температуры плавления меди; 3) выдержка при температуре расплавленной меди.

Мощность печи в процессе разморозки постепенно повышают и после расплавления шаблонов подплавляют медь небольшими порциями. В ванне печи на поверхности расплавленной меди поддерживают слой раскаленного древесного угля толщиной не менее 50 мм.

Продолжительность работы печи и стойкость подового камня больше всего зависят от третьего периода, в начале которого спекаемый материал представляет плотную массу отдельных частиц, пропитанных небольшим количеством расплавленного шлака, образующегося при взаимодействии кварцита с добавками и примесями огнеупорной массы. Через определенный промежуток времени, в конце третьего периода, огнеупорная масса, соприкасающаяся с расплавленным металлом в каналах, теряет свою рыхлость и приобретает прочность. Важно отметить, что ни одна из известных добавок не обеспечивает спекание кварцевой футеровки на достаточную для обеспечения механической прочности глубину непосредственно после расплавления медных шаблонов. Под действием

расплавленной меди на границе раздела огнеупор — металл образуется лишь тонкая пленка, препятствующая проникновению жидкой меди в футеровку. Чтобы обеспечить спекание более толстого слоя футеровки, в печь в качестве шихты в течение нескольких суток загружают только компактные материалы, притом небольшими порциями.

### *Порядок работы на печах*

Металл в индукционной канальной печи может нагреваться и плавиться только в том случае, если он замыкает цепь в канале вокруг индуктора с сердечником. Когда шихтовые материалы загружают на подину, а в

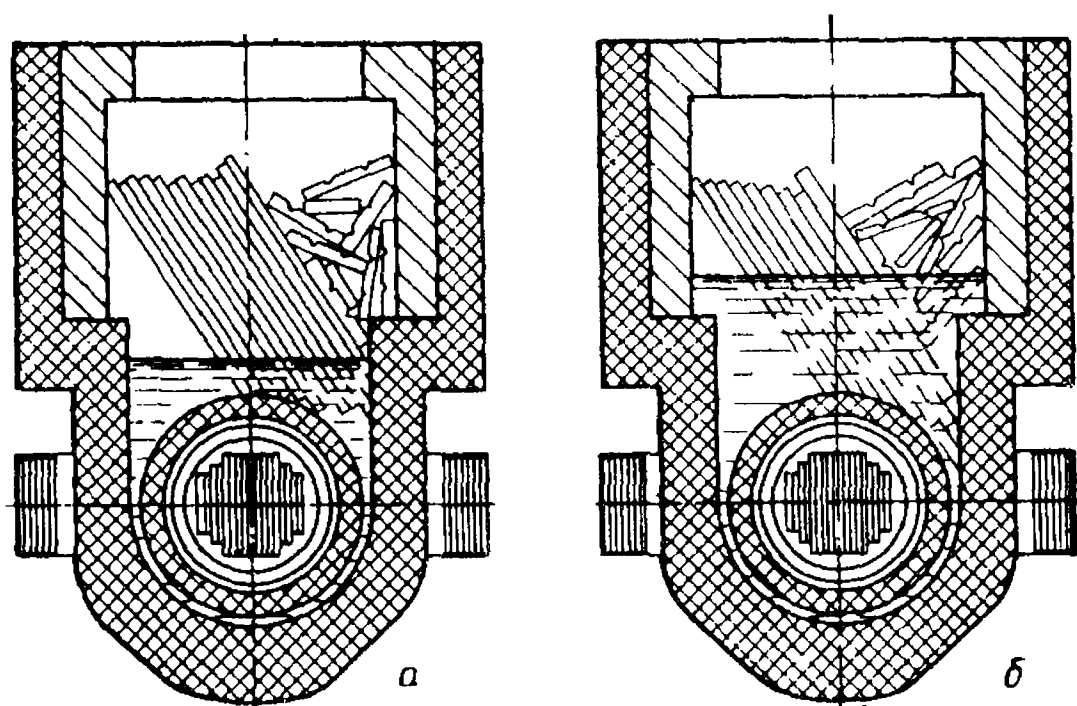


Рис. 5. Схема процесса плавения шихтовых материалов с минимальным (а) и оптимальным (б) количеством жидкого металла в ванне печи

ванне печи оставляют минимальное количество расплава, плавление идет сравнительно медленно, так как почти нет непосредственного контакта между твердой шихтой и жидким металлом (рис. 5, а). Производительность печи значительно возрастет, если после каждой разливки оставлять в ванне 20—30% расплава. За счет непосредственного контакта шихты с жидким металлом ускоряется ее нагрев; наряду с интенсивным плавлением шихты идет ее растворение (рис. 5, б).

Категорически запрещается перегревать расплав в ванне сверх установленной температуры, так как может оплавиться футеровка и расплав из каналов печи пройдет на индуктор. При кратковременном перегреве печь если и не выйдет из строя, то значительно сократится срок ее службы.

Достаточно точным признаком достижения металлом требуемой температуры разливки может служить пульсация паров цинка в каналах печи при плавлении латуни, содержащей более 30% Zn. При цинковой пульсации происходит весьма интенсивное перемешивание расплава, сопровождаемое повышенными потерями цинка. Поэтому нужно ограничиваться двумя-тремя пульсациями, что вполне достаточно для определения готовности металла.

Перед разливкой металла печь выключают, дополнительно перемешивают расплав механическим способом, снимают шлак и отбирают пробу для определения химического состава. Продолжительность разливки обычно стремятся сократить до минимума, поэтому емкость печи должна соответствовать максимальной массе одновременно отливаемых слитков, емкости миксера при полунепрерывном литье или производительности установок при непрерывном литье.

### *Причины выхода печей из строя*

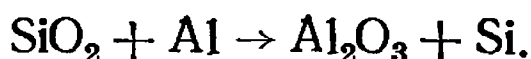
В процессе непрерывной эксплуатации индукционных печей со стальным сердечником футеровка шахты и подового камня непрерывно подвергается термическим, химическим и механическим воздействиям. В исключительно тяжелых условиях находится футеровка подового камня. Основные причины выхода печей из строя следующие:

- 1) протекание металла на индуктор из-за перегрева или механических повреждений футеровки подового камня;
- 2) изменение сечения нагревательных каналов вследствие их зарастания или размывания;
- 3) разрыв нагревательных каналов при замораживании металла в печи.

Прорыв жидкого металла через футеровку подового камня на индуктор происходит главным образом из-за

перегрева печи. Этернитовый цилиндр, расположенный между индуктором и подовым камнем, является своего рода изолятором, затрудняющим охлаждение спекшейся огнеупорной массы. Футеровка при перегреве расплава в ванне также перегревается и теряет прочность. Жидкий металл в этом случае проникает через всю толщину футеровки, разрушает подовый камень и подплавляет индуктор. Жидкий металл может попасть на индуктор также из-за плохого качества огнеупорного материала или слабой и неравномерной набивки огнеупорной массы.

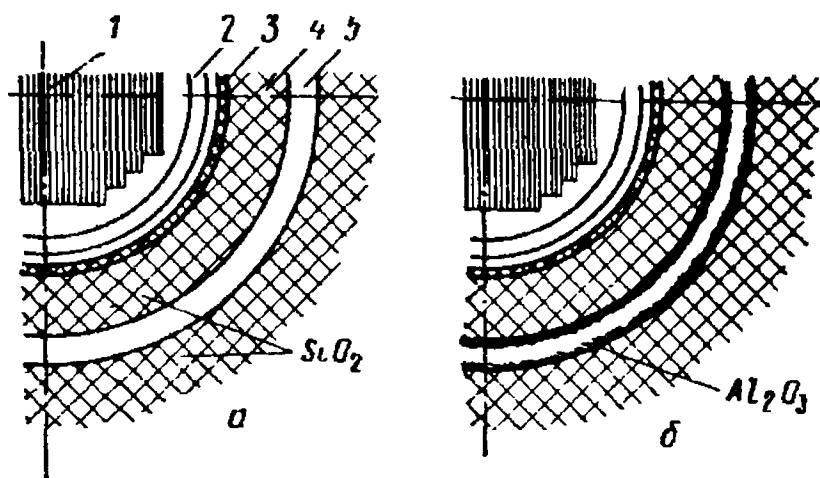
Изменение сечения нагревательных каналов печи происходит главным образом вследствие зарастания их стенок окислами металлов или разъедания в результате взаимодействия некоторых активных металлов с футеровкой печи. Так, при плавлении алюминиевых латуней или бронз кремнезем восстанавливается расплавленным алюминием по реакции



Образующаяся окись алюминия с температурой плавления  $2050^\circ \text{C}$  откладывается на стенках нагревательных каналов, уменьшая их сечение (рис. 6). Регулярная чист-

Рис. 6. Изменение сечения нагревательного канала вследствие зарастания его стенок  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :

*a* — новый канал;  
*б* — канал, на стенках которого в процессе работы печи отложена окись алюминия; 1 — сердечник; 2 — индуктор; 3 — этернитовый цилиндр; 4 — футеровка; 5 — нагревательный канал



ка каналов стальными или никелевыми шинами приводит к восстановлению их первоначального сечения, но вместе с тем и к постепенному разрушению футеровки.

Магний, применяемый в качестве раскислителя никеля и некоторых его сплавов при плавлении в индукционных печах, также способствует зарастанию полости ка-

налов и ванны печи окислами магния, вследствие чего печь начинает работать непроизводительно. Чистка каналов таких печей никелевыми шинами не всегда эффективна, поэтому печь в некоторых случаях перефутеруют.

Плавление меди и её сплавов, содержащих марганец, наоборот, приводит к разъеданию кладки печи каналов марганцем, который весьма активно взаимодействует с кварцевой футеровкой. Периодическое плавление в пе-

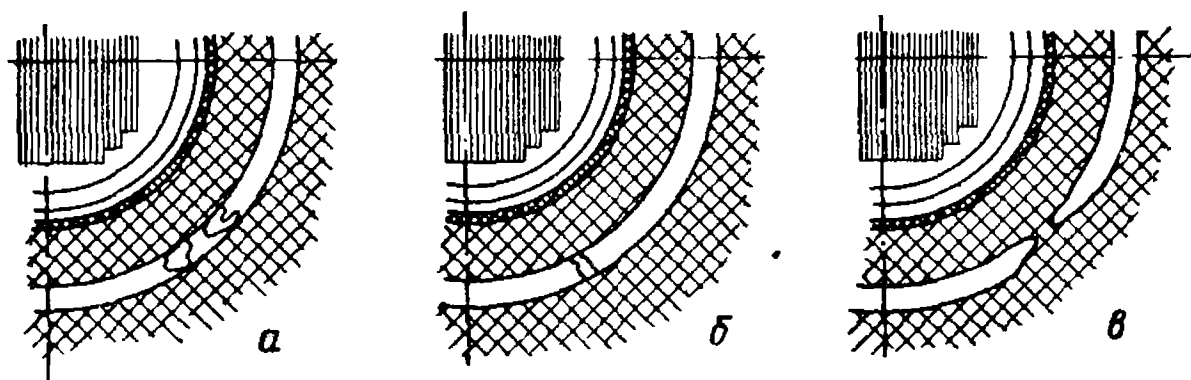


Рис. 7. Разрыв канала печи вследствие засорения его шлаком или кусками футеровки (а), замораживания (б) и оплавления футеровки (в)

чи сплавов, содержащих марганец, способствует поддержанию заданного сечения каналов. В отдельных случаях для промывки печи проводят две-три плавки марганцевой меди, что обеспечивает восстановление оптимального сечения каналов.

Замораживание и разрыв каналов печи может произойти в следующих случаях:

а) полностью слит расплав из ванны, каналы (вторичная цепь) оказались незамкнутыми, вследствие чего при включении печи происходит выброс металла. Если в печь немедленно не залить жидкий металл, то каналы замерзнут;

б) при сливе расплава печь не выключали, что также приводило к выбросу расплава в момент размыкания каналов;

в) засорился канал шлаком, кусками футеровки и другими не проводящими ток материалами, из-за чего прекратилась циркуляция тока по каналу и металл в нем замерз (рис. 7, а);

г) разорвался канал вследствие замораживания или оплавления футеровки (рис. 7, б и в).

Футеровка шахты печи, как правило, служит значительно дольше, чем подовый камень.

## ИНДУКЦИОННЫЕ МИКСЕРЫ

Миксер является промежуточной емкостью между плавильной печью и кристаллизатором и служит для накопления расплава, выравнивания его температуры и химического состава. Кроме того, миксер обеспечивает возможность одновременной отливки нескольких слитков при заданной температуре металла.

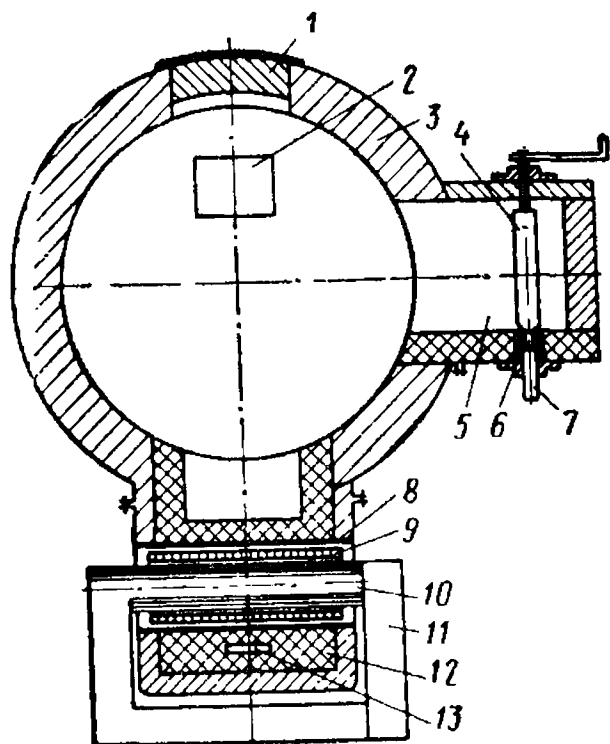


Рис. 8. Устройство индукционного канального миксера:

1 — крышка горловины; 2 — отверстие для съема шлака; 3 — огнеупорная футеровка; 4 — графитовый шток; 5 — разливочная коробка; 6 — графитовая втулка; 7 — графитовая трубка; 8 — этернитовый цилиндр; 9 — индукционная катушка; 10 — сердечник; 11 — ярмо трансформатора; 12 — подовый камень; 13 — кольцевой нагревательный канал

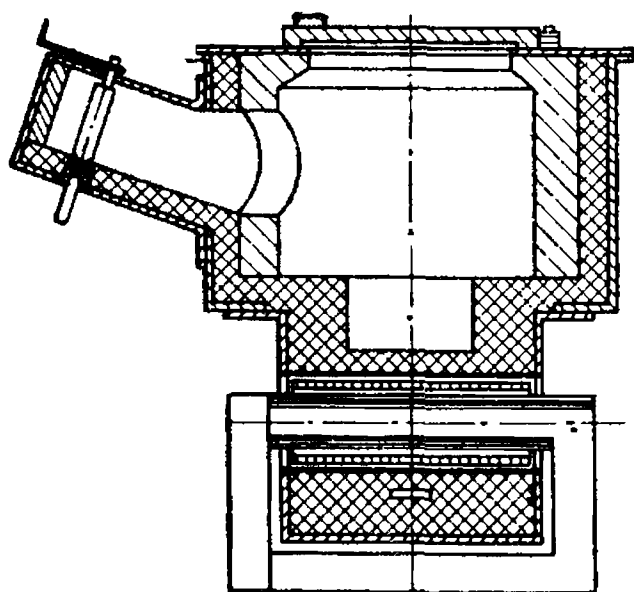


Рис. 9. Плавильно-раздаточная печь для плавки и полунепрерывной разливки меди и ее сплавов

Миксер обычно представляет собой индукционную канальную печь барабанного типа (рис. 8). С одного торца барабана имеется окно для приема расплава, с другого — окно для удаления шлака и отверстие для аварийного слива металла. Барабан имеет одно или два отверстия

для чистки шахты миксера и прямоугольные отверстия с фланцами для крепления к нему каркаса с подовым камнем и разливочной коробки. Внутренняя поверхность барабана облицована огнеупорным кирпичом или специальными блоками из высокоглиноземистой массы. В цилиндрические отверстия каркаса вставлены водоохлаждаемые индукторы с магнитопроводами. Для охлаждения индукторов и футеровки подового камня устанавливаются вентиляторы. Поворот миксера осуществляется с помощью приводного механизма. Управление электрической частью и всеми механизмами миксера производится с пульта управления.

Рабочая емкость миксера колеблется от 2500 до 6000 кг. Ниже приведены краткие сведения о применяемых на заводах миксерах марок ИЛКМ2,5 и ИЛКМ6:

|                                                                             | ИЛКМ 2,5 | ИЛКМ 6 |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|--------|
| Емкость полезная, т . . . . .                                               | 2,5      | 6,0    |
| Емкость канальной части, т . . . . .                                        | 2,0      | 3,0    |
| Потребляемая мощность, кВт . . . . .                                        | 250      | 500    |
| Число фаз . . . . .                                                         | 1        | 2      |
| Число индукционных единиц . . . . .                                         | 1        | 1      |
| Номинальное напряжение, в . . . . .                                         | 350      | 350    |
| Коэффициент мощности с компенсацией . . . . .                               | 0,98     | 0,98   |
| Максимальное число одновременно отливаемых слитков . . . . .                | 3        | 3      |
| Удельный расход электроэнергии при перегреве на 100 град, кВт·ч/т . . . . . | 22       | 19     |
| Мощность холостого хода, кВт . . . . .                                      | 65       | 95     |
| Масса миксера с металлом, т . . . . .                                       | 24,5     | 35     |

Электрическая энергия в нагревательных каналах миксера преобразуется в тепловую энергию по тому же принципу, что и в индукционных канальных печах. Поскольку миксер не предназначен для плавления шихты, а служит лишь для поддержания температуры расплавленного металла в определенных пределах, расход электрической энергии на единицу продукции незначителен. Слив металла из печей в приемную камеру миксера производится, как правило, в его рабочем положении, т. е. в положении литья. Сливаются расплав либо через специальный переливной желоб, либо с помощью промежуточного ковша.

Для загрузки угля и флюсов в верхней части барабана миксера предусмотрены горловины с крышками.

Для удобства очистки футеровки шахты от шлака и настылей верхнюю часть барабана миксера (свод) делают съемной. В случае необходимости в миксер может быть подан защитный газ.

В некоторых литейных цехах еще имеются установки полунепрерывного литья с зависимым от печи кристаллизатором (рис. 9), у которых разливочная коробка совмещена с плавильной печью. На такой установке возможна одновременная отливка только одного слитка. Разливку производят после полного расплавления и перегрева металла до температуры литья. Производительность таких установок сравнительно невелика (10—15 т/сутки), так как процессы плавки и литья не совмещены во времени.

## ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ БЕЗ СТАЛЬНОГО СЕРДЕЧНИКА

Индукционные печи без сердечников применяют при плавлении некоторых жаропрочных сплавов, при периодическом режиме работы и при частых сменах выплавляемых марок металлов или сплавов. Их применяют также взамен отражательных печей, так как они обеспечивают меньшие потери цветных металлов при плавке. Устройство и принцип работы индукционных печей без сердечника весьма просты. Промышленная печь состоит из индуктора (рис. 10), представляющего собой цилиндрическую спираль, изготовленную из медной, охлаждаемой водой, трубки, внутри которой помещен тигель. Тигель чаще всего изготавливают из графита или делают набивную футеровку из молотого кварцита, магнезита или высокоглиноземистой массы со связующими добавками. По индуктору циркулирует переменный ток определенной силы и частоты, который создает внутри спирали переменное магнитное поле. Силовые линии магнитного поля пронизывают тигель с шихтой и возбуждают в ней индукционный ток, благодаря которому происходит нагрев и расплавление шихтовых материалов.

В индукционных печах без сердечника достигается интенсивное электродинамическое перемешивание расплава, обеспечивающее однородность его температуры и химического состава. К другим преимуществам этих печей следует отнести большую скорость плавления шихты, возможность нагрева металла до более высокой температуры, возможность ведения процесса плавки и

разливки в среде защитной атмосферы и в вакууме, отсутствие потерь при переходе с плавки одного металла или сплава на другой и т. д.

Диаметр кусков материалов, составляющих шихту, для плавления в индукционных печах без сердечника должен быть не менее 10 мм. Более мелкую шихту загружают в предварительно расплавленный металл.

Металл из таких печей сливают через летку, наклоняя печь с помощью гидравлического привода.

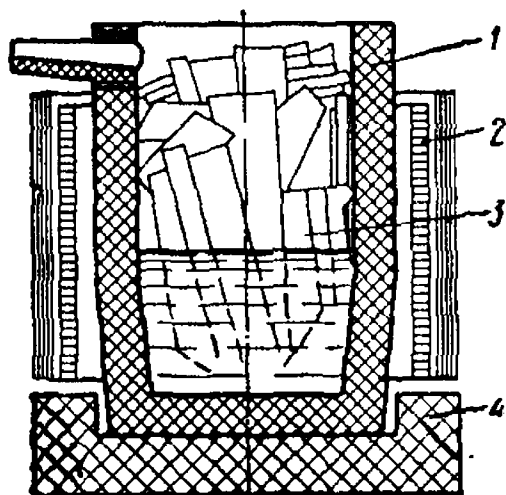


Рис. 10. Индукционная печь без сердечника:

1 — тигель; 2 — индуктор;  
3 — шихта; 4 — изоляция

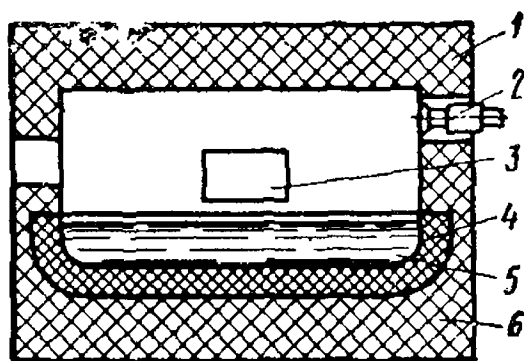


Рис. 11. Схема пламенной отражательной печи, работающей на жидком, газообразном или пылевидном топливе:

1 — свод; 2 — форсунка; 3 — завалочное окно; 4 — подиум;  
5 — расплавленный металл;  
6 — основание печи

## ПЛАМЕННЫЕ ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ

Пламенными отражательными печами называют такие плавильные агрегаты, в которых нагрев, расплавление и перегрев металла происходят под действием тепла, выделяемого при сжигании топлива и отражаемого стенками и сводом печи.

Отражательные печи применяют для переплава лома и производственных отходов меди. Емкость их в заготовительных литейных цехах обычно не превышает 15—20 т. Ванну таких печей делают неглубокой, но с большой поверхностью, что дает возможность вести скоростные плавки. Однако большая поверхность ванны приводит к значительному окислению и газонасыщению металла вследствие непосредственного контакта продуктов горения с расплавом.

Пламенная отражательная печь — громоздкий плавильный агрегат, заключенный в прочный металлический кожух, выложенный изнутри огнеупорным кирпичом. Верхняя часть печи, от которой отражаются тепловые лучи, называется сводом; нижняя часть, служащая ванной для металла, — подом (рис. 11).

Имеются три разновидности отражательных печей: стационарные, наклоняющиеся и качающиеся. Из ванны стационарных отражательных печей металл вычерпывают ковшом через специальные отверстия, расположенные сбоку, или выпускают через летку, размещенную в нижней части рабочего пространства печи. В отличие от стационарных отражательных печей наклоняющиеся и качающиеся отражательные печи можно поворачивать при выпуске металла или загрузке шихты с помощью поворотных механизмов. Качающиеся отражательные печи в процессе работы непрерывно поворачиваются по отношению к своему среднему положению на некоторый угол, вследствие чего расплав благодаря непосредственному контакту с раскаленной футеровкой стенок кладки дополнительно нагревается.

## ВАКУУМНЫЕ ПЕЧИ

Для получения высококачественных металлов и сплавов, содержащих минимальное количество газов и примесей, плавку ведут в вакуумных печах. Вакуум позволяет исключить взаимодействие расплава с газами, попадающими из атмосферы, а также очистить металл от большинства растворимых в нем газов.

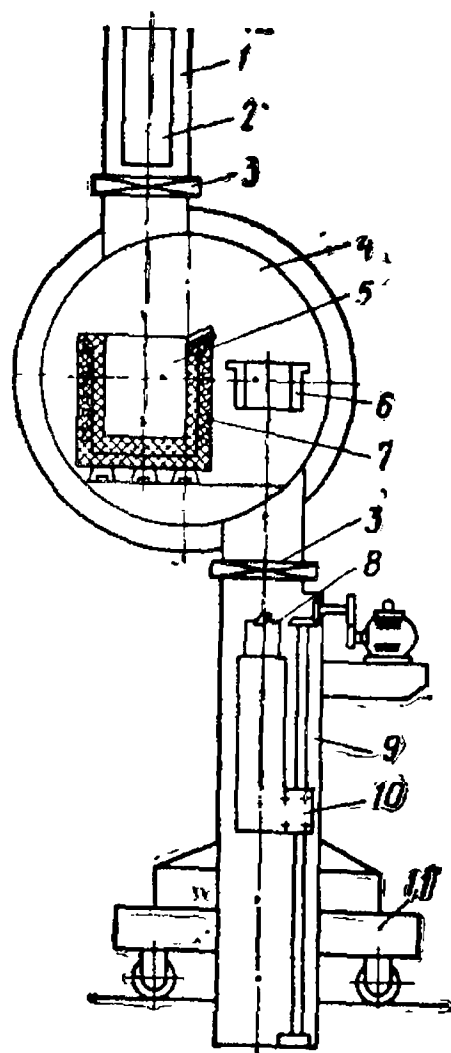


Рис. 12. Схема вакуумной установки:

1—камера загрузки; 2—контейнер с шихтой; 3—затвор; 4—камера плавления; 5—индукционная печь; 6—кристаллизатор; 7—индуктор; 8—поддон с затравкой; 9—камера разлива; 10—камера; 11—тележка

Рассмотрим одну из конструкций вакуумной установки ОКБ-891, применяемой для плавки и разливки тяжелых цветных металлов. Она состоит из трех камер (рис. 12): а) камеры загрузки с электромеханическим приводом; б) плавильной камеры, в которой смонтирована индукционная печь с кристаллизатором; в) камеры разливки с литейной машиной. Все три камеры могут сообщаться между собой с помощью затворов. Вакуум в камерах создается и поддерживается вакуумной системой, состоящей из бустерного насоса БН-4500, трех форвакуумных насосов ВН-6Г и магистралей с задвижками.

Камеры загрузки обеспечивают периодическую загрузку печи без нарушения вакуума в плавильной камере.

Высокочастотная индукционная печь с графитовым тиглем, установленная в плавильной камере, по устройству и принципу работы ничем не отличается от рассмотренной выше индукционной печи без сердечника. Плавильная камера оборудована устройствами для отбора проб, измерения температуры расплава в тигле и чистки тигля после очередной плавки.

В разливочной камере размещена литейная машина с винтовым приводом, позволяющая разливать металл в кристаллизатор. В случае необходимости в эту камеру устанавливают изложницу. Чтобы удалить готовый слиток, камеру разливки выкатывают за пределы плавильной камеры к разгрузочному проему установки.

Ниже приведена техническая характеристика вакуумной установки ОКБ-891:

|                                                            |                                     |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Емкость тигля по меди, кг . . . . .                        | 1000                                |
| Мощность преобразователя повышенной частоты, кВт . . . . . | 500                                 |
| Напряжение питающей сети, в . . . . .                      | 6000/3000                           |
| Частота генератора, гц . . . . .                           | 1000                                |
| Максимальная температура металла в тигле, °С . . . . .     | 1600                                |
| Рабочий вакуум, мм рт. ст. . . . .                         | $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-2}$ |
| Продолжительность плавки, ч . . . . .                      | 2,5                                 |
| Продолжительность разливки в кристаллизатор, ч . . . . .   | 0,5                                 |

## ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫЕ ПЕЧИ

Для плавки и разливки тугоплавких металлов и сплавов высокой чистоты все шире применяют вакуумные электроннолучевые установки. Принципиальная схема устройства одной из таких установок показана на рис. 13.

Нагрев и расплавление шихты в электроннолучевых печах осуществляется с помощью электронов, выделяемых катодом, нагретым до высокой температуры. На пути от катода к аноду электроны под действием высокого напряжения (до 20 кВ) разгоняются до значительных скоростей, концентрируются в пучок и с помощью специ-

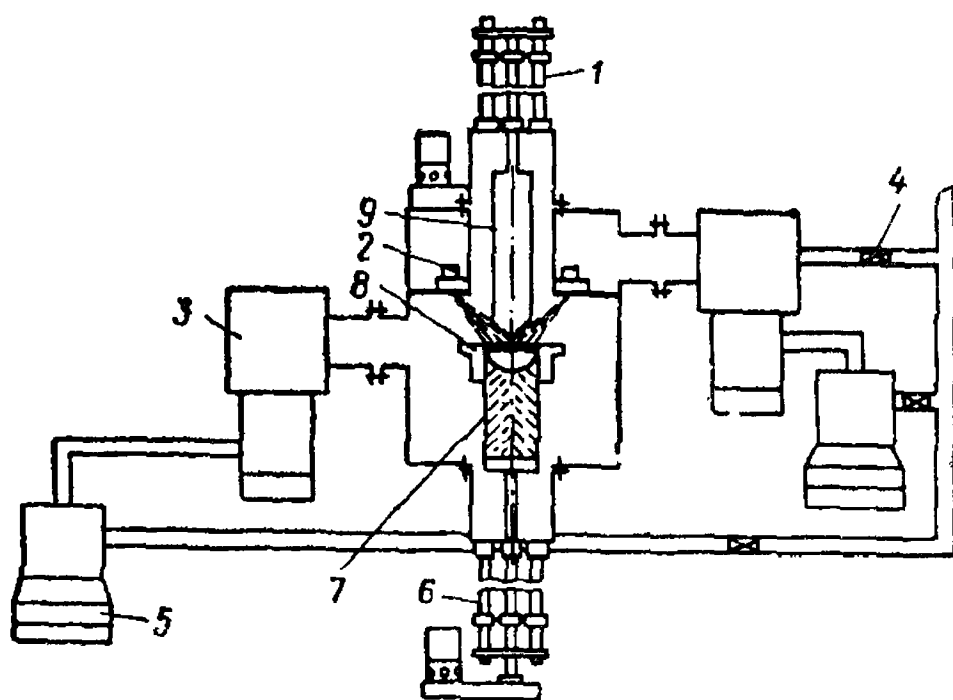


Рис. 13. Принципиальная схема электроннолучевой установки:

1 — подающий механизм; 2 — электроннолучевая пушка; 3 — вакуумный насос; 4 — затвор; 5 — бустерный насос; 6 — вытягивающий механизм; 7 — слиток; 8 — кристаллизатор; 9 — расходимый электрод

ально создаваемых магнитных и электрических полей отклоняются в нужном направлении. При столкновении электронов с металлической шихтой выделяется тепловая энергия.

Устойчивая работа электроннолучевой печи достигается только при давлении в камере не выше  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. В глубоком вакууме столкновений между вылетающими с катода электронами и молекулами воздуха или газа почти не происходит, поэтому торможение электронов, а следовательно и непроизводительные затраты энергии минимальные. Поэтому производительность электроннолучевых установок в первую очередь зависит от надежной работы вакуумных агрегатов.

Металл электроннолучевой плавки используют не только для получения слитков, но и фасонных отливок

Электрошлаковый переплав металлов и сплавов — новый высокоэффективный способ получения высококачественной литой заготовки, предназначенной для последующей обработки давлением или резанием. Простейшая схема процесса показана на рис. 14. Для получения расходуемого электрода куски шихтовых материалов, подлежащих переплаву, сваривают (или соединяют каким-либо другим способом).

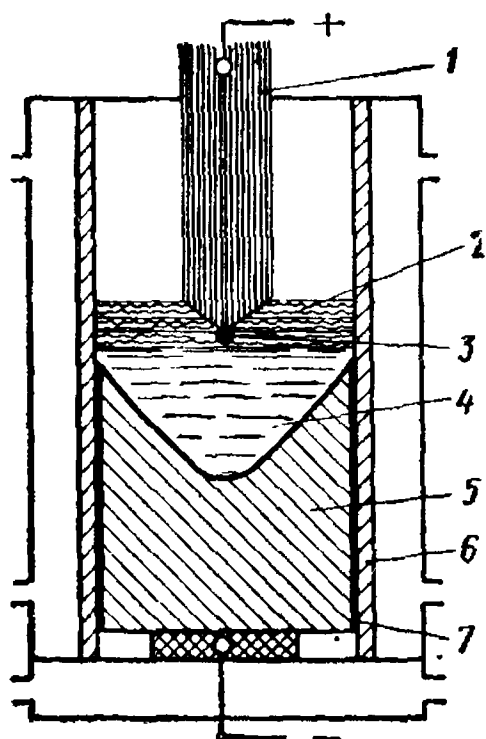


Рис. 14. Схема электрошлакового переплава в печах с расходуемым электродом:

1 — электрод; 2 — шлаковая ванна; 3 — капли жидкого металла; 4 — лунка жидкого металла; 5 — затвердевший металл; 6 — кристаллизатор; 7 — корка твердого шлака

Такой метод подготовки шихты позволяет максимально использовать отходы производства и вводить в сплав легирующие добавки в виде приваренных к электроду прутков и штанг или трубы с запрессованными в нее металлическими порошками.

Для расплавления расходуемого электрода используется тепло, получаемое в результате прохождения переменного электрического тока через слой расплавленного шлака. В начале процесса расходуемый электрод опускают до соприкосновения с поддоном и быстро поднимают вверх на

высоту, обеспечивающую устойчивый режим плавления. Расплавляясь, металл стекает в открытый медный водоохлаждаемый кристаллизатор. В процессе работы, по мере оплавления заготовки, электрод автоматически опускается вниз.

Основным преимуществом электрошлакового переплава является непрерывное наплавление жидкого металла с последующим направленным снизу вверх затвердеванием его, что способствует очистке расплава от окисных и газовых включений и получению плотных слитков,

## Глава III

# Шихтовые материалы и их подготовка к плавке

### КЛАССИФИКАЦИЯ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сырье, используемое для плавки, обычно называют шихтой или шихтовыми материалами. При плавке тяжелых цветных металлов применяют следующие шихтовые материалы:

- 1) первичные металлы, получаемые непосредственно из руд на металлургических заводах и поставляемые в виде катодов, чушек и плит;
- 2) вторичные металлы и сплавы в виде различного рода промышленных отходов;
- 3) отходы собственного производства;
- 4) промежуточные сплавы, или лигатуры.

Согласно действующим стандартам и техническим условиям на цветные металлы, сплавы и их лом, приведенные выше шихтовые материалы можно, в свою очередь, разделить на марки, классы, группы и сорта в соответствии с количеством и видом содержащихся в них примесей. Примеси, переходящие вместе с шихтовыми материалами в сплав, как правило, снижают свойства изготавливаемых из них полуфабрикатов. Поэтому при расчете шихты необходимо обеспечить содержание примесей в готовом сплаве не выше допустимого стандартами или техническими условиями.

Во избежание загрязнений, в первую очередь, неметаллическими включениями все шихтовые материалы, предназначенные для производства слитков, хранят в крытых и сухих помещениях отдельно по маркам.

#### *Первичные металлы*

Все первичные металлы, применяемые в качестве шихтовых материалов, стандартизованы. Согласно государственным стандартам (ГОСТам) первичные металлы классифицированы по маркам в зависимости от содержания в них примесей. Кроме того, в стандартах указан внешний вид материала, маркировка, масса одной плиты или чушки, методы контроля, приемки и т. д.

Количество тех или иных примесей в первичном металле определяется в первую очередь происхождением руды, методом получения металла и степенью очистки.

### *Вторичные металлы и сплавы*

К вторичным цветным металлам и сплавам относят пришедшие в негодность металлические детали различного рода бытовых приборов, аппаратов, станков и машин, отходы промышленного производства в виде обрезков стружки и опилок. Большая часть вторичных цветных металлов и сплавов перерабатывается на специализированных заводах в чушки, которые служат шихтой при производстве фасонных отливок. Иногда, чтобы снизить концентрацию вредных примесей в получаемом вторичном сплаве, к лому и низкокачественным отходам цветных металлов добавляют первичные металлы, а также проводят очистку расплава от газов и твердых неметаллических включений, главным образом окислов. По содержанию примесей вторичные металлы и сплавы приближаются к стандартным металлам и сплавам более низких марок.

### *Отходы собственного производства*

Отходы собственного производства (оборотные) образуются в производственных цехах при резке слитков на заготовки, при прокатке и прессовании заготовок и при обработке полуфабрикатов. К оборотным отходам литейного цеха относят литниковые части слитков наполнительного и полунепрерывного литья, донные части слитков полунепрерывного литья, слитки, забракованные по различным причинам, сплески, корольки, стружку и опилки, образующиеся при резке и фрезеровании слитков. В обрабатывающих цехах оборотными материалами являются кромки и концы катаных листов и лент, пресс-остатки, обрезанные захваты и концы труб и прутков, стружка и опилки.

Все отходы литейных и обрабатывающих цехов собирают строго по сплавам в специальные короба, маркируют и передают в шихтовый отдел. Их рациональнее использовать при приготовлении сплавов аналогичных марок.

Одним из недостатков индукционных канальных печей со стальным сердечником является обязательное наличие остаточного жидкого металла в нагревательных каналах, емкость которых составляет до 50% рабочей емкости печи. Часто при переходе на плавку другого сплава этот остаточный металл необходимо удалять из каналов печи или миксера во избежание попадания в новый сплав вредных примесей. Поэтому предварительно ванну печи промывают тем металлом, который в дальнейшем будут выплавлять.

Слитки, отлитые из металла, применяемого для промывки каналов печи, не имеют стандартного химического состава и называются переходными. Получение переходных слитков в производственном процессе неизбежно. Их не подвергают дальнейшей обработке, а повторно переплавляют. До получения результатов химического анализа эти слитки хранят отдельно от годных слитков. Переплавляют их обычно на тот сплав, с которого сделан переход. Это позволяет сохранять в сплаве такие ценные металлы, как, например, олово, никель, свинец и др.

### *Лигатуры*

При производстве слитков применяется группа вспомогательных сплавов, называемых лигатурами. Лигатуры для приготовления медных сплавов представляют собой сплав меди с одним или несколькими компонентами, например с кремнием, алюминием, марганцем и т. д.

Применение лигатур рекомендуется в следующих случаях.

1. При получении сплавов возможно более точного химического состава. Для ряда сплавов содержание отдельных компонентов ограничено узкими пределами. Введение непосредственно легирующего элемента не всегда позволяет получить сплав требуемого состава и часто приводит к произвольным затратам.

2. При необходимости вводить элементы, обладающие более высокой температурой плавления по сравнению с температурой плавления основного компонента. Введение тугоплавких элементов неизбежно удлиняет время плавки и приводит к излишнему перегреву сплава, а сле-

довательно, к перерасходу электроэнергии и большим потерям цветных металлов от испарения и окисления. Лигатуры же подбирают с низкими температурами плавления.

3. При введении малых количеств элементов, плохо сплавляющихся с основным компонентом сплава из-за их способности к окислению или испарению. Присаживая в печь легирующий элемент в виде лигатуры, можно с достаточной точностью обеспечить его содержание в сплаве.

Лигатура по количеству входящих в нее компонентов может быть двойной, тройной, четверной. Если сплав содержит несколько легирующих компонентов, то их рациональнее вводить в сплав в виде сложной лигатуры.

