

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Производство отливок из легкоплавких сплавов

Слайд 1. Состав и свойства цинковых сплавов. Цинк обладает гексагональной плотноупакованной кристаллической решеткой и не испытывает аллотропических превращений. Температура плавления цинка 419°C ; температура кипения 907°C ; плотность при комнатной температуре $7,14 \text{ г/см}^3$. В литом состоянии цинк имеет низкие прочностные ($\sigma_{\text{в}} = 20\text{-}70 \text{ МПа}$) и пластические свойства ($\delta = 0,3\text{-}0,5\%$).

Чистый цинк используют, в основном, в виде деформированных, полуфабрикатов (листов, полос, плит) в полиграфической и электротехнической промышленности. Основную массу листов используют для изготовления малогабаритных источников тока; значительное количество цинка расходуют на изготовление типографских клише и приготовление различных сплавов. Цинк имеет хорошую коррозионную стойкость в атмосферных условиях и в пресной воде, поэтому его широко используют для защитных покрытий кровельного железа и изделий из него (баки, ведра).

В нагретом состоянии (свыше 150°C) цинк хорошо воспринимает пластическую деформацию, склонность к которой ухудшается в присутствии сотых долей процента примеси олова. Образуя с цинком легкоплавкую эвтектику (198°C), олово сообщает ему краснотекучесть, делая невозможной обработку давлением при повышенных температурах. При совместном содержании примесей олова и свинца образуется еще более легкоплавкая (150°C) тройная эвтектика (цинк-олово-свинец).

Свинец, как и олово, практически нерастворим в твердом цинке. При быстром охлаждении сплава цинка со свинцом удастся получить равномерное распределение свинца по границам зерен. Ввиду большого различия электрод потенциалов свинец увеличивает склонность цинка к коррозии, ускоряет растворимость его в кислотах. Это свойство свинца используют при изготовлении типографских клише из сплава цинка с 1% свинца.

Примесь *железа* повышает твердость цинка и задерживает его рекристаллизацию. При содержании железа более 0,001% образуется хрупкая твердая фаза FeZn_7 ; при 0,2% железа цинк нельзя подвергать прокатке.

ГОСТ 3640-94 предусмотрен выпуск девяти марок цинка, отличающихся содержанием примесей: ЦВ00; ЦВ0; ЦВ1; ЦВ; Ц0А; Ц0; Ц1; Ц2; Ц3.

Фасонные отливки изготавливают из цинковых сплавов, которые в зависимости от назначения делят на несколько групп: сплавы для литья под давлением *ГОСТ 19424-97* (ЦА40; ЦА4; ЦАМ4-10; ЦАМ4-1; ЦАМ4-1в), антифрикционные (*ГОСТ 7117-62*), типографские.

Слайд 2. Литейные сплавы имеют гетерогенную структуру. Двойные сплавы, содержащие до 5% алюминия (рисунок) кристаллизуются с образованием первичных кристаллов твердого раствора алюминия в цинке (α_{Zn}) и эвтектики $\alpha_{\text{Zn}} + \alpha_{\text{Al}}$. При температуре 275°C фаза α_{Al} распадается на $\alpha_{\text{Al}} + \alpha_{\text{Zn}}$. Однако этот эвтектоидный распад не успевает проходить полностью в процессе охлаждения отливок и продолжается при эксплуатации изделий тем интенсивнее, чем выше рабочая температура. Это приводит к росту отливок – увеличению их размеров, что совершенно недопустимо. Для подавления эвтектоидного распада в сплавы вводят до 0,1% магния.

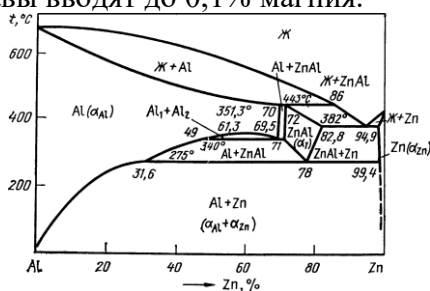
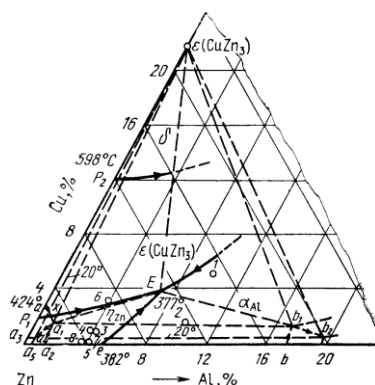


Диаграмма состояния системы Zn-Al

Слайд 3. Тройные сплавы цинка с алюминием и медью (рисунок) имеют в структуре первичные кристаллы твердого раствора алюминия и меди в цинке η_{Zn} и двойную эвтектику $\eta_{Zn} + \alpha_{Al}$. При охлаждении до комнатной температуры из первичных кристаллов η_{Zn} возможно выделение вторичных кристаллов α_{Al} и ϵ ($CuZn_3$). Тройные сплавы, так же как и двойные, легируют магнием для предотвращения роста отливок в процессе эксплуатации.



Цинковый угол системы Zn-Al-Cu (по А. М. Захарову)

Слайд 4. Олово, свинец и кадмий являются вредными примесями для сплавов ЦАМ. Тысячные доли процента указанных элементов вызывают межкристаллитную коррозию, приводящую к разрушению отливок. Олово и кадмий, кроме того, сообщают сплавам хрупкость в горячем состоянии. Из других вредных примесей (Bi, Sb, Hg, Tl, Fe, Si) необходимо отметить железо и кремний. Железо плохо растворяется в твердом сплаве и при концентрациях, превышающих тысячные доли процента, образует с алюминием интерметаллид $FeAl_3$, твердость которого в 5-10 раз выше твердости матрицы сплава (таблица).

По мере увеличения содержания железа число и размеры интерметаллидных включений увеличиваются. Одновременно усиливается их абразивное воздействие на режущий инструмент. Затупление инструмента ухудшает качество обработки, увеличивает длительность операций и сопровождается его поломками. В связи с этим ГОСТ 19424-97 ограничивает содержание железа в чушковых сплавах ЦАМ4-1, используемых для изготовления отливок ответственного назначения, до 0,05%. Железо попадает в цинковые сплавы как с шихтовыми материалами, так и в результате растворения чугуновых тиглей и плавильного инструмента. Поэтому содержание железа в расплаве ЦАМ4-1 может значительно превышать указанную величину.

Включения интерметаллида $FeAl_3$ имеют меньшую плотность, чем расплав. Поэтому они всплывают на поверхность расплава, где концентрация их может достигать 15-20% (объемн.) при концентрации железа 5-6%.

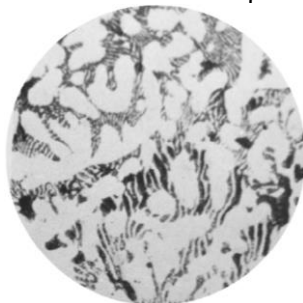
Характеристика включений, обнаруживаемых в структуре сплава ЦАМ4-1

Включе- ние	Шлиф без трав- ления	Шлиф травлен в HNO_3 в спирте		H_m , МПа	$t_{пл.}$, °C	ρ , г/см ³	Попереч- ный раз- мер, мкм
		в свет- лом поле	в тем- ном по- ле				
$FeAl_3$	Светло- розовый	Светлый	Черный	8000-12000	1160	3,99	1-100
Si	Светло- серый	Светло- серый	Светлый	11270- 13000	1415	2,40	1-50
$FeSi$	-	-	Темный	10500	1410	-	-
$ZnAl_2O_4$	Темно- серый	Темно- серый	Светлый	2000-4000	-	4,80	3-20
SiO_2	Темно- серый	Темно- серый	Светло- серый	9800-11800	1723	2,65	3-30
Матрица сплава	-	-	-	950-1000	390	6,98	-

Влияние примеси кремния подобно влиянию примеси железа. При содержании до 0,015% кремний входит в состав твердого раствора на основе цинка. При большем

содержании в структуре сплава появляются серые кристаллы кремния, микротвердость которых достигает 13000 МПа; они резко увеличивают износ режущего инструмента. Кремний попадает в сплав вместе с алюминием (как неизбежная примесь) или с отходами сплавов алюминия с кремнием в тех случаях, когда изготовление отливок из сплава ЦАМ4-1 и силуминов осуществляется в одном цехе. При одновременном содержании примесей железа и кремния в структуре сплавов ЦАМ обнаруживаются твердые включения химического соединения $FeSi$.

Слайд 5. Антифрикционные сплавы в качестве легирующих компонентов также содержат алюминий (до 15%), медь (до 5%) и магний (до 0,03%). Они обладают высокими механическими свойствами и используются как дешевые заменители оловянных бронз. Структуру сплавов с высоким содержанием меди (ЦАМ10-5) составляют первичные кристаллы твердого раствора α_{Al} , двойная эвтектика $\alpha_{Al} + \varepsilon (CuZn_3)$ и тройная эвтектика $\alpha_{Al} + \eta_{Zn} + \varepsilon (CuZn_3)$ (рисунок); в сплавах с низким содержанием меди (ЦАМ9-1,5) структурными составляющими являются первичные кристаллы α_{Al} твердого раствора, двойная эвтектика $\alpha_{Al} + \eta_{Zn}$ и тройная эвтектика $\alpha_{Al} + \eta_{Zn} + \varepsilon (CuZn_3)$.



Микроструктура антифрикционного сплава ЦАМ10-5. $\times 100$.

Слайд 6. Состав и свойства оловянных сплавов. Олово имеет две аллотропические модификации: β -модификацию (белое олово) с объемно-центрированной тетрагональной кристаллической решеткой, устойчивую при температурах выше 13°C, и α -модификацию (серое олово) с кубической кристаллической решеткой типа алмаза, устойчивую при температурах ниже 13°C. Ввиду способности олова к сильному переохлаждению интенсивный самопроизвольный переход белого олова в серое наблюдается при температурах от -20 до -30°C. Превращение, начавшееся при сильном переохлаждении, идет вплоть до температуры +13°C. Аллотропическое превращение сопровождается большими объемными изменениями (плотность белого олова 7,298 г/см³, а серого 5,846 г/см³), что приводит к разрушению изделий и слитков в порошок. Это явление, называемое «оловянной чумой», имеет место при хранении олова при низких температурах. Скорость превращения возрастает по мере понижения температуры и повышения чистоты олова по примесям. При введении в белое олово 0,5% висмута или сурьмы аллотропическое превращение полностью подавляется.

Олово плавится при 232°C, а кипит при 2270°C. Оно обладает коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, растворах пищевых кислот (молочной, масляной), формальдегиде, морской воде. В литом состоянии олово имеет высокую пластичность ($\delta = 40-60\%$) и низкие прочностные свойства ($\sigma_s = 20$ МПа). Наиболее вредными примесями олова являются железо, мышьяк, алюминий и цинк. Мышьяк и железо снижают пластические свойства, повышают твердость и хрупкость, а алюминий и цинк ухудшают коррозионную стойкость олова.

Слайд 7. ГОСТ 860-75 предусматривает выпуск шести марок олова высшей и первой категории качества (таблица). В олове высшей категории качества ограничено содержание примесей алюминия и цинка и допускается более низкое содержание серы, чем в соответствующих марках олова первой категории.

Химический состав олова											
Марка	Sn, %, не менее	Примеси, %, не более									
		As	Fe	Cu	Pb	Bi	Sb	S	Zn	Al	Σ примесей
Высшая категория качества											
ОВЧ-000*	99,999	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-5}	-	3×10^{-5}	3×10^{-4}	1×10^{-2}
О1пч	99,915	0,010	0,009	0,010	0,025	0,010	0,015	0,008	0,002	0,002	0,085
О1	99,900	0,010	0,009	0,010	0,040	0,015	0,015	0,008	0,002	0,002	0,100
О2	99,565	0,015	0,020	0,030	0,250	0,050	0,050	0,016	0,002	0,002	0,435
Первая категория качества											
О1пч	99,915	0,010	0,009	0,010	0,025	0,010	0,015	0,010	-	-	0,085
О1	99,900	0,010	0,009	0,010	0,040	0,015	0,015	0,010	-	-	0,100
О2	99,565	0,015	0,020	0,030	0,250	0,050	0,050	0,020	-	-	0,435
О3	98,490	0,030	0,020	0,100	1,000	0,060	0,300	0,020	-	-	1,510
О4	96,430	0,050	0,020	0,100	3,000	0,100	0,300	0,020	-	-	3,570

Олово марки *О1пч* широко применяют для изготовления сплавов и лужения консервной жести.

Слайд 8. В промышленности используют три группы оловянных сплавов:

- антифрикционные,
- припои,
- сплавы для литья под давлением.

Антифрикционные сплавы должны иметь многофазную структуру, в которой, наряду с небольшим количеством твердых равномерно распределенных кристаллов, присутствует мягкая, пластичная основа, обеспечивающая хорошую прирабатываемость вкладышей подшипников к валу. Этим требованиям удовлетворяет структура двойных сплавов олова с сурьмой (рисунок).

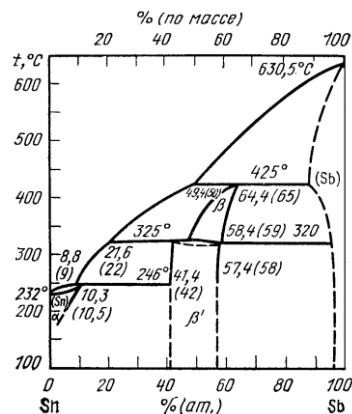


Диаграмма состояния системы *Sn-Sb*

Слайд 9. ГОСТ 1320-74 предусматривает три марки оловянных баббитов: *Б88*; *Б83*; *Б83С*. В зависимости от содержания сурьмы баббиты содержат различное количество кристаллов β' -фазы. Минимальное количество таких кристаллов содержится в структуре сплава *Б88* (рисунок). Наиболее широкое применение имеет баббит *Б83*.



Микроструктура баббита *Б88*. $\times 100$

Слайд 10. В качестве припоев в основном используют сплавы системы *Sn-Pb* с небольшим количеством сурьмы (до 2%), которую вводят для улучшения растекания припоя. Эти сплавы имеют двухфазную структуру (рисунок).

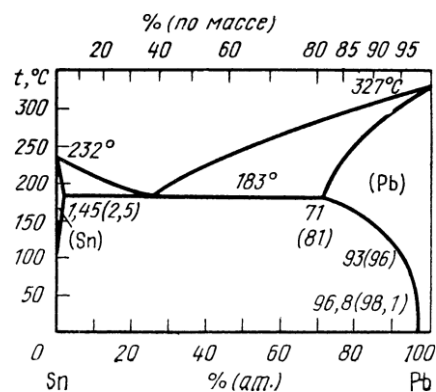


Диаграмма состояния системы Sn-Pb

ГОСТ 21930-76 предусматривает восемь марок оловянно-свинцовых припоев. Вредной примесью для припоев является медь, образующая с оловом иглообразные кристаллы фазы Cu_6Sn_5 , которые ухудшают качество пайки, образуют на луженой поверхности изделий перемычки, неровности иглообразной формы и рыхлоты. Примеси алюминия и цинка увеличивают вязкость припоев и ухудшают их растекание по поверхности изделий.

Слайд 11. Для литья под давлением используют сплавы системы Sn-Sb-Cu, близкие по составу к баббитам, и сплавы системы Sn-Sb-Cu-Pb. Химический состав некоторых из них приведен в таблице.

Литейные сплавы на основе олова имеют хорошую жидкотекучесть (70-80 см), небольшую линейную усадку (0,6-0,7%) и мало склонны к образованию трещин при затрудненной усадке.

Химический состав оловянных сплавов для литья под давлением

Номер сплава	Легирующие элементы, %			Примеси, %, не более					
	Sb	Cu	Pb	As	Pb	Bi	Zn	Al	Fe
1	9,5-11,5	2,25-3,75	24,0-27,0	0,08	-	0,10	0,01	0,01	0,08
2	14,0-16,0	1,5-2,5	17,0-19,0	0,15	-	-	0,01	0,01	0,08
3	12,0-14,0	4,0-6,0	-	-	0,35	-	0,01	0,01	0,08
4	6,0-7,5	5,0-6,5	-	0,10	0,35	0,10	0,01	0,01	0,08
5	4,0-5,0	4,0-5,0	-	0,10	0,35	0,10	0,01	0,01	0,08
6	-	10,0	10,0	-	-	-	-	-	-

Примечание. Sn – остальное.

Слайд 12. Состав и свойства свинцовых сплавов. Свинец обладает гранецентрированной кубической кристаллической решеткой. Температура плавления его 327°C, температура кипения 1750°C, плотность при комнатной температуре, 11,34 г/см³. Чистый свинец коррозионностоек в растворах серной, фосфорной и плавиковой кислот и неустойчив в азотной, уксусной, лимонной и винной кислотах. Его используют для футеровки аппаратов сернокислотного производства, для защитных оболочек электрических кабелей, для изготовления литых пластин электрических аккумуляторов, в военном деле, для производства различных сплавов. Наиболее вредными примесями свинца, снижающими коррозионную стойкость, являются медь, олово и цинк.

ГОСТ 3778-98 предусматривает выпуск семи марок свинца: C0; C1C; C1; C2C; C2; C3; C3C.

В технике используют три группы свинцовых сплавов: подшипниковые (антифрикционные), типографские и припой.

Слайд 13. В основе большинства свинцовых подшипниковых сплавов лежит система Pb-Sb. Из диаграммы состояния этой системы (рисунок) следует, что структурой подшипникового материала обладают заэвтектические сплавы, в которых мягкой основой служит эвтектика Pb + Sb, а в качестве твердых включений – кристаллы сурьмы. Поскольку плотность сурьмы меньше плотности свинца, кристаллы ее в процессе кристаллизации сплавов всплывают (ликвируют). Для предотвращения ликвации в

двойные сплавы вводят 1,5-2,0% меди. Образуя разветвленные кристаллы Cu_2Sb , медь затрудняет всплывание кристаллов сурьмы. Сплавом этого типа является баббит *БС*.

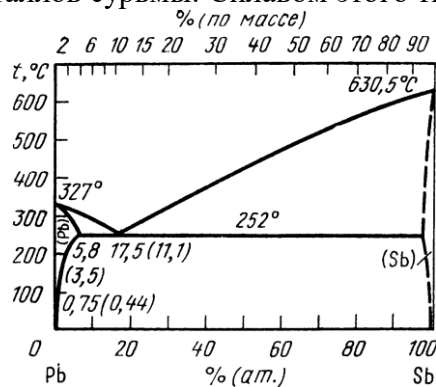


Диаграмма состояния системы *Pb-Sb*

ГОСТ 1320-74 предусматривает три марки свинцовых баббитов: *Б16*, *БН* и *БС6*. Кроме стандартных сплавов широко применяют свинцовые баббиты с мышьяком и кадмием (*Б6*) и теллуром (*БТ*). Присадки кадмия и мышьяка образуют между собой твердое химическое соединение, которое снижает содержание хрупкой сурьмы. Теллур вводят для упрочнения свинцовой основы баббита.

В качестве стандартного баббита для железнодорожного транспорта *ГОСТ 1209-90* предусмотрен свинцовокальциевонатриевый сплав *БКА*.

Слайды 14-15. Химический состав и свойства свинцовых баббитов приведены в *таблицах*.

Сплав	Химический состав свинцовых баббитов					Примеси, %, не более					
	Леггирующие элементы, %										
	<i>Sn</i>	<i>Sb</i>	<i>Cu</i>	<i>Cd</i>	другие элементы	<i>Fe</i>	<i>As</i>	<i>Zn</i>	<i>Bi</i>	<i>Al</i>	другие
<i>Б16</i>	15,0-17,0	15,0-17,0	1,5-2,0	-	-	0,1	0,3	0,15	0,1	0,01	-
<i>Б6</i>	5,0-6,0	14,0-16,0	2,5-3,0	1,75-2,25	0,6-1,0 <i>As</i>	0,1	-	0,15	0,1	-	-
<i>БС6</i>	5,5-6,5	5,5-6,5	0,1-0,3	-	-	0,1	0,05	0,01	0,07	0,005	0,05 <i>Cd</i> 0,05 <i>Ni</i>
<i>БТ</i>	9,0-11,0	14,0-16,0	0,7-1,1	-	0,05-0,2 <i>Te</i>	0,1	0,3	0,15	0,1	-	-
<i>БН</i>	9,0-11,0	13,0-15,0	1,5-2,0	0,1-0,7	0,1-0,5 <i>Ni</i> 0,5-0,9 <i>As</i>	0,1	-	0,02	0,1	0,05	-
<i>БС</i>	-	16,0-18,0	1,0-1,5	-	-	0,1	0,2	-	-	-	-
<i>БКА</i>	-	-	-	-	0,95-1,15 <i>Ca</i> 0,7-0,9 <i>Na</i> 0,05-0,2 <i>Al</i> 0,3-0,55 <i>Ca</i> 0,2-0,4 <i>Na</i>	-	-	-	0,1	-	0,02 <i>Mg</i> 0,25 <i>Sb</i>
<i>БК2</i>	1,5-21,1	-	-	-	0,01-0,05 <i>Mg</i>	-	-	-	0,2	0,02	0,15 <i>Cu</i> 0,20 <i>Sb</i>

Таблица 21

Свойства	Свойства свинцовых баббитов						
	<i>Б16</i>	<i>Б6</i>	<i>БС6</i>	<i>БТ</i>	<i>БН</i>	<i>БС</i>	<i>БКА</i>
σ_b , МПа	78	68	67	60	70	42	100
δ , %	0,2	0,2	12,7	1,8	1,7	0,6	2,5
<i>НВ</i>	300	320	169	243	290	200	320
Интервал кристаллизации, °С	410-240	416-232	280-247	-	400-240	410-240	440-320
ρ при 20 °С, г/см ³	9,29	9,6	10,05	9,6	9,55	10,01	10,5
Линейная усадка, %	0,55	0,55	-	-	0,5	0,5	0,75
Жидкотекучесть, см	54	-	-	-	63	79	-
Температура литья, °С	480-500	480-490	450-470	450-470	480-500	450-460	470-480

Слайд 16. Как следует из диаграммы состояния *Pb-Sn-Sb* (рисунок), основными структурными составляющими сплава *Б16*, без учета добавки меди, являются первичные кристаллы β (*SnSb*)-фазы и эвтектическая (или частично перитектического происхождения) смесь кристаллов $\delta_{Pb} + \beta$ (*SnSb*) или $\delta_{Pb} + \beta'$ (*SnSb*).

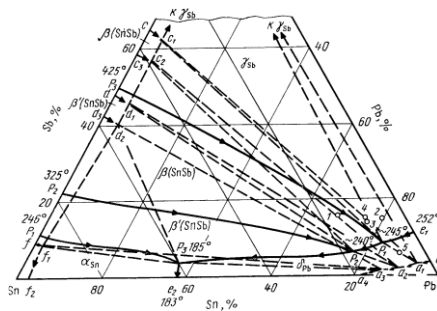


Диаграмма состояния системы *Sn-Pb-Sb* (по А.М. Захарову)

Слайд 17. Сплавы системы *Pb-Sb-Sn* используют и для типографских целей – изготовления шрифтов, литья набора на монотипе, литья газетных стереотипов. В отличие от припоев они содержат больше сурьмы и меньше олова. Состав некоторых типографских сплавов по *ГОСТ 5235-74* приведен в таблице.

Химический состав типографских сплавов

Сплав	Легирующие элементы, %			Примеси, %, не более					
	Sb	Sn	Zn	Al	Cu	Ni	As	S	Σ примесей
Словолитные сплавы									
ШП1	19,5-20,5	6,7-7,3	0,01	0,01	0,15	0,02	0,30	0,02	0,45
ШП2	15,0-16,0	2,7-3,3	0,01	0,01	0,15	0,02	0,30	0,02	0,45
ШП3	14,0-15,0	3,7-4,3	0,01	0,01	0,15	0,02	0,30	0,02	0,45
П1	17,0-18,0	1,8-2,2	0,01	0,01	0,10	0,02	0,20	0,02	0,35
П2	12,0-14,0	-	0,01	0,01	0,15	0,02	0,20	0,02	0,40
Линотипные сплавы									
Лн	11,0-12,0	4,2-4,8	0,01	0,01	0,06	0,02	0,20	0,02	0,35
ЛнГ	11,5-12,5	5,5-6,5	0,01	0,01	0,06	0,02	0,20	0,02	0,35
Мн	14,0-15,5	5,7-6,3	0,01	0,01	0,06	0,02	0,20	0,02	0,35
Стереотипные сплавы									
Ст1	15,5-16,5	6,6-7,5	0,01	0,01	0,10	0,02	0,20	0,02	0,40
Ст2	12,5-13,5	4,7-5,3	0,01	0,01	0,10	0,02	0,20	0,02	0,40

Слайд 18. Особенности технологии плавки цинковых сплавов. Плавка цинка и сплавов на его основе ввиду их низкой температуры плавления не представляет особых затруднений. Для плавки применяют различные по конструкции печи. В литейных цехах, производящих слитки, для плавки используют электрические индукционные и отражательные печи.

В цехах литья под давлением плавку ведут в тигельных печах в чугунных тиглях. Плавку чистого катодного цинка чаще всего ведут в индукционных печах с железным сердечником, футерованных шамотом. Для переплавки отходов, требующих рафинирования от металлических примесей, используют отражательные печи с шамотной футеровкой.

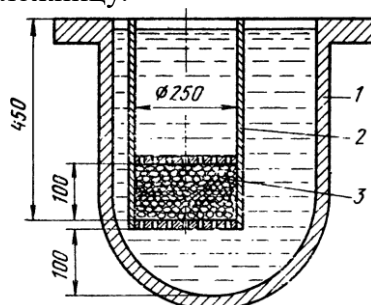
Цинк легко окисляется. Особенно интенсивно окисление идет в присутствии паров воды. Образующийся оксид (ZnO) нелетуч. Так же интенсивно окисляются сплавы ЦАМ4-1. Высокая химическая активность компонентов сплава обуславливает образование на поверхности расплава пленки шпинели $ZnAl_2O_4$. В процессе загрузки шихты и перемешивания оксидная пленка разрушается, обрывки ее замешиваются в расплав. Обогащению расплавов оксидными пленками в большой мере способствует использование некомпактных шихтовых материалов (литников, стружки, сплесов). Наряду со шпинелью в цинковых сплавах обнаруживают включения кремнезема (SiO_2), а иногда и глинозема (Al_2O_3), источником которых являются загрязненные шихтовые материалы.

Общее содержание оксидных включений в сплавах ЦАМ4-1 может достигать 0,34% (объемн.), а в отливках 0,6% (объемн.). При этом на долю шпинели ($ZnAl_2O_4$) приходится около 90% от общего содержания включений. Оксиды имеют меньшую плотность, чем расплав. Поэтому они сравнительно легко всплывают на поверхность расплава и попадают в тело отливки. Для снижения интенсивности окисления плавку цинка и его сплавов ведут под покровом древесного угля. Обогащение оксидными включениями происходит также в результате взаимодействия расплавов с футеровкой печи.

Для того чтобы исключить обогащение расплавов железом и повысить стойкость режущего инструмента, плавку цинковых сплавов необходимо вести в индукционных тигельных или канальных печах и использовать для разливки керамические тигли. В тех же случаях, когда применение металлических (чугунных или стальных) тиглей для плавки неизбежно, внутреннюю поверхность их покрывают слоем обмазки из смеси каолина с жидким стеклом.

Цинк и его сплавы весьма чувствительны к перегреву, что может привести к значительным потерям цинка на испарение и к обогащению расплавов оксидами и интерметаллидами. Кроме того, перегрев способствует образованию столбчатой структуры, которая способствует повышению склонности сплавов к образованию трещин при затрудненной усадке и ухудшению поведения их при обработке давлением. По этой причине цинк не перегревают выше 500°C , а сплавы ЦАМ – выше 550°C .

Для повышения свойств отливок цинковые расплавы подвергают очистке от металлических и неметаллических примесей. Для этого используют *отстаивание, обработку хлоридами, продувку инертными газами, фильтрование*. Наиболее распространенным методом очистки цинковых расплавов является обработка хлоридами. Такая обработка позволяет удалить из расплава ЦАМ4-1 до 80% оксидов и 70% интерметаллидов. Более глубокая очистка может быть достигнута при фильтровании расплавов через мелкозернистые фильтры из магнезита, сплава фторидов магния и кальция, хлорида натрия и других веществ. Применение фильтров со средним диаметром зерна 2-3 мм и толщиной фильтрующего слоя 100 мм позволяет удалять из расплавов ЦАМ4-1 до 90% оксидных и 85% интерметаллидных включений. Фильтрование ведут через нагретый фильтр ($\sim 500^{\circ}\text{C}$), который помещают в специальные стаканы, установленные в раздаточных печах (рисунок), или на участке перелива расплава из плавильной печи в ковш или изложницу.

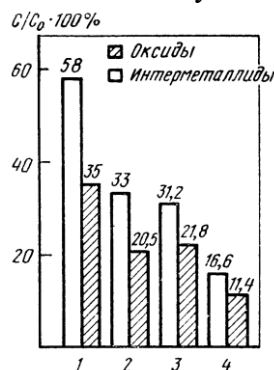


Установка фильтра в тигле раздаточной печи

Слайд 19. Сопоставление эффективности различных методов очистки цинковых расплавов (рисунок) показывает, что продувка азотом и обработка гексахлорэтаном мало отличаются уровнем очистки, однако они значительно эффективнее отстаивания. По сравнению с обработкой гексахлорэтаном фильтрование через хлорид натрия позволяет уменьшить содержание оксидных и интерметаллидных включений в два раза. Следует отметить, что независимо от способа очистки отделение оксидных включений идет полнее, чем интерметаллидных. Это объясняется, по-видимому, лучшим смачиванием интерметаллидов расплавом.

Для изготовления типографских клише используют сплав цинка со свинцом (0,67-1,25%). Для приготовления сплава можно использовать первичный цинк марки Ц2. Пластины типографского цинка подвергают полировке. На полированной поверхности не допускаются местные скопления свинца, интерметаллидов, оксидных плен, шлаковых включений и усадочных дефектов. Для получения клише необходима хорошая травимость сплава, что обеспечивается равномерным распределением свинца. Однако получить такой сплав при использовании чистых металлов невозможно из-за сильной гравитационной ликвации свинца. Ликвация подавляется почти полностью в том случае, когда свинец

вводят в виде хлористого свинца. В результате обменной реакции свинец выделяется в виде тонкодисперсных капель, что обеспечивает устойчивость эмульсии.



Эффективность очистки расплава ЦАМ4-1 (относительное изменение концентрации включений C/C 100%)

Несмотря на тщательное соблюдение серийной технологии плавки и литья полиграфического цинка (рафинирование хлористым аммонием, отстаивание, фильтрование через стальную сетку) брак пластин только по литейным дефектам может составлять в среднем 8-10%. Трехкратное снижение брака может быть достигнуто, если перед заливкой в изложницы расплав профильтровать через нагретый до 400°C слой магнетитовой крошки толщиной 50-70 мм с диаметром зерна 4-6 мм. Такой фильтр устанавливают в распределительной воронке, через которую заполняют изложницу металлом.

Технология плавки сплавов системы *Zn-Al-Cu* сравнительно проста.

Шихтовыми материалами для приготовления сплавов служат первичный цинк, чистый алюминий, электролитическая медь и отходы собственного производства. Для ускорения плавки и предупреждения перегрева расплава медь вводят в сплав в виде лигатуры *Al-Cu* (50:50). Первоначально в печь загружают лигатуру, отходы и половину всего количества цинка. Поверхность шихты засыпают древесным углем. Завалку расплавляют и перегревают до 530-550°C. Затем загружают алюминий, а после его растворения – цинк.

Сплав перемешивают, снимают уголь и шлак и вводят магний. После тщательного перемешивания и удаления остатков шлака при температуре 420-450°C проводят рафинирование хлористым аммонием или гексахлорэтаном переливают расплав в раздаточные печи, миксеры машин непрерывного литья слитков или разливают в изложницы. Во время перелива, если это необходимо, расплавы фильтруют через зернистые фильтры.

В цехах фасонного литья, как правило, при выплавке рабочего сплава используют чушки готового сплава ЦАМ. Расплавление их чаще всего осуществляют в чугунных тиглях раздаточных печей в процессе литья. При нарушении технологии (загрузке литников и пресс-остатков) расплав существенно обогащается оксидами. Длительный контакт расплава с чугунным тиглем и периодическое захолаживание его при загрузке свежих порций сплава, способствуют образованию включений интерметаллида $FeAl_3$ и попаданию их в тело отливок. Механическая обработка таких отливок на автоматических линиях характеризуется быстрым затуплением режущего инструмента, частыми его поломками и существенным снижением производительности линий из-за простоев, обусловленных необходимостью замены инструмента. Значительного улучшения показателей обрабатываемости отливок достигают введением операции фильтрования расплава через многослойный магнетитовый фильтр толщиной 100 мм с диаметром зерна 3-5 мм, который устанавливают в раздаточную печь.

Особенности технологии плавки оловянных сплавов. Низкая температура плавления оловянных сплавов, малая склонность к окислению и поглощению газов определяют

простоту технологии их плавки. Обычно плавку олова и оловянных сплавов ведут в чугунных тиглях в печах, работающих на всех видах топлива. При использовании чистых металлов плавку сплавов можно вести без применения защитных покровов; в тех же случаях, когда в состав шихты вводят много отходов и возвратов, плавку ведут под покровом древесного угля. Перед разливкой расплавы рафинируют хлористым аммонием (0,10-0,15%), а в некоторых случаях подвергают фильтрованию.

Антифрикционные сплавы, типичным представителем которых является баббит *Б83*, чаще всего готовят из чистых металлов. Сначала в тигель загружают медносурьмяную лигатуру, сурьму и часть олова (около 1/3 от массы шихты). Шихту засыпают слоем просеянного и прокаленного древесного угля, а затем расплавляют и нагревают до температуры 600-700°C. С поверхности расплава снимают шлак и покровный уголь и в несколько приемов небольшими порциями загружают остальное олово. Расплав при этом непрерывно перемешивают. Затем сплав выдерживают в течение 10-15 мин при температуре 500-550°C, вновь перемешивают, снимают шлак и при температуре 475-500°C рафинируют от неметаллических и интерметаллидных включений введением 0,10-0,15% хлористого аммония или пропускают расплав через зернистые фильтры с размером зерна 2-4 мм в поперечнике. В качестве материала фильтра используют магнезит, хлористый натрий и другие вещества. После рафинирования расплав выдерживают 10-12 мин для удаления мелких газовых пузырьков и разливают в изложницы.

Технология плавки припоев и сплавов для литья под давлением та же, что и для баббита *Б83*.

Особенности технологии плавки свинцовых сплавов. Плавку свинца ведут в чугунных тиглях под слоем древесного угля. После расплавления с поверхности металла снимают шлак и доводят температуру до 375-400°C. При этой температуре производят рафинирование и разливку. Очистку от неметаллических включений ведут нашатырем (NH_4Cl), который вводят в расплав в количестве до 0,15% от массы расплава с помощью колокольчика.

Работа со свинцовыми сплавами проста ввиду их легкоплавкости. Сплавы почти не поглощают газов, поэтому в отливках отсутствуют газовые раковины и пористость. Особенностью свинцовых сплавов является высокая склонность к ликвации по плотности. Прежде всего, это относится к сплавам, содержащим сурьму и олово. Для защиты от окисления применяют древесный уголь, который загружают на поверхность расплава слоем толщиной 10-15 мм.

Технология плавки типографских сплавов включает две операции – плавление шихты и рафинирование расплава от примесей. Плавку обычно начинают с очистки тигля от остатков предшествующей плавки. В очищенный тигель загружают 3/4 навески свинца или типографской сыпи. Содержимое тигля расплавляют, поверхность расплава покрывают прокаленным древесным углем (слой толщиной 10-15 мм) и доводят температуру расплава до 500-550°C. При достижении заданной температуры в расплав вводят сурьму или медносурьмяную лигатуру (для сплавов, содержащих медь). После растворения сурьмы вводят остаток свинца.

Удаление из расплава неметаллических включений производят введением 0,1-0,3% хлористого аммония или дразнением. Операция дразнения состоит в погружении в расплав куска древесины и выдержки его в расплаве 30-60 мин.

Продукты сухой перегонки древесины, проходят через расплав, увлекают взвешенные неметаллические включения.

Если расплав загрязнен нежелательными растворимыми примесями (железо, никель, алюминий, цинк и др.) предусматривают дополнительную обработку расплава с целью их удаления. Для удаления цинка и алюминия расплав при температуре 500-550°C продувают водяным паром в течение 0,5-2 ч. Пар подводят стальными трубками на дно тигля. Образующиеся при продувке оксиды алюминия и цинка всплывают на поверхность расплава, откуда их удаляют со съемами.

Железо, никель и медь удаляют путем введения в расплав серы. Образующиеся при температуре 500-600°C сульфиды этих металлов снимают с поверхности расплава.

Если в составе шихты не содержится сурьмы или медносурьмяной лигатуры, то температура расплава в процессе плавки не должна превышать 400-450°C.

Слайд 20. Особенности технологии производства фасонных отливок из сплавов легкоплавких металлов. Изготовление фасонных отливок из легкоплавких сплавов осуществляют преимущественно методом литья под давлением на машинах с холодной и горячей камерами прессования с широким применением автоматических дозирующих устройств для заполнения их металлом. Этим способом литья из оловянных, свинцовых и цинковых сплавов получают сложные тонкостенные отливки. Некоторые характеристики данных отливок приведены в *таблице*. Для подвода металла к полости формы используют разнообразные по конструкции внешние и внутренние, по отношению к отливкам, литниковые системы, в том числе коллекторные. Обязательным является устройство промывников. Заливку ведут в подогретые пресс-формы с различными скоростями впуска. Высокие скорости впуска металла в пресс-формы принимают при изготовлении тонкостенных отливок (0,5-2,5 мм) сложной конфигурации. Заливку толстостенных отливок производят жидкотвердым (кашеобразным) металлом с малыми скоростями впуска.

Параметры	Оловянные сплавы	Свинцовые сплавы	Цинковые сплавы
Минимальный диаметр отверстий, мм	0,60-1,00	0,60-1,00	0,80-1,00
Минимальная толщина стенок, мм	0,50-1,00	0,75-1,00	0,60-1,00
Максимальная глубина отверстий, мм:			
несквозных	2-3D	2-3D	2-3D
сквозных	6-7D	6-10D	6D
Минимальные размеры резьбы, мм:			
наружный диаметр	8,00	8,00	6,00
шаг	0,75	0,75	0,75
Минимальные литейные уклоны:			
наружная поверхность	0°15'	0°15'	0°15'
внутренняя поверхность	0°45'	0°45'	0°45'
Припуск на обработку, мм	0,20-0,50	0,20-0,50	0,20-0,50
Минимальный радиус галтели, мм	1,00	1,00	0,50

Слайд 21. Для облегчения извлечения отливок из пресс-форм на их наружных и внутренних поверхностях предусматривают литейные уклоны. Для предохранения пресс-форм от термических ударов, увеличения срока их службы, более легкого извлечения отливок и предотвращения приваривания сплава пресс-формы периодически смазывают машинным или моторным маслом. Стержни и детали камеры прессования смазывают после каждой заливки. Технологические параметры литья легкоплавких сплавов приведены в *таблице*.

