

**Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины**

**Донбасская государственная машиностроительная академия**

## **ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

**Конспект лекций для студентов дневной и заочной  
формы обучения специальности**

**6.05040201 «Литейное производство черных и цветных металлов и сплавов»**

**Утверждено  
на заседании кафедры ТОЛП  
Протокол №14 от 18.12.12**

**Краматорск 2012**

# Сплавы цветных металлов

## 1 Классификация литейных сплавов

**Сплавы** – системы полученные путем сплавления как металлов так и неметаллов. Сплавы состоят из нескольких компонентов. **Компоненты** это элементы, которые вводят в состав сплава с целью повышения его свойств. Основным компонентом или основой сплава принято считать элемент, содержание которого более **50%**. Основой промышленных сплавов служат: **Fe, Al, Cu, Mg, Zn, Sn, Pb, Cr, Ni, Ti, Mo, V** и др.

Кроме основы сплава, в его состав входят легирующие компоненты и различные примеси, которые обычно являются нежелательными (вредными) или допустимыми.

Сплавы цветных металлов в настоящее время не имеют единого обозначения. Алюминиевые и магниевые сплавы обозначаются буквами, указывающими на принадлежность их к основному металлу (**А**–алюминиевые, **М**–магниевые), либо к определенному типу сплава (**АЛ**–алюминиевый, литейный, **АК**–алюминиевый, ковочный). Вслед за буквами идут цифры, которые обозначают нумерацию сплава, не связанную ни с его химическим составом, ни со свойствами (**АЛ25, МЛ12**).

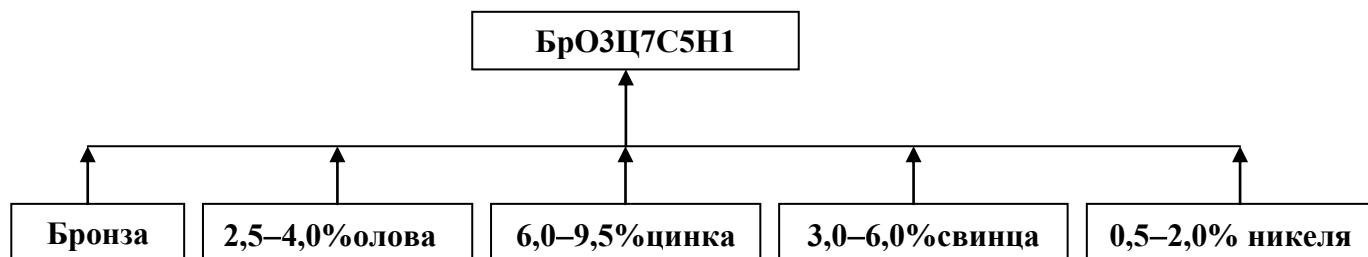
Алюминиевые литейные сплавы вторичные имеют обозначение, отличающееся от литейных первичных алюминиевых сплавов. Например, сплав **АК5М2** (АЛ3В) расшифровывается следующим образом: сплав алюминиевый (**А**), содержащий в качестве легирующих компонентов **5% кремния (К5)** и **2% меди (М2)**.

Примерно по такому же принципу построены обозначения титановых сплавов (**ВТ–1, ВТ–2**), где буква **В** означает организацию–разработчика (**ВИАМ**), буква **Т**–титановый.

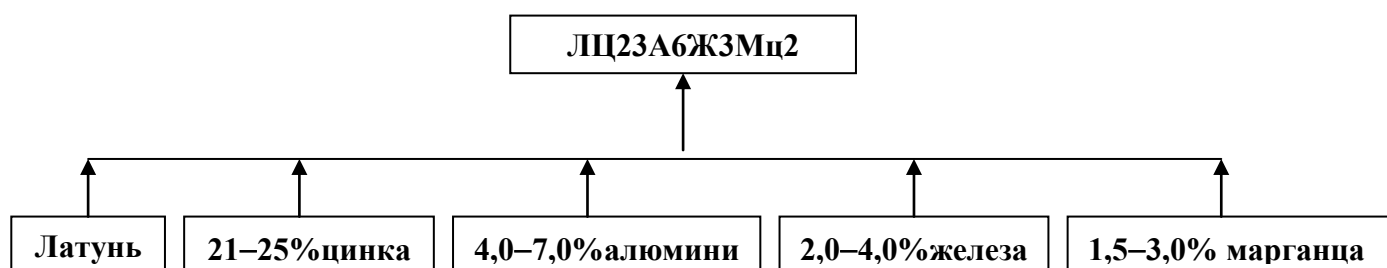
Значительно более показательно и удобнее обозначаются стандартные медные сплавы. Медные сплавы обозначаются буквами и цифрами, непосредственно определяющими наименование сплава, его химический состав в качественном и количественном отношениях.



Пример маркировки бронзы

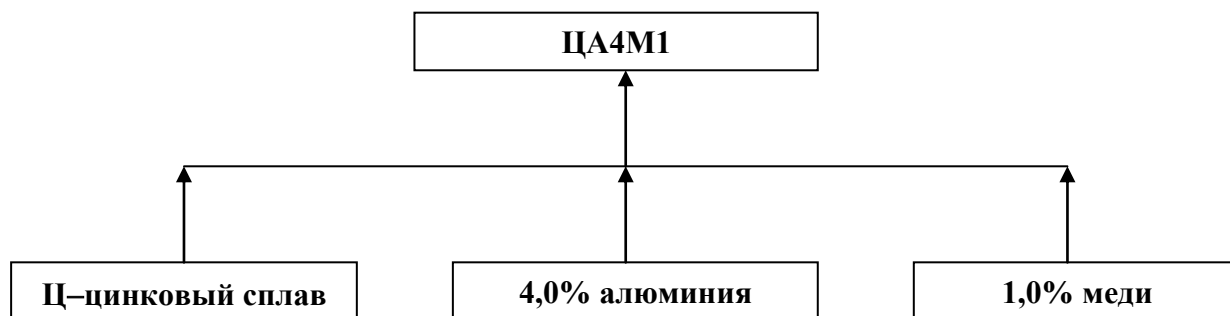


Пример маркировки латуни



Удобные и подобные обозначения имеют никелевые и цинковые сплавы.

Пример маркировки цинковых литейных



Пример маркировки цинковых антифрикционных



## 2 Медь и ее сплавы

### 2.1 Свойства меди

Медь является основой литейных оловянных и безоловянных бронз, а также латуней. Ее применяют при фасонном литье в тех случаях, когда от отливок требуется высокая электропроводность и теплопроводность. Фасонные отливки получают литьем в кокиль, по выплавляемым моделям, в сухие песчаные и оболочковые формы. Основная трудность получения отливок – низкая жидкотекучесть, большая усадка и склонность меди к окислению, поглощению газов и образованию трещин.



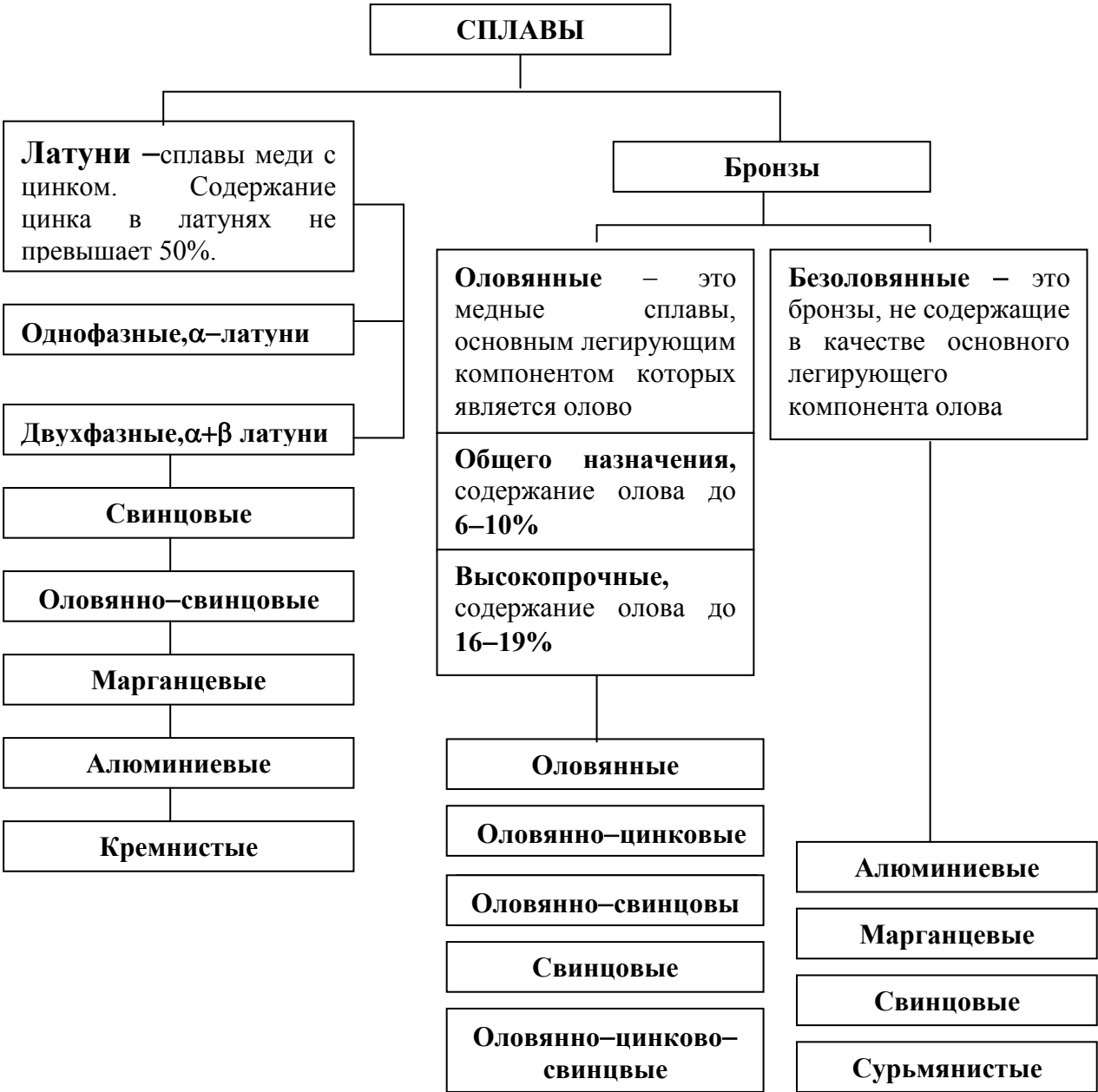
<b>Висмут</b>	→	Снижает пластичность меди при горячем и холодном деформировании, <b>(0,005%)</b> .
<b>Сера</b>	→	Снижает пластичность меди при горячем и холодном деформировании, но улучшает обрабатываемость резанием. Сера не растворяется в твердой меди; при затвердевании выделяется из раствора в виде эвтектики <b>Cu-Cu<sub>2</sub>S</b> по границам зерен.
<b>Марганец</b>	→	Нейтрализует вредное влияние серы, применяется в качестве раскислителя.
<b>Мышьяк</b>	→	Растворяется в твердой меди (до <b>7,25%</b> ). В малых количествах почти не влияет на ее механические свойства, но значительно снижает электропроводность и теплопроводность, также повышает жаропрочность.
<b>Сурьма</b>	→	Ухудшает электропроводность, теплопроводность и пластичность меди. Вредное влияние сурьмы нейтрализуется мышьяком.
<b>Фосфор</b>	→	Повышает жидкотекучесть меди, но при этом снижает ее электропроводность и теплопроводность; при содержании примерно до <b>0,1%</b> на механические свойства заметного влияния не оказывает.
<b>Никель</b>	→	Сильно снижает электропроводность и теплопроводность меди
<b>Олово</b>	→	Сильно снижает электропроводность и теплопроводность меди
<b>Свинец</b>	→	Не растворим в твердой меди, при затвердевании выделяется в свободном состоянии; снижает пластичность меди при горячем деформировании; улучшает обрабатываемость ее резанием.
<b>Цинк</b>	→	Снижает электропроводность и теплопроводность меди
<b>Алюминий</b>	→	Снижает электропроводность, теплопроводность и повышает коррозионную стойкость меди.

Промышленность выпускает одиннадцать марок чистой меди, которые отличаются друг от друга содержанием примесей от **0,01%** в марке **M00<sub>6</sub>** до **0,5%** в марке **M3**. Все примеси снижают электропроводность, но в большей мере это

относится к растворимым примесям (Al, Zn, Sn, Ni, Sb).Особенно вредны примеси висмута, свинца и кислорода.

МАРКИРОВКА И СОСТАВ МЕДИ										
M00 <sub>б</sub>	M0 <sub>б</sub>	M1 <sub>б</sub>	M1 <sub>y</sub>	M1	M1 <sub>p</sub>	M1 <sub>ф</sub>	M2 <sub>p</sub>	M3 <sub>p</sub>	M2	M3
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
99,99	99,97	99,95	99,9	99,9	99,9	99,9	99,7	99,5	99,7	99,5
Массовая для меди в марке, %										

## 2.2 Сплавы на основе меди



## 2.2.1 Оловянные бронзы

Современные промышленные бронзы содержат **2-11% Sn**, **3-10% Zn**, **3-20% Pb** до **2% Ni**, до **1,1% P** и другие элементы.

### Влияние легирующих компонентов и примесей на свойства бронз

#### Легирующие компоненты

#### Свойства

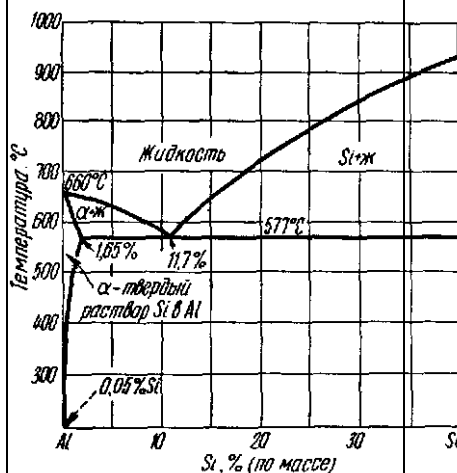
#### Литейные

#### Физико-механические

#### Технологические

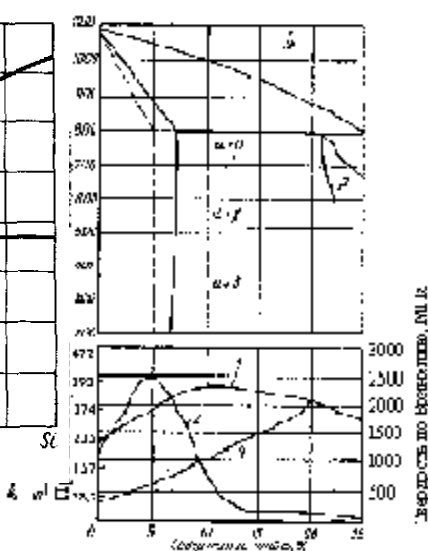
#### Олово

Снижает линейную усадку, незначительно уменьшает газонасыщаемость жидкого металла. С увеличением содержания до **10-12%** снижает жидкотекучесть, увеличивает интервал кристаллизации сплава.



а- жидкотекучесть,  
б- интервал кристаллизации °С, при температуре заливки на 50°С выше температуры ликвидус

Снижает относительное удлинение и ударную вязкость, особенно резко при содержании более **7%**, повышает твердость и прочность. С увеличением содержания уменьшает плотность.



1 - предел прочности при растяжении; 2 - относительное удлинение; 3 - твердость по Бринеллю

Повышает коррозионную стойкость и антифрикционные свойства, затрудняет свариваемость.

Цинк →

Уменьшает температурный интервал кристаллизации, снижает линейную усадку, горячеломкость, газонасыщаемость жидкого металла. При увеличении содержания до 4% повышает жидкотекучесть.	Снижает плотность сплава. При содержании более 5%, повышает механические свойства, а при большем содержании снижает.	Снижает коррозионную стойкость, затрудняет свариваемость, антифрикционные свойства понижает, уменьшает герметичность отливок.
--	--	---

Свинец →

При содержании до 0,5 – 1,0% повышает жидкотекучесть, свыше - снижает. При высоком содержании (свыше 8-10%) ликвирует, снижает газонасыщаемость жидкого металла.	Повышает плотность. При содержании до 2-3% не оказывает заметного влияния на механические свойства, а свыше снижает (особенно у бронз, содержащих олова 9-13%).	Улучшает антифрикционные свойства, облегчает обрабатываемость резанием, повышает герметичность отливок, уменьшает сопротивление кавитации в морской и пресной воде.
--	---	---

Фосфор →

Увеличивает температурный интервал кристаллизации, повышает жидкотекучесть, предупреждает образование окислов. Повышает газонасыщаемость жидкого металла, вызывает пригар на отливках при литье в песчано-глинистые формы. При содержании до 0,1% повышает горячеломкость, свыше уменьшает.	Повышает механические свойства отливок, изготовленных в песчано-глинистых формах (до 0,02-0,04% Р) и в кокилях (до 0,05-0,075% Р).	Улучшает антифрикционные свойства, повышает коррозионную стойкость в морской и пресной воде, облегчает свариваемость.
---	--	---

Никель →

Измельчает макрозерно, способствует выравниванию свойств литого металла в толстых и тонких сечениях, повышает газонасыщаемость жидкого металла, снижает горячеломкость. В бронзах со свинцом уменьшает ликвацию последнего. При содержании более 2% снижает жидкотекучесть.	Повышает плотность и механические свойства, особенно ударную вязкость.	Улучшает свойства, увеличивает коррозионную стойкость в морской и пресной воде, обработку резанием затрудняет.
---	--	--



Железо	Снижает жидкотекучесть и несколько газонасыщаемость жидкого металла, повышает горячеломкость.	Повышает прочность и твёрдость, снижает пластичность и плотность.	Сильно ухудшает коррозионную стойкость, особенно при содержании свыше 0,3%, ухудшает обрабатываемость резанием, снижает герметичность отливок.
Алюминий, магний, кремний,	Снижают жидкотекучесть за счёт образования большого количества окисных включений, увеличивают пористость, повышают горячеломкость.	Значительно снижают плотность и механические свойства.	Ухудшают герметичность и коррозионную стойкость отливок.
Сурьма, висмут, мышьяк	На жидкотекучесть заметного влияния не оказывают; сурьма незначительно повышает жидкотекучесть и горячеломкость.	Снижает прочность и пластичность	В допустимых пределах особого влияния не оказывают.
Сера	Ухудшает литейные свойства.	Снижает механические свойства, уменьшает плотность.	Нежелательная примесь в отливках, испытываемых на герметичность.
Кислород	Присутствует в виде окисных включений ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{SnO}_2$ , $\text{ZnO}$ , $\text{FeO}$ и др.), снижает жидкотекучесть, повышает пористость.	Снижает механические свойства и плотность.	Ухудшает герметичность, снижает коррозионную стойкость и антифрикционные свойства.
Водород	Вызывает образование пористости.	Снижает механические свойства.	Ухудшает свойства, особенно герметичность.

### Химический состав оловянных литейных

Марка сплава	Массовая доля элементов, %			Сумма определённых примесей
	Sn	Zn	Pb	
БрО3Ц12С5	2,0–3,5	8,0–15,0	3,0–6,0	1,3
БрО3Ц7С5Н1	2,5–4,0	6,0–9,5	3,0–6,0	1,3
БрО4Ц7С5	3,0–5,0	6,0–9,0	4,0–7,0	1,3
БрО4Ц4С17	3,5–5,5	2,0–6,0	14,0–20,0	1,3
БрО5Ц5С5	4,0–6,0	4,0–6,0	4,0–6,0	1,3
БрО5С25	4,0–6,0	–	23,0–26,0	1,2
БрО6Ц6С3	5,0–7,0	5,0–7,0	2,0–4,0	1,3
Бр08Ц4	7,0–9,0	4,0–6,0	–	1,0
БрО10Ф1	9,0–11,0	–	–	1,0
БрО10Ц2	9,0–11,0	1,0–3,0	–	1,0
БрО10С10	9,0–11,0	–	8,0–11,0	0,9

### Область применения литейных оловянных бронз

Марка бронзы	Область применения
<b>БрО3Ц12С5, БрО3Ц7С5Н1</b>	Литые детали сложной тонкостенной арматуры с резкими переходами по толщине стенок как общего назначения, так и работающей в морской воде, насыщенном паре при <b>225°С</b> , масле под давлением <b>2,5МПа</b> и более; антифрикционные детали; износ этих бронз выше, чем БрО5Ц5С5.
<b>БрО4Ц7С5</b>	Литые детали арматуры и антифрикционных узлов трения автомобилей и тракторов (втулки поршневых головок, шатунов, дизелей и др.).
<b>БрО4Ц4С17</b>	Литые антифрикционные детали различного назначения (втулки в станках и др.).
<b>БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3</b>	Литые антифрикционные детали узлов трения (втулки, вкладыши подшипников, червячные колёса и др.); арматура, работающая в морской и пресной воде и паре.
<b>БрО5С25</b>	Биметаллические подшипники скольжения, подшипники и втулки под поршневые пальцы дизелей, водяных насосов, турбин и другие детали, работающие при небольших давлениях и высоких скоростях скольжения; маслоуплотнительные кольца.
<b>Бр08Ц4</b>	Арматура, фасонные части трубопроводов, насосов, работающих в морской воде, детали арматуры, работающие под высоким давлением и температурах до <b>250–280 °С</b> .

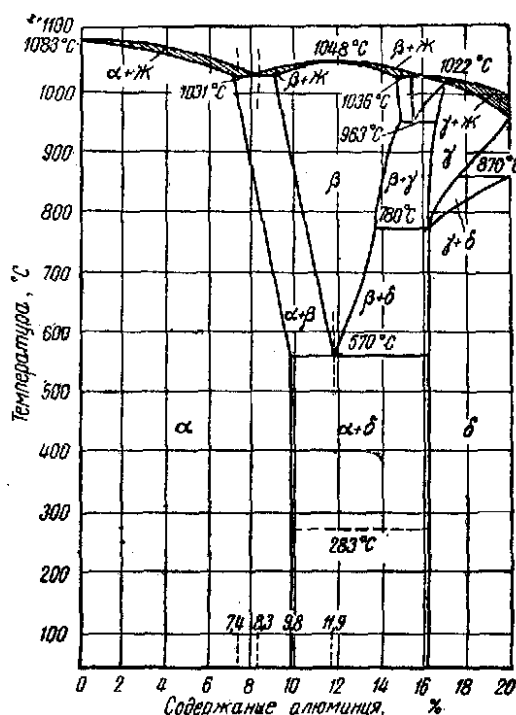
<b>БрО10Ц2</b>	Детали сложной конфигурации со стенками различной толщины, стойкие против коррозии и эрозии в морской, пресной воде и других средах; антифрикционные детали (втулки, зубчатые колёса и шестерни, червячные зацепления, облицовки гребных винтов) при средних и высоких давлениях и невысоких скоростях скольжения.
<b>БрО10Ф1</b>	Литые детали, работающие в узлах трения (высоко нагруженные детали шлаковых приводов, нажимные и шпиндельные гайки, венцы червячных шестерён, вкладыши при недостаточной подаче смазки, золотники, втулки кривошипных головок шатунов); арматура.
<b>БрО10С10</b>	Литые детали подшипников скольжения, работающих в условиях высоких давлений, и детали химического машиностроения и приборостроения.

## 2.2.2 Безоловянные бронзы

В зависимости от основного легирующего компонента безоловянные бронзы делятся на **алюминиевые, кремнистые, марганцевые, сурьмяные и свинцовые**. Наибольшее применение получили **алюминиевые бронзы**.

### Алюминиевые бронзы

#### Диаграмма состояния медь - алюминий



С медью алюминий образует твердый раствор  $\alpha$ . Растворимость алюминия в меди при температуре 1031°C составляет около 7,4%, затем она повышается до 9,8%, при понижении температуры до 570°C и далее до комнатной температуры остается неизменной. Фаза  $\beta$  представляет собой твердый раствор на основе соединения  $\text{Cu}_3\text{Al}$ . При температуре 570°C она претерпевает эвтектический распад  $\beta \rightarrow \alpha + \gamma_2$ . Фаза  $\gamma_2$  также является твердым раствором на основе интерметаллида. Появление ее в структуре приводит к повышению прочности, которая достигает максимума при  $\approx 11\%$  алюминия.

## Влияние легирующих компонентов и примесей на свойства алюминиевых бронз.

### СВОЙСТВА

#### Легирующие компоненты

Литейные	Механические и физические	Технологические
<p><b>Алюминий</b> улучшает жидкотекучесть, увеличивает объёмную (особенно сосредоточенную) и линейные усадки. При увеличении содержания до <b>2%</b> повышает горячеломкость, а затем снижает. Уменьшает газонасыщаемость жидкого металла.</p>	<p>Повышает прочность и твёрдость. Но снижает пластичность сплавов (особенно при содержании более <b>7-8%</b>). Наилучшие соотношения прочности и пластичности имеют бронзы с <b>9,0-10,5%</b> алюминия.</p> <p>Повышает жаропрочность сплавов.</p>	<p>Повышает коррозионную стойкость, улучшает антифрикционные свойства сплава. При содержании Al до <b>7%</b> сплав плохо обрабатывается резанием, свыше — удовлетворительно. Получение герметичных отливок затрудняется из-за образования окисных плёнок <math>Al_2O_3</math>.</p>
<p><b>Железо</b> увеличивает температурный интервал кристаллизации (вызывает рассеянную пористость при содержании свыше <b>4%</b>), измельчает структуру (особенно в толстых сечениях отливок) и предотвращает явление «самопроизвольного отжига», вызывающего хрупкость сплава, незначительно снижает жидкотекучесть. Газонасыщаемость жидкого металла при содержании до <b>3% Fe</b> снижается, а затем повышается. Горячеломкость при содержании до <b>1% Fe</b> увеличивается, а затем уменьшается.</p>	<p>С увеличением содержания железа более <b>4%</b> прочностные свойства сплава ухудшаются.</p>	<p>Снижает коррозионную стойкость сплава и антифрикционные свойства, незначительно улучшает обработку резанием.</p>

<b>Никель</b> незначительно уменьшает жидкотекучесть, измельчает структуру, уменьшает линейную усадку, увеличивает газонасыщаемость жидкого металла, повышает горячеломкость сплава.	Повышает механические свойства (особенно предел текучести) без снижения удлинения, особенно в присутствии железа (после термообработки), повышает жаропрочность сплавов.	Повышает коррозионную стойкость сплава. Для этого рекомендуется принимать содержание никеля равным или несколько больше содержания железа. Способствует свариваемости, но затрудняет обработку резаньем.
--	--	--

<b>Марганец</b> в небольших количествах снижает жидкотекучесть, а свыше <b>2-3% Mn</b> повышает. При <b>5-10%</b> горячеломкость сплава повышается, а затем снижается. Повышает газонасыщаемость жидкого металла, уменьшает линейную усадку.	Повышает пластичность без потери прочности при содержании <b>до 5%</b> . Устраняет (подобно железу) самопроизвольный отжиг. Повышает жаропрочность и прочность при низких температурах.	Повышает коррозионную стойкость сплава (особенно сопротивление кавитации в морской воде), ухудшает обрабатываемость резанием.
--	---	---

<b>Свинец</b> не оказывает заметного влияния на жидкотекучесть и усадку, повышает горячеломкость (особенно при содержании <b>более 2%</b> ), снижает газонасыщаемость жидкого металла.	Снижает жаропрочность. При содержании <b>до 2%</b> снижает прочность, твёрдость, и удлинение сплава.	Улучшает антифрикционные свойства сплава и обрабатываемость резанием, затрудняет сварку.
--	--	--

#### Примеси

<b>Олово</b> не оказывает заметного влияния.	Снижает предел прочности и удлинение, повышает твёрдость сплава.	Понижает герметичность отливок.
--	--	---------------------------------

<b>Кремний</b> вызывает пористость отливок, улучшает жидкотекучесть сплава.	Снижает механические свойства, особенно удлинение, увеличивает твёрдость сплава.	При наличии в бронзе железа образует с ним твёрдые включения, ухудшает обрабатываемость резанием. Ухудшает свариваемость и герметичность отливок.
---	--	---

<b>Цинк</b> снижает жидкотекучесть и уменьшает газонасыщаемость жидкого металла.	Снижает прочность и удлинение; твёрдость повышает, особенно при содержании <b>свыше 1,5%</b> .	Обрабатываемость резанием ухудшает, затрудняет свариваемость, ухудшает коррозионную стойкость и антифрикционные свойства сплава.
--	--	--

<b>Фосфор</b> улучшает жидкотекучесть и повышает газонасыщаемость жидкого металла.	Присутствуя даже в малых количествах, снижает прочность и пластичность сплава. Повышает твёрдость и пластичность.	Снижает коррозионную стойкость и облегчает свариваемость сплавов.
--	---	---

<b>Мышьяк, сурьма.</b>	Снижают прочность и особенно удлинение, придаёт сплавам хрупкость.	Понижает антифрикционные свойства сплава.
<b>Магний</b> ухудшает литейные свойства сплавов.	Снижает прочность и удлинение (вызывает хрупкость), повышает твёрдость сплавов.	Ухудшает герметичность отливок.
<b>Сера</b>	Снижает механические свойства сплавов.	Ухудшает герметичность отливок.

### Влияние легирующих компонентов и примесей на свойства безоловянных бронз.

#### СВОЙСТВА

Механические и физические	Прочие
---------------------------	--------

#### Кремнистые бронзы

#### Легирующие компоненты

<b>Кремний</b> повышает прочность, твёрдость сплавов и до <b>3%</b> удлинение. При содержании <b>более 3%</b> снижает удлинение и ударную вязкость.	Повышает жидкотекучесть и газонасыщаемость жидкого металла. Повышает горячеломкость при содержании до <b>2,5%</b> , а затем снижает. Увеличивает коррозионную стойкость сплавов.
---	--

<b>Марганец</b> повышает механические свойства сплавов.	На жидкотекучесть заметного влияния не оказывает при содержании до <b>3%</b> . Повышает антифрикционные свойства и коррозионную стойкость сплавов.
---	--

<b>Никель</b> понижает механические свойства, особенно пластичность (за счёт образования хрупких силицидов) и повышает жаропрочность сплавов.	Измельчает структуру, ухудшает жидкотекучесть. Повышает коррозионную стойкость и снижает герметичность отливок. Увеличивает газонасыщаемость жидкого металла.
---	---

#### Примеси

<b>Железо</b> не оказывает заметного влияния на механические свойства, повышает жаропрочность никелекремнистых бронз.	Измельчает структуру, понижает горячеломкость и коррозионную стойкость, затрудняет обработку резанием сплавов.
---	--

<b>Фосфор</b> до <b>0,2-0,3%</b> улучшает механические свойства (удлинение и предел текучести) <b>свыше 0,3%</b> ухудшает. Повышает твёрдость, особенно при содержании <b>свыше 0,5%</b> .	Улучшает жидкотекучесть, свариваемость и обрабатываемость резанием сплавов.
--	---

<b>Олово</b> <b>свыше 0,5%</b> понижает механические свойства, <b>при 2%</b> олова сплав становится хрупким .	При содержании до <b>0,5%</b> повышает коррозионную стойкость сплавов, снижает герметичность отливок и улучшает обрабатываемость резанием.
---	--

<b>Свинец</b> снижает механические свойства бронз.	Повышает антифрикционные свойства, улучшает обрабатываемость резанием бронз.
--	--

<b>Цинк</b> до <b>2%</b> заметного влияния не оказывает, <b>свыше 2%</b> повышает твёрдость сплавов.	Повышает жидкотекучесть сплава, улучшает герметичность и антифрикционные свойства отливок, снижает газонасыщаемость жидкого металла.
--	--

<b>Сурьма</b> снижает механические свойства сплавов, особенно пластичность при содержании <b>0,1% и выше</b> .	Снижает герметичность отливок.
--	--------------------------------

<b>Алюминий</b> , образуя в процессе плавки и заливки <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> , снижает механические свойства стали.	Присутствуя в виде <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> , снижает жидкотекучесть сплава и герметичность отливок.
---	--

### Марганцевые бронзы

### Легирующие компоненты

<b>Марганец</b> повышает механические свойства и жаропрочность сплавов.	Снижает жидкотекучесть, повышает газонасыщаемость жидкого металла, коррозионную стойкость. Горячеломкость при <b>5-10% Mn</b> повышается, а свыше резко снижается.
---	--

### Примеси

<b>Олово, сурьма, свинец, мышьяк, фосфор</b> снижают механические свойства и особенно жаропрочность сплава.	Снижают коррозионную стойкость сплавов.
---	---

## Свинцовые бронзы

### Легирующие компоненты

<b>Свинец</b> ухудшает механические свойства сплавов.	Повышает антифрикционные свойства сплава. Жидкотекучесть улучшает, но способствует ликвации (по плотности). Улучшает обрабатываемость резанием.
---	---

### Примеси

<b>Никель</b> повышает прочность и твёрдость сплавов.	Уменьшает ликвацию свинца, ухудшает притираемость и коррозионную стойкость сплавов.
---	---

<b>Сера</b> не оказывает заметного влияния.	Способствует диспергированию включений свинца (уменьшает ликвацию).
---	---

<b>Олово, цинк</b> повышают прочность, твёрдость сплавов.	Расширяет область не смешиваемости меди и свинца (способствует ликвации свинца).
---	--

<b>Сурьма</b> не оказывает влияния	Уменьшает ликвацию свинца.
------------------------------------	----------------------------

<b>Железо алюминий</b> снижает механические свойства (особенно алюминий) сплавов.	Ухудшает антифрикционные свойства сплавов.
---	--

## Сурьмяно-никелевые бронзы

### Легирующие компоненты

<b>Сурьма</b> повышает прочность, твёрдость и снижает удлинение сплава.	Незначительно повышает жидкотекучесть и уменьшает линейную усадку, повышает объёмную усадку (рассеянную), антифрикционные свойства и коррозионную стойкость, улучшает обрабатываемость резанием сплавов.
---	--

<b>Никель</b> повышает механические свойства сплавов.	Улучшает жидкотекучесть и уменьшает склонность к рассеянной усадочной пористости. Улучшает антифрикционные свойства сплавов.
---	--

<b>Алюминий, кремний</b> снижают механические свойства сплавов.	Ухудшают жидкотекучесть сплавов, снижают герметичность отливок.
---	---



### Химический состав безоловянных литейных бронз

Марка сплава	Массовая доля элементов, %					
	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
БрА9Мц2Л	8,0–9,5	–	1,5–2,5	–	–	–
БрА10Мц2Л	9,6–11,0	–	1,5–2,5	–	–	–
БрА9Ж3Л	8,0–10,5	2,0–4,0	–	–	–	–
БрА10Ж3Мц2	9,0–11,0	2,0–4,0	1,0–3,0	–	–	–
БрА10Ж4Н4Л	9,5–11,0	3,5–5,5	–	3,5–5,5	–	–
БрА11Ж6Н6	10,5–11,5	5,0–6,5	–	5,0–6,5	–	–
БрА9Ж4Н4Мц1	8,8–10,0	4,0–5,0	1,5–1,2	4,0–5,0	–	–
БрС30	–	–	–	–	27,0–31,0	–
БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	6,6–7,5	2,5–3,5	14,0–15,5	1,5–2,5	–	1,5–2,5
БрCuНЗЦ3С20Ф	–	–	–	3,0–4,0	18,0–22,0	3,0–4,0

### Области применения литейных безоловянных бронз

**БрА9Мц2 БрА10Мц2Л** -антифрикционные детали, работающие на истирание при давлении до 3,43 МПа и скоростях до 1,9 м/с (зубчатые колёса, шестерни, венцы зубчатых колёс, ходовые гайки, втулки и др.); корпуса насосов, тарелки клапанов, коробки сальников, а также различные детали, работающие в пресной воде, жидком топливе и паре при температуре до 250°С; могут заменять оловянные бронзы марок **БрО10Ц2** и **БрО8Ц4**.

**БрА9Ж3Л**-арматура для работы в различных средах при температурах до 250°С; антифрикционные детали, работающие на истирание (зубчатые колёса, втулки, поршневые кольца и др.); массивные детали, получаемые литьём в песчано-глинистые формы (гайки нажимных винтов, ободья и т.д.). Могут быть использованы для замены бронз **БрО10Ц2** и **БрО6Ц6С3**

**БрА10Ж3Мц2** - антифрикционные детали (цилиндрические и конические зубчатые колёса, шестерни, червячные колёса, гайки ходовых винтов, подшипники дизелей средней нагруженности и др.); детали в условиях высоких статических нагрузок (коромысла, втулки, маховики и др.); детали, работающие в среде соляной кислоты и сероводорода при температуре 30–90°С; арматура для работы в пресной воде, жидком топливе, паре при температурах до 260°С, кроме морской воды.

**БрА9Ж4Н4Мц1**-фасонное литьё неответственного назначения; арматура, работающая в морской воде.

**БрА7Мц15Ж3Н2Ц2**-антифрикционные детали.

**БрА10Ж4Н4Л, БрА11Ж6Н6**-детали для нефтяной, химической и пищевой аппаратуры детали работающие при температурах до **500°C**; антифрикционные детали, работающие на истирание при высоких давлениях и больших скоростях (шестерни, втулки, седла клапанов и др.); арматура работающая в морской воде. Бронза наиболее стойкая в морской воде по сравнению с другими безоловянными бронзами.

**БрС30**-антифрикционные детали (подшипники), работающие при высоких скоростях скольжения ( $v = 4\div 5$  м/с) и повышенных давлениях ( $p = 9,8\div 14,7$  МПа), знакопеременных нагрузках и температурах, когда обыкновенные баббиты непригодны (втулки и вкладыши нижних головок главного шатуна мощных дизелей, подшипники авиационных двигателей и др.).

**БрСу3Н3Ц3С20Ф**-антифрикционные детали, работающие на истирание (фрикционные и зубчатые колёса, шестерни, венцы червячных колёс, втулки-подшипники) при значительных скоростях скольжения и давления.

**БрА7Мц15Ж3Н2Ц2**-фнтифрикционные детали.

### 2.2.3 Латуни

Латунями называют сплавы меди с цинком. Содержание цинка в латунях не превышает 50%.

#### Классификация по химическому составу

Двойные (простые)

**Cu+Zn**

Многокомпонентные (сложные)

**Cu+Zn(Cu+Al+Mn+Fe+Sn+Si+Pb)**

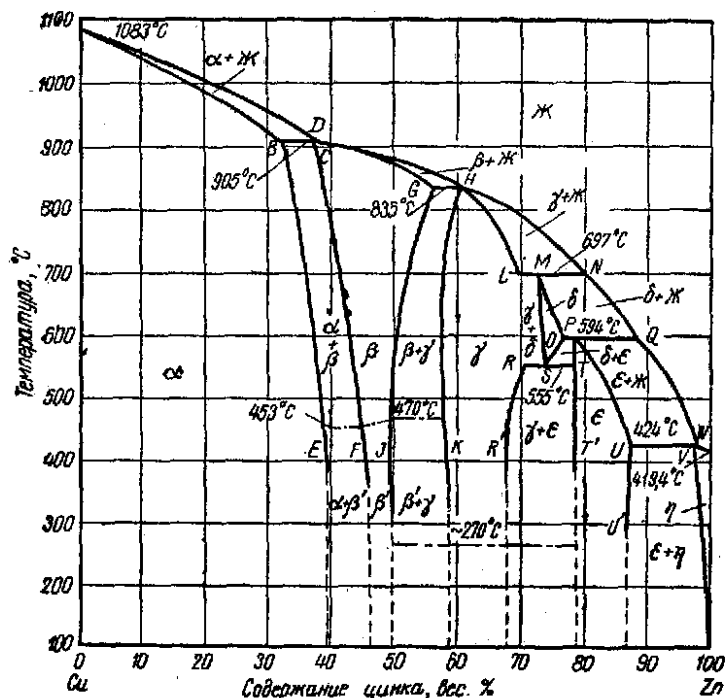
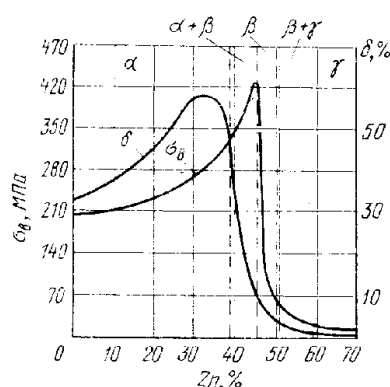


Диаграмма состояния Cu+Zn

#### Влияние Zn на механические свойства



После окончания всех превращений структура латуней может состоять из  $\alpha$  ( $\alpha+\beta$ ) или  $\beta$ -твердых растворов

# Влияние легирующих компонентов на свойства многокомпонентных латуней

## Свойства

Литейные	Механические и физические	Технологические и прочие
<p><b>Алюминий</b> несколько повышает жидкотекучесть сплава, уменьшает угар цинка при плавке и заливке форм повышает газонасыщаемость жидкого металла</p>	<p>Сильно сдвигает границу насыщения <math>\alpha</math>-твёрдого раствора в сторону меди, повышает механические свойства, но при содержании, когда в структуре сплава появляются <math>\gamma</math>-кристаллы, резко снижают пластичность последнего</p>	<p>Заметно повышает коррозионную стойкость, в том числе под напряжением и кавитационную стойкость сплава</p>
<p><b>Кремний</b> повышает жидкотекучесть сплава, уменьшает испаряемость цинка при плавке и заливке металла, повышает газонасыщаемость жидкого металла</p>	<p>Равномерно повышает прочность, твёрдость сплава. Относительное удлинение при содержании до <b>1% Si</b>, в латунях с <b>60–70% меди</b> и до <b>2–2,5% Si</b> в латунях с <b>80% меди</b> повышается, а при более высоком содержании заметно снижается</p>	<p>Улучшает обрабатываемость резанием, свариваемость, паяемость сплава. Улучшает герметичность отливок и качество их поверхности. Повышает коррозионную стойкость и антифрикционные свойства сплава</p>
<p><b>Марганец</b> несколько снижает жидкотекучесть сплава</p>	<p>Повышает механические свойства сплава. При содержании <b>более 4%</b> сообщает высокоцинковистым (<b>&gt;41% Zn</b>) латуням склонность к самопроизвольному растрескиванию при внутренних напряжениях</p>	<p>Повышает коррозионную стойкость сплава, а вместе со свинцом и антифрикционные свойства</p>
<p><b>Железо</b> снижает жидкотекучесть сплава</p>	<p>Измельчает структуру, что повышает механические и технологические свойства. Особенно благоприятно действует на латуни, содержащие алюминий, марганец и никель. Эти латуни отличаются высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Железо при содержании <b>более 0,03%</b> сообщает латуням магнитные свойства</p>	

<b>Олово</b> при содержании до <b>2–2,5%</b> заметного влияния на литейные свойства сплава не оказывают	На механические свойства сплава влияет так же, как алюминий, кремний, но в более слабой степени	Повышает коррозионную стойкость (особенно в морской воде) и антифрикционные свойства сплава
<b>Свинец</b> повышает жидкотекучесть алюминиевых и марганцевых латуней и заметно снижает жидкотекучесть кремнистой латуни	Ухудшает механические свойства алюминиевых и марганцевых латуней. На механические свойства кремнистой латуни при содержании до <b>3%</b> заметного влияния не оказывает, при большем содержании снижает прочность, относительное удлинение и ударную вязкость	Улучшает обрабатываемость резанием и антифрикционные свойства сплава, ухудшает герметичность отливок из кремнистой латуни и увеличивает склонность последних к образованию горячих трещин

### Влияние примесей на свойства латуней

#### Свойства

Механические и физические	Прочие
<b>Олово</b> повышает прочность и твёрдость, снижает пластичность сплава. В кремнистых латунях особенно резко снижает пластичность при содержании <b>более 0,25% Sn</b>	Заметно снижает герметичность отливок из кремнистых латуней
<b>Сурьма, висмут</b> уменьшают прочность, относительное удлинение и ударную вязкость сплава	Увеличивает склонность латуней к коррозионному растрескиванию
<b>Железо</b> при содержании до <b>1-1,3%</b> на механические свойства кремнистых латуней влияния не оказывает, при большем содержании заметно уменьшает относительное удлинение и ударную вязкость	Заметно снижает жидкотекучесть кремнистой латуни, ухудшает герметичность отливок
<b>Алюминий</b> в кремнистых латунях <b>ЛЦ16К4</b> при содержании до <b>1,2%</b> и <b>ЛЦ14КЗС3</b> при содержании до <b>0,8%</b> заметно не влияет на прочность сплава; повышает твёрдость и снижает пластичность	При содержании <b>более 0,4%</b> алюминий снижает антифрикционные свойства кремнистых латуней. Являясь источником загрязнения сплава, <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> повышает газонасыщаемость, что снижает герметичность отливок; повышает коррозионную стойкость
<b>Фосфор</b> повышает твёрдость и снижает относительное удлинение и ударную вязкость сплава	

<b>Мышьяк</b> повышает твёрдость, снижает прочность, относительное удлинение и ударную вязкость сплава	При содержании <b>около 0,02%</b> мышьяк повышает коррозионную стойкость в морской воде
--	---

#### Химический состав литейных латуней

Марка латуни	Основные элементы (остальное Zn)					
	Cu	Al	Fe	Mn	Si	Pb
ЛЦ40С	57,0–61,0	–	–	–	–	0,8–2,0
ЛЦ40Сд	58,0–61,0	–	–	–	–	0,8–2,0
ЛЦ40Мц1,5	57,0–60,0	–	–	1,0–2,0	–	–
ЛЦ40Мц3Ж	53,0–58,0	–	0,5–1,5	3,0–4,0	–	–
ЛЦ40Мц3А	55,0–58,5	0,5–1,5	–	2,5–3,5	–	–
ЛЦ38Мц2С2	57,0–60,0	–	–	1,5–2,5	–	1,5–2,5
ЛЦ30А3	66,0–68,0	2,0–3,0	–	–	–	–
ЛЦ25С2	70,0–75,0	–	–	–	–	1,0–3,0
ЛЦ23А6Ж3Мц2	64,0–68,0	4,0–7,0	2,0–4,0	1,5–3,0	–	–
ЛЦ16К4	78,0–81,0	–	–	–	3,0–4,5	–
ЛЦ14К3С3	77,0–81,0	–	–	–	2,5–4,5	2,0–4,0

Примечание. В латуни ЛЦ25С2 в качестве легирующего элемента добавляют 0,5–1,5 % Sn.

#### Применение литейных латуней

**ЛЦ40С** – фасонное литьё арматуры, втулок и сепараторов шариковых и роликовых подшипников;

**ЛЦ40Сд** – литьё под давлением деталей арматуры (втулки, тройники, переходники, сепараторы подшипников), работающих в среде воздуха и пресной воды;

**ЛЦ40Мц1,5** – изготовление деталей простой конфигурации, работающих при ударных нагрузках, а также детали узлов трения, работающих в условиях спокойной нагрузки при температурах выше 60°C;

**ЛЦ40МцЖ3** – несложные по конфигурации детали ответственного назначения, арматура морского судостроения, работающая при температуре до 300°C; массивные детали, гребные винты и их лопасти для судов с металлическим корпусом (кроме судов, предназначенных для службы в тропиках);

**ЛЦ40Мц3А** – детали несложной конфигурации;

**ЛЦ38Мц2С2** – конструкционные детали и аппаратура для судов; антифрикционные детали несложной конфигурации (втулки, вкладыши, ползуны, арматура вагонных подшипников);

**ЛЦ30А3** – коррозионно-стойкие детали, применяемые в судостроении и машиностроении

**ЛЦ25С2** – штуцера гидросистем автомобилей;

**ЛЦ23А6ЖЗМц2** – ответственные детали, работающие при высоких знакопеременных нагрузках, при изгибе, а также антифрикционные детали (нажимные винты, гайки нажимных винтов прокатных станков, венцы червячных колёс, втулки и другие детали);

**ЛЦ16К4** – сложные по конфигурации детали приборов и арматуры, работающих при температуре до **250°C** и подвергающиеся гидровоздушным испытаниям; детали, работающие в морской воде при условии обеспечения протекторной защиты (шестерни, детали узлов трения и др.);

**ЛЦ14КЗСЗ** - подшипники и втулки

## 2.3 Плавка медных сплавов

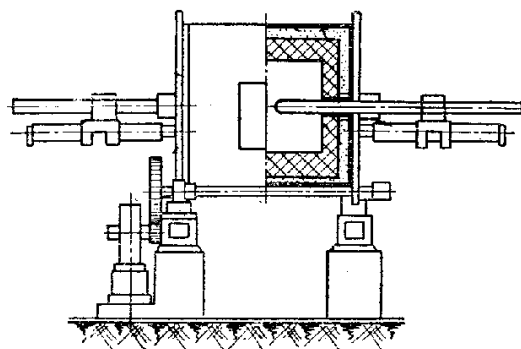
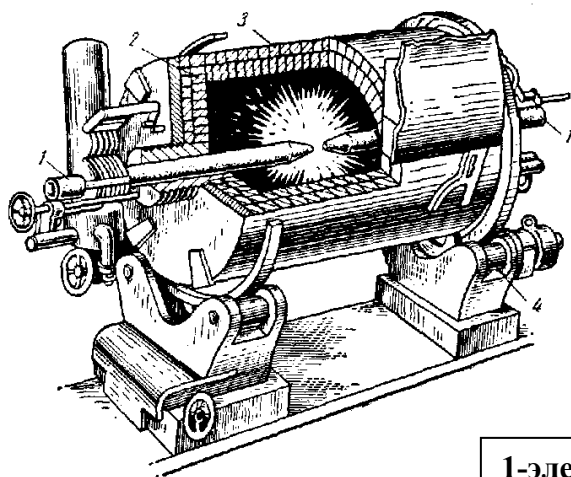
### 2.3.1 Плавильные печи

В литейном производстве для плавки сплавов тяжелых цветных металлов применяют топливные и электрические печи.

#### Электрические печи

##### Барабанная печь типа ДМБ

Для плавки медных сплавов хорошо зарекомендовали себя качающиеся электродуговые барабанные печи с независимой дугой, известные под маркой ДМ (дуговые медеплавильные). Такие печи изготавливают емкостью от 100 до 1000кг.

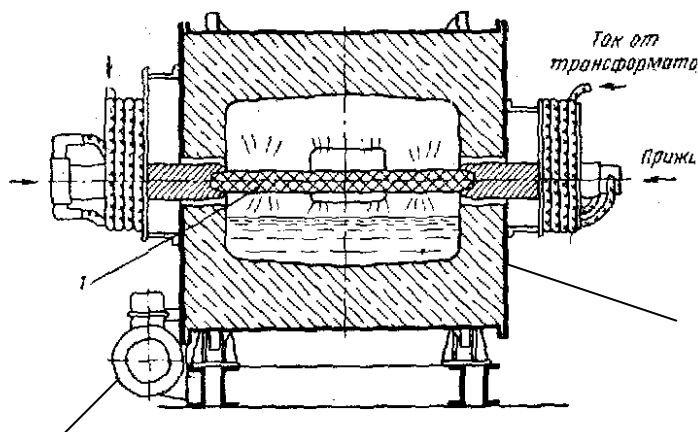


1-электроды графитовые; 2-футеровка;  
3 кожух печи; 4-механизм порота печи

**Преимущество** - просты по устройству, удобны при работе, небольшой удельный расход электроэнергии

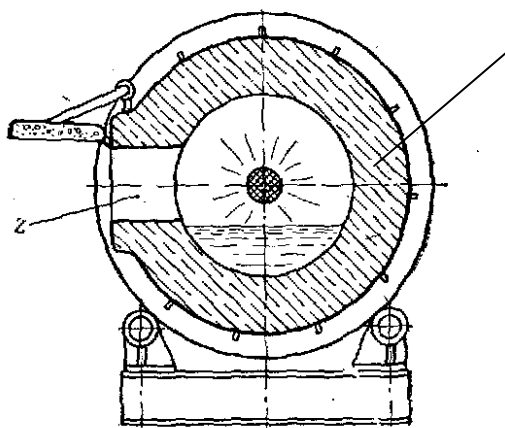
**Недостатки** - сильный шум при работе, трудности при загрузке, затруднена плавка под покровным флюсом

## Печь сопротивления типа СМБ



**Печи строятся емкостью от 200 до 1000 кг**

**Преимущества** – небольшой расход электроэнергии, отсутствие толчков тока, малый угар металла, увеличенный срок службы футеровки.

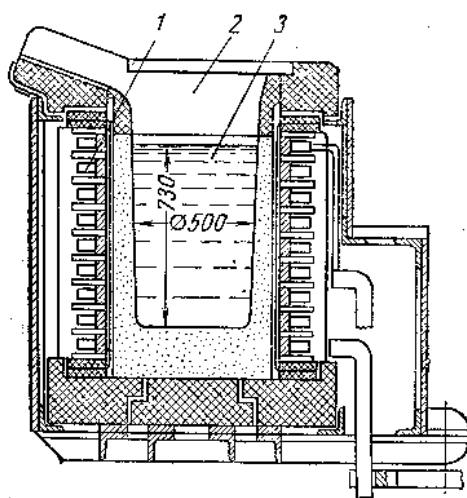


**Недостатки** – несколько повышенное время разогрева печи перед плавкой.

**1-электрод-нагреватель, 2-механизм поворота, 3-загрузочное окно, 4-футеровка, 5-стальной кожух**

## Печь индукционная тигельная

Емкость тигельных печей колеблется от нескольких килограммов до 1-3 тонн.



**Преимущества**- высокая производительность, хорошее перемешивание металла, наименьшая продолжительность процесса плавки, небольшие потери на угар, возможность быстрого перехода с выплавки одной марки на другую, меньшая возможность газонасыщения, простота и удобство обслуживания печи

**Недостатки** - низкая стойкость тиглей и футеровки, относительно низкая температура металла на поверхности тигля

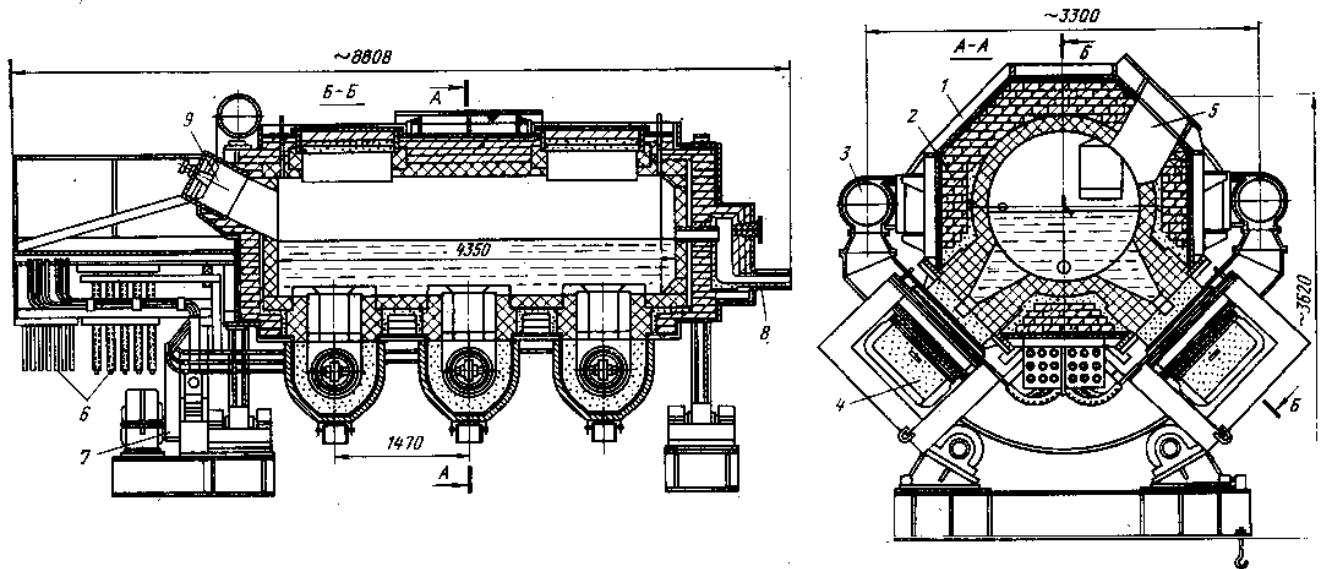
**1-индуктор,**

**2-тигель,**

**3-жидкий сплав**

## Печь канальная inductionная

Промышленность выпускает канальные inductionные печи емкостью от 0,4 до 40,0 тонн.

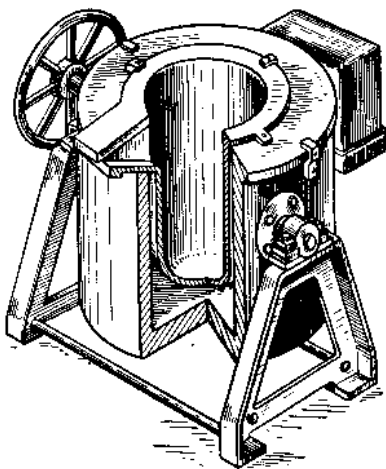


1-кожух, 2-футеровка, 3-система водоохлаждения, 4-индукционная единица, 5-окно для загрузки шихты, 6-токоподвод, 7-механизм порота печи, 8-сливная летка, 9-окно для загрузки флюса

**Преимущества-** низкие потери основного металла и легирующих элементов, высокий электрический и тепловой к.п.д., однородность химического состава выплавляемого сплава

**Недостатки-** пониженная стойкость футеровки, необходимость постоянно держать в печи сравнительно большое количество жидкого металла

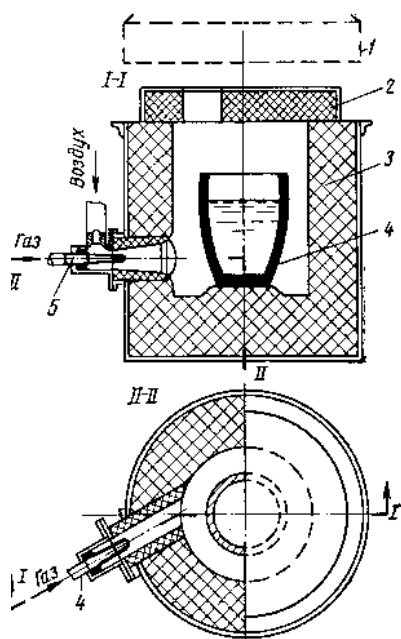
## Тигельные топливные печи



**Поворотная тигельная печь**

Тигельные топливные печи наиболее целесообразно использовать в литейных цехах с небольшим объемом производства, а также для приготовления лигатур. Разливку металла из тигельных печей осуществляют путем поворота печи; извлечения тигля из печи и последующей разливки металла по формам; разбора металла заливочными ковшами; использованием специальных устройств (роботов, дозаторов). Емкость широко используемых на практике тиглей составляет 150-500кг. Тигли изготавливают из графито-шамотной массы, чугуна, стали.





**Преимущества-** отсутствие непосредственного контакта твердой шихты и жидкого металла с продуктами горения топлива, меньшая окисляемость сплавов и насыщение их водородом, низкие безвозвратные потери металла, можно осуществлять рафинирование и модифицирование, простота конструкции и надежность в работе.

**Недостатки-** малая производительность, низкий к.п.д.(до10%), большой расход тиглей

**Стационарная тигельная печь**

**1-вытяжной зонт, 2-крышка, 3- тигель, 4-выемной тигель**

**Угар элементов в % в зависимости от условий плавки и состава**

Элемент	Шихта			
	свежая		сильно окисленная	
	При плавке в печах			
	Электрических и тигельных	Пламенных	Электрических и тигельных	Пламенных
Ca	1,0-2,0	2,0-3,0	2,0-3,0	3,0-5,0
Mg	2,0-3,0	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-10,0
Be	2,0-3,0	5,0-7,0	3,0-5,0	5,0-10,0
Al	0.5-1,0	2,0-3,0	1,0-2,0	3,0-5,0
Zr	0.5-1,0	3,0-5,0	3,0-5,0	5,0-10,0
Ti	0.5-1,0	2,0-5,0	1,0-2,0	5,0-10,0
Na	2,0-3,0	3,0-5,0	3,0-5,0	5,0-10,0
Cr	0.5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	4,0-5,0
Zn	1,0-3,0	2,0-4,0	2,0-3,0	3,0-5,0
Sn	0.5-1,0	0.5-1.5	0.5-1,0	1,0-2,0
Mn	0.5-1,0	2,0-5,0	1,0-2,0	5,0-10,0
Fe	0.5-1,0	0.5-1,0	0.5-1,0	0.5-1,0
Ni	0.5-1,0	0.5-1.5	0.5-1,0	0.5-1.5
Si	0.5-1.5	2,0-5,0	0.5-1,0	5,0-10,0
Cu	0.5-1,0	1,0-2,0	1,0-2,0	2,0-3,0
Pb	0.5-2.0	1,0-2,0	-	-

## 2.3.2 Шихтовые материалы

При плавке литейных медных сплавов в качестве шихтовых материалов применяют чистые металлы, отходы собственного производства(возврат), лигатуры, предварительные сплавы в чушках.

### Металлы первичные в чушках

#### Медь

Марка меди	Cu+Ag, % не менее	Примеси, % не более							
		Bi	Sb	As	Fe	Pb		S	O <sub>2</sub>
M00 <sub>б</sub>	99,99	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
M0 <sub>б</sub>	99,97	0,001	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,003	0,001
M1 <sub>б</sub>	99,95	0,001	0,002	0,002	0,004	0,004	0,002	0,004	0,003
M1 <sub>у</sub>	99,9	0,0005	0,002	0,001	0,005	0,004	0,001	0,004	—
M1	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,005	0,002	0,004	—
M1 <sub>р</sub>	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,005	0,002	0,005	0,01
M1 <sub>ф</sub>	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,005	0,002	0,005	—
M2 <sub>р</sub>	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,01
M3 <sub>р</sub>	99,5	0,003	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,01	0,01
M2	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,07
M3	99,5	0,003	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,01	0,08

#### Свинец

Марка	Pb, % не менее	Примеси, % не более				
		Ag	Cu	Zn	Bi	As
C0	99,992	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0,001	0,004	$5 \cdot 10^{-4}$
C1C	99,990	0,0010	0,001	0,001	0,005	0,001
C1	99,985	0,0010	0,001	0,001	0,006	0,001
C2C	99,970	0,0020	0,002	0,002	0,020	0,002
C2	99,950	0,0015	0,001	0,001	0,030	0,002
C3	99,900	0,0015	0,002	0,005	0,060	0,005
C3C	99,500	0,0100	0,090	0,070	0,150	0,050

**Цинк**

Марка цинка	Zn, % не менее	Примеси, % не более						
		Pb	Cd	Fe	Cu	Sn	As	
ЦВ00	99,997	0,00001	0,002	0,00001	0,00001	0,00001	—	
ЦВ0	99,995	0,003		0,002	0,001	0,001		0,005 0,0005 0,0005
ЦВ1	99,992	0,004		0,003				
ЦВ	99,99	0,005						
Ц0А	99,98	0,011	0,004	0,005				
Ц0	99,975	0,013						
Ц1С	99,95	0,015	0,01	0,01	0,002	0,001	—	
Ц1	99,95	0,02		0,01				
Ц2	98,7	1,0	0,2	0,05	0,005	0,002	0,0005	
Ц2С	98,6	1,3	0,003	0,04	0,01	0,001	0,01	
Ц3С	98,5	1,4	0,2	0,05	0,02	0,04	0,01	
Ц3	97,5	2,0	0,2	0,1	0,05	0,005	0,01	

**Олово**

Марка олова	Sn, % не менее	Примеси, % не более				
		As	Fe	Cu	Pb	Bi
О1пч	99,915	0,01	0,09	0,01	0,025	0,01
О1	99,900	0,01	0,009	0,01	0,04	0,015
О2	99,565	0,015	0,02	0,03	0,25	0,05
О3	98,49	0,03	0,02	0,10	1,0	0,06
О4	96,43	0,05	0,02	0,10	3,0	0,10

**Никель**

Марка никеля	Ni+С, % не более	Со, % не более	Примеси, % не более					
			С	Mg	Si	P	S	Fe
Н–0	99,99	0,005	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
Н–1у	99,95	0,10	0,10	0,001	0,002	0,001	0,001	0,1
Н–1	99,93	0,10	0,01	0,001	0,002	0,001	0,001	0,1
Н–2	99,8	0,15	0,02	—	0,002	—	0,003	0,04
Н–3	98,6	0,7	0,10	—	—	—	0,03	—
Н–4	97,6	0,7	0,15	—	—	—	0,04	—

## Сплавы первичные в чушках

### Бронза

Марка бронзы	Легирующие элементы, % (Cu–основа)				Примеси, % не более		
	Sn	Zn	Pb	Ni	Al	Si	Ni
БрО5Ц6С5	4,1–6,0	4,5–6,5	4,0–6,0	–	0,05	0,05	1,0
БрЩ3Ц13С4	2,1–3,5	9,0–16,0	3,0–6,0	–	0,02	0,02	2,0
БрО3Ц8С4Н1	2,6–4,0	7,0–10,0	3,0–6,0	0,5–2,0	0,02	0,02	–
БрО4Ц7С5	3,1–5,5	6,5–9,0	4,0–7,0	–	0,05	0,05	2,0

Примечание. В бронзах всех марок содержатся также примеси, % (мас. доля), не более: Sb 0,5 ; Fe 0,4; P 0,1; As 0,15; Mg 0,02; S 0,08; общая сумма определяемых примесей 1,3 % (мас. доля).

### Латунь

Марка латуней	Основные элементы, %(остальное Zn)					
	Cu	Pb	Si	Mn	Fe	Al
ЛС	56–61	0,8–1,9	–	–	–	–
ЛСд	57–61	0,8–1,5	–	–	–	–
ЛОС	60–75	1,0–3,0	–	–	–	–
ЛК	76–81	–	2,8–4,5	–	–	–
ЛК1	78–81	–	3,0–4,5	–	–	–
ЛК2	76–81	–	1,9–2,8	–	–	–
ЛКС	76–81	2,0–4,0	2,5–4,5	–	–	–
ЛМцС	56–60	1,5–2,5	–	1,8–2,5	–	–
ЛМцЖ	53–58	–	–	3,0–4,0	0,5–1,5	–
ЛА	63–68	–	–	–	–	2,2–3,0
ЛАЖМц	63–70	–	–	1,5–3,0	2,0–3,0	4,0–7,0

Примечание. В латунь ЛОС в качестве легирующего элемента добавляют 0,5–1,5 % Sn.

### Сурьма

Су00000	→	99,9999 %Sb	Су00	→	99,9 %Sb
Су0000П	→	99,9995 %Sb	Су0	→	99,9 %Sb
Су0000	→	99,999 %Sb	Су1	→	99,9 %Sb
Су000	→	99,99 %Sb	Су2	→	99,9 %Sb

Для изготовления сплавов применяют сурьму марок Су0, Су1, Су2

# Лигатуры

Марка	Химический состав		Температура плавления, °С
	Компонент	%	
Алюминий – медь	Al	50	580
	Cu	50	
	Al	67	548
	Cu	33	
	Al	40	648
	Cu	60	
Алюминий – никель	Al	80	780
	Ni	20	
Алюминий – медь – никель	Al	50	670
	Cu	10	
	Ni	40	
	Al	85	640
	Si	15	
Алюминий – марганец	Al	90	780
	Mn	10	
	Al	80	920
	Mn	20	
Алюминий – медь – марганец	Al	50	750
	Cu	40	
	Mn	10	
Алюминий – железо	Al	90	830
	Fe	10	
	Al	80	970
	Fe	20	
Алюминий – медь – железо	Al	70	830
	Cu	20	
	Fe	10	
Медь – сурьма	Cu	50	680
	Sb	50	
Олово – никель – сурьма	Sn	60	–
	Ni	10	
	Sb	30	
Медь – фосфор (МФ1, МФ2)	Cu	91,5–90	900
	P	8,5–10	1020

Медь – фосфор (МФЗ)	Cu P	93–92,5 7–8,5	900 1020
Медь – никель	Cu Ni	88–82 12–18	1050
	Cu Ni	86–80 14–20	1169
	Cu Ni	80–70 20–30	1200
	Cu Ni	80–63 20–37	1250
Алюминий – медь – титан	Al Cu Ti	83 14 3	650
Медь – кремний	Cu Si	84 16	800
	Cu Si	75 25	1000
Медь – марганец	Cu Mn	73 27	860
Медь – бериллий	Cu Be	93–85 7–15	900
Медь – железо	Cu Fe	90–95 5–10	1450
Медь – кадмий	Cu Cd	72 28	900
Медь – сурьма	Cu Sb	50 50	670
Медь – хром	Cu Cr	94-96 6-4	1140-1120
Медь – бор	Cu B	96-97 4-3	1060
Медь – цирконий	Cu Zr	92-88 8-12	1000-964

## Флюсы покровные

Состав флюса, %	Расход, %	Характеристика флюса	Назначение флюса
55CaF <sub>2</sub> ; 35MnO <sub>2</sub> ; 10Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,5-3,0	Обладает хорошей защитной способностью. Инертен к футеровке печи. Температура плавления около 1000°C.	Плавка медных сплавов как покровный флюс при окислительном и восстановительном процессах
60Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ; 33CaF <sub>2</sub> ; 7Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	2,5-3,0	Хорошо защищает расплав от взаимодействия с окружающей печной атмосферой	Плавка различных сплавов на основе меди, а также при плавке отходов медных сплавов
50Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ; 50CaF <sub>2</sub> ;	2,0-3,0	Обладает хорошей защитной способностью.	Применяется как покровный флюс при плавке алюминиевых бронз
100Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ;	0-2,5	Обладает хорошей защитной способностью. Текуч и не смачивается металлом	Применяется как покровный флюс при плавке латуней в индукционных печах
35NaCl 15CaF <sub>2</sub> ; 50Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	2,0-3,0	Покрывная способность хорошая. Растворяет и адсорбирует окись алюминия	Переплавка стружки алюминиевых бронз
60NaCl; 40Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>		Покрывная способность хорошая.	2,0-3,0
Древесный уголь, бой стекла, бура	2,0-3,0		Применяется в качестве защитных покрытий. Например, для оловянных бронз и нелегированных латуней применяется древесный уголь. Для марганцевых латуней-древесный уголь с бурой. Плавка латуней и бронз производится под флюсом из смеси буры и стеклянного боя
85NaCl; 15NaAlF <sub>6</sub>	2,0-3,0		Переплавка алюминиевых бронз

25Na <sub>2</sub> O 65SiO <sub>2</sub> 10NaCl	2,0-3,0	Обладает удовлетворительной покрывной способностью	Плавка латуней. Флюс применяется только после предварительной переплавки и дробления
--	---------	--	---

100 древесного угля			Плавка медноникелевых сплавов с большим содержанием меди (мельхиор, манганин)
------------------------	--	--	--

100Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>			Плавка медноникелевых сплавов с большим содержанием меди (мельхиор, манганин)
--	--	--	--

100Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ;		Обладает хорошей покрывной способностью. Плотность и температура плавления меньше чем сплава. Очищает расплав от серы	Плавка сурьмяноникелевой бронзы
--------------------------------------	--	--	------------------------------------

#### Флюсы рафинирующие

50ZnO; 50Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	6,0% на 1,0%Al	Окись цинка обеспечивает окисление лишь алюминия, не вызывая потерь основных компонентов сплава	Рафинирование оловянных бронз и латуней от алюминия
---	-------------------	--	---

50ZnO; 50NaCl;		Обладает удовлетворительной рафинирующей способностью	Очистка медных сплавов от кремния
----------------	--	--	--------------------------------------

100Cu <sub>2</sub> O	4,0% на 1,0% Al	Рафинирующая способность хорошая	Плавка оловянных бронз и латуней для очистки их от алюминия
----------------------	--------------------	-------------------------------------	---

50Cu <sub>2</sub> O; 50NaCl;		Рафинирующая способность хорошая	Плавка оловянных бронз и латуней для очистки их от кремния
------------------------------	--	-------------------------------------	--

100PbO		Рафинирующая способность хорошая, но вызывает значительные потери олова и цинка и обогащает сплав свинцом	Плавка оловянных бронз и латуней для очистки их от алюминия
--------	--	---	---

100MnO <sub>2</sub>		Рафинирующая способность хорошая, но вызывает потери олова и цинка	Плавка оловянных бронз и латуней для очистки их от алюминия и железа
---------------------	--	--	--



### 2.3.3 Плавка оловянных бронз

В качестве шихтовых материалов применяют: медь **МО, М1, М2** ГОСТ 859-78; олово не ниже марки **03** ГОСТ 860—75; свинец всех марок ГОСТ 3778-77; цинк марок **Ц0, Ц1, Ц2, Ц3** ГОСТ 3640-79; медь **фосфористую** всех марок ГОСТ 4515—81; никель **Н1** и **Н2** ГОСТ 849—70; паспортные **чушки оловянных бронз** ГОСТ 614—73 соответствующего химического состава; **чушки переплава** известного химического состава, полученного из стружки; **возврат** и **отходы** собственного производства.

**Литники** и **отходы** собственного производства разрешается вводить в шихту в количестве **не более 80%**, чушки переплава из стружки—до 30%.

Если в состав металла предыдущей плавки входили вредные для оловянной бронзы элементы (например, кремний в кремнистой или алюминий в алюминиевой бронзах), необходимо провести промывочную плавку.

Оловянные бронзы плавят в различных печах. Плавку в индукционных печах ведут в графито-шамотных, графито-карборундовых и графитовых тиглях. При плавке оловянных бронз в пламенных и электрических (типа ДМБ, СМБ) их футеруют шамотным кирпичом.

В разогретый до **1000°C** тигель загружается **катодная медь** подогретая до **300-400°C** и засыпается сухой измельченный древесный **уголь марки А** (10-12мм.), с таким расчетом, чтобы поверхность металла после расплавления была покрыта равномерно слоем угля толщиной **10-20мм.** В качестве флюса может использоваться **бура** ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) в количестве **0,3-0,5%** от массы садки.

Никель, если он входит в состав шихты, загружают вместе с медью.

**Расплав** нагревают до температуры **1200°C** и **раскисляют** фосфористой медью в количестве **0,3—1,0%** от массы меди (в зависимости от степени окисленности металла). МФ вводится подогретой до **200°C**. Затем расплав тщательно перемешивают, удаляют шлак и в несколько приемов вводят в него отходы и чушки переплава из стружки, входящие в состав шихты. Каждую новую порцию отходов и чушки переплава из стружки вводят после расплавления предыдущей. После расплавления отходов металл подогревают до **1150-1200°C** и вводят **цинк** подогретый до температуры **150°C**. Ванну тщательно перемешивают, сплав вторично подогревают и вводят в него предварительно подогретое олово. **Свинец**, если он входит в состав шихты, загружают **вместе с оловом**. После ввода олова расплав тщательно перемешивают, затем подогревают до **1250-1280°C**, выдерживают в течение **20-30мин.** и берут технологическую пробу на изгиб.

Температура выпуска бронзы **1150-1180°C**. Сплав выпускают в подогретый ковш.

При заливке тонкостенных отливок рекомендуется добавка МФ в количестве **0,1-0,2%** от массы металла для повышения жидкотекучести.

При разливе сплава окислы и шлак придерживают у носка ковша графитовой счищалкой, чтобы не допустить их попадания в форму.

Заливку форм производят ровной струей при температурах, указанных в технологических картах.

### 2.3.4 Плавка алюминиевых бронз

Алюминиевые бронзы можно плавить в индукционных и дуговых электрических печах, а также в тигельных и пламенных. Плавку ведут в окислительной атмосфере, в графито-шамотных тиглях и в печах футерованных шамотом.

Для предохранения металла от окисления и газонасыщения плавку необходимо вести под флюсом.

В качестве флюса можно использовать: **древесный уголь** марки А (ГОСТ 7654-84), **стекло, буру** (ГОСТ 8429-57), **соль** поваренная (ГОСТ 253-57) или смесь  $35\%NaCl + 15\%CaF_2 + 50\%Na_3AlF_6$

В качестве исходных шихтовых материалов применяют: марганец металлический всех марок (ГОСТ 6008—82); мягкое железо (обрезки листов, проволоки или дробленая стружка, очищенная от масла, эмульсий и т. д.); лигатуры, содержащие железо, марганец, никель и алюминий; медь фосфористую всех марок отходы кузнечно-прессовых цехов соответствующих марок и стружку алюминиевых бронз, получаемую после механической обработки слитков и отливок; чушки, переплава известного химического состава, полученного из стружки.

Допускается применение тройных лигатур, содержащих, кроме железа, марганца, никеля и алюминий.. В исключительных случаях указанные элементы можно вводить в состав шихты в чистом виде, без лигатур.

Оборотные **отходы** литейного цеха и переплав стружки известного химического состава разрешается вводить в шихту до **30—40%** массы садки.

Если в печи до приготовления алюминиевых бронз выплавляли другие сплавы, содержащие олово, свинец, кремний или цинк, то необходимо провести промывочную плавку медью.

Расчет шихты проводят по среднему химическому составу выплавляемого сплава в соответствии с ТУ или ГОСТами. После проведения первых плавки расчет шихты корректируется.

До начала плавки печь тщательно очищают от остатков металла и шлака

Порядок загрузки:

на свежей шихте - флюс, медь, МФ, лигатуры;

на отходах - флюс, паспортная бронза в чушках, возврат, МФ, лигатуры, стружка.

Флюс дается на разогретую до **1000°C**. Одновременно с флюсом в печь загружают медь.

При плавке бронз БрА9ЖЗЛ, БрА10ЖЗМц2, БрА10Ж4Н4, БрА11Ж6Н6 и БрА9Ж4Н4Мц1 с медью загружают и железо. Если все количество меди нельзя одновременно загрузить в печь, оставшуюся часть вводят по мере расплавления предыдущей.

Расплавление шихты ведут с максимальной интенсивностью.

После расплавления и перегрева меди до **1100-1200°C** производится ее **раскисление** МФ в количестве **0,1-0,2%** от массы садки. Металл тщательно перемешивают и дают **отстояться** в течение **10-15 мин.** Затем в отстоявшуюся медь вводят лигатуры.

Лигатуры вводят в следующей последовательности. При изготовлении любого сплава в последнюю очередь вводят медноалюминиевую лигатуру (или чистый

алюминий), а перед ней—медь - железом или медь- алюминий -железо и лигатуру медь — марганец или металлический марганец. Все лигатуры перед применением подогревают.

Если никель, железо и марганец добавляют в сплав без лигатур, то последовательность их загрузки следующая: железо, марганец, никель. Чистые металлы (кроме алюминия) вводят перед лигатурами.

Алюминий, подогретый предварительно до 150°C, вводят в несколько приемов, перемешивая сплав после введения каждой порции.

По окончании ввода лигатур металл хорошо перемешивают и измеряют температуру. При температуре металла 1150-1180°C берут пробу на изгиб и газонасыщенность

При повышенном содержании газов в сплаве, что определяется по технологической пробе, производят выдержку и охлаждение расплава до температуры начала кристаллизации.

Затем расплав быстро нагревают до 1200—1250°C и выпускают в нагретый ковш.

### 2.3.5 Плавка латуней

Нецелесообразно применять для плавки латуней электродуговые печи, так как в районе дуги будет большой угар цинка.

В качестве шихтовых материалов могут применяться: медь марки М00, М0 (ГОСТ859—79); чушки паспортной латуни (ГОСТ 1020—77); цинк марки Ц0, Ц1 (ГОСТ3640—79); алюминий первичный А85, А8 (ГОСТ11069-74); марганец металлический Мр1 (ГОСТ 6008-82); свинец марки С0, С1, С2, С3 (ГОСТ3778-77); лигатуры; возврат.

Химический состав всех шихтовых материалов, поступающих на плавку, должен быть предварительно проверен. Стружку кремнистой латуни предварительно переплавляют, а ее химический состав проверяют в центральной лаборатории завода. Шихтовые материалы должны быть очищены от песка, тщательно взвешены, а перед загрузкой в печь подогреты до 120-200°C. Стружку использовать только после прокалки для удаления влаги и масла.

Плавку следует вести под флюсом. В качестве флюса используют стеклянный бой, поваренную соль, буру, соду. Флюсы перед введением в печь должны быть сухими и не содержать влаги. Флюс необходимо вводить на подину печи, разогретую до 1000°C в таком количестве, чтобы после расплавления металла слой шлака был толщиной 10-15мм.

Порядок загрузки: на свежей шихте - флюс, медь, МФ, лигатура или металлический марганец, алюминий, цинк, свинец; на отходах - флюс, отходы, латунь чушковая, поверх отходов медь, металлический марганец, лигатура, цинк, свинец, стружка.

Отходы и медь загружаются вместе в начале плавки. В конце плавки шлак удаляется и присаживается стружка, смешанная с флюсом.

После расплавления отходов сплав нагревают до температуры 1120—1150°C, металл тщательно перемешивают и раскисляют фосфористой медью в количестве 0,1-0,2% от массы садки и вводят металлический марганец или лигатуру медь-марганец.

После перемешивания при температуре металла **1150-1180°C** в отключенную печь вводится лигатура (алюминий- медь, алюминий-железо). Лигатуры вводятся отдельными порциями и после каждой порции металл тщательно перемешивается ошлакованными гребками.

После ввода всего алюминия сплав раскисляют фосфористой медью и делают **выдержку** в течение **15-20мин.** при отключенной печи, и вводят цинк кусками массой до 20кг.

Сплав **подогревается** до **1180°C**, тщательно перемешивают, счищают шлак и берут технологические пробы па излом и газонасыщенность.

Угол изгиба пробы до разрушения должен быть не менее 30°.

Нормальная проба на газонасыщенность должна давать в стакане воронкообразную усадку.

**Температура** металла **перед выпуском 1100-1180°C.**

### **2.3.6 Особенности литейной формы**

Фасонные отливки из медных сплавов широко используются в различных областях техники. Изготавливают их всеми известными способами. Основным способом является литье в разовые формы (80%). Литьем в кокиль, под давлением и другими специальными способами производится примерно 20% отливок.

Выбор способа литья определяется количеством, конструкцией и конфигурацией отливок, требованиями к свойствам отливок.

Технология изготовления фасонных отливок и их качество во многом определяется интервалом кристаллизации сплавов и их склонностью к окислению в процессе заполнения литейных форм.

Медные сплавы в жидком состоянии легко окисляются, поэтому для устранения разбрызгивания и окисления их при заливке необходимо, чтобы расплав поступал в форму плавно. Для этого применяют литниковые системы незаполненные, расширяющиеся с соотношением  $F_{ст} : F_{шл} : F_{пит} = 1 : 2 : 2$ ; или  $1 : 2 : 4$ ; или  $1 : 4 : 4$ , с верхним боковым, сифонным (нижним) и щелевым подводом металла в форму. Для отделения оксидных плен и шлаковых включений литниковые системы снабжают центробежными шлакоуловителями. Для этой же цели в литниковые системы устанавливают сетки, а также заливают через зернистые фильтры. Проверку правильности выбранной конструкции и размеров литниковой системы проверяют по скорости подъема металла. Для оловянных бронз  $v_{п} = 3,0-4,0$  см/с, для латуней  $v_{п} = 3,5-4,5$  см/с.

В практике при литье медных сплавов применяют открытые прибыли, прибыли с обогревом, закрытые сферические прибыли, прибыли с атмосферным и газовым давлением.

Для сплавов с узким интервалом кристаллизации (латуни ЛЦ40С, алюминиевых бронз и латуней) характерно образование сосредоточенных усадочных раковин и почти полное отсутствие пористости. Изготовление отливок из таких сплавов требует установки в тепловых узлах массивных прибылей.

Сплавы с широким интервалом кристаллизации (оловянные бронзы, медно-никелевые сплавы, кремнистые бронзы и др). склонны к образованию рассеянной газоусадочной пористости, предотвратить появление которой с помощью прибылей

затруднительно. Поэтому отливки из этих сплавов изготавливают с малыми по объему прибылями или без них.

Алюминиевые бронзы и другие сплавы с легкоокисляющимися компонентами заливают через расширяющиеся литниковые системы, предназначенные для отделения оксидных плен и обеспечения минимально допустимой скорости течения металла на выходе из питателей. Как правило, используют расширяющиеся литниковые системы с нижним или сифонным подводом металла; предусматривают устройство центробежных шлакоуловителей, установку сеток и зернистых фильтров. Более простые литниковые системы применяют при литье оловянных бронз.

Формы изготавливают из формовочных материалов, обладающих минимальной газотворной способностью, небольшой влажностью, максимальной газопроницаемостью и высокой прочностью в сыром и сухом состоянии. Применяют, как правило, мелкозернистые пески, что позволяет получать чистые поверхности отливок и более точные их размеры. Отливки массой до 40 кг и толщиной стенок до 15 мм получают литьем в сырые формы. Крупные и толстостенные отливки требуют применения сухих или подсушенных форм. Сушку форм осуществляют в сушильных печах при температуре 300-500°C. Длительность сушки зависит от толщины стенки формы, влажности смеси, степени ее уплотнения и может составлять 6-40 часов. Поверхностную подсушку проводят на глубину 10-40 мм.

Для получения требуемой чистоты литой поверхности деталей из медных сплавов (особенно из оловянных бронз) за исключением отливок простой конфигурации и небольшой массы (2-5 кг), формы окрашивают. Получили распространение краски: водная талько-бентонитовая, графито-бентонитовая и быстросохнущая спиртовая с цирконовым наполнителем.

Литье в гипсовые, цементные и оболочковые формы применяют для изготовления отливок с повышенной чистотой поверхности.

Обрезку литников и прибылей производят обычно на фрезерных станках или дисковых пилах. В цехах литья под давлением для удаления литников используют прессы.

Очистку поверхностей отливок производят в галтовочных барабанах или гидropескоструйных камерах.

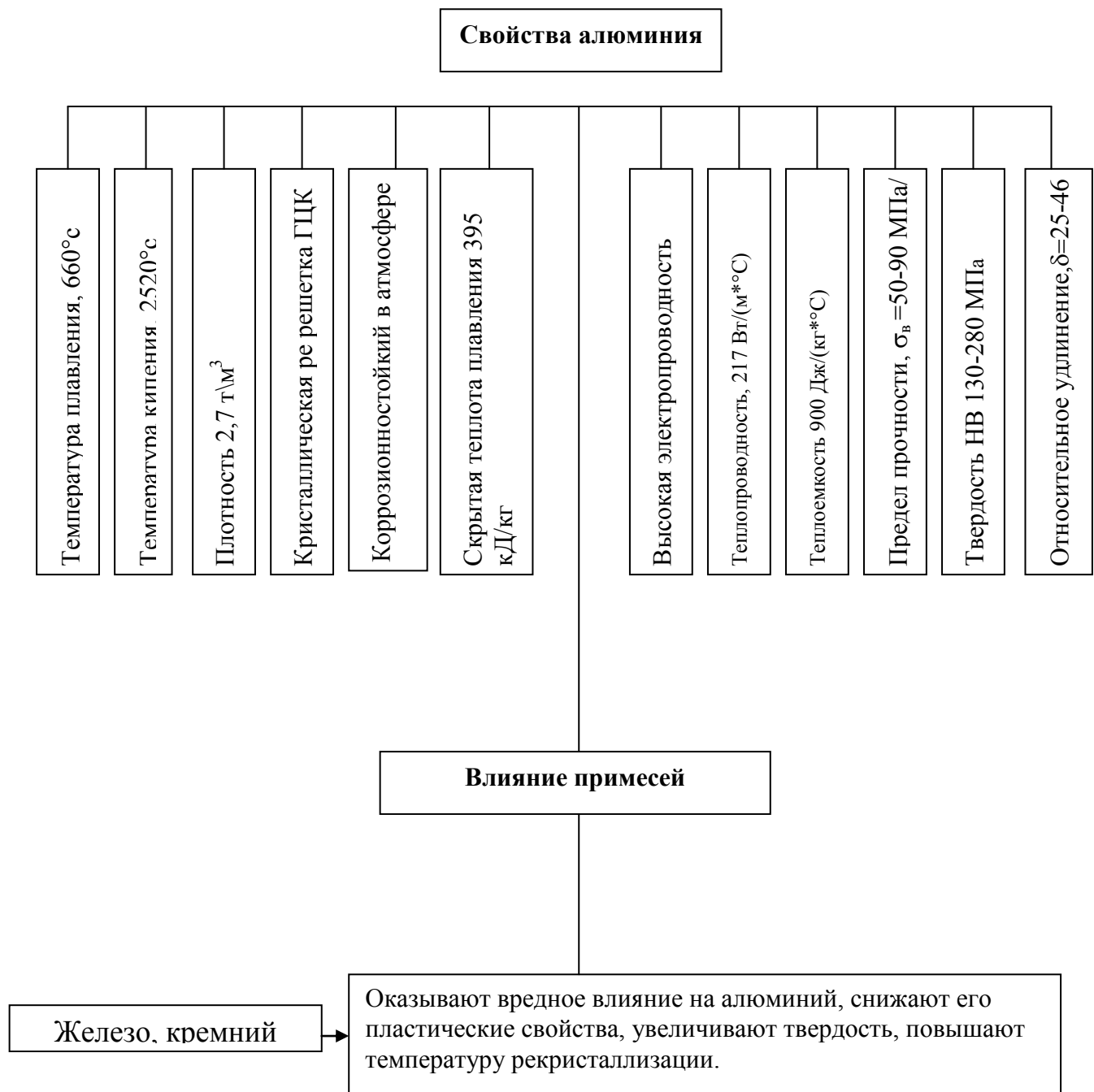
Большинство отливок из медных сплавов сдают заказчику без термической обработки. Иногда для снятия остаточных напряжений отливки подвергаются отжигу. Отливки из оловянных бронз отжигают при температуре 650-800°C с выдержкой в течение 2-2,5 часов, охлаждение с печью до 300-350°C. . Отливки из кремнистой латуни отжигают при температуре 750-760°C с выдержкой в течение 1,5-2 часов, охлаждение с печью до 250-300°C.

### 3 Алюминий и его сплавы

#### 3.1 Алюминий и его свойства

Алюминий легкий и пластичный металл. Алюминий обладает хорошей коррозионной стойкостью в обычных атмосферных условиях благодаря высоким защитным свойствам плотной окисной пленки  $Al_2O_3$ , образующейся на поверхности при соприкосновении с кислородом воздуха.

Чистый алюминий находит ограниченное применение в технике и в основном используется для изготовления сплавов на его основе.



Промышленность предусматривает выпуск тринадцати марок первичного алюминия.

Таблица –Химический состав первичного алюминия по ГОСТ 11069 – 74

Марка алюминия	Al, не менее	Примеси, массовая доля %,не более					Сумма, определяемых примесей
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti	
Алюминий особой чистоты							
A999	99,999	—	—	—	—	—	0,001
Алюминий высокой чистоты							
A995	99,995	0,0015	0,0015	0,001	0,001	0,001	0,005
A99	99,99	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,010
A97	99,97	0,015	0,015	0,005	0,003	0,002	0,03
A95	99,95	0,030	0,030	0,015	0,005	0,002	0,05
Технический алюминий							
A85	99,85	0,08	0,06	0,01	0,02	0,01	0,15
A8	99,80	0,12	0,10	0,01	0,04	0,02	0,20
A7	99,70	0,16	0,16	0,01	0,04	0,02	0,30
A7E	99,70	0,20	0,08	0,01	0,04	0,01 <sup>*1</sup>	0,30
A6	99,60	0,25	0,20	0,01	0,06	0,03	0,40
A5	99,50	0,30	0,30	0,02	0,06	0,03	0,50
A5E	99,50	0,35 <sup>*2</sup>	0,12	0,02	0,04	0,01 <sup>*1</sup>	0,50
A0	99,0	0,50	0,5	0,02	0,08	0,03	1,0

Алюминий высокой чистоты в основном применяют для производства химической аппаратуры, электрических конденсаторов, а так же для приготовления высокопрочных алюминиевых сплавов.

### 3.2 Алюминиевые сплавы

Сплавы на основе алюминия делятся на две группы - **литейные** и **деформируемые**. Для **изготовления** фасонных отливок **применяют литейные алюминиевые** сплавы, которые имеют низкую плотность и высокую удельную прочность. ГОСТ 2685 - 75 устанавливает 37 марок литейных алюминиевых сплавов. В состав алюминиевых сплавов входят легирующие добавки, которые разделяются на три группы.

**Первая группа** - основные легирующие компоненты **Mg, Cu, Si**, способствующие резкому изменению природы сплава.

**Вторая группа** - вспомогательные легирующие элементы **Mn, Cr, V, Ti, Zr, Mo, Ni, Nb**. Вводятся в сплав в значительно меньшем количестве чем компоненты первой группы. **Улучшают физико - механические свойства**.

**Третья группа** - модифицирующие элементы **Na, K, Be, Ca, Sr, Bi, Cd** используются в виде небольших добавок до **0,2%** для **улучшения технологических свойств, измельчения зерна**.

В зависимости от химического состава алюминиевые сплавы делят на пять групп:

- сплавы на основе системы **Al - Si**;
- сплавы на основе системы **Al - Si - Cu**;

- сплавы на основе системы **Al - Cu**;
- сплавы на основе системы **Al - Mg**;
- сложнолегированные сплавы.

Качество литейных алюминиевых сплавов зависит от механических и технологических свойств. Механические свойства зависят не только от содержания легирующих элементов, но и от содержания примесей. Прочность большинства алюминиевых сплавов можно повысить термической обработкой.

Наиболее распространенными литейными алюминиевыми сплавами являются силумины, обладающие хорошими механическими и высокими литейными свойствами. Для получения мелкозернистой структуры необходимо применять модифицирование.

Сплавы на основе системы Al-Si-Cu характеризуются хорошими литейными свойствами, что объясняется оптимальным сочетанием содержания Si и Cu. Такое содержание легирующих элементов позволяет применять термическую обработку для повышения механических свойств.

Сплавы на основе системы Al-Cu обладают способностью к термической обработке, после чего повышаются их механические свойства. Литейные свойства хуже чем у силуминов.

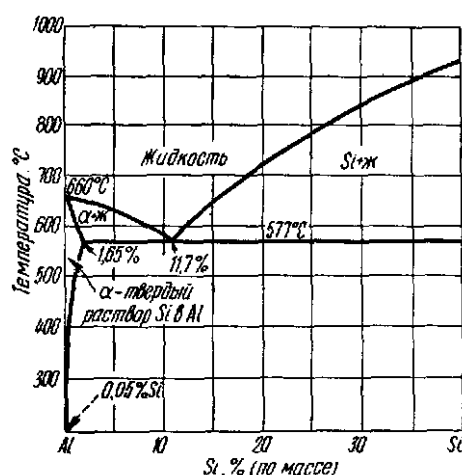
Более низкие литейные свойства у сплавов алюминия с магнием, но прочность и коррозионная стойкость у них выше, чем у силуминов.

Меньше применяются сплавы алюминия с медью и цинком, так как у них имеют большую плотность и литейные свойства у них хуже.

Многокомпонентные (жаропрочные) сплавы широко применяются в авиации.

Алюминиевые сплавы обладают высокой склонностью к окислению и насыщению водородом.

### 3.2.1 Сплавы системы Al – Si



Из диаграммы состояния алюминий-кремний следует, что кремний при содержании 11,7% образует эвтектику α(твердый раствор кремния в алюминии)+Si.

Наличие эвтектической составляющей благоприятно сказывается на литейных свойствах, начиная с 5-7% Si. Силумины содержат кремния более 5%

Микроструктура двойных сплавов состоит у доэвтектических силуминов из α твердого раствора и эвтектики (α+Si). А у заэвтектических из эвтектики (α+Si) и свободных выделений кремния

Диаграмма равновесного состояния Al – Si

Таблица 3.1-Химический состав алюминиевых сплавов первой группы



Марка сплава	Легирующие элементы (Al-основа)			
	Mg	Si	Mn	Ti
1	2	3	4	5
АЛ2	-	10,0-13,0	-	-
АЛ4	0,17-0,3	8,0-10,5	0,2-0,5	-
1	2	3	4	5
АК9(АЛ4В)	0,20-0,4	8,0-11,0	0,2-0,5	-
АЛ9	0,2-0,4	6-8	-	-
АК7(АЛ9В)	0,2-0,5	6-8	-	-
АЛ4-1	0,17-0,3	8-10,5	0,2-0,5	0,08-0,15
АЛ9-1	0,25-0,4	7-8	-	0,08-0,15
АЛ34(ВАЛ5)	0,35-0,55	6,5-8,5	-	0,1-0,3

Алюминиевые сплавы этой группы отличаются высокими литейными свойствами и герметичностью изготовленных из них отливок. У силуминов удовлетворительная коррозионная стойкость.

По содержанию Si все они, за исключением сплава АЛ2, являются доэвтектическими, кристаллизуются в узком интервале, имеют небольшую линейную усадку, высокую жидкотекучесть, малую склонность к образованию трещин и рассеянной усадочной пористости.

Сплавы широко используют в авиационной, автомобильной промышленности, приборостроении, судостроении, электротехнике и машиностроении.

При изготовлении толстостенных отливок сплавы обязательно модифицируют, так как до модифицирования они имеют низкую пластичность, обусловленную грубыми выделениями эвтектического кремния.

**Модифицирование** осуществляют введением в расплав **0,05-0,1% Na** или **0,06-0,08% Sr**. Эффект модифицирования тем больше, чем выше содержание Si в расплаве. Для силуминов, содержащих менее 5,0-7,0% Si, модифицирование не оказывает влияния на механические свойства.

Модифицированные силумины имеют более высокие механические свойства, но они не могут быть улучшены термической термообработкой, так как Si не образует с Al упрочняющих соединений. Введение в силумины 0,2-0,4% Mg позволяет проводить упрочнение термообработкой.

Наиболее вредной примесью является железо, образующее с компонентами сплава фазу  $\beta$  (Al Fe Si), кристаллизующуюся в форме грубых иглообразных кристаллов резко снижающих пластичность. Для нейтрализации вредного влияния железа в сплавы вводят марганец, а для повышения прочности легируют магнием. Степень вредности железа снижается по мере измельчения структуры. Поэтому допустимое содержание железа в силуминах при литье в песчаные формы 0,6%, при литье в кокиль до 1,0%, при литье под давлением до 1,5-2,0%.

### 3.2.2 Сплавы системы Al - Si - Cu

Таблица 3.2-Химический состав алюминиевых сплавов второй группы

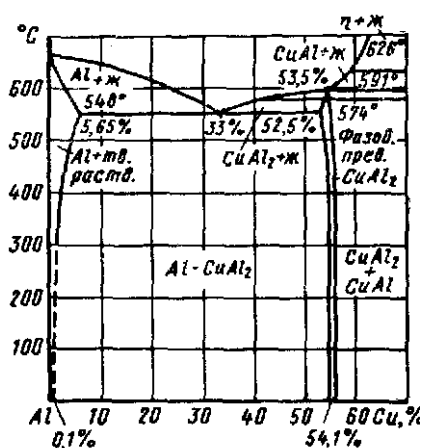
Марка сплава	Легирующие элементы (Al-основа)				
	Cu	Si	Mg	Mn	Ti
1	2	3	4	5	6
АЛЗ	1,5-3,0	4,5-5,5	0,35-0,60	0,6-0,9	-
АК5М2(АЛ3В)	1,5-3,5	4,0-6,0	0,20-0,40	-	-
АЛ5	1,0-1,5	4,5-5,5	0,35-0,60	-	-
АЛ5-1	1,0-1,5	4,5-5,5	0,40-0,55	-	0,08-0,15
АЛ6	2,0-3,0	4,5-6,0	-	-	-
АК5М7(АЛ10В)	6,0-8,0	4,5-6,5	0,2-0,5	-	-
АК7М2(АЛ14В)	1,5-3,0	6,0-8,0	0,2-0,6	-	-
АК4М4(АЛ15В)	3,5-5,0	3,0-5,0	-	0,2-0,6	-
АЛ32	1,0-1,5	7,8-8,5	0,3-0,5	0,1-0,3	-

Сплавы этой группы в качестве основных легирующих элементов содержат **кремний 4-8%**, **медь 1-8%** и **магний 0,2-0,6%**, за исключением **сплава АЛ6**, который магния не содержит.

Их широко используют для изготовления отливок повышенной прочности и твердости, сохраняющих постоянство размеров в процессе эксплуатации: корпусов приборов, автомобильных и тракторных поршней, деталей двигателей воздушного охлаждения.

Сплавы этой группы более жаропрочны, чем силумины; не требуют модифицирования, обладают хорошей жидкотекучестью, малой линейной усадкой, но более склонны к образованию усадочной пористости и трещин при затрудненной усадке, чем сплавы первой группы, но уступают им по коррозионной стойкости и герметичности.

### 3.2.3 Сплавы системы Al - Cu



При температуре 548°C растворимость меди в твердом алюминии составляет 5,65%, при комнатной температуре она снижается до 0,2%. Такое резкое изменение растворимости меди в алюминии позволяет использовать сплавы содержащие до 5,0% Cu, в термически обработанном состоянии. Алюминиевые сплавы, содержащие более 5,0% Cu, наиболее часто применяют в литом состоянии. Фазовый состав сплавов в литом состоянии  $\alpha$ -твердый раствор меди в алюминии + Cu Al<sub>2</sub>

Диаграмма состояния системы Al – Cu

Таблица 3.3-Химический состав алюминиевых сплавов третьей группы

Марка сплава	Легирующие компоненты массовая доля, % (Al-основа)				Другие элементы
	Cu	Mn	Ni	Ti	
АЛ7	4,0 – 5,0	-	-	-	-
АЛ19	4,5 – 5,3	0,6 – 1,0	-	0,15 – 0,35	-
АЛ33 (ВАЛ1)	5,5 – 6,2	0,6 – 1,0	0,8 – 1,2	-	0,15 – 0,33%Cl 0,05 – 0,20%Zr

Сплавы отличаются высокими механическими свойствами, хорошо обрабатываются резанием, но имеют пониженную по сравнению с другими алюминиевыми сплавами коррозионную стойкость и нуждаются в защите от коррозии путем анодирования или нанесения лакокрасочных покрытий.

Обладая широким интервалом кристаллизации, сплавы системы алюминий—медь склонны к образованию усадочных трещин и рассеянной усадочной пористости; они менее жидкотекучи, чем сплавы первой и второй групп. Для измельчения зерна и повышения механических свойств сплавы легируют марганцем, титаном или цирконием. Сплавы упрочняют термической обработкой.

Сплавы применяют для изготовления средне нагруженных деталей, небольших по размеру и простых по конфигурации, работающих при температуре до 200-250°C (АЛ7), высоконагруженных силовых деталей, работающих при нормальной и повышенных температурах до 250 -300°C (АЛ19, АЛ33).

### 3.4 Сплавы на основе системы Al - Mg

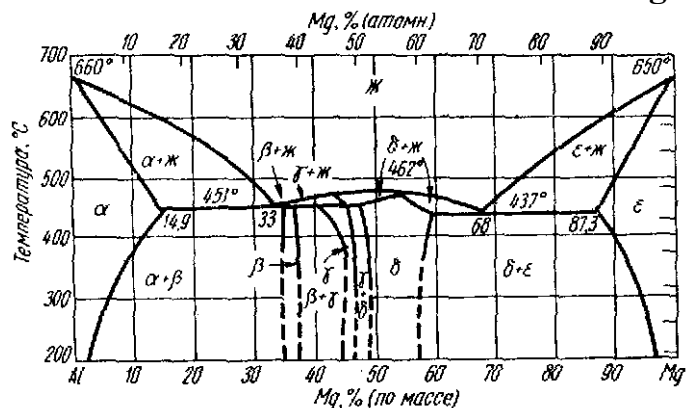


Диаграмма состояния системы Al – Mg

Сплавы обладают наиболее высокой коррозионной стойкостью в атмосфере и морских условиях, прочностью и пластичностью среди всех литейных алюминиевых сплавов.

Широкое использование их затруднено из-за низких технологических свойств. Сплавы очень склоны к дендритной ликвации и образованию горячих трещин. Получению качественных отливок препятствует их высокая газонасыщенность и склонность к образованию газовой и газоусадочной пористости. Повышенная окисляемость, взаимодействие с азотом воздуха и парами воды приводят к образованию неметаллических включений, которые попадая в отливки снижают механические свойства.

Таблица 3.4-Химический состав алюминиевых сплавов четвёртой группы

Марка сплава	Легирующие элементы (Al-основа), массовая доля, %						Другие элементы
	Mg	Si	Mn	Ti	Be	Zr	
АЛ8	9,5-11,5	--	--	--	--	--	--
АЛ8М	9,0-10,5	--	--	0,1-0,15	--	--	Mo 0,1 Be 0,07 Zr (0,1-0,15)
АЛ27	9,5-11,5	--	--	0,05-0,15	0,05-0,15	0,05-0,02	--
АЛ27-1	9,7-11,5	--	--	0,05-0,15	0,05-0,15	0,05-0,02	--
АЛ13	4,5-5,5	0,8-1,3	0,1-0,4	--	--	--	--
АЛ22	10,5-13,0	0,8-1,2	--	0,05-0,15	0,03-0,07	--	--
АЛ23	6,0-7,0	--	--	0,05-0,15	0,05-0,1	0,05-0,02	--
АЛ23-1	6,0-7,0	--	--	0,05-0,15	0,02-0,15	0,05-0,02	--
АЛ28	4,8-6,3	--	0,4-1,0	0,05-0,15	--	--	--

Механические свойства сплавов системы Al - Mg зависят от содержания магния, с увеличением которого они повышаются. Прочность сплавов с увеличением концентрации магния до 13% возрастает, но пластичность начинает снижаться при содержании 11% Mg. В связи с этим для литейных сплавов используют две области концентраций магния:

4,5-7,0% - сплавы средней прочности АЛ13, АЛ23, АЛ23-1, АЛ28;

9,5-13,0% - сплавы повышенной прочности, применяемые в закаленном состоянии АЛ8, АЛ8М, АЛ27, АЛ27-1, АЛ22.

Для улучшения технологических свойств в сплавы, кроме АЛ8, вводят до 0,15-0,2% титана и циркония, а для уменьшения окисляемости до 0,15% бериллия.

Сплавы АЛ13, АЛ23, АЛ23-1, АЛ28 применяют без термообработки. Механические свойства этих сплавов невысоки, пластичность низкая. Их рекомендуется применять для литья в кокиль и песчаные формы средненагруженных деталей, работающих в коррозионных средах.

Детали из сплавов АЛ8, АЛ8М, АЛ27, АЛ27-1, АЛ22 применяются в судостроении, летательных аппаратах.

### 3.5 Сложнолегированные сплавы

Сплавы пятой группы применяют для изготовления отливок с повышенной стабильностью размеров, работающих при повышенных температурах и давлениях, а также для изготовления сварных конструкций.

Таблица 3.5-Химический состав алюминиевых сплавов пятой группы

Марка	Легирующие элементы (Al – основа) массовая доля, %	Другие
-------	--	--------

сплава	Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Ti	элементы
АЛ1	1,25-1,75	-	-	3,75-4,5	1,75-2,25	-	-
АЛ11	0,1-0,3	6-8	-	-	-	-	7-12Zn
АЛ24	1,5-2,0	-	0,2-0,5	-	-	0,1-0,2	3,5-4,5Zn
АЛ21	0,8-1,3	-	0,15-0,25	4,6-6,0	2,6-3,6	-	0,1-0,2Cr
АЛ25	0,8-1,3	11-13	0,3-0,6	1,5-3,0	0,8-1,3	0,05-0,2	-
АЛ30	0,8-1,3	11-13	-	0,8-1,5	0,8-1,3	-	-
АК21М2,5Н2,5	0,2-0,5	20-22	0,2-0,4	2,2-3,0	2,2-2,8	0,1-0,3	0,2-0,4Cr
АК4М2Ц6	0,1-0,3	3,5-5,5	0,4-0,7	1,5-3,0	-	-	5,0-7,0Zn

Согласно ГОСТ 2687-75 к сплавам этой группы относятся сплавы:

-жаропрочные многокомпонентные АЛ1, АЛ21. Сплав АЛ1 системы Al-Cu – Mg имеет удовлетворительные литейные свойства и применяется для литья деталей, длительное время работающих при температурах до 300°C (поршни, головки цилиндров). Детали применяются в термически обработанном состоянии.

Сплав АЛ21 обладает большей жаропрочностью, чем сплав АЛ1, применяется для изготовления крупногабаритных деталей, работающих при температурах до 300-350°C.

-самозакаливающийся коррозионностойкий АЛ24. Он относится к системе Al-Zn-Mg, устойчивые твердые растворы Zn и Mg в алюминии обеспечивают «самозакалку» сплава в процессе охлаждения отливки. Сплав обладает удовлетворительными литейными свойствами, которые улучшаются добавкой титана до 0,1-0,2%. Сплав АЛ24 рекомендуется для литья деталей с повышенными стабильностью размеров и коррозионной стойкостью.

-поршневые АЛ25, АЛ30, АК21М2Н2,5.

Эвтектические специальные силумины АЛ25, АЛ30 обладают хорошими литейными свойствами, отличаются более высокой жаропрочностью, так как содержат до 0,8-1,3% никеля. Сплавы мало изменяют объем в процессе эксплуатации при повышенных температурах. Применяются для изготовления поршней.

Заэвтектический силумин АК21М2Н2,5 имеет хорошую жидкотекучесть, твердость и износостойкость. Добавки никеля и хрома 0,2-0,4% обеспечивают высокую жаропрочность до 300-320°C. Применяются для изготовления поршней и других ответственных деталей, работающих при повышенных температурах.

Цинковый силумин АЛ11, содержащий 7-12% цинка, обладает хорошими технологическими свойствами, способностью сохранять твердость и прочность при нагреве, кратковременном или длительном, до 300-500°C. Применяют сплав для литья деталей в моторостроении. Имеет пониженную коррозионную стойкость и сравнительно высокую плотность.

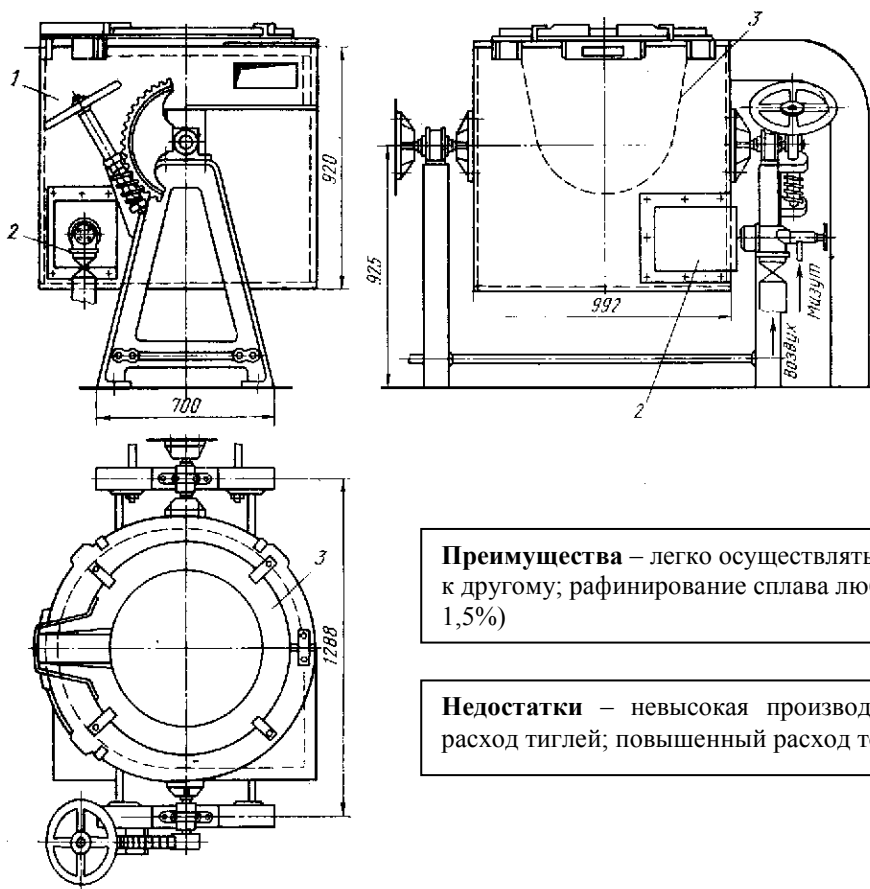
### 3.6 Плавка алюминиевых сплавов

### 3.6.1 Плавильные печи

В зависимости от назначения сплавов, масштаба производства и условий литейных цехов плавку алюминиевых сплавов осуществляют в различных печах.

#### Тигельные топливные печи

Тигельные поворотные печи с газовым нагревом применяются для плавки сплавов, требующих модифицирования. Для плавки алюминиевых сплавов применяют чугунные и графито-шамотные тигли. Чугунные тигли прочнее и дешевле графито-шамотных и имеют большую емкость. Основной их недостаток – растворение железа в алюминиевых сплавах в процессе их плавления.



Конструкция тигельных печей проста и состоит из следующих элементов: металлического кожуха (1) из листовой стали; огнеупорной кладки; теплоизоляционного слоя; горелок или форсунок (2); тигля (3); устройства для отвода дымовых газов. Емкость используемых на практике тиглей – 150-500 кг.

**Преимущества** – легко осуществлять переход от приготовления одного сплава к другому; рафинирование сплава любыми средствами; небольшой угар (0,5-1,5%)

**Недостатки** – невысокая производительность (не более 200кг/ч); большой расход тиглей; повышенный расход топлива; насыщение сплава железом

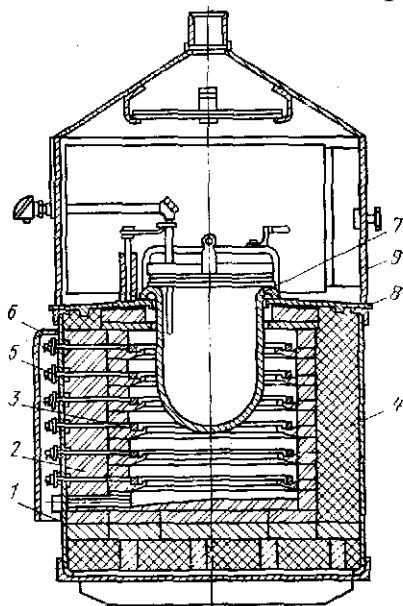
#### Тигельные электрические печи

##### Индукционные печи типа ИАТ

Для плавки алюминиевых литейных сплавов применяются открытые индукционные тигельные печи промышленной частоты емкостью от 0,4 до 2,5т. Тигли печей для плавки алюминиевых сплавов изготавливают путем набивки и спекания огнеупорных масс. Электрические тигельные печи применяются, в основном, для плавки сплавов типа АЛ8, АЛ9, АЛ13, АЛ19.

##### Печи сопротивления типа САТ

Тигельные печи применяют в цехах с небольшим выпуском отливок или когда производят отливки из большого количества разнообразных по химическому составу сплавов. Печи САТ выпускают трех типов: поворотные плавильные САТ-А; стационарные плавильные САТ-Б и стационарные раздаточные САТ-В. Емкость печей 150-500кг. Печи нагреваются нихромовыми спиралями



Печи состоят из цилиндрического стального кожуха 1; футеровки из огнеупорного шамотного кирпича 2; нагревательных элементов 3; теплоизоляционного слоя 4. Концы 5 нагревательных элементов выводятся в коробку 6 для подключения к сети. Тигель 7 чугунный или стальной опирается на кожух печи. Печь оборудована вытяжным зонтом 9.

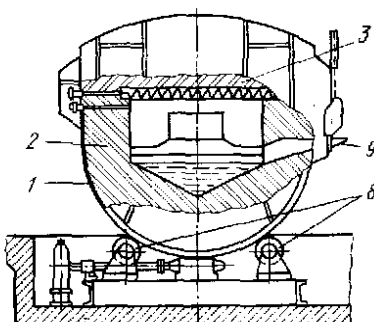
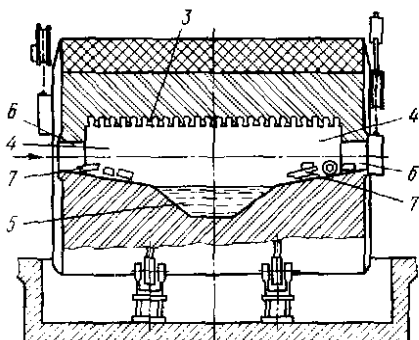
**Преимущества:** печи просты по конструкции, удобны в эксплуатации, позволяют получать сплавы высокой чистоты.

**Недостатки:** невысокая производительность (не более 200кг/ч); большой расход тиглей; повышенный расход электроэнергии; насыщение сплава железом

## Отражательны печи ванного типа

### Печи сопротивления типа САН

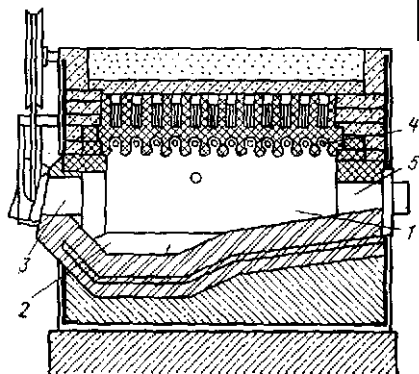
Электрические отражательные печи сопротивления применяют в качестве плавильных, плавильно-раздаточных и раздаточных (миксеров). Широкое распространение получили наклоняющиеся электрические печи сопротивления типа САН емкостью 500-3000кг



Печь состоит из сварного стального кожуха 1; футеровки 2. Свод печи перекрыт специальными шамотными изделиями для укладки нагревательных элементов 3. Рабочее пространство разбито на три зоны: две плавильные зоны 4 и одна-ванна 5. Со стороны плавильных камер имеются окна 6 для загрузки шихты 7. Для слива металла печь поворачивается на роликах 8; желоб 9.

**Преимущества** – большая емкость; длительная эксплуатация без ремонта; малый угар металла; получаемые сплавы повышенного качества (с малым загрязнением по железу)

**Недостатки** – продолжительная сушка новой футеровки; невозможность рафинирования сплава хлоросодержащими веществами и ведения плавки под флюсом; высокий расход электроэнергии; частая смена нагревателей



### Печи сопротивления типа САК

Для плавки алюминия и алюминиевых сплавов широко применяют печи сопротивления плавильно-раздаточные типа САК емкостью 150-250кг. Эти печи являются стационарными, неповоротными и применяются прежде всего для кокильного литья.

Плавильная камера печи имеет две рабочие зоны: плавильную 1 и металлоборник 2. Разбор жидкого металла осуществляется через окно 3. Нагревательные элементы 4 установлены в своде печи. Загрузка шихты осуществляется через окно 5.

### Пламенные печи

Пламенные отражательные печи имеют большие размеры, поэтому они удобны для переплавки крупногабаритных отходов. Для нагрева их можно использовать любое местное топливо. Для кокильного литья рекомендуется кокильно-раздаточная печь. Особенностью такой печи является наличие раздаточного кармана, выходящего из общей камеры печи. Зеркало ванны внутри камеры печи всегда покрыто модифицирующими солями, что позволяет вести непрерывную разливку сплава модифицированного состояния. Раздаточный карман свободен от модифицирующих солей и покровных флюсов, создает удобства для разливки сплава.

**Преимущества:** простота обслуживания, большая емкость позволяет переплавлять любые отходы, в том числе и стружку, под флюсом и рафинировать металл хлором; длительная эксплуатация без ремонта

**Недостатки:** большая продолжительность сушки новой футеровки; повышенный угар металла, повышенный расход топлива; местный перегрев металла; трудность тщательного перемешивания металла; неудобство при переходе с одного сплава на другой.

### 3.6.2 Шихтовые материалы

При плавке литейных алюминиевых сплавов в качестве шихтовых материалов применяют чистые металлы, лигатуры, отходы собственного производства (возврат), предварительные сплавы.



Таблица 3.6-Химический состав литейных алюминиевых сплавов в чушках

Марка сплава	Легирующие элементы (Al – основа), массовая доля, %			
	Mg	Si	Mn	Cu
AK7	0,2-0,5	6,0-8,0	0,2-0,6	--
AK5M2	0,2-0,8	4,0-6,0	0,2-0,8	1,5-3,5
AK5M4	0,2-0,5	3,5-6,0	0,2-0,6	3,0-5,0
AK5M7	0,3-0,6	4,5-6,0	--	6,0-8,0
AK8M3	--	7,5-10,0	--	2,0-4,5
AK9M2	0,2-0,8	7,5-9,5	0,1-0,4	0,5-2,0
AK10	0,1-0,5	8,0-11,0	--	--
AK11M2	--	10,0-12,0	--	1,5-3,5
AK9	0,2-0,4	8,0-11,0	0,2-0,5	--
AK9c	0,2-0,35	8,5-10,5	0,2-0,5	--
Примечание. В сплавах AK5M2, AK5M4 и AK9M2 содержится по 0,05 – 0,2 % Ti.				

Таблица 3.7-Лигатуры на основе алюминия

Лигатура	Компонент	Содержание компонента, % (массовая доля)	Температура плавления лигатуры, °С
Алюминий-кремний	Si	20-25	650-700
Алюминий-бериллий*	Be	4-6	820-880
Алюминий-железо	Fe	5-10	850-900
Алюминий-магний	Mg	10-12	560-600
Алюминий-марганец	Mn	5-10	780-800
Алюминий-медь	Cu	35-50	575-600
Алюминий-никель	Ni	10-20	780-820
Алюминий-титан	Ti	3-5	900-950
Алюминий-хром	Cr	3-5	750-850
Алюминий-церий	Ce	20-30	650-680
Алюминий-цирконий	Zr	3-5	830-900
Алюминий-медь-марганец	Cu	10-13	800-830
	Mn	1-15	
Алюминий-титан-бор	Ti,	3-5	1000-1040
	B	0,1-0,5	
Алюминий-медь-фосфор	Cu,	8-10	750-610
	P	1-1,5	
Алюминий-медь-марганец-титан	Cu,	28-32	980-1060
	Mn,	4-6	
	Ti	1,8-2,5	

\*Химический состав лигатуры Al-Be должен соответствовать требованиям ГОСТ 23911-79

Таблица 3.8-Химический состав кристаллического кремния (по ГОСТ 2169-69)

Марка кремния	Si, не менее	Примеси, % массовая доля не более			Сумма определяемых примесей
		Fe	Al	Ca	
Kp00	99,0	0,4	0,4	0,4	1,0
Kp0	98,8	0,5	0,4	0,4	1,0
Kp1	98,0	0,7	0,7	0,6	2,0
Kp2	97,0	1,0	1,2	0,8	3,0
Kp3	96,0	1,5	1,5	1,5	4,0

### 3.6.3 Методы дегазации и рафинирования

В процессе приготовления алюминиевые сплавы могут растворять газы и окисляться. Поэтому нередко в отливках встречаются газовая пористость и окисные включения. Основной причиной образований пористости является поглощение водорода в процессе плавки и разливки. Разница в растворимости водорода в жидком и твердом алюминии очень велика, в результате чего 95% водорода выделяется в процессе затвердевания.

Основным источником водорода в отливках из алюминиевых сплавов является влага, поступающая с шихтой и продуктами сгорания газов, на которых работают плавильные печи, атмосферная влага, а также влага, адсорбированная холодным плавильно-разливочным инструментом. Загрязнение алюминиевых сплавов окисными включениями происходит в случае применения окисленной шихты, а также за счет дополнительного окисления металла в процессе плавки и разливки, при перемешивании сплава и многократном вычерпывании сплава из печи разливочными ковшами.

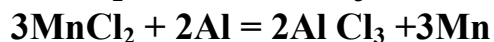
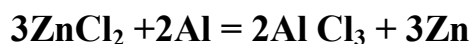
Для предохранения расплавленного металла от взаимодействия с атмосферой печи используют покровные (или защитные) флюсы. Они должны обладать возможно меньшей плотностью, минимальной гигроскопичностью, располагаться равномерным слоем на поверхности ванны, легко отделяться от металла при снятии их с поверхности расплава.

Способы дегазации и рафинирования (очистки) алюминиевых сплавов от окисных включений разнообразны. Частичная дегазация сплава может быть достигнута за счет значительного понижения температуры расплава, поскольку при этом будет происходить интенсивное газовыделение. На этом основан способ «замораживания» сплава с медленным доведением его в плавильной печи до затвердевания и последующим быстрым расплавлением (теперь этот способ почти не применяется из-за существенного снижения производительности печей).

Дегазация алюминиевых сплавов успешно осуществляется путем пропускания через расплав активных и инертных газов: хлора, азота, гелия, аргона. Эффективным является хлорирование: при продувке хлором содержание водорода в отливках составляет 0,05—0,07 см<sup>3</sup> на 100 г сплава; однако из-за токсичности хлора и укрупнения кристаллического зерна в отливках хлорирование не получило широкого распространения.

Для рафинирования алюминиевых сплавов широко применяют способ обработки хлористыми солями. Этот способ отличается простотой, удобством и

доступностью, так как не требует специальных установок. В качестве рафинирующих солей используют хлористый цинк ( $\text{ZnCl}_2$ ) и хлористый марганец ( $\text{MnCl}_2$ ). Рафинирование хлористыми солями основана на их реакциях обменного разложения с алюминием.

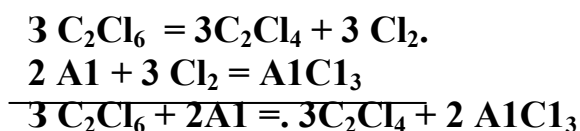


Образующийся  $\text{AlCl}_3$  — рафинирующее средство и действует подобно пузырькам нейтрального газа. Восстановленный из соли металл переходит в расплав и может оказывать различное действие. Например, марганец при разложении соли  $\text{MnCl}_2$ , образуя дополнительные центры кристаллизации, измельчает структуру и повышает свойства, а цинк, переходя в металл при разложении соли  $\text{ZnCl}_2$ , снижает свойства. Поэтому **хлористый цинк не рекомендуется**, например, применять при плавке сплава  $\text{Al13}$ , так как **цинк понижает его коррозионную** стойкость. Обработка сплава хлористой солью наиболее эффективна при плавке в печах небольшой и средней емкости с глубокой ванной. Соли вводят с помощью устройства, с большим числом отверстий для поступления в сплав продуктов разложения соли. Такое устройство называют колокольчиком. Колокольчик, предварительно подогретый с пакетиком соли, завернутой в тонкую фольгу, при температуре **700—750°C** погружают в расплав почти до самого дна ванны печи и, когда начинается реакция, перемещают по всему объему металла. Обработку сплава солью проводят в течение **3—5 мин**, заканчивают ее, когда прекращается реакция, т. е. затихает бурление металла на поверхности. Заливку сплава в формы необходимо производить не ранее чем через **5—15 мин** после рафинирования, чтобы дать возможность удалиться продуктам реакции. Результаты дегазации и рафинирования в значительной степени зависят от качества хлористых солей. Большинство хлористых солей **гигроскопично** и склонно к поглощению значительных количеств влаги, особенно  $\text{ZnCl}_2$ . Из применяемых в практике солей **менее гигроскопичны**,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{C}_2\text{Cl}_6$ . Поэтому соли перед употреблением рекомендуется переплавлять для удаления влаги, а после измельчения куски соли необходимо хранить в герметичных термостатах при **110—120°C**. Рекомендуется применять кусковую соль вместо порошка, так как куски имеют меньшую поверхность и, естественно, меньше адсорбируют влагу.

**Расход** хлористых солей составляет **от 0,05 до 0,2—0,5%** от массы жидкого металла (в зависимости от загрязненности расплава и рафинирующих свойств соли). В случае повышенного расхода соли рекомендуется вводить ее в два—три приема. Общим недостатком рафинирования расплава хлористыми солями следует признать быстрое разложение навески соли после погружения ее в металл, что не позволяет создать условия длительного контакта пузырьков с расплавом. В этом случае очистка от окисных пленок и газов недостаточно эффективна. Из всех применяемых для этих целей солей наиболее **эффективен  $\text{MnCl}_2$** , так как имеет более высокую температуру **возгонки (1190°C)** и реакция взаимодействия его с алюминием протекает медленнее, причем образование пузырьков  $\text{AlCl}_3$  растягивается на более длительный промежуток времени, что благоприятствует более полной очистке расплава.

В последнее время для рафинирования начинают применять гексахлорэтан  $\text{C}_2\text{Cl}_6$ . При комнатной температуре  $\text{C}_2\text{Cl}_6$  представляет собой твердое вещество, которое интенсивно **возгоняется** около **185°C** и **плавится** при **186,5°C**. Гексахлорэтан негигроскопичен и для хранения не требует особых условий, недорог

и недефицитен. Рафинирующая способность при правильном применении не ниже, чем у  $\text{MnCl}_2$  и  $\text{ZnCl}_2$ . Технология рафинирования сводится к следующему. Навеску гексахлорэтана из расчета **0,4—0,7%** (чем более газонасыщен сплав, тем больше требуется соли) от массы сплава вводят в сплав в колокольчике при **740—750°C** по частям в **2—4 приема**, последовательно **через 1—1,5 мин**. Повышенный расход гексахлорэтана и необходимость погружения его в несколько приемов объясняются тем, что реакция взаимодействия его с алюминием при указанных температурах идет не до конца, а примерно на 30%. Остальной  $\text{C}_2\text{Cl}_6$  остается в соединении с углеродом, образуя тетрахлорэтилен в соответствии с реакциями:



Образующийся  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  (при комнатной температуре — **жидкость** с температурой кипения 121° С) в условиях жидкого сплава мгновенно превращается в пар и действует одновременно с  $\text{AlCl}_3$ , как дегазатор. После обработки металла гексахлорэтаном перед заливкой требуется несколько повышенная выдержка расплава для удаления продуктов реакции (до **15—17 мин**).

Известную трудность представляет удержание хлористых солей в металле на определенной глубине, так как они значительно легче металла и стремятся всплыть на поверхность. Приспособление в виде колокольчика хотя и позволяет уменьшить всплывание соли, но полностью не устраняет этого явления. Поэтому лучше применять предварительно брикетированные легколетучие соли, так как брикеты имеют повышенную плотность и пониженную способность к испарению при температуре расплава. Для увеличения плотности к солям добавляют утяжелители, например низкожелезистый корунд (10—30% по массе) и другие тяжелые вещества, которые не оказывают вредного влияния на расплав. Такие брикеты имеют плотность 2,8—3,5 г/см<sup>3</sup>, т. е. тяжелее алюминиевых сплавов и не всплывают при погружении в металл.

Алюминиевые сплавы рафинировать с помощью флюсов. Флюсы подразделяют на **покровные** и **рафинирующие**. Покровные флюсы используют в основном для защиты металла от воздействия атмосферы печи, т. е. от излишнего окисления, а рафинирующие — для очистки от неметаллических включений и газов.

По составу флюсы желательно иметь химически нейтральными по отношению к сплаву и к футеровке печи, более легкоплавкими и с меньшей плотностью, чем сплав, и с достаточно высоким поверхностным натяжением, чтобы они могли легко отделяться от расплава, в то же время флюсы должны иметь хорошую жидкотекучесть. Этим требованиям удовлетворяет смесь солей **NaCl—KCl** (в соотношениях **50% : 50%** или **45% : 55%**), которая составляет основу большинства применяемых покровных флюсов.

Составляющие флюсов перед употреблением обязательно **просушивают** при температуре **150—200°C**, размалывают до порошка или до размера частиц в поперечнике 3—5 мм и смешивают в соответствующих пропорциях. Хранить флюс надо в сухом помещении, в герметичных контейнерах. Часть флюса вводят в печь при загрузке с наиболее легко окисляющейся мелкогабаритной шихтой, а другую часть в ходе плавки насыпают ровным слоем на поверхность расплава. По мере надобности

загрязненный флюс удаляют из печи. Чем меньше вязкость шлака, тем меньше будут потери металла со шлаком при его удалении из печи в виде запутавшихся в нем при плавке корольков металла. **Расход** покровного флюса составляет **2—3%** от массы шихты; при переплавке стружки он повышается до 5—10%.

Таблица 3.9-Состав и назначение покровных и рафинирующих флюсов для алюминиевых сплавов

Состав флюса, %(мас.доля)	Назначение флюсов
KCl 11,5; NaCl 56,5; Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> 7; NaF 25	Универсальные (рафинирующие и модифицирующие) для сплавов в состав которых входит кремний
KCl 10; NaCl 50; Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> 10; NaF 40	
NaCl 45; Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> 15; NaF 40	
KCl 45; NaCl 55	Покровные для большинства сплавов, кроме алюминиево-магниевых
KCl 37; NaCl 50; Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> 6,6; KCl*MgCl <sub>2</sub> 6,4	
KCl 46-42; NaCl 47-43; Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> 7-15	
KCl 47; NaCl 30; Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> 23	Рафинирующие для всех алюминиевых сплавов, не содержащих магния
KCl*MgCl <sub>2</sub> 60; CaF <sub>2</sub> 40	Рафинирующие для сплавов, содержащих магний
CaCl <sub>2</sub> до 10; MgCl <sub>2</sub> *KCl 80; BaCl <sub>2</sub> 5-8	
MgCl <sub>2</sub> * KCl 80; CaF <sub>2</sub> 20	Покровные для алюминиево-магниевых сплавов
MgCl <sub>2</sub> * KCl 85; MgF <sub>2</sub> 15	
KCl*MgCl <sub>2</sub> 100	
KCl*MgCl <sub>2</sub> 85; CaF <sub>2</sub> 15	
KCl*MgCl <sub>2</sub> 85; MgF <sub>2</sub> 15	
KCl 50-55; LiCl 45-50	Покровные для алюминиево-литиевых сплавов

К рафинирующим флюсам предъявляются повышенные требования, так как они должны смачивать и адсорбировать, а также растворять неметаллические включения, в особенности окислы алюминия. Этим условиям удовлетворяют хлористые соли в смеси с фтористыми (например, Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, и NaF).

Обработка сплава рафинирующими флюсами (из расчета **0,5— 1 %** от массы шихты) при температурах **700—800°С** осуществляется по одному из двух вариантов: верхнее флюсование и флюсование по всей массе.

При верхнем флюсовании на поверхность засыпают порошкообразный флюс примерно следующего состава: **43% NaCl, 50% KCl и 7% Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>**. Флюс расплавляется, покрывает поверхность жидкого металла, смачивает и растворяет неметаллические включения, всплывающие из расплава. Вместе со шлаковыми включениями удаляются и адсорбированные на их поверхности водород и другие газы. Поскольку всплывание примесей происходит очень медленно, рафинирование по способу верхнего флюсования недостаточно производительное.

Для повышения контактной поверхности флюса с расплавом и эффективности рафинирования применяют флюсование по всей массе, которое осуществляют

введением в сплав флюса с помощью колокольчиков или замешиванием флюса в металл. Такой флюс по составу обычно содержит больше фторидов (**40% NaCl, 50% KCl, 6% Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, и 4% CaF<sub>2</sub>**), что позволяет повысить его смачивающую и растворяющую способность по отношению к Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, и обеспечивает более высокое поверхностное натяжение, облегчающее всплывание флюса. **Расход** флюсов составляет **0,6—1,5%** от массы металла. При названном расходе флюса и температуре **740—760°C** удастся в течение **4—10** мин достичь хорошей очистки.

Обработку расплава флюсами можно производить также в ковше при выпуске в него металла из печи. Флюс насыпают при этом в подогретый ковш, на дне которого обычно оставляют небольшое количество металла предыдущей плавки. Когда флюс размягчится или расплавится, ковш заполняют металлом. Во время заливки металла в ковш происходит перемешивание флюса с расплавом и промывание им сплава. После наполнения ковша металлом выдерживают сплав в течение **3—5** мин, чтобы офлюсованные неметаллические включения всплыли, Затем флюс счищают с поверхности и металл разливают по формам.

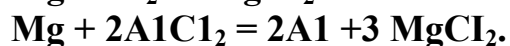
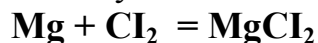
Режимы рафинирования зависят от склонности сплавов к газонасыщению, окислению, от литейных свойств сплава и других технологических факторов [

Рафинирование высококремнистых алюминиевых сплавов **АЛ2, АЛ4, АК9, АЛ9, АК7 и АК7М2** рекомендуется проводить примерно по одинаковой схеме.

**Сплав АЛ2**, содержащий наибольшее количество кремния (**10—13%**), из всех стандартных силуминов обладает повышенной склонностью к газонасыщению, однако вследствие соответствия эвтектическому составу его затвердевание в литейной форме идет от стенок сплошным фронтом и имеются благоприятные условия для удаления водорода из сплава. Для такого сплава допустима сравнительно неглубокая дегазация, причем расход рафинирующих средств относительно небольшой

В остальных сплавах этой группы (**АЛ4 и АЛ9**) добавки магния или одновременно магния и меди при меньшем содержании кремния существенно меняют характер процесса рафинирования, так как сплавы АЛ4 и АЛ9 в отличие от АЛ2 имеют значительный интервал затвердевания с характерной одновременной кристаллизацией у стенок формы и в объеме. Поэтому сплавы АЛ4 и АК9 и особенно АЛ9 и АК7 склонны к образованию в отливках газоусадочной пористости уже при сравнительно небольшом содержании водорода. Для получения качественных отливок из АЛ4 и особенно из АЛ9 необходимо добиваться более высокой степени их дегазации и рафинирования, чем АЛ2.

Наличие магния в сплавах АЛ4 и АЛ9 оказывает также влияние на процесс рафинирования хлором, хлористыми солями и флюсами. Хлор в таких сплавах взаимодействует не только с алюминием, но и с магнием по реакциям':



Наблюдения показывают, что соотношение образующихся хлоридов магния и алюминия зависит от температуры обработки расплавов. При **700—710°C** в основном образуется **AlCl<sub>3</sub>**, а в интервале **740—750°C** появляется больше **MgCl<sub>2</sub>**. **Образование MgCl<sub>2</sub> сопровождается уменьшением количества магния в сплаве.** Угар магния необходимо **компенсировать** присадкой металлического магния до начала рафинирования (в количествах, установленных практикой).

Таким образом, сплав **АЛ2** можно очищать **хлором, хлористыми солями** в уменьшенном количестве (**0,07—0,1%** от массы сплава) и **флюсами** при температуре **700—730°C**. **Остальные** марки сплавов этой группы лучше рафинировать теми же средствами при температуре **720—740°C** с повышенным расходом рафинирующих средств (**0,1—0,2%** от массы сплава) и с обязательной компенсацией потерь магния.

Сплавы с пониженным содержанием кремния (**АЛ6, АЛ5, АЛ3, АК5М2**) имеют меньшую склонность к газопоглощению, но также требуют перед заливкой дегазации и тщательного рафинирования, так как загрязняются неметаллическими включениями при многократном перемешивании в процессе плавки. По сравнению с высококремнистыми сплавами расход рафинирующих веществ и время обработки данной группы сплавов могут быть уменьшены на 10—15%. Повышенное содержание магния в сплавах **АЛ5** и **АЛ3** требует постоянного внимания необходимо поддерживать, количество магния в заданных пределах и обязательно корректировать химический состав до рафинирования

В группе алюминиевомедных сплавов (**АЛ7, , АЛ10, АК5М2**) растворимость водорода сравнительно невелика. Однако вследствие широкого интервала затвердевания выделяющийся газ даже в небольших количествах задерживается в усадочных порах и вызывает пористость. Для этих сплавов требуется умеренный режим рафинирования

Сплавы **АЛ7, АЛ10, АК5М2** рекомендуется продувать **хлором 6—7** мин вместо 10—12 мин, необходимых для обработки высококремнистых сплавов (**АЛ2, АЛ9**). Расход хлористых солей для дегазации и рафинирования сплавов **АЛ7, АЛ10** составляет **0,1-;0,15%** от массы металла.

В алюминиевоцинковых сплавах **АЛ11, АЛ24, АК4М2Ц6** сравнительно невысокая растворимость водорода, однако также необходима дегазация и рафинирование, которое проводят чаще всего хлористыми солями и реже продувкой хлором.

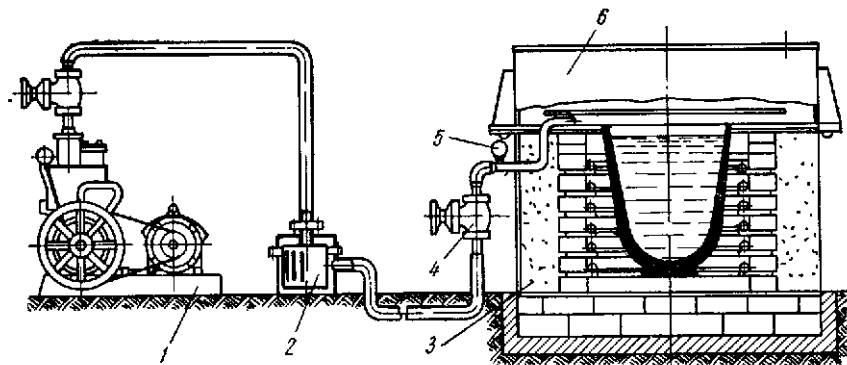
Одним из эффективных методов дегазации алюминиевых сплавов является обработка их путем вакуумирования, т.е, путем выдержки в вакуумной камере. В настоящее время облагораживание металла в вакууме осуществляют по двум схемам:

- плавку и заливку ведут в вакууме, поэтому и форму и плавильную печь помещают в одной камере;

- плавку производят в обычных печах по обычной технологии, а затем металл подвергают вакуумированию в ковше, для чего его устанавливают в специальную герметизированную камеру, связанную с вакуум-насосом

Глубина вакуума во время обработки алюминиевых сплавов поддерживается в пределах 0,013-0,066Мпа остаточного давления. Время вакуумирования 10—30 мин. Температура сплава перед вакуумированием находится в пределах 750—780°C, а после обработки 700—720°C. Недостатком такого метода вакуумирования следует признать необходимость значительного перегрева сплава (выше технологически необходимой температуры), чтобы металл во время вакуумирования не охладился. По этой же причине ограничивается время выдержки. Между тем известно, что чем больше выдержка в вакууме, тем лучше дегазируется сплав. В этом отношении более удобны установки, в которых вакуумная камера конструктивно совмещается с обогреваемым устройством, помещенным внутрь этой камеры.

На нижеприведенном рисунке показана установка для вакуумирования металла с электрообогревом. Возможен обогрев и с помощью газовых горелок.



1 — вакуумный насос; 2 — фильтр; 3 — печь сопротивления; 4 — вакуумный вентиль, 5 — вакуумметр; 6 — герметизированная крышка

### Камера для вакуумирования расплава

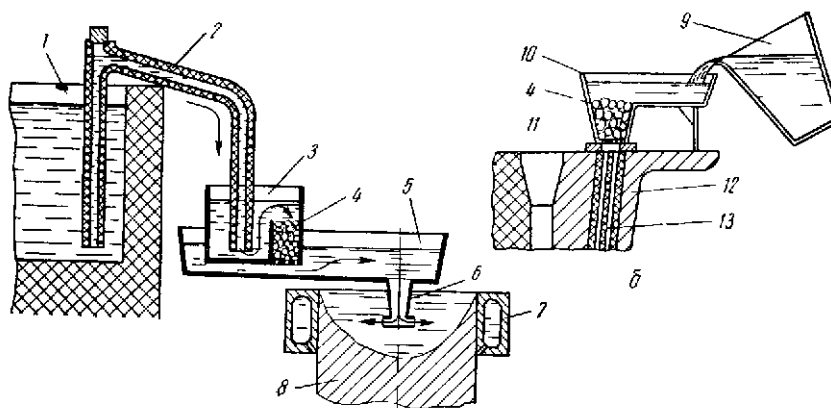
Вакуумирование металла проводится в следующем порядке. Расплав из печи набирают в тигель различной емкости от 50 до 750 кг, который устанавливают в подогреваемый миксер. Печь плотно закрывают крышкой и проводят вакуумирование при остаточном давлении около 0,0133 МПа для сплавов АЛ2, АЛ4, АЛ9 в течение 10—30 мин. Вакуумирование можно проводить под слоем флюса, что способствует более активному удалению газовых и шлаковых включений. Плотность отливок после вакуумирования значительно повышается, а механические свойства увеличиваются на 10-15%.

На эффективность дегазации алюминия и его сплавов при вакуумировании их в тиглях наиболее существенно влияют: величина разрежения в камере, глубина ванны расплава, начальное содержание газов в сплаве и продолжительность обработки в вакууме. Сплав дегазируется тем полнее, чем выше разрежение, меньше глубина ванны и больше продолжительность обработки.

Перспективен и достаточно эффективен метод очистки легких сплавов от окисных и других включений фильтрацией через активные фильтры. По этому методу жидкий металл пропускают через кускообразный слой (100—200 мм) специально подобранных рафинирующих реагентов. При этом окислы, содержащиеся в расплаве, задерживаются в фильтре как механически, так и в результате физико-химического взаимодействия между расплавом, неметаллическими включениями и материалом фильтра.

В качестве фильтров используют **магнетитовую крошку** (кусочки размером 8—20 мм), крошку, пропитанную жидким криолитовым или карналлитным флюсами, шамотную, алундовую крошку и кусочки твердых флюсов, состоящих из смеси фтористых ( $\text{NaF}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ) и хлористых солей разнообразных составов. Применяют также фильтры, заполненные стеклотканью. Крошку помещают в промежуточные емкости небольших объемов с отверстиями, которые устанавливают на пути движения металла при выпуске его из печи в кристаллизатор, изложницу или ковш. При непрерывном литье наиболее благоприятным местом





1 — миксер; 2 — сифон; 3 — промежуточная коробка; 4 — фильтр; 5 — желоб; 6 — распределительная коробка; 7 — кристаллизатор; 8 — слиток; 9 — ковш; 10 — литниковая чаша; 11 — сетка; 12 — металлическая форма (кокиль); 13 — щелевой стояк установки фильтра служит желоб, связывающий миксер с кристаллизатором

**Схема фильтрации расплава при литье слитков (а) и при заливке в металлическую форму**

Эффективность рафинирования алюминиевых сплавов через такие материалы является невысокой. По опыту некоторых заводов положительные результаты получены при фильтрации жидкого металла через сетку из стекловолокна.

С целью повышения эффективности рафинирования для фильтров были предложены так называемые активные материалы, которые в жидком или полужидком состоянии способны адсорбировать твердые неметаллические включения. К ним относятся шамотовая и магнезитовая крошки, проваренные в специальных флюсах, а также раздробленные флюсы различного состава с относительно высокой температурой плавления.

### 3.6.3 Модифицирование

Структура немодифицированного силумина состоит из твердого раствора кремния в алюминии и эвтектики, в которой кремний находится в виде очень крупных игольчатых и пластинчатых включений, снижающих пластичность силумина. Поэтому сплавы, у которых более 6% Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ11), перед заливкой модифицируют натрием для измельчения кремния в эвтектике. Чистый **натрий** (температура кипения 880°C) при введении в сплав при 750—780°C вызывает бурную реакцию, сопровождающуюся выбрасыванием металла. Кроме того, вследствие разницы плотностей натрия и алюминия возможно неравномерное распределение натрия в расплаве и имеется опасность его газонасыщения, так как натрий хранится в керосине и сам содержит водород, попадающий в него при электролизе.

Сейчас в качестве модификатора успешно применяют смесь **хлористых и фтористых солей калия и натрия**. Модифицирование солями обеспечивает более высокую усвояемость натрия расплавом, причем модифицирующий флюс одновременно играет отчасти рафинирующую роль.

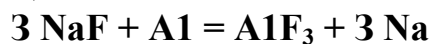
Применяется модифицирование **двойными солями, тройными и универсальным флюсом.**

Таблица 3.10-Модификаторы для алюминиевых литейных сплавов

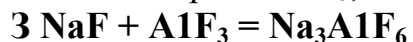
Состав модификатора	Количество модификатора	Расчетное количество модифицирующего элемента	Температура модификатора °С	Назначение модификатора
% (массовая доля)				
Лигатура Al-Ti (Ti 2-5)	1-3	Ti 0.05-0.15	720-750	Для измельчения макрозерна
Лигатура Al-Ti (Ti 5; В 1)	1-2	Ti 0.05-0.1 В 0.1-0.2		
Зернолит K <sub>2</sub> TiF <sub>6</sub> – 55; K <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> – 3; KBF <sub>4</sub> – 27 C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> – 15	0.2-0.5	В 0.01-0.02 Ti 0.05-0.1		
Металлический натрий	0.05-0.1	Na 0.05-0.1	750-780	Для модифицирования эвтектики и доэвтектических алюминиево-кремниевых сплавов
Флюс(NaF-67;NaCl-33)	1-2	Na 0.05-0.1	780-810	
Флюс(NaCl-62,5; NaF-15;KCl-12.5)	1-2	Na 0.05-0.1	730-750	
Флюс(NaCl-50;NaF-30;KCl-10;Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> -10)	0.5-1.0	Na 0.05-0.1	720-750	
ЛигатураAl-Sr(Sr-10)	0.6-0.8	Sr 0.06-0.085	750-780	
Лигатура Cu-P(P-9-11)	0.2-0.4	P 0.05-0.1	750-780	Для модифицирования заэвтектических силуминов Для измельчения макрозерна
Флюс(NaCl-35;KCl-35;K <sub>2</sub> TiF <sub>6</sub> -20; KBF <sub>4</sub> -10)	0.5-1.0	В 0.01-0.02 Ti 0.05-0.1	720-750	

**Двойной** модификатор состоит из **34% NaCl** и **66% NaF**. Температура плавления модификатора **675°С**. Соли перед употреблением тщательно просушивают, измельчают и хорошо перемешивают. Недостатком двойного модификатора служит высокая температура плавления, в результате требуется повышенный перегрев сплава (до 775—790° С для сплава АЛ4), что нежелательно.

Более низкую температуру плавления (**606°C**) имеет **тройной** модификатор, состоящий из **62,5% NaCl + 25% NaF + 12,5% KCl**. Сплав в этом случае перед модифицированием достаточно перегреть до **730—750°C**. Модифицирование производят в следующей последовательности. Модификатор в количестве **2—3%** от массы сплава ровным слоем засыпают на поверхность жидкого перегретого металла (счистив предварительно с него окисную пленку, шлак) и **выдерживают 12—15 мин**, чтобы флюс оплавился. Затем в течение **3—5 мин** соль в расплав для увеличения поверхностного контакта металла и флюса, что ускоряет **замешивают** переход натрия в расплав. Соли взаимодействуют с металлом и происходит выделение натрия по реакции:



В свою очередь **AlF<sub>3</sub>**, соединяется с избытком **NaF** и образуется криолит:



Криолит улучшает рафинирующие свойства флюса. После замешивания и всплытия флюса его снимают с поверхности расплава и металл разливают по формам.

Модифицирование можно производить в тигельных поворотных печах, в печах САТ и других электропечах небольшой емкости, а также в разливочных тиглях или ковшах. Модифицирование в разливочных тиглях производят после наполнения их металлом на подогреваемых стендах, где металл не остывает. Однако перегреть расплав после модифицирования нельзя, так как введенный натрий при этом может испаряться и не будет наблюдаться эффекта модифицирования. После модифицирования не рекомендуется также перемешивать или переливать расплав из одного тигля в другой во избежание улетучивания натрия.

После снятия солей, если температура расплава выше температуры заливки металла в форму, его охлаждают, но **металл должен быть разлит по формам** в течение **25—30 мин** после модифицирования. В противном случае наблюдается улетучивание Na из расплава, что приводит к получению в отливках немодифицированной структуры.

**Двойные** и **тройные** соли обладают сравнительно невысокой рафинирующей способностью, и при перемешивании их с расплавом на воздухе имеется опасность загрязнения его газами и окисными пленками. Применение универсальных флюсов, выполняющих одновременно модифицирующие и рафинирующие функции, устраняет этот недостаток.

**Универсальный** флюс готовят из смеси солей, **просушенных** при температуре **120°C**, и применяют как в расплавленном состоянии, так и в порошкообразном виде. В состав этих флюсов вводится криолит в различных количествах. В зависимости от типа сплава, температурных режимов плавки и заливки и других требований выбирается флюс с нужной температурой плавления.

Криолит служит основным рафинирующим средством, NaF — модификатором, NaCl и KCl вводят для понижения температуры плавления флюса. Обработку флюсом производят или в печи, или в ковшах. Сухой порошкообразный флюс в количестве **0,5—1,0%** от массы сплава засыпают в разливочный ковш под струю заливаемого металла. В процессе заполнения ковша происходит перемешивание металла с флюсом, в результате происходит модифицирование и одновременно рафинирование, т. е. удаление окисных пленок и водорода флюсу дают всплыть на поверхность, затем его счищают и металл заливают в формы.

Таблица 3.11- Состав универсальных флюсов для алюминиевых сплавов

NaCl	NaF	KCl	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	Температура плавления, °С	Минимальная температура модифицирования, °С
45	40		15	850	800
25	60	—	15	760	750
50	30	10	10	716	720

При обработке в печах перед засыпкой флюса на зеркало расплава поверхность очищают от шлака, иначе часть флюса уйдет на ошлакование уже всплывших включений и эффективность обработки основной массы металла будет существенно снижена.

Модифицирование облегчается, если обработку расплава проводить жидкими, расплавленными с отдельных печей флюсами. При этом жидкого флюса расходуется примерно в 2 раза меньше, чем порошкообразного.

Процесс модифицирования состоит в следующем. Расплавленный металл из печи попадает на диск из жароупорной стали с отверстиями диаметром 5—10 мм, разделяется на отдельные струи и проходит через расплавленные соли. Плотность флюса-модификатора значительно меньше плотности сплава, поэтому флюс плавится на поверхности. При этом способе модифицирования поверхность соприкосновения сплава с солями увеличивается в 10 раз по сравнению с другими способами и преимущества его перед другими заключаются в том, что сокращается число операций и уменьшается расход электроэнергии.

В последнее время в качестве модификатора при выплавке силуминов применяется стронций. Преимущество стронция перед натрием связано с более длительным сохранением эффекта модифицирования, в том числе после переплава. Оптимальная концентрация стронция в сплаве составляет 0,04%, температура модифицирования 750—770 °С.

### 3.6.4 Особенности плавки Al—Mg и многокомпонентных сплавов

Наиболее трудными в плавке и литье являются алюминиево-магниевого сплавы типа **АЛ8, АЛ27, АЛ13, АЛ23**. Присутствие в них свыше **5%** магния придает сплавам высокую окисляемость, склонность к газоусадочной пористости. Не допускается в этих сплавах повышенного содержания примесей, особенно железа, так как сплавы этой группы имеют наиболее высокую прочность и коррозионную стойкость. Плавку этих сплавов проводят под слоем флюса. В связи с минимально допустимым содержанием вредных примесей железа и кремния плавку и разливку данных сплавов рекомендуется вести только в графитовых тиглях. В процессе приготовления сплавов плавильно-разливочный инструмент необходимо применять также из графита или из титана.

Для уменьшения окисляемости специально вводят небольшие добавки бериллия и титана (сплав **АЛ27**). Бериллий (0,02—0,07%) способствует образованию на поверхности расплава более плотной окисной пленки, но при этом одновременно

вызывает укрупнение структуры отливок при затвердевании, что устраняется модифицированием титаном (0,02—0,07%).

Покровно-рафинирующие флюсы составляют на основе карналлита  $KCl \cdot MgCl_2$ . Хорошие результаты получаются при плавке с применением флюса следующего состава- 60%  $KCl \cdot MgCl_2$  и 40%  $CaF_2$ . Карналлит создает защитную среду против окисления расплава, а плавиковый шпат придает флюсу хорошую рафинирующую способность. Допускается также использование флюсов типа ВИ2 и ВИЗ, применяемых при плавке магниевых сплавов

Исходными шихтовыми материалами для приготовления сплавов марок АЛ27-1 и АЛ23 являются алюминий высокой чистоты, магний и лигатуры: алюминий—бериллий, алюминий—титан и алюминий—цирконий.

Допускается введение в шихту возврата собственного производства или переплава мелких отходов в количестве до 60% от массы всей шихты.

Плавку алюминиево-магниевых сплавов обычно ведут в тигельных печах (графитовых или металлических, но тщательно покрытых изнутри защитной краской).

Приготовление сплавов производится по следующей технологии. В чистый разогретый докрасна графитовый тигель загружают чушки алюминия и лигатуру алюминий—бериллий. При температуре расплава 670—700°C вводят лигатуры алюминий—титан и алюминий—цирконий. После растворения всех лигатур сплав перемешивают и при температуре 670—700°C вводят магний. При этом необходимо следить за тем, чтобы не происходило окисление магния, что достигается непрерывным погружением при помощи колокольчика кусков магния в расплав. О наличии окисления можно судить по появлению темно бурых пятен на поверхности ванны жидкого металла,

Затем сплав рафинируют, с поверхности ванны снимают шлаки, тщательно размешивают и разливают его в формы или изложницы. Во время всего периода плавки и разливки не рекомендуется перегревать сплав выше температуры 750°C.

В случае использования при приготовлении сплавов возврата собственного производства порядок плавки следующий. Расплавляется чистый алюминий и лигатура алюминий — бериллий. Затем при температуре 670—700°C вводится возврат собственного производства. После расплавления возврата порядок загрузки составляющих шихты и режимы плавки сохраняются такими же, как при приготовлении сплавов из чистых металлов.

Температуру разливки сплавов марок АЛ27-1 и АЛ23 рекомендуется выдерживать в следующих пределах при разливке сплава в изложницы 680—720°C, для тонкостенных и мелких отливок, а также при заливке большого количества форм из одного тигля 660—700°C, для отливок средних размеров с толщиной стенки 6—8мм 660—680°C; для толстостенных отливок больших размеров 640—660°C.

### **3.6.6 Плавка силуминов марки АЛ2.**

Исходными шихтовыми материалами для приготовления сплава марки АЛ2 являются чушковый силумин марок СИЛ О, СИЛ 1 и СИЛ 2 и алюминий технический чистоты. Расчет шихты ведется на содержание 11,5% кремния. В состав шихты могут также входить возврат собственного производства и переплав мелких отходов в количестве до 60% от массы шихты. Приготовление сплава АЛ2

производят в электрических печах сопротивления, индукционных и тигельных топливных печах Перед плавкой печь (или тигель) тщательно очищают от остатков шлака и сплава предыдущих плавов Чугунный тигель, изложницы и плавильный инструмент также должны быть очищены от следов расплава, окалины и окрашены защитной краской во избежание загрязнения сплава железом. Ковши просушиваются при температуре 500—700 °С. Шихту загружают в нагретую до 700—750 °С печь (или тигель, нагретый до красного каления) В печь (или тигель) загружают подогретый чушковый силумин (или лигатуру алюминий— кремний) и отходы собственного производства, в период расплавления металлов температура в ванне должна быть не более 700 °С.

Сплав перегревается до 730—730°С и подвергается рафинированию хлористым марганцем в количестве 0,1% от массы шихты. Затем производится модифицирование сплава тройным модификатором в количестве 1,5—2,0% от массы шихты с последующей выдержкой под слоем флюса-модификатора в течение 12 мин. Образовавшуюся корку флюса «рубят» и слегка замешивают в сплав в течение 2 мин. Далее флюс снимают с поверхности сплава и производят разливку сплава. В случае применения универсальных флюсов операции рафинирования и модифицирования совмещаются. Рекомендуется применять флюс в порошкообразном состоянии. Флюс, предварительно нагретый до 250—300 °С, засыпают на зеркало металла в разливочном ковше в количестве 1% от массы сплава Перед модифицированием универсальным флюсом температура сплава должна быть на 20—40 °С выше температуры разливки Через 2—4 мин после засыпки флюса производится рубка и снятие его, замер температуры и заливка сплава в формы. Качество модифицирования определяется по излому технологической пробы.

### **3.6.7 Плавка специальных силуминов марок АЛ4, АЛ5 и АЛ9.**

Технология приготовления специальных силуминов отличается от технологии плавки сплава АЛ2 введением легирующих добавок марганца и магния в сплав АЛ4, магния и меди в сплав АЛ5 и магния в сплав АЛ9. Марганец вводится в сплав АЛ4 в виде лигатуры алюминий—марганец

В начале плавки в первую очередь загружают чушковый алюминий и чушки силумина, затем лигатуру алюминий—марганец и чушковые возвраты По расплавлении всей шихты производят рафинирование сплава, затем сплав доводят до температуры 720—730°С и при помощи колокольчика (предварительно окрашенного и подогретого) в расплав вводится магний, После расплавления магния сплав модифицируют и разливают.

Технология приготовления сплава АЛ9 отличается от технологии плавки сплава АЛ2 введением магния после рафинирования сплава.

При плавке сплава АЛ5 лигатура алюминий—медь загружается после загрузки чушкового силумина, а магний вводится перед модифицированием

### **3.6.8 Плавка высококремнистого сплава с 20—22% кремния.**

Высококремнистые сплавы для промышленности представляют интерес потому, что они содержат очень малые количества дорогостоящих легирующих добавок, отличаются низкой плотностью, низким коэффициентом линейного

расширения, хорошими литейными и удовлетворительными механическими свойствами.

Немодифицированные высококремнистые сплавы имеют грубокристаллическое строение вследствие наличия в них крупных зерен первичного кремния поэтому сплавы подвергаются модифицированию. В качестве модификаторов применяют фосфор, титан и бор. Наибольшее измельчение составляющих сплава имеет место при одновременном введении в него бора и титана как с добавкой фосфора, так и без нее. Эффект измельчения структуры путем введения одновременно бора и титана устойчиво сохраняется после многочисленных переплавов. Алюминиево - кремниевый сплав, содержащий 20—22% кремния, 2,2—3,0% меди, 0,20—0,50% магния, 0,2—0,4% марганца, 2,2—2,8% никеля, 0,1—0,3% титана, 0,2—0,4% хрома и остальное—алюминий, заливается в металлические формы при температуре 760—785°C.

### **3.6.9 Плавка новых высокопрочных алюминиевых сплавов.**

Приготовление новых высокопрочных литейных алюминиевых сплавов производят по обычной для алюминиевых сплавов технологии.

Сплав АЛ9М готовят из алюминия технической чистоты. Исходными шихтовыми материалами являются алюминий, чушковый силумин СИЛ 0 или СИЛ-00, магний и лигатуры алюминий—медь, алюминий—титан, алюминий—бор. В начале плавки в первую очередь загружают чушковые алюминий и силумин, затем лигатуру алюминий—титан и чушковые возвраты. После расплавления шихты в нее вводят лигатуры алюминий—медь и алюминий—бор. Затем сплав рафинируют, после чего температуру повышают до 780°C и производят борирование смесью солей  $\text{KBF}_4$  и  $\text{NaCl}$ . После борирования с поверхности расплава необходимо снять флюс, понизить температуру сплава до 720—730°C и ввести магний.

При температуре 740—760 °C сплав модифицируют универсальным флюсом в количестве 2% от массы сплава. Температура разлива сплава составляет 660— 780 °C в зависимости от способа литья, толщины стенок и конфигурации отливок.

Сплав марки АЛ24М готовят из алюминия высокой чистоты. Исходными шихтовыми материалами являются алюминий, магний, цинк и лигатуры алюминий—бериллий, алюминий—титан, алюминий—цирконий, алюминий—марганец, алюминий—хром и алюминий—церий. В начале плавки в первую очередь загружают чушковый алюминий, лигатуру алюминий—бериллий и чушковые возвраты. После расплавления шихты температуру сплава повышают до 740— 750°C и вводят лигатуры алюминий—титан, алюминий—цирконий, алюминий—марганец, алюминий—хром, алюминий—церий, после тщательного перемешивания сплава вводят магний и цинк. Затем при температуре 740—750°C сплав рафинируют. Температура разлива сплава составляет 660—780°C в зависимости от способа литья, толщины стенок и конфигурации отливок.

Сплав марки АЛ7 готовят из алюминия высокой чистоты. Исходными шихтовыми материалами являются алюминий, магний, цинк и лигатуры, алюминий—бериллий, алюминий—титан, алюминий—цирконий, алюминий—никель и алюминий— медь, бор вводится при обработке расплава смесью солей  $\text{KBF}_4$  и  $\text{NaCl}$ .

. В начале плавки загружают чушковый алюминий, лигатуру алюминий— бериллий и чушковые возвраты После расплавления шихты температуру сплава поднимают до 740—750°С и вводят лигатуры алюминий—титан, алюминий цирконии, алюминий— никель и алюминий — медь После тщательного перемешивания вводят цинк и магний При температуре 740—750°С сплав рафинируют, после чего температуру повышают до 780 °С, производят борирование смесью солей  $KBF_4$  и  $NaCl$ . Температура разливки сплава составляет 680—760 °С в зависимости от способа литья, толщины стенок и конфигурации отливок.

Таблица 3.12 - Технология приготовления алюминиевых литейных сплавов.

Операции	Сплав			
	АЛ 4	АЛ 5	АЛ 7	АЛ 22
Составление шихты из расчета номинального состава.	9,25% Si 0,25% Mg 0,45% Mn Остальное Al	5 % Si 1,25% Cu 0,5% Mg Остальное Al	4,5% Cu Остальное Al	13% Mg 0,8 % Si 0,05% Be 0,05% Ti
	Печь США	тигельная	индукционная	канальная.
Загрузка в печь по указанному порядку	1)Алюминий 2)Силумин 3)Лигатура 4)Магний	1)Алюминий 2)Лигатура 3)Магний	1)Алюминий 2)Лигатура	1)Алюминий 2)Силумин 3)Бериллиевая и титановая лигатуры 4)Магний
Ведение плавки и рафинирования.	После расплавления всей шихты сплав рафинируется обезвоженным хлористым цинком (но предпочтительнее хлористый марганец) в количестве 0,05-0,1% от массы шихты хлорируется или рафинируется инертными газами в соответствии с заводской инструкцией.			
Модифицирование.	Модифицирование ведется так, как это указано в главе 3			Температура рафинирования 690-700°С.
Разливка по изложницам.	Снимают модификатор и сплав разливают по изложницам или по формам.	Сплав тщательно перемешивают, удаляют шлак и разливают по изложницам или формам.		
		Температура разливки 720°С.	Температура разливки 700°С	Температура разливки 680°С.



Таблица 3.13 - Два способа приготовления сплава АЛ8

Способ	
№ 1	№ 2
<p>1.Загрузка чушкового алюминия и лигатур, содержащий бериллий и титан.</p> <p>2.По расплавлении первой порции шихты на поверхность ванны засыпают рафинирующий флюс (60% карналлита + 40% фтористого кальция или плавикового шпата) в количестве 2% массы шихты.</p> <p>3.Загрузка крупных отходов сплава АЛ8. По расплавлении шихты под слой флюса вводят чушковый магний.</p> <p>4.Интенсивное замешивание кусков флюса в поверхностный слой жидкого слоя сплава горизонтальным вращением. Перемешивают до тех пор, пока сплав не будет иметь зеркальную поверхность, и жидкий сплав не будет хорошо отставать от кусков флюса.</p> <p>5.Разливка сплава по изложницам или в формы. Сплав рекомендуется разливать из чайникового ковша.</p>	<p>1.Расплавление чушкового алюминия.</p> <p>2.Засыпка поверхности расплавленного металла флюсом - карналлитом слоем 5-10 мм.</p> <p>3.Загрузка крупных отходов сплава АЛ8</p> <p>4.При температуре 690-700°С введение кускового магния при помощи клещей.</p> <p>5.Осторожное перемещение сплава без раскрытия его поверхностного слоя.</p> <p>6.При температуре 660-670° разливка сплава по изложницам или в форму. Для этой цели рекомендуется использовать ковши типа чайникового, что способствует предотвращению попадания флюса в изложницу или в форму. Перед разливкой необходимо ковши тщательно очистить от ржавчины или других каких-либо налетов.</p>

### 3.7 Особенности технологии производства фасонных отливок

Изготовление фасонных отливок из алюминиевых сплавов производится всеми известными способами. Около 70-80% отливок получают литьем под давлением и в кокиль, 20-30% - литьем в разовые формы. Литье в металлические формы позволяет получать отливки с более высоким уровнем свойств и меньшим расходом металла чем литье в разовые формы. Поэтому для крупносерийного и массового производства отливок экономически целесообразным являются литье в кокиль и под давлением, а в серийном и мелкосерийном производстве – литье в разовые формы.

Наиболее широкое применение нашло литье алюминиевых сплавов в сырые песчаные формы. Крупные отливки получают в сухих формах

Для изготовления форм используют формовочные и стержневые смеси приготовленные из мелкозернистых песков. Стержневые смеси должны обладать большой податливостью, а связующие выгорать при сравнительно низкой температуре.

Плавное без ударов и завихрений заполнение литейных форм обеспечивается применением расширяющихся литниковых систем с соотношением площадей сечений основных элементов  $F_{ст} : F_{шл} : F_{пит} = 1 : 2 : 3$ ; или  $1 : 2 : 4$ ; или  $1 : 3 : 6$ . Для снижения скорости движения расплава стояки часто делают зигзагообразным.

Тип литниковой системы выбирают с учетом габаритов отливки, сложности ее конфигурации и расположения в форме. Литники, как правило, подводят к тонким сечениям отливки рассредоточено по периметру. Подвод металла в массивные узлы не допустим. Сечение питателей чаще всего прямоугольное с размером широкой стороны 15-20 мм, а узкой 5 – 7 мм.

Сплавы с узким интервалом кристаллизации (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ34, АК9, АЛ25, АЛ30) при затвердевании дают концентрированную усадочную раковину. Для выведения этих раковин за пределы отливок используют установку прибылей. Высоту прибыли выбирают в зависимости от высоты отливки. При высоте отливки 150 мм высоту прибыли назначают равной высоте отливки. Для более высоких отливок отношение  $H_{приб} : H_{от} = 0,3-0,5$ , а соотношение между высотой прибыли и ее толщиной составляет 2-3. Наиболее широкое применение при литье алюминиевых сплавов находят верхние открытые прибыли круглого или овального сечения. Боковые прибыли в большинстве случаев делают закрытыми.

Сплавы с широким интервалом кристаллизации (АЛ1, АЛ7, АЛ8, АЛ9, АЛ19, АЛ33) склонны к образованию рассеянной усадочной пористости. Поэтому при изготовлении отливок из этих сплавов не рекомендуется применение массивных прибылей. Для получения высококачественных отливок рекомендуется использовать вертикально – щелевую литниковую систему.

Для предотвращения газовыделения при кристаллизации и предупреждения образования газо – усадочной пористости в толстостенных отливках широко используют кристаллизацию под давлением 0,4-0,5 МПа.

## 4 Сплавы на основе магния

### 4.1 Магний и его свойства

Магний – блестящий пластичный металл серебристо белого цвета.

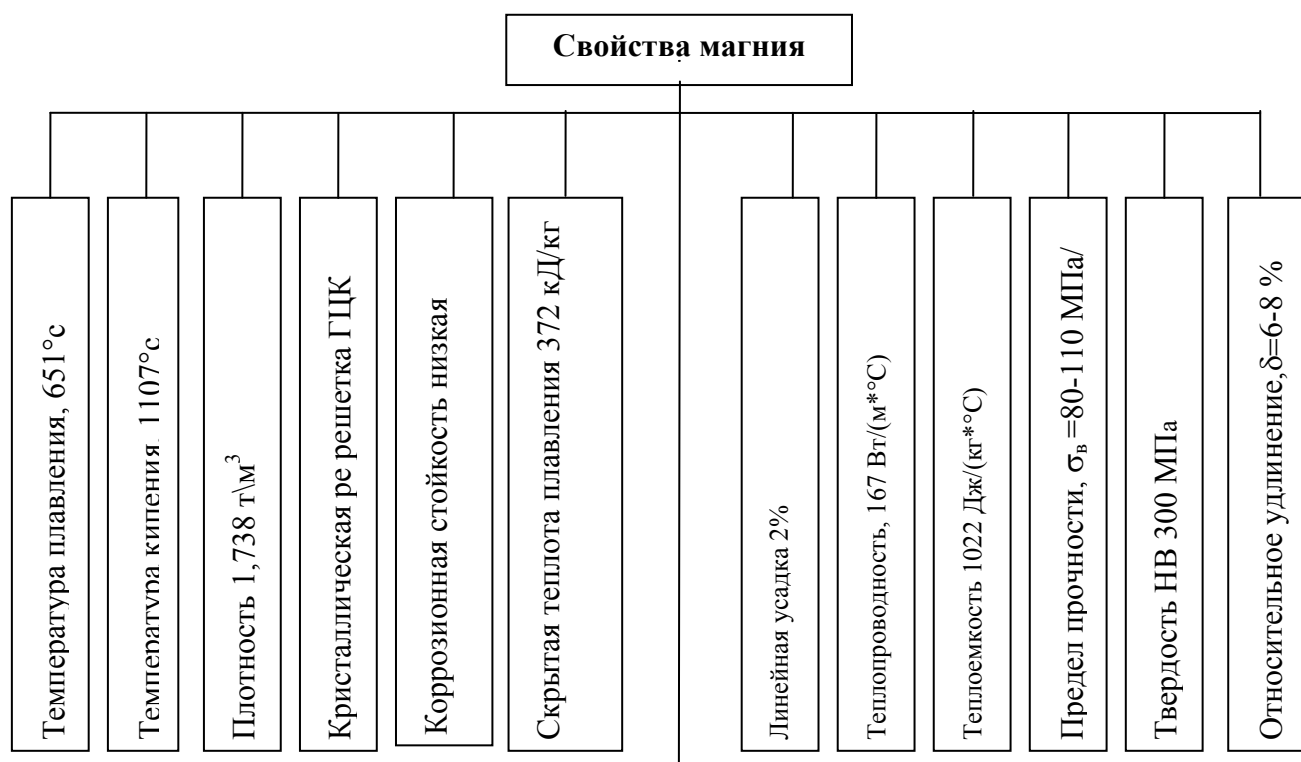
Чистый магний характеризуется высокой **химической активностью**. Он легко окисляется. У образующейся окисной пленки при температуре **450°C отсутствуют защитные свойства**. С повышением температуры скорость окисления возрастает, **при 623°C магний воспламеняется** на воздухе.

С **азотом** при температуре выше **750°C** магний взаимодействует с образованием нерастворимого твердого и хрупкого **нитрида  $Mg_3N_2$** , снижающего пластические свойства металла. С сернистым газом при 600—650°C взаимодействие сопровождается образованием  **$MgO$ ,  $MgSO_4$  и паров серы**.

Магний в значительно большем количестве, чем алюминий, поглощает водород. С повышением температуры и давления над расплавом растворимость водорода увеличивается.

Магний не взаимодействует с растворами едких щелочей, с керосином, бензином, минеральными маслами, устойчив по отношению к фторидам и плавиковой кислоте, но неустойчив в разбавленных минеральных кислотах.

С водой магний интенсивно реагирует с выделением водорода, который часто является причиной взрывов из-за образования гремучего газа.



### Влияние примесей

Железо, никель, медь, кремний

Оказывают вредное влияние на свойства магния, снижают его коррозионную стойкость.

ГОСТ 804-72 предусматривает выпуск трех марок первичного магния, различающихся содержанием примесей.

Таблица 4.1 -Химический состав магния, % по ГОСТ 804-72

Марка магния	Mg(определяется по разности), не менее	Примеси, не более								Сумма определяемых примесей
		Fe	Si	Ni	Cu	Al	Mn	Na	Ti	
Mr96	99,96	0,004	0,004	0,002	0,002	0,006	0,04	0,01	-	0,04
Mr95	99,95	0,004	0,004	0,007	0,003	0,006	0,01	0,005	0,014	0,05
Mr90	99,9	0,04	0,009	0,001	0,004	0,02	0,03	0,01	-	0,1

## 4.2 Сплавы на основе магния

Низкие свойства исключают возможность применения чистого магния в качестве конструкционного материала. Он используется для пиротехнических целей, как раскислитель, модификатор и основа магниевых сплавов.

Магниевые сплавы **классифицируют по химическому составу и рабочей температуре**. По химическому составу в соответствии с ГОСТ 2856-79 магниевые сплавы подразделяют на три группы:

-на основе **системы Mg-Al-Zn** (МЛ3, МЛ4, МЛ4<sub>пч</sub>, МЛ5, МЛ5<sub>пч</sub>, МЛ5<sub>он</sub>, МЛ6);

-на основе **системы Mg-Zn-Zr** (МЛ8, МЛ12, МЛ15);

-на основе **системы Mg-PЗМ-Zr** (МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ19).

Кроме того находят ограниченное применение сплавы МЛ1 (Mg-Si) герметичные; МЛ2 (Mg-Mn) коррозионно-стойкие; сверхлегкие Mg-Li; МЛ14 (Mg-Th) жаропрочные.

По температуре эксплуатации сплавы подразделяют на предназначенные для работы:

- при нормальной температуре;
- при температуре до 200°C;
- при температуре 250-300°C;
- при криогенных температурах.

Механические свойства литейных магниевых сплавов находятся в пределах: прочность (150-340 МПа), пластичность (2-9%).

#### 4.2.1 Сплавы системы Mg-Al-Zn

Сплавы системы Mg-Al-Zn **МЛЗ, МЛ4, МЛ4<sub>пч</sub>, МЛ5, МЛ5<sub>пч</sub>, МЛ5<sub>он</sub>, МЛ6** являются наиболее распространенными магниевыми сплавами. Легирующими элементами этой системы являются **Al, Zn, Mn**. Основным легирующим элементом является алюминий по содержанию которого различают марки сплавов этой группы: МЛЗ, МЛ4, МЛ5, МЛ6. Al и Zn вводят для повышения прочности, а Mn - для повышения коррозионной стойкости. **Сплавы содержат до 0,5 % Mn, 3,0 % Zn и 10,0 % Al. Для снижения окисляемости вводят 0,001-0,002% Be или до 0,1% Ca.** Кальций кроме того, повышает плотность отливок и улучшает способность отливок к термообработке. В качестве примесей в сплавах присутствуют **Si, Fe, Ni, Cu**, **которые снижают коррозионную стойкость.**

**Недостатком** сплавов, за исключением сплава МЛЗ, **является широкий интервал кристаллизации 120-250°C**, поэтому сплавы склонны к образованию **усадочной пористости, образованию горячих трещин и дендритной ликвации.** Линейная усадка составляет 1,1-1,4%, усадочная раковина незначительна.

Лучшими литейными свойствами обладают сплавы МЛ5 и МЛ6. Достоинством сплава МЛ4 является высокая коррозионная стойкость.

В литом состоянии сплавы хрупки, поэтому они подвергаются старению.

Сплавы применяют для нагруженных деталей двигателей, работающих при статических и динамических нагрузках, корпусных деталей приборов, эксплуатирующихся в морской атмосфере при температуре **не выше 150°C.**

**Сплав МЛЗ** используют при изготовлении отливок простой конфигурации с повышенной герметичностью для работы при средних статических и динамических нагрузках. В отличие от сплавов МЛ5 и МЛ6 сплав МЛЗ **обладает небольшим равновесным интервалом кристаллизации (55—60 °C), малой склонностью к образованию микропористости, большей линейной усадкой, повышенной склонностью к образованию усадочных трещин и низкой жидкотекучестью.**

**Сплав МЛ4** используют для работы при повышенных нагрузках. Он имеет высокую коррозионную стойкость. Сплав МЛ4 применяют в основном для литья в песчаные формы.

**Сплав МЛ5** применяют для нагруженных деталей, работающих в условиях ударного и вибрационного воздействия. В связи с удовлетворительными литейными свойствами его используют для изготовления отливок всеми способами литья. Сплав МЛ5 является основным литейным магниевым сплавом.

**Сплав МЛ6** из-за большого интервала кристаллизации (160°C) и повышенного содержания Zn склонен к микропористости более чем сплав МЛ5. Удовлетворительные литейные свойства позволяют изготавливать из него отливки всеми способами литья.

#### 4.2.2 Сплавы системы Mg - Zn - Zr

Сплавы на основе системы Mg - Zn - Zr (МЛ8, МЛ12, МЛ15) содержат от 4 до 9% Zn. Сплавы этой группы также относят к числу высокопрочных. Они отличаются от других групп магниевых сплавов повышенными механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью резанием. Двойные сплавы Mg - Zn не применяют из-за очень плохих литейных свойств (широкий интервал кристаллизации 250-300°C). Введение в сплавы циркония сокращает интервал кристаллизации улучшает литейные свойства, измельчает зерно и упрочняет их. Измельчение структуры обуславливает меньшую чувствительность сплавов к толщине стенок отливок, выравнивает механические свойства. **Оптимальные результаты достигаются при введении 0,6 - 0,8% Zr.**

Легирование их лантаном в количестве 0,6-1,2% (МЛ15) улучшает литейные свойства, несколько повышает жаропрочность, плотность и свариваемость, но снижает прочность и пластичность при комнатной температуре.

Увеличение содержания цинка до 5,5-6,6% и дополнительное легирование сплавов кадмием до 0,2-0,8% (МЛ8) позволяют получать более высокий уровень механических и технологических свойств, чем сплавов с лантаном.

Сплавы второй группы используют для изготовления отливок, работающих при 200—250 °С и высоких нагрузках.

#### 4.2.3 Сплавы системы Mg - РЗМ- Zr

Сплавы МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ19 легированные РЗМ обладают высокой жаропрочностью и хорошей коррозионной стойкостью. Сплавы имеют хорошие литейные свойства, высокую герметичность, малую склонность к образованию микрорыхлот и усадочных трещин, высокие и однородные механические свойства в сечениях и хорошо свариваются аргоно-дуговой сваркой. Они предназначены для длительной работы при 250—350 °С и кратковременной — при 400 °С.

Сплавы системы Mg—РЗМ—Zr применяют для деталей, подвергающихся одновременному воздействию статических и усталостных нагрузок.

Таблица 4.2 - Химический состав магниевых литейных сплавов, %

Марка сплавов	Легирующие элементы (Mg-основа)					Сумма определяемых примесей
	Al	Mn	Zn	Zr	Другие элементы	
МЛ3	2,5-3,5	0,15-0,5	0,5-1,5	-	-	0,5
МЛ4	5,0-7,0	0,15-0,5	2,0-3,5	-	-	0,5
МЛ4пч	5,0-7,0	0,15-0,5	2,0-3,5	-	-	0,13
МЛ5	7,5-9,0	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-	0,5
МЛ5пч	7,5-9,0	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-	0,13
МЛ5он	7,5-9,0	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-	0,7
МЛ6	9,0-10,2	0,1-0,5	0,6-1,2	-	-	0,5
МЛ8	-	-	5,5-6,6	0,7-1,1	Cd 0,2-0,8	0,2
МЛ9	-	-	-	0,4-1,0	In 0,2-0,8; Nd 1,9-2,6	0,35
МЛ10	-	-	0,1-0,7	0,4-1,0	Nd 2,2-2,8	0,2

МЛ11	-	-	0,2-0,7	0,4-1,0	P3M 2,5-4,0	0,2
МЛ12	-	-	4,0-5,0	0,6-1,1	-	0,2
МЛ15	-	-	4,0-5,0	0,7-1,1	La 0,6-1,2	0,2
МЛ19	-	-	0,1-0,6	0,4-1,0	Nd 1,6-2,3; V 1,4-2,2	0,25

Таблица 4.3-Классификация магниевых литейных сплавов

Группа	Система сплавов	Наиболее распространенные сплавы	Характеристика сплавов
1	Mg-Mn	МЛ12	Литейные свойства низкие, обладают большой линейной усадкой, склонны к образованию горячих трещин, обладают повышенной коррозионной стойкостью
2	Mg-Al-Zn	МЛ3, МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5он, МЛ5пч, МЛ6	Сплавы, содержащие до 6% Al, обладают удовлетворительными литейными свойствами, более 6% Al имеют хорошие литейные свойства. Сплавы повышенной чистоты имеют повышенную коррозионную стойкость
3	Mg-Zn-Zr Mg-Zn-Zr-Cd Mg-Zn-Zr-La	МЛ12, МЛ8, МЛ15	Обладают хорошими литейными свойствами, отличаются высокими и однородными механическими свойствами
4	Mg-Σ P3M-Zr Mg-Zn-Zr-Nd Mg-Zr-In-Nd	МЛ11 МЛ10, МЛ19, МЛ9	Обладают хорошими литейными свойствами. Сплавы, легированные P3M, имеют пониженные механические свойства при комнатной температуре. Все сплавы данной группы отличаются повышенной жаропрочностью

Таблица 4.4-Влияние легирующих элементов и примесей на свойства магниевых сплавов.

Элемент	Температура плавления, °C	Типичные химические соединения	Влияние на свойства сплавов
Al	660	Mg <sub>4</sub> Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> Al <sub>3</sub>	Основная легирующая добавка, повышает механические свойства сплавов системы Mg-Al-Zn. В сплавах с цирконием является вредной примесью и понижает механические свойства.
Be	1278	-	Понижает окисляемость сплавов. При содержании более 0,002% укрупняет структуру, снижает механические свойства, повышает склонность магниевых отливок к образованию горячих трещин.
B	2300	-	Измельчает структуру сплавов.
Fe	1530	-	Снижает коррозионную стойкость сплавов.
Cd	321	Mg <sub>3</sub> Cd	Повышает механические свойства сплавов системы Mg-Zn-Zr.
K	64	-	Повышает окисляемость и снижает коррозионную стойкость магниевых сплавов.
Ca	849	-	Понижает окисляемость сплавов, повышает

			жаропрочность сплавов системы Mg-Al-Zn. Снижает пластичность и прочность при комнатной температуре
Si	1414	Mg <sub>2</sub> Si	Снижает коррозионную стойкость, а также механические свойства сплавов с цирконием.
La	920	Mg <sub>9</sub> La (Mg <sub>12</sub> La)	Повышает жаропрочность сплавов системы Mg-Zn-Zr.
Li	170	-	Повышает окисляемость, снижает плотность сплавов.
Mn	1260	-	Повышает коррозионную стойкость.
Cu	1083	Mg <sub>2</sub> Cu	Снижает коррозионную стойкость при содержании свыше 0,1%.
Na	98	-	Повышает окисляемость, снижает коррозионную стойкость.
Nd	840	Vg <sub>12</sub> Nd (Mg <sub>9</sub> Nd)	Повышает жаропрочность сплавов с цирконием.
Ni	1452	Mg <sub>2</sub> Ni	Снижает коррозионную стойкость.
Ag	960	Mg <sub>3</sub> Ag	Повышает механические свойства сплавов.
Ti	1725		Измельчает структуру сплавов.
Th	1842	Mg <sub>5</sub> Th	Повышает жаропрочность сплавов
Cl	-34 (кипения)	-	Резко снижает коррозионную стойкость сплавов.
Ce	630	Mg <sub>12</sub> Ce (Mg <sub>9</sub> Ce)	Повышает жаропрочность сплавов
Zn	419	MgZn <sub>2</sub> MgZn	Повышает механические свойства. Основная легирующая добавка сплавов системы Mg-Zn-Zr
Zr	1927	-	Измельчает структуру и повышает механические свойства сплавов системы Mg-Zn и Mg-Nd. Способствует осаждению железа и кремния из расплава.

Таблица 4.5-Особенности литейных магниевых сплавов и области их применения

Сплав	Особенности		Области применения
	Положительные	Отрицательные	
МЛ2	Высокая коррозионная стойкость по сравнению с другими магниевыми сплавами, повышенная герметичность. Сплав хорошо сваривается	Низкие технологические и механические свойства, высокая склонность к образованию горячих трещин	Слабонагруженные детали, требующие максимально высокой коррозионной стойкости и повышенной герметичности (горловины, бензобаки, бензомасляная аппаратура). Рабочая температура до 150 <sup>0</sup> С
МЛ3	Повышенная герметичность	Пониженные литейные свойства по сравнению со сплавом Мл5, повышенная склонность к образованию горячих трещин, относительно низкие механические свойства	Детали простой конфигурации, требующие повышенной герметичности (детали арматуры, корпуса насосов). Рабочая температура до 150 <sup>0</sup> С
МЛ4	Относительно высокие механические свойства в литом и термически обработанном состояниях	Повышкнная склонность к образованию микрорыхлоты в отливках, склонен к горячим трещинам	Корпусные детали, подвергающиеся статическим и динамическим нагрузкам (корпусы приборов и инструментов, фермы, штурвалы и т.д.). Рабочая температура до 150 <sup>0</sup> С
МЛ4пч	Повышенная коррозионная	То же	Те же, и еще детали, требующие



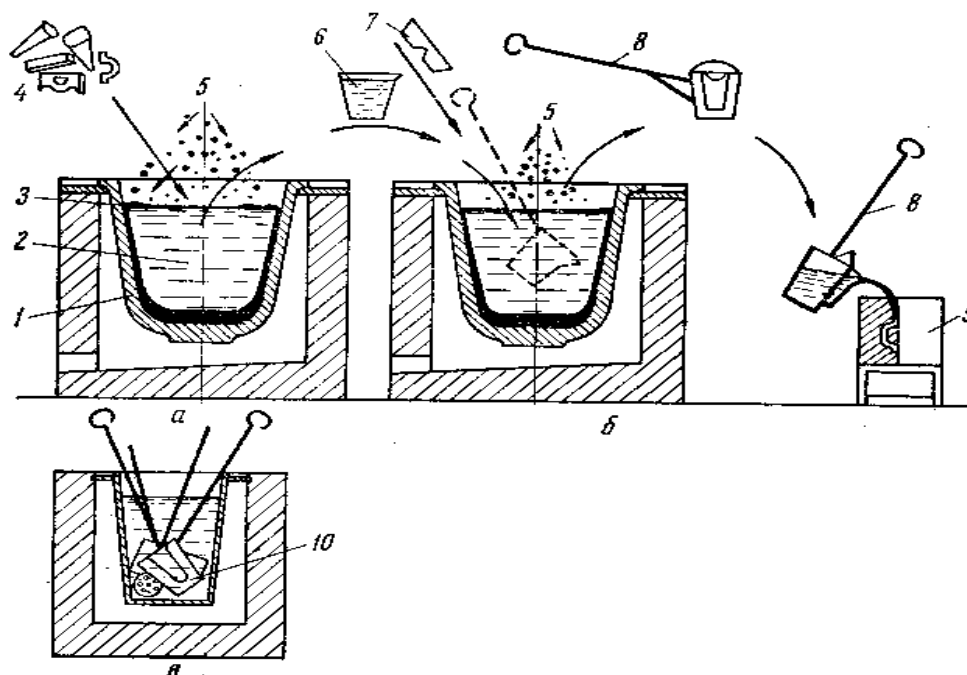
	стойкость в литом и термически обработанном состоянии, механические свойства аналогичны сплаву Мл4		высокой коррозионной стойкости
МЛ5	Хорошие литейные технологические свойства, высокие механические свойства в термически обработанном состоянии	Повышенная чувствительность к влиянию микрорыхлоты и толщины сечения на механические свойства, относительно невысокие значения предела текучести	Сплав универсального назначения. Нагруженные детали двигателей, автомобилей, самолетов, для приборов, корпусов тормозных барабанов, колес. Рабочие температуры до 150 <sup>0</sup> С, при кратковременной работе до 250 <sup>0</sup> С
МЛ5пч	Повышенная коррозионная стойкость, технологические и механические свойства аналогичны сплаву Мл5	То же	Те же; кроме того, применяется в более жестких условиях эксплуатации, в частности тропического и морского климата с возможным попаданием брызг морской воды
МЛ5он	То же, что и сплав Мл5. Наиболее дешевый из высокопрочных сплавов	То же. Коррозионная стойкость пониженная	Те же. Сплав общего назначения, когда к работе деталей не предъявляют особых требований в отношении коррозионной стойкости
МЛ6	Хорошие литейные свойства, высокие механические свойства в термически обработанном состоянии, повышенный предел текучести	Повышенная чувствительность к влиянию микрорыхлоты на механические свойства, пониженная пластичность сплава	Нагруженные детали, корпусные детали, детали приборов, аппаратуры. Целесообразно применение для деталей, требующих повышенного предела текучести. Рабочая температура до 150 <sup>0</sup> С
МЛ8	Высокие механические свойства ( $\sigma_B$ , $\sigma_{0,2}$ , $\delta$ ). Однородность механических свойств независимо от толщины сечения. Малая чувствительность к влиянию микрорыхлоты на механические свойства, хорошие литейные свойства.	Более сложная методика плавки и термической обработки, чем у сплава МЛ5	Высоконагруженные корпусные детали, детали плоской формы и пространственной конфигурации типа кронштейнов, ферм, деталей приборов и аппаратов, требующих высокой усталостной прочности. Рабочие температуры до 150 <sup>0</sup> С, при кратко временной эксплуатации до 200 <sup>0</sup> С. Заменитель ряда литейных (АЛ9, АЛ4), а также деформируемых алюминиевых сплавов.
МЛ9	Хорошие литейные и технологические свойства, высокая герметичность, высокие механические свойства, особенно при повышенных температурах	Более сложная технология изготовления отливок, чем из сплава МЛ5. Более высокая стоимость отливки	Нагруженные детали двигателей самолетов, различные корпусные детали. Рабочие температуры до 300 <sup>0</sup> С, при кратковременной эксплуатации до 400 <sup>0</sup> С
МЛ10	Хорошие литейные технологические свойства, высокая герметичность, высокие и однородные механические свойства, особенно при повышенных температурах	Более сложная технология изготовления отливок, чем у сплава МЛ5, более высокая стоимость отливки	Нагруженные детали двигателей, самолетов, приборов, различные корпусные детали. Детали, требующие высокой герметичности и стабильности размеров. Рабочие температуры до 250 <sup>0</sup> С, при кратковременной эксплуатации до 350 <sup>0</sup> С
МЛ11	Повышенная герметичность отливок, высокие механические свойства при повышенных	Низкие механические свойства при комнатных температурах, пониженная пластичность, более сложная технология	Средненагруженные детали двигателей, различные корпуса, нагревающиеся при эксплуатации до 250 <sup>0</sup> С

	температурах	изготовления отливок, чем из сплава МЛ5	
МЛ12	Высокие механические свойства как в литом, так и в термически обработанном состоянии. Однородность механических свойств в тонкостенных и в массивных сечениях, высокая усталостная прочность в конструкциях	Более сложная методика изготовления отливок, чем из сплава МЛ5	Высоконагруженные детали, различные корпуса, детали тормозных колес, работающие при ударных нагрузках. Детали требующие высокой усталостной прочности в конструкциях. Рабочие температуры до 200 <sup>0</sup> С, при кратковременной работе до 250 <sup>0</sup> С
МЛ15	Хорошие литейные технологические свойства, повышенная герметичность, наиболее жаропрочный из группы высокопрочных сплавов, высокие и однородные свойства в отливках	Более сложная методика изготовления отливок, чем из сплава МЛ5. Сравнительно невысокая пластичность	Нагруженные детали двигателей приборов, работающие в условиях повышенных температур до 200 <sup>0</sup> С (кратковременно до 300-350 <sup>0</sup> С)
МЛ19	Высокие механические свойства, наиболее высокопрочных из всех литейных сплавов. Высокие и однородные механические свойства в отливках.	Более сложная методика изготовления отливок, чем из сплава МЛ5	Особо нагруженные детали, требующие максимальных значений $\sigma_B$ и $\sigma_{0,2}$ при высокой пластичности. Заменитель литейных деформируемых алюминиевых сплавов

### 4.3 Плавка магниевых сплавов

В зависимости от масштаба производства применяют следующие методы плавки:

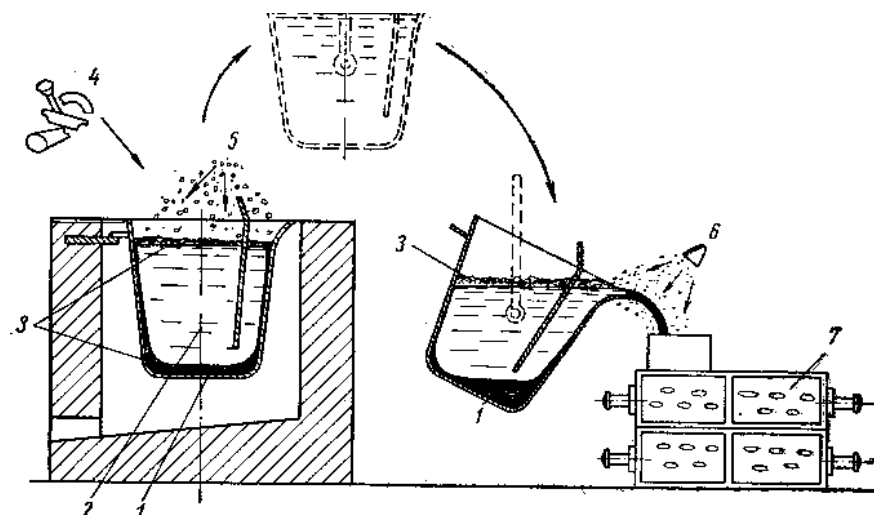
- в стационарных тиглях



**а** - скрапной тигель; **б** - раздаточный тигель; **в** - тигель с флюсом

**1** - тигель; **2** -расплав; **3** - жидкий флюс; **4** - шихта; **5** - порошкообразный флюс; **6** - ковш с жидким расплавом из скрапного тигля; **7** - чушки марочного сплава для подшихтовки; **8** - разливочный ковш; **9** - литейная форма; **10** - плавильный инструмент

### **Схема приготовления магниевых сплавов в стационарных тиглях - в выемных тиглях**



**1** - тигель; **2** -расплав; **3** - жидкий флюс; **4** - шихта; **5** - порошкообразный флюс; **6** – устройство для припыливания струи металла; **7** – литейная форма

### **Схема приготовления магниевых сплавов в выемных тиглях**

**- комбинированным способом**

Таблица 4.6-Схема технологического процесса и оборудование

Расплавление	Модифицирование и рафинирование	Способ разливки сплава	Область применения
В стационарных стальных литых тиглях емкостью до 500 кг		Ковшами чайникового типа емкостью до 20 кг	Мелкие и средние отливки, получаемые в песчаных формах и кокилях, при больших масштабах производства. Максимальная масса жидкого сплава, заливаемого в форму, не более 80 кг.
В выемных стальных сварных тиглях емкостью до 350 кг		Из тех же тиглей, в которых производилась плавка и обработка сплава	Мелкие и средние отливки при малых масштабах производства, а также небольшие партии крупных отливок
В отражательных печах емкостью до 3 т или в индукционных печах промышленной	В выемных стальных сварных тиглях или в стальных литых стационарных тиглях	Сплав из плавильной печи переливается в раздаточную (в выемные или стационарные тигли): а) через летку самотеком; б) с помощью сифонного	Отливки любого размера при больших масштабах производства.

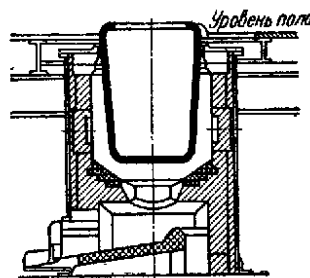
частоты со стальным тиглем емкостью до 2 т		приспособления. Выемные тигли подают к формам с помощью крана или тельфера. Из выемных тиглей сплав разливают по формам сифонным приспособлением; из стационарных тиглей — ковшами чайникового типа	
--	--	---	--

#### 4.3.1 Плавильные печи

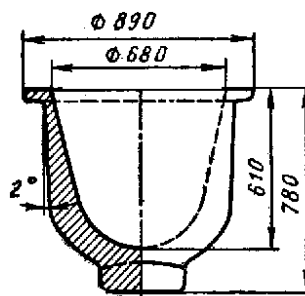
В зависимости от тепловой энергии печи для плавки магниевых сплавов подразделяют на пламенные и электрические.

В качестве топлива для пламенных печей применяют жидкое или газообразное топливо. По конструктивному признаку пламенные печи разделяют на тигельные и отражательные.

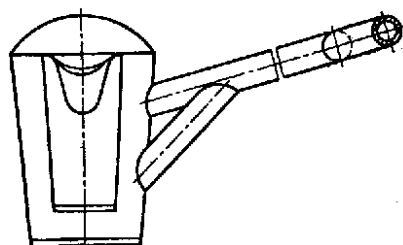
Наиболее распространенными печами этого типа являются тигельные печи с газовым обогревом со стационарными литыми или выемными сварными стальными тиглями.



Стационарные литые тигли изготавливают из углеродистой стали марок 15Л и 25Л. Тигли не рекомендуется изготавливать из сталей содержащих никель, который является вредной примесью для магниевых сплавов. Наиболее широкое применение нашли тигли емкостью 200-350кг.

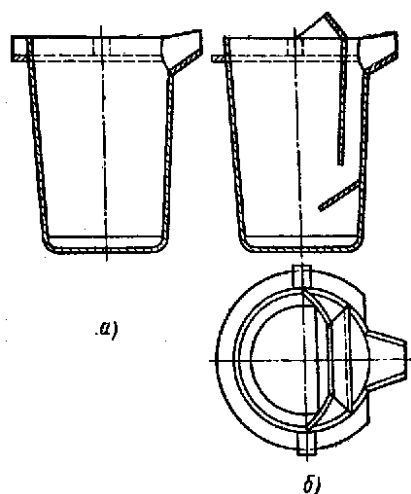


Для разливки сплава из стационарных тиглей в формы используют ковши чайникового типа емкостью 6-20кг.



Сварные выемные тигли изготавливают из листовой стали толщиной 8-15мм. Днище тигля выполняют штамповкой. Толщина днища 15-25мм.

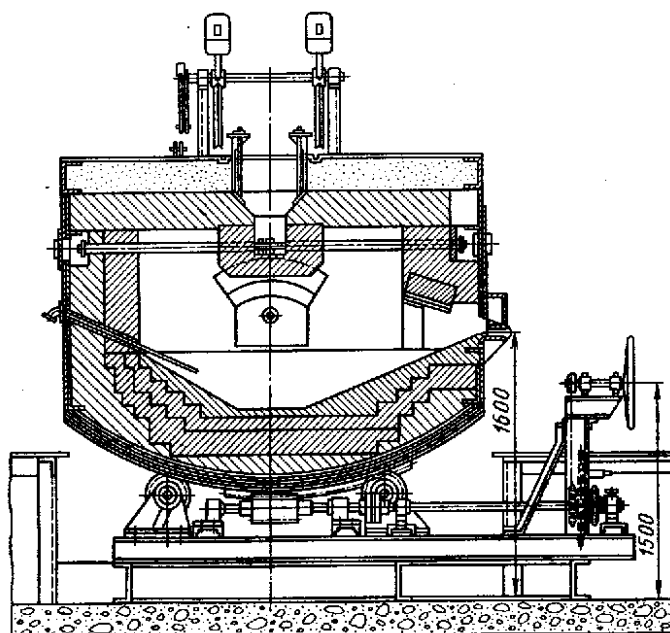
В зависимости от марки магниевого сплава и метода плавки тигли изготавливают без внутренней перегородки (а) и с внутренней перегородкой чайникового типа (б).



Емкость сварных тиглей составляет 30-360кг.

Для предварительного наплавления сплава применяют пламенные отражательные печи. Футеровку подины печи выполняют из магнезитового кирпича, обладающего наибольшей стойкостью против разъедающего действия флюсов и шлаков и не взаимодействующего с жидким магнием. Емкость отражательных печей 1,5-3,0 т.

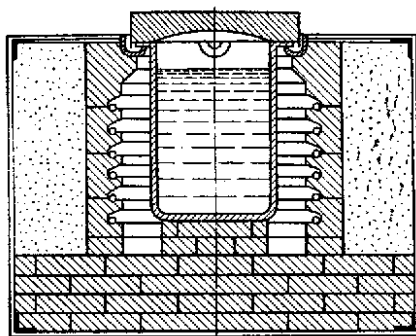
Печи могут быть поворотного или стационарного типа.



**Отражательная газовая печь поворотного типа**

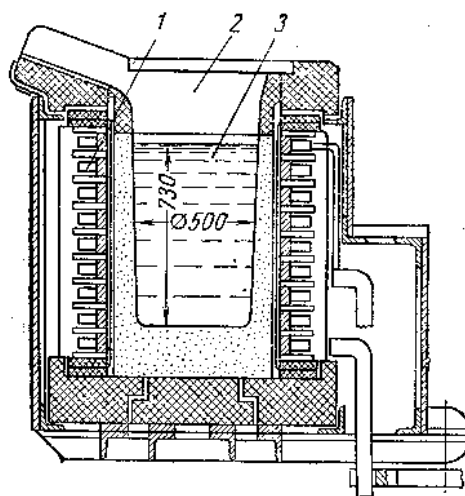
Жидкий металл (после рафинирования и модифицирования) разливают в выемные тигли из печи поворотного типа при наклоне печи по желобу, а из стационарной печи – с помощью разливочного приспособления.

Электрические печи в зависимости от способа превращения электрической энергии в тепловую подразделяются на печи сопротивления и индукционные. Печи сопротивления применяют для плавки магниевых сплавов в выемных тиглях. Конструкция печи должна предусматривать изоляцию спиралей от контакта с газообразными продуктами разложения флюсов.



По этой причине не находят широкого применения отражательные печи сопротивления, так как трудно изолировать спирали.

Индукционные тигельные печи используются для предварительного наплавления сплава.



Преимущества :высокая производительность, малый угар элементов, возможность в специальной газовой среде.

#### 4.3.2 Шихтовые материалы

В состав шихты для приготовления магниевых литейных сплавов входят следующие шихтовые материалы:

-металлические (первичные металлы в чушках, первичные сплавы в чушках, возвраты и лигатуры);

-неметаллические (легирующие добавки, вводимые в виде солей, флюсы, модификаторы, материалы для припыливания расплавленного металла при заливке форм и изложниц).

Классификация металлической шихты, применяемой для приготовления магниевых сплавов приведена в таблице 4.7 - 4.10.

Таблица 4.7-Металлическая шихта, применяемая для приготовления магниевых сплавов

Наименование	Марка	Приготовление сплавов
1.Металлы первичные в чушках		
Алюминий	A99,A97, A95	МЛ4п.ч. и МЛ5п.ч.
	A85	МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6,
Индий	Ин1	МЛ9
Кадмий	Кд-2	МЛ8
Лантан	-	МЛ15
Магний	Мгп.ч.Мг90	МЛ4п.ч., МЛ5п.ч. Все магниевые сплавы
Марганец электролитический	Мр00 МР0	Лигатуры Al-Mn, Al-Mg-Mn, Mg-Mn
Мишметалл (РЗМ)	-	МЛ11
Цинк	Ц1, Ц2	МЛ4п.ч. и МЛ5п.ч., МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ5о.н.,МЛ6, 8,МЛ10,МЛ11,МЛ12, МЛ15
2.Сплавы первичные в чушках		
Магниевые сплавы системы Mg-Mn	ММ2	МЛ2, МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ5о.н., МЛ6 Допускается для сплава МЛ5п.ч.
	МА3Ц	МЛ3
Магневые сплавы системы Mg-Al-Zn	МА6Ц3	МЛ4
	МА8Ц	МЛ5
	МА8Цч	МЛ5п.ч.
	МА8Цо	МЛ5о.н.
	МА10Ц1	МЛ6
Магниевые сплавы системы Mg-Nd	МЦр1Н3	МЛ10
Сплав магний-лантан	-	МЛ15
3.Сплавы предварительные в чушках		
Сплавы, приготовленные из свежих (первичных) металлов, или из возвратов и свежих металлов, или из одного возврата, применяются в чушках	-	Рабочие сплавы

4.Лигатуры		
Алюминий-бериллий	3-6% Be, Al-остальное	МЛ3, МЛ4, МЛ4п.ч., МЛ5, МЛ5п.ч., МЛ5о.н., МЛ6, МЛ8, МЛ12
Алюминий-магний-бериллий	3-5% Be, 30%Mg, Al остальное	То же -
Алюминий-марганец	8-12% Mn, Al- остальное	МЛ3, МЛ4, МЛ4п.ч., МЛ5, МЛ5п.ч., МЛ5о.н., МЛ6
Алюминий-магний-марганец	10% Mn, 20% Mg, 70% Al	То же -
Магний-марганец	2-3.5% -Mn, Mg- остальное	То же, и МЛ2 -
Магний-неодим	-	МЛ9, МЛ10, МЛ19
Магний-цирконий	15-20% Zr, Mg- остальное	МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ12, МЛ15, -

Таблица 4.8-Лигатуры для приготовления магниевых сплавов

Лигатура	Компонент	Содержание компонента, %	Температура плавления лигатуры, °С
Алюминий-магний- марганец	Mg	20	700
	Mn	10	
Алюминий-магний- бериллий	Mg	35	680
	Be	3	
Магний-марганец	Mn	2-4	720

Таблица 4.9 - Химический состав магниевых сплавов в чушках, % по ГОСТ 2581-78

Марка сплавов	Легирующие элементы (Mg-основа)			Сумма определяемых примесей, не более
	Al	Zn	Mn	
ММ2	-	-	1,5-2,2	0.18
ММ2ч	-	-	1,7-2,4	0.02
МА3Ц	3,0-3,8	0,2-0,8	0,2-0,5	0.18
МА5Ц1	3,8-5,0	0,8-1,5	0,2-0,8	0.25
МА5Ц1ч	3,8-5,0	0,8-1,5	0,2-0,8	0.03
МА6Ц3	5,6-6,8	2,2-3,0	0,2-0,5	0.22
МА6Ц3ч	5,6-6,8	2,2-3,0	0,2-0,5	0.09
МА8Ц	7,8-8,7	0,3-0,8	0,2-0,5	0.18
МА8Цч	7,5-8,7	0,3-0,8	0,2-0,5	0.06
МА8ЦБч	7,5-8,7	0,3-0,8	0,2-0,5	0.06
МА10Ц1	9,0-10,0	0,7-1,2	0,2-0,5	0.26



МЦр1НЗ	-	-	-	2.6-3.2%Nd 0.4-1.1% Zr
--------	---	---	---	---------------------------

Таблица 4.10-Классификация сплавов, предназначенных для раздаточных печей и для заливки их непосредственно в формы

Сплав	Способ приготовления и назначение	Исходные материалы для изготовления сплава
Первичный	Чушки готовых стандартных сплавов, поставляемых заводами цветной металлургии	
Предварительный	Приготавливают из свежих металлов, из свежих металлов или из одних возвратов. При меняют в виде чушек.	1 Свежие металлы и лигатуры 2 Возвраты I, II, III сортов
Промежуточный	Приготавливают в плавильной печи для последующего перелива в раздаточные печи (с выемными или стационарными тиглями)	1 Свежие металлы и лигатуры, первичные или предварительные сплавы в количестве 20-40%. 2 60-80% возвратов II и III сорта.
Рабочий	Сплав в расплавленном состоянии в раздаточной печи (тигле) приготовлен для разливки непосредственно в формы	3 Допускается приготовление сплавов только из свежих металлов, только из возвратов или только из готовых (первичных или предварительных) сплавов. Промежуточный и рабочий сплавы, приготовленные из 100% возвратов, должны освежаться после двух оборотов первичным или предварительным сплавом

Основными неметаллическими материалами, применяемые при плавке магниевых сплавов являются:

- легирующие добавки, вводимые в сплавы в виде солей;
- флюсы;
- модификаторы.

Таблица 4.11-Легирующие добавки, вводимые в сплавы в виде солей

Добавка	Формула	Характеристика	Назначение
Марганец хлористый	$MnCl_2$	Плавится при температуре $650^{\circ}C$	Для введения марганца в сплав Мл2
Фторбериллат натрия	$Na_2BeF_4 + NaBeF_3$	Содержит $\geq 6,5\%$ Be, разлагается при $730-750^{\circ}C$	Для введения бериллия в магниевые сплавы
Фторцирконат калия	$K_2ZrF_6$	Содержит $\geq 32\%$ Zr, разлагается при $850-900^{\circ}C$	При отсутствии металлической лигатуры MgZr для введения циркония в

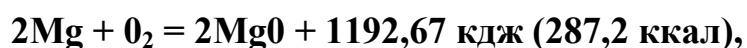
			виде «шлаклизатуры»
--	--	--	---------------------

Таблица 4.12 – Неметаллические модификаторы для магниевых сплавов

Модификатор	Состав модификатора, %	Подготовка к модифицированию	Назначение модификатора
Магнезит	MgO 42-48; CO <sub>2</sub> 49-51 и летучие примеси: SiO <sub>2</sub> 0,8-0,9; FeO 0,15-0,30; CaO 0,5-2,6; прочих примесей до 2.	Просушивают при 150-200 °С до влажности не более 1 %, загружают кусками размером 10-25 мм.	Модифицирование сплавов МЛЗ, МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6.
Мел марки А	CaCO <sub>3</sub> 100	Просушивают при 150-200°С до влажности не более 1%, размалывают и просеивают через сито с ячейками 0,2-0,5 мм.	
Углекислый газ	CO <sub>2</sub> 100	Просушивают до влажности не более 1%.	
Гексахлорэтан	Ca <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> 100	-	
Аммиак	NH <sub>3</sub> 100	Просушивают до влажности не более 1%.	Модифицирование сплавов магний-цинк-РЗМ.

#### 4.3.3 Особенности плавки

Плавка магниевых сплавов имеет свои особенности, обусловленные свойствами магния и характером его взаимодействия с атмосферой при нагревании. Химическая активность магния возрастает в расплавленном состоянии, он легко соединяется с кислородом, влагой, азотом и при температурах выше 800°С возгорается с поверхности. Возгорание магния связано с наличием на его незащищенной поверхности рыхлой окисной пленки, которая в отличие от плотной окисной пленки алюминия не служит преградой для прохождения через нее кислорода воздуха. С другой стороны, пористая пленка окиси магния обладает малой теплопроводностью, а поскольку окисление магния сопровождается выделением большого количества тепла:

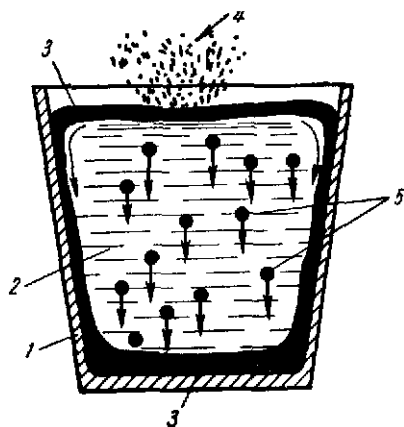


то тепло не успевает рассеиваться в окружающем пространстве, накапливается под пленкой и магний самовозгорается с поверхности. Поэтому вести плавку магниевых сплавов в обычных условиях, т. е. на воздухе, невозможно: необходима специальная технология. Известны два способа защитной плавки магниевых сплавов: плавка в нейтральной атмосфере и плавка под слоем защитных флюсов. Снижение окисляемости магния получают также, добавляя в него металлы, изменяющие природу пленки  $MgO$ , т. е. делающие ее более плотной и менее проницаемой для кислорода.

Плавка в вакууме затруднена, так как магний легко возгоняется. Способ плавки под защитной нейтральной атмосферой требует сложного оборудования и широкого применения не нашел.

В промышленности распространен способ плавки под флюсом, совмещаемый с добавками бериллия в количестве **0,001— 0,002%** от массы металла. Бериллий резко снижает окисляемость магния.

Флюсы, применяемые при плавке магниевых сплавов, готовят на основе хлоридов и фторидов щелочных и щелочноземельных элементов с различными добавками. Основу флюсов составляют низкотемпературные смеси двух или трех солей, обычно эвтектического или близкого к нему состава, в частности применяют карналлит  $MgCl_2-KCl$ . Помимо защитных свойств, флюсы должны обладать также хорошей рафинирующей способностью. Флюсы для магниевых сплавов должны иметь достаточно высокую вязкость, чтобы легко отделяться от металла, так как попадающие при литье частицы флюса в отливке становятся очагами коррозии. В жидком состоянии плотность флюса должна быть несколько больше, чем плотность расплавленного металла. Это необходимо потому, что окислы магния имеют плотность, мало отличающуюся от плотности расплава, и всплывание их даже при длительном выстаивании практически не происходит. Кроме того, трудно подобрать флюс более легкий, чем магниевый расплав который сам имеет наименьшую плотность из всех известных промышленных сплавов. Поэтому . покровно-рафинирующие флюсы, применяемые для магниевых сплавов, засыпанные на поверхность, некоторое время удерживаются на ней благодаря силам поверхностного натяжения. Затем флюсы, оплаваясь, постепенно стекают на дно тигля по его стенкам или же проходят через металл, увлекая за собой неметаллические включения, смотри рисунок, после чего на поверхность подсыпают снова новые порции флюса, чтобы магний не загорался. Таким образом, при плавке в тиглях металл находится как бы в флюсовом «мешочке». Для получения такого «мешочка» необходимо, чтобы флюс хорошо смачивал стенки тигля и под печи и не взаимодействовал с ними.



1 — тигель; 2 — металл; 3 — жидкий флюс; 4 — порошкообразный флюс, 5 — опускающиеся на дно капли жидкого флюса

### Схема плавильной ванны и механизма рафинирования флюсами магниевых сплавов

В качестве утяжелителей к основным компонентам флюса добавляют хлористый барий ( $\text{BaCl}_2$ ) и хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ). Обладая хорошей смачивающей способностью по отношению к окисным включениям, флюс одновременно должен легко отделяться от расплава. Чем выше его поверхностное натяжение и вязкость, тем легче капли флюса опускаются на дно (для этих целей в флюс вводят сгустители —  $\text{MgO}$  и  $\text{CaF}_2$ ). Высокое поверхностное натяжение позволяет флюсу удерживаться на поверхности и выполнять защитные функции.

В зависимости от метода плавки известны различные составы флюсов. В таблице приведены составы флюсов, применяемых на заводах.

Таблица 4.13- Химический состав и область применения флюсов для плавки магниевых сплавов

Марка флюса	Состав флюса, % (мас. доля)										Область применения
	$\text{MgCl}_2$	$\text{KCl}$	$\text{NaCl}$	$\text{CaCl}_2$	$\text{BaCl}_2$	$\text{LiCl}$	$\text{CaF}_2$	Прочие компоненты	Нерастворимый осадок	$\text{H}_2\text{O}$	
ВИ-2	38-46	32-40	10	-	5-8	-	3-5	$\text{MgO}$ до 1,5	До 1,5	До 3	Для плавки в стационарных печах и тиглях
ВИ-3	30-40	25-36	7	-	-	-	15-20	$\text{MgO}$ 7-10	До 1,5	До 3	Для плавки в выемных тиглях
1	-	-	-	-	-	80	-	$\text{LiF}$ 20			
2	-	-	14-21	47-51	26-29	-	2-5	-	-	До 2	Для сплавов с редкоземельными металлами
3											
4	-	55	-	28	15	-	2	-	-	-	Для сплавов

											магния с торием и цирконием
ФЛ1	-	-	-	-	-	-	13	MgF <sub>2</sub> 32; AlF <sub>3</sub> 40; B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 15;	-	-	Бесхлоридные флюсы
ВИА М1	-	-	-	-	-	-	3,5	AlF <sub>3</sub> 23.5; BrO <sub>3</sub> 40; Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> 33	-	-	
ВИА М5	-	-	-	-	-	-	17,5	MgF <sub>2</sub> 17.5 AlF <sub>3</sub> 15 BrO <sub>3</sub> 50	-	-	

При плавке магниевых сплавов требуется постоянное соблюдение технологических условий, исключающих возможный контакта металла, флюсов, плавильных тиглей, инструмента и другого оборудования с влагой. не только с точки В случае контакта с влагой возможно загорание металла, сильные выбросы металла, что опасно для обслуживающего персонала, поэтому весь инструмент (разливочные ковши, ложки, мешалки) хранят в специальных подогреваемых тиглях с расплавленным флюсом.

Магниевого сплавы в литейных цехах обычно плавят в два приема: сначала готовят предварительный, а затем рабочий сплав. Предварительный сплав готовят из чистых металлов, хорошо перемешивают, рафинируют и разливают в чушки. Далее анализируют его химический состав и в случае соответствия стандарту употребляют для приготовления рабочего сплава (расплава, из которого получают фасонные отливки). Расплавление шихты ведут под слоем флюса. При плавке в тиглях вначале расплавляют флюс, а затем металлическую шихту погружают в флюсовый расплав, что уменьшает возгорание магния. В процессе плавки оголенные участки шихты присыпают флюсом.

Последовательность загрузки составных частей шихты для наиболее распространенных магниевых сплавов следующая: магний, лигатуры (алюминий—марганец и др.), затем цинк, (как металл, наиболее легко испаряющийся). Присадки кальция и бериллия производят обычно самыми последними. Расплавленный металл подогревают и затем рафинируют. Перед рафинированием в расплав обычно вводят небольшое количество бериллия (**0,001—0,002%**), который предохраняет расплав от возгорания, в результате создания на его поверхности окисной пленки, более плотной, чем пленка из окиси магния. Бериллий вводят в виде лигатур **алюминий—бериллий, алюминий—бериллий—магний** или в виде **фторбериллата натрия Na<sub>2</sub>BeF<sub>4</sub>**, из которого бериллий восстанавливается и переходит в расплав в результате реакции соли с магнием: **Na<sub>2</sub>BeF<sub>4</sub> + Mg = 2NaF + Be + MgF<sub>2</sub>**. Фторбериллат натрия вводят после рафинирования.

Таблица 4.14-Рафинирование магниевых сплавов

Операции	Содержание операций.
1.Подготовка сплава к рафинированию.	Снять подогретой ложкой загрязнения с поверхности сплава и присыпать свежим флюсом:

	- ВИ2 или ФЛ5 при плавке системы Mg-Mn, Mg-Zr (возможно применение флюса ВИ3 при плавке в выемных тиглях); -ФЛ5 при плавке сплавов Мл4, Мл5 повышенной чистоты.
2.Рафинирование сплавов системы Mg-Al-Zn и Mg-Mn.	Интенсивно перемешать сплав. 1.Замешивать флюс движением мешалки сверху вниз, далее по низу вперед от себя, затем снизу в верх и по верху к себе. 2.Продолжительность рафинирования сплавов системы Mg-Al-Zn промышленной чистоты при 720-740°C 3-5 мин. 3.После рафинирования снять загрязнения и покрыть зеркало сплава свежим флюсом.
3.Рафинирование сплавов, легирование цирконием.	1.Рафинировать сплав флюсом ВИ2 после введения легирующих добавок (кроме лигатуры Mg-Zr) при 720-740 °С в течении 3-5 мин. 2.После введения лигатуры Mg-Zr при 780-800°C интенсивно перемешать сплав со дна тигля в течении 5-7 мин с целью полного растворения лигатуры. 3.После перемешивания со дна провести интенсивное рафинирование, как указано выше, в течении 5-8 мин при 780-800°C. 4.После рафинирования снять загрязнения и покрыть поверхность свежим флюсом.

Наряду с очисткой от неметаллических включений обработка расплава рафинирующими флюсами способствует также некоторой дегазации расплава от растворенного в магниевых сплавах водорода. В случае более сильного газонасыщения расплав может быть подвергнут дегазации продувкой инертными газами (азотом, аргоном) или хлором.

Продувку сплава инертным газом проводят при температуре **740—750 °С**. Скорость продувки устанавливается такой, чтобы привести к интенсивному перемешиванию расплава без выплескивания сплава на стенки и борта печи. Время продувки для понижения содержания водорода в магниевом сплаве (до 8—10 см<sup>3</sup> на 100 г сплава) составляет 30 мин. Более продолжительная дегазация сплава приводит к некоторому укрупнению зерна в структуре материала отливок.

Действие азота при дегазации магниевых сплавов аналогично действию инертного газа. Однако при прохождении пузырьков азота через сплав происходит частичное взаимодействие сплава с газом и образуется нитрид магния, что приводит к некоторому загрязнению сплава неметаллическими включениями. Продувку магниевых сплавов азотом осуществляют при температуре 660—685 °С. Во время продувки сплава в этом интервале температур не происходит интенсивной химической реакции. При более высоких температурах (свыше 700 °С) идет активное образование нитрида магния. Продувку сплава в тигле вместимостью около 1 т производят в течение получаса через железную трубку диаметром 20 мм. При этом трубка должна находиться на расстоянии 150—200 мм от дна тигля. По окончании дегазации сплав переливают в раздаточные тигли, очищают зеркало сплава, после чего сплав подвергают рафинированию и модифицированию. Перед операцией модифицирования возможно проведение дополнительной дегазации сплава при температуре 740—760 °С продувкой хлора со скоростью, вызывающей небольшое перемешивание сплава. Продувку ведут в течение 3—5 мин при небольшом избытке хлора.

Дегазация хлором или смесью хлора с четыреххлористым углеродом. При прохождении пузырьков хлора через сплав хлор вступает в реакцию с магнием,

образуя хлористый магний. Температуру сплава при хлорировании поддерживают обычно в пределах 740—760°C. Изменение скорости хлорирования в пределах 2,5—8 л/мин не оказывает заметного действия на размеры зерна и механические свойства сплава, если количество пропускаемого хлора остается постоянным и не превышает 3% от массы сплава. Более высокий процент хлора приводит к укрупнению зерна в структуре отливок и к некоторому понижению механических свойств.

Иногда дегазация хлором совмещается с операцией модифицирования сплава. В этом случае через сплав продувают 1—1,5% (от массы плавки) хлора вместе с 0,25% четыреххлористого углерода.

Температура сплава при таком способе 690-710 °С.

Дегазация магниевых сплавов с помощью хлора или смеси хлора с четыреххлористым углеродом имеет недостатки. Из них наиболее серьезным является то, что хлор токсичен (ядовит) и применение его связано с опасностью отравления работающих, так как при использовании хлора с четыреххлористым углеродом образуется некоторое количество фосгена, являющегося сильным отравляющим веществом

. Полезны добавки кальция до 0,1%. Кальций связывает водород, присутствующий в сплаве, в устойчивые включения типа гидридов, которые менее вредны, чем сам водород. Кальций, кроме того, уменьшает, подобно бериллию, окисляемость магниевых сплавов.

Сплавы систем Mg—Mn (МЛ2) и Mg—Al—Zn перед заливкой в формы модифицируют. При литье в земляные формы отливки из немодифицированного расплава имеют грубозернистую структуру и пониженные механические свойства. Модифицирование магниевых сплавов производят двумя методами:

Таблица 4.15 - Модифицирование сплавов системы Mg-Al-Zn.

### Модифицирование магнезитом

Операции	Содержание операций
1.Подготовка модификатора.	1.Измельчить на куски до размера 10-25 мм магнезит, просушить при температуре 150-200 °С. 2.Отвесить в количестве 0,25-0,3% от массы шихты. 3.Прогреть предварительно очищенный колокольчик и заложить в него навеску модификатора.
2.Модифицирование.	1.Магнйвые сплавы промышленной чистоты, приготовленные с применением флюса ВЛ2, модифицируют при температуре 720-740°C. Допускается модифицировать при 740-780°C. Магниевые сплавы промышленной или повышенной чистоты, приготовленные с применением флюсов ФЛ5 и ФЛ1, модифицировать при 740-780°C. 2.Прогрузить колокольчик в сплав примерно на половину глубину тигля. Продолжительность модифицирования 8-10 мин. 3.По мере необходимости присыпать поверхность

	расплава флюсом. 4.Следующая операция – рафинирование.
--	---

### Модифицирование мелом

1.Подготовка модификатора.	1.Просушить при температуре 150-200°C модификатор, измолоть и просеять через сито с ячейками 0,2-0,5 мм.
	2.Отвесить в количестве 0,5-0,6% от массы шихты.
	3.Тщательно прогреть колокольчик и заложить в него навеску модификатора.
2.Модифицирование	Модифицирование производят при 740-780°C в течение 3-5 мин. По мере необходимости присыпать зеркало сплава флюсом.

### Модифицирование перегревом

1.Рафинирование.	Расплавленную шихту довести до температуры 720-740°C и рафинировать.
2.Модифицирование.	После рафинирования поднять температуру до 830-860°C при плавке в стационарных тиглях и до 850-900°C при плавке в выемных тиглях. Выдержать при указанных температурах в стационарных тиглях 15-20 мин и в выемных тиглях 10-15 мин.

Известны три основных способа плавки магниевых сплавов: в стационарных тиглях, выемных тиглях и комбинированные способы (отражательная печь-тигель или индукционная печь-тигель).

Схема приготовления магниевых расплавов почти одинакова для всех способов плавки, но имеются различия в оборудовании, методах заливки и в специфических особенностях флюсов, которые при этом применяют.

Для всех способов характерна следующая последовательность приготовления магниевого сплава: расплавление под покровом флюса, перегрев, рафинирование, модифицирование и разливка.

Таблица 4.16-Приготовление предварительных и промежуточных сплавов систем Mg-Mn и Al-Zn в индукционных печах

Операции	Содержание операций
1 Подготовка тигля к плавке.	Стационарные тигли очистить от остатков металла, флюса и подвернуть контролю. Периодический контроль тигля производят через каждые 48-72ч работы. При обнаружении значительного общего или местного утончения стенок и дна тигля очередной контроль производят через каждые 24ч непрерывной работы. Сварные тигли перед началом плавки подвергают отмочке. Тигли емкостью до 70 кг можно очищать в горячем состоянии счищалками. Очищенный тигель



	подвергают контролю
2 Подогрев тигля.	Нагреть тигель до темно-красного каления (~500 °С)
3. Загрузка флюса в тигель.	Присыпать стенки и дно тигля порошкообразным флюсом ФЛ5 или ВИ2 при приготовлении сплавов промышленной чистоты и флюсом ФЛ5 при приготовлении сплавов повышенной чистоты из расчета 0,1-0,25% от массы шихты. При плавке сплавов промышленной чистоты в выемных тиглях можно употреблять флюс ВИ3
4. Загрузка шихты в печь.	Шихту загружают без подогрева в тигель (без жидкого металла). Последующие порции твердой шихты загружают после ее подогрева до температуры не ниже 120°С. Порядок загрузки шихты при приготовлении предварительного сплава: возвраты, магний, лигатура алюминий-марганец, алюминий; при приготовлении промежуточного сплава: если шихта состоит из возвратов и предварительных (первичных) сплавов, то сначала загружают возвраты.
5. Расплавление металла.	1. Присыпать загруженную шихту порошкообразным флюсом. 2. Расплавить шихту и довести температуру для сплава МЛ2 до 760-780°С, сплавов МЛ3, МЛ4, МЛ4п ч, МЛ5, МЛ5п ч, МЛ5о.н, МЛ6 до 700-720°С.
6. Введение в расплав легирующих добавок.	1. Ввести в сплавы МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ5п.ч, МЛ5о.н, МЛ6 металлический цинк, подогретый до 120°С, и лигатуру Al-Mn или Mg-Al-Mn.
7. Рафинирование.	При температуре 700-720°С произвести рафинирование (при введении в сплав бериллия в виде фторбериллата натрия температура рафинирования повышается до 730-750°С)
8. Отбор пробы.	При плавке предварительного сплава взять пробу на спектральный или химический анализ. При плавке промежуточного сплава взять пробу на спектральный экспресс-анализ.
10. Выстаивание сплава.	Дать сплаву отстояться в течение не менее 15 мин при 720-740°С. В индукционных печах температура сплава при отстаивании может достигать 760°С.
14. Разливка сплава	При 650-740°С разлить предварительный сплав в изложницы, подогретые до температуры не менее 120°С. Промежуточный сплав перелить в подготовленные и подогретые тигли раздаточных печей (разливочными ковшами или непосредственно из тигля, или закрытым способом с помощью насоса или сифонного приспособления).

Таблица 4.17 - Приготовление предварительных и промежуточных сплавов систем Mg-Mn и Mg-Al-Zn в отражательных печах.

Операции	Содержание операций
1. Подогрев печи.	Печь, очищенную от предыдущей плавки, нагреть до температуры 750-850°С.
2. Загрузка	Загрузить флюс типа ФЛ5 или ВИ2 при приготовлении сплавов

флюса для промывки пода.	промышленной чистоты и типа ФЛ5 при приготовлении сплавов повышенной чистоты (0,3-0,5% от массы шихты).
3.Подогрев шихты.	Подогреть шихту до температуры не менее 120°С на форкамере печи. Допускается загружать шихту в печь без подогрева, если в ней нет расплавленного металла или флюса.
4Загрузка основной части шихты.	Шихту загружают в следующем порядке: возвраты, магний, лигатура Al-Mn, алюминий (при загрузке шихты в два приема вторую часть загружают после расплавления первой).
5.Загрузка флюса.	Присыпать шихту флюсом в количестве 2-3% от массы шихты.
6.Расплавление шихты.	1.После включения всех горелок начать плавку, наблюдая за ее ходом через смотровое окно. 2.Довести температуру при приготовлении сплава МЛ2 до 750-780°С и при приготовлении сплавов, легированных алюминием до 690-720°С
7.Введение в сплав остальных легирующих добавок.	1.Ввести в сплав МЛ2 лигатуру Mg-Mn, металлический марганец или хлористый марганец. 2.При плавке остальных сплавов ввести металлический цинк и лигатуру Al-Be (или лигатуру Al-Mg-Be) 3.После введения добавок очистить поверхность расплава от загрязнений и присыпать свежим флюсом.
8.Рафинирование.	Провести рафинирование при 700-720°С, после чего очистить поверхность сплава и присыпать свежим флюсом.
9Отбор пробы.	Взять пробу на спектральный экспресс-анализ.
10.Выстаивание сплава.	Дать сплаву отстояться при 720-740°С в течение не менее 15 мин.
11.Разливка сплава.	После получения анализа через летку стационарной печи или наклоном поворотной печи разлить предварительный сплав в подогретые до температуры не менее 120°С, изложницы, промежуточный сплав- в выемные тигли, подогретые до ~500°С,
12.Очистка печи	Удалить из печи оставшийся сплав и очистить ее от флюса и шлака.

Таблица 4.18 - Приготовление рабочих сплавов систем Mg Mn и Mg-Al-Zn в стационарных стальных литых тиглях

Операции	Содержание операций
1.Подготовка тиглей к плавке.	Очистить и подвергнуть тигель контролю.
2.Подогрев тиглей.	Подогреть тигли до темно-красного каления.
3.Загрузка флюса в промывной тигель № 3.	Загрузить в тигель флюс № 2 или ВЛ2 в количестве примерно 90 % емкости тигля.
4.Загрузка флюса в	Присыпать стенки и дно тигля флюсом ВЛ2 или типа

скрапной тигель № 1.	ФЛ5 в количестве 0,1-0,25%.
5.Загрузка шихты в скрапной тигель № 1	Загрузить в скрапной тигель предварительно подогретые возвраты. Загруженную шихту присыпать флюсом в количестве 0,5-1,5% от массы шихты.
6.Расплавление флюса в промывном тигле № 3.	Расплавить флюс и довести его до температуры 750-850°C.
7.Расплавление шихты в скрапном тигле № 1.	Расплавить шихту и довести ее до температуры 680-720°C
8.Рафинирование металла в скрапном тигле № 1.	1 Снять подогретой ложкой загрязнения с поверхности сплава и присыпать свежим флюсом 2 Рафинировать в течение 3-5 мин. 3 Снять с поверхности расплава шлак и присыпать флюсом.
9.Загрузка флюса в раздаточную печь № 2	Присыпать стенки и дно тигля флюсом ВИ2 или типа ФЛ5 в количестве 0,1-0,25% от массы шихты.
10. Перелив жидкого сплава в раздаточную печь № 2.	Наполнить тигель (примерно на 2/3 его емкости) раздаточной печи № 2 жидким сплавом из печи № 1.
11.Догрузка шихтой скрапной печи № 1.	Загрузить в печь предварительно подогретые возвраты, затем повторить операции 7 и 8.
12.Загрузка твердой шихты в раздаточную печь №2.	1.Догрузить раздаточную печь подогретыми чушками первичных или предварительных сплавов. 2.Расплавить шихту и довести ее до температуры 700-730°C, если требуется ввести бериллий.
13.Модифицирование.	Модифицировать сплавы, содержащие алюминий, при температуре 700-730°C
14.Рафинирование.	Провести рафинирование
15.Отбор пробы на структуру излома и на химический анализ.	Удалить с поверхности шлак, взять технологическую пробу и пробу для спектрального и химического анализов, присыпать поверхность свежим флюсом. При несоответствии излома технологической пробы повторить операции модифицирования и рафинирования.
16 Подогрев сплава.	Довести температуру сплава до технологически необходимой (не ниже 760°C)
17 Выстаивание сплава.	Дать сплаву отстояться при наиболее высокой температуре не менее 15 мин.(но не более 30 мин) в зависимости от глубины ванны.
18 Разливка сплава по формам.	Разливку сплава производят с помощью приспособлений по трубам или ковшам

Примечание: Не реже чем через 48 ч работы, но не более через 20 плавов (сплавов) вычерпать весь флюс из тигля и заменить его новым.

Таблица 4.19 - Приготовление рабочих сплавов систем Al-Zn в выемных тиглях

Операции	Содержание операций
1.Подготовка тигля.	Очищенный и проверенный тигель установить в печь.
2.Подогрев тигля.	Нагреть тигель до~ 500°C.
3. Подогрев шихты.	Нагреть шихту до температуры не ниже 120°C..
4.Загрузка флюса в тигель.	Припылить стенки и дно выемного тигля флюсом Ви3 или типа ФЛ5 при плавке сплавов промышленной чистоты, ВИ2 при плавке сплавов промышленной чистоты в тиглях чайникового типа, ФЛ5 при плавке сплавов повышенной чистоты. ( количество флюса 0,1-0,25% от массы шихты).
5.Загрузка шихты в печь.	Загрузить твердую подогретую шихту в печь или перелить в тигель расплавленный промежуточный сплав из отражательной или индукционной печи. Загруженную шихту присыпать флюсом.
6.Расплавление шихты.	Расплавить шихту и довести сплав до температуры 700-730°C (или подогреть жидкую шихту до указанной температуры).
7.Введение бериллия.	Ввести лигатуру Al-Be или Al-Mg-Be при 730°C, если это необходимо.
8.Модифицирование.	Модифицировать сплав (табл. 2.64)
9.Рафинирование.	Провести рафинирование сплава флюсом Ви2, Ви3 и ФЛ5 (табл. 2.63)
10.Отбор проб.	1.Взять технологическую пробу и пробу на спектральный или химический анализы. 2.При несоответствии излома пробы установленному эталону повторить операции 8, 9.
11.Введение кальция при плавке сплава Мл7-1.	Ввести навеску кальция при 760-780°C и отлить повторную пробу для спектрального (химического) анализа.
12.Подогрев и выстаивание сплава.	Довести температуру сплава до технологически требуемой (не ниже 780°C.) и дать отстояться в течение 15-30 мин..
13.Разливка сплава.	Разлить сплав с помощью приспособлений или непосредственно из тигля

Таблица 4.20 - Приготовление рабочих сплавов, содержащих цирконий, в тигельных печах.

Операции	Содержание операций
1.Подготовка тигля.	Плавку производят в предварительно очищенных от остатков флюса и сплава стационарных или выемных тиглях
2.Подогрев тигля.	Нагреть тигель до ~ 500°C.
3.Загрузка флюса.	Присыпать дно и стенки тигля флюсом Ви2 в количестве

	0,1-0,25% от массы шихты.
4.Загрузка шихты.	Шихту загружают в твердом виде в следующем порядке: при применении шихты только из свежих металлов-магний, готовый сплав Мл10; при применении возвратов возвраты, магний, готовый сплав Мл10. Загрузка в расплавленный металл твердой шихты допускается до температуры не ниже 120°C.
5.Расплавление металла.	Твердую шихту присыпать флюсом, включить печь и довести температуру металла до 700-720°C (или подогреть жидкую шихту до указанной температуры).
6.Введение в сплав цинка, кадмия, индия и бериллия.	1.Очистить поверхность от загрязнений и ввести в сплав: металлический цинк для сплавов Мл8, Мл10, Мл11, Мл12, Мл15;кадмий для сплава Мл8, индий для сплава Мл9, растворив их на ложке. 2.Снять с поверхности загрязнения и ввести бериллий (если это необходимо).
7.Рафинирование.	При температуре 720-740°C рафинировать сплав в течение 3-5 мин с добавлением флюса (1-2% от массы шихты).
8.Введение в сплав лигатуры Mg-Nd, мишметалла, лантана, лигатуры Mg-Zr.	1.Довести температуру сплава до 780°C и ввести на ложке лигатуру Mg-Nd в сплав Мл10 , мишметалл в сплав Мл11, лантан в сплав Мл15. 2. При температуре 780-810°C снять с поверхности сплава загрязненный флюс, присыпать поверхность свежим флюсом, а затем загрузить по частям лигатуру Mg-Zr. Лигатура должна быть предварительно подогрета до температуры не ниже 120°C (рекомендуется подогревать ее до 300-500°C). При введении лигатуры не допускать снижение температуры ниже 760°C (рекомендуется не снижать температуру расплава ниже 780°C). Последующие порции лигатуры вводят после растворения предыдущей.
9.Рафинирование и отбор проб.	1.Провести интенсивное перемешивание сплава в течении 5-7 мин, присыпая поверхность флюсом. 2.Взять технологическую пробу на излом. 3.Провести рафинирование сплава в течении 5-8 мин. 4.Выдержать сплав при температуре 780-800°C в течении 5-10 мин и взять пробы на излом и спектральный анализ. 5.В случае неудовлетворительной пробы на излом произвести подшихтовку расплава 1-2% лигатуры Mg-Zr, провести повторное рафинирование в течении 5-8 мин и вновь взять технологическую пробу.
10.Отстаивание.	Произвести отстаивание сплава в течение 20-30 мин при температуре 780-800°C.
11.Разливка сплава.	При удовлетворительных результатов пробы на излом довести температуру сплава до технологически необходимой и произвести разливку сплава.

Примечание . Общий расход флюса при плавке и рафинировании 5-7%.

## 2.65. Переплав стружки магниевых сплавов.

Операции	Содержание операций
1.Подготовка стружки.	Просушить стружку в шкафу, на противне или иным путем при температуре 120-200°C.
2.Подготовка тигля.	1.Стружка может быть переплавлена в литых или сварных стальных тиглях или в отражательных печах с ручной или механизированной загрузкой ее в печь 2.Очистить тигель и подогреть его до темно-красного каления (~500°C)..
3.Загрузка флюса.	Загрузить порошкообразный или жидкий флюс Ви2 в количестве ~10% при ручной загрузке стружке и ~20% при механизированной.
4.Нагрев флюса.	Нагреть флюс до температуры 650-720°C.
5.Загрузка стружки и расплавление.	Загрузить стружку мелкими навесками по 3-10 кг, поддерживая температуру ванны 600-700°C. По мере необходимости добавлять на поверхность флюс Ви2.
6.Рафинирование.	Рафинировать расплав флюсом Ви2 при температуре 680-700°C.
7.Отбор пробы.	Отобрать пробу на химический или спектральный анализ, а также пробу на чистоту сплава (по излому).
8.Разливка сплава.	Разлить сплав по изложницам, нагретым до 120-200°C.

**Таблица**

### Неметаллические модификаторы, применяемые при плавке магниевых сплавов

Модификатор	Формула	Состав	Характеристика	Назначение
Магнезит	$MgCO_3$	42-48% MgO, 49-51% CO <sub>2</sub> (в основном) и другие летучие примеси, 0.8-0.9% SiO <sub>2</sub> , 0.15-0.30% FeO, 0.5-2.6% CaO, до 2% прочих примесей	Просушить при 150-200°C до влажности не более 1%. Загружают кусками размером 10-25 мм	Для модифицирования сплавов Мл3, Мл4, Мл4пч, Мл5, Мл5пч, Мл5он, Мл6, Мл7-1
Мел	$CaCO_3$	Марки А	Просушить при 150-200°C до влажности не более 1%. Измолоть и	То же

			просеять через сито с ячейками 0,2-0,5 мм	
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	-	Просушить до влажности не более 1%	То же
Гексахлорэтан	C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	-	-	То же

В целях повышения коррозионной стойкости и механических свойств магниевых сплавов разработано несколько способов обработки их в жидком состоянии, например способ последовательной обработки ванны жидкого сплава кальцием и гексахлорэтаном. Указанную обработку осуществляют по следующей технологии. Кальций в количестве 0,1% вводят в сплав после его рафинирования при температуре 750°С. Навеску кальция помещают в колокольчик, который погружают в сплав на 2/3 глубины тигля. Через 10 мин после введения кальция сплав обрабатывают гексахлорэтаном при температуре 750—780°С. Навеску гексахлорэтана в количестве 0,07—0,1% от массы шихты заворачивают в алюминиевую фольгу или тонкую бумагу и помещают в колокольчик, который погружают также на 2/3 глубины тигля и затем перемещают в нем. По окончании реакции с поверхности сплава снимают шлак, сплав покрывают слоем флюса в зависимости от того, какой применяют тигель — стационарный или выемный. Сплав в тигле подвергают кратковременному рафинированию в течение 1—1,5 мин при вместимости тигля около 300 кг). После повторного рафинирования сплав выдерживают в течение 15 мин; после чего он готов к разливке по формам. Последовательная обработка магниевых сплавов кальцием и гексахлорэтаном повышает плотность отливок и позволяет резко улучшить их механические свойства. Магниевые сплавы в процессе их плавки и разливки поглощают самое большое количество водорода по сравнению с любым из ранее рассмотренных сплавов цветных металлов. Например, если в алюминиевых сплавах содержание водорода составляет 1—5 см<sup>3</sup> на 100 г сплава, то в магниевых сплавах количество водорода может достигать до 20—30 см<sup>3</sup> на 100 г сплава. Исходя из представления о методах дегазации алюминиевых сплавов, следует предположить, что магниевые сплавы можно дегазировать теми же способами, что и алюминиевые. В последнее время проведен ряд работ, которые позволили установить возможность рафинирования магниевых сплавов при помощи продувки их в расплавленном состоянии некоторыми газами. Наиболее проверенным способом дегазации магниевых сплавов оказался метод продувки через расплав инертных газов (гелия, аргона), а также химически активных газов хлора и азота.

### Низкотемпературные сплавы

К этим сплавам относятся сплавы на основе цинка, олова и свинца. Легкоплавкие сплавы можно подразделить на антифрикционные, припои и

типографские. Сплавы на основе олова и свинца (баббиты) применяют главным образом как антифрикционные для заливки подшипников.

### Цинк и его сплавы

Технически чистый цинк обладает удовлетворительными механическими свойствами, хорошо поддается прокатке, прессованию, волочению и штамповке в холодном состоянии, а также при 130-170°C. Цинк имеет высокую коррозионную стойкость в атмосферных условиях и в пресной воде, поэтому его широко используют для защитных покрытий кровельного железа и изделий из него (баки, ведра).

ГОСТ 3640-79 предусматривает **выпуск девяти** марок цинка, отличающихся содержанием примесей. Вредные примеси: олово, свинец, железо.



Температура плавления цинка **419°C**, кипения - **907°C**. Плотность цинка **7,14 т/м<sup>3</sup>**. Чистый цинк используют, в основном, в виде полуфабрикатов (полос, листов, пластин) в полиграфической и электротехнической промышленности. Основную массу листов используют для изготовления малогабаритных источников тока, типографских клише и приготовления различных сплавов.

Фасонные отливки изготавливают из цинковых сплавов, которые в зависимости от назначения делят на три группы:

- сплавы для литья под давлением (ГОСТ19424-74);
- антифрикционные сплавы (ОСТ7117-62);
- типографские.

Низкая температура плавления и заливки сплавов на основе цинка при сравнительно высоких механических свойствах и превосходная жидкотекучесть сделали их основными сплавами для литья под давлением и в кокиль.

Цинковые сплавы используют для литья небольших корпусных деталей, декоративных деталей. При литье цинковых сплавов под давлением получают



отливки с точными размерами и не требующее дальнейшей обработки резанием, в том числе и резьбы.

Цинковые сплавы нельзя использовать при повышенных температурах, так как уже при 110°C прочность снижается на 30%, а твердость – на 40%. Ниже 0°C сплавы становятся хрупкими.

Цинковые сплавы являются заменителями оловянных бронз и малооловянных баббитов в узлах трения

Основными легирующими элементами в цинковых сплавах являются алюминий и медь.

**Алюминий** (2-4,5%) повышает жидкотекучесть, измельчает макроструктуру, повышает механические свойства и создает на поверхности защитную окисную пленку, которая защищает материал пресс-формы из чугуна и стали от прилипаемости и разъедания сплавом.

**Медь** (0,75-4,0%) повышает механические свойства и твердость сплавов. Наибольшая прочность и твердость получается при содержании **меди 1,25%**. Однако совместное легирование цинка алюминием и медью вызывает межкристаллитную коррозию.

Добавки в сплавы **магния** (0,03-0,06%) уменьшают склонность их к межкристаллитной коррозии. Более **высокие** содержания магния вызывают **горячеломкость** отливок. Медь подобно магнию замедляет коррозию. Но, **присутствуя** вместе с **алюминием**, медь **вызывает** изменение размеров после отливки в результате **естественного старения**, которое приводит к **потере прочности и изменению** размеров. **Устранение** этого **явления** частично достигается **низкотемпературным отжигом** (при **70-95°C**) в течение **3-10 часов**.

Для отливок к которым предъявляются повышенные требования к стабильности размеров и механических свойств во времени, применяют сплав без меди.

Для литья под давлением используют:

**ЦА4** – детали, к которым предъявляются требования стабильности размеров и механических свойств во времени, а также повышенной коррозионной стойкости.

**ЦА4М1** – детали средней прочности, для которых стабильность их размеров и механических свойств во времени не является решающей.

**ЦА4М3** – детали повышенной прочности, для которых стабильность размеров не является решающей.

Помимо цинковых сплавов, предназначенных для литья под давлением, находят применение антифрикционные цинковые сплавы.

**ЦАМ10-5** – подшипники и втулки металлорежущих станков, небольших прессов и прокатных станов, работающих при небольших давлениях (до 20МПа) и при температурах не выше 80°C.

**ЦАМ9-1,5** - подшипники подвижного состава.

Антифрикционные цинковые сплавы склонны к заеданию в паре в паре со сталью, что ограничивает их применение при малых давлениях. Антифрикционные сплавы являются узкоинтервальными (15-20°C). Из них получают плотные отливки с линейной усадкой 1,0-1,2%. Сплавы склонны к образованию горячих трещин.

## **Сплавы на основе олова и свинца**

Сплавы на основе олова и свинца - **баббиты** – применяют главным образом как антифрикционные для заливки подшипников скольжения.

Наиболее высокими антифрикционными свойствами обладает баббит **Б83**. Благодаря низкому значению коэффициента трения **Б83** применяется для изготовления **подшипников** мощных **авиационных** и **автомобильных** двигателей. Однако из-за дефицитности олова в технике применяют более дешевые баббиты на основе свинца, механические свойства которых повышаются добавками никеля, меди, калия, натрия, кальция, например, **кальциевый** баббит **БКА**

Значительная часть олова расходуется для изготовления **мягких припоев** с температурой плавления **220-350°C** для пайки металлических изделий. В состав припоев входит **3-30% Sn, 0,1-0,5 %Sb, 5-50% Pb**.

Свинцовые сплавы содержащие **79-89% Pb, до 0,5% Cu, 9,25-16% Sb** применяются для изготовления деталей аккумуляторных батарей электронных приборов.

## **Плавка низкотемпературных сплавов**

Плавка сплавов на цинковой, оловянной и свинцовой основах трудностей не представляет. Для их плавки применяют тигельные печи электрические или топливные. Тигли используют чугунные, стальные или графитошамотные. При больших потребностях в металле плавку ведут в отражательных печах (электрических типа САН или пламенных).

В крупных цехах литья под давлением из цинковых сплавов металл расплавляют в отражательных или индукционных печах емкостью в несколько тонн, а затем готовый расплав разливают в раздаточные обогреваемые тигельные печи, установленные у литейных машин.

В качестве шихты используют сплавы цинковые литейные в чушках, сплавы цинковые в чушках для литья под давлением и возврат. Применяют также и чистые первичные материалы (цинк Ц0 и Ц1, алюминий А6 и А5, медь М0и М1). Учитывая склонность цинковых сплавов к межкристаллитной коррозии и растрескиванию вследствие присутствия в них даже небольших количеств примесей свинца, кадмия и олова, стараются для получения качественного литья использовать наиболее чистые по этим примесям первичные материалы. Шихта должна быть очищена от масла, влаги и других включений. Шихта должна загружаться осторожно, во избежание выброса жидкого сплава.

Из сплавов цинка наибольшее применение находят ЦАМ10-5, ЦАМ9-1,5 и ЦА4М1. Сплавы типа ЦАМ при плавке в тиглях приготавливают следующим образом. Перед загрузкой шихты тигли хорошо прогревают, а затем вводят примерно 2/3 необходимого по расчету количества цинка. Все это засыпают хорошо прожженным и прокаленным древесным углем. После расплавления цинка вводят алюминий и медь в виде лигатуры (50%Al и 50%Cu). После растворения лигатуры и перегрева до 450°C металл тщательно перемешивают и догружают оставшимся цинком. Магний вводят в сплав непосредственно перед заливкой при помощи колокольчика. Магний в количестве 0,1% является стабилизатором и задерживает растрескивание цинковых сплавов при естественном старении.

Готовый сплав рафинируют. Рафинирование цинковых сплавов от газов и неметаллических включений производят хлористым цинком или хлористым

аммонием. Для рафинирования цинковых сплавов от вредных металлических примесей применяют метод отстаивания.

Плавку ведут при **460-480°C**. Перегрев сплава выше **480 °C** не допускается ввиду излишнего окисления и газонасыщения

Из оловянных сплавов в технике находит применение баббит Б83. Плавят баббиты в тигельных печах топливных или электрических. Плавить их лучше в чугунных (хромоникелевых) тиглях. В очищенный и подогретый до **600-700°C** тигель загружают медносурьмяную лигатуру (50%Sb и 50%Cu), сурьму и примерно 1/3 требуемого олова. Плавку ведут под слоем мелкого прокаленного древесного угля. После расплавления и перегрева до 600-700°C с поверхности металла снимают шлак и вводят в сплав свинец (если он входит в состав), а затем оставшееся олово. Переплав вводят до свинца. Его вводят в расплав отдельными порциями при тщательном перемешивании и температуре 500-550°C. Сплаву дают отстояться в течение 10-15 мин, снова перемешивают, снимают шлак и подают на заливку при 425-450 °C.

Свинцовые сплавы плавят в тех же печах, что и оловянные. При их плавке из первичных металлов и лигатур в разогретый тигель загружают всю сурьму, лигатуру медь-сурьма, никель, если он входит в состав сплава, в виде лигатуры медь-никель-сурьма и часть свинца или переплава. Плавку ведут под слоем древесного угля. В расплавленный и перегретый до 600-700°C металл в несколько приемов при тщательном перемешивании оставшиеся переплав, свинец, олово, кадмий и мышьяк. После снятия шлака сплав подают на заливку.

## Тугоплавкие сплавы

К тугоплавким относятся сплавы, температура плавления выше температуры плавления железа (1539° C). К этой группе сплавов относятся сплавы на основе титана, ванадия, молибдена, хрома, ниобия.

### Титан и его сплавы

Температура плавления титана 1668° C; температура кипения 3027° C; плотность **4,52 т/м³**. Прочность и пластичность чистого титана колеблется в зависимости от чистоты в следующих пределах:  $\sigma_b = 300-700$  МПа,  $\delta=20-40\%$ , твердость **900-1540 МПа**. Твердость титана зависит от его химического состава.

При повышенных температурах титан разупрочняется, но механические свойства его остаются достаточно высокими. Например, при 300—400° C алюминиевые и магниевые сплавы имеют очень низкие механические свойства, а для титана при таких температурах характерна удовлетворительная прочность:  $\sigma_b = 250-300$  МПа.

Применяют титан как конструкционный материал и как легирующий компонент в цветных и черных сплавах.

Технический титан — ценный конструкционный материал. Титан обладает большой коррозионной стойкостью в атмосфере, в пресной и морской, чем нержавеющая сталь. Но еще более высокими свойствами характеризуются сплавы его с **алюминием, оловом, медью, хромом, марганцем, молибденом, ванадием** и другими элементами. Алюминий увеличивает сопротивление окислению титана при повышенных температурах, примерно до 700° C. Поэтому твердый раствор Т1—А1

является наилучшей основой для сплавов, предназначенных для работы при повышенных температурах. Механические свойства титаноалюминиевых сплавов зависят от содержания алюминия. При содержании 7% Al прочность сплава достигает максимума, а затем падает. Пластичность становится низкой. Наилучшее сочетание свойств наблюдается при содержании 2% Al. Дополнительная добавка хрома, марганца, молибдена, ванадия и других тугоплавких металлов еще более повышает прочность титановых сплавов, так как сложнолегированные титановые сплавы способны упрочняться при термообработке:  $\sigma_b=1600—1700$  МПа.

Пластичность некоторых титановых сплавов превышает при этом пластичность чистого титана. Сплавы обладают высоким сопротивлением ползучести, коррозии и окислению, особенно при повышенных температурах.

Титан является основой сплавов с малой плотностью и высокой удельной прочностью. Временное сопротивление полученных в последнее время титановых сплавов превышает 1470 МПа. Сплавы с низкой плотностью и такой прочностью эквивалентны сталям с временным сопротивлением 2500 МПа. Изделия из титановых сплавов хорошо работают при отрицательных температурах, вплоть до температур жидкого азота.

Литейные титановые сплавы по структуре делятся на однофазные  $\alpha$ -сплавы (BT1Л, BT5Л) и двухфазные  $\alpha+\beta$  сплавы (BTL3-1Л, BT6Л, BT14Л, BT20Л).

Основой однофазных сплавов является система Ti-Al, а двухфазных сплавов Ti-Al-Mo - (Cr-V-Zr-Sr).

Наиболее широко используют для фасонных отливок сплав BT5Л, в основном для коррозионностойкой арматуры химических производств, обычно без термообработки. Сплав BT1Л имеет аналогичное применение.

Сплавы BTL3-1Л, BT9Л, BT14Л обладают повышенной жаропрочностью (400-560°C) и находят широкое применение для литья деталей авиационных двигателей.

Сплавы BT20Л и BT21Л находят применение в машиностроении, авиационной промышленности.

Плавка титана и сплавов на его основе сопряжена с большими трудностями. При высокой температуре титан активно взаимодействует с азотом и кислородом. Образование нитрида титана в этих условиях протекает так же активно, как горение некоторых веществ в среде кислорода, поэтому плавку титановых сплавов проводят в условиях, исключающих возможность его контакта с этими газами. Расплавленный титан также активно взаимодействует со всеми обычными огнеупорными материалами, из которых выполнена плавильная зона агрегата. Из всех известных огнеупоров менее интенсивно с титаном взаимодействует плотный графит, но и он во многих случаях не может быть использован, так как в титановых сплавах содержание углерода строго ограничено (не более 0,2%).

Для изготовления фасонных отливок из титана и его сплавов песчаные формы по указанным выше причинам непригодны. Отливки с чистой поверхностью можно получать в массивных медных и тонкостенных медных водоохлаждаемых формах, однако их использование ограничено высокой стоимостью и невозможностью получения отливок сложной конфигурации. Удовлетворительным материалом для изготовления форм является плотный графит. Графитовые формы можно использовать несколько раз, но и их стоимость достаточно высока. Более дешевыми являются оболочковые формы из смеси высокоогнеупорных нейтральных оксидов или графитового порошка с фенолформальдегидной смолой (связующим).

Во всех случаях применения литейных форм из высокоогнеупорных материалов поверхность отливок оказывается в той или иной мере загрязненной продуктами взаимодействия титана с материалом формы. При использовании плотного графита глубина загрязненного слоя составляет 1 % толщины стенки. Заливкой в оболочковые формы из смеси крупнозернистого графитового порошка и фенол-формальдегидной смолы получают отливки толщиной до 50 мм, поверхность которых может быть загрязнена на глубину до 1,5 мм. Мелкие сложные тонкостенные отливки из титановых сплавов можно получать в формах, изготовленных по выплавляемым моделям. В качестве материала для форм используют кремнезем, циркон, диоксид циркония, силлиманит, а в качестве связующего—этилсиликат, фосфорнокислый аммоний, нитрат циркония. Современная техника позволяет получать отливки из титановых сплавов с минимальной толщиной стенки 1,5 мм при ширине или высоте отливки 25 мм.

### **Сплавы на основе ванадия.**

Ванадий тугоплавкий металл, температура плавления 1919°C, температура кипения 3410°C, плотность 6,11 т/м<sup>3</sup>. Ванадий имеет хорошую теплопроводность и коррозионную стойкость. Ванадий в качестве основы литейных сплавов применяют сравнительно недавно. По этой причине сведения о применении и свойствах ванадиевых литейных сплавов ограничены. Их используют при температуре до 675°C.

Сплав ванадия с 50 % Ti и 5 % Al имеет более высокую прочность, чем сплавы на основе никеля, кобальта и железа. Длительная прочность его при 300 °C соизмерима с прочностью титановых сплавов.

### **Сплавы на основе хрома**

Хром обладает высокой жаропрочностью и коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред. Температура плавления 1880°C, кипит при 2473°C, плотность 7,19 т/м<sup>3</sup>. Применяют хром в качестве легирующего компонента в медных и никелевых сплавах, а также в качестве основы литейных жаропрочных сплавов с Fe, Mo, Ti, W, Ta, V.

Отливки из хромовых сплавов ВХ-5 и ВХ-4 предназначены для работы при температуре 980—1200 °C в окислительной среде и отсутствии ударных нагрузок.

Сплавы на основе хрома по жаропрочности превосходят все известные жаропрочные сплавы на основе железа, никеля, кобальта. Отливки из хрома и его сплавов можно изготавливать только специальными способами литья.

### **Сплавы на основе ниобия**

Фасонные отливки из ниобия и его сплавов используют для изготовления деталей турбин, работающих при температуре 1100-1400°C. Применение ниобиевых сплавов позволит повысить температуру газа при входе в турбину от 925 до 1370 °C.

Чистый ниобий обладает очень высокой пластичностью при нормальной температуре, коррозионной стойкостью, хорошими эмиссионными свойствами и хорошо сваривается. При температуре белого каления прочность ниобия выше, чем любого другого конструкционного материала.

Сплав на основе ниобия, содержащий 5-35% Cr и 5-30% Ti, при температуре 1000 °С имеет наибольшую, чем у всех других сплавов, окислительную стойкость. Прочность при 20°С составляет 1653 МПа, а при 1300°С - 743 МПа.

Сплав ниобия с 0,75-1,0% Zr имеет температуру плавления около 2400°С.

Наибольшей жаропрочностью обладают сплавы ниобия с 15 % W, 5 % Mo, 1 % Zr и с 15 %W, 5 % Mo, 1 % Zr, 5 % Ti.

Литые изделия из ниобия и его сплавов получают только специальными способами.