Состав лигатуры подбирают таким образом, чтобы она имела невысокую температуру плавления и содержала максимальное количество легирующих присадок. В то же время состав лигатуры определяется минимальными затратами энергии для ее приготовления, быстрым и полным растворением в сплаве, равномерным распределением легирующих элементов по всему объему ванны и минимальными потерями при сплавлении. Ниже приведены примерные составы и температуры плавления ( $^{\circ}\text{C}$ ) наиболее распространенных лигатур:

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Меднофосфористая (7—10% P) . . . . .                                       | 900—1020  |
| Меднохромовая (2—6% Cr) . . . . .                                          | 1200      |
| Медножелезная (5—10% Fe) . . . . .                                         | 1350—1450 |
| Меднокремниевая (15—25% Si) . . . . .                                      | 800—1000  |
| Медномарганцевая (25—30% Mn) . . . . .                                     | 850—900   |
| Медномышьяковистая (20—22% As) . . . . .                                   | 750       |
| Меднобериллиевая (7—15% Be) . . . . .                                      | 900       |
| Меднокадмиевая (28% Cd) . . . . .                                          | 900       |
| Медьникелькремниймарганцевая (14—16% Ni,<br>9—11% Si, 14—16% Mn) . . . . . | 980—1050  |

Способы приготовления лигатур описаны в гл. IV.

## РАСКИСЛИТЕЛИ

В расплавленном состоянии медь и некоторые ее сплавы весьма активно взаимодействуют с кислородом воздуха, образуя окислы, частицы которых остаются в расплаве. Кислород, присутствующий в виде окислов, резко снижает физико-химические и эксплуатационные свойства изделий из меди и ее сплавов.

Для удаления кислорода из расплава применяют специальные вещества, называемые раскислителями. Раскислители могут быть твердыми, порошкообразными, жидкими и газообразными.

К твердым раскислителям относятся древесный уголь, графит, фосфор в виде фосфористой меди, цинк и др.; к порошкообразным — ламповая сажа и графитовый порошок; к жидким — борный шлак; к газообразным — водород, окись углерода, метан и др.

Все вещества, применяемые в качестве раскислителей, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) быть сравнительно дешевыми и недефицитными;
- 2) быть достаточно активными и хорошо замешиваться в расплав;
- 3) продукты реакции, образующиеся в процессе раскисления, должны легко, быстро и полностью удаляться из расплава;
- 4) избыток раскислителя, вводимого в расплав для гарантии полноты раскисления, не должен ухудшать свойства изделий, получаемых из раскисленного металла.

## ФЛЮСЫ

Флюсы при плавке цветных металлов применяют в целях:

- 1) защиты поверхности расплава от охлаждения, окисления и газонасыщения;
- 2) удаления из расплавов окислов, металлических и неметаллических включений;
- 3) изменения структуры металла.

В зависимости от назначения флюсы подразделяют на защитные и рафинирующие.

Медь и ее сплавы плавят в основном под слоем защитных (покровных) флюсов. В отдельных случаях защитные флюсы выполняют рафинирующее действие. Криолит, например, успешно применяют при плавке латуней и бронз для рафинирования расплава от окислов алюминия.

Независимо от вида шихтовых материалов, чтобы избежать сравнительно больших потерь цветных металлов от окисления и испарения, при плавке применяют покровные флюсы.

Защитные флюсы должны обладать следующими основными свойствами:

- 1) иметь температуру плавления ниже температуры плавления приготавливаемого металла или сплава;
- 2) обладать меньшей плотностью по сравнению с расплавом, для защиты которого он применяется;
- 3) быть химически нейтральными по отношению к расплаву и материалу футеровки печи;
- 4) хорошо смачивать вредные примеси и неметаллические включения и достаточно надежно предохранять расплав от окисления;
- 5) при плавлении не выделять вредные для здоровья людей газы;
- 6) быть дешевыми и недефицитными.

Краткая характеристика наиболее распространенных флюсов при плавке меди и ее сплавов приведена в табл. 11.

Т а б л и ц а 11. СВОЙСТВА ФЛЮСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПЛАВКЕ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

| Флюс                                                            | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Температура плавления, °С |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Древесный уголь (С) . . . . .                                   | 0,15                         | —                         |
| Криолит (Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> ) . . . . .           | 2,95                         | 995                       |
| Бура (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) . . . . . | 2,37                         | 741                       |
| Фтористый кальций (CaF <sub>2</sub> ) . . . . .                 | 3,18                         | 1378                      |
| Кальцинированная сода (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) .      | 2,53                         | 851                       |
| Стекло (бой) (Na <sub>2</sub> O · CaO · 6SiO <sub>2</sub> ) .   | 2,60                         | —                         |

## ПОДГОТОВКА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ К ПЛАВКЕ

### *Сбор отходов*

Все отходы, получаемые при резке слитков и обработке полуфабрикатов, маркируют и собирают в специальные короба строго по сплавам. Мелкие отходы (витая стружка и стружка после фрезерования, концы проволоки и т. д.) для удобства транспортировки и загрузки в плавильные печи, а также для повышения выхода годного металла, перед сдачей в литейный цех сушат, брикетируют или пакетируют.

Отходы, поступающие в литейный цех из обрабатывающих цехов и имеющие, как правило, определенный химический состав, используют для выплавки того же сплава или близкого по составу, без анализа на основные компоненты и примеси, согласно маркировке и сопроводительным документам. Проверочный контроль осуществляют путем внешнего осмотра отходов сплавов по некоторым отличительным признакам, наиболее характерные из которых приведены ниже:

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Только плоский прокат; цвет излома красный с желтым оттенком . . . . .                                  | Л90       |
| Цвет излома желтый с зеленоватым оттенком . . .                                                         | Л70 и Л68 |
| Цвет излома серый с зеленоватым оттенком . . .                                                          | ЛС63-3    |
| Цвет излома желтый, блестящий . . . . .                                                                 | Л63       |
| Металл хрупкий и после надпила или надреза образца легко ломается; цвет излома серый, матовый . . . . . | ЛС59-1    |

### *Переработка стружки*

В литейные цехи заводов по обработке цветных металлов возвращается значительное количество отходов свинцовистой латуни марки ЛС59-1 в виде стружки, содержащей 4—5% эмульсии и 2—3% стальных и алюминиевых опилок. Для рационального использования латунной стружки необходима аккуратная выгрузка ее из вагонов, с минимальными потерями, и качественная подготовка к плавке.

Для удаления органических и минеральных примесей из стружки ее обжигают в наклонных барабанных вращающихся печах в потоке горячего воздуха, направленного навстречу стружке из камеры сгорания. После сушки из латунной стружки с помощью барабанного магнитного сепаратора удаляют стальные опилки и мелкие детали черных металлов. Перед плавкой в стружку вводят 1,0—1,5% криолита для очистки расплава от алюминия, присутствующего в виде опилок.

Крупную стружку в случае необходимости подвергают дроблению, центрифугированию, сушке, грохочению, сепарированию и брикетированию.

### *Сортировка и переработка привозного лома*

Согласно ГОСТ 1639—67 основное количество лома меди и медноцинковых сплавов поступает рассортиро-

ванным на классы и сорта. Перед составлением шихты лом анализируют на содержание основных компонентов и примесей. Смешанные сорта лома в виде мелких деталей с различным химическим составом используют для приготовления сплава ЛС59-1 или другого стандартного сплава, в котором допускается значительное количество примесей. Смешанные сорта лома, содержащие большое число различных компонентов и примесей, после расплавления и перемешивания разливают в слитки и анализируют. Эти слитки используют в качестве шихты для приготовления стандартных сплавов.

### *Сбор и переработка шлаков*

Шлак, образующийся при плавке цветных металлов, представляет собой смесь окислов металлов, флюсов, корольков, сплесков и различных неметаллических включений. С поверхности расплавленного металла шлак сни-

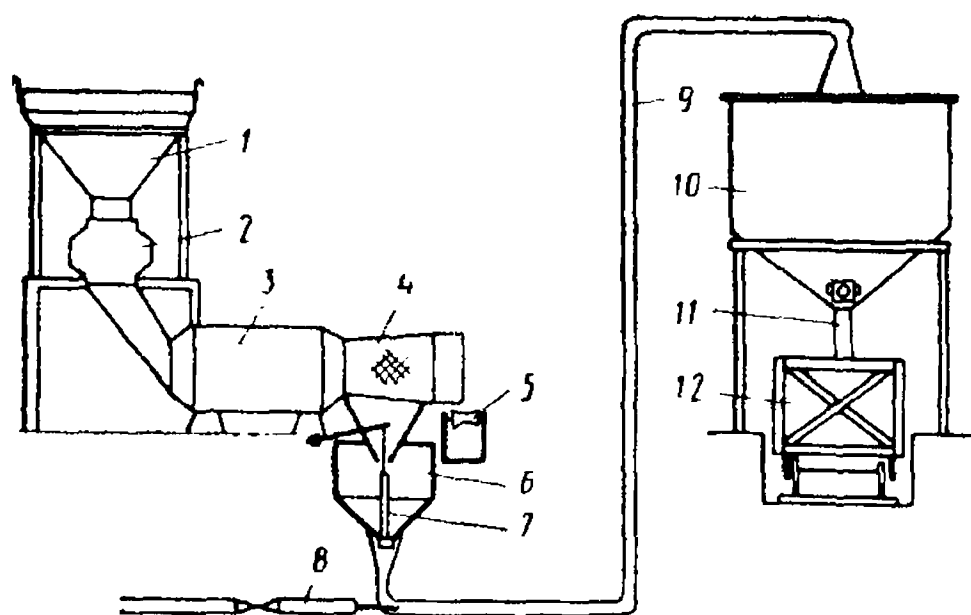


Рис. 15. Схема установки для переработки шлаков:

1 — сменный бункер со шлаком; 2 — дозатор; 3 — шаровая мельница; 4 — сетка; 5 — транспортер для корольков металла; 6 — промежуточный бункер; 7 — клапан; 8 — воздушная магистраль; 9 — шлакопровод; 10 — бункер-накопитель; 11 — гибкий шлакопровод; 12 — железнодорожный вагон

мают сухой металлической ложкой с отверстиями диаметром 20—22 мм осторожно, чтобы не захватить жидкий металл. Ложку со шлаком несколько раз встряхивают над ванной печи, чтобы дать возможность вытечь из нее случайно зачерпнутому металлу. Снятый шлак соби-

рают сначала в таз, в котором оставшиеся частицы жидкого металла затвердевают, а затем через решетку с отверстиями диаметром 25—30 мм высыпает в короб у печи. Куски металла, оставшиеся на решетке, возвращают в печь.

Просеянный шлак из коробов в конце смены высыпает в бункер установки для переработки и обогащения шлака (рис. 15), откуда он поступает в шаровую мельницу. В шаровой мельнице в результате ударного и истирающего действия стальных шаров происходит размол шлака. Внутренняя поверхность мельницы облицована броневыми плитами. Мелкая фракция размолотого шлака после выхода из барабана мельницы через металлическую сетку с прямоугольными отверстиями размером  $0,35 \times 2,5$  мм попадает в малый бункер, а крупки металла поступают на магнитный сепаратор для отделения стальных частиц, а затем в короб. Шлаковая пыль из малого бункера с помощью воздуха периодически подается по трубе в большой бункер-накопитель. Отсюда ее выгружают в железнодорожные вагоны для отправки на заводы по обработке вторичных металлов.

## РАСЧЕТ И СОСТАВЛЕНИЕ ШИХТЫ

Расчет и составление шихты — один из самых ответственных этапов в технологическом процессе производства слитков, требующий от рабочих, помимо практических навыков, определенных теоретических знаний. Правильно рассчитать шихту — это учесть все возможные изменения в соотношении компонентов в процессе последующего плавления, разливки и кристаллизации металла.

Для расчета шихты необходимо знать:

- 1) состав сплава, для которого рассчитывают шихту;
- 2) химический состав шихтовых материалов;
- 3) возможные потери отдельных компонентов шихты при плавлении и разливке.

При расчете шихты учитывают также влияние шихтовых материалов на себестоимость слитков. Наиболее дорогие шихтовые материалы — первичные металлы и лигатуры; наиболее дешевые — привозной лом и отходы собственного производства. Использование более чистых и, следовательно, более дорогих металлов без особой не-

обходимости приводит к удорожанию слитков. Поэтому количество первичных металлов в шихте максимально ограничивают, а лом и отходы собственного производства используют в шихту в максимально возможных количествах. Использование шихтовых материалов с повышенным содержанием примесей для производства относительно чистых металлов или сплавов также нерационально так как может привести к получению слитков, не соответствующих требованиям стандартов по химическому составу.

Расчет шихты ведут по среднему стандартному химическому составу сплава. Однако в ряде случаев из-за чисто экономических соображений, когда металл слишком дорог или дефицитен, расчетное содержание его в сплаве берется ближе к нижнему пределу. Легко испаряющиеся, а также окисляющиеся и переходящие в шлак компоненты вводят в шихту с некоторым избытком. Этот избыток определяют опытным путем; он зависит как от природы металла, так и от условий проведения плавки и типа плавильной печи.

Ниже приведены ориентировочные величины (в %) потерь цветных металлов при плавлении в индукционных канальных печах. Первая цифра соответствует первосортной компактной шихте, вторая — мелким загрязненным и окисленным отходам и лому:

|                    |         |                    |           |
|--------------------|---------|--------------------|-----------|
| Медь . . . . .     | 0,3—1,0 | Кремний . . . . .  | 4,0—8,0   |
| Цинк . . . . .     | 0,8—2,5 | Марганец . . . . . | 5,0—10,0  |
| Свинец . . . . .   | 1,0—2,0 | Никель . . . . .   | 0,8—1,0   |
| Олово . . . . .    | 1,0—2,0 | Бериллий . . . . . | 10,0—15,0 |
| Алюминий . . . . . | 1,0—3,0 | Мышьяк . . . . .   | 10,0—25,0 |

В заводской практике существуют следующие варианты составления шихты:

- 1) из первичных металлов;
- 2) из первичных металлов и лигатур;
- 3) из отходов собственного производства и привозного лома.

Удобнее всего расчет вести на 100 кг сплава, что значительно упрощает арифметические операции. Содержание компонентов в шихте рассчитывают по широко известной формуле

$$M_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{с}}}{100 - П} 100, \quad (8)$$

где  $M_{\text{ш}}$  — содержание металла в шихте, %;

$M_c$  — содержание металла в сплаве, %;

$P$  — потери металла при плавке, %.

Ниже приводятся примерные расчеты некоторых видов шихты.

### *Расчет шихты, состоящей из первичных металлов*

Требуется рассчитать шихту для приготовления 1500 кг сплава марки Л90 состава: 89,0% Cu, 11,0% Zn. Потери при плавлении в трехфазной индукционной канальной печи принимаем для меди — 0,3%, цинка — 0,8%.

Потребное количество каждого металла на 100 кг сплава рассчитываем по формуле (8):

$$\frac{89,0}{100 - 0,3} 100 = 89,26 \text{ кг меди,}$$

$$\frac{11,0}{100 - 0,8} 100 = 11,09 \text{ кг цинка,}$$

Определяем количество первичных металлов для приготовления 1500 кг сплава с учетом потерь:

$$89,26 \times 15 = 1339 \text{ кг}$$

$$11,09 \times 15 = 166 \text{ кг}$$

$$\text{Всего: } 100,35 \times 15 = 1505 \text{ кг}$$

Количество цинка, необходимое для подшихтовки 100 кг меди при приготовлении сплава марки Л90, находим по формуле

$$y = \frac{M_{ц}}{M_{м}} 100, \quad (9)$$

где  $y$  — количество цинка, необходимое для подшихтовки 100 кг меди на заданный сплав, кг;

$M_{ц}$  — содержание цинка в сплаве, %;

$M_{м}$  — содержание меди в сплаве, %.

Подставив в формулу (9) числовые значения, получим

$$y = \frac{11,0}{89,0} 100 = 12,4 \text{ кг.}$$

Если количеством шихты не задаются, а его определяют по массе, загруженной в шихтовый короб меди, то потребное количество цинка на 100 кг меди умножают на коэффициент, равный 0,01 массы меди. Так, для подшихтовки 1332 кг меди на сплав Л90 необходимо 12,4 кг

цинка умножить на 13,32, что даст 165 кг цинка. Необходимое количество шихты составит 1497 кг (1332 кг меди и 165 кг цинка).

### *Расчет шихты, состоящей из первичных металлов и лигатур*

Требуется рассчитать шихту для приготовления 600 кг латуни марки ЛМш68-0,05 следующего состава: 68,0% Cu; 31,95% Zn; 0,05% As. Медь и цинк вводят в сплав в чистом виде, мышьяк — в виде 20%-ной лигатуры с медью. Потери металлов при плавлении и разливке сплава составляют: меди — 0,3%; цинка — 0,8%; мышьяка — 15%.

Потребное количество каждого металла на 100 кг сплава определяем по формуле (8):

$$\frac{68,0}{100 - 0,3} 100 = 68,2 \text{ кг меди,}$$

$$\frac{31,95}{100 - 0,8} 100 = 32,2 \text{ кг цинка,}$$

$$\frac{0,05}{100 - 15} 100 = 0,059 \text{ кг мышьяка.}$$

Определяем необходимое количество медномышьяковистой лигатуры на 100 кг сплава:

$$\frac{0,059}{20} 100 = 0,3 \text{ кг.}$$

С лигатурой в сплав поступает: 0,059 кг мышьяка; 0,3—0,059=0,241 кг меди.

На 100 кг шихты меди в чистом виде потребуется:

$$68,2 - 0,241 = 67,959 \text{ кг.}$$

Таким образом, для производства 6000 кг сплава ЛМш68-0,05 потребуется шихты:

|                         |                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------|
| Меди                    | $67,959 \times 60 = 4078,0 \text{ кг}$  |
| Цинка                   | $32,2 \times 60 = 1932,0 \text{ кг}$    |
| Лигатуры<br>медь—мышьяк | $0,3 \times 60 = 18,0 \text{ кг}$       |
| <hr/>                   |                                         |
| Всего                   | $100,459 \times 60 = 6028,0 \text{ кг}$ |

Количество цинка и медномышьяковистой лигатуры, необходимых для подшихтовки 100 кг меди, рассчитан-

ное по формуле (9), составляет: цинка — 47 кг; 20%-ной лигатуры медь — мышьяк — 0,44 кг.

### *Расчет шихты, состоящей из отходов собственного производства*

Требуется рассчитать шихту для приготовления 1000 кг сплава марки ЛС59-1 следующего состава: 58,0% Си; 41,0% Zn; 1,0% Pb. В качестве шихтовых материалов используем оборотные отходы сплава Л68, содержащие 68,0% Си и 32,0% Zn. Потери металлов при плавке и литье составляют меди — 0,3%, цинка — 0,8% и свинца — 1,0%.

Потребное количество каждого металла на 100 кг сплава рассчитываем по формуле (8):

$$\frac{58,0}{100 - 0,3} 100 = 58,17 \text{ кг меди,}$$

$$\frac{41,0}{100 - 0,8} 100 = 41,33 \text{ кг цинка,}$$

$$\frac{1,0}{100 - 1,0} 100 = 1,01 \text{ кг свинца.}$$

Определим, какое количество отходов сплава Л68 необходимо ввести в шихту, чтобы она содержала 58,17 кг меди:

$$\frac{58,17}{68,0} 100 = 85,54 \text{ кг.}$$

С учетом потерь в шихту требуется добавить цинка:  
 $58,17 + 41,33 - 85,54 = 13,96 \text{ кг.}$

Т а б л и ц а 12. ДАННЫЕ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ШИХТЫ  
НА СПЛАВЫ Л90, ЛМш68-0,05 и ЛС59-1

| Шихтовые материалы                     | Л90   | ЛМш68-0,5 | ЛС59-1 |
|----------------------------------------|-------|-----------|--------|
| Медь катодная (отходы), кг . . . . .   | 100   | 100       | —      |
| Отходы сплава Л68, кг                  | —     | —         | 100    |
| Цинк, кг . . . . .                     | 12,4  | 47        | 16,2   |
| 20%-ная лигатура медь — мышьяк, кг . . | —     | 0,44      | —      |
| Свинец, кг . . . . .                   | —     | —         | 1,2    |
| Итого, кг . . . . .                    | 112,4 | 147,44    | 117,4  |

Таким образом, шихта для приготовления 1000 кг сплава ЛС59-1 из отходов сплава Л68 будет содержать:

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| Отходы сплава Л68 | $85,54 \times 10 = 855,4$ кг |
| Цинк              | $13,96 \times 10 = 139,6$ кг |
| Свинец            | $1,01 \times 10 = 10,1$ кг   |

---

|        |                                |
|--------|--------------------------------|
| Всего; | $100,51 \times 10 = 1005,1$ кг |
|--------|--------------------------------|

Расчет, произведенный по формуле (9), показывает, что для подшихтовки 100 кг отходов сплава Л68 на сплав ЛС59-1 потребуется 16,2 кг цинка и 1,2 кг свинца.

Для удобства результаты расчета шихты на 100 кг меди или отходов сведены в табл. 12.

### *Подшихтовка расплава, остающегося в каналах индукционных печей*

В заводской практике одну и ту же плавильную печь часто используют для приготовления нескольких сплавов. Остаток жидкого металла в печи для подшихтовки на новый сплав определяют визуально, измерением глубины ванны с расплавом или расчетом. Третий способ позволяет определять остаток металла в печи с точностью до нескольких десятков килограммов и осуществлять быстрый переход с одного сплава на другой.

Рассмотрим простейший случай перехода со сплава Л90 на сплав Л68, когда требуется изменить только количественное соотношение компонентов.

Практически переход осуществляют в такой последовательности:

1) возможно полнее сливают металл из плавильной печи;

2) отбирают пробу из печи для определения содержания меди в сплаве Л90;

3) в печь к остатку сплава Л90 присаживают 100—150 кг цинка;

4) после расплавления цинка и тщательного перемешивания расплава берут повторную пробу для определения содержания меди;

5) расчетным путем определяют остаток металла в печи по формуле (10):

$$x = \frac{Ц \cdot M}{M - M_1}, \quad (10)$$

где  $x$  — количество металла, оставшегося в печи, кг;  
 $Ц$  — количество присаженного цинка, кг;

$M$  — содержание меди в сплаве до присадки цинка, %;

$M_1$  — содержание меди в сплаве после присадки цинка, %.

В рассматриваемом примере в печь было присажено 126 кг цинка. Анализ литой пробы показал следующее содержание меди в расплаве до присадки цинка — 88,95%; после присадки цинка — 80,33%.

По формуле (10) находим количество расплава в каналах печи до присадки цинка:

$$x = \frac{126 \cdot 80,33}{88,95 - 80,33} = 1174 \text{ кг.}$$

Количество цинка, необходимое для подшихтовки 1174 кг сплава Л90 на сплав Л68, определяем расчетом или по специально составленной таблице.

Находим, какое количество меди содержится в 1174 кг сплава Л90:

$$\frac{1174}{100} 88,95 = 1044,3 \text{ кг.}$$

По количеству меди определяем количество сплава Л68, которое можно получить из 1174 кг сплава Л90:

$$\frac{1044,3}{68,5} 100 = 1524,5 \text{ кг}$$

Чтобы получить 1524,5 кг сплава Л68, необходимо добавить в печь следующее количество цинка:

$$1524,5 - 1174 = 350,5 \text{ кг.}$$

В печь уже введено 126 кг цинка. Следовательно, осталось добавить еще  $350,5 - 126 = 224,5$  кг цинка.

Наконец, по формуле (9) определяем количество цинка, которое необходимо ввести в печь для подшихтовки 100 кг сплава Л90, чтобы получить сплав Л68:

$$y = \frac{350,5}{1174} 100 = 29,9 \text{ кг.}$$

Способ подшихтовки по таблице значительно проще. Умножаем количество цинка, необходимое для подшихтовки 100 кг сплава Л90 на сплав Л68, т. е. 29,9 кг на 0,01 часть от остатка сплава Л90 в печи (1174 кг), и получаем то же значение:  $29,9 \times 0,01 \times 1174 = 350,5$  кг.

Переход на сплав, содержащий большее количество меди, чем исходный сплав, производится примерно в той же последовательности. В печь в этом случае присажи-

вают не цинк, а медь. Остаток металла в печи определяют по формуле

$$x = \frac{(100 - M_1) A}{M_1 - M}, \quad (11)$$

где  $A$  — количество присаженной меди, кг;

$M$  — содержание меди в сплаве до присадки, %;

$M_1$  — содержание меди в сплаве после присадки, %.

Важно отметить, что даже самые точные расчеты в процессе перехода не исключают необходимость проведения дополнительных анализов на содержание основных компонентов и примесей в новом сплаве.

В ряде случаев при переходе с одного сплава на другой из каналов печи требуется удалять основные компоненты, входящие в предыдущий сплав, так как для нового сплава они могут быть вредными примесями. Этими компонентами может быть также пропитана футеровка печи. Для их удаления проводят переходные плавки.

С целью снижения непроизводительных потерь при переходе с одного сплава на другой следует придерживаться следующих правил:

1. Переходить на выплавку сплава, в котором допускается максимальное количество вредных примесей, являющихся компонентами предыдущего сплава.

2. Основные компоненты предыдущего сплава, являющиеся вредными для нового сплава, в последние плавки предыдущего сплава вводить в минимально допустимых количествах.

3. После разливки последней плавки предыдущего сплава оставлять в печи минимальное количество металла и очищать стенки шахты от шлака и настелей.

4. Шихту для переходных плавки составлять только из первичных металлов.

5. Первые две-три переходные плавки делать из половинных навесок, благодаря чему достигается повышенная концентрация вредных примесей в меньшем объеме проплавленного металла.

6. Первую плавку нового сплава производить из максимальной навески, допускаемой рабочей емкостью печи.

7. Слитки переходных плавки, имеющие в своем составе дорогостоящие или дефицитные металлы (никель, олово, свинец и т. д.), переплавлять только на сплав, содержащий эти компоненты.

# Глава IV

## Плавка

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ПЛАВКЕ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Получение меди и ее сплавов сопровождается рядом физико-химических процессов, главными из которых являются:

- 1) нагрев и расплавление шихтовых материалов;
- 2) взаимодействие металлов и сплавов с атмосферой печи;
- 3) взаимодействие металлов и сплавов с футеровкой печи;
- 4) взаимодействие металлов и сплавов с покровными флюсами;
- 5) восстановление расплавленных металлов и сплавов.

Некоторые из происходящих в плавильных печах процессов необходимы, другие нежелательны, так как приводят к ухудшению качества слитков, дополнительным потерям цветных металлов и зарастанию футеровки печей и миксеров.

#### *Нагрев и расплавление шихтовых материалов*

Для придания металлу или сплаву жидкотекучести, обеспечивающей свободное его перемещение при заполнении кристаллизатора или изложницы, к нему подводят тепло. Все способы нагрева шихтовых материалов в существующих плавильных печах сводятся к трем основным: а) нагрев сверху; б) нагрев с боков и снизу; в) нагрев всей массы металла индуктируемыми в металле токами.

Принцип нагрева металла сверху положен в основу работы отражательных печей (рис. 16, а). Нижним слоям шихтовых материалов или расплавленного металла тепло передается за счет теплопроводности. В то время как верхние слои шихты, нагреваясь, начинают оплавляться, нижние слои остаются относительно холодными. Металл верхних слоев, оплавляясь, стекает вниз и прогревает нижние слои. Даже после полного расплавления

всех шихтовых материалов жидкий металл имеет неодинаковую температуру: верхние слои нагреты значительно выше, чем нижние. Для выравнивания температуры верхних и нижних слоев расплав периодически перемешивают.

При нагреве сплава с боков или снизу создаются условия для конвекции (рис. 16, б). Более нагретый в нижней части ванны печи расплав поднимается вверх.

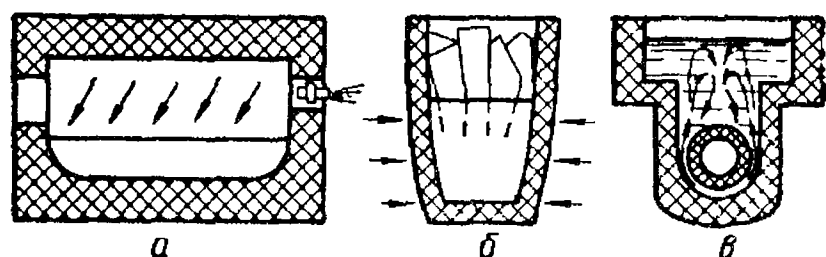


Рис. 16. Различные схемы подвода тепла к металлу:

а — сверху; б — с боков; в — за счет индуцируемого тока внутри металла

а более холодный опускается вниз. При боковом или нижнем подводе тепла различие в температурах верхних и нижних слоев значительно меньше, чем при подводе тепла сверху.

Наиболее благоприятные условия для нагрева и перемешивания расплава, а следовательно, и для выравнивания температуры во всем объеме жидкой ванны достигаются при плавлении в индукционных канальных печах (рис. 16, в).

В случае приготовления тугоплавких металлов и сплавов большое значение имеет очередность и последовательность загрузки компонентов шихты. В первую очередь загружают наиболее тугоплавкие компоненты и только после полного их расплавления — остальную шихту.

Металлы, способные легко окисляться и переходить в шлак или испаряться (марганец, магний, фосфор и др.), вводят в печь в конце плавки. Такой порядок загрузки сокращает время взаимодействия их с компонентами сплава и атмосферой печи, что значительно снижает их потери.

Мелкие шихтовые материалы загружают в ванну печи постепенно небольшими порциями и постоянно перемешивают с расплавленным металлом. При загрузке одновременно большого количества мелкой шихты может произойти ее зависание над поверхностью расплава и

спекание в сплошную глыбу. После того как нижняя часть зависшей шихты расплавится, между ней и зеркалом жидкого металла образуется заполненное парами цинка и газом пространство, медленно проводящее тепло. Расплавленный металл в каналах будет перегреваться, и это может привести к размягчению футеровки подового камня, прорыву через нее металла и выходу печи из строя.

### *Взаимодействие меди и медных сплавов с атмосферой печи*

В рабочем пространстве плавильных печей без специальной защитной атмосферы шихтовые материалы и расплавленный металл подвергаются воздействию кислорода, водорода, азота, водяного пара, окиси углерода, углекислого газа и др. В зависимости от этого над металлом в печи может быть окислительная, восстановительная или нейтральная атмосфера. Если в печное пространство непрерывно поступает поток атмосферного воздуха, то в печи преобладает окислительная атмосфера, если водород или окись углерода — восстановительная. Для нейтральной атмосферы характерно одновременное присутствие окислительных и восстановительных газов.

Газ в зависимости от природы, концентрации, времени нахождения в печи, температуры и давления может действовать на металл или сплав следующим образом:

- 1) в результате химического взаимодействия с компонентами сплава образовывать продукты реакции, растворимые в сплаве;
- 2) в результате химического взаимодействия с отдельными компонентами сплава образовывать вещества, нерастворимые в сплаве;
- 3) растворяться в сплаве без химического взаимодействия с его компонентами;
- 4) быть инертным по отношению к сплаву в целом и к отдельным его компонентам.

При плавлении цветных металлов и сплавов в печи чаще всего создается окислительная атмосфера.

Вероятность окисления того или иного элемента, входящего в сплав, зависит от химической активности этого

элемента по отношению к кислороду. По степени активности (сродству к кислороду) все металлы располагают в ряд, в котором каждый предыдущий металл вытесняет (восстанавливает) последующий. В этом ряду металлы расположены в следующем порядке: кальций, магний, литий, бериллий, алюминий, кремний, ванадий, марганец, хром, цирконий, фосфор, олово, кадмий, железо, никель, кобальт, свинец, (углерод), медь, серебро, золото.

Взаимодействие расплавов с кислородом протекает по двум различным путям:

1) кислород свободно проникает (диффундирует) в жидкий металл и находится в расплаве преимущественно в виде окислов, например меди, никеля. Длительное время окисление может идти беспрепятственно, так как на поверхности расплава нет плотной окисной пленки;

2) кислород не может свободно диффундировать в жидкий металл, так как образует на поверхности расплава пленку окиси (свинец, олово, цинк, алюминий и др.). Окисление протекает за счет постепенного утолщения пленки окислов.

Характер взаимодействия медных сплавов с окислами определяется составом входящих в него компонентов. Если сплав состоит из меди и никеля, то весь кислород будет находиться в расплаве. Присадка в сплав небольших количеств элементов, образующих плотные пленки окиси, например алюминия, свинца и др., приводит к образованию на поверхности ванны пленки, защищающей расплав от дальнейшего окисления.

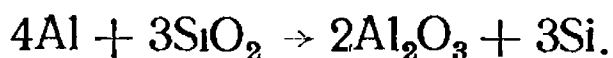
Растворимость газов в твердом металле значительно меньше, чем в жидком, поэтому при затвердевании расплава газы выделяются, образуя пористость в слитках. Анализ газов, содержащихся в твердой меди и ее сплавах, показывает, что 80—90% их объема составляет водород. В обычных условиях плавки оловяннофосфористая бронза может растворить  $3,5 \text{ см}^3$  водорода в 100 г металла, медь — до  $16 \text{ см}^3$ , простая латунь — до  $28 \text{ см}^3$ , специальная латунь — до  $245 \text{ см}^3$ . Приемлемо плотный металл должен содержать не более 10—12  $\text{см}^3$  водорода в 100 г металла. Поэтому при плавлении стремятся, чтобы металл как можно меньший период времени находился в расплавленном состоянии.

## *Взаимодействие меди и медных сплавов с футеровкой печи*

В процессе работы печи ее футеровка подвергается физическим, механическим и химическим воздействиям расплавленных веществ. Нагрев ее до высокой температуры — это физическое воздействие. Гидростатическое давление столба жидкого металла на футеровку и загружаемых шихтовых материалов на подину печи — механическое воздействие. Химическое воздействие проявляется в виде обменных реакций между расплавом и футеровкой, в результате чего происходит износ ее и расширение каналов печи.

При длительной работе печи жидкий металл и главным образом его пары проникают в футеровку на значительную глубину. Потери металла вследствие этого составляют значительную величину (100% от массы футеровки). Для снижения потерь цветных металлов рабочую поверхность футеровки предварительно обрабатывают соевым расплавом, состоящим из 80% поваренной соли и 20% криолита.

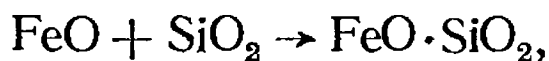
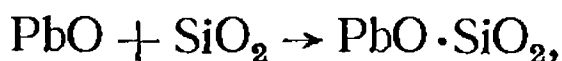
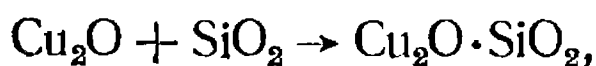
Огнеупорные футеровочные материалы в основном состоят из смеси окислов различных металлов (кремния, алюминия, магния, кальция и др.). Реакции между расплавом и футеровкой протекают в тех случаях, когда плавящийся металл обладает большим сродством к кислороду по сравнению с окислами огнеупоров. Металл образует окись, входящую в состав футеровки. Так, при плавлении сплавов, содержащих алюминий, последний будет вступать в химическое взаимодействие с кремнеземом по реакции



При температуре выше 800°C реакция протекает энергично. Футеровка при этом не разъедается, а нарастает, так как окислы алюминия остаются на стенках кладки. После образования слоя окислов взаимодействие не прекращается, а идет дальше. Алюминий непрерывно проникает внутрь футеровки, а кремний переходит в расплав. Частицы футеровки могут также переходить в расплав и приводить к браку по неметаллическим включениям.

Кроме того, во время плавки в расплаве присутствуют

окислы, которые не остаются нейтральными по отношению к футеровке печи. Взаимодействие окислов металлов с окислами футеровки (например, с окисью кремния) идет по реакциям:



Продукты реакций имеют температуру плавления 700—1200° С. В результате образования легкоплавких химических соединений футеровка постепенно разъедается, что также приводит к загрязнению расплава.

### *Взаимодействие меди и медных сплавов с покровными флюсами*

Одним из основных условий получения качественных слитков является ведение процесса плавки под защитным слоем покровных флюсов. Все флюсы, применяемые для защиты расплава от окисления, подразделяются на нейтральные и активные. Нейтральные флюсы не взаимодействуют с расплавленным металлом и служат в основном для предохранения расплава от окисления, газопоглощения и охлаждения. Активные флюсы помимо защитных функций вступают во взаимодействие с расплавом или его отдельными составляющими.

Для защиты меди и ее сплавов от окисления чаще всего применяют древесный уголь. Рекомендуются применять уголь, выжженный из древесины лиственных пород, раздробленный до кусков размером 30—80 мм. Перед употреблением древесный уголь прокаливают при температуре 900—1000° С для удаления влаги и до загрузки в печь или миксер хранят в герметических сосудах. Лучше всего использовать горячий уголь непосредственно после прокалики.

При плавлении медноцинковых сплавов древесный уголь не является достаточно надежной защитой от испарения цинка. Высокими защитными свойствами в этом случае обладают специальные флюсы, имеющие более низкую, по сравнению с приготавливаемым сплавом, температуру плавления и образующие на поверхности рас-

плава жидкий покров, изолирующий металл от атмосферы.

Присутствующие в шихте окислы металлов в процессе расплавления смачиваются флюсом и переходят в шлак.

При плавлении никелевых и медноникелевых сплавов с высоким содержанием никеля древесный уголь применять не рекомендуется, так как он насыщает расплав углеродом, который придает металлу хрупкость. В качестве защитного покрова при производстве этих сплавов применяют бой оконного стекла, буру и др.

Иногда растворимые в сплаве примеси (железо, алюминий и др.) путем окисления, например, закисью меди (медной окалиной) переводят в нерастворимые окислы, которые, как более легкие, всплывают на поверхность и растворяются во флюсе, а затем удаляются вместе со шлаком.

Флюс для каждого сплава или группы сплавов подбирают опытным путем, учитывая его влияние на санитарно-гигиеническое состояние атмосферы цеха, качество слитков, величину потерь цветных металлов и т. д.

### *Восстановление расплавленных металлов и сплавов*

Медь и ее сплавы в процессе нагрева и расплавления шихтовых материалов, перегрева и перелива расплава из печи в миксер и разливки в слитки подвергаются воздействию атмосферы и, следовательно, окисляются кислородом воздуха. Если не принимать специальных мер по раскислению (восстановлению) металлов, то оставшиеся в расплаве окислы будут ухудшать технологические и эксплуатационные свойства деталей, изготовленных из этих металлов или сплавов.

Под восстановлением понимается процесс вытеснения металлов из окислов более активными по отношению к кислороду веществами. Кроме того, для защиты расплава от окисления в процессе плавления предусматриваются специальные меры:

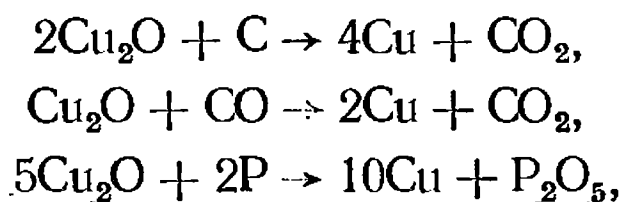
- 1) форсированное ведение процесса плавления;
- 2) оптимальные режимы плавления и литья под слоем флюсов и в среде защитной атмосферы;
- 3) оптимальные размеры шихтовых материалов;
- 4) восстановление металлов и сплавов с помощью специальных раскислителей.

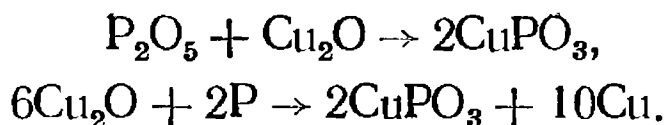
По характеру распределения в расплаве все раскислители делят на поверхностные и растворимые. Поверхностные раскислители в процессе взаимодействия с окислами металлов в расплаве не растворяются. Реакции восстановления окислов протекают только на поверхности соприкосновения их с металлом. Несмотря на сравнительно малую скорость восстановления, поверхностные раскислители широко применяют. Их можно легко наносить и удалять с поверхности расплавленных металлов, не загрязняя сплав и, следовательно, не ухудшая его свойств. Одновременно с восстановлением металлов из окислов поверхностные раскислители защищают зеркало металла от взаимодействия с кислородом воздуха, присутствующим в атмосфере печи или миксера. Наиболее распространенным поверхностным раскислителем при плавлении и литье меди и некоторых ее сплавов является углерод, применяемый в виде древесного угля, ламповой сажи, графитового порошка и генераторного газа.

Чтобы ускорить процесс восстановления, иногда увеличивают площадь поверхности соприкосновения раскислителя с расплавом. Это достигается перемешиванием расплава или пропусканием его через раскислитель, а иногда применяют одновременно несколько раскислителей, например древесный уголь, сажу и генераторный газ.

Растворимые раскислители распределяются по всему объему расплавленного металла, поэтому больше контактируют с окислами, и процесс восстановления проходит значительно быстрее. К числу растворимых в металле раскислителей относят фосфор, вводимый в расплав в виде сплава меди с фосфором, цинк, магний, марганец, кремний, бериллий, литий и др.

При плавлении меди в индукционных канальных печах в качестве раскислителей применяют главным образом древесный уголь, генераторный газ и фосфор (меднофосфористую лигатуру). Химические реакции закиси меди с этими раскислителями могут быть представлены в следующем виде:





Фосфорный ангидрид  $\text{P}_2\text{O}_5$  имеет температуру возгонки  $347^\circ\text{C}$ . При температуре расплавленной меди он находится в парообразном состоянии и легко удаляется из ванны. Капли расплавленной фосфорнокислой соли  $\text{CuPO}_3$  остаются на поверхности жидкой меди в виде «масляных» пятен.

В результате взаимодействия с закисью меди таких раскислителей, как магний, марганец, кремний, бериллий, литий и др., получают продукты раскисления в виде мелко раздробленных твердых частиц окислов, растворенных в расплаве и трудно удаляемых из него даже при отстаивании. Расплавленная медь при наличии в ней таких частиц находится в кашеобразном состоянии; для придания необходимой жидкотекучести ее перегревают.

Отдельные частицы твердых окислов могут образовывать крупные ветви, которые после затвердевания расплава остаются в слитках в виде неметаллических включений, понижающих свойства металла. Поэтому растворимые раскислители, дающие в результате реакции с закисью меди твердые продукты раскисления, широкого применения не имеют.

Для раскисления никеля и медноникелевых сплавов применяют главным образом марганец, кремний и магний. Оловянные бронзы раскисляют фосфором (фосфористой медью). Для латуней наилучшим раскислителем служит цинк, являющийся одновременно одним из основных компонентов сплава. Иногда для повышения жидкотекучести латуни в нее в небольших количествах вводят фосфор.

## **ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАГРУЗКИ ШИХТЫ В ШИХТОВЫЕ КОРОБА И ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ**

Катодную медь выгружают из вагонов с помощью электрокар и складывают на специальные крестовины или прокладки стопками по 3,0—3,5 т. В литейных цехах некоторых заводов операция резки катодов на части упразднена, а размеры горловин плавильных печей увеличены. Загрузка катодов в этом случае производится

с помощью опрокидывающихся тележек или автоматических загрузочных устройств.

Катоды в шихтовые короба загружают с помощью мостового крана, снабженного клещами, или с помощью специальных загрузочных устройств (рис. 17).

На раме, сваренной из швеллеров, смонтирован стол с приводом и площадка для загрузочного короба. Чтобы

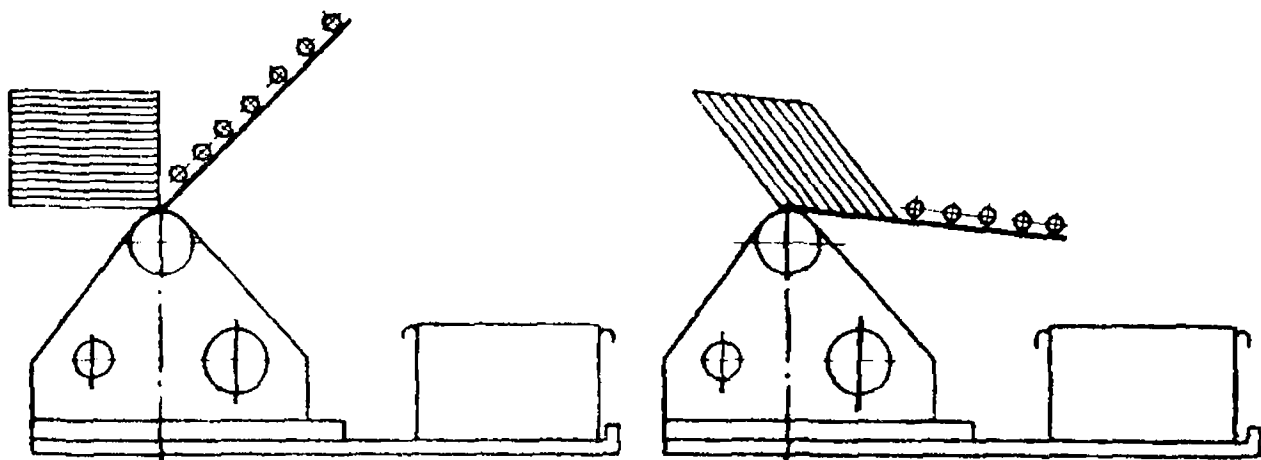


Рис. 17. Устройство для загрузки медных катодов в шихтовые короба

короб при падении катодов не перемещался по площадке, на конце рамы приварены упоры. Стол представляет

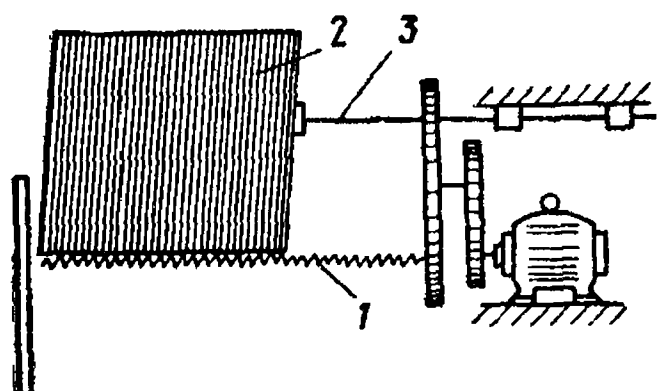


Рис. 18. Схема автоматической установки для загрузки медных катодов в плавильные печи:

1 — грузовые винты; 2 — медные катоды; 3 — поддерживающий винт

Г-образную сварную конструкцию. Горизонтальная стенка имеет впадины для размещения крестовин, на которых транспортируются пачки катодов. Наклонная стенка установлена под углом  $120^\circ$  к горизонту. В процессе работы установки на эту стенку бросают катоды, которые по роликам скатываются в короб.

Загрузка отходов и лома в шихтовые короба

производится непосредственно из разъемных коробов, применяемых для сбора и транспортировки отходов.

Загрузку шихтовых материалов в плавильные печи производят с помощью различных механизмов. Катодную медь отдельными листами по мере расплавления в

печи загружают с помощью устройства, показанного на рис. 18. Выравненные на стопоукладочной машине пачки катодной меди периодически подаются мостовым краном на поворотный стол загрузочной машины. С помощью поворотного стола стопку катодов поворачивают и направляют на грузовые винты. Во время вращения вин-

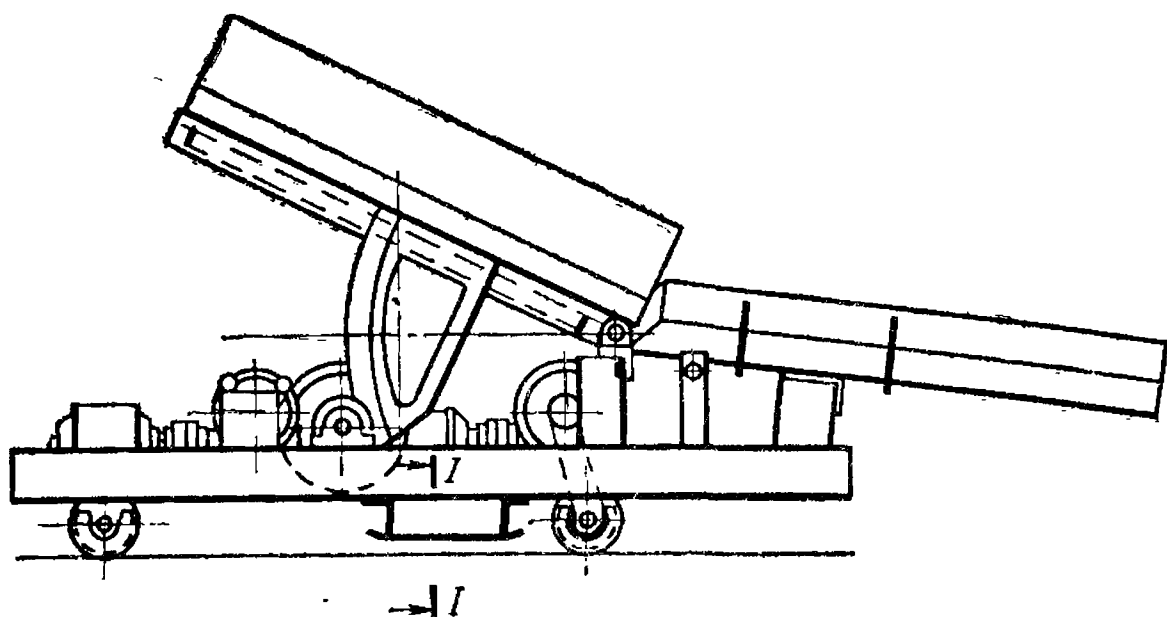


Рис. 19. Загрузочная тележка со съемным шихтовым коробом

тов катоды, перемещаясь по направляющим, поочередно падают в плавильную печь. Режим работы загрузочной машины автоматический. В зависимости от изменения скорости литья и массы катодов предусмотрена возможность регулирования скорости загрузки.

В практике работы литейных цехов наиболее распространены наклоняющиеся загрузочные тележки со съемными шихтовыми коробами (рис. 19), позволяющие загружать любой вид шихтовых материалов. Короб после загрузки шихты в печь удаляют с помощью крана и на его место устанавливают другой короб, заполненный шихтой. С помощью электропривода тележка подкатывается к печи, наклоняется и шихта из короба самотеком попадает в печь.

## ПЛАВКА МЕДИ

### *Плавка меди в отражательных печах*

Технологический процесс получения меди в отражательных печах заключается в следующем.

Шихтовые материалы, главным образом низкосортные, загрязненные и смешанные промышленные отходы и лом меди загружают на подину предварительно прогретой отражательной печи. При использовании разногабаритной шихты в первую очередь загружают стружку и мелкие отходы, а затем более крупные куски. В период загрузки шихты печь не выключают: в ее рабочем пространстве поддерживается обычная рабочая температура.

Процесс плавления меди ведется форсированно. В период расплавления шихты в печи создается окислительная атмосфера, т. е. горение топлива происходит с некоторым избытком воздуха. В этот период значительная часть металлических примесей, присутствующих в шихте, окисляется и переходит в шлак или испаряется. Окончание процесса окисления примесей определяют по излому пробы. Если поверхность излома плотная и имеет грубую кристаллическую структуру, то окислительный период плавки считают законченным. С поверхности расплавленного металла снимают шлак и производят восстановление меди или так называемое дразнение. Восстанавливают медь из закиси сырым осиновым или березовым бревном, один конец которого погружают в расплавленный металл. В рабочем пространстве печи в этот период поддерживается восстановительная атмосфера за счет уменьшения количества воздуха, подаваемого к горелкам. Пары воды и продукты перегонки древесины (водород и углеводороды), выделяющиеся при возгонке дерева, обеспечивают интенсивное перемешивание и восстановление расплавленной меди из окислов. Дополнительное раскисление меди производят меднофосфористой лигатурой. Для определения конца восстановительного периода из ванны периодически отбирают пробы в виде прутков. Проба хорошо раскисленной меди имеет плотный мелкозернистый излом светло-серого цвета.

Основной недостаток производства меди в отражательных печах по сравнению с другими печами — низкое качество металла и большие потери от окисления и испарения.

### *Получение раскисленной меди*

Значительную часть медных полуфабрикатов получают из слитков раскисленной меди. Приготавливают та-

кую медь в индукционных канальных печах емкостью от 600 до 16 000 кг (по сливу). В качестве шихты используют катодную медь и кусковые отходы меди собственного производства. Перед загрузкой шихты в печь насыпают прокаленный древесный уголь. В процессе плавки всю поверхность расплавляемой меди покрывают ровным слоем древесного угля толщиной 120—150 мм.

Таблица 13. ПРИМЕРНОЕ КОЛИЧЕСТВО РАСКИСЛИТЕЛЯ МЕДЬ—ФОСФОР, ВВОДИМОЕ В ЖИДКУЮ МЕДЬ ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ

| Марка меди по ГОСТ 859-66 | Количество раскислителя, кг/т |                   |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------|
|                           | наполнительное литье          | непрерывное литье |
| М1р                       | 1,2—2,0                       | 0,7—2,0           |
| М2р                       | 2,5—3,0                       | 2,0—2,5           |
| М3р                       | 3,0—3,5                       | 2,5—3,0           |

После расплавления всей шихты расплав перегревают до температуры 1180—1200°С и за 3—5 мин до слива в жидкую ванну вводят раскислитель, количество которого зависит от марки выплавляемой меди (табл. 13). Готовность меди к разливке определяют по потенциометру, соединенному со стационарной термопарой. После тщательного перемешивания расплава и отбора пробы для анализа жидкую медь сливают в миксер или разливают в изложницы.

### *Получение меди, годной для электротехнических целей*

Раскисленная фосфором или другими растворимыми раскислителями медь не обладает высокой электропроводностью. Чтобы получить медь с повышенной электропроводностью, используют поверхностные раскислители, защищающие расплав от воздействия кислорода воздуха в процессе плавления, перелива в миксер и разливки в слитки. В качестве поверхностных раскислителей чаще всего применяют древесный уголь (от деревьев лиственных пород) и ламповую сажу.

Уменьшить содержание кислорода в электротехнической меди можно, применяя в шихту только качественные неокисленные катоды марки МО с гладкой поверхностью и увеличивая слой угольного покрова в печи до 200—300 мм. В результате контакта окислов меди с древесным углем происходит ее восстановление. Образующаяся в результате реакций окись углерода свободно удаляется из

печи (миксера), что является весьма ценным преимуществом поверхностного раскислителя.

Эффективность раскисления меди древесным углем зависит от величины поверхности соприкосновения расплава с раскислителем. Поэтому расплавленную медь в процессе перелива из печи в миксер пропускают через 300—400-мм слой раскаленного древесного угля, предохраняющего зеркало металла в миксере от окисления, благодаря чему происходит дополнительное восстановление окислов меди. Для увеличения активной поверхности раскислителя в древесный уголь рекомендуется вводить несколько процентов графитового порошка и ламповой сажи.

Еще большего эффекта можно достичь созданием в печи восстановительной или нейтральной атмосферы. Расход древесного угля при этом снижается примерно в 2 раза.

Удельное электросопротивление образцов, полученных из слитков электротехнической меди, содержащей кислорода не более 0,01—0,02%, обычно не превышает 0,01724 ом·мм<sup>2</sup>/м. Более полному раскислению меди в значительной степени способствует интенсивное перемешивание жидкого металла в результате индукционного нагрева печи или миксера.

### *Получение бескислородной меди*

Из слитков бескислородной меди изготавливают трубы, прутки, ленты и полосы, поставляемые предприятиям радиотехнической и электронной промышленности. Значительное количество бескислородной меди используют также для получения проводников тока, различных профилей и шин, широко применяемых в электротехнической промышленности. Бескислородная медь, используемая для изготовления деталей радиотехнических и электронных приборов, должна отвечать следующим основным требованиям:

- 1) обладать высокой электропроводностью и химической чистотой;
- 2) не иметь пор и посторонних включений;
- 3) содержать не более 0,001% кислорода и менее 1,5 мл/100 г металла других газов.

При получении бескислородной меди в качестве ших-

товых материалов применяют катодную медь марки МО с гладкой неоокисленной поверхностью. Перед загрузкой в плавильную печь шихту предварительно просушивают. С этой целью пачки катодной меди выдерживают на площадке у плавильной печи в течение суток. В связи с повышенными требованиями к качеству металла плавление бескислородной меди производят в герметически закрытых печах под слоем древесного угля и в защитной атмосфере генераторного газа или азота, пропущенного через газогенератор с раскаленным углем. За исключением периода загрузки шихты крышка печи должна быть постоянно герметически закрыта. Оптимальный состав защитной атмосферы в зависимости от используемого газа приведен в табл. 14.

Т а б л и ц а 14. СОСТАВ ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ БЕСКИСЛОРОДНОЙ МЕДИ. %

| Компоненты газа          | При использовании технического азота | При использовании воздуха |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Азот . . . . .           | 98,5—99,5                            | 65,0—75,0                 |
| Углекислый газ . . . . . | 0,01—0,1                             | 2,0—4,0                   |
| Окись углерода . . . . . | 0,01—1,2                             | 25,0—30,0                 |
| Кислород . . . . .       | 0,01—0,1                             | 0,01—0,3                  |
| Водород . . . . .        | 0,01—1,0                             | 0,01—2,0                  |

Древесный уголь, применяемый при производстве бескислородной меди, прокаливают в вакууме в течение 3,5—4,0 ч при температуре 900—1000°С и загружают в печь горячим, непосредственно после прокалики. Толщина слоя угля в печи или миксере должна составлять не менее 250—300 мм.

## ПОЛУЧЕНИЕ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

### *Медноцинковые сплавы*

Для получения различных марок медноцинковых сплавов (латуней) в практике заготовительного литья применяют главным образом индукционные печи со

стальным сердечником. Эти плавильные агрегаты обеспечивают высокую производительность, минимальные потери цветных металлов и максимальную однородность слитков по химическому составу.

Для производства латуней используют все виды шихтовых материалов: первичные металлы, собственные отходы, лом меди и ее сплавов и лигатуры. При плавлении простых латуней из первичных металлов в первую очередь загружают медь, а после ее расплавления — цинк. Отходы собственного производства, в том числе стружку, загружают в печь полностью с последующей подшихтовкой цинком.

Следует иметь в виду, что цинк, входящий в состав латуней, имеет сравнительно низкую температуру кипения и легко испаряется, загрязняя атмосферу цеха. Для снижения потерь цинка рекомендуется загрузочную горловину печи держать закрытой и не допускать перегрева расплава выше установленной температуры.

При плавлении специальных латуней в первую очередь загружают наиболее тугоплавкие компоненты (железо, никель, марганец и др.), если они вводятся в сплав не в виде лигатур, так как наиболее высокая температура расплава в печи наблюдается у устьев каналов. Цинк, свинец и олово загружают перед разливкой сплава.

Латуни плавят под слоем сухого (прокаленного) древесного угля и покровных флюсов. Самыми распространенными флюсами для защиты поверхности расплавленных латуней являются криолит, бура, кальцинированная сода, поваренная соль и др. Все эти флюсы при температуре плавления латуней находятся в жидком состоянии; они обеспечивают значительное снижение потерь цветных металлов при плавлении. При горении древесный уголь выделяет значительное количество тепла, поэтому в его присутствии исключается возможность охлаждения жидкого флюса.

Расход флюсов в зависимости от марки латуни, типа печи и качества шихты составляет до 10 кг на 1 т шихты и определяется технологическими инструкциями. Древесный уголь обычно загружают в печь после съема шлака перед разливкой расплава. Флюсы загружают сразу же после загрузки шихты. В отдельных случаях, например при переплаве стружки или низкокачественного лома, флюсы вводят в загрузочный короб вместе с шихтой.

Готовность латуни к разливке определяют по показаниям переносных или стационарных термометров. Латуни, содержащие до 60% Cu, перегревают до 1000—1040° С, при большем содержании меди — до 1100—1170° С. Резкие колебания стрелок амперметров и яркие вспышки паров цинка в печи также свидетельствуют о готовности латуни к разливке.

Шлак с поверхности расплавленной латуни удаляют через одну-две плавки или по мере его накопления.

Применять какие-либо раскислители при плавлении латуней нецелесообразно, так как цинк для закиси меди является весьма эффективным раскислителем.

Перед сливом металла из печи расплав тщательно перемешивают и отбирают литую пробу для определения химического состава сплава.

Специфические особенности приготовления отдельных марок латуней регламентируются заводскими производственно-технологическими инструкциями.

## *Бронзы*

Бронзы, как и латуни, получают сплавлением первичных металлов, оборотных отходов, лома и лигатур в индукционных канальных печах.

Бронзы из первичных металлов готовят следующим образом. Сначала под слоем древесного угля и флюсов расплавляют медь. Затем в расплавленную медь присаживают легирующие добавки: свинец, олово, цинк и др.

При приготовлении бронз из оборотных отходов и вторичных металлов сначала расплавляют вторичные металлы и отходы, после чего вводят легирующие добавки.

Оловянные бронзы обладают значительной склонностью к газонасыщению в процессе плавления. Поэтому при их приготовлении стремятся обеспечить быстрое расплавление шихты и перегрев расплава с целью сокращения времени контакта с атмосферой печи. Для защиты поверхности расплава от окисления и испарения применяют древесный уголь и поваренную соль в количестве 0,5% от массы шихты.

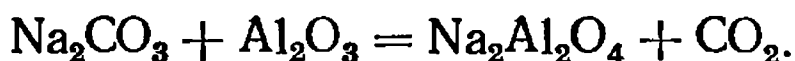
Преимущественно бронзы готовят из первичных металлов. При подготовке шихты в этом случае особое внимание обращают на состояние катодной меди. Листы катодов с шишковатой поверхностью содержат значи-

тельное количество водорода и нередко становятся основным источником газонасыщения расплава.

Для алюминиевых бронз характерна повышенная склонность к окислению. Пленка окиси алюминия, образующаяся на поверхности расплава, замешивается в жидкий металл и, попадая в слиток, снижает его свойства. Поэтому при плавлении и литье алюминиевых бронз создают условия, обеспечивающие защиту расплава от окисления. Кроме того, плавление шихты стремятся вести интенсивно и не задерживают в печи готовый расплав.

Выплавляют алюминиевые бронзы из первичных металлов и оборотных отходов с добавкой привозного лома в количестве 8—10%. В многокомпонентные алюминиевые бронзы легирующие добавки вводят в виде чистых металлов и лигатур. В качестве защитных флюсов обычно используют криолит, кальцинированную соду и бой стекла.

Одна из труднейших задач при плавлении алюминиевых бронз — быстро и полно удалить окись алюминия из расплава, так как процессы рафинирования расплавленных металлов от окислов протекают крайне медленно. Наилучшим растворителем (флюсом) окиси алюминия является кальцинированная сода и криолит. Кальцинированная сода реагирует с ним по реакции



Эта реакция протекает наиболее интенсивно при температуре 700—1150° С.

Криолит также является активным флюсом и растворяет окись алюминия в значительных количествах.

Алюминиевые бронзы сливают из плавильной печи в миксер или изложницы спокойной и ровной струей минимальной длины.

Приготовление бронз других марок во многом сходно с приготовлением оловянных и алюминиевых бронз; подробно об этом описано в цеховых производственно-технологических инструкциях.

### *Медноникелевые сплавы*

Медноникелевые сплавы наиболее тугоплавки по сравнению с латунями или бронзами. Плавят их преи-

мущественно в индукционных бесканальных печах и значительно реже в индукционных канальных печах.

Наиболее вредными примесями в этих сплавах являются углерод и сера. Поэтому необходимо, чтобы в шихтовых материалах, применяемых для получения медно-никелевых сплавов, не содержались эти элементы. Древесный уголь для защиты поверхности расплавленных металлов от окисления применяют только при плавлении сплавов, содержащих не более 15—20% Ni; сплавы с большим содержанием никеля плавят под слоем покровных флюсов. В качестве флюсов чаще всего используют сложную смесь, состоящую из боя стекла, извести и плавикового шпата, или один из компонентов этой смеси. В последнее время для защиты медноникелевых сплавов применяют комбинированный флюс, состоящий из древесного угля (30—40%), молотого оконного стекла (40—50%) и криолита (15—20%).

Для получения медноникелевых сплавов сначала расплавляют медь и никель; в конце плавки в расплав вводят расчетное количество легирующих элементов (кремния, железа, хрома, цинка и др.) непосредственно или в виде лигатуры. Раскисление производят главным образом марганцем в количестве 0,3—0,5% от массы расплава в печи. Так как одного марганца для полного раскисления медноникелевых сплавов недостаточно, в расплав перед разливкой с помощью штанги или колыбельчика вводят 0,03—0,1% магния, завернутого в медную фольгу. Температура литья медноникелевых сплавов сравнительно высока (1300—1600° С); ее контролируют обычно с помощью переносных термпар.

## ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЛИГАТУР

Ввиду того что потребность в лигатурах при производстве слитков из медных сплавов сравнительно невелика, готовят их в большинстве случаев непосредственно в литейных цехах. В качестве плавильных агрегатов используют горновые тигельные или индукционные бесканальные печи. Все шихтовые материалы перед загрузкой в печь рекомендуется подогревать до температуры 80—100° С. Плавление шихты ведут под слоем прокаленного древесного угля и флюсов. Ниже приводится краткое описание технологии приготовления лигатур,

наиболее распространенных при производстве слитков меди и ее сплавов.

### *Лигатура медь — фосфор*

Сплав меди с фосфором — меднофосфористую лигатуру — применяют в основном для раскисления меди, повышения жидкотекучести некоторых медных сплавов и введения фосфора в оловяннофосфористые бронзы.

Готовят лигатуру медь — фосфор следующим образом. В тигель уплотненным слоем засыпают красный фосфор, поверх которого натрамбовывают слой мелкого древесного угля толщиной 200—250 мм. Затем заливают жидкую медь и образовавшуюся массу хорошо перемешивают. Тигель герметически закрывают крышкой, ставят в горячую газовую, коксовую или мазутную печь и выдерживают в ней определенное время. Разливают лигатуру в чугунные горизонтальные изложницы в виде плит с большим количеством продольных и поперечных пережимов.

### *Лигатура медь — марганец*

Медномарганцевую лигатуру применяют для более надежного введения марганца в медь и ее сплавы; она содержит 25—30% Mn. Готовят ее в индукционных бесканальных или тигельных печах. После расплавления меди ее перегревают до температуры 1300—1350° С, раскисляют меднофосфористой лигатурой в количестве 0,3—0,4% от массы расплава и вводят подогретый до 80—100° С металлический марганец или ферромарганец. Готовый расплав тщательно перемешивают и перед разливкой снимают шлак. Ввиду малой хрупкости медномарганцевой лигатуры ее разливают в виде тонких плит в чугунные изложницы.

### *Лигатура медь — железо*

Медножелезная лигатура обычно содержит от 8 до 12% железа. Эту лигатуру удобнее всего готовить в индукционной бесканальной печи, так как для полного растворения железа необходим значительный перегрев меди. Железо вводят в жидкую медь после ее раскисле-

ния фосфористой медью и съема шлака. Тонкие полосы или прутки малоуглеродистой стали постепенно погружают в расплав и тщательно перемешивают до их полного растворения. Вследствие значительной вязкости медножелезной лигатуры разливают ее в тонкие пластины.

### *Лигатура медь — хром*

Меднохромовую лигатуру применяют для приготовления хромистой бронзы; она содержит от 2 до 6% Cr. Готовят ее в индукционных бесканальных печах в графитовом тигле. Куски хрома размером 2—3 мм, завернутые в медную фольгу, вводят в расплавленную и перегретую до 1420—1450° С медь, предварительно раскисленную 0,1% магния. Разливают лигатуру в чугунные изложницы таким образом, чтобы путем постоянной перемены места падения струи исключить подплавление изложницы и растворение железа в лигатуре.

### *Лигатура медь — кремний*

Меднокремниевую лигатуру, содержащую 15—20% Si, готовят в индукционных бесканальных или тигельных (газовых, коксовых) печах. Основная особенность приготовления этой лигатуры связана с относительно малой плотностью кремния, вследствие чего он легко всплывает на поверхность. Кроме того, высокая по сравнению с медью температура его плавления приводит к замедлению плавки и вследствие этого к значительным потерям от окисления.

Готовят меднокремниевую лигатуру следующим образом. Расплавленную и перегретую медь раскисляют фосфористой медью и вводят в нее небольшими порциями предварительно подогретый кристаллический кремний или ферросилиций, перемешивая при этом расплав графитовой или деревянной мешалкой. Плавление ведут под слоем прокаленного древесного угля. После полного растворения кремния или ферросилиция расплав еще раз тщательно перемешивают, снимают шлак и разливают в формы. Меднокремниевая лигатура хрупкая и легко делится на отдельные части.

Медьникелькремниймарганцевая лигатура является сложной лигатурой, содержащей, кроме меди, около 15% Ni, 10% Si и 15% Mn. Применяют ее при отливке прямоугольных слитков из сплава ЛС59-1 для расширения интервала пластичности при их горячей прокатке. Содержание легирующих элементов в слитках сплава ЛС59-1 составляет: 0,2—0,5% Ni, 0,1—0,2% Si, 0,2—0,3% Mn.

Готовят лигатуру в газовой или коксовой тигельной печи или в индукционной бессердечниковой печи. Под слоем древесного угля расплавляют и перегревают до 1200—1240° С медь или отходы меди; расплав раскисляют меднофосфористой лигатурой, а затем при постоянном перемешивании в тигель небольшими порциями вводят кремний, никель и марганец. Температура расплава перед разливкой должна быть около 1200° С. Разливают лигатуру в песчаные формы в виде плит толщиной 35—40 мм. Медьникелькремниймарганцевая лигатура достаточно хрупка и легко дробится на части.

## **СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ**

Плавление меди и ее сплавов сопровождается безвозвратными потерями цветных металлов. Безвозвратные потери — это прежде всего потери цветных металлов от испарения (угар) и окисления (шлак). Плавление латуней и бронз, содержащих цинк, сопровождается повышенными безвозвратными потерями, что объясняется наличием в них легкокипящего компонента — цинка, имеющего сравнительно низкую температуру кипения (907° С). Величина безвозвратных потерь зависит от состава сплава, конструкции плавильного агрегата, состава флюсов и атмосферы в рабочем пространстве печи или миксера, степени перегрева расплава и состояния или сортности шихтовых материалов. На каждую тонну отлитых слитков при плавлении и разливке теряется от 10 до 30 кг дефицитного сырья. Потери меди, цинка, олова, никеля, свинца и других ценных металлов в масштабе всей страны ежегодно составляют тысячи тонн. Установлено, что 75—80% всех потерь приходится на

литейный цех, в то время как при последующей обработке давлением теряется всего лишь 20—25 %. Ущерб от безвозвратных потерь считается неизбежным и, как правило, планируется при составлении норм расхода на прокат из цветных металлов. Если учесть, что удельный вес цветных металлов в стоимости сдаваемых слитков составляет 95—97 %, то становится понятным, почему в литейных цехах должно уделяться много внимания вопросам снижения безвозвратных потерь.

Наименьшие потери цветных металлов достигаются при плавлении в индукционных канальных и бесканальных печах. Отечественная и зарубежная практика производства слитков цветных металлов показывает, что одним из основных условий снижения безвозвратных потерь является применение при плавлении покровных флюсов и защитной атмосферы. Данные, приведенные в табл. 15, характеризуют влияние древесного угля и криолита на величину потерь цветных металлов при плавлении. Из таблицы видно, что применение покровных флюсов приводит не только к уменьшению шлакообразования и потерь от испарения, но и к значительному снижению общего содержания цветных металлов в шлаке.

Т а б л и ц а 15. ПОТЕРИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ СПЛАВА ЛС59-1 В ПЕЧАХ ИЛК-1,6, %

| Показатели                                     | Без флюса | Под флюсом |
|------------------------------------------------|-----------|------------|
| Расход флюса:                                  |           |            |
| древесный уголь . . . . .                      | —         | 0,4        |
| криолит . . . . .                              | —         | 0,3        |
| Получено шлака . . . . .                       | 2,38      | 1,15       |
| Извлечено корольков . . . . .                  | 0,72      | 0,34       |
| Количество металла в отвальном шлаке . . . . . | 1,33      | 0,65       |
| Угар . . . . .                                 | 1,09      | 0,61       |
| Всего безвозвратных потерь . . . . .           | 2,42      | 1,26       |

Кроме безвозвратных (неликвидных) потерь при производстве слитков образуются возвратные (ликвидные) отходы. К этой группе относят отходы, образу-

щиеся в процессе плавки, литья, резки и фрезерования слитков, которые затем снова поступают в плавку. Величина возвратных отходов зависит от многих факторов и в первую очередь от метода литья, качества слитков, размеров заготовок, толщины пильного диска, типа фрез-агрегата, размеров ячеек в металлическом сите, установок для переработки шлаков и т. д.

Для снижения потерь цветных металлов рекомендуется выполнять следующие мероприятия:

1) плавление металлов и сплавов производить в закрытых печах под слоем флюсов;

2) расплавление шихтовых материалов вести форсированно, без перегрева, с минимально возможной выдержкой в расплавленном состоянии;

3) легкоплавкие и легкоиспаряющиеся компоненты вводить в печь в виде лигатур непосредственно перед разливкой сплава.

# Глава V

## Литье

### СВОЙСТВА МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ И ПОСЛЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

Слитки, получаемые в цехах заготовительного литья, являются отливками простейшей формы и после резки на заготовки определенной длины используются для обработки давлением. От качества получаемых слитков зависит их последующая обработка и свойства полуфабрикатов. В свою очередь качество слитков во многом зависит от качества расплавленного металла, условий литья и затвердевания. Поэтому режимы плавления, литья и охлаждения слитков выбирают такими, чтобы металл в жидком состоянии, в процессе кристаллизации и после затвердевания обладал оптимальными технологическими и физико-химическими свойствами.

Ниже кратко рассмотрим основные свойства меди и ее сплавов в зависимости от различных технологических факторов.

#### *Температура плавления, литья и кипения*

Исследованиями состояния жидких металлов и сплавов показано, что их строение зависит от температурных условий, в которых они находятся. В процессе нагревания металлов постепенно увеличивается колебательное движение атомов и молекул и, следовательно, среднее расстояние между ними. При температуре плавления устойчивость кристаллической решетки нарушается и металл из твердого состояния переходит сначала в жидкое, а при дальнейшем нагревании — в парообразное. Установлено, что в жидких металлах, имеющих температуру несколько выше точки плавления, атомы и молекулы располагаются не хаотично, или случайно, а примерно в том же порядке, что и в твердых металлах. По мере дальнейшего нагревания жидких расплавов амплитуда колебаний атомов и молекул возрастает, а сила их взаимного притяжения ослабевает.

Резкие изменения в строении металлы или сплавы претерпевают лишь при температуре кипения, когда они

переходят из жидкого в парообразное состояние, сопровождаемое нарушением стройного порядка расположения атомов и молекул. Температуры плавления и кипения большинства металлов и сплавов значительно различаются.

Известно, что чистые металлы плавятся и, следовательно, кристаллизуются при одной, всегда постоянной температуре. Так, медь плавится при температуре  $1083^{\circ}\text{C}$ , а кипит при температуре  $2310^{\circ}\text{C}$ . Олово, например, кипит при температуре  $2400^{\circ}\text{C}$ , а цинк при температуре  $907^{\circ}\text{C}$ , хотя олово плавится при температуре  $232^{\circ}\text{C}$ , а цинк при  $419^{\circ}\text{C}$ . Температура плавления медноцинковых сплавов находится в пределах  $900\text{—}1083^{\circ}\text{C}$ , а температура литья — в пределах  $1000\text{—}1200^{\circ}\text{C}$ . Температура плавления и литья медноникелевых сплавов на  $100\text{—}300^{\circ}\text{C}$  превосходит температуру плавления и литья меди.

### *Вязкость*

Вязкостью или внутренним трением называют свойство расплавов оказывать сопротивление при перемещении одних частиц жидкости относительно других. Вязкость характеризуется силой, которую необходимо приложить к  $1\text{ см}^2$  площади внутри расплава для сообщения ему скорости перемещения относительно другой параллельной площади, отстоящей от нее на  $1\text{ см}$ , равной  $1\text{ см/сек}$ . С увеличением вязкости скорость движения или перемещения жидкости замедляется. Вязкость оказывает влияние на скорость и характер движения расплава при переливании из печи в миксер и при заполнении кристаллизаторов или изложниц. Скорость всплывания неметаллических включений в расплавленном металле определяется также вязкостью, оказывающей решающее влияние на степень рафинирования от газов и окислов в процессе приготовления и разливки расплавов.

Вязкость расплава зависит от его температуры, строения в жидком состоянии, наличия в нем твердых неметаллических включений, газов и целого ряда других факторов. В свою очередь, от вязкости зависит жидкотекучесть сплавов.

Чтобы понизить вязкость расплавов перед литьем,

повышают температуру их нагрева, а также вводят в них элементы, способствующие улучшению подвижности.

## Поверхностное натяжение

У частиц расплавленного металла, находящихся внутри жидкости, силы взаимодействия уравновешены, как это схематически показано на рис. 20, *а*. Молекулы поверхностного слоя, испытывая действие нижних слоев, находятся постоянно в неуравновешенном состоянии, вследствие чего они как бы втягиваются внутрь жидкости (рис. 20, *б*). Сила, с которой жидкий металл стре-

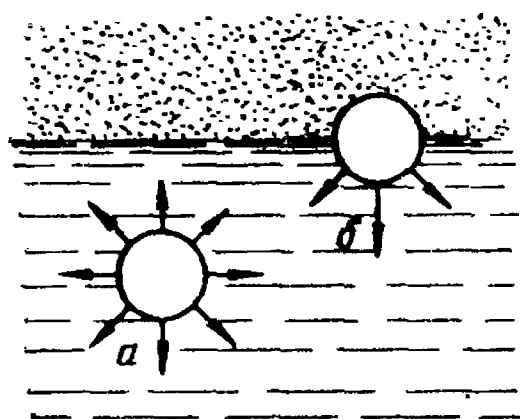


Рис. 20. Схема действия поверхностного натяжения:

*а* — внутри расплава; *б* — на поверхности расплава

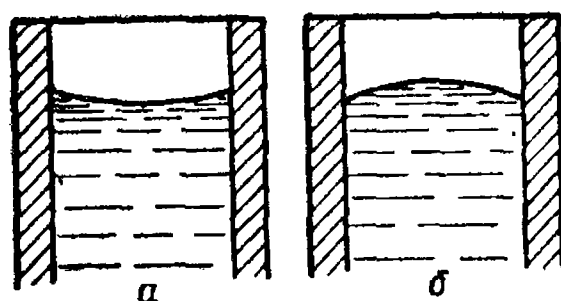


Рис. 21. Характер взаимодействия расплавленного металла с материалом изложницы (кристаллизатора):

*а* — расплав не смачивает поверхность формы; *б* — расплав смачивает поверхность формы

мится уменьшить свою поверхность, называется поверхностным натяжением. Чтобы увеличить площадь жидкого металла, нужно применить силу или совершить определенную работу, направленную на преодоление межмолекулярных сил.

От величины поверхностного натяжения зависит характер взаимодействия расплава с материалом изложницы или кристаллизатора и, следовательно, качество поверхности слитков.

Если капля жидкого металла или сплава имеет сравнительно плоскую форму и как бы растекается по поверхности, то величина поверхностного натяжения имеет минимальное значение. Такой расплав способен смачивать поверхность изложницы или кристаллизатора за

счет диффузии и молекулярного сцепления, что приводит к прочному сцеплению отливаемого слитка с материалом формы (рис. 21, а) и, следовательно, к образованию дефектов на поверхности слитков. Если капля жидкого металла или сплава не растекается по поверхности и по форме приближается к сферической, то такой расплав обладает максимальным поверхностным натяжением и меньшей способностью смачивать материал изложницы или кристаллизатора (рис. 21, б); в результате при литье поверхность слитков получается чистой.

Величина поверхностного натяжения зависит от температуры и природы расплава и от среды, в которой находится жидкий металл или сплав.

### *Жидкотекучесть*

Жидкотекучестью или подвижностью называют способность металлов и сплавов в расплавленном состоянии заполнять литейную форму. При хорошей жидкотекучести расплав точно воспроизводит форму изложницы или кристаллизатора; недостаточная жидкотекучесть приводит к образованию у периферии или на углах слитков неслитин.

Для определения жидкотекучести различные расплавы заливают в формы, имеющие вид каналов или спиралей. Мерой жидкотекучести является длина канала, заполненного металлом.

На величину жидкотекучести оказывают влияние химический состав, вязкость и температура расплава, продолжительность литья, материал и конструкция разливочной системы, материал изложницы или кристаллизатора и содержание в расплаве неметаллических включений. С повышением температуры и уменьшением содержания неметаллических включений жидкотекучесть расплавов повышается.

### *Ликвация*

Ликвацией называют неоднородность химического состава по сечению или высоте слитков вследствие местного скопления некоторых элементов. Различие в химическом составе отдельных участков слитков приводит к получению полуфабрикатов с различными свойствами.

Различают три основных вида ликвации: по плотности, дендритную и зональную.

Ликвация по плотности характерна для сплавов, состоящих из компонентов, плотность которых значительно различается. Примером сплавов с неодинаковым составом в верхних и нижних частях слитка являются оловянные и свинцовые бронзы. Слой более легких кристаллов меди располагается в верхней части слитка, а внизу кристаллизуется сплав, более богатый свинцом или оловом.

Для предотвращения ликвации по плотности расплав перед разливкой необходимо тщательно перемешивать. Степень этого вида ликвации зависит от состава сплава, скорости затвердевания и сечения слитка. Чем больше сечение слитка и меньше скорость затвердевания, тем сильнее проявляется ликвация по плотности.

Для дендритной или внутрикристаллической ликвации характерно различие в химическом составе внутри отдельных кристаллов. Это объясняется склонностью к затвердеванию по осям кристаллов некоторых сплавов более тугоплавких компонентов, а по краям кристаллов — более легкоплавких.

Степень дендритной ликвации зависит от химического состава сплава и скорости затвердевания. Чем выше скорость затвердевания, тем больше проявляется дендритная ликвация, так как менее интенсивно протекает процесс диффузии, способствующий выравниванию химического состава внутри отдельных кристаллов. Устраняют дендритную ликвацию путем длительного отжига слитков, в процессе которого за счет диффузии происходит постепенное выравнивание химического состава внутри кристаллов.

Зональная ликвация объясняется тем, что в слитке, затвердевающим неодновременно по всему сечению, сначала у стенки изложницы или кристаллизатора образуется тонкая и плотная корка сплава с большим содержанием тугоплавких компонентов, а легкоплавкие компоненты накапливаются в центре слитка, где сплав затвердевает в последнюю очередь. Это — прямая зональная ликвация. Обратной зональной ликвацией называют обогащение наружных слоев слитка легкоплавкой составляющей. Зональную ликвацию нельзя устранить длительным отжигом. Основными мерами борьбы с та-

кой ликвацией является выбор оптимального режима охлаждения слитков и более полное удаление из расплава газов и неметаллических включений.

### Усадка металлов и сплавов

Все промышленные цветные металлы и сплавы в процессе охлаждения уменьшаются в объеме и изменяют свои размеры. Такое явление называется объемной или линейной усадкой.

Под линейной усадкой понимают уменьшение линейных размеров. Для удобства величину усадки выража-

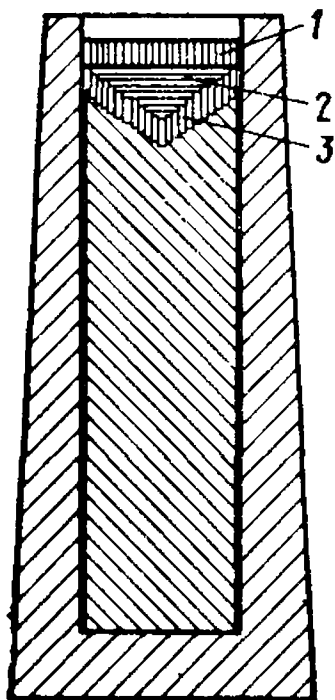


Рис. 22. Схема усадки металла в процессе охлаждения слитка:

1 — усадка в жидком состоянии; 2 — усадка в процессе затвердевания; 3 — усадка в твердом состоянии

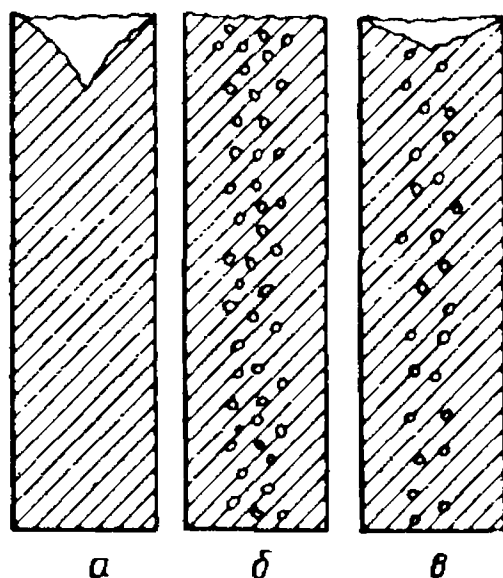


Рис. 23. Характер распределения усадки по объему слитков:

а — сосредоточенная усадка; б — рассеянная усадочная пористость; в — смешанная усадочная пористость

ют в процентах. Например, если в кристаллизаторе диаметром 250 мм получен слиток диаметром 243,9 мм, то уменьшение диаметра в процессе затвердевания составит 6,1 мм, или в процентах:

$$\frac{250 - 243,9}{250} 100 = 2,44\%.$$

Объемная усадка — это сокращение объема металла (слитка) при затвердевании и последующем охлажде-

нии. Величина объемной усадки равна примерно тройной линейной усадке. В нашем примере объемная усадка составит  $2,44 \times 3 = 7,32\%$ .

Различают три периода усадки слитков в процессе охлаждения от температуры литья до комнатной температуры:

1) понижение уровня расплава в процессе охлаждения от температуры литья до температуры затвердевания (рис. 22);

2) усадка расплава в период от начала образования наружной корки слитка до полного затвердевания всего жидкого металла или сплава;

3) усадка твердого металла или сплава в период охлаждения от температуры затвердевания до температуры окружающей среды.

В практике отличают усадку металла или сплава от усадки слитков из этого сплава, так как величина усадки слитков и форма ее проявления зависят не только от природы металлов, входящих в сплав, но и от условий литья, т. е. скорости литья и затвердевания, степени перегрева расплава перед литьем, размеров и формы слитка и др.

По характеру проявления объемная усадка может быть сосредоточенной, рассеянной и смешанной (рис. 23). Форма и расположение раковин или усадочных пор в слитках зависят от свойств металла или сплава и схемы охлаждения слитков.

## МЕТОД НАПОЛНИТЕЛЬНОГО ЛИТЬЯ

Метод литья в стационарные изложницы — один из самых старых способов производства слитков. Он состоит из трех последовательных этапов:

- 1) заполнение изложницы расплавом;
- 2) затвердевание расплава в изложнице;
- 3) удаление слитка из изложницы.

При наполнительном литье размеры слитка определяются размерами изложницы; высота слитка никогда не может быть больше высоты изложницы. Слиток затвердевает в изложнице в неподвижном состоянии. В настоящее время этим методом в вертикальных водоохлаждаемых изложницах получают цилиндрические и прямоугольные слитки.

При литье в вертикальные изложницы цилиндрические слитки меди и ее сплавов независимо от назначения получают сплошными. Схема спаренной водоохлаждаемой изложницы для получения таких слитков показана на рис. 24. В литой чугунный кессон (корпус) вставлены две медные рубашки, закрываемые снизу поддонами.

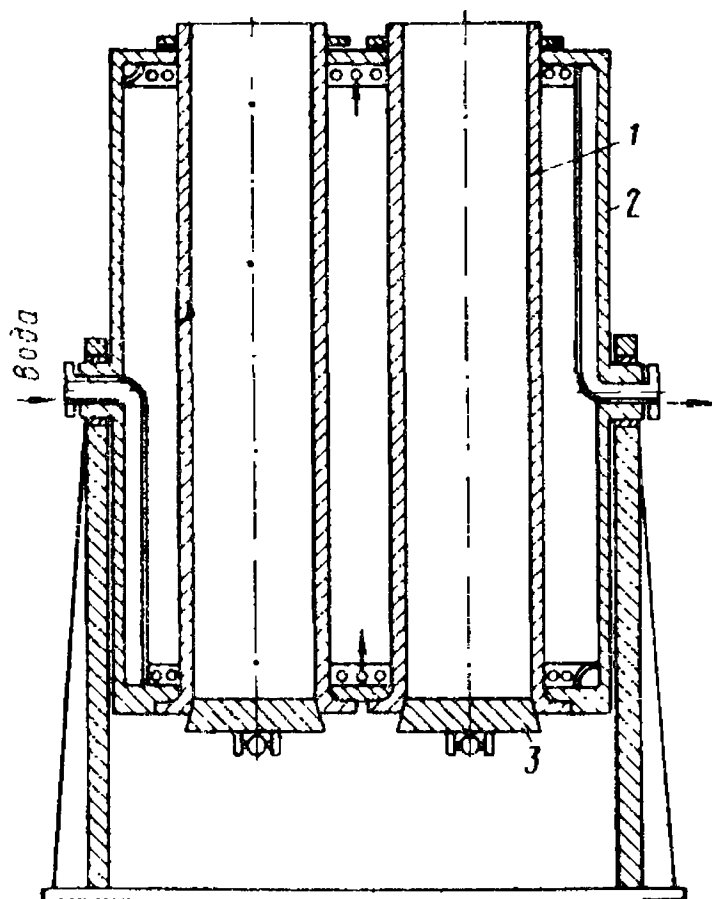


Рис. 24. Вертикальная цельнометаллическая изложница для отливки цилиндрических слитков:

1 — рубашка; 2 — кессон; 3 — поддон

Вода, поступающая в изложницу по водопроводящей трубе, направляется сначала вниз, затем через ряд отверстий, расположенных по периферии корпуса, выходит в полость изложницы, омывает стенки рубашки и сливается через отверстия в отводящую трубу. Такая схема циркуляции охлаждающей воды способствует направленному затвердеванию металла снизу вверх, что положительно сказывается на качестве слитков.

Срок службы медных рубашек водоохлаждаемых изложниц соответствует получению 2500—3000 слитков. Из-за износа поверхности рубашку растачивают на следующий ремонтный размер.

Перед литьем на рабочую поверхность рубашек изложниц наносят слой смазки, которая должна содержать значительное количество летучих продуктов. Основное назначение смазки — способствовать получению качественной поверхности слитков и увеличивать продолжительность срока службы изложниц.

В практике литья слитков меди и ее сплавов в изложницы наибольшее распространение получили смазки, составы которых приведены в табл. 16.

Т а б л и ц а 16. СОСТАВ И НАЗНАЧЕНИЕ СМАЗОК

| Номер п.п. | Компоненты смазки                                            | Содержание, % | Назначение                             |
|------------|--------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|
| 1          | Мазут топочный обезвоженный марки 100 по ГОСТ 10585—63 . . . | 100           | Простые и сложные латуни               |
| 2          | Мазут обезвоженный марки 100 . . . . .                       | 95            | То же                                  |
|            | Сажа ламповая . . . . .                                      | 5             |                                        |
| 3          | Мазут обезвоженный марки 100 . . . . .                       | 80            | » »                                    |
|            | Канифоль . . . . .                                           | 15            |                                        |
|            | Сажа ламповая . . . . .                                      | 5             |                                        |
| 4          | Масло машинное . . . . .                                     | 94            | Марганцевая медь, прямоугольные слитки |
|            | Пудра алюминиевая . . . . .                                  | 3             |                                        |
|            | Сажа ламповая . . . . .                                      | 3             |                                        |
| 5          | Масло машинное . . . . .                                     | 45            | простых латуней                        |
|            | Мыло хозяйственное . . . . .                                 | 30            |                                        |
|            | Канифоль . . . . .                                           | 10            | Универсальная смазка                   |
|            | Сажа . . . . .                                               | 15            |                                        |

Обезвоживание мазута достигается путем кипячения его до полного успокоения поверхности. Содержание влаги в готовой смазке допускается не более 0,5%. Подогретую смазку ровным слоем наносят на всю рабочую поверхность изложницы; нельзя допускать скопления смазки в нижней части изложницы. Для предупреждения зазора в нижней части слитков практикуют дополнительную подмазку донной части рубашки на высоту 150—200 мм мылонафтом. Нагар с рабочей поверхности изложниц периодически удаляют сухим квачом или металлическим ершом.

Состав смазки для каждого сплава подбирают опытным путем. При правильно подобранной смазке перегонка ее происходит на уровне поверхности соприкосновения заливаемого расплава со стенкой изложницы. Как видно на рис. 25, а, поднимающийся в изложнице с определенной скоростью жидкий металл находится постоянно под воздействием газообразных продуктов перегонки.

Посторонние неметаллические тела (шлак, древесный уголь, частицы футеровки и др.) летучими продуктами перегонки отгоняются от стенки изложницы. Вместе с поверхностью жидкого металла они поднимаются вверх и остаются в литниковой части слитка, не влияя на его качество. Если смазка подобрана неправильно, т. е. содержит слишком мало или слишком много летучих веществ, то перегонка ее происходит либо медлен-

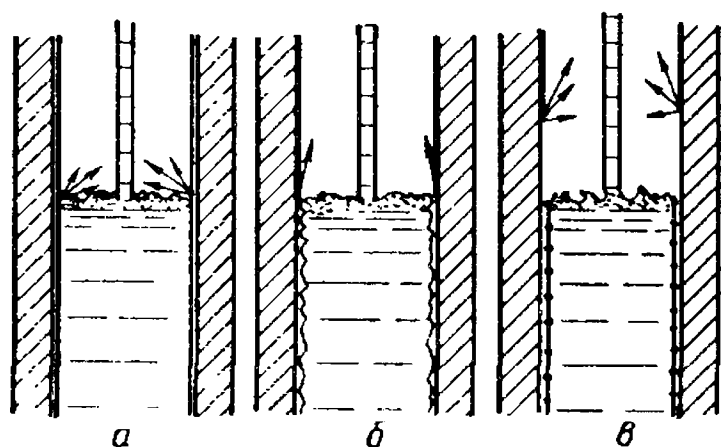


Рис. 25. Взаимодействие расплавленного металла со смазкой в изложнице:

*а* — состав смазки и скорость заполнения изложницы подобраны правильно; *б* — возгонка смазки запаздывает по сравнению с подъемом уровня расплава; *в* — смазка возгоняется быстрее, чем поднимается уровень расплава

нее, чем поднимается жидкий металл в изложнице, либо быстрее.

В первом случае, когда летучих веществ в смазке слишком мало и скорость перегонки незначительна, они не успевают выделиться из смазки на уровне соприкосновения зеркала металла со стенкой изложницы. Зона интенсивной перегонки смазки находится постоянно ниже зеркала расплава (рис. 25, *б*), и продукты перегонки могут деформировать поверхность слитка, оставляя на ней следы засора и свищи.

Во втором случае (рис. 25, *в*) посторонние твердые тела, попадающие на поверхность расплава, не отбрасываются продуктами перегонки, так как смазка уже отдала свои летучие вещества. Твердые неметаллические включения накапливаются у периферии изложницы и захватываются кристаллизующимся металлом, что приводит к образованию на поверхности слитков грубых дефектов в виде засора.

Заливка расплава в вертикальные изложницы производится через чугунные или графитовые воронки, которые обеспечивают ввод жидкого металла в центр изложницы, заданную скорость литья и улавливание посторонних тел (шлаков, флюсов, частиц футеровки и

др.). Для получения качественных слитков необходимо поддерживать уровень расплава в воронке в процессе литья не менее  $\frac{2}{3}$  ее высоты.

В отверстие воронки, устанавливаемой строго по центру изложницы, вставляют сменную чугунную или керамическую втулку, с помощью которой и регулируют скорость заполнения изложницы. Диаметр отверстия в производственных условиях подбирают опытным путем. Он определяется диаметром отливаемого слитка. Так, для слитка диаметром 185, 220, 250, 300 и 400 мм диаметр отверстий во втулках соответственно составляет 30, 33, 35, 40 и 45 мм. Перед каждой разливкой из воронок удаляют окислы и шлак, а отверстия во втулках прочищают стальным рифленым (арматурным) прутом. После заполнения изложницы производится доливка слитков для восполнения объема металла, пошедшего на усадку при охлаждении.

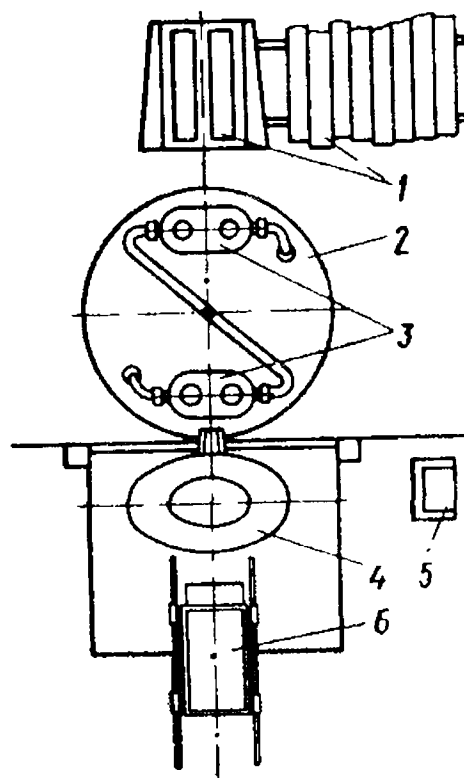


Рис. 26. Компоновка плавильной печи с поворотным кругом:

1 — слитки; 2 — механизированный поворотный круг; 3 — изложницы; 4 — индукционная печь; 5 — пульт управления; 6 — загрузочная тележка

Водоохлаждаемые изложницы устанавливают попарно на поворотный круг с механизированным приводом, расположенный перед плавильной печью так, чтобы была возможность поочередно подавать их под летку печи для заполнения металлом и отводить для удаления затвердевших слитков (рис. 26). Кроме того, для удаления отлитых слитков необходимо обеспечить свободный поворот кессонов с рубашками вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести изложницы.

### *Литье прямоугольных слитков в вертикальные изложницы*

Вертикальные изложницы для отливки прямоугольных слитков изготавливают в виде двух шарнирно сое-

диненных водоохлаждаемых кессонов. Наиболее часто встречающаяся конструкция изложницы показана на рис. 27. Каждый кессон состоит из внешнего стального или чугунного корпуса и внутренней медной стенки. Узкие боковые стороны изложниц изготавливают из медных или чугунных плит и водой не охлаждают. Обе половины изложницы перед заливкой расплавом жестко скрепляют с помощью специальных запоров или накладных болтов. Внутри кессонов циркулирует вода, которая подводится в него снизу, а отводится сверху. Так как расплав заполняет изложницу снизу, то такая схема подвода воды обеспечивает равномерный отвод тепла от слитка и более благоприятные условия кристаллизации металла.

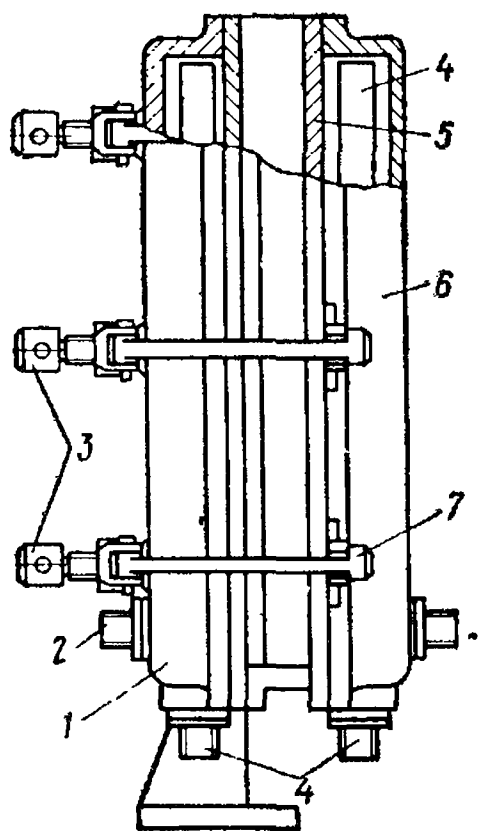


Рис. 27. Схема изложницы для прямоугольных слитков:

1—чугунный корпус; 2—труба для подвода воды; 3—зажимной винт; 4—трубы для отвода воды; 5—медная стенка; 6—крышка кессона; 7—стяжка

Чтобы ускорить охлаждение слитка, расстояние между параллельными стенками кессона делают не более 15—20 мм, благодаря чему во внутренней полости изложницы создается большая скорость прохождения воды, что способствует более эффективному отводу тепла от затвердевающего металла.

Внутренняя рабочая поверхность изложниц должна быть чистой, ровной и без дефектов. На нее также наносят смазки,

состав которых приведен в табл. 16. Особенно тщательно промазывают боковые неохлаждаемые стенки.

Прямоугольные изложницы заполняют расплавом через чугунные воронки. Для литья меди и медноникелевых сплавов воронки футеруют плитами из огнеупорного материала. Число отверстий в воронке и их диаметр подбирают для каждого сплава и сечения слитка опытным путем. Так, для литья прямоугольных слитков сплава Л63 сечением 160×600 мм применяют чугунную

воронку, имеющую 14 отверстий: 4 отверстия по 2 с каждой стороны имеют диаметр 20 мм, а остальные 10 отверстий — 18 мм.

Перед заполнением изложницу устанавливают строго вертикально. Если изложница установлена наклонно, металл может падать на ее стенку и смывать смазку. На слитке в местах преждевременной перегонки смазки образуются поверхностные дефекты — включения твердого коксообразного остатка.

Летку печи перед литьем тщательно прочищают. Заполнение изложницы ведут форсированно. Металл в воронке в течение всего периода литья поддерживают на уровне не менее  $\frac{2}{3}$  ее высоты и внимательно следят за положением поплавка. После заполнения изложницы расплавом производят доливку слитка на усадку. Доливают слиток небольшими порциями непосредственно из печи через летку или доливочной ложкой до полного заполнения усадочной раковины. После затвердевания всего расплава в изложнице ее отводят от плавильной печи, разбирают и слиток подхватывают краном с помощью клещей.

Максимальный вес слитков, отливаемых в вертикальные прямоугольные изложницы, редко превышает 1000 кг.

### *Кристаллизация металла при наполнительном литье*

Основным фактором, в значительной степени определяющим физико-механические свойства слитков, является характер затвердевания расплава. При наполнительном литье кристаллизация металла начинается в первую очередь с поверхности слитка, т. е. там, где от расплава отбирается тепло и отводится через стенки изложницы к охлаждающей воде (рис. 28). По мере дальнейшего охлаждения залитого расплава условия теплоотвода постоянно меняются, так как между слитком и рубашкой изложницы образуется зазор, а толщина твердой корки постепенно увеличивается, что замедляет теплоотвод.

Заполнение вертикальных изложниц сверху и большая высота падения струи приводят к тому, что расплав в верхней части слитка длительное время может оста-

ваться жидким, что обеспечивает питание слитка во время его затвердевания и изменения объема. Продвижение фронта кристаллизации в радиальном направлении приводит к неравномерному распределению легирующих компонентов и к неоднородности физико-механических свойств по сечению и высоте слитков.

Отсутствие равномерного теплового потока в процессе кристаллизации расплава при наполнительном

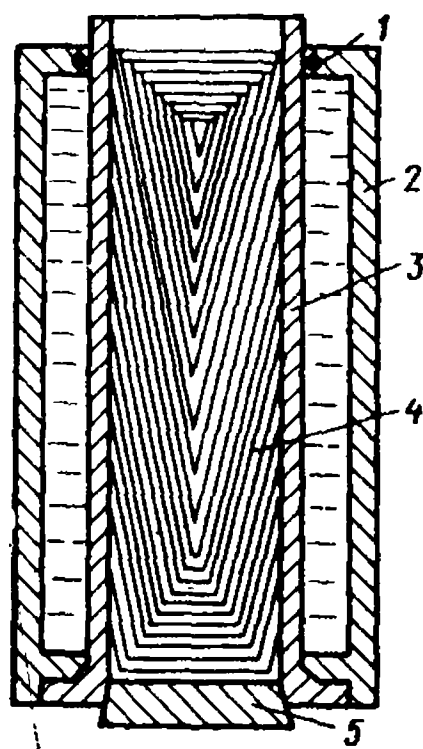


Рис. 28. Характер кристаллизации металла при наполнительном литье:

1 — сальник; 2 — корпус изложницы; 3 — рубашка; 4 — слиток; 5 — поддон

литье является одной из основных причин неравномерного роста кристаллов и неоднородности свойств в различных зонах слитка. Глубина лунки жидкого металла при литье, например, латуни после заполнения изложницы расплавом достигает 80—90% ее высоты. В процессе медленного затвердевания расплава образуется грубая крупнокристаллическая структура с повышенным содержанием в ней газовых пор.

Таким образом, основными недостатками метода наполнительного литья слитков являются:

- 1) низкий выход годного металла, связанный с удалением литниковой части слитков;
- 2) грубое кристаллическое строение слитков, снижающее механические и пластические свойства металла;
- 3) наличие осевой пористости в слитках некоторых сплавов;
- 4) невозможность получения однородной структуры и свойств по сечению и высоте слитков;
- 5) ограниченный размер отливаемых слитков;
- 6) низкая производительность труда и культура производства.

Вследствие перечисленных недостатков метод наполнительного литья в последние годы все больше уступает место наиболее прогрессивному методу непрерывного литья слитков.

## МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ СЛИТКОВ

### *Характеристика установок полунепрерывного и непрерывного литья*

В литейных цехах заводов по обработке цветных металлов для производства слитков методом непрерывного литья применяют три типа установок:

1) установки полунепрерывного литья без промежуточной емкости или с зависимым от печи кристаллизатором;

2) установки полунепрерывного литья с промежуточной емкостью;

3) установки непрерывного литья.

Схема установки полунепрерывного литья с зависимым от плавильной печи кристаллизатором в положении литья показана на рис. 29. В состав такой установки входит печь, которая одновременно является и плавильным и разливочным агрегатом, и машина полунепрерывного литья с кристаллизатором. В этом случае используется обычная индукционная канальная печь, к шахте которой вместо летки под углом  $25^\circ$  прикреплена разливочная коробка со стопорно-разливочным устройством. При повороте печи на  $25^\circ$  (в положение литья) расплав заполняет разливочную коробку. В этот момент разливочная трубка находится в вертикальном положении, по центру кристаллизатора; нижний конец ее входит на 30—40 мм в кристаллизатор. При открывании стопорного устройства графитовый шток поднимается вверх, благодаря чему между поверхностью конусов штока и втулки образуется зазор, через который расплав поступает в кристаллизатор. Предельное количество рас-

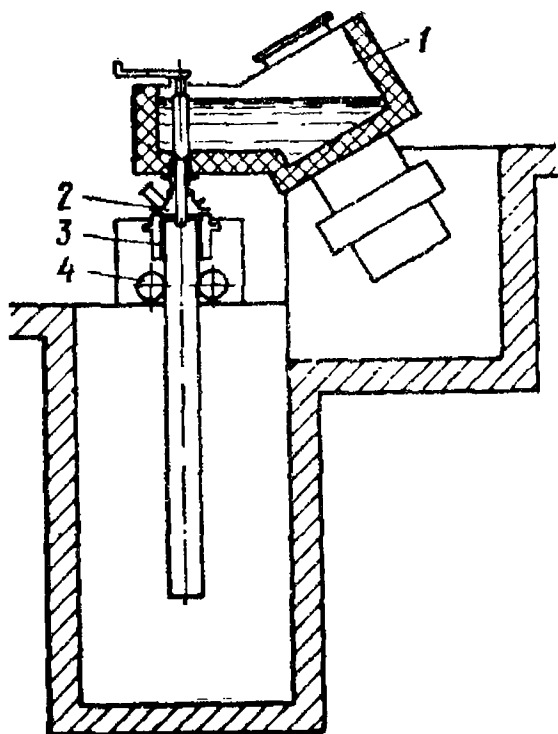


Рис. 29. Схема плавильно-разливочной печи с литейной машиной:

1 — печь; 2 — разливочный колпак;  
3 — кристаллизатор; 4 — роликовая литейная машина

плава, необходимое для заполнения кристаллизатора определенного сечения при оптимальной скорости литья, ограничивается калиброванным отверстием во втулке.

Литейная машина проста по устройству и состоит из кристаллизатора и привода для вытягивания отливаемого слитка. Перед началом литья в нижнюю часть кристаллизатора на определенную высоту вводят поддон, на котором затвердевает первая порция металла, поступающая из разливочной коробки печи. Как только корочка металла в кристаллизаторе станет достаточно прочной, поддон, соединяющийся со слитком, с помощью вытягивающего механизма начинает медленно опускаться вниз.

Теплота от поступающего в кристаллизатор расплава отводится водой, омывающей гильзу кристаллизатора; кроме того, поверхность слитка охлаждается водой, выходящей из отверстий нижнего основания кристаллизатора, расположенных под углом  $20\text{--}25^\circ$  к вертикальной оси слитка.

При литье слитков латуни и бескислородной меди с целью предохранения поверхности расплавов от окисления верх кристаллизатора закрывают колпаком, под который непрерывно поступает защитная атмосфера. Для уменьшения трения при движении слитка и получения более качественной поверхности заготовок на стенки кристаллизатора через специальные отверстия периодически подают смазку. Отлитые слитки из ямы литейной машины удаляют краном и до получения результатов химического анализа хранят в стеллажах.

Установки описанного типа широко применяли в начальный период внедрения непрерывного литья и в настоящее время используют при производстве небольших партий слитков различных по химическому составу сплавов, так как на таких установках переход с одного сплава на другой связан с меньшими непроизводительными потерями. Длина слитков, отливаемых на установках без промежуточной емкости, обычно не превышает  $2,5\text{--}3,0$  м.

Для отливки больших партий слитков одного и того же сплава применяют установки полунепрерывного литья, работающие по схеме плавильная печь — миксер — кристаллизатор. Схема такой установки показана на рис. 30. Расплав из индукционной канальной печи при достижении заданной температуры по специальному

желобу сливается в миксер, оборудованный разливочной коробкой. В компоновку таких установок входит также литейная машина с кристаллизатором. Литые слитки производится по мере накопления жидкого металла в миксере. Длина отливаемых слитков, как правило, не превышает 6—8 м.

Современная высокопроизводительная установка непрерывного литья схематически изображена на рис. 31.

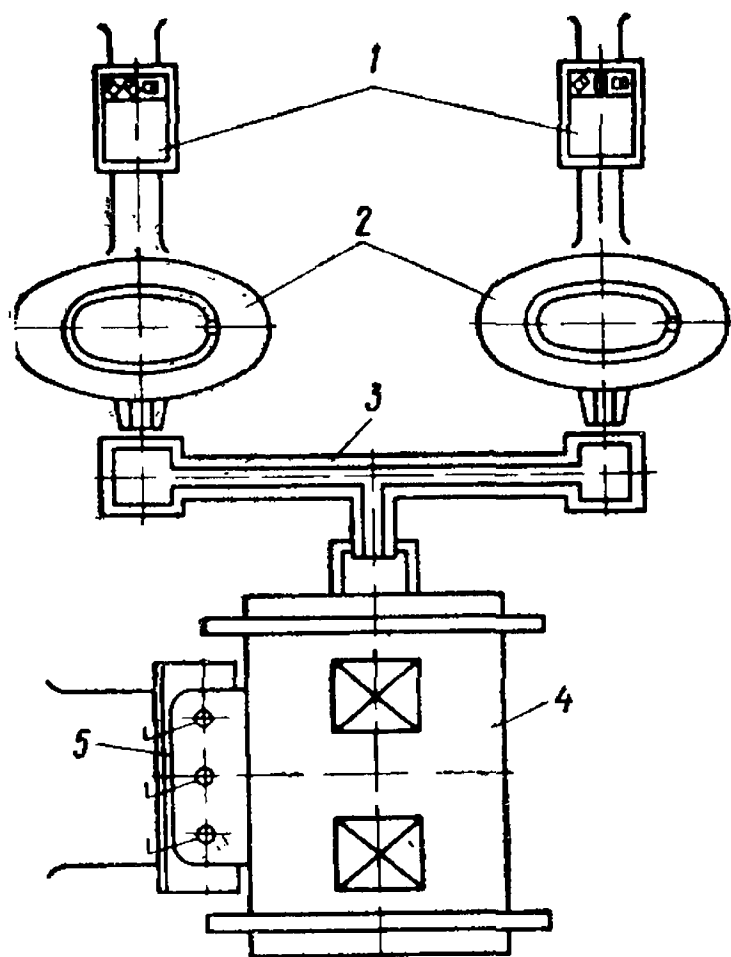


Рис. 30. Схема установки полунепрерывного литья:

1 — загрузочные тележки; 2 — плавильные печи; 3 — переливное устройство; 4 — миксер; 5 — тележка с кристаллизатором

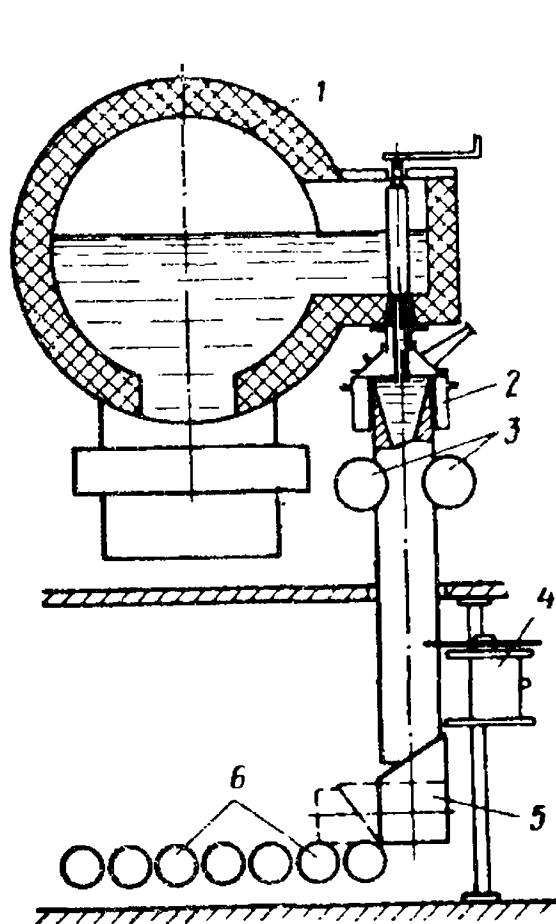


Рис. 31. Схема установки непрерывного литья:

1 — миксер; 2 — кристаллизатор; 3 — тянущие ролики; 4 — летучая пила; 5 — кантователь; 6 — ролик

Расплав, приготовленный в плавильной печи, через переливное устройство периодически или непрерывно сливается в раздаточную печь-миксер, откуда через регулируемое отверстие во втулке поступает в кристаллизатор. Слиток из кристаллизатора непрерывно удаляется тянущими роликами, за которыми расположена летучая пила с вертикальной осью вращения диска. В определенный момент рама пилы жестко соединяется со слитком,

после чего диск отрезает от слитка заготовку заданной длины. Полученная заготовка с помощью кантователя передается на горизонтальный рольганг, где перед подачей на склад ее просматривают работники отдела технического контроля и после клеймения в случае необходимости разрезают на части или фрезеруют.

Разливка металла на установках такого типа может производиться без перерыва в течение нескольких часов и даже суток.

Установки непрерывного литья обычно располагают на уровне пола в зданиях башенного типа высотой 15—20 м. Такие установки наиболее целесообразно применять в условиях поточного производства слитков постоянного сечения с одним и тем же или близким по содержанию легирующих компонентов химическим составом.

Выбор типа установки определяется масштабами производства и требуемой производительностью. Установки полунепрерывного литья, например, значительно дешевле и более гибки в эксплуатации по сравнению с установками непрерывного литья. Поэтому их предпочитают иметь в литейных цехах заводов, выпускающих изделия из сплавов различных составов.

Деление литья на непрерывное и полунепрерывное с металлургической точки зрения и точки зрения качества продукции является чисто условным. Независимо от конструкции установки и длины отливаемых слитков в основе процесса лежит один и тот же принцип. Расплавленный металл с постоянной скоростью поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор, а сформированный слиток удаляется из кристаллизатора с той же скоростью. На установках полунепрерывного действия процесс литья периодически прекращают для удаления отлитых слитков; на установках непрерывного действия слиток после выхода из кристаллизатора разрезают на заготовки мерной длины без прекращения процесса литья. Этот метод получил свое название за металлургическую сторону процесса, когда в строгом взаимодействии одновременно осуществляются три операции: 1) непрерывное поступление жидкого металла в кристаллизатор; 2) затвердевание металла; 3) удаление слитка из зоны кристаллизации. Эта основа непрерывного литья абсолютно одинакова как на установках с пилой, так и без пилы.

Затвердевание металла при непрерывном литье происходит сначала в кристаллизаторе, представляющем собой водоохлаждаемую конструкцию цилиндрической или прямоугольной формы высотой 200—600 мм, а затем в зоне вторичного охлаждения, в местах выхода воды на слиток. На рис. 32 показана схема формирования слитка в цилиндрическом кристаллизаторе высотой 275 мм.

Расплав в кристаллизатор поступает через графитовую трубку сверху, из разливочной коробки печи или миксера. При установившемся режиме литья в кристаллизаторе постоянно имеется жидкая фаза — так называемая лунка, определенной формы и глубины, обеспечивающая питание слитка и удаление из затвердевающего металла неметаллических включений и газов. Как будет показано ниже, форма и глубина лунки оказывают значительное влияние на качество слитков.

По характеру отвода тепла от поступающего в кристаллизатор жидкого металла лунку слитка условно можно разделить на три зоны: *I* — зона для отвода тепла перегрева; жидкий металл в этой зоне находится в непосредственном контакте с водоохлаждаемыми стенками кристаллизатора; *II* — зона затвердевания металла в пределах высоты кристаллизатора; *III* — зона затвердевания металла под действием вторичного охлаждения.

Для каждого металла или сплава характерна своя форма лунки, контуры которой в производственных условиях замеряют или определяют путем заливки в кри-

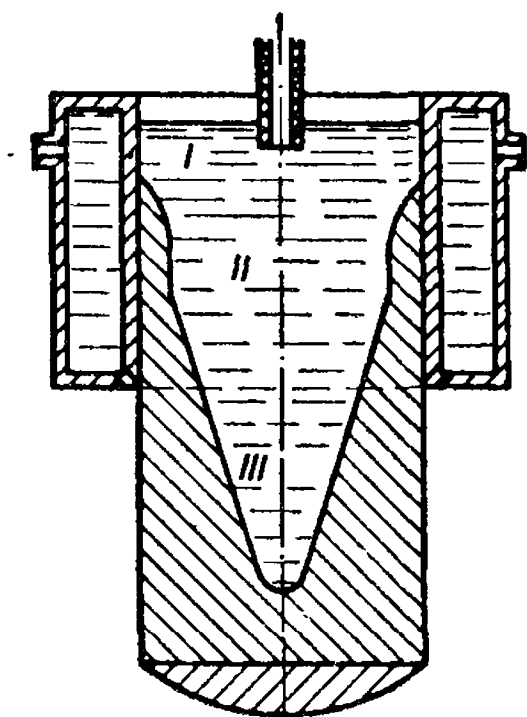


Рис. 32. Схема формирования цилиндрического слитка в кристаллизаторе:

*I* — зона для отвода тепла перегрева; *II* — зона затвердевания металла в пределах высоты кристаллизатора; *III* — зона затвердевания металла под действием вторичного охлаждения

стабилизатор в конце литья расплавленного свинца. Форма и глубина лунки зависят главным образом от технологических параметров литья и коэффициентов теплопроводности материала кристаллизатора и отливаемого слитка.

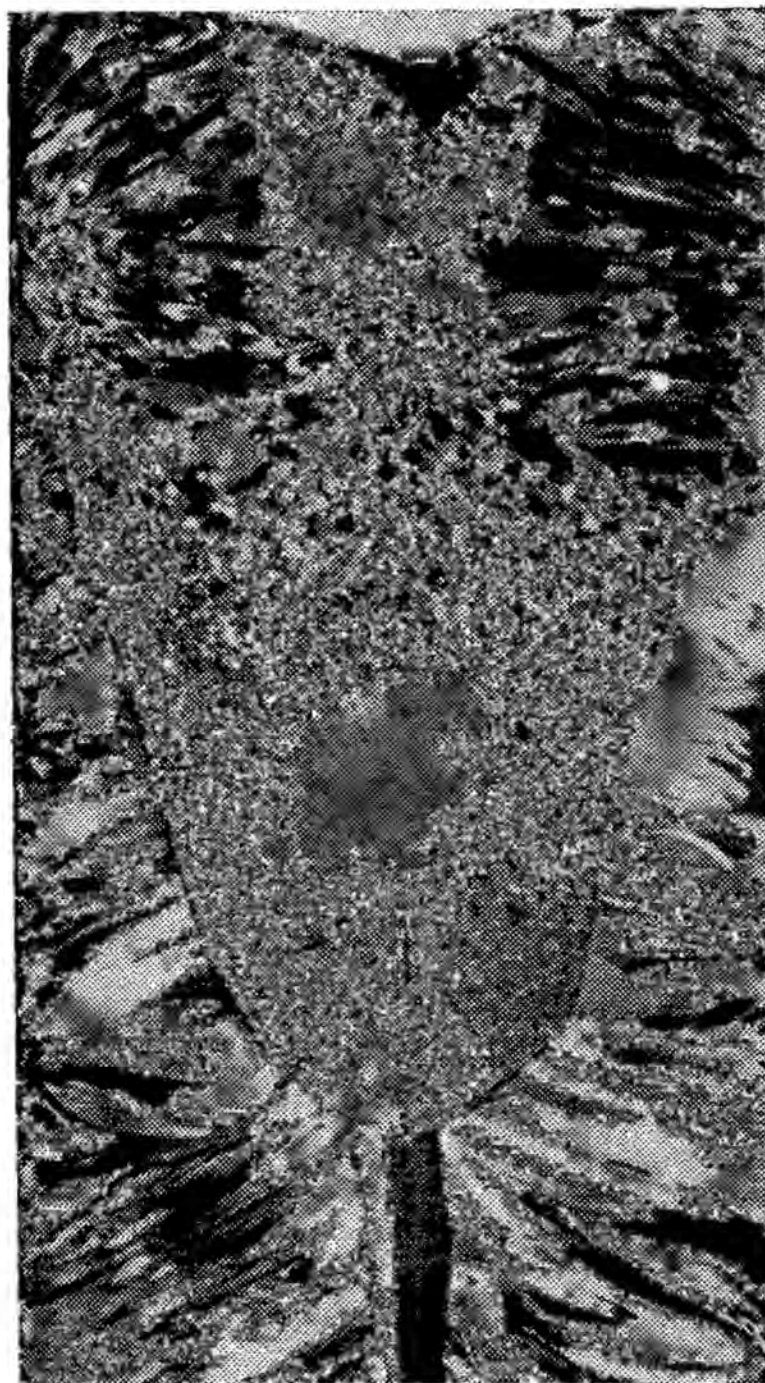


Рис. 33. Экспериментальный профиль слитка меди марки М2 диаметром 185 мм при литье в медный кристаллизатор со скоростью 12 м/ч

На рис. 33 показан профиль лунки слитка меди марки М2 при литье в медный кристаллизатор со скоростью 12 м/ч. В зоне I медного слитка жидкий металл находится в постоянном контакте с водоохлаждаемыми стенками кристаллизатора, благодаря чему обеспечивается надежный отвод тепла перегрева от поступающего в лунку расплава. При наличии такой зоны не требуется строго поддерживать постоянный уровень металла в кристаллизаторе, что особенно важно при одновременном литье нескольких слитков без автоматического контроля за уровнем. Корочка металла, образующаяся у стенок кристаллизатора, быстро утолщается и упрочняется и поэтому меньше деформируется

при движении слитка. Вследствие высокой теплопроводности меди лунка имеет незначительную глубину (на 20—25 мм выходит из кристаллизатора). Металл слитков с таким профилем лунки практически не имеет дефектов усадочного происхождения. Литье слитков, имеющих

форму лунки, близкую к форме лунки медного слитка, не представляет каких-либо существенных затруднений. Поэтому с точки зрения теплоотвода, питания затвердевающего металла, качества поверхности слитков и стабильности процесса такую форму лунки следует считать идеальной.

Совершенно иначе происходит формирование латунного слитка, например, сплава Л63 в медном кристаллизаторе (рис. 34). При соприкосновении жидкого металла с кристаллизатором мгновенно образуется тонкая корочка, которая сразу же отходит от его стенок. Охлаждение слитка при этом ухудшается, о чем говорит подплавление корочки, толщина которой по мере движения слитка уменьшается с 16 до 8 мм. В отдельных местах корочка становится настолько тонкой и слабой, что происходит ее проплавление и расплавленный металл под действием гидростатического давления выбрасывается из лунки, образуя на поверхности слитка наплывы и прорывы. Зона для отвода тепла перегрева в лунке латунного слитка отсутствует, вследствие чего малейшее колебание уровня расплава в кристаллизаторе приводит к появлению пережимов на поверхности слитков.

Если кристаллизатор для литья слитков латуни Л63 изготовить из материала, обладающего тем же коэффициентом теплопроводности, что и материал слитка, то условия теплообмена и характер кристаллизации резко меняются. Как видно на рис. 34, профиль лунки латунного слитка, отлитого в латунный кристаллизатор, в известной степени приближается к профилю лунки медно-

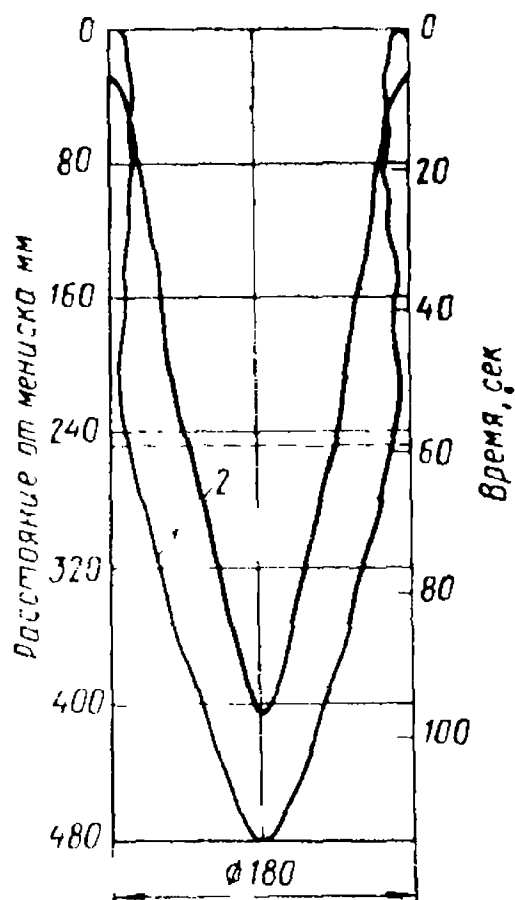


Рис. 34. Совмещенные контуры лунки слитков сплава Л63 при литье в кристаллизатор с медной (1) и томпаковой (2) рубашками со скоростью 15 м/ч

го слитка, отлитого в медный кристаллизатор. В верхней части этого слитка образуется зона непосредственного контакта расплава со стенкой кристаллизатора, толщина корки в пределах кристаллизатора увеличивается в несколько раз, что исключает возможность появления наплывов и прорывов металла на поверхности слитков, а глубина лунки при одних и тех же параметрах литья уменьшается на 15%.

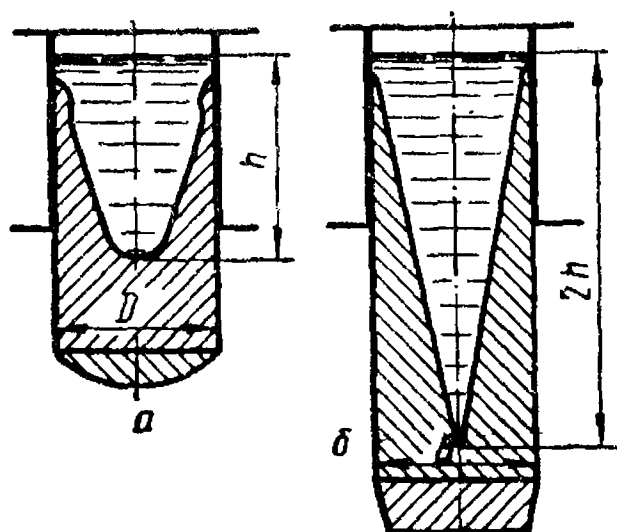


Рис. 35. Схема формирования профиля лунки у цилиндрического (а) и прямоугольного (б) слитков

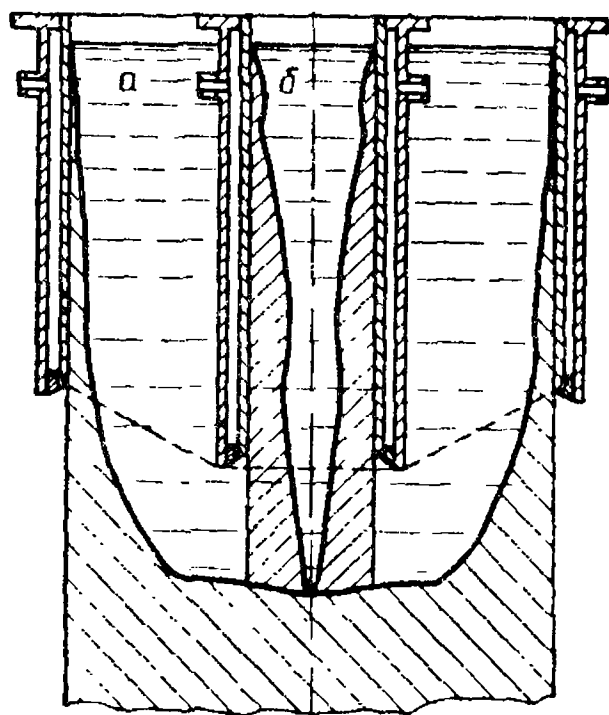


Рис. 36. Профиль лунки слитка сплава Л63 сечением 160×600 мм, отлитого в медный кристаллизатор со скоростью 12 м/ч:

а — сечение по оси, параллельной широкой грани; б — сечение по оси, параллельной узкой грани

Глубина лунки у цилиндрических и прямоугольных слитков образуется по-разному. Если скорость литья одинакова, а толщина прямоугольного слитка равна диаметру цилиндрического слитка, то глубина лунки прямоугольного слитка вследствие меньшей поверхности охлаждения по отношению к объему затвердевающего металла примерно в два раза превышает глубину лунки цилиндрического слитка (рис. 35).

Экспериментальный профиль лунки прямоугольного слитка сплава Л63 сечением 160×600 мм, отлитого

в медный кристаллизатор со скоростью 12 м/ч, показан на рис. 36.

При прочих равных условиях глубина лунки резко меняется в зависимости от изменения скорости литья. Так, при литье слитков меди диаметром 185 мм со скоростью 8 м/ч глубина лунки составляет 215 мм, со скоростью 10 м/ч — 270 мм и со скоростью 12 м/ч — 325 мм.

Глубокая лунка при литье слитков нежелательна, так как она может перемерзнуть по длине, а в оставшемся ниже «моста» жидком металле при затвердевании и усадке образуется пористость. При глубокой лунке кристаллизация металла идет не в направлении, близком к осевому, а с боковых сторон и приближается к кристаллизации слитка в изложнице. Кроме того, из-за большого перепада температуры по сечению слитка в нем возникают термические напряжения, которые могут привести к трещинам. При неглубокой лунке напряжения меньше.

Таким образом, при непрерывном литье имеется реальная возможность изменять в широких пределах условия формирования слитков. Соответствующим подбором, например, скорости литья, интенсивности охлаждения и материала гильзы кристаллизатора можно добиться оптимальных условий затвердевания и наилучшего качества металла. Высокое качество слитков и возможность контроля процесса обеспечивают широкое использование метода непрерывного литья для всех цветных металлов и сплавов.

### *Литейные машины*

Непрерывное литье осуществляется на литейных машинах главным образом с вертикальной осью разливки, которые различаются по конструкции механизма опускания слитка. Например, машины непрерывного литья для удаления слитка из кристаллизатора оборудуют тянущими роликами. Слиток на машинах полунепрерывного литья чаще всего вытягивается из кристаллизатора с помощью так называемого опускающегося стола. Литейные машины с опускающимся столом могут иметь как гидравлический, так и механический (винтовой, тросовый или цепной) приводы. Каждый тип машин имеет свои положительные и отрицательные стороны.

У машин с тянущими роликами (рис. 37) привод осуществляется от электродвигателя через редуктор и систему ременных или зубчатых передач. Для лучшего сцепления со слитком рабочую поверхность металлических роликов делают рифленой, а иногда покрывают слоем кожи или резины. Скорость вращения роликов (скорость литья) регулируется в широких пределах путем изменения числа оборотов электродвигателя постоянного тока.

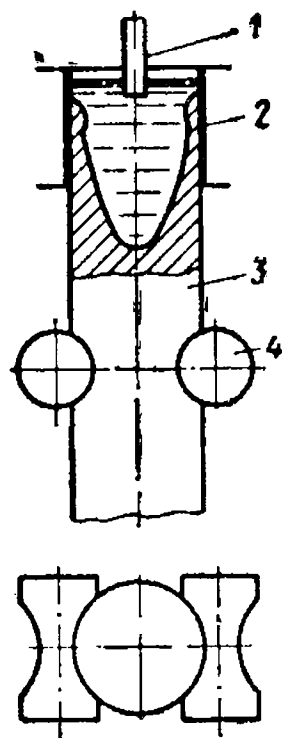


Рис. 37. Схема литейной машины с тянущими роликами:

1 — разливочная трубка; 2 — кристаллизатор; 3 — слиток; 4 — тянущие ролики

Бесспорные преимущества машин с тянущими роликами следующие:

- 1) постоянство скорости литья;
- 2) возможность получения слитков неограниченной длины;
- 3) простота конструкции, сравнительно небольшие затраты на изготовление, легкость обслуживания.

К недостаткам роликовых машин относят:

- 1) деформирование слитка при нажатии валков;
- 2) буксование валков при неправильной центровке их относительно кристаллизатора.

У машин с гидравлическим приводом (рис. 38) подъем стола осуществляется с помощью поршня, перемещающегося в цилиндре под действием масла, подаваемого насосом по трубопроводу. Опускание стола в период литья происходит благодаря тому, что масло из нижней части цилиндра сливается в резервуар. Скорость опускания стола (скорость литья) регулируется сечением калиброванного отверстия в сливном маслопроводе; очень часто она зависит также и от массы слитков, которая в процессе литья непрерывно изменяется. Длина отливаемых слитков на машинах с гидравлическим приводом ограничивается ходом поршня и составляет не более 4—5 м. Для монтажа таких машин необходимы очень глубокие приямки; кроме того, эти машины сложны в изготовлении и обслуживании. Вместе с тем литейные машины с гидравлическим приводом позволяют

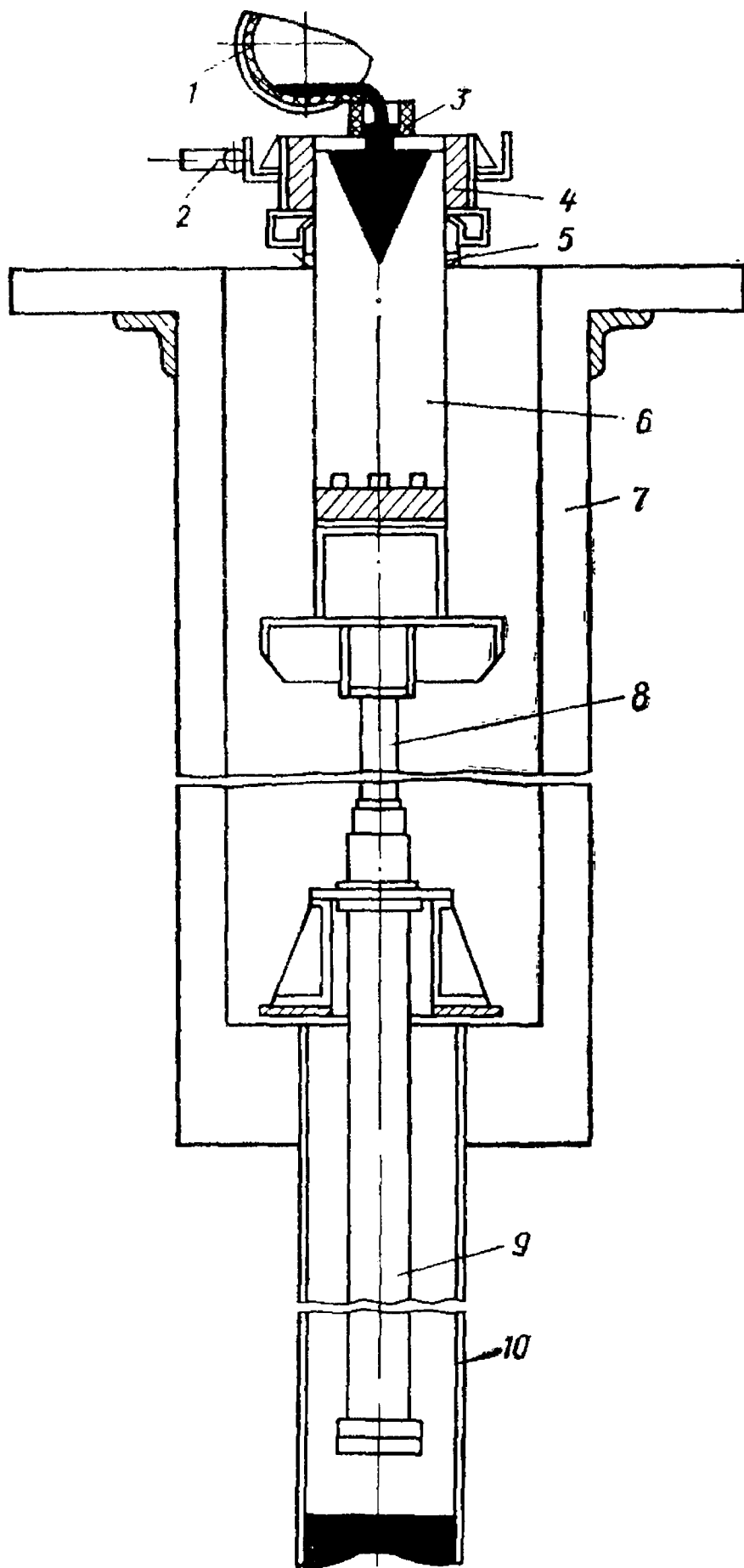


Рис. 38. Схема литейной машины с гидравлическим приводом:

1 — разливочный ковш; 2 — кронштейн; 3 — распределительное устройство; 4 — кристаллизатор; 5 — вторичное охлаждение; 6 — слиток; 7 — литейная яма; 8 — поршень; 9 — цилиндр; 10 — кожух

производить одновременную отливку нескольких слитков, обеспечивая их плавное опускание в широком диапазоне скоростей. На этих машинах легче и проще осуществляется переход с одного размера слитка на другой.

Наибольшее распространение в практике работы литейных цехов получили литейные машины с винтовым

приводом, изготавливаемые Иркутским заводом тяжелого машиностроения им. В. В. Куйбышева. Эти машины просты по устройству, удобны и надежны в эксплуатации и позволяют производить одновременную отливку нескольких слитков длиной 5—5,5 м с постоянной скоростью. Схема конструкции такой машины показана на рис. 39. Подвижной стол (платформа) с закрепленными в нем гайками свободно перемещается по направляющим за счет вращения винтов с трапецевидной резьбой. Для опускания стола служит электродвигатель постоянного тока, позволяющий

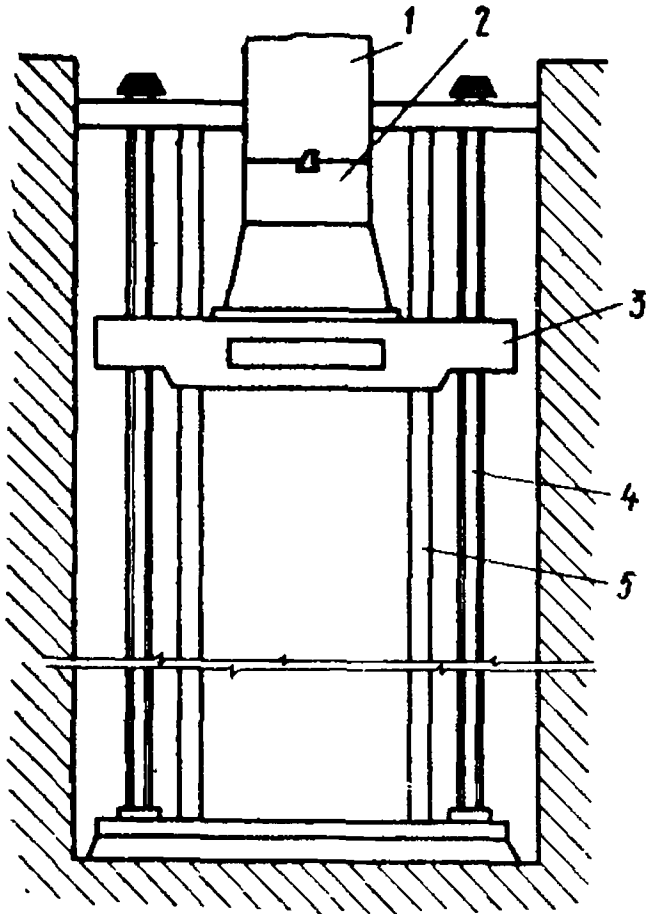


Рис. 39. Литейная машина с винтовым приводом:

- 1 — слиток; 2 — поддон с затравкой;
- 3 — подвижная платформа; 4 — ходовой винт; 5 — направляющая

осуществлять плавное регулирование скорости литья в широком диапазоне. Подъем стола производится с более высокой скоростью другим электродвигателем. Ниже приведена техническая характеристика литейной машины с винтовым приводом:

|                                           |          |
|-------------------------------------------|----------|
| Максимальная масса отливаемых слитков, кг | 11 000   |
| Максимальная длина отливаемых слитков, мм | 5 500    |
| Максимальные размеры сечения слитков, мм: |          |
| прямоугольных                             | 240×1300 |
| цилиндрических (диаметр)                  | 400      |

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| Число одновременно отливаемых слитков:                   |      |
| прямоугольных всех размеров . . . . .                    | 1    |
| цилиндрических диаметром, мм:                            |      |
| до 200 . . . . .                                         | 3    |
| » 300 . . . . .                                          | 2    |
| » 400 . . . . .                                          | 1    |
| полых диаметром до 350 мм . . . . .                      | 2    |
| Рабочая скорость машины (опускание стола), м/ч . . . . . | 5—25 |
| Холостой ход машины (подъем стола), м/ч . . . . .        | 108  |

Для контроля процесса литья литейные машины оборудуют следующими контрольно-измерительными приборами:

- 1) указателем длины отливаемых слитков;
- 2) световой и звуковой сигнализацией, предупреждающей достижение отливаемым слитком заданной длины и прекращение подачи воды в кристаллизатор в процессе литья;
- 3) приборами, показывающими и регистрирующими скорость литья, давление воды и температуру расплава в миксере.

Литейные машины с тросовым и цепным приводами широкого распространения для литья меди и ее сплавов не получили.

Принято считать, что надежность работы литейной машины зависит не только от ее типа или вида привода, но и от конструктивного решения и изготовления отдельных узлов, а главное — от ухода за ней.

## Кристаллизаторы

Кристаллизатор является главной частью установки непрерывного литья и служит для формирования отливаемого слитка. По сравнению с изложницей кристаллизатор не имеет жесткого поддона; он напоминает канал определенного сечения, в один конец которого поступает жидкий металл, а из другого вытягивается слиток; сечение слитка соответствует сечению кристаллизатора. Длина слитка при непрерывном литье значительно превосходит длину кристаллизатора, в котором формируется слиток. Опыт длительной эксплуатации кристаллизаторов показывает, что основными требованиями, предъявляемыми к ним, должны быть следующие:

- 1) простота конструкции, надежность в работе и возможность быстрой замены;

2) сохранение при длительной работе и минимальном уходе требуемой формы и размеров;

3) обеспечение качественной поверхности и внутреннего строения слитков при максимальной скорости литья;

4) хорошая обработка рабочей поверхности кристаллизатора для уменьшения трения слитка и несмачиваемость ее жидким металлом.

В настоящее время для изготовления рабочих стенок кристаллизаторов при литье меди и сплавов на ее основе применяют медь, латунь, медь с присадкой серебра, хрома или марганца, сталь и графит.

Рис. 40. Конструкция кристаллизатора для отливки цилиндрических слитков:

1 — прижимное кольцо; 2 — трубка для подачи масла; 3 — прокладка; 4 — корпус; 5 — рубашка; 6 — гребенка; 7 — патрубок для подвода воды

Конструкция кристаллизатора для литья цилиндрических слитков меди, латуней и бронз показана на рис. 40. В литой чугунный корпус высотой 250—300 мм вставлена гильза, изготовленная из теплопроводного и жаростойкого материала. Толщина стенки гильзы 10—15 мм. Между гильзой и корпусом образуется пространство, в которое по двум трубопроводам непрерывно подается охлаждающая вода под давлением 1—2 атм. Из кристаллизатора через отверстия диаметром 3—4 мм, просверленные в нижнем фланце гильзы, вода поступает непосредственно на слиток, обеспечивая его так называемое вто-

ричное охлаждение. Для подачи смазки на рабочую поверхность кристаллизатора в верхней части гильзы просверлены отверстия диаметром 1,5—2,0 мм.

На рис. 41 показана схема кристаллизатора для получения прямоугольных слитков меди сечением 160×600 мм. Высота кристаллизатора для прямоугольных

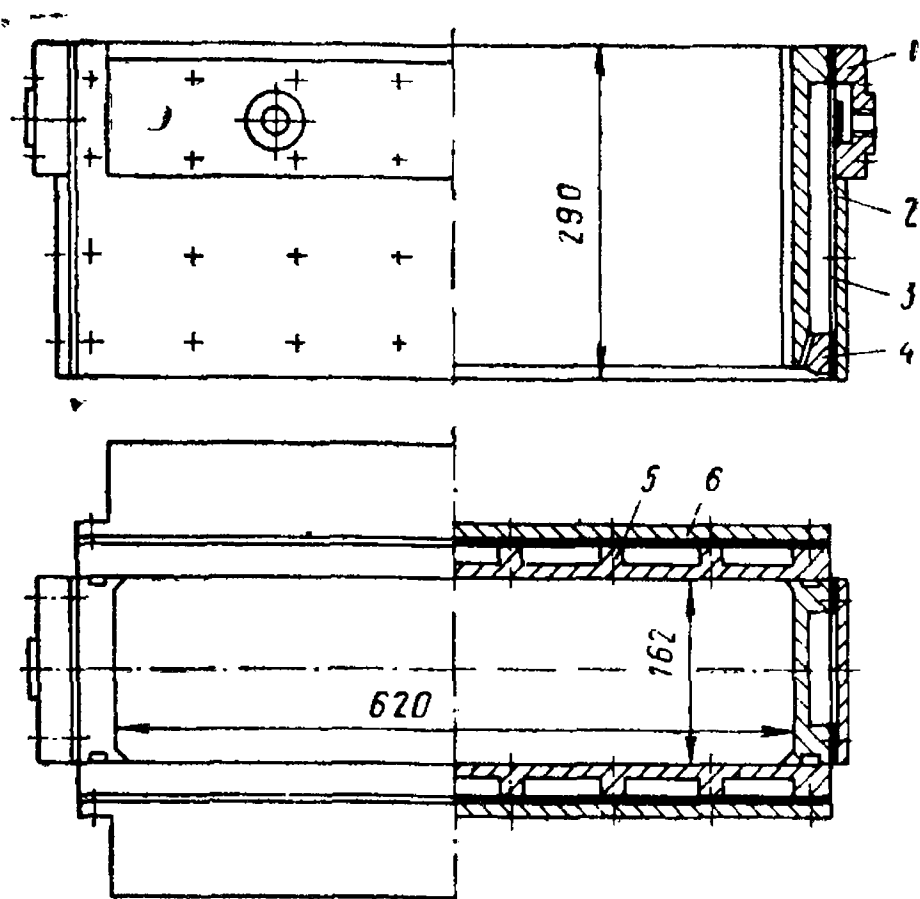


Рис. 41. Конструкция кристаллизатора для отливки прямоугольных медных слитков:

1 — крышка; 2 — узкая рабочая стенка; 3 — прокладка; 4 — гребенка; 5 — широкая рабочая стенка; 6 — плита

латунных слитков почти в два раза превышает высоту кристаллизатора для медных слитков. Попытки получать прямоугольные латунные слитки при литье в короткий кристаллизатор неизменно сопровождались образованием на их поверхности грубых наплывов, что приводило к снижению скорости литья. С целью обеспечения равномерного охлаждения слитка по периметру нижнюю часть кристаллизатора для латунных слитков выполняют фасонной, с переменной высотой по ширине. Рабочие стенки прямоугольных кристаллизаторов делают из меди и крепят к чугунному корпусу. Для подвода смазки в верхней торцевой стенке имеются продольные канавки, из ко-

торых по наклонным отверстиям смазка периодически стекает на рабочую поверхность кристаллизатора.

Размеры прямоугольных кристаллизаторов могут быть самыми различными и определяются мощностью прокатных станов. Так, метод непрерывного литья позволил получать слитки из меди и ее сплавов сечением  $240 \times 1200$  мм, погонный метр которых весит около 3000 кг. Производство слитков таких размеров свидетельствует о бесспорном техническом прогрессе в области заготовительного литья.

Стенки кристаллизаторов для литья цилиндрических и прямоугольных слитков меди и ее сплавов не имеют конусности. Чтобы уменьшить износ, металлическую рабочую поверхность кристаллизаторов хромируют слоем толщиной 0,02—0,05 мм.

Кристаллизаторы на отечественных установках полу-непрерывного литья в процессе работы находятся в неподвижном состоянии, а разливаемый металл непрерывно перемещается относительно его стенок. В практике наибольшее распространение получили самоцентрирующиеся кристаллизаторы, которые могут перемещаться в горизонтальной плоскости при отклонении слитка от строго вертикального положения, при изгибе слитка или нарушении соосности кристаллизатора и поддона в процессе литья.

Основными неисправностями кристаллизаторов, влияющими на качество слитков, являются:

- 1) перекося стенок кристаллизатора в вертикальной плоскости;
- 2) засорение отверстий для подвода воды в зону вторичного охлаждения;
- 3) засорение отверстия для масла или маслопровода;
- 4) зарастание стенок кристаллизатора окислами;
- 5) появление конусности и овальности.

### *Поддоны (затравки)*

Чтобы начать процесс литья, кристаллизатор снизу закрывают поддоном или затравкой. В зависимости от размеров кристаллизатора поддон в него вводят на различную высоту. Принято считать, что чем больше сечение кристаллизатора, тем на большую высоту нужно вводить поддон. Так, при литье прямоугольных слитков меди се-

чением  $160 \times 700$  мм поддон перед началом литья не должен доходить до верхней плоскости кристаллизатора на 90—100 мм; при литье медных слитков диаметром 150 мм, поскольку велика опасность переполнения кристаллизатора в начале литья, поддон вводят всего на 40—50 мм.

Заполнение кристаллизатора в начальный момент напоминает литье слитков в изложницы. Характер затвердевания металла в этот период также ничем не отличается от затвердевания металла при наполнительном литье. Не-

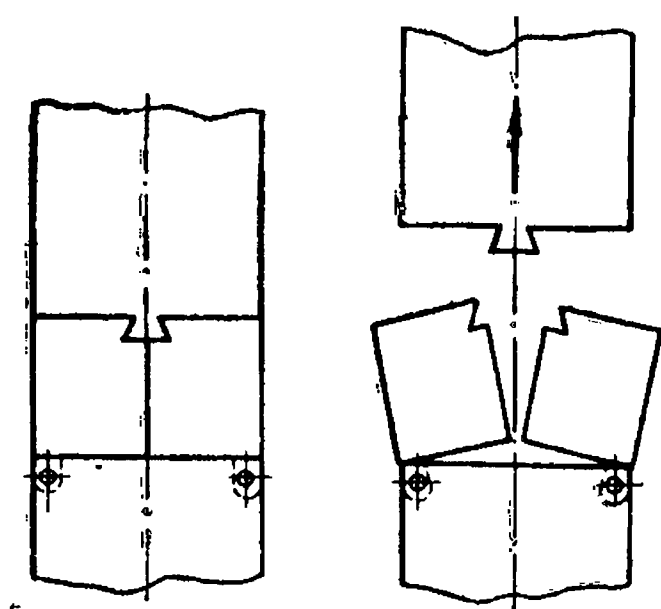


Рис. 42. Схема разъемной затравки для цилиндрических слитков

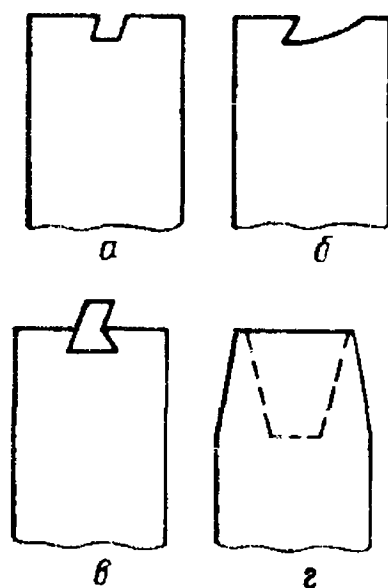


Рис. 43. Различные варианты конструкций неразъемных поддонов:

*а* — с углублением в виде ласточкина хвоста;  
*б* — с шипом и полусферическим углублением;  
*в* — с выступом; *г* — с углублением в виде усеченного конуса

удовлетворительное качество поверхности и наличие пористости в нижней части слитков полунепрерывного литья легко объясняется недостатками, присущими методу наполнительного литья.

После соединения разливаемого металла с поддоном и образования у стенки кристаллизатора корочки, способной выдержать определенные растягивающие усилия, начинается удаление слитка из кристаллизатора. При малых сечениях кристаллизаторов (до 150 мм) литейную машину включают в самом начале заполнения кристаллизатора. Для надежного соединения слитка с поддоном его верхнюю плоскость выполняют фасонной; нельзя за-

бывать о том, что отлитый слиток должен легко отделяться от поддона после окончания литья.

По конструкции поддоны могут быть разъемными и неразъемными. На рис. 42 показана схема разъемного поддона для цилиндрических слитков, снабженного захватом в виде ласточкина хвоста. Перед отделением слитка поддон раскрывается воздухом под давлением 5—6 ати путем перемещения поршня с рычажным механизмом. Важнейшим преимуществом поддона разъемной конструкции является быстрое и легкое отделение от него слитка. Однако сложность изготовления и ухода за движущимися частями механизма и частый отказ в работе из-за тяжелых условий эксплуатации (заливка расплавом и постоянный контакт с водяным паром и водой) привели к необходимости заменить разъемные поддоны более простыми и недорогими неразъемными (рис. 43, а). Однако отделение слитка от такого поддона связано со значительными трудностями — приходится прибегать к помощи мостового крана, что может привести к поломкам отдельных узлов литейной машины. Всех этих недостатков лишены конструкции поддонов, приведенные на рис. 43, б, в и г. Потери металла при удалении нижней части слитков, отлитых с применением поддона, изображенного на рис. 43, г, примерно в 2 раза ниже.

На установках непрерывного действия в кристаллизатор снизу вместо поддона вводят слиток, оставшийся от предыдущей разливки. Первая порция расплава после затвердевания на верхнем торце слитка соединяется с ним, и слиток выводится из кристаллизатора с помощью тянущих валков или роликов.

### *Стопорно-разливочная система*

Разливаемый металл подается в кристаллизатор с помощью стопорно-разливочного устройства, обеспечивающего равномерное распределение расплава по всему сечению кристаллизатора. Чрезвычайно важно также поддерживать зеркало металла в кристаллизаторе в процессе литья на определенном уровне, не допуская значительных колебаний по высоте. Резкое повышение или понижение уровня расплава нежелательно, так как может вызвать образование дефектов на поверхности слитков. Заданное положение уровня расплава регулируют либо

скоростью вытягивания слитка, либо скоростью заполнения кристаллизатора расплавом.

Стопорно-разливочное устройство должно обеспечить следующее:

1) легкое и надежное регулирование уровня расплава в кристаллизаторе;

2) минимальный путь прохождения расплава из разливочной коробки в кристаллизатор с целью меньшего его охлаждения;

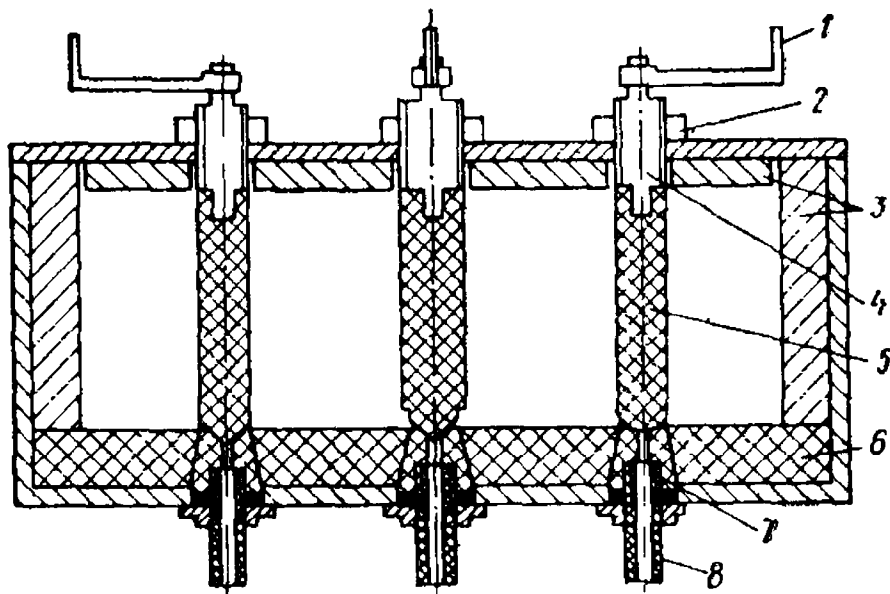


Рис. 44. Конструкции стопорных устройств:

1 — регулировочная рукоятка; 2 — гайка; 3 — футеровка;  
4 — трехходовой винт; 5 — графитовый стопор; 6 — поди-  
на разливочной коробки; 7 — графитовая втулка с кону-  
сом; 8 — графитовая трубка

3) отсутствие окисления, испарения или газопоглощения расплава на пути к кристаллизатору;

4) устойчивую работу, доступный осмотр и взаимозаменяемость деталей;

5) спокойное и равномерное распределение расплава по всему сечению кристаллизатора.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет система, в которой количество поступающего в кристаллизатор расплава регулируется с помощью стопорного устройства, состоящего из графитовой втулки с конусным углублением и графитового штока.

Применяемые в настоящее время конструкции стопорных устройств показаны на рис. 44. Графитовый шток в процессе работы установки значительную часть времени находится в расплаве, уровень которого постоянно ко-

леблется. Вследствие взаимодействия с кислородом воздуха графит окисляется, и сечение штока уменьшается. После того как шток сгорит примерно на  $\frac{1}{3}$  своего первоначального сечения, его заменяют. Для удлинения срока службы цилиндрическую часть штока делают утолщенной или обматывают шнуровым асбестом, предварительно промазанным раствором глины. Срок службы таких штоков повышается в несколько раз.

Наиболее перспективной является конструкция стопорного устройства со сферической формой наконечника штока, которая допускает некоторый перекося их осей, что является неизбежным в процессе работы разливочной коробки, имеющей температуру 300—400° С.

Таблица 17. РАЗМЕРЫ ОТВЕРСТИЙ ВО ВТУЛКАХ ПРИ ЛИТЬЕ СЛИТКОВ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ

| Металл или сплав                           | Сечение или диаметр слитка, мм | Диаметр отверстия во втулке, мм |
|--------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Медь                                       | 100×100                        | 7                               |
|                                            | 160×400                        | 10                              |
|                                            | 160×600                        | 12                              |
|                                            | 160×700                        | 13                              |
|                                            | 150                            | 8                               |
|                                            | 185                            | 9                               |
|                                            | 220                            | 10                              |
|                                            | 250                            | 11                              |
|                                            | 300                            | 12                              |
|                                            | 400                            | 13                              |
| Латунь Л68,<br>ЛМш68-0,05, Л63 и<br>ЛС59-1 | 160×600                        | 17                              |
|                                            | 160×700                        | 19                              |
|                                            | 185                            | 10                              |
|                                            | 220                            | 12                              |
|                                            | 250                            | 13                              |
|                                            | 300                            | 14                              |
|                                            | 400                            | 16                              |

Втулка с конусным углублением зафутерована в отверстие подины разливочной коробки печи или миксера и плотно прикрыта сверху графитовым штоком. Диаметры отверстий во втулках в зависимости от размеров слитка приведены в табл. 17.

В отверстие нижней части втулки ввернута графитовая трубка, по которой расплав поступает в кристаллизатор. Опыт работы показал, что не всегда целесообразно расплав в кристаллизатор вводить одной струей, направленной вертикально вниз. При литье, например, цилиндрических слитков латуни или прямоугольных слитков меди и ее сплавов применяют специальные устройства, обеспечивающие равномерное распределение расплава по всему сечению кристаллизатора. Конструкцию распре-

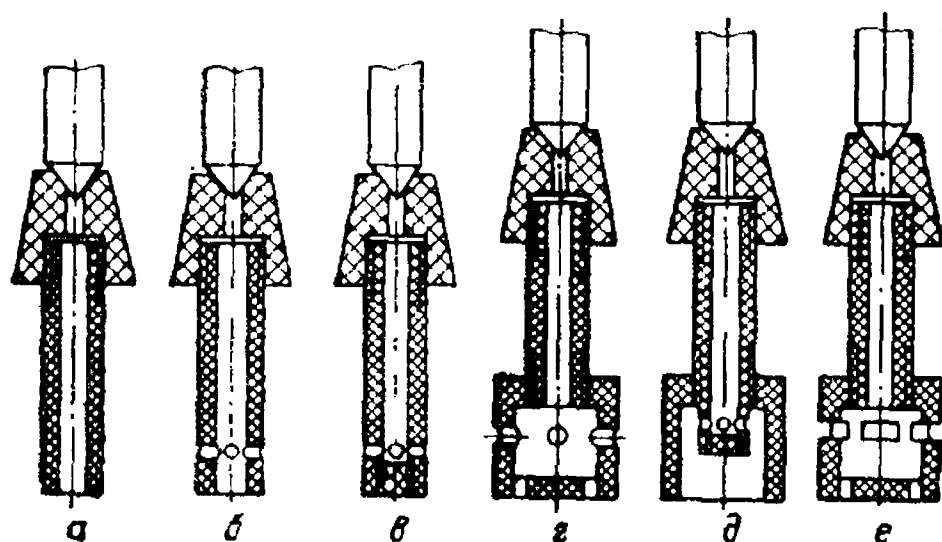


Рис. 45. Различные схемы подвода расплава в цилиндрический кристаллизатор

делительного устройства для каждого сплава и сечения слитка подбирают опытным путем.

Цилиндрические слитки меди всех размеров отливают через графитовую трубку, как показано на рис. 45, а, б, в. Литье цилиндрических слитков латуни через сквозную трубку сопровождается углублением жидкой фазы и подплавлением только что закристаллизовавшейся корочки в нижней части кристаллизатора. Оптимальной следует считать такую схему подвода, при которой динамический напор струи расплава перед выходом из литниковой системы гасится при ударе о заглушку трубки или дно колпачка, и металл спокойно, без завихрений, переваливается через порог отверстий или направляется в пространство под колпаком, где еще раз меняет свое направление, прежде чем попасть в лунку (рис. 45, г, д, е).

При литье прямоугольных слитков расплав в кристаллизатор подводят через графитовые распределительные устройства (тройники), конструкция которых позво-

ляет равномерно распределить его по всему сечению кристаллизатора. Схемы распределительных устройств для литья слитков некоторых сплавов и сечений показаны на рис. 46.

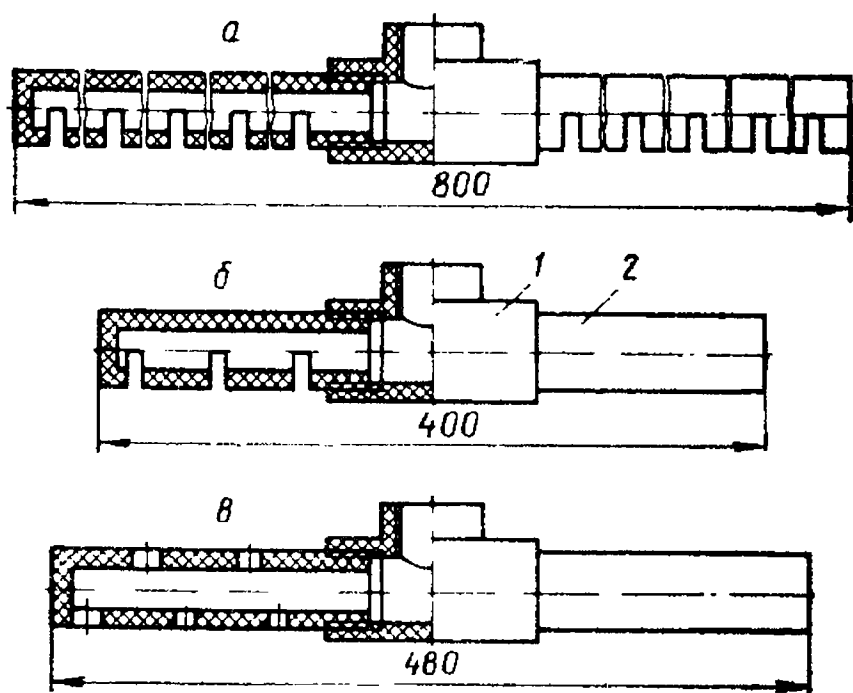


Рис. 46. Распределительные устройства для отливки прямоугольных медных слитков сечением  $240 \times 1200$  мм (а) и  $160 \times 600$  мм (б) и латунных сечением  $160 \times 675$  мм (в):

1 — тройник; 2 — патрубок

## Газогенераторы

Высокая температура плавления меди и ее сплавов и легкая окисляемость составляющих сплав компонентов создают ряд дополнительных трудностей при непрерывном литье. Вследствие непрочного строения окисной пленки у медноцинковых сплавов происходит интенсивное испарение цинка с образованием его окиси над зеркалом расплава, что затрудняет наблюдение за уровнем в кристаллизаторе. Кроме того, окислы цинка оседают на стенках кристаллизатора и, увлекаясь затвердевающим слитком, ухудшают качество его поверхности. Практика показала, что литье, например, медноцинковых сплавов возможно при закрытом подводе расплава, когда весь путь жидкого металла, начиная от разливочной коробки миксера и кончая кристаллизатором, изолирован от соприкосновения с окружающей атмосферой защитным га-

зом. В качестве защитного газа применяют генераторный газ или азот, содержащий некоторое количество окиси углерода, углекислого газа и водорода.

Для получения защитного газа технический азот или атмосферный воздух пропускают через раскаленный древесный уголь, находящийся в газогенераторе. Газогенератор состоит из реторты, отливаемой из сплава силал,

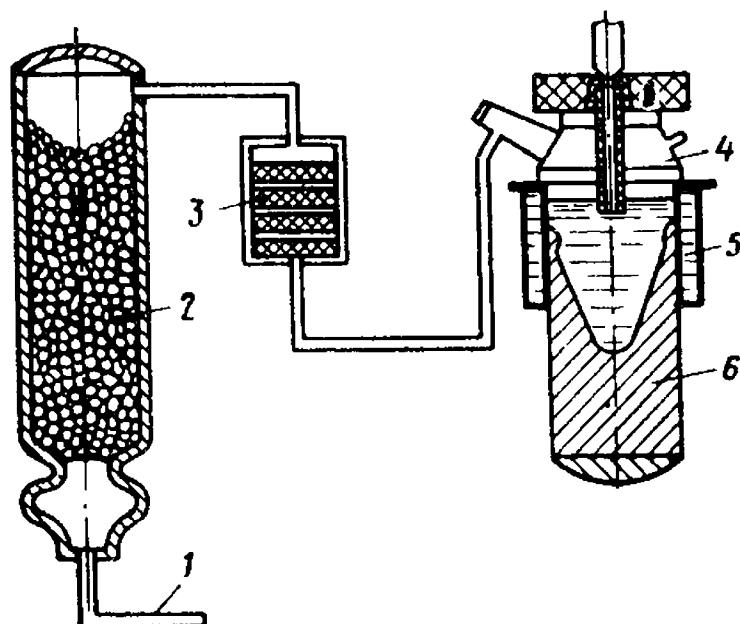


Рис. 47. Схема газогенераторной системы в установках непрерывного литья:

1 — трубопровод для подвода воздуха или технического азота; 2 — газогенератор; 3 — фильтр; 4 — разливочный колпак; 5 — кристаллизатор; 6 — слиток

которая установлена вертикально в футерованный корпус с нагревательными элементами. В результате взаимодействия кислорода, находящегося в техническом азоте или воздухе, с углеродом образуется углекислый газ и окись углерода. Полученная смесь азота с окислами углерода очищается в циклоне и фильтрах и по газопроводу подается под разливочный колпак печи или миксера. Схема компоновки газогенераторной системы показана на рис. 47. Количество подаваемого газа литейщик регулирует непосредственно с рабочего места вентилем, установленным на трубопроводе, подводящем азот или воздух к газогенератору.

Для получения генераторного газа применяют прокаленный древесный уголь лиственных пород, обладающий повышенной механической прочностью по сравнению с углем хвойных пород и не содержащий летучих смоли-

стых веществ. Присутствие смолистых веществ в угле хвойных пород приводит к зарастанию реторты и газопроводов и к нарушению процесса газификации. Оптимальная величина кусков угля — 20—60 мм. Перезарядка газогенератора производится через каждые 6 ч.

Процесс газификации должен идти при повышенной температуре. Ниже приведено соотношение окиси углерода и углекислого газа в газовой среде в зависимости от температуры в рабочей зоне газогенератора:

|                                             |                |                |                 |                 |                 |                |                    |
|---------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|
| Температура, °С                             | 400            | 500            | 600             | 700             | 800             | 900            | 1000               |
| Соотношение $\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}$ | $\frac{1}{99}$ | $\frac{5}{95}$ | $\frac{23}{77}$ | $\frac{58}{42}$ | $\frac{90}{10}$ | $\frac{97}{3}$ | $\frac{99,3}{0,7}$ |

Анализ состава газа проводят не реже одного раза в смену. Он должен соответствовать кривой, приведенной на рис. 48.

Количество подаваемого в кристаллизатор газа долж-

но быть по возможности минимальным, позволяющим создать под колпаком избыточное давление.

Основные причины получения некачественного газа следующие:

- 1) непрокаленный древесный уголь;
- 2) наличие в нем угольной пыли;
- 3) разгерметизация газогенератора.

В случае применения некачественного газа в кристаллизаторе начинает гореть и коксоваться масло, вследствие чего увеличивается трение между слитком и кристаллизатором, что приводит к деформированию поверхности слитков. Качественный газ с минимальным содержанием кислорода и водорода создает условия, практически исключающие окисление металла над открытой поверхностью расплава в кристаллизаторе, и обеспечивает нормальное протекание процесса литья.

## *Литье слитков меди и медных сплавов на установках полунепрерывного и непрерывного действия*

Перед началом литья открывают вентиль подачи воды и проверяют равномерность истечения ее из отверстий кристаллизаторов, тщательно протирают, осматривают и просушивают сжатым воздухом рабочую поверхность кристаллизаторов и затравок. С помощью уровня или отвеса проверяют вертикальность установки стенок кристаллизатора. Колонка с поддоном должна быть закреплена на движущейся платформе литейной машины так, чтобы ось графитовой трубки, ввернутой во втулку разливочной коробки, проходила через центр поддона, т. е. чтобы струя металла из трубки поступала строго в центр кристаллизатора. Поддон в кристаллизатор вводят осторожно, постоянно наблюдая за тем, чтобы не повредить его стенок. Щели между поддоном и кристаллизатором закладывают сухим асбестовым шнуром. Во избежание приваривания слитка на поверхность поддона кладут пластинки катодной меди. Для прогрева разливочной коробки и стопорного устройства миксер 2—3 раза наклоняют в положение литья и выдерживают так в течение 1,0—1,5 мин. Прогрев стопорного устройства и, следовательно, готовность миксера к работе определяют по цвету конуса или сферы графитового штока, просматриваемого через отверстие разливочной трубки. Конусная часть штока достаточно прогретой разливочной коробки должна иметь светло-красный цвет.

Если литье проводится с применением защитной атмосферы, то под нижний фланец разливочного колпака подкладывают асбестовый шнур и подают технический азот или сжатый воздух в газогенератор. После того как в кристаллизатор подана вода, резким движением открывают графитовый стопор. Внимание литейщика в это время должно быть сосредоточено на наблюдении за уровнем расплава в кристаллизаторе. Если литье производится без защитной атмосферы, то поверхность большинства расплавов в кристаллизаторе покрывают слоем прокаленной ламповой сажи толщиной 10—15 мм. При достижении заданного уровня расплава в кристаллизаторе включают литейную машину или тянущую клеть. Начальная скорость вытягивания слитка примерно в

2 раза ниже предусмотренной технологией (табл. 18). Скорость литья плавно повышают до оптимальной только после выхода слитка из кристаллизатора. Давление воды, поступающей в кристаллизатор, в процессе литья поддерживают в пределах 0,8—1,5 *ати*. Ориентировочные режимы литья слитков меди и некоторых ее сплавов приведены в табл. 18.

Давление воды в подводящем трубопроводе должно быть таким, чтобы обеспечивалось надежное охлаждение слитка. Понижение давления в сети и недостаточное поступление воды на слиток могут привести к прорыву расплава через тонкую корку поверхностного слоя слитка. Защитный газ в процессе литья нужно подавать непрерывно и в достаточном количестве так, чтобы сохранилась хорошая видимость поверхности расплава в кристаллизаторе. Расход газа при литье колеблется от 20 до 50  $\text{м}^3/\text{ч}$  на один кристаллизатор. Во избежание образования грубых неслитин на поверхности слитков необходимо следить, чтобы уровень расплава находился на расстоянии 30—40 *мм* от верхней плоскости кристаллизатора.

Выбор оптимальной температуры расплава в миксере определяется в первую очередь природой сплава и площадью сечения слитка. Чем меньше сечение слитка, тем относительно выше температура литья. Верхний предел температуры ограничивается опасностью перегрева футеровки печи или миксера и склонностью расплава к окислению и испарению. При низких температурах возможно замерзание расплава в стопорно-разливочной системе.

Трение между слитком и кристаллизатором затрудняет процесс литья. Тонкая корочка металла, образующаяся при соприкосновении расплава с водохлаждаемыми стенками кристаллизатора, способна выдержать лишь незначительные растягивающие напряжения. В отдельных местах корочка может разорваться, что явится причиной образования дефектов на поверхности слитков. Чем меньше трение между кристаллизатором и отливаемым слитком, тем меньше вероятность появления поверхностных дефектов. Силу трения можно значительно уменьшить, если на рабочую поверхность кристаллизатора в процессе литья подавать смазку. В качестве смазки трущихся поверхностей слитка и кристаллизато-

**Т а б л и ц а 18. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЛИТЬЯ  
СЛИТКОВ МЕДИ И НЕКОТОРЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ**

| Металл или сплав                      | Размеры кристаллизатора, мм |        | Температура литья, °С | Скорость литья, м/ч |
|---------------------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------|---------------------|
|                                       | сечение (диаметр)           | высота |                       |                     |
| Медь марки М06                        | 100×100                     | 900    | 1170—1190             | 36,0                |
| Медь марок М1, М1р, М2, М2р, М3 и М3р | 150                         | 275    | 1170—1190             | 12,0—13,0           |
|                                       | 185                         | 275    | 1170—1190             | 9,5—10,5            |
|                                       | 220                         | 275    | 1165—1185             | 7,5—8,5             |
|                                       | 250                         | 275    | 1165—1185             | 6,5—7,5             |
|                                       | 300                         | 275    | 1160—1180             | 5,5—6,5             |
|                                       | 400                         | 275    | 1160—1180             | 4,5—5,5             |
|                                       | 160×400                     | 290    | 1160—1180             | 8,0—10,0            |
|                                       | 160×600                     | 290    | 1160—1180             | 5,5—6,5             |
|                                       | 160×700                     | 290    | 1160—1180             | 5,0—6,0             |
|                                       |                             |        |                       |                     |
| Латунь Л90                            | 160×600                     | 550    | 1170—1190             | 11,0—12,0           |
|                                       | 160×675                     | 550    | 1170—1190             | 10,0—11,0           |
| Латунь ЛМш68                          | 185                         | 275    | 1060—1080             | 12,0—13,0           |
|                                       | 220                         | 275    | 1060—1080             | 9,0—10,0            |
| Латунь Л68                            | 160×600                     | 550    | 1060—1080             | 11,0—12,0           |
|                                       | 160×700                     | 550    | 1060—1080             | 10,0—11,0           |
| Латунь Л63                            | 185                         | 275    | 1040—1060             | 13,0—14,0           |
|                                       | 250                         | 275    | 1040—1060             | 8,0—10,0            |
|                                       | 160×600                     | 550    | 1040—1060             | 11,0—13,0           |
|                                       | 160×700                     | 550    | 1040—1060             | 10,0—11,0           |
| Латунь ЛС59-1                         | 185                         | 275    | 1000—1030             | 8,0—9,0             |
|                                       | 160×675                     | 550    | 1000—1030             | 8,0—9,0             |
| Бронза Бр.Б2                          | 120                         | 120    | 1090—1120             | 6,5—7,5             |
|                                       | 70×260                      | 200    | 1080—1100             | 6,0—7,5             |
| Бронза Бр.АМц9-2                      | 165                         | 260    | 1160—1180             | 5,0—6,0             |
|                                       | 245                         | 260    | 1160—1180             | 4,0—5,0             |
|                                       | 300                         | 260    | 1160—1180             | 3,0—4,0             |
| Бронза Бр.АЖ9-4<br>и Бр.АЖМц10-3-1,5  | 145                         | 260    | 1160—1200             | 5,0—5,4             |
|                                       | 175                         | 260    | 1160—1200             | 4,0—5,0             |
|                                       | 200                         | 260    | 1140—1180             | 4,0—4,5             |
|                                       | 250                         | 260    | 1140—1180             | 3,3—3,7             |
|                                       | 300                         | 260    | 1120—1160             | 3,0—3,3             |
|                                       | 400                         | 260    | 1120—1160             | 2,4—2,6             |
| Бронза Бр.КМц3-1                      | 165                         | 260    | 1240—1280             | 3,0—3,5             |
|                                       | 245                         | 400    | 1240—1280             | 2,0—2,5             |

| Металл или сплав       | Размеры кристаллизатора, мм |        | Температура литья, °С | Скорость литья, м/ч |
|------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------|---------------------|
|                        | сечение (диаметр)           | высота |                       |                     |
| Мельхиор<br>МНЖ5-1     | 185                         | 275    | 1220—1240             | 4,5—5,5             |
|                        | 220                         | 275    | 1220—1240             | 4,0—4,5             |
| Мельхиор МН30          | 125                         | 250    | 1330—1350             | 6,0—7,0             |
|                        | 175                         | 250    | 1330—1350             | 5,0—6,0             |
|                        | 250                         | 250    | 1330—1350             | 4,0—5,0             |
| Нейзильбер<br>МНЦ15-20 | 130—300                     | 150    | 1230—1250             | 10,0—12,0           |

ра обычно применяют трансформаторное масло. Расход смазки на 1 т слитков — 0,2—0,6 кг. Необходимо помнить, что чрезмерное употребление смазки приводит к образованию между кристаллизатором и слитком паров масла, которые давят на корку слитка и деформируют ее. Более качественная поверхность слитков достигается при автоматической подаче смазки.

Исключительно большое влияние на качество слитков оказывает соблюдение установленной скорости литья. Основным фактором, определяющим верхний предел скорости при непрерывном литье слитков в кристаллизатор с непосредственным охлаждением водой, является образование центральных трещин, которые при последующей обработке давлением приводят к браку деформированных полуфабрикатов. При заниженной скорости литья поверхность слитков получается неровной, с глубокими пережимами и неслитинами, расположенными по всему периметру слитка.

При достижении заданной длины слитка подачу металла в кристаллизатор прекращают, скорость литья снижают примерно в два раза, а разливочную коробку путем поворота печи или миксера поднимают вверх. После полного затвердевания жидкого металла в лунке и выхода литниковой части слитка из кристаллизатора его рабочие стенки промывают водой, а затем воду перекрывают. Разливочную тележку с кристаллизатором отводят в сторону, и отлитый слиток удаляют краном.

Выходящий из кристаллизатора слиток на машинах непрерывного действия пропускают через кольцевые резиновые водосборники, которые улавливают воду, поступающую из зоны вторичного охлаждения, и отводят ее в оборотную систему. Затем слиток направляют в тянущие ролики или валки, а после них — на пилу. Дисковая пила перемещается по направляющим с такой же скоростью, что и слиток. После отрезки очередной заготовки пила возвращается в исходное положение.

### *Кристаллизация металла при непрерывном литье*

Получение слитков из расплава в обычных водоохлаждаемых изложницах сопровождается перемещением границы раздела жидкой и твердой фаз в течение всего периода затвердевания (рис. 49), вследствие чего возникают неодинаковые тепловые условия формирования структуры, ведущие к химической и физической неоднородности свойств металла по всему объему слитка.

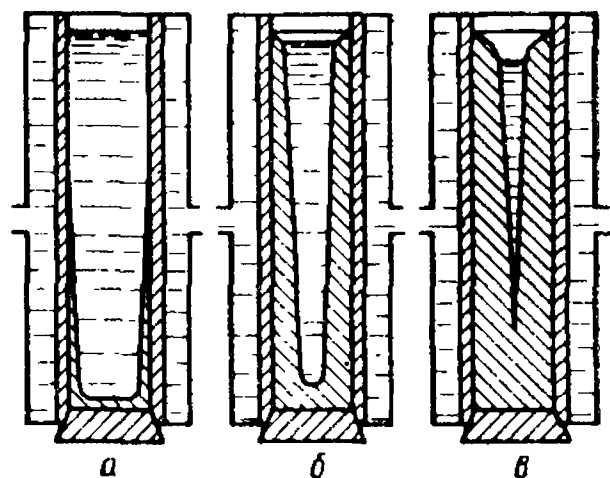


Рис. 49. Схема перемещения границы твердой и жидкой фаз при формировании слитка в изложнице:

*а* — начало затвердевания; *б* — промежуточный момент; *в* — конец затвердевания

При непрерывном литье, за исключением начального момента, наблюдается неподвижное положение границы раздела жидкой и твердой фаз в процессе литья всего слитка (рис. 50), вследствие чего создаются одинаковые тепловые условия формирования его структуры, обеспечивающие большую стабильность свойств.

Если при наполнительном литье рост кристаллов происходит главным образом от периферии к центру с образованием усадочных пор при затвердевании последних порций жидкого металла в центральной части слитка, то правильно подобранный конус поверхности кристаллизации при непрерывном литье исключает возможность образования в слитке дефектов усадочного

происхождения. Гидростатический напор столба жидкого металла в лунке направлен на увеличение плотности затвердевающего слитка. При непрерывном литье наиболее полно соблюдается принцип последовательной кристаллизации, обеспечивающий удаление из расплава газов и неметаллических включений. В процессе литья верхние слои жидкого металла непрерывно питают нижние затвердевающие слои, благодаря чему компенсируется усадка расплава при переходе из жидкого состоя-

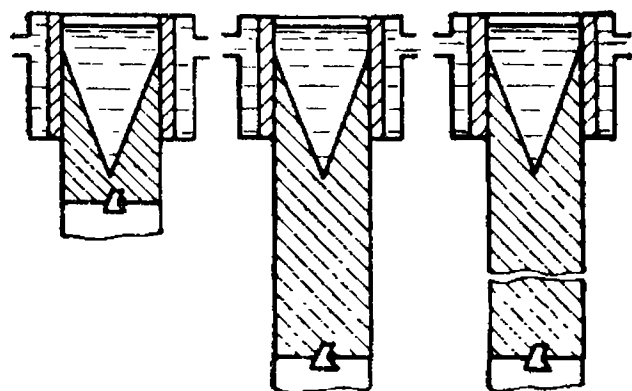


Рис. 50. Схема формирования слитка при непрерывном литье

ния в твердое и отпадает необходимость в доливке слитков. Полученные методом непрерывного литья слитки по однородности и механическим свойствам превосходят слитки, отлитые в изложницы.

Одной из характерных особенностей слитков, отливаемых непрерывным методом, является превышение

фактической линейной или объемной усадки над ее теоретическим значением. Это происходит из-за разных скоростей охлаждения наружных и внутренних зон слитка, что приводит к большему перепаду температуры по его сечению, в результате чего внутренние слои слитка оказываются растянутыми, а наружные сжатыми. Возникновение остаточных термических напряжений и различной усадки металла вдоль слитка можно видеть на рис. 51.

Выделим мысленно два образца одинаковой длины, один из которых расположен близко к поверхности слитка, а второй — в центре. Температура наружного значительно ниже температуры внутреннего образца. Величина усадки каждого образца в процессе охлаждения пропорциональна понижению его температуры:

$$\Delta l_1 = \alpha (t_1 - 20) l_0, \quad (12)$$

$$\Delta l_2 = \alpha (t_2 - 20) l_0, \quad (13)$$

где  $\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$  — усадки образцов в процессе охлаждения с температуры  $t_1$  и  $t_2$  до температуры  $20^\circ \text{C}$ , мм;

$\alpha$  — коэффициент линейного расширения, град<sup>-1</sup>;

$t_1$  и  $t_2$  — температуры образцов, °С;

$l_0$  — начальная длина образцов при температуре  $t_1$  и  $t_2$ , мм.

Так как температура центрального образца при начальной длине  $l_0$  значительно выше температуры поверхностного образца, то и усадка его больше. Как только наружный образец достигнет комнатной температуры, произойдет некоторое торможение усадки центрального образца. Если бы образцы не были связаны, то длина их в конце охлаждения была бы различной. Поскольку рассматриваемые образцы в температурной области упругих деформаций жестко связаны между собой, то усадка внутреннего образца реализоваться не может, поэтому он окажется растянутым, а поверхностный — сжатым, т. е. образцы примут промежуточную длину. Таким образом, в слитке возникнут внутренние термические напряжения, направленные вдоль оси слитка. Если такой слиток резать, например, на дисковой пиле, то центральные растянутые слои будут стремиться сжаться и зажмут диск.

Возникновение напряжений, сопровождающихся повышенной усадкой металла в поперечном сечении слитка, видно на рис. 52. После выхода слитка из кристаллизатора (сечение АА) его поверхность интенсивно охлаждается водой. В процессе затвердевания расплава происходит свободная усадка твердой корки, так как внутренние слои жидкого металла не оказывают сопротивления сжатию. При дальнейшем охлаждении (сечение ВВ) центральные слои слитка переходят из жидкого состояния в твердое. К этому времени поверхностные слои слитка охлаждаются до некоторой температуры и пре-

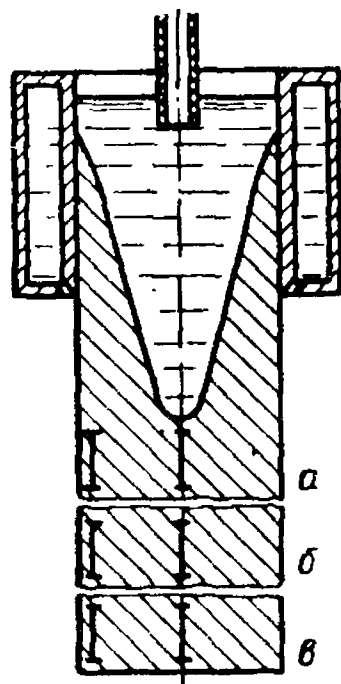


Рис. 51. Схема возникновения термических напряжений в продольной плоскости слитка:

а — длина образцов в начальный период затвердевания; б — конечная длина образцов, если бы они не были связаны; в — фактическая длина образцов

терпят соответствующую этой температуре усадку. Термические напряжения в слитке в этот момент невелики, так как внутренние слои затвердевающего металла находятся в пластическом состоянии и не могут оказать существенного сопротивления сжатию наружных слоев. В сечении *ВВ* внутренние слои должны претерпеть большую усадку по сравнению с поверхностными слоями на

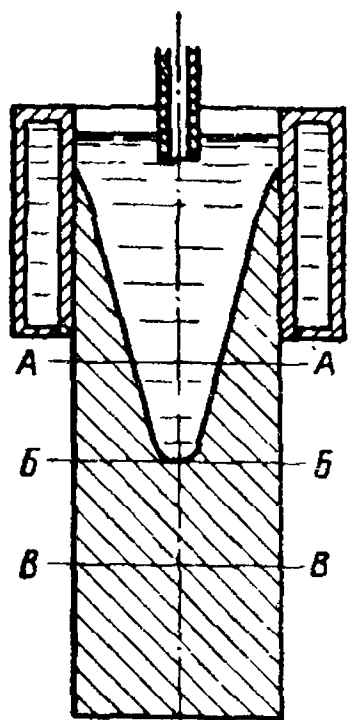


Рис. 52. Схема возникновения термических напряжений по сечению слитка

величину, которую уже претерпели поверхностные слои. Однако усадка внутренних слоев будет тормозиться поверхностными слоями. Полное охлаждение слитка приведет к тому, что внутренние слои, не имея возможности свободно сжиматься, окажутся растянутыми. За счет притяжения к центру слитка поверхностных зон величина фактической усадки металла по сечению слитка при непрерывном литье имеет обычно большее значение по сравнению с теоретической. Чем больше разница температур на уровне дна лунки между поверхностью слитка и его центральными зонами, тем большее значение будут иметь термические напряжения, которые и приводят к большей усадке.

При литье одного и того же металла или сплава разница температур будет больше у слитка, отливаемого с большей скоростью или имеющего большее сечение. Поскольку внутренние слои обладают более высокой температурой по сравнению с наружными, они могут деформироваться с образованием дефектов в центре слитка. При непрерывном литье должны быть приняты все меры, способствующие ослаблению внутренних термических напряжений. К числу таких мер относят:

- 1) выбор оптимальной скорости литья;
- 2) применение специальных устройств для равномерного распределения расплава по всему сечению кристаллизатора;
- 3) применение профилированных кристаллизаторов при литье прямоугольных слитков.

## **ДЕФЕКТЫ СЛИТКОВ, ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МЕРЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ**

В период освоения нового сплава, нового оборудования или нового метода литья проводят специальные исследования с целью выбора и отработки всех технологических параметров, обеспечивающих получение качественных слитков. После освоения новой технологии составляют производственно-технологические инструкции, в которых подробно описан новый процесс производства слитков. Тем не менее в цехах заготовительного литья еще имеются случаи получения слитков, по качеству не соответствующих требованиям стандартов или технических условий. Анализ различного рода дефектов в слитках показал, что они образуются вследствие нарушения основных положений производственно-технологических инструкций.

Появление любого дефекта при литье слитков объясняется вполне определенными причинами, поэтому борьба с дефектами заключается в выяснении и устранении этих причин. К сожалению, в ряде случаев нет единого мнения о причинах происхождения дефектов в слитках, так как очень часто одни и те же дефекты образуются по различным причинам, точно так же, как и различные дефекты могут быть вызваны одной и той же причиной.

Все дефекты в слитках можно разделить на 4 группы:

- 1) брак по химическому составу;
- 2) дефекты поверхности;
- 3) внутренние дефекты;
- 4) несоответствие размеров слитков требованиям стандартов или технических условий.

Кроме того, в зависимости от размеров дефектов, их характера и влияния на качество полуфабрикатов они делятся на допустимые, исправимые и неисправимые.

Основные виды дефектов и наиболее характерные причины их появления приведены в табл. 19.

## **ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ УСТАНОВОК НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ**

Производительность установок определяется в первую очередь мощностью плавильных печей. Более мощные печи, работающие на всех индукционных единицах,

Т а б л и ц а 19. ДЕФЕКТЫ И ПРИЧИНЫ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ

| Дефект                                     | Характерные причины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Брак по химическому составу                | Ошибка при расчете или составлении навески; загрузка в печь не всех шихтовых материалов; недостаточное перемешивание расплава перед отбором проб и разливкой; шихтовые материалы не соответствуют требованиям ГОСТа; попадание в печь или миксер посторонних предметов с шихтой, флюсами и инструментом; недостаточное раскисление расплава; ошибки при отборе проб и анализе шихтовых материалов и слитков               |
| Дефекты поверхности:<br>продольные трещины | Неравномерность охлаждения слитка по периметру; засорение части отверстий для выхода воды из кристаллизатора; попадание влаги в смазку (наполнительное литье)                                                                                                                                                                                                                                                             |
| поперечные трещины и подрывы               | Перекус кристаллизатора; зарастание его стенок окислами; отсутствие или недостаток смазки в кристаллизаторе                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| неслитинны (кольцеватость)                 | Перерывы в подаче расплава в кристаллизатор; колебание в нем уровня расплава; литье недостаточно прогретого металла                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| наплывы и прорывы расплава                 | Износ или перекус кристаллизатора; завышенная скорость литья; повышенный расход воды; смещение кристаллизатора относительно разливочной трубки или распределительного тройника; неправильная установка гребенки в кристаллизаторе; засорение отверстий для истечения воды из кристаллизатора; перегрев расплава                                                                                                           |
| засор и шлаковые включения                 | Отсутствие смазки на стенках изложницы или плохое ее качество; занижена или завышена скорость заполнения изложницы; перегрев расплава; засорение или износ отверстий в литниковой системе; неудовлетворительное состояние рабочей поверхности кристаллизатора; некачественный газ; засорение отверстий для выхода газа из-под колпака кристаллизатора; снижение уровня расплава в кристаллизаторе или разливочной коробке |

| Дефект                                                                                                                                                                   | Характерные причины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>кривизна слитка</p> <p>Внутренние дефекты:<br/>внутренние трещины</p> <p>газовые раковины и<br/>поры</p> <p>осевая пористость</p> <p>подкорковая порис-<br/>тость</p> | <p>Перекос или смещение кристаллизатора; засорение части отверстий для выхода воды из кристаллизатора</p> <p>Завышенная скорость литья; повышенная температура расплава; неравномерное охлаждение слитка по высоте; повышенный расход воды;</p> <p>Литье нераскисленной меди; использование в шихту некачественных катодов; применение сырого или недостаточно прокаленного древесного угля; недостаточное количество угля в печи или миксере</p> <p>Завышенная скорость литья; перегрев расплава</p> <p>Смещение кристаллизатора относительно тройника (рис. 53); установка тройника по диагонали крис-</p> |

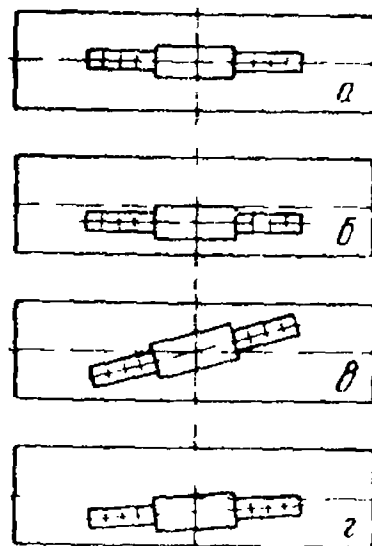
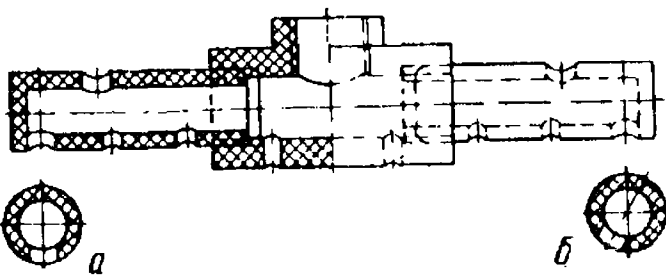


Рис. 53. Варианты возможных положений кристаллизатора относительно распределительного устройства при литье прямоугольных латунных слитков:

*а* — правильное положение тройника;  
*б* — кристаллизатор смещен относительно тройника;  
*в* — тройник развернут по диагонали кристаллизатора;  
*г* — одновременное смещение кристаллизатора и тройника

| Дефект                                                                                                                 | Характерные причины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>усадочная раковина<br/>шлаковые раковины</p> <p>Несоответствие размеров слитков требованиям технических условий</p> | <p>таллизатора; смещение кристаллизатора с одновременным разворотом тройника параллельно диагонали; расположение отверстий в тройнике под углом к одной из широких сторон кристаллизатора (рис. 54)</p>  <p>Рис. 54. Правильное (а) и неправильное (б) расположение отверстий в разборном графитовом тройнике для отливки прямоугольных латунных слитков</p> <p>Поздняя доливка расплава на усадку<br/>Неправильная установка литниковой системы; застывание разливочной коробки миксера шлаком; небрежная заливка расплава в изложницы<br/>Износ или усадка рабочих стенок кристаллизатора или изложницы</p> |

обеспечивают, естественно, и более высокую производительность. Печи большой емкости наиболее производительны при литье валовых (многотоннажных) сплавов.

В зависимости от состава сплава производительность печей может заметно колебаться. Так, например, для плавления и перегрева до температуры литья на печах одинаковой мощности требуется для меди на 25—30% больше времени, чем для латуни, содержащей 30—40% Zn (при одинаковом их количестве). Для плавления и

перегрева никеля и медноникелевых сплавов требуется еще больше времени.

Состояние и размеры отдельных видов шихтовых материалов также влияют на производительность плавильных печей. Крупные куски шихты, дефектные слитки, брикеты стружки или низкокачественный лом плавятся значительно медленнее, чем первичные металлы или отходы собственного производства. Для расплавления стружки и корольков металла требуется больше времени, чем для компактной шихты.

Производительность установок определяется также их компоновкой. Если в состав установки входит одна плавильная печь и литейная машина, то производительность такой установки составляет всего несколько тонн в смену, так как плавильная печь, являющаяся одновременно и разливочным агрегатом, около 30% времени занята под разливкой расплава. Установки полунепрерывного литья с миксером позволяют заметно повысить производительность за счет непрерывного плавления в печах и периодической разливки из миксера. На установках непрерывного действия плавление и разливка металла производятся непрерывно. Поэтому такие установки оборудуют наиболее мощными печами, обеспечивающими максимальную производительность, и литейными машинами, позволяющими вести одновременную разливку металла в несколько ручьев. Для повышения производительности установок непрерывного и полунепрерывного действия желательно, чтобы разливка металла производилась с возможно максимальной скоростью. Кроме того, с повышением скорости литья улучшается качество поверхности слитков.

Уровень механизации процесса производства слитков так же, как и квалификация рабочих, обслуживающих установки, в значительной степени определяют их производительность.

## **ВЫХОД ГОДНОГО**

Выход годных слитков от шихты является основным показателем, характеризующим состояние технологии в литейном цехе и степень использования цветных металлов. Основная цель при производстве слитков — получить максимальное количество металла, годного для по-

следующей обработки давлением. Поскольку в процессе плавления метал частично угорает, переходит в шлак, а при фрезеровании и резке слитков образуются стружка и геометрические отходы в виде литниковых и донных частей, то масса полученных годных заготовок слитков обычно бывает на 5—10% ниже загруженной в плавильную печь шихты. В табл. 20 показано примерное рас-

Т а б л и ц а 20 БАЛАНС МЕТАЛЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
СЛИТКОВ СПЛАВА ЛМш68-0,05

| Статьи прихода             | %   | кг   | Статьи расхода    | %    | кг     |
|----------------------------|-----|------|-------------------|------|--------|
| Шихтовые материалы . . . . | 100 | 1500 | Угар . . . . .    | 0,4  | 6,0    |
|                            |     |      | Шлак . . . . .    | 0,6  | 9,0    |
|                            |     |      | Стружка . . . . . | 1,8  | 27,0   |
|                            |     |      | Отходы . . . . .  | 4,2  | 63,0   |
|                            |     |      | Годный металл .   | 93,0 | 1395,0 |
| Всего . .                  | 100 | 1500 | Всего . .         | 100  | 1500   |

пределение потерь металла в процессе производства заготовок цилиндрических слитков сплава ЛМш68-0,05 на установках полунепрерывного литья.

На выход годного влияют:

- 1) тип и мощность плавильной печи;
- 2) метод литья;
- 3) длина отливаемых слитков;
- 4) соблюдение технологической дисциплины в цехе;
- 5) качество шихтовых материалов;
- 6) качество отливаемых слитков.

Наибольшее влияние на выход годного оказывает метод литья. При литье, например, наполнительным методом выход годного обычно составляет около 90%, на установках полунепрерывного литья 94% и на установках непрерывного литья 97%. Таким образом, замена метода наполнительного литья непрерывным позволяет не только улучшить качество слитков, но и значительно повысить выход годного.

## Глава VI

### Контроль процесса литья и качества слитков

#### КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИСХОДНЫХ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Чтобы изделия из цветных металлов и сплавов обладали требуемыми свойствами, необходимо точно контролировать их химический состав. Свойства изделий могут значительно изменяться, если содержание компонентов или примесей в них выйдет за установленные пределы. Так, при содержании даже десятых или сотых долей процента алюминия в некоторых медноцинковых сплавах в слиток могут попасть окислы алюминия, резко снижающие механические свойства изделий. Поэтому как первичные, так и вторичные шихтовые материалы перед подачей в плавку подвергают обязательной контрольной проверке независимо от того, откуда они поступили.

#### КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЛИТКОВ

Для контроля процесса производства слитков применяют, как правило, следующие приборы: для поддержания в заданных пределах температуры расплавленного металла в печи или миксере — термоэлектрические пирометры, для измерения давления и расхода воды — манометры и расходомеры, для определения скорости литья — тахометры и для измерения длины отливаемых слитков — синхронную сельсинную связь. Краткое описание этих приборов и устройств приведено ниже.

##### *Контроль температуры*

Автоматический контроль температуры в плавильных печах и миксерах в первую очередь необходим для улучшения качества слитков, повышения стойкости огнеупорных футеровочных материалов и стабильности всего технологического процесса. Кроме того, при литье через миксер, имеющий сложное разливочное устройство, необходимо соблюдать заданный температурный режим в узком интервале температуры. Нарушение температур-

ного режима приводит или к замораживанию расплава в разливочной коробке, или к преждевременному выходу из строя футеровки подового камня миксера.

Для автоматического контроля температуры служат термоэлектрические пирометры, состоящие из термопары и измерительного прибора. Термопара представляет собой теплочувствительный элемент в виде двух спаянных между собой проволочек, изготовленных из разнородного материала. Действие термопары основано на свойстве двух материалов, спаянных с одного конца, получать при нагреве термоэлектродвижущую силу, величина которой зависит от природы материалов и разности температур между спаем и холодными концами термопары. Возникающая в спаяе термоэлектродвижущая сила имеет очень малую величину и измеряется обычно в тысячных долях вольта.

Для изготовления термоэлектродов служат материалы, обладающие хорошей электропроводностью, постоянством термоэлектрических свойств при изменении температуры и устойчивостью против окисления и действия высокой температуры. Ниже приведены предельные температуры измерений для термопар, изготовленных из различных материалов:

|                        |      |
|------------------------|------|
| Платина — платинородий | 1600 |
| Хромель — алюмель      | 1100 |
| Железо — копель        | 800  |
| Железо — константан    | 800  |

Для измерения температуры в пределах 1600—2000° С применяют молибден-вольфрамовые, вольфрам-графитовые, карборунд-графитовые и силит-вольфрамовые термопары.

Контроль температуры при производстве слитков из меди и ее сплавов осуществляется главным образом с помощью платина-платинородиевых и хромель-алюмелевых термопар, которые могут быть как стационарными, так и переносными. Горячий спай термопары в процессе работы предохраняется от воздействия расплавленного металла и его паров защитным чехлом. Как правило, защитный чехол стационарной термопары делают комбинированным. В графитовый чехол (рис. 55), зафутерованный в кладку печи или миксера, вставлен чехол из карбида кремния, а в карбидокремниевый чехол помещена заваренная снизу кварцевая трубка диаметром 7—

8 мм, служащая для защиты от науглероживания электродов термопары. Внутри кварцевой трубки вмонтирована термопара, один электрод которой изолирован от другого фарфоровыми бусами.

При измерении температуры импульс от термопары по компенсационным экранированным проводам поступает в электроизмерительный прибор, имеющий шкалу, градуированную в милливольтх или градусах темпера-

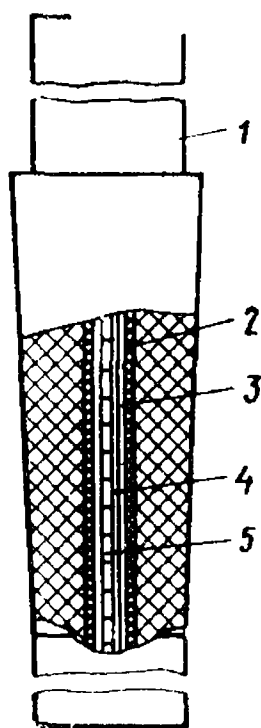


Рис. 55. Общий вид термопары:

1 — графитовый чехол; 2 — чехол из самосвязанного карбида кремния; 3 — кварцевый чехол; 4 — электрод термопары; 5 — фарфоровые бусы

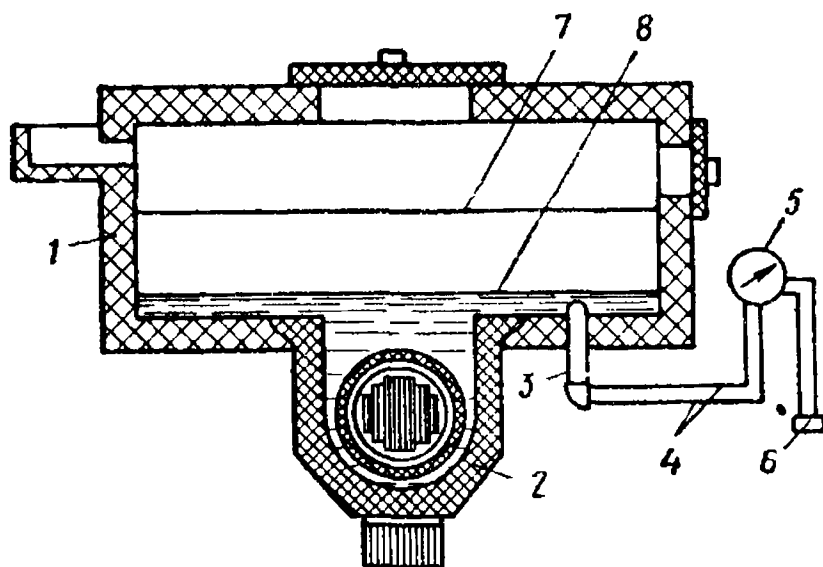


Рис. 56. Схема автоматического регулирования температуры расплава в миксере:

1 — миксер; 2 — индукционная единица; 3 — термопара; 4 — компенсационные провода; 5 — электронный потенциометр; 6 — к индукционной единице; 7 — верхний уровень расплава; 8 — нижний уровень расплава

туры. Отклонение стрелки прибора пропорционально разности температур между нагретыми и холодными концами термопары. Схема расположения приборов температурного контроля на миксере показана на рис. 56.

Для регистрации температуры используют довольно сложные приборы разнообразных конструкций, называемые электронными потенциометрами, в которых к милливольтметру пристроен часовой механизм, приводящий в движение барабан с натянутой на него бумагой или диск со специальной диаграммой. Стрелка милливольт-

метра снабжена пером, которое скользит по движущейся бумаге и наносит кривую зависимости температуры от времени. При понижении или повышении температуры расплава в печи или миксере исполнительный механизм электронного потенциометра автоматически включает или отключает индукционные единицы.

### *Контроль режима охлаждения*

Режим охлаждения слитков в процессе литья контролируют с помощью манометров, показывающих давление воды в подводящем трубопроводе, и расходомеров (водомеров). Наиболее распространены пружинные манометры, в которых отклонение стрелки прибора определяется величиной деформации упругой детали под действием напора жидкости. По виду рабочего элемента манометры делят на трубчатые, мембранные и сильфонные. Благодаря простоте конструкции и высокой надежности в работе для измерения давления воды в литейных цехах применяют в основном трубчатые манометры. Чувствительным элементом такого манометра является металлическая трубка овального сечения, изогнутая по кругу и закрытая с одного конца (трубка Бурдона). Другим, открытым концом трубку присоединяют к источнику давления. При повышении давления трубка разгибается и через рычажный механизм движение передается указывающей стрелке, вращающейся на оси перед градуированной шкалой.

Для оперативного контроля расхода воды, проходящей через изложницу или кристаллизатор в единицу времени, служат расходомеры (водомеры). Известно много различных конструкций расходомеров, однако наиболее распространенными являются крыльчатые и турбинные, в которых протекающая вода вращает крыльчатое колесо или турбину, приводящие в движение стрелку счетчика. Точность показаний расходомеров составляет 1—2% от верхнего предела измерений.

### *Контроль скорости литья*

Для измерения скорости движения слитка (скорости литья) применяют специальные приборы, называемые тахометрами. В зависимости от принципа действия тахо-

метры бывают механические, гидравлические, пневматические, магнитные и электрические. В литейных машинах обычно используют электрические тахометры, представляющие генератор переменного или постоянного тока, который установлен на валу редуктора машины и измеряет скорость его вращения. Вторичным прибором служит вольтметр, шкала которого градуирована в мм/мин или в м/ч. Отклонение стрелки вольтметра пропорционально электродвижущей силе генератора, величина которой зависит от угловой скорости вращения вала редуктора, определяющей также скорость опускания слитка.

### Контроль длины отливаемых слитков

Ввиду того что отливаемые на машинах полунепрерывного действия слитки режут на мерные заготовки, необходимо, чтобы длина их, с учетом геометрических отходов, во всех случаях была кратной длине заготовок. Для измерения длины слитка в процессе литья применя-

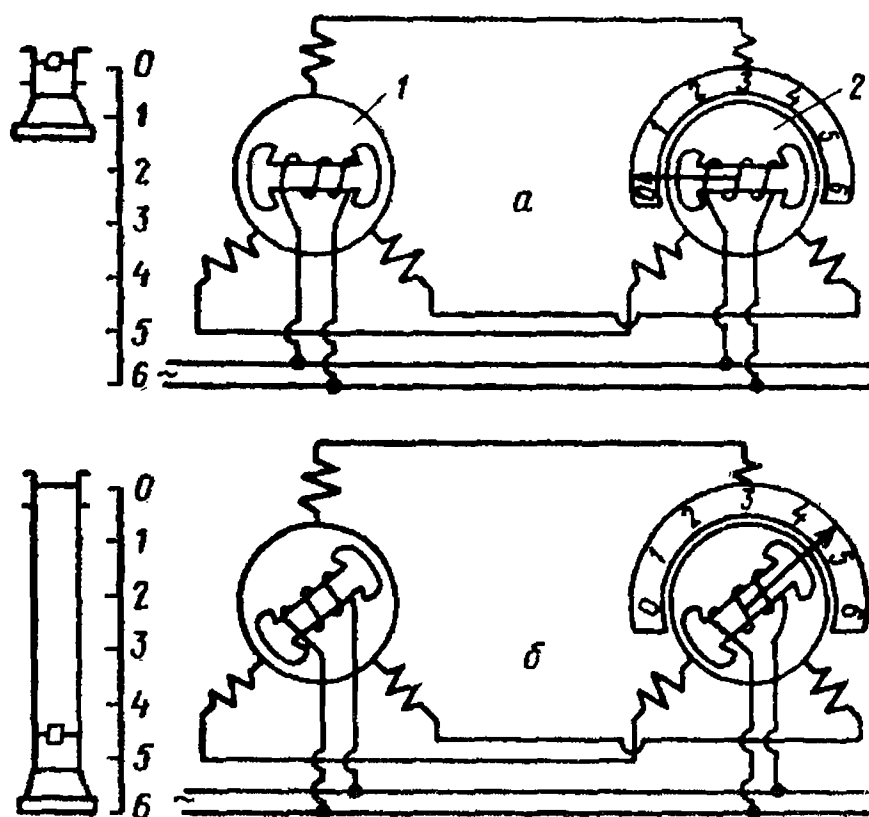


Рис. 57. Измерение длины отливаемых слитков с помощью сельсинной связи:

*a* — исходное положение; *б* — положение литья; 1 — датчик; 2 — приемник

ют различные приспособления и приборы, которые позволяют предупреждать литейщика о достижении слитком заданной длины. Наиболее простым измерительным приспособлением для машин с опускающимся столом служит простая рейка, закрепляемая на столе и опускающаяся вместе с ним. Большинство современных конструкций литейных машин снабжено так называемой электрической сельсинной связью, схема которой показана на рис. 57. Один из сельсинов — датчик — установлен на валу редуктора, второй — приемник — вмонтирован в прибор со шкалой, градуированной в метрах. Оба сельсина имеют идентичную конструкцию и представляют собой индукционные машины, питаемые от электрической сети. Перед началом литья сельсин-датчик занимает исходное положение, при котором поддон находится в кристаллизаторе, а стрелка сельсина-приемника — на нулевой отметке. В процессе литья, по мере вращения вала редуктора и опускания поддона, ротор сельсина-датчика поворачивается на соответствующий угол и благодаря электрической синхронной связи задает угол поворота сельсину-приемнику, стрелка которого и указывает длину слитка. При достижении слитком заданной длины срабатывает конечный выключатель и на пульте управления литейщика загорается сигнальная лампа.

Применение сельсинной связи для контроля длины слитков позволяет полностью исключить непредусмотренные геометрические отходы при резке слитков на мерные заготовки.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СЛИТКОВ

### *Контроль химического состава*

Для определения химического состава слитков одной плавки из средней по глубине зоны печи после присадки всех компонентов и тщательного перемешивания расплава отбирают пробу. В подавляющем большинстве случаев слитки одной плавки имеют тот же химический состав, что и проба.

Из миксера при полунепрерывном литье пробу отбирают в начале разливки. На машинах непрерывного действия образцы для химического анализа в виде попереч-

ных темплетов толщиной 10—15 мм отрезают от слитков периодически в процессе литья.

Для химического анализа от пробы берут стружку. Металл сверлят с малой подачей и сухим сверлом. Стружку в количестве 15—20 г собирают на чистую бумагу, а затем ссыпают в конверт, на котором указывают номер пробы (плавки, разливки).

Анализ стружки проводится непосредственно в химической лаборатории химиками-аналитиками. Наиболее распространены два метода анализа: весовой и объемный. При весовом методе из точно отвешенного количества стружки с помощью различных реактивов выделяют анализируемый элемент, взвешивают и рассчитывают процентное содержание его в анализируемой пробе. Объемный метод состоит в том, что в процессе анализа измеряют объем израсходованного на реакцию раствора, в котором содержится вещество — реактив, вступающее в химическое взаимодействие с определяемым элементом анализируемого сплава. Процентное содержание элемента в сплаве строго соответствует объему израсходованного на реакцию реактива.

Методы химического анализа очень точны, но сравнительно длительны и трудоемки. Много различных операций нужно проделать химику, прежде чем он получит результат. Поэтому на заводах по обработке цветных металлов широко применяют более быстрые спектральные методы анализа.

Для проведения спектрального анализа не нужно сверлить пробу и набирать стружку. Анализу подвергают саму пробу или часть ее. Суть спектрального анализа состоит в том, что между литой пробой, являющейся одним из электродов спектральной установки, и графитовым стержнем (второй электрод) пропускают электрический ток, в результате чего между ними создается электрическая дуга. Температура в зоне дуги достигает нескольких тысяч градусов, так что все элементы, присутствующие в металле или сплаве, не только плавятся, но и мгновенно превращаются в пар.

Схема спектральной установки показана на рис. 58. Если свет от дуги пропустить сначала через очень узкую щель, а затем через призму, то на экране получится большое число цветных линий различной плотности, называемых спектром раскаленного парообразного веще-

ства. Обычно спектр не рассматривают глазом, а фотографируют. Химический состав пробы определяют на основании изучения и замера плотности линий на фотопластинке. Каждый элемент, входящий в сплав, характеризуется своей группой линий, присущих только ему. Если, например, на фотопластинке окажется определенная группа линий, характерных для алюминия, то в состав данного сплава входит алюминий.

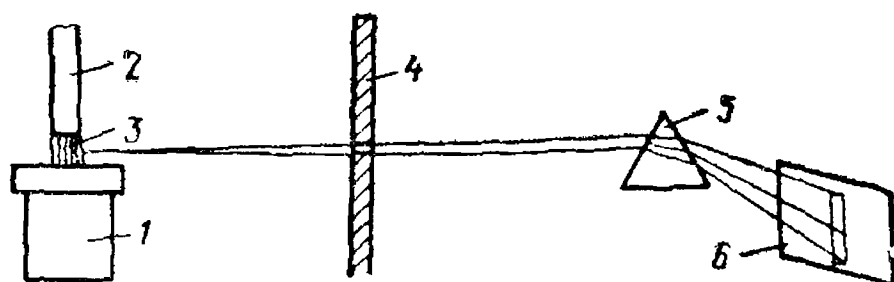


Рис. 58. Схема спектральной установки:

1 — графитовый электрод; 2 — анализируемая проба;  
3 — электрическая дуга; 4 — пластинка со щелью;  
5 — призма; 6 — фотопластинка

Чувствительность спектрального анализа исключительно велика: этим методом можно установить присутствие примеси, если содержание ее составляет всего 0,00001%. Кроме того, по одному спектру можно определить сразу несколько элементов, в то время как при химических методах анализа для этого потребуется брать столько навесок, сколько элементов требуется определить.

В настоящее время на заводах по обработке цветных металлов работают автоматические спектральные установки — квантометры, рентгеноспектральные и оптико-рентгеноспектральные анализаторы и др., которые позволяют в течение нескольких минут определить химический состав пробы.

### *Контроль плотности*

Плотность литого металла является важным фактором, от которого зависит качество полуфабрикатов и выход годного не только в литейном, но и в обрабатывающих цехах. В производственных условиях плотность контролируют путем осмотра невооруженным глазом плоскости реза слитков и их поверхности после фрезеро-

вания. Вскрытые места на поверхности слитков не должны иметь видимых дефектов. Наличие трещин, пор, раковин или шлаковых, окисных и флюсовых включений в слитках является причиной получения дефектов в полуфабрикатах.

Плотность слитков некоторых сплавов контролируют путем исследования макро- и микроструктуры, для чего из слитков вырезают необходимое количество темплетов или образцов. В последние годы для обнаружения внутренних дефектов в слитках сплавов ответственного назначения успешно применяют просвечивание рентгеновскими и гамма-лучами и контроль с помощью ультразвуковых колебаний. Для проведения испытаний этими способами не требуется резка слитков или вскрытие дефектов — слиток после испытаний остается совершенно целым.

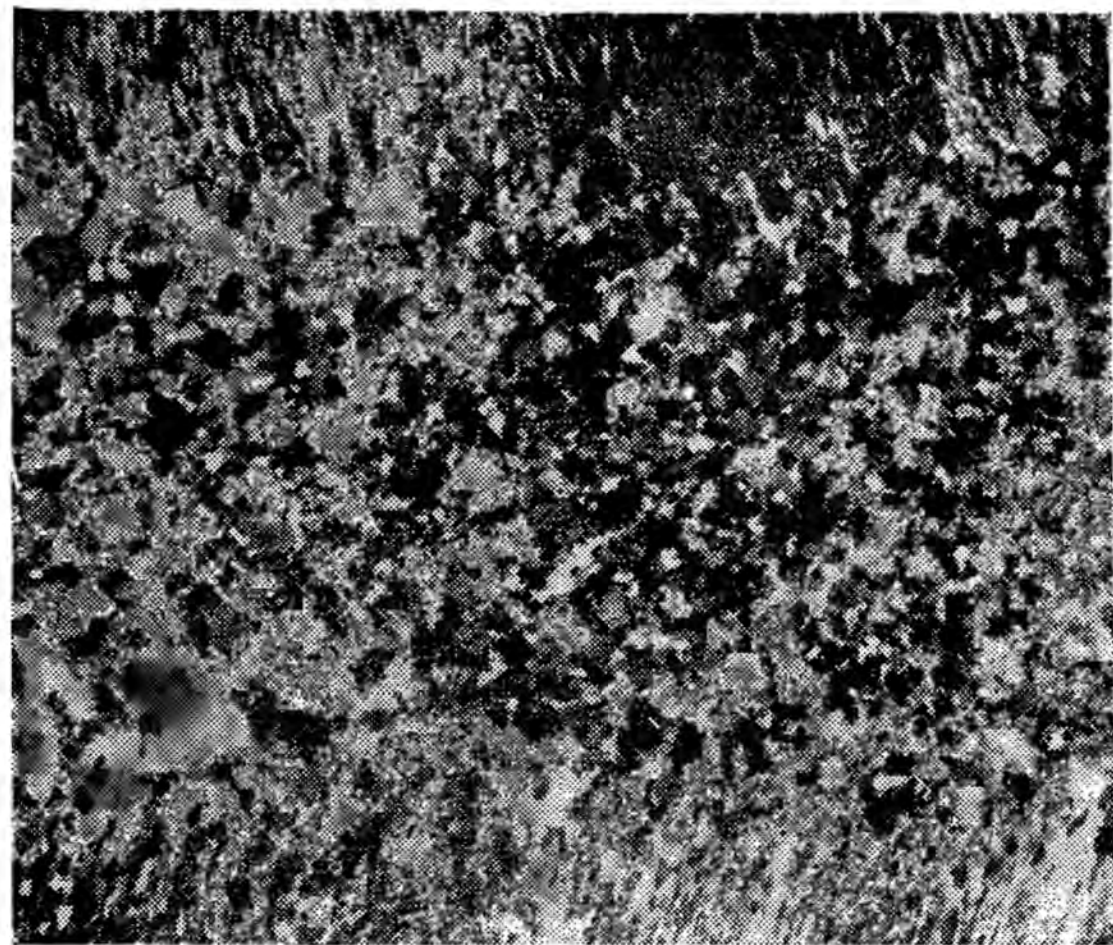
Получение плотных и с качественной поверхностью слитков является одной из основных задач плавильщиков и литейщиков цехов заготовительного литья.

### *Контроль макроструктуры*

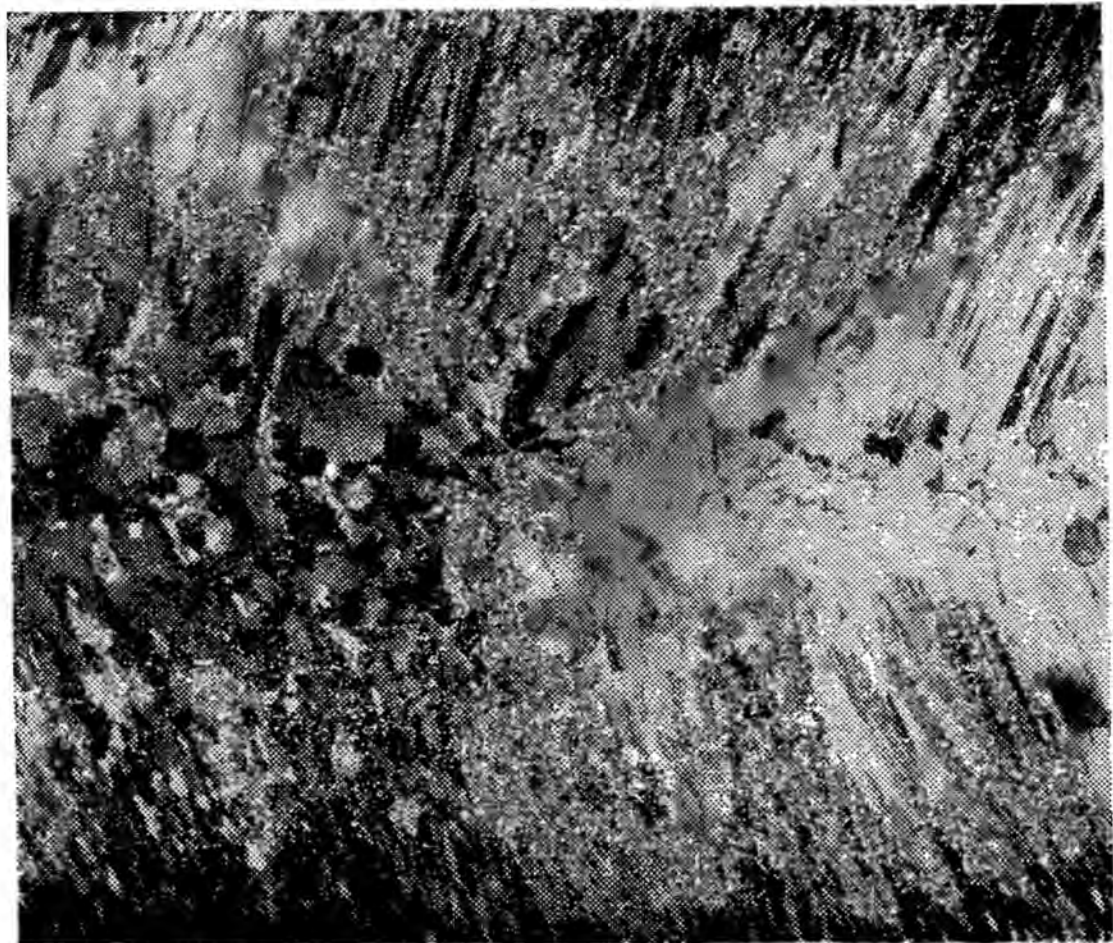
Для контроля внутреннего строения слитков существует несколько методов. Самым старым и распространенным является контроль металла по излому образца. По наблюдаемой в изломе степени измельчения кристаллов и наличию инородных тел во многих случаях судят о пригодности металла к дальнейшему использованию. Этим методом очень часто пользуются в литейной практике.

Другой, более сложный, метод состоит в изготовлении из слитка шлифов с полированной поверхностью, которую перед просмотром травят специально подобранным реактивом. Так как растворимость отдельных структурных составляющих различна, на полированной поверхности шлифа образуется рельеф.

Шлифы, предназначенные для изучения структуры невооруженным глазом или при небольшом увеличении, например, с помощью лупы, называют макрошлифами; шлифы, изучаемые под микроскопом, — микрошлифами. На травленной поверхности макрошлифов слитков можно видеть величину и характер расположения зерен, а



*a*



*б*

Рис. 59. Макроструктура слитка сплава Л68 диаметром 185 мм:

*a* — наполнительное литье; *б* — непрерывное литье

также различные дефекты, имеющиеся в металле, по которым судят о качестве слитков.

Для слитков промышленных сплавов характерна макроструктура, состоящая из трех зон (рис. 59):

1) поверхностная зона мелкозернистых кристаллов шириной в несколько миллиметров, затвердевающая непосредственно на стенках кристаллизатора или изложницы;

2) зона столбчатых кристаллов, распространяющаяся на различную глубину к центру слитка;

3) зона равноосных кристаллов в центре слитка.

Глубина прорастания каждой зоны может быть различной. В частности, соотношение между размерами столбчатой и равноосной зонами зависит от режима охлаждения. Макроструктура слитков быстро охлаждаемого металла или сплава, например латуни, при непрерывном литье состоит, как правило, из столбчатых кристаллов, которые прорастают почти от самой поверхности к центру слитка. Рост кристаллов столбчатой формы продолжается до тех пор, пока они не встретятся с кристаллами, растущими от противоположной стенки. Макроструктура медленно охлаждаемых слитков имеет тенденцию к образованию зоны равноосных кристаллов в центре темплета.

Литая структура слитков в процессе последующей обработки испытывает значительные изменения. Путем обработки давлением — прокаткой, прессованием, волочением и т. д. с последующей термообработкой можно изменить как форму, так и размеры кристаллов.

### *Контроль микроструктуры*

При рассмотрении под микроскопом при увеличении от 10 до 2500 раз кристаллического строения металлов и сплавов можно устанавливать размеры, форму и расположение отдельных зерен, а также их внутреннее строение. В последнее время для исследования микроструктуры применяют электронные микроскопы с увеличением до 25 000 раз. Изучают микроструктуру на шлифах после травления их полированной поверхности специально подобранным химическим реактивом.

Микроструктурой литого металла обычно характеризуется внутреннее строение отдельных дендритов (кри-

сталлов), которое не зависит от их величины, а определяется главным образом химическим составом и скоростью затвердевания. С изменением внутреннего строения дендритов изменяются многие свойства металлов и сплавов и в первую очередь механические. Так, например, широко известно, что металл или сплав с мелкозернистой микроструктурой прочнее металла или сплава того же

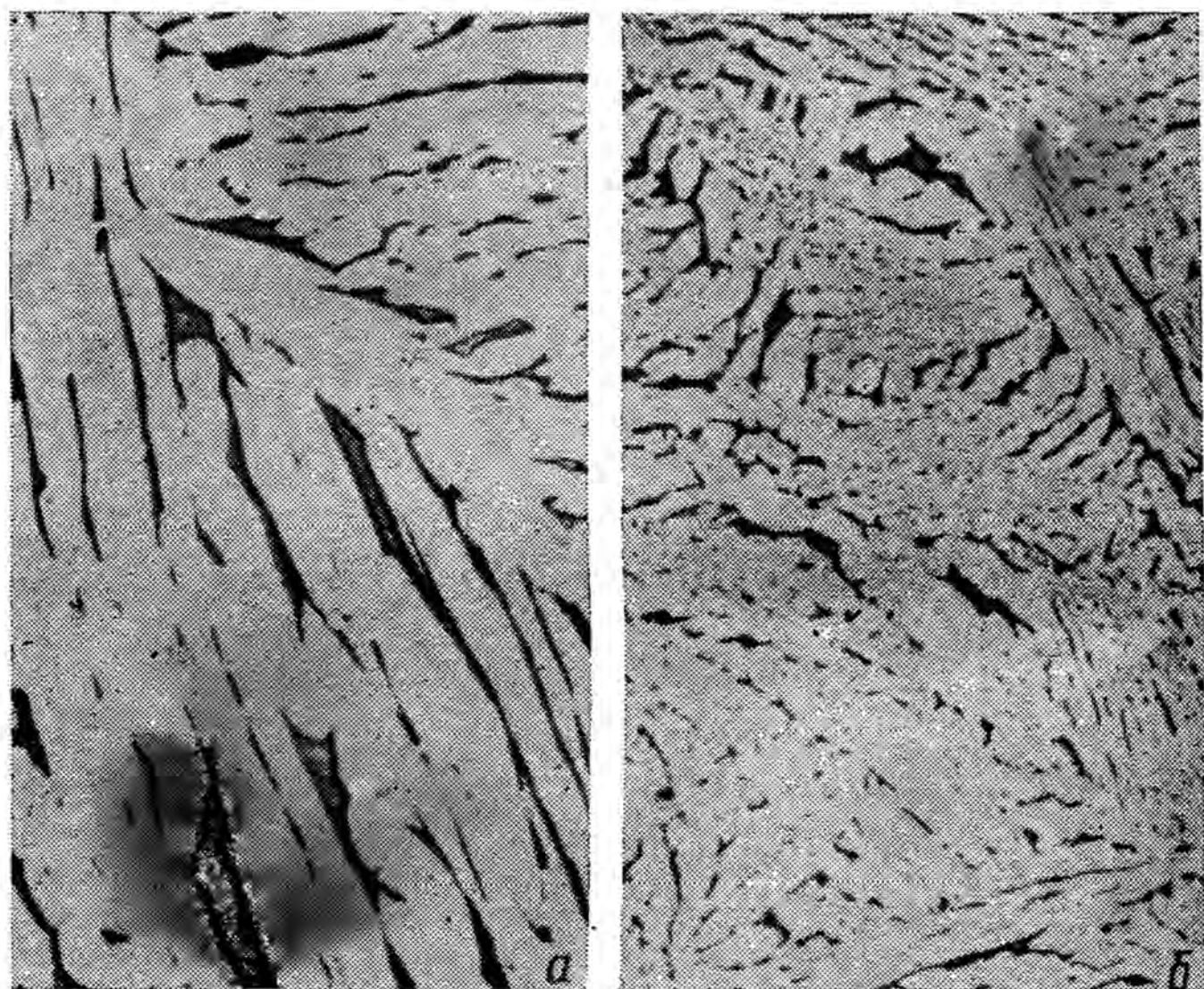


Рис. 60. Микроструктура слитка сплава Л63 · 200:

*а* — наполнительное литье; *б* — непрерывное литье

состава, но имеющего более крупное микрозерно. Кроме того, слитки с более тонким внутренним строением дендритов при обработке давлением выдерживают более высокую степень деформации. Грубая микроструктура слитков является основной причиной их недостаточной пластичности при последующей обработке.

На рис. 60 показана микроструктура слитка сплава Л63 наполнительного и непрерывного литья. Простое

сравнение микроструктур показывает, что включения  $\beta$ -фазы в слитках непрерывного литья, которая кристаллизуется с относительно высокой скоростью, значительно мельче. Контроль микроструктуры позволяет устанавливать причины низкого качества металла и намечать пути его улучшения.

### *Контроль содержания кислорода в слитках меди*

Взаимодействие меди с кислородом происходит уже при комнатной температуре. При температуре около  $100^{\circ}\text{C}$  на поверхности меди образуется пленка окиси  $\text{CuO}$  черного цвета. С повышением температуры скорость окисления меди значительно возрастает.

В расплавленном состоянии медь активно взаимодействует с кислородом с образованием закиси меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Продукты окисления свободно растворяются в расплаве, а после затвердевания в виде химического соединения  $\text{Cu}_2\text{O}$  остаются в слитке. Под микроскопом закись меди на нетравленном шлифе выявляется в виде темно-голубых включений. При малом содержании кислорода закись меди обнаруживается в виде отдельных включений (рис. 61, а). При повышении содержания кислорода количество закиси меди увеличивается и она образует оболочку вокруг зерен меди, намечая их контуры даже без травления (рис. 61, б). При дальнейшем повышении содержания кислорода закись меди располагается по всему полю шлифа (рис. 61, в).

Проба, предназначенная для исследования микроструктуры, подвергается специальной обработке, которая заключается в получении плоской поверхности и шлифовке ее с последующим полированием. Проба считается подготовленной, если ее рабочая поверхность приобрела зеркальный вид и даже под микроскопом не видны риски и царапины. Поверхность готовых шлифов травлению не подвергается.

Содержание кислорода контролируют следующим образом. Место на шлифе, отвечающее среднему количеству включений закиси меди, сравнивают с фотографиями эталонных образцов микроструктуры меди, в результате чего дают количественную оценку содержания кислорода в пробе, а следовательно, и в слитках. При определении кислорода следует строго различать включения закиси меди от темных неметаллических включений и пор.

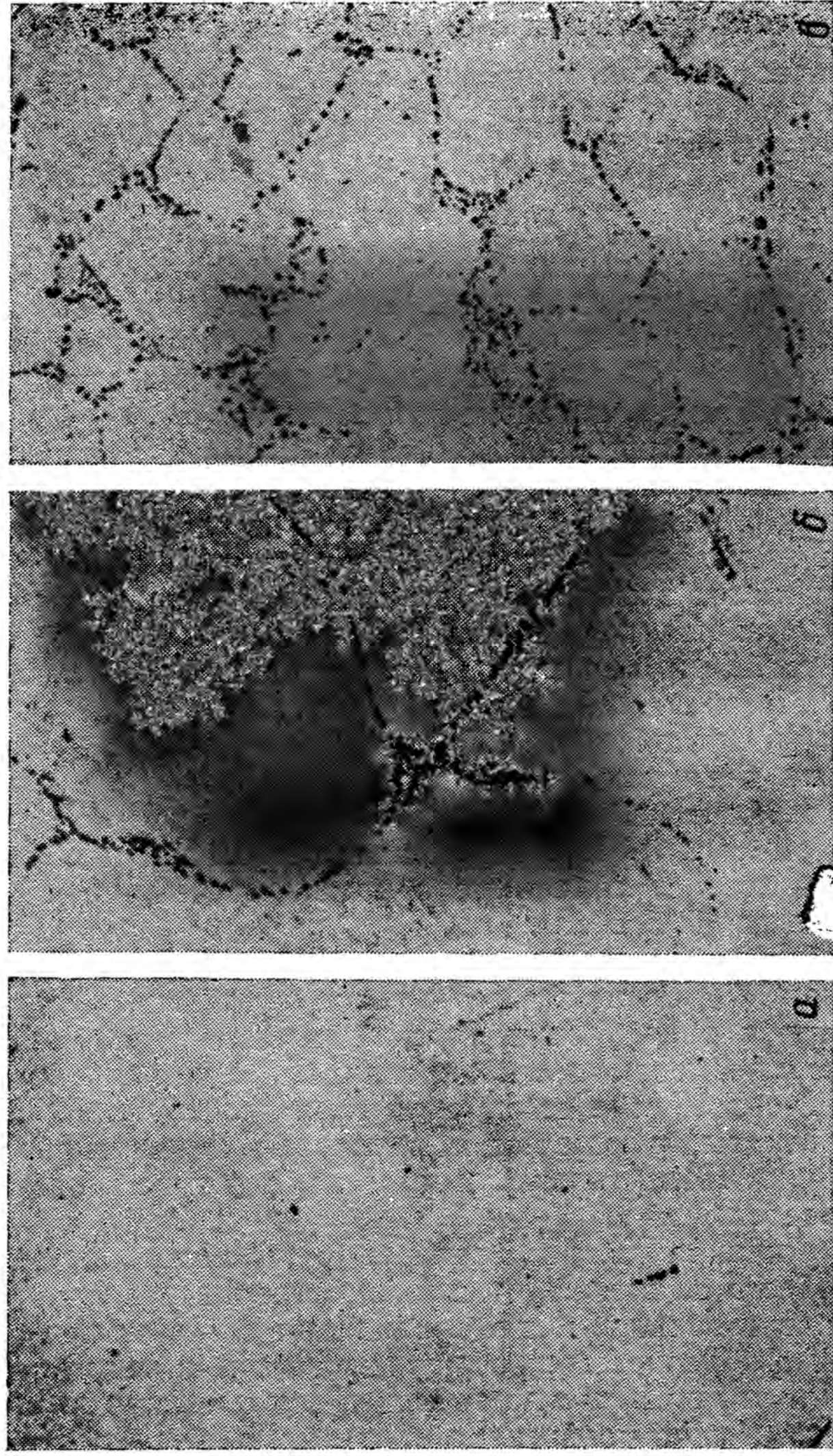


Рис. 61. Литая медь с различным содержанием кислорода (закиси меди),  $\times 200$ :

а — 0,004%; б — 0,015%; в — 0,06%

Неметаллические включения делятся на две группы:

1) включения, попадающие в расплав в виде флюсов, шлаков, частей футеровки и посторонних материалов;

2) включения в виде окислов металлов, образующихся в процессе плавления в результате реакций между компонентами расплава и кислородом воздуха. Окислы металлов могут попадать в плавильную печь и вместе с шихтовыми материалами.

По величине частиц неметаллические включения делятся на макровключения, хорошо видимые невооруженным глазом в изломе образцов металла, в плоскости реза слитков или на полированной поверхности темплетов, и микровключения, обнаруживаемые на поверхности шлифа под микроскопом.

В меди и ее сплавах неметаллические включения могут присутствовать в виде закиси меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , окиси цинка  $\text{ZnO}$ , окиси олова  $\text{SnO}_2$ , окиси алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , окислов железа  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , окислов марганца  $\text{MnO}$ , окиси кремния  $\text{SiO}_2$  и окиси свинца  $\text{PbO}$ .

Содержание неметаллических включений в расплаве оказывается особенно значительным при использовании в шихте вторичных цветных металлов. Поэтому надо следить, чтобы лом цветных металлов, применяемый для плавки, был хорошо очищен от неметаллических примесей и просушен.

Посторонние включения, присутствующие в расплаве, при его затвердевании могут располагаться как внутри, так и по границам зерен и ослаблять связь между ними. Независимо от формы и места расположения неметаллические включения ухудшают структуру металлов и сплавов и резко снижают их физико-механические свойства. Неметаллические включения ослабляют прочность металла и могут служить причиной поломки деталей.

Качественное и количественное определение неметаллических включений в слитках производится с помощью металлографического или химического анализов. Для определения источников загрязнения расплавов неметаллическими включениями и характера распределения их в слитках и полуфабрикатах применяют радиоактивные изотопы, которые помогают наметить и осуществить мероприятия по предупреждению попадания в расплав посторонних включений.

## Глава VII

### Механическая обработка слитков

Слитки — исходный материал для производства полуфабрикатов. После нагрева в печах с целью придания требуемых пластических свойств их обрабатывают давлением.

Для снижения затрат на производство полуфабрикатов необходимо, чтобы слитки, подаваемые к прессам или прокатным станам, помимо высокого качества металла, имели чистую и ровную поверхность и оптимальные размеры, исключая дополнительные потери металла в процессе последующей обработки давлением. Для выполнения этих требований отлитые слитки после получения результатов химического анализа подвергают механической обработке. В большинстве случаев неровную и окисленную поверхность прямоугольных слитков фрезеруют, строгают или шабруют, обрезают литниковую и донную части и режут на мерные заготовки. Поверхность цилиндрических слитков меди и ее сплавов не обрабатывают, а после резки на заготовки дефектные места удаляют зачисткой на маятниковых шарошках.

Ниже рассмотрены основные технологические операции механической обработки слитков в литейном цехе.

#### ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СЛИТКОВ

Механическую обработку поверхности широких граней прямоугольных слитков проводят с целью удаления окисленного поверхностного слоя с множеством мелких дефектов литейного происхождения, которые в процессе последующей обработки давлением могут раскататься и ухудшить товарный вид полуфабрикатов. Экономические преимущества предварительной обработки поверхности слитков в литейном цехе до горячей прокатки очевидны: 1) повышается выход готовых полуфабрикатов; 2) возрастает производительность фрезерных станков, так как слитки имеют в несколько раз меньшую поверхность, чем горячий подкат; 3) стружка остается в литейном цехе и может быть переплавлена без дополнительной обработки и смешивания.

Вместе с тем товарный вид проката из фрезерованных слитков по качеству несколько уступает прокату, полученному из фрезерованного горячего подката.

Для механической обработки поверхности слитков применяют шабровочные, строгальные и фрезерные станки. Последние могут быть как с жесткими, так и с пла-

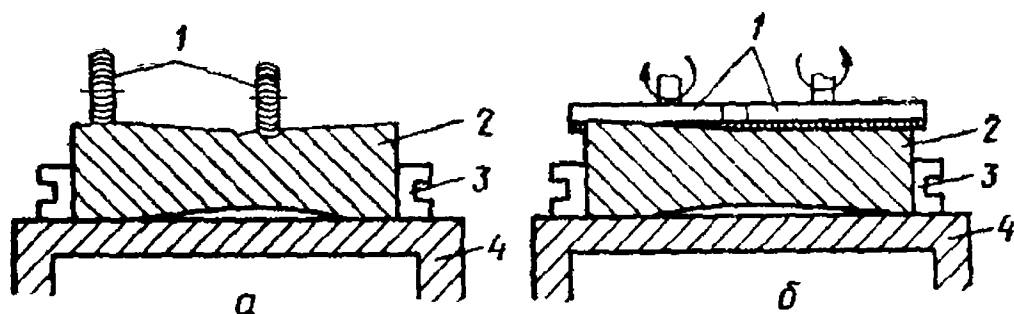


Рис. 62. Схема фрезерного станка с плавающими (а) и жестко установленными (б) фрезами:

1 — фрезы, 2 — слиток; 3 — зажим; 4 — стол

вающими фрезами. Шабровочные и строгальные станки в настоящее время имеют ограниченное применение вследствие низкой производительности. При обработке слитков на фрезерных станках с жестко установленными фрезами образуется много стружки, так как слиток в процессе непрерывного литья приобретает вогнутую поверхность (рис. 62). Наиболее широкое распространение для обработки поверхности слитков получили фрезерные станки с плавающими фрезами, обеспечивающие снятие небольшого и одинакового по толщине слоя металла со всей поверхности слитка. Ниже дана техническая характеристика фрезерного станка с плавающими фрезерами:

|                                                                                     |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Диаметр фрезы, мм . . . . .                                                         | 200     |
| Ширина фрезы, мм . . . . .                                                          | 40      |
| Число зубьев фрезы . . . . .                                                        | 26      |
| Материал диска фрезы . . . . .                                                      | Ст. 3   |
| Материал зубьев фрезы . . . . .                                                     | P9, P18 |
| Угол заточки зубьев, град . . . . .                                                 | 15      |
| Мощность двигателя механизма вращения фрез, кВт . . . . .                           | 20      |
| Скорость вращения двигателя, об/мин . . . . .                                       | 970     |
| Скорость вращения фрез, об/мин . . . . .                                            | 1066    |
| Поперечная подача фрезы за один ход стола, мм . . . . .                             | 18,5    |
| Мощность двигателя механизма движения стола и поперечной подачи фрез, кВт . . . . . | 16      |
| Скорость вращения двигателя, об/мин . . . . .                                       | 685     |
| Скорость движения стола, мм/сек . . . . .                                           | 250     |
| Максимальные размеры обрабатываемых слитков, мм:                                    |         |
| ширина . . . . .                                                                    | 1000    |
| длина . . . . .                                                                     | 5600    |
| толщина . . . . .                                                                   | 250     |
| Толщина слоя металла, снимаемого за один проход, мм . . . . .                       | 0,75    |
| Производительность, т/ч . . . . .                                                   | 6—10    |

На стол фрезерного станка слитки наполнительного литья укладывают так, чтобы торец одного слитка плотно прилегал к торцу другого слитка. Слитки непрерывного литья фрезеруют до резки их на заготовки. Перед началом фрезерования слитки на столе закрепляют винтовыми зажимами. Включают двигатели вращения фрез и движения стола. Фрезы при помощи ручек с торцовым включением плавно опускают на слиток и включают механизм их поперечного перемещения.

В процессе работы стол со слитком совершает возвратно-поступательное движение, благодаря чему две фрезы снимают слой металла равномерно по всей поверхности слитка. После каждого прохода фрезы перемещаются на один шаг перпендикулярно продольной оси слитка. С целью снижения силы трения при фрезеровании, а также для охлаждения фрез и улучшения качества обрабатываемой поверхности на слиток наносят эмульсию, представляющую раствор пасты 59 ц в воде.

После обработки одной широкой грани слитка фрезы поднимают и стопорят в верхнем положении. Слитки освобождают от зажимов, снимают со стола, после чего их просматривают работники ОТК.

На фрезерованной поверхности слитков не должно быть никаких следов литейных дефектов, а также надрывов и уступов от фрезы. Дефекты, оставшиеся на фрезерованной поверхности слитков, удаляют ручной пневматической шарошкой. После этого слиток полунепрерывного литья укладывают на кантователь, который поворачивает его для обработки другой стороны. Слитки наполнительного литья поворачивают с помощью клещей или цепи. Затем цикл обработки повторяют.

## **РЕЗКА СЛИТКОВ**

Удаление литниковой, а в случае отливки слитков на установках полунепрерывного действия и донной части, а также резка слитков на мерные заготовки производится на дисковых пилах различных конструкций. Наибольшее распространение получили однодисковые пилы салязкового типа с перпендикулярной к продольной оси слитка плоскостью реза. В зависимости от скорости вращения диска пилы бывают быстроходные, тихоходные и комбинированные.

Быстроходные дисковые пилы применяют для резки слитков из меди и медноцинковых сплавов, имеющих твердость по Бринелю до  $120 \text{ кг/мм}^2$ . Мощность электродвигателя, приводящего в движение диск, до  $150 \text{ кВт}$ . Число оборотов диска — от 250 до 1000 в минуту. Поперечная подача диска  $5\text{—}30 \text{ мм/сек}$ . Производительность быстроходных дисковых пил  $12\text{—}15 \text{ т/ч}$ .

Тихоходные дисковые пилы служат для резки слитков из твердых металлов и сплавов (никеля, медноникелевых сплавов и специальных бронз) с твердостью по Бринелю выше  $120 \text{ кг/мм}^2$ . Мощность электродвигателя до  $100 \text{ кВт}$ . Число оборотов диска — до 75 в минуту. Поперечная подача диска от 0,5 до  $4 \text{ мм/сек}$ . Производительность тихоходных дисковых пил не превышает  $4\text{—}5 \text{ т/ч}$ .

Комбинированные дисковые пилы предназначены для резки слитков всех сплавов. Число оборотов диска при резке слитков твердых сплавов снижается за счет включения в кинематическую схему пилы редуктора с большим передаточным числом.

Диск пилы имеет как вращательное, так и поступательное движение. Слиток перед резкой закрепляют гидравлическими зажимами неходвижно. Диаметр полотна диска, к которому прикреплены сегменты с 4, 6 или 8 зубьями, определяется, как правило, наибольшим поперечным сечением слитка, который предстоит разрезать. Краткая характеристика дисков приведена в табл. 21.

Т а б л и ц а 21. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДИСКОВ ПИЛЫ

| Диаметр диска<br>пилы, мм | Число зубьев<br>(крупных) | Толщина<br>диска, мм | Ширина<br>зубьев, мм | Число<br>сегментов |
|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| 710                       | 96                        | 4,7                  | 6,5                  | 24                 |
| 1010                      | 120                       | 6                    | 8                    | 30                 |
| 1430                      | 144                       | 8                    | 10,5                 | 36                 |
| 2000                      | 176                       | 12                   | 14,5                 | 44                 |

Слитки разрезают на заготовки заданной длины, что достигается установкой упора, до которого подается слиток перед началом каждого реза. Масса и размеры заготовок слитков определяются мощностью прессового или прокатного оборудования, геометрическими размерами выпускаемой продукции, технологическими особенностями

ми данного металла или сплава и др. Плоскость реза должна быть перпендикулярна к продольной оси слитка.

Для уменьшения силы трения и охлаждения диска во время работы применяют эмульсии.

Заготовки слитков и полученные отходы маркируют в плоскости реза металлическим клеймом с указанием марки металла или сплава. Нельзя допускать смешивания отходов и стружки разных металлов и сплавов, поэтому их собирают в отдельные короба. При переходе с одного сплава на другой пилу, короба для сбора отходов и стружки и рабочее место резчика очищают от металла предыдущего сплава.

**УДАЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ С ПОВЕРХНОСТИ СЛИТКОВ**

Поверхность цилиндрических слитков и узкие грани прямоугольных слитков, как известно, механической обработке не подвергают. Если на этих слитках имеются отдельные поверхностные дефекты литейного происхождения, то их удаляют с помощью маятниковых шарошек, техническая характеристика которых приведена ниже:

|                                                      |        |
|------------------------------------------------------|--------|
| Мощность двигателя, <i>квт</i> . . . . .             | 4,4    |
| Скорость вращения двигателя, <i>об/мин</i> . . . . . | 1440   |
| Диаметр фрезы, <i>мм</i> . . . . .                   | 240    |
| Число зубьев . . . . .                               | 30     |
| Материал диска фрезы . . . . .                       | Ст. 3  |
| Материал зубьев фрезы . . . . .                      | P9,P18 |
| Угол заточки зуба, <i>град</i> . . . . .             | 15     |

Слитки с поверхностными дефектами, которые контролер ОТК обводит мелом или краской, после резки на части подают к маятниковой шарошке. Цилиндрические слитки укладывают на стол шарошки, включают двигатель и фрезу подводят к слитку. По мере обработки дефектного места слиток поворачивают при поднятой фрезе с помощью маховичка, приводящего в движение ролики, на которых лежит слиток. После удаления всех дефектов шарошку останавливают, и обработанный слиток скатывают в корзину.

Прямоугольные слитки с поверхностными дефектами укладывают на стол шарошки узкой гранью. После обработки одной узкой грани слиток с помощью крана поворачивают на другую грань. При удалении дефектов допускается только пологое снятие металла без резких углов и переходов. Производительность маятниковых шарошек составляет 5—10 т/ч.

## ПОНЯТИЕ О СЕБЕСТОИМОСТИ СЛИТКОВ

Под себестоимостью продукции понимается денежное выражение затрат на ее производство и сбыт. Себестоимость слитков является важнейшим технико-экономическим показателем, который определяется главным образом стоимостью основных материалов, входящих в сплав, и стоимостью обработки. Для примера в табл. 22 показано, из чего складывается себестоимость слитков сплава Л90.

Т а б л и ц а 22. ЦЕХОВАЯ СЕБЕСТОИМОСТЬ 1 т СЛИТКОВ СПЛАВА Л90

| Наименование затрат                         | Количество,<br>т | Цена 1 т,<br>руб. | Общая цена,<br>руб. |
|---------------------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Медь . . . . .                              | 0,423            | 866,60            | 366,95              |
| Цинк . . . . .                              | 0,096            | 556,60            | 53,43               |
| Отходы латуни . . . . .                     | 0,224            | 790,0             | 176,96              |
| Отходы меди . . . . .                       | 0,353            | 830,0             | 292,99              |
| Итого шихты .                               | 1,096            | 812,08            | 890,33              |
| Возвратные отходы и<br>потери (исключаются) | 0,096            | —                 | 68,45               |
| Итого металла .                             | 1,000            | —                 | 821,88              |
| Обработка и цеховые<br>расходы . . . . .    |                  |                   | 18,94               |
| Цеховая себестоимость .                     |                  |                   | 840,82              |

Из таблицы видно, что стоимость цветных металлов в цеховой себестоимости слитков сплава Л90 достигает 97,8%, в то время как все прочие расходы составляют всего лишь около 2,2%. По этой причине безвозвратные потери цветных металлов при плавлении и литье значительно удорожают себестоимость слитков. Экономия даже долей процента цветных металлов в процессе производства слитков, как правило, окупает затраты на создание условий, обеспечивающих эту экономию.

Снижение себестоимости слитков или затрат на их производство — первостепенная задача всего коллектива литейного цеха.

# Глава VIII

## Организация цехов заготовительного литья

### ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦЕХОВ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ЛИТЬЯ

В цехах заготовительного литья основными технологическими операциями производственного процесса являются подготовка шихтовых материалов к плавке и составление навесок, плавление шихты и розлив металла в слитки, резка и механическая обработка слитков. Разнообразие оборудования и сложность технологических операций, выполняемых на нем, приводят к необходимости создания в каждом литейном цехе трех производственных отделов: шихтового, литейного и обрабатывающего. Контроль готовой продукции осуществляется отделом технического контроля (ОТК). В состав литейного цеха входят также ремонтные службы для профилактического осмотра и ремонта оборудования.

#### *Шихтовый отдел*

В шихтовом отделе выполняются следующие основные операции: а) приемка шихты и флюсов; б) разгрузка; в) хранение; г) подготовка к плавке; д) составление навесок; е) подача шихты к плавильным печам; ж) учет расхода шихтовых материалов.

Приемка шихтовых материалов заключается в проверке их количества и качества. Материалы, поступающие по железной дороге, взвешивают на вагонных весах. Каждая партия поступающих материалов сопровождается сертификатом, в котором указаны марка, сорт и характеристика ОТК поставщика. При приемке от каждой партии материала берут для анализа несколько контрольных образцов.

Разгрузка шихтовых материалов и флюсов производится работниками транспортного цеха с помощью мостовых кранов и других транспортных средств. Сыпучие материалы выгружают в закрома открытого типа и хранят в литейном цехе.

Подготовка шихтовых материалов к плавке заключается в их сушке, сортировке, пакетировании и брикетировании.

ровании. Порядок расчета и составления навесок подробно описан в гл. III.

Все рабочие шихтового отдела, работающие в одной смене, составляют бригаду, которой, в зависимости от численности, руководит старший шихтовщик, бригадир, помощник мастера или мастер. Основные задачи правильной организации работы шихтовщиков — рациональное использование шихтовых материалов и своевременное, быстрое и бесперебойное обеспечение всех плавильных печей шихтой. Принято считать, что у каждой печи должен постоянно находиться запас не менее двух-трех навесок шихты. Производительность труда рабочих шихтового отдела значительно возрастает, если все операции по транспортировке и загрузке шихты в шихтовые короба механизированы. Учет расхода шихтовых материалов производится по журналу подачи шихты к плавильным печам. Режим работы шихтового отдела тесно увязан с режимом работы литейного отдела и является непрерывным, круглосуточным.

### *Литейный отдел*

Литейный отдел — ведущий отдел цеха, в котором выполняются две основные операции: плавление шихтовых материалов и разливка полученного расплава в слитки. Мощность литейного цеха определяется мощностью плавильных печей. Независимо от масштаба производства мощность литейного отдела цеха должна несколько превышать потребность обрабатывающих цехов в заготовительном литье. Это условие создает предпосылки для роста производительности труда как в литейном, так и в обрабатывающих цехах и облегчает планирование работы основных цехов.

В основе рациональной организации работы литейного отдела лежит своевременная и качественная подготовка производства и обеспечение рабочих мест всеми необходимыми основными и вспомогательными материалами и инструментом.

Ввиду того что в индукционных канальных печах и миксерах необходимо постоянно иметь жидкую ванну, режим работы литейного отдела должен быть непрерывным. Нельзя допускать значительных простоев плавильных печей и миксеров, так как это приводит к повышенным потерям металла, перерасходу электроэнергии,

изменению химического состава расплава и снижению производительности. Кратковременная остановка плавно-разливочных агрегатов может допускаться только на профилактический осмотр и мелкий ремонт, а также на период чистки печей и миксеров.

Плавильно-разливочные агрегаты обслуживаются бригадами плавильщиков и литейщиков из 2—3 человек. За каждой бригадой закреплено определенное оборудование. На печах наполнительного литья обычно работают менее квалифицированные плавильщики, чем на печах, укомплектованных миксером и литейной машиной. На установки непрерывного литья они переводятся по мере роста квалификации. Мастер литейного отдела выдает каждой бригаде сменное задание.

Основным первичным документом литейного отдела является журнал учета отлитых слитков, который ежедневно заполняется мастером.

### *Обрабатывающий отдел*

В обрабатывающем отделе производится механическая обработка слитков, которая заключается в отрезке литника и донной части, распиловке слитков на заготовки, фрезеровании поверхности прямоугольных слитков, маркировке заготовок и сдаче их в обрабатывающие цехи. От ритмичной работы обрабатывающего отдела зависит своевременная подача заготовок в прокатный и прессово-волоочильный цехи.

Особое внимание в работе обрабатывающего отдела уделяют организации непрерывных грузопотоков. Непрерывный, непересекающийся грузопоток позволяет значительно повысить производительность труда, так как весь процесс механической обработки слитков делится на ряд элементов, последовательно выполняемых отдельными рабочими или группами рабочих.

### *Организация технического контроля*

Основными задачами работников отдела технического контроля является предупреждение возникновения брака и обеспечение приемки качественных слитков в соответствии с требованиями государственных стандартов и межцеховых технических условий. Для решения этих задач необходимо строго выполнять контроль на

отдельных операциях и не допускать поступления бракованных слитков на дальнейшую обработку.

Пооперационный контроль, который осуществляется после или во время выполнения каждой технологической операции, дает возможность предупредить возникновение массового брака. В цехах заготовительного литья контролеры ОТК осуществляют контроль на всех основных технологических операциях. В шихтовом отделе они следят за качеством шихтовых материалов, правильностью составления и взвешивания навесок, очередностью расхода отдельных компонентов шихты и др. В литейном отделе контролируют температуру металла, режимы разливки, соответствие химического состава слитков требованиям ГОСТа и соблюдение других технологических параметров. В обрабатывающем отделе механическая обработка слитков ведется под непосредственным наблюдением контролеров ОТК. Наиболее тщательно проверяется соответствие размеров заготовок слитков и качество их поверхности требованиям ТУ.

При нарушении технологической дисциплины на какой-либо операции контролер ОТК имеет право потребовать от руководства цеха приостановить работу и списать брак за счет виновников этих нарушений.

Контролеры ОТК обязаны изучать причины брака и меры по его предупреждению, выявлять виновников брака и вести с ними разъяснительную работу. Виновники материально ответственны за допущенный брак.

Работники ОТК учитывают брак по его видам за каждую смену, сутки, месяц и год и все сведения передают в литейный цех, ОТК завода и технический отдел.

### *Организация работ по уходу за оборудованием и ремонту*

Своевременный и качественный ремонт оборудования является одним из основных условий бесперебойной работы литейного цеха. Высокопроизводительная работа оборудования достигается благодаря применению четко разработанной системы планово-предупредительных осмотров и ремонтов, которая предусматривает повседневный надзор за правильной эксплуатацией и техническим состоянием оборудования, а также своевременное проведение малых, средних и капитальных ремонтов. Повседневный надзор и уход за оборудованием позволяет

удлинить срок его службы. Обязанности по межремонтному обслуживанию обычно разграничиваются между работающими на оборудовании и дежурным персоналом. Рабочие, обслуживающие оборудование, несут ответственность за его правильную эксплуатацию, наблюдают за его состоянием, производят смазку трущихся частей, сами устраняют небольшие неисправности, а о более значительных сообщают мастеру. Дежурный персонал производит проверку оборудования, регулировку и устранение выявленных дефектов. Все операции профилактического межремонтного обслуживания выполняются без нарушения производственного процесса.

Малый ремонт, заключающийся в замене некоторых изношенных деталей, производится в нерабочее время, например в перерыв или на стыке смен. В период среднего ремонта изношенные детали и узлы заменяют при частичной разборке оборудования. При капитальном ремонте оборудование полностью разбирают и заменяют все изношенные детали и узлы.

Необходимо отметить, что нарушение правил эксплуатации оборудования, плохой уход за ним и несвоевременный ремонт влияют не только на производительность, но и на качество слитков.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Разработанная на научной основе и с учетом накопленного опыта технологическая документация позволяет применять наиболее совершенный режим производства слитков, повторять их отливку через некоторый промежуток времени на том же заводе или перенести опыт работы на другой завод, подготовить материалы для планирования производства и определения плановой себестоимости слитков.

Независимо от выпускаемой продукции технологическую документацию разрабатывают на слитки всех сплавов. В нее входят шихтовые карты, производственно-технологические инструкции, технические условия и нормативно-технологические карты.

### *Шихтовые карты*

Шихтовую карту составляют на каждый металл или сплав. Иногда на слитки круглого и прямоугольного се-

чения, а также на слитки наплавляемого и непрерывно-го литья составляют отдельные шихтовые карты.

В шихтовой карте приводятся следующие данные:

- 1) общие сведения о металле или сплаве, содержание в нем основных компонентов и примесей;
- 2) расчетный химический состав шихты и слитков;
- 3) характеристика шихтовых материалов и основные требования, предъявляемые к ним;
- 4) состав навесок шихты;
- 5) дата разработки шихтовой карты и подписи лиц, ее разработавших и утвердивших.

Шихтовые карты являются основным технологическим документом для работников шихтового отдела.

### *Производственно-технологические инструкции*

Для каждого рабочего места существуют производственно-технологические инструкции в виде конкретных правил работы. Эти инструкции вывешивают в каждом отделе цеха. В производственно-технологические инструкции включают следующее:

- 1) описание конструкции оборудования и его техническую характеристику;
- 2) последовательность и порядок выполнения технологических операций;
- 3) методы контроля технологического процесса в целом или его операций, а также качества продукции;
- 4) основные правила по технике безопасности.

В отдельных случаях к инструкциям прилагают необходимые схемы и чертежи.

За соблюдением правил, предусмотренных в производственно-технической инструкции, следят мастера, технологи и контролеры ОТК.

Изменения в технологическом процессе вносят в производственно-технологические инструкции только после тщательной проверки в производственных условиях их полезности и эффективности.

### *Государственные стандарты и технические условия*

Государственные стандарты — ГОСТы — это документы, в которых государством установлены единые технические требования к продукции и нормы, обязательно

применяемые во всех отраслях народного хозяйства. ГОСТы способствуют выпуску качественной продукции, лучшему использованию материалов, энергии и топлива и снижению их расхода. Наше государство с помощью ГОСТов осуществляет планомерное воздействие на все отрасли народного хозяйства, увязывая интересы отдельных отраслей между собой и с общегосударственными интересами, обеспечивая неуклонный рост культуры и техники производства и разумное использование народнохозяйственных ресурсов.

Основным документом, на основании которого производится контроль и приемка слитков работниками ОТК, являются технические условия. В технических условиях на слитки строго регламентировано следующее:

- 1) химический состав металла или сплава;
- 2) размеры слитков с допусками;
- 3) качество поверхности;
- 4) допустимый процент короткомеров.

Требования, изложенные в технических условиях, являются обязательными. В отдельных случаях требования технических условий могут быть жестче требований стандартов, например, по содержанию примесей.

### *Нормативно-технологические карты*

Учет затрат на производство продукции, при котором отдельно выявляются затраты по каждой операции как по материальным, так и по трудовым ресурсам, осуществляется с помощью нормативно-технологических карт. Нормативно-технологические карты представляют собой таблицы, в которых указано следующее: 1) наименование операции; 2) характеристика механизма, на котором выполняется операция; 3) количество, масса и размеры слитков после операции; 4) нормы отходов и потерь на операции; 5) нормы выработки; 6) затраты времени на обработку единицы продукции в станко-часах и человеко-часах; 7) стоимость обработки на операции в денежном выражении.

Нормативно-технологические карты составляют на все размеры слитков каждого сплава; они являются основным технологическим документом для планирования загрузки оборудования, расчета мощности литейного цеха и себестоимости слитков.

# Глава IX

## Правила техники безопасности в литейных цехах

### ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Рабочие, вновь поступившие или переведенные на работу, в литейный цех, должны прослушать вводный инструктаж по технике безопасности и в течение 10 дней освоить безопасные приемы работы непосредственно на рабочем месте под руководством опытного рабочего. По истечении этого срока каждый новый рабочий должен сдать экзамен по правилам техники безопасности на своем рабочем месте комиссии под председательством начальника цеха или его заместителя с участием общественного инспектора по охране труда и только после этого может быть допущен к самостоятельной работе. Повторный инструктаж по технике безопасности с последующей проверкой знаний цеховой комиссией проводят не реже одного раза в год. Время проведения инструктажа и экзаменов по технике безопасности регистрируют в личной карточке рабочего.

Организация рабочих мест в литейном цехе должна обеспечивать безопасность выполнения работ. Категорически запрещается работать на неисправном оборудовании или ремонтировать и смазывать машины и механизмы на ходу.

Для безопасного передвижения людей в цехе проходы очерчены белой краской или мелом. Вблизи опасных мест вывешивают надписи и плакаты, а также предусматривают звуковую и световую сигнализацию.

Рабочих литейного цеха обеспечивают спецодеждой, спецобувью и защитными средствами в соответствии с действующими нормами, а также бесперебойно снабжают газированной подсоленной водой в соответствии с санитарными нормами.

В каждом литейном цехе должен быть кабинет или уголок техники безопасности, производственной санитарии и гигиены труда с соответствующим оборудованием, наглядными пособиями и литературой. Кроме того, на каждом предприятии должны быть отделы по технике безопасности, которые следят за проведением в жизнь мероприятий по охране труда, здоровья и жизни трудящихся, за безопасным состоянием рабочих мест и оборудования и проверяют, как проводится обучение и инструктаж рабочих безопасным приемам работы.

Плавильщики и литейщики, обслуживающие плавильные и разливочные агрегаты, обязаны помнить, что им доверено сложное оборудование, оснащенное современными приборами и приспособлениями, поэтому от них требуется большое внимание и точность в работе. К работе на плавильно-разливочных агрегатах допускаются лишь хорошо обученные своему делу рабочие. Несоблюдение правил эксплуатации оборудования, предусмотренных производственно-технологическими инструкциями и инструкциями по технике безопасности, может привести к неполадкам в работе, а порой и к авариям, связанным с тяжелыми последствиями.

## ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ И МИКСЕРОВ

Применять в шихту материалы, поверхность которых покрыта снегом, льдом и влагой, запрещается. Весь кусковой металл с влажной поверхностью необходимо подсушивать в сушильных камерах. Влажную стружку перед плавлением пропускают через центрифугу или высушивают в специальных печах. Отходы трубного производства и привозной лом в виде полых изделий должны быть освобождены от посторонних предметов, загрязнений и высушены.

При ручной загрузке шихтовых материалов в короба необходимо следить, чтобы отдельные составляющие шихты весили не более 50 кг. Не следует переполнять короб шихтовыми материалами.

Подходы к плавильным печам и рабочие площадки нельзя загромождать коробами с шихтой и другими посторонними предметами. Короба с запасами шихты аккуратно устанавливают на эстакаде в специально выделенных местах. Во время транспортировки коробов с шихтой кранами находиться в зоне переносимых грузов запрещается.

Кабели, подводящие ток к плавильным печам и миксерам, должны быть хорошо изолированы, ограждены и защищены от брызг металла, а каркасы печей и миксеров — изолированы от витков индуктора. Электропечи и миксеры снабжают надежно действующими ограничителями наклона. Расположенные под печью или миксером механизмы или агрегаты должны быть защищены от повреждения расплавленным металлом в случае его прорыва через футеровку подового камня. Осмотр и ремонт оборудования, расположенного под поднятой печью, допускается только при условии дополнительного крепления поднятой печи с помощью прочных и устойчивых упоров.

Перед пуском в работу вновь смонтированную печь тщательно просушивают. Во время разогрева шаблонов и сушки шахты печи вывешивается плакат с надписью «Опасно, под напряжением».

Каждую индукционную канальную печь со стороны летки закрывают стальным фартуком, предохраняющим кабели и индукционные катушки от брызг металла и короткого замыкания. Вентиляторы, охлаждающие индукционные катушки, должны работать бесперебойно; воду к индукторам нужно подводить без перерыва.

Рабочая площадка плавильщика должна быть ограждена предохранительными перилами высотой не менее 1 м. После выемки печи из гнезда последнее немедленно покрывают сплошным щитом.

Во время загрузки шихты в индукционную канальную печь с жидким металлом необходимо соблюдать осторожность и следить, чтобы у печи не было посторонних лиц. Перегрузка печи сверх установленной нормы воспрещается. При образовании «мостов» в верхней части печи из нерасплавившейся и спекшейся шихты печь немедленно отключают и принимают необходимые меры к их удалению. Перед введением в расплавленный металл инструмента для перемешивания или взятия пробы его просушивают и прогревают. Загрузочные горловины печей после загрузки закрывают плотно прилегающими крышками.

В период загрузки шихты, перемешивания ванны с расплавом и разливки металла печь выключают, а плавильщик, обслуживающий печь, должен работать в защитных очках. При включении печи запрещается чистить каналы и шахту, снимать шлак с поверхности ме-

талла, переключать трансформатор, подбирать предохранительные вставки и т. д.

Устройство летки и переливного желоба должно исключать возможность разъедания футеровки и прорыва расплава при выпуске плавки. Проводить какую-либо работу, находиться и проходить под желобом или леткой во время слива металла воспрещается. Удалять окислы и шлак из желоба допускается только после полного застывания металла.

Все печи и мнксеры должны быть оборудованы эффективными вентиляционными устройствами и установками для улавливания металлической пыли и окислов металлов из отходящих газов. На рабочей площадке плавильщика должна быть установлена приточная душирующая вентиляция и оборудовано место для хранения инструмента.

Плавильщик должен работать в предусмотренной нормами спецодежде и не допускать на рабочее место посторонних лиц.

## **ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЛИТЬЕ СЛИТКОВ В ИЗЛОЖНИЦЫ**

Для отливки слитков из плавильных печей непосредственно в изложницы последние монтируют на механизированных поворотных кругах или стационарно на специальных литейных площадках. Водоохлаждаемые изложницы с дефектами на внутренней рабочей поверхности использовать не разрешается. Конструкция и состояние уплотнений рубашек с кессоном должны быть такими, чтобы исключалось просачивание воды на поверхность кессона и во внутреннюю полость изложницы. При появлении воды на рабочей поверхности изложницы разливку металла немедленно прекращают. На водоподводящей магистрали для каждой изложницы должен быть свой запорный вентиль. Заливка изложниц расплавом в случае прекращения подачи охлаждающей воды не допускается.

Смазку изложниц производят только после остывания рабочей поверхности рубашек до температуры ниже температуры вспышки смазочных материалов. Отъемная часть изложниц для прямоугольных слитков должна свободно поворачиваться на шарнирах. Обе половины изложницы в собранном состоянии должны быть плотно пригнаны и соединены прочными и надежными затворами.

Во время разливки расплава не допускается пребывание на разливочной площадке и у изложниц лиц, не занятых этой операцией. Перед началом литья для находящихся вблизи рабочих должен быть подан сигнал, предупреждающий о возможной опасности.

При удалении прямоугольных слитков краном с клещами необходимо следить, чтобы температура слитка не превышала 500—600° С, так как при более высокой температуре он может разорваться. Удаление цилиндрических слитков производится поворотом изложницы на соответствующий угол. Эта операция должна быть механизирована, а механизм поворота должен быть снабжен самотормозящейся передачей.

Отлитые слитки хранят на специально выделенных площадках внутри цеха, оборудованных стеллажами, на которые их укладывают правильными штабелями. Между штабелями слитков оставляют проходы шириной не менее 1 м.

## ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЛИТЬЕ СЛИТКОВ НА УСТАНОВКАХ НЕПРЕРЫВНОГО И ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Конструкция и состояние всех узлов литейной машины должны обеспечивать безопасную работу при разливке металла в слитки. Рабочие стенки кристаллизаторов, соприкасающиеся с расплавленным металлом, должны быть из плотного катаного или кованого металла. Привод машины должен прочно удерживать затвердевающий слиток и обеспечивать плавное удаление его из кристаллизатора.

Перелив металла из плавильных печей или промежуточного ковша в миксер должен быть совершенно безопасным.

При разливке расплава под защитной атмосферой особое внимание уделяется соблюдению правил по технике безопасности. Рабочим, обслуживающим газогенераторы, необходимо помнить, что генераторный газ может содержать до 28—30% окиси углерода. Вдыхание окиси углерода даже в небольших количествах немедленно вызывает в человеческом организме такие неприятные ощущения, как слабость, головную боль, головокружение и рвоту. В дальнейшем человек может потерять сознание. Предельно допустимое содержание окиси углерода в воздухе промышленных предприятий 0,02 мг/л. Основным противоядием при отравлении окисью углерода является свежий воздух. Полезно также кратковременное вдыхание паров нашатырного спирта.

Генераторный газ в смеси с воздухом может образовывать взрывоопасную смесь, которая взрывается при нагреве или от попадания искры.

Во избежание несчастных случаев перед заправкой и розжигом газогенератора необходимо тщательно проверять исправность и герметичность всех его частей, газопроводов, вентилей, люков и контрольно-измерительных приборов. Во время заправки или розжига газогенератора нельзя подставлять лицо и незащищенные части тела под загрузочную горловину. В случае отключения воздуха необходимо немедленно перекрыть воздушный и газовый вентили и остановить газогенератор.

Во избежание прорывов и выброса расплава в начале отливки слитка поддон нужно вводить на половину высоты кристаллизатора, а размер щели между поддоном и рабочей поверхностью кристаллизатора не должен превышать 2—3 мм. До начала литья поддон тщательно просушивают, а щель заполняют сухим асбестовым шнуром.

Для каждого сплава и размера слитка устанавливают соответствующую скорость литья. Произвольное повышение скорости сверх установленной величины не допускается.

При обрыве слитка и заклинивании его в кристаллизаторе запрещается заливать воду в кристаллизатор для охлаждения остатка слитка. Отлитые слитки удаляют из приямка литейной машины только после полного их охлаждения.

# Литература

Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье сплавов цветных металлов. Металлургиздат, 1963.

Альтман М. Б., Лебедев А. А., Полянский А. П., Чухров М. В. Плавка и литье легких сплавов. Металлургиздат, 1956.

Бойченко М. С. Непрерывная разливка стали. Металлургиздат, 1957.

Базилевский В. М., Бахтиаров Р. А., Воскресенский А. А., Мещеряков С. И. Металлургическое оборудование литейных заготовительных цехов и заводов вторичных цветных металлов. Металлургиздат, 1958.

Горшков И. Е. Литье слитков цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1952.

Германн Э. Непрерывное литье. Металлургиздат, 1961.

Добаткин В. И. Слитки алюминиевых сплавов. Металлургиздат, 1952.

Добаткин В. И. Алюминиевые сплавы. Оборонгиз, 1955.

Жевтунов П. П. Литейные сплавы. Машгиз, 1957.

Захаров Б. П. Контроль в литейном производстве. Машгиз, 1960.

Кульбацкий А. П. Конструкция и работа миксера. Металлургиздат, 1961.

Курдюмов А. В., Пикун М. В., Бахтиаров Р. А. Плавка и затвердевание сплавов цветных металлов. Изд-во «Металлургия», 1968.

Мерфи А. Дж. Плавка и литье цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1959.

Маслов И. А. Литье слитков цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1951.

Милицын К. Н., Ловчиков В. С., Суворов А. М. Плавка и литье цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1956.

Михайленко А. Я., Крапухин В. В. Печи цветной металлургии. Металлургиздат, 1954.

Обработка цветных металлов. Справочник. Металлургиздат, 1961.

Правила безопасности в литейном производстве заводов обработки цветных металлов. Металлургиздат, 1961.

Рубцов Н. И. Специальные виды литья. Машгиз, 1955.

Спасский А. Г. Основы литейного производства. Металлургиздат, 1950.

Смирягин А. П. Промышленные цветные сплавы. Металлургиздат, 1956.

Телис М. Я. Плавка цветных металлов и сплавов. Изд-во «Высшая школа», 1964.

Филь Е. В. Организация литейных цехов. Изд-во «Машинностроение», 1964.

Чурсин В. М., Бндуля П. Н. Технология цветного литья. Металлургиздат, 1967.

Шварцмайер В. Непрерывная разливка. Металлургиздат, 1962.

Юдкин В. С. Производство и литье сплавов цветных металлов. Металлургиздат, 1967.

**БУРОВ Александр Васильевич**

**ЛИТЬЕ  
СЛИТКОВ МЕДИ  
И МЕДНЫХ СПЛАВОВ**

**Редактор издательства О. М. Каманова  
Технический редактор Н. А. Сперанская**

---

**Сдано в производство 28/VI 1971 г.  
Подписано в печать 11/XI 1971 г.  
Бумага типографская № 2, 84x108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>  
2,75 бум. л. 9,24 (усл.) печ. л.  
Уч.-изд. л. 9,13 Изд. № 5391 Т-18251  
Тираж 2100 экз. Заказ № 962 Цена 32 коп.**

---

**Издательство «Металлургия»  
Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., 14**

**Владимирская типография Главполиграфпрома  
Комитета по печати при Совете Министров СССР  
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.**

ЗАМЕЧЕНИЯ К ОПЕЧАТКЕ

| Стр. | Строка                | Напечатано                                                                          | Должно быть                                                                         |
|------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 19   | Табл. 5, гр. 4, 3 ст. | 10-20                                                                               | —                                                                                   |
|      | Там же, 2 ст.         | Ni                                                                                  | 10-20                                                                               |
|      | Там же, 1 ст.         | 3,5-5,6                                                                             | 3,5-5,5 Ni                                                                          |
| 21   | Табл. 8, гр. 1, 6 ст. | MHA-1,5                                                                             | MHA-1,5                                                                             |
| 23   | 6 ст.                 | непронизываемым                                                                     | непронизываемым                                                                     |
| 23   | Рис. 21               | а — распыла не смазывает поверхность формы; б — распыла смазывает поверхность формы | а — распыла смазывает поверхность формы; б — распыла не смазывает поверхность формы |
| 29   | 12 ст.                | завора                                                                              | завора                                                                              |
| 30   | 16 ст.                | 24                                                                                  | 5                                                                                   |
|      | 17 ст.                | 50                                                                                  | 20                                                                                  |
| 32   | Рис. 63 а             | повернуть на 180°                                                                   |                                                                                     |