Параметры	Оловянные сплавы	Свинцовые сплавы	Цинковые сплавы
Температура, °C:			
металла при заливке	280-300	265-300	400-450
пресс-формы	130-150	120-140	180-200
Линейная усадка, %:			
наружных размеров	0,4-0,5	0,4-0,5	0,50-0,65
внутренних размеров	0,3-0,4	0,3-0,4	0,40-0,60
Удельное давление прессования, МПа	19-35	19-35	19-35
Толщина сечения впуска, мм	0,4-0,8	0,4-0,8	0,4-0,8
Скорость впуска, м/с	10-100	10-100	10-100
Конусность стержней, % от длины	0,2-0,5	0,2-0,5	0,2-0,5
Размеры вентиляционных каналов, мм:			
глубина	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,15
ширина	от 10 и более	от 10 и более	от 10 и более
Смазка	Машинное масло		Моторное масло
Стойкость пресс-форм, заливок	500000	500000	200000-250000

Отделение отливок от литников производят на обрубных прессах в штампах. Для удаления остатков облоя (залива по плоскости разъема пресс-формы) применяют абразивную и вибрационную зачистку в галтовочных барабанах. Для ускорения зачистки отливок из цинковых сплавов в галтовочные барабаны подают жидкий азот. Охлаждение отливок до -40°C охрупчивает сплавы.

Для предотвращения самопроизвольного старения и изменения размеров отливки из сплавов ЦАМ подвергают термической обработке (искусственному старению), которую ведут в сухом горячем (90°C) воздухе в течение 10 дней с охлаждением отливок до комнатной температуры вместе с печью. Используют также ускоренное искусственное старение: выдержку при температуре 60°C в течение 10 ч, при температуре 85°C в течение 5 ч, при температуре 100°C в течение 3 ч и охлаждение до комнатной температуры вместе с печью. Следует отметить, что такая обработка вызывает объемные изменения, снижает механические свойства и ухудшает коррозионную стойкость, но стабилизирует размеры отливок.

Основными видами брака являются усадочные раковины и пористость в массивных узлах отливок и воздушная пористость по периферии. Усадочная пористость может быть залечена пропиткой отливок жидким стеклом, бакелитом, смолами.

Производство отливок из тугоплавких сплавов

Слайд 1. Свойства тугоплавких металлов. Для изготовления деталей, работающих при температурах свыше 1000°C используют тугоплавкие металлы и сплавы на их основе. Все тугоплавкие металлы относятся к переходным элементам и расположены в 1-м, 2-м и 3-м длинном периодах Периодической системы Д. И. Менделеева. Металлы, представляющие наибольший практический интерес, относятся к подгруппам VA (*V, Nb, Ta*) и VIA (*Cr, Mo, W*).

Тугоплавкие металлы имеют невысокие коэффициенты теплопроводности и линейного расширения. Все тугоплавкие металлы, за исключением хрома, имеют низкое значение давления паров. Тугоплавкие металлы высокой чистоты отличаются большой пластичностью при комнатной температуре. Прочностные характеристики у металлов подгруппы VIA заметно выше, чем у металлов подгруппы VA.

Тугоплавкие металлы характеризуются хорошей коррозионной стойкостью в целом ряде агрессивных сред. Наибольшей коррозионной стойкостью обладают хром, молибден и вольфрам.

Ряд свойств тугоплавких металлов, таких например, как высокая склонность к химическому взаимодействию с газовыми и другими средами при повышенных температурах, резкое снижение пластичности при загрязнении металлов кислородом, азотом, углеродом, водородом, существенно усложняет технологический процесс изготовления деталей из тугоплавких металлов и ограничивает область их использования.

При повышенных и высоких температурах тугоплавкие металлы активно взаимодействуют с кислородом и другими газами. Лишь хром обладает высоким сопротивлением окислению, которое начинается в заметной степени при температуре 700°C . Все остальные тугоплавкие металлы начинают окисляться при температуре $500-600^{\circ}\text{C}$. Высокая склонность тугоплавких металлов к окислению затрудняет их использование в качестве высоко-жаропрочных материалов, так как приходится защищать изделия из этих материалов специальными покрытиями.

Ванадий, ниобий, тантал активно взаимодействуют с водородом. Процесс поглощения металлами водорода начинается при температурах выше $300-500^{\circ}\text{C}$. Сплавы, содержащие водород выше определенной для каждого сплава концентрации, становятся хрупкими (водородная хрупкость).

Тугоплавкие металлы технической чистоты и особенно хром, молибден и вольфрам имеют низкую пластичность. У этих металлов переход от вязкого состояния к хрупкому происходит при температурах, близких к $0,15t_{пл}$. Это обстоятельство также оказывает серьезные затруднения в производстве заготовок и их использование в конструкциях машин и агрегатов.

Слайд 2. Металлы VA подгруппы (*V, Nb, Ta*) способны растворять водород, кислород, азот, углерод в значительно больших количествах, чем металлы VIA подгруппы (*Cr, Mo, W*). На *рисунках* приведены части диаграмм состояния молибдена и ниобия с кислородом, из которых следует, что растворимость кислорода в ниобии на два порядка выше растворимости кислорода в молибдене. Как следует из диаграмм состояния, растворимость этих элементов в тугоплавких металлах с понижением температуры уменьшается и при температурах ниже 1000-1500°C в хrome, молибдене и вольфраме она ничтожно мала. Поэтому при концентрациях этих примесей, превышающих предел растворимости, в структуре сплавов образуются неметаллические включения, приводящие к резкому снижению пластичности и повышению склонности сплавов к хрупкому разрушению.

Температура перехода тугоплавких металлов из вязкого состояния в хрупкое повышается с увеличением концентрации примесей внедрения. В металлах VA подгруппы наиболее резко повышает температуру хладноломкости водород. В молибдене наиболее вредны кислород и углерод.

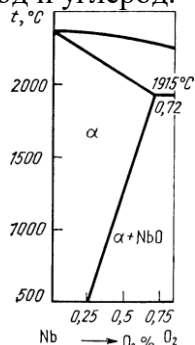


Диаграмма состояния (часть) системы *Nb-O₂*

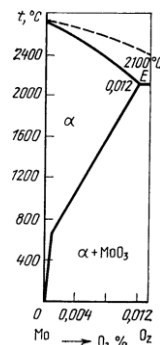


Диаграмма состояния (часть) системы *Mo-O₂*

Анализ свойств тугоплавких металлов и практика показывают, что не все тугоплавкие металлы по совокупности физических и технологических свойств могут с успехом использоваться в качестве конструкционных материалов для изготовления деталей, работающих при высоких температурах.

Хром и ванадий и их сплавы, хотя и имеют довольно высокую температуру плавления, однако по своим свойствам и по уровню рабочих температур не превосходят лучшие жаропрочные сплавы на никелевой основе.

Слайд 3. Широко используются в промышленности сплавы на основе ниобия и молибдена.

Свойства ниобиевых и молибденовых сплавов. Основные достоинства ниобия: хорошие технологические свойства (высокая пластичность, удовлетворительная свариваемость), относительно невысокая плотность ($8,57 \text{ г/см}^3$), удовлетворительная коррозионная стойкость, широкое распространение в природе, малое сечение захвата тепловых нейтронов. К недостаткам ниобия и его сплавов относятся низкая стойкость против окисления и невысокий модуль упругости ($E = 105000 \text{ МПа}$).

Примеси внедрения – кислород и азот – сильно упрочняют ниобий. Углерод слабо влияет на механические свойства, водород – охрупчивает металл.

Из элементов, применяемых в качестве легирующих компонентов, наиболее существенно повышают прочностные и жаропрочные характеристики ниобия цирконий,

гафний, вольфрам, ванадий и молибден. В *таблице* приведен химический состав и механические свойства ряда ниобиевых сплавов.

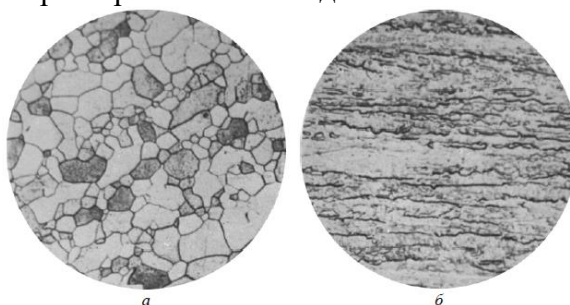
Химический состав, %, и механические свойства (при 20 °С) ниобиевых сплавов

Сплав	W	Mo	Zr	C	Ti	Nb	σ_b , МПа	δ , %
ВН2	-	3,8-5,2	-	0,05	-	ост.	-	-
ВН2А	-	3,5-4,7	0,5-0,9	0,08	-	ост.	-	-
ВН3	-	4,0-5,2	0,8-2,0	0,08-0,16	-	ост.	780	18
ВН4	-	8,5-10,5	1,0-2,0	0,25-0,5	0,01-0,05	ост.	810	16
ВН6	4,5-6,0	4,5-6,0	1,0	-	-	ост.	890	-
5ВМц	4,5-5,5	1,7-2,3	0,7-1,0	0,02	-	ост.	450	30

Слайд 4. К достоинствам молибдена относятся: высокая температура плавления и жаропрочность, относительно невысокая (по сравнению с вольфрамом) плотность (10,2 г/см³). Удельная прочность молибдена до температуры 1400°С выше, чем вольфрама. Молибден и его сплавы отличаются высоким модулем упругости, малым сечением захвата тепловых нейтронов, доступностью и развитой технологией производства. Недостатками молибдена и его сплавов являются низкое сопротивление окислению при температурах выше 500°С и малая пластичность при нормальных температурах. На *рисунке* приведена микроструктура молибдена.

Примеси внедрения (кислород, азот, водород, углерод) резко ухудшают пластичность металла и повышают температуру перехода из вязкого состояния в хрупкое. Растворимость указанных примесей в молибдене ничтожно мала и поэтому в металле технической чистоты всегда имеются включения оксидов, нитридов, карбидов.

Легирующие элементы – никель, кобальт, железо, цирконий, гафний, тантал, ниобий – повышают прочностные характеристики молибдена.



Микроструктура молибдена. $\times 200$: *a* – отожженного; *b* – горячепрессованного

Слайд 5. Химический состав и механические свойства ряда молибденовых сплавов приведены в *таблице*.

Химический состав, %, и механические свойства молибденовых сплавов в деформируемом состоянии

Сплав	Ti	Zr	C	Mo	Другие элементы	σ_b , МПа	δ , %
ТСМЗ	-	-	0,06-0,10	ост.	0,03-0,1 N	930/-	4/-
ЦМ5	-	0,4-0,6	0,04-0,07	ост.	-	775/500	11,5/6,0
ЦМ2А	0,07-0,3	0,07-0,15	0,004	ост.	-	800/220	25/18
ВМ1	до 0,4	0,08-0,25	0,01	ост.	-	800/340	10/17
ВМ3	0,8-1,3	0,3-0,6	0,25-0,50	ост.	1,0-1,8 Nb	830/535	0/9
МР47ВП	-	-	-	ост.	47,0 Re	1780/-	-

Примечание. В числителе σ_b и δ при температуре 20 °С, в знаменателе – при температуре 1200 °С.

Шихта, используемая для плавки тугоплавких сплавов, содержит в больших количествах примеси, поэтому процесс плавки должен осуществляться таким образом, чтобы рафинирование металла происходило в процессе его плавления.

В качестве шихты применяют штабики и отходы промышленного и собственного производства. Штабики поступают с металлургических заводов. Их изготавливают из порошков тугоплавких металлов. Производство штабиков является сложным процессом, состоящим из следующих металлургических операций: рассева порошков, прессования, низкотемпературного (1000-1200°С) и высокотемпературного (более 2000°С) спекания, правки, обрубки, сварки и др.

Приготовленные для переплавки штабики содержат значительное количество примесей, которые не позволяют получать высококачественные заготовки.

Рафинирование и дегазация штабиков при их спекании в твердофазном состоянии хотя и приводят к снижению содержания кислорода, азота, углерода, водорода, однако значительная часть примесей остается в металле. Для получения литых заготовок исходную шихту (пакеты из штабиков) плавят в вакуумных электродуговых или электронно-лучевых печах. Эффективный метод дальнейшего снижения содержания примесей – переплавка шихты в электронно-лучевых печах. Высокая температура жидкого металла и достаточно низкое давление (13,3-1,3 МПа) в камере печи позволяют производить глубокую очистку металла от примесей. Применение электронно-лучевой плавки не только обеспечивает эффективное жидкофазное рафинирование от примесей, но и позволяет в определенных пределах регулировать содержание этих примесей за счет введения в шихту активных раскислителей (углерода, бора и др.) и обезуглероживающих и карбидообразующих добавок (титана, циркония и др.).

При электронно-лучевой плавке удаляются путем испарения также и металлические примеси. При этом следует учитывать, что может происходить испарение основного металла и легирующих элементов. Эффективное удаление примесей происходит в том случае, когда давление пара примеси не менее чем в 10 раз выше давления пара основного металла.

Электронно-лучевая плавка позволяет получать высококачественные заготовки при переплавке не только штабиков, но и брикетов, полученных прессованием стружки и мелкоизмельченных отходов. Более глубокая очистка от примесей может быть обеспечена двойным переплавом металла в электронно-лучевых печах и путем введения в металл в процессе плавки активных добавок.

Слайд 6. Широко распространен в промышленности вакуумный электродуговой способ плавки. Однако этот способ имеет один существенный недостаток: степень очистки металла от примесей при электродуговой плавке ниже, чем при электронно-лучевой.

Электродуговые вакуумные печи с расходуемым электродом по своей принципиальной схеме не отличаются от аналогичных печей для плавки титановых сплавов. Применяют печи нескольких конструкций, но все они имеют один и тот же принцип работы и отличаются друг от друга габаритными размерами и различной компоновкой отдельных узлов.

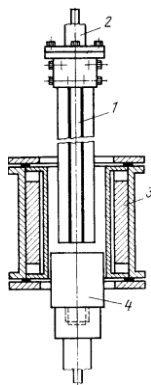
Расходуемый электрод 1 (*рисунок*), состоящий из штабиков, закрепляют в специальной головке электрододержателя 2. С помощью механизма перемещения электрододержателя расходуемый электрод опускают в водоохлаждаемую изложницу 3. Затем между электродом 1 и «затравкой» 4, изготовленной из того же металла, что и расходуемый электрод, зажигают электрическую дугу. Нижний торец расходуемого электрода оплавляется и капли жидкого металла, стекая в изложницу, формируют слиток.

Печи работают на постоянном и переменном токе. Диаметр выплавляемых слитков 250-300 мм.

При гарниссажной электродуговой плавке тугоплавких металлов применяют графитовые тигли, установленные в водоохлаждаемую обойму и металлические водоохлаждаемые тигли. Сохранение в процессе плавки постоянной толщины гарниссажа – одна из основных проблем гарниссажной плавки. При неправильно выбранном режиме плавки возможны следующие отклонения:

- *увеличение толщины гарниссажа с одновременным уменьшением объема жидкой ванны и снижением температуры металла;*
- *уменьшение толщины гарниссажа, что может привести к непосредственному контакту жидкого металла с материалом тигля и вызвать загрязнение металла или аварию.*

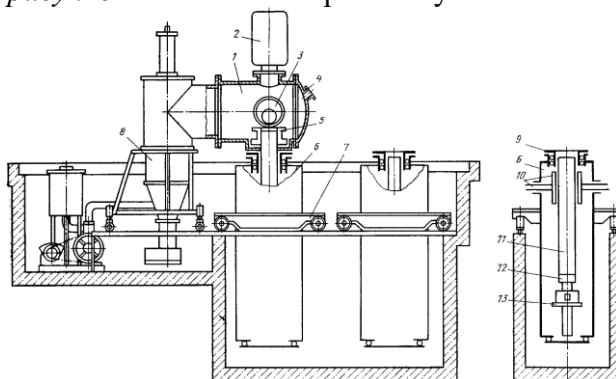
В настоящее время разработаны методы автоматического управления процессом плавки, обеспечивающим сохранение оптимальной толщины гарниссажа.



Плавильный узел электродуговой вакуумной печи для получения слитков из тугоплавких сплавов

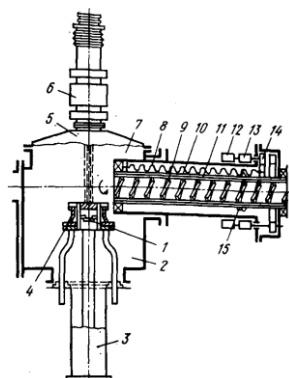
Слив металла из тиглей осуществляют чаще всего путем поворота гарниссажного тигля. В качестве материала форм используют графит различных марок, медные сплавы, молибден, вольфрам и их сплавы. Применяют также различные формовочные смеси на основе графитового порошка. Для предупреждения взаимодействия металла с углеродом формы на рабочую поверхность форм плазменным напылением наносят защитные покрытия из различных химических и жаростойких материалов. Для обеспечения заполнения форм жидким металлом и повышения плотности отливок заливку металла производят во вращающиеся формы.

Слайд 7. Промышленные электронно-лучевые печи выпускают разных конструкций. В качестве примера на *рисунке* показана электронно-лучевая печь ПЭЛ-1000.



Электронно-лучевая печь ПЭЛ-1000

Слайд 8. Печь ПЭЛ-1000 оборудована универсальным загрузочным устройством (*рисунок*), позволяющим переплавлять любой вид шихты (штабики, обрезь, стружку, кусковые и другие отходы) с автоматической подачей шихтовых материалов в зону плавки. Компактные материалы (круглые слитки, пакеты штабиков, брикеты) помещают в трубу 11 загрузочного бункера и закрепляют в каретке 15, соединенной с ходовым винтом 8, приводимым в движение двигателем 12 через зубчатую передачу 14, редуктор 13, и подают с требуемой скоростью в зону плавки. При плавке сыпучих материалов в полость загрузочной трубы 11 помещают обойму 10 со шнеком 9, загруженную предварительно исходным сыпучим шихтовым материалом. При вращении шнека сыпучая шихта по специальному желобу поступает в зону плавления.

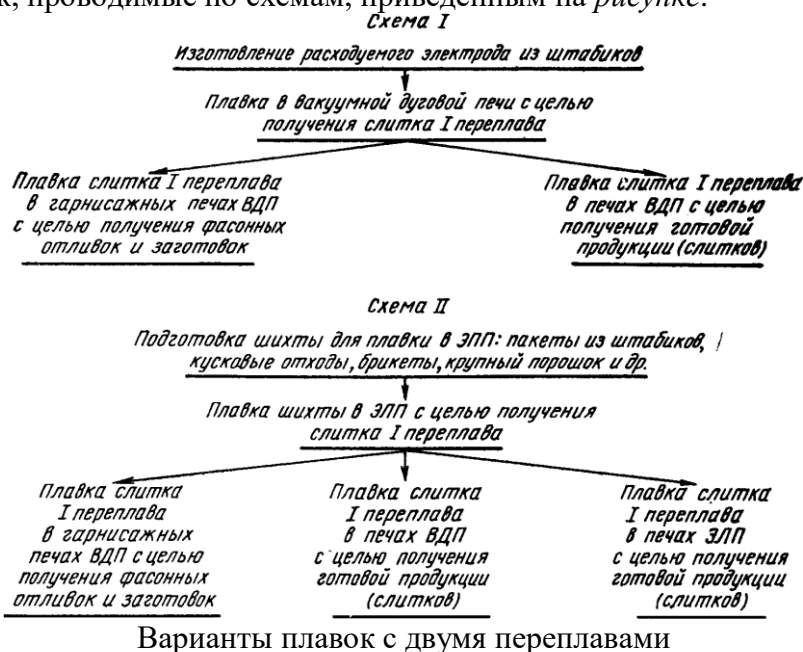


Электронно-лучевая печь ПЭЛ-1000 с одним из шихтовых бункеров

Печь ПЭЛ-1000 оборудована мощной электронной пушкой с оригинальными узлами и системами, которые обеспечивают высококачественную плавку металла и надежную работу установки.

В зависимости от требований, предъявляемых к литым заготовкам, а также от марки выплавляемого сплава и вида используемой шихты, применяют различные варианты плавки с использованием вакуумных дуговых (ВДП) и электронно-лучевых печей (ЭЛП).

Слайд 9. С целью получения заготовок с требуемыми химическим составом, структурой и свойствами применяют также двойной переплав: плавку исходной шихты с целью литья круглых слитков (I переплав) и переплавку полученного слитка (расходуемого электрода) в готовую продукцию (II переплав). Наиболее часто используют варианты плавки, проводимые по схемам, приведенным на рисунке.



Изготовление готовой продукции из тугоплавких сплавов по схеме I обычно проводят в том случае, если не предъявляются особые требования к чистоте металла по содержанию в них примесей. В связи с относительно неглубоким разрежением в плавильной камере вакуумной дуговой печи (13,3-1,3 МПа) степень очистки металла от примесей при плавке в ВДП ниже, чем в электронно-лучевых печах. Поэтому целесообразно применять электродугую плавку для второго переплава, а именно, для переплавки электродов (слитков I переплава), полученных в электронно-лучевых печах (схема II).

Плавка молибдена и его сплавов. Плавку молибдена и сплавов на его основе ведут в дуговых печах с расходуемым электродом в вакууме или в атмосфере аргона.

Расплавление расходуемого электрода осуществляют в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе; для фасонного литья используют гарниссажные печи с медным или графитовым тиглем.

Расходуемые электроды изготовляют методом порошковой металлургии – из порошка молибдена прессуют штабики квадратного сечения, спекают их в водороде, а затем сваривают, рихтуют и шлифуют бесцентровой шлифовкой.

Для получения поверхности слитка лучшего качества плавку необходимо вести на постоянном токе; расходуемый электрод должен подсоединяться к отрицательному полюсу.

Особенность плавки молибдена – необходимость его раскисления. Технический молибден содержит до 0,01% кислорода. Для раскисления молибдена в расплав вводят активные оксидообразующие добавки (C, B, PЗЭ, Zr, Ti и др.). Эти элементы имеют более высокое сродство к кислороду, чем молибден, и восстанавливают их оксиды.

Углерод – вредная примесь и поэтому его вводят в расплав в таком количестве, чтобы в процессе раскисления он полностью удалялся из металла в виде газовой фазы. Углерод резко снижает пластичность и способствует повышению температуры перехода из вязкого в хрупкое состояние.

Частично углерод удаляется при электронно-лучевой плавке. С целью нейтрализации вредного воздействия углерода в тугоплавкие металлы вводят в небольших количествах высокоактивные карбидообразующие элементы: титан, цирконий, гафний. Они образуют с углеродом карбиды, которые кристаллизуются в виде мелких разрозненных включений, слабо влияющих на свойства металла.

С учетом изменения пластичности содержание большинства легирующих элементов в деформируемых молибденовых сплавах не превышает обычно 1%. При изготовлении сплавов легирующие присадки вводят путем подачи их в ванну расплавленного металла в виде гранул и порошка.

Плавка ниобия и его сплавов. Ниобий так же, как и другие тугоплавкие металлы в расплавленном состоянии, активно взаимодействует с печными газами и большинством огнеупорных материалов.

В связи с этим выплавку ниобия производят в вакууме или в защитной атмосфере. В зависимости от требований к сложности конфигурации отливок плавку ниобия ведут в дуговых, индукционных и электронно-лучевых печах с применением медных кристаллизаторов и тиглей с гарниссажем (графитовых и медных). При плавке в вакууме остаточное давление не должно превышать 2×10^{-2} мм рт. ст.; плавку в атмосфере аргона или гелия ведут при давлении 300-400 мм рт. ст.

Получение расплавов с малым содержанием газов обеспечивается раскислением вследствие диссоциаций химических соединений в вакууме и введением раскислителей. При плавке в вакууме наиболее эффективные раскислители ниобия – углерод, церий и иттрий.

Исходным материалом для выплавки слитков ниобия являются штабики размером $16 \times 18 \times 500$ мм, полученные методом порошковой металлургии. Методом стыковой сварки под флюсом из штабиков изготовляют расходуемый электрод длиной 1,5-2,5 м. Сваренные электроды зачищают наждаком и собирают в пакеты по 4-12 штук в зависимости от мощности плавильной печи.

Наиболее перспективный метод получения ниобиевых сплавов – плавка легированных штабиков, состав которых отвечает составу сплава. Такие штабики получают путем совместного восстановления окислов ниобия и окислов легирующих компонентов углеродом. Плавку ведут в электронно-лучевых печах. Ниобиевые сплавы можно готовить в дуговых вакуумных печах с расходуемым электродом. В этом случае легирующие компоненты в виде полос или кусков присоединяют к расходуемому электроду.