

Производство отливок из никелевых сплавов

Слайд 1. Состав и свойства никеля и никелевых сплавов. Широко используемый в современной технике как конструкционный и электротехнический металл, никель является основой наиболее распространенных в настоящее время жаропрочных сплавов, идущих на изготовление ответственных деталей и узлов газотурбинных двигателей и энергетических установок. Никель также является основой современных жаростойких и коррозионностойких сплавов.

Никель обладает гранцентрированной кубической кристаллической решеткой, плотность его составляет $8,9 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1455°C , температура кипения 2900°C .

При температурах ниже 360°C никель ферромагнитен, но магнитные свойства его выражены значительно слабее, чем у железа и кобальта. Никель обладает высокой коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред (морская и пресная вода). При нагреве на воздухе никель взаимодействует с кислородом с образованием оксида никеля NiO .

Слайд 2. Химический состав никеля разных марок по *ГОСТ 849-97* представлен в таблице.

Химический состав никеля										
Марка	Ni, % не менее	Co, % не более	Примеси, % не более							
			C	Mg	Al	Si	P	S	Mn	Fe
H-0	99,985	0,005	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
H-1y	99,920	0,100	0,010	0,001	-	0,002	0,001	0,001	-	0,010
H-1	99,920	0,100	0,100	0,010	-	0,002	0,001	0,001	-	0,010
H-2	99,650	0,150	0,020	-	-	0,002	-	0,003	-	0,040
H-3	97,900	0,700	0,100	-	-	-	-	0,030	-	-
H-4	96,900	0,700	0,150	-	-	-	-	0,040	-	-

Марка	Ni, % не менее	Co, % не более	Примеси, % не более							
			Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Pb	Bi
H-0	99,985	0,005	0,001	0,0005	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
H-1y	99,920	0,100	0,015	0,0008	0,0010	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
H-1	99,920	0,100	0,020	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
H-2	99,650	0,150	0,040	0,0050	-	-	-	-	-	-
H-3	97,900	0,700	0,600	-	-	-	-	-	-	-
H-4	96,900	0,700	1,000	-	-	-	-	-	-	-

Наиболее вредные примеси никеля (сера, кислород и углерод), растворяются в жидком никеле, а при кристаллизации выделяются в виде эвтектик: никель – сульфид никеля NiS , никель – NiO и никель – графит по границам зерен. Эвтектика никель – сульфид никеля плавится при температуре 645°C и вызывает горячеломкость металла при обработке давлением. Эвтектики никель – NiO и никель – графит существенно ухудшают пластичность никеля. Висмут и свинец вызывают горячеломкость никеля; сурьма и мышьяк ухудшают обрабатываемость давлением; фосфор и кадмий резко снижают его механические, физические и технологические свойства.

Никель технической чистоты используют в виде листов, лент, прутков, труб для работы в агрессивных средах. Механические свойства никеля марки *НП-4* в отожженном состоянии следующие: $\sigma_s = 400-500 \text{ МПа}$; $\delta = 35-40\%$.

Слайд 3. Никелевые сплавы, промышленные, классифицируют по химическому составу и области применения (жаропрочные, жаростойкие, коррозионностойкие и специальные).

Жаропрочные сплавы – наиболее важная группа сплавов на основе никеля. К ним относятся сложнелегированные литейные сплавы серии *ЖС, ВЖЛ (ЖСЗ, ЖС6, ЖС6К, ЖС6У и др.)* и деформируемые. Они широко используются в современных газотурбинных двигателях. Из жаропрочных никелевых сплавов делают рабочие лопатки и диски турбины, направляющие лопатки, камеры сгорания газотурбинных двигателей. Использование современных сложнелегированных жаропрочных никелевых сплавов позволило повысить температуру газов на входе в турбину с 800 до 1100°C , что привело к значительному повышению мощности, уменьшению расхода топлива, увеличению ресурса и надежности работы двигателей.

По химическому составу (таблица) жаропрочные сплавы никеля относят к сложнoleгированным. Основными легирующими элементами являются: хром (10-25%), алюминий (0,5-6,0%), титан (1,0-3,0%).

Химический состав некоторых жаропрочных никелевых сплавов, %

Марка сплава	Cr	C	Co	Ti	Al	W	Mo	Другие элементы
ХН77ТЮ (ЭН437А)	19,0-22,0	0,06	-	2,30-2,70	0,55-0,95	-	-	-
ХН73МБТЮ (ЭН698)	13,0-16,0	0,08	-	2,35-2,75	1,30-1,70	-	2,80-3,20	1,8-2,2V
ХН55ВМТФКЮ (ЭН929)	9,0-12,0	0,12	12,0-16,0	1,40-2,00	3,60-4,50	4,50-6,50	4,00-6,00	0,1 В
ЖСЗ	14,0-18,0	0,11-0,16	-	1,60-2,30	1,60-2,20	4,50-6,50	3,00-4,50	0,2-0,8 V
ЖС6	11,5-13,0	0,11-0,18	-	2,20-2,80	4,70-5,20	6,00-8,00	4,00-5,50	-
ЖС6К	10,5-12,5	0,13-0,20	4,0-5,0	2,50-3,00	5,00-6,00	4,50-5,50	3,50-4,50	-
ВТ36Л	10,0-22,0	-	-	0,40-2,70	3,50-5,20	до 9,00	до 4,50	до 1,1 V, до 1,5 Fe

Слайд 4. На рисунках представлены диаграммы состояния Ni-Cr, Ni-Al и Ni-Ti. В системе Ni-Cr образуются эвтектика и широкие области твердых растворов на основе никеля (γ) и хрома (α). С понижением температуры растворимость несколько снижается. Однако растворимость хрома в никеле при комнатной температуре довольно высокая и составляет около 30%.

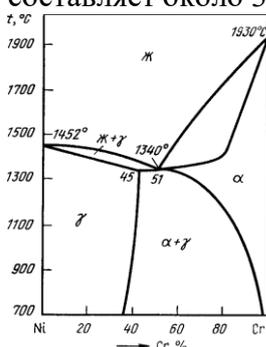


Диаграмма состояния системы Ni-Cr

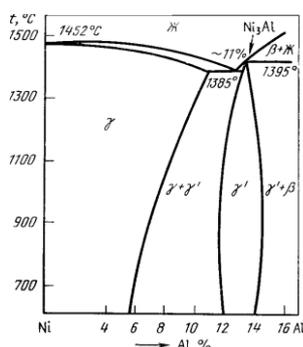


Диаграмма состояния системы Ni-Al

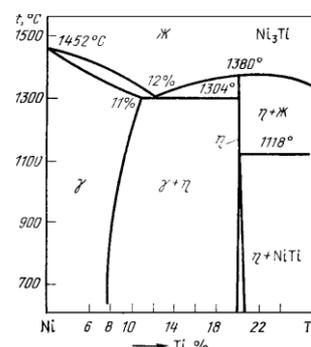


Диаграмма состояния системы Ni-Ti

В системе Ni-Al при температуре 1385°C образуется эвтектика. С понижением температуры растворимость алюминия в никеле уменьшается с 11 до 6% при температуре 750°C.

В этой системе в равновесии с γ -раствором на основе никеля находится γ -фаза, представляющая раствор на основе интерметаллида Ni_3Al .

При температуре 1304°C в системе Ni-Ti также наблюдается эвтектическое равновесие. Растворимость титана в никеле уменьшается с 12,5% Ti при эвтектической температуре до 8% Ti при температуре 750°C. В равновесии с γ -раствором находится η -фаза – твердый раствор на основе интерметаллида Ni_4Ti .

Жаропрочные сплавы на никелевой основе, помимо хрома, алюминия и титана, содержат еще 6-8 легирующих элементов, которые способствуют повышению жаропрочности, коррозионной и эрозионной стойкости сплавов.

Алюминий и хром обеспечивают стойкость к окислению, тогда как хром и титан повышают стойкость к газовой коррозии. Газовая коррозия получает развитие при высоких температурах при совместном влиянии обычного окисления и взаимодействия с серой и другими примесями, содержащимися в топливе и попадающими в рабочую зону двигателя с продуктами горения топлива.

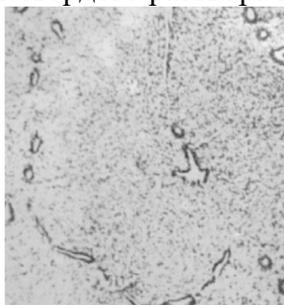
Слайд 5. Основой многих жаростойких сплавов является система Ni-Cr (таблица). Легирование никеля хромом приводит к сильному повышению стойкости против окисления при высоких температурах. Высокая жаростойкость сплавов никеля с хромом обусловлена образованием под внешним тонким слоем оксида NiO второго окисного слоя Cr_2O_3 , а также промежуточного слоя шпинели $NiCr_2O_4$. Высокая жаростойкость никелевых сплавов обусловлена также тем, что коэффициенты линейного расширения никеля и NiO близки по величине и поэтому резкие колебания температур не вызывают отслаивания оксидного слоя от металла.

Химический состав некоторых жаростойких,
коррозионностойких и специальных никелевых сплавов, %

Марка	Cr	Fe	Cu	Другие элементы
X20H80	20-23	-	-	0,4-1,5 S
X15H75Ж	15	5,0	-	-
НМЖМц28-25-1,5	-	2,0-3,0	27-29	1,2-1,8 Mn
Никелевая бронза	-	0,5-1,0	33-43	5-10 Sn; 1 Zn

Примечание. Ni – остальное.

Слайд 6. На рисунке приведена микроструктура никелевого сплава (по границам и внутри зерен сложнoleгированного твердого раствора имеются включения карбидов).



Микроструктура жаропрочного никелевого литого сплава ВХН1. $\times 200$.

Сплавы никеля с хромом получили название *нихромов*. К ним относятся X10H90, X20H80, X30H70, X40H60, X50H50 и др.

Жаростойкие никелевые сплавы обладают повышенным электрическим сопротивлением, поэтому нихромы и другие близкие по составу сплавы используют в качестве нагревательных элементов электрических печей сопротивления, работающих в воздушной атмосфере при температурах до 1000-1200°C. Сплавы этой группы также используют для изготовления печной арматуры, защитных трубок термопар и других деталей.

К *коррозионностойким и специальным сплавам* относятся сплавы на основе системы Ni-Cu (Ni-Cu-Si, Ni-Cu-Sn и др.), Ni-Mo, а также двойные сплавы никеля с кремнием, бериллием, алюминием и титаном.

Сплавы на основе системы Ni-Cu отличаются высокой стойкостью в различных средах (серная и органические кислоты, растворы щелочей, морская вода, атмосфера пара при температуре 350-450°C), антифрикционными свойствами и стабильностью механических свойств при повышенных температурах.

Монель и никелевая бронза – наиболее распространенные сплавы системы Ni-Cu. Отливки из монелей применяют для изготовления клапанов, рабочих колес и корпусов насосов, втулок, кранов и других деталей, работающих в агрессивных средах. Никелевые бронзы используют для изготовления литых втулок, уплотнительных колец и других деталей, работающих на трение в агрессивных средах.

В химическом машиностроении применяют литые детали, изготовленные из сплавов системы Ni-Mo. Некоторые сплавы, содержащие около 30% Mo и 5% Fe, стойки в соляной кислоте любой концентрации при высоких температурах.

Хорошей коррозионной и антифрикционной стойкостью в ряде агрессивных сред обладают детали, изготовленные из двойных сплавов никеля с алюминием, бериллием, титаном и кремнием.

Ряд сплавов на никелевой основе (*хромель, копель, алюмель*) применяют для изготовления термоэлектродной проволоки.

Слайд 7. Особенности никеля и никелевых сплавов. Отличительной особенностью никеля и сплавов на его основе является повышенная склонность к его взаимодействию с газами печной атмосферы. Жидкий никель растворяет при температуре 1600°C до 0,5% кислорода, около 2,5% углерода и до 43 см³/100 г металла водорода. Выделение водорода при кристаллизации – основная причина газовой пористости в отливках. При

взаимодействии с парами воды происходит одновременное загрязнение никеля кислородом и водородом.

С целью предупреждения взаимодействия с газами плавку никеля ведут под слоем флюса, в качестве которого применяют стекло, плавленый шпат, известь, молотый магнезит со стеклом и др. Недопустимо применение древесного угля и гипса. Флюс берут в количестве 3-5% от массы шихты. Он должен покрывать поверхность расплава слоем толщиной 10-15 мм.

Плавку никеля ведут в индукционных канальных и тигельных печах, которые позволяют быстро достигать необходимой температуры, и форсировано вести процесс. Иногда применяют дуговые печи. Выплавку никеля для вакуумной техники ведут в вакуумных индукционных тигельных печах при остаточном давлении 0,66 Па.

В качестве шихтовых материалов при плавке чистого никеля используют катодный никель *H-0* и *H-1*, гранулы никеля и крупные отходы собственного производства в количестве, не превышающем 50% от массы шихты. Недопустимо использовать катодные листы с наростами на поверхности. С начала в печь загружают отходы, поверхность которых засыпают флюсом. По мере расплавления металла сразу или частями вводят катодный никель. Листы никеля предварительно разрезают на куски размером 150×150 мм, просушивают, а в некоторых случаях (при большом содержании водорода) отжигают. Плавку ведут при форсированном режиме, не допуская перегрева расплава.

При температуре расплава 1500-1600°C его очищают от кислорода и серы. С этой целью в расплав вводят раскислители и десульфуризаторы. Характерная особенность плавки чистого никеля это применение комплексного раскислителя – углерода, кремния, марганца, магния. Основным раскислителем является углерод, который вводят в виде графита или лигатуры *Ni-C*, содержащей 1,5-2% С. При введении углерода в виде графита его загружают одновременно с первой порцией шихты. Для полного удаления кислорода требуется значительный избыток углерода. Однако избыток углерода сообщает никелю хрупкость. Поэтому основное количество кислорода удаляют с помощью углерода, а его остаток – кремнием и марганцем после доведения температуры расплава до 1600°C. Общее количество комплексного раскислителя принимают в пределах 0,18-0,22% от массы расплава. Углерод берут в количестве 0,05-0,1%, кремний 0,07-0,15%, марганец 0,05-0,2%, магний 0,05-0,1%. Для раскисления никеля используют также силикокальций, содержащий до 23% *Ca*. Этот раскислитель вводят в расчете на 0,05-0,1% *Ca*. После раскисления расплав перемешивают никелевой мешалкой, выдерживают в течение нескольких минут и при температуре 1550-1650°C заливают в формы. Во избежание попадания флюса в полость формы его сгущают. С этой целью на поверхность расплава засыпают молотый магнезит в количестве 0,2% от массы шихты.

При плавке чистого никеля загрязненные и смешанные отходы никеля от разных плавов не используют в шихте. Их переплавляют отдельно. Перед плавкой всю шихту обдувают воздухом с целью удаления загрязнений. Плавку ведут в индукционной канальной печи под слоем флюса. Примеси удаляют путем окисления.

С целью ускорения окисления в расплав вводят *NiO* или никель с большим содержанием кислорода. Примеси выгорают в следующем порядке: кремний, магний, марганец, цинк и углерод. Конец окисления определяют по искрению металла и по излому пробы. Последующее раскисление никеля производят лигатурой *Ni-Mg* или кремнием и лигатурой *Ni-C*. Лигатуру *Ni-Mg* в количестве 0,06% присаживают завернутой в никелевую фольгу при температуре расплава 1550-1600°C. Жаростойкие и коррозионно-стойкие никелевые сплавы, а также жаропрочные сплавы некоторых марок, идущие для изготовления малоответственных деталей, плавят в открытых индукционных тигельных, индукционных канальных и электродуговых печах.

Состав флюсов, в %, для предохранения расплава от интенсивного взаимодействия с газами:

№1 100 *CaO*

№2 70 CaO ; 30 CaF_2

№3 50 CaO ; 50 CaF_2

№4 50 CaF_2 ; 50 MgF_2

№5 100 стекло

№6 30 MnO_2 ; 30 NiO ; 20 Fe_2O_3 ; 20 SiO_2 .

Расход флюсов составляет 2-5% от массы расплава. С помощью флюсов невозможно полностью исключить растворение в металле водорода, поэтому одной из важнейших операций при выплавке никелевых сплавов является рафинирование их от растворенных газов. Эту операцию осуществляют наведением окислительного шлака или продувкой расплава инертными газами (аргоном или гелием). Перед введением легирующих компонентов, образующих твердые нерастворимые оксиды, никель раскисляют марганцем, углеродом, кремнием и магнием, порознь или совместно; в качестве раскислителей используют также титан и силикокальций.

Для измельчения зерна отливок и повышения уровня их эксплуатационных свойств некоторые жаропрочные сплавы модифицируют присадками бора (0,01-0,03%) и циркония (0,03-0,1%).

При плавке в дуговых печах первыми загружают никель и кусковые отходы; затем под электроды вводят шлаковую смесь (известь с плавиковым шпатом 1:1) в количестве 3-5% от массы шихты. Смесь вводят небольшими (по 3-5 кг) порциями для предохранения расплава от науглероживания и насыщения водородом. После расплавления вводят лигатуры и чистые металлы (Mo , Nb , W и др.) и нагревают расплав до полного растворения тугоплавких элементов. Затем отбирают пробу на химический анализ, расплав подвергают рафинированию и раскислению. Для этого используют раскисляющие смеси (известь с алюминиевым порошком 1:1), которые вводят из расчета 3-4 кг на тонну расплава небольшими порциями, марганец (0,25%), алюминий (0,3-0,5%) и титан (0,01-0,15%). Перед разливкой в расплав вводят присадки циркония и бора.

Аналогичную технологию применяют и при плавке в индукционных тигельных печах. В качестве шлаковой смеси используют известь (70%) с плавиковым шпатом (30%), которую вводят на поверхность шихты в количестве 3-4%. Раскисление осуществляют порошком алюминия (2 кг/т) или марганцем и титаном.

Плавку монелей осуществляют в индукционных печах. В качестве флюса используют стекло или смесь фторидов кальция и магния.

При изготовлении сплава из чистых металлов и собственных отходов первыми загружают никель, медь, железо, отходы и др. После полного расплавления садки температуру расплава поднимают до 1450-1500°C и вводят марганец. Для раскисления расплава используют лигатуру $Ni-C$. Углерод вводят в количестве 0,1-0,15% и после непродолжительной выдержки перед началом литья вводят магний (до 0,3%).

При плавке специальных термоэлектродных сплавов типа хромель принимают следующий порядок загрузки и расплавления шихты. В жидкую ванну вводят большую часть хрома. Затем загружают никель и отходы. Одновременно засыпают флюс в количестве до 5% от массы металла. Расплавление ведут по возможности интенсивно. Для раскисления сплава вводят 0,12-0,15% марганца и 0,06% магния.

Таким же образом осуществляют плавку других термоэлектродных сплавов. Некоторое различие в технологии плавки состоит в порядке загрузки составляющих шихты и в раскислении сплавов. При выплавке алюмеля и копеля вначале загружают никель, отходы и флюс, затем алюминий, кремний и марганец. Поскольку все эти сплавы содержат марганец, раскисление их производят магнием, вводимым в количестве 0,03% при приготовлении алюмеля и 0,1% при плавке копеля. Перед разливкой сплавы корректируют на содержание марганца.

Технология плавки жаростойких нихромов $Ni-Cr$ и $Ni-Cr-Fe$ мало чем отличается от технологии приготовления хромеля. Раскисляют эти сплавы марганцем, титаном и силикокальцием в количестве 0,1-0,15%.

В основном нихромы выплавляют в электродуговых печах. В целях удаления водорода, поглощенного расплавом, в конце плавки наводят окислительный шлак, который вызывает кипение ванны. Растворенный водород может быть удален также продувкой расплава аргоном. Основное условие при плавке нихромов – предотвращение загрязнения расплава серой и углеродом, резко снижающими эксплуатационные свойства деталей из этих сплавов.

Жаропрочные сплавы содержат в своем составе 8-12 легирующих элементов; ряд элементов присутствует в сплавах в виде примесей. Часть этих элементов при плавке на открытом воздухе интенсивно окисляется с образованием стойких окисных плен, которые загрязняют металл, снижают его механические свойства и служат причиной преждевременного разрушения деталей. Кроме того, при плавке на воздухе не удается снизить содержание примесей, например кремния, серы и др., до требуемого уровня. Эти и другие причины не позволяют вести плавку большинства жаропрочных сплавов в открытых печах.

При производстве фасонных отливок применяют вакуумные индукционные тигельные печи непрерывного и периодического действия.

В печах этого типа плавка и разливка металла по формам осуществляется при давлении 0,13-13,0 Па. При производстве слитков из жаропрочных сплавов наибольшее распространение получила схема дуплекс-процесса, когда плавку металла проводят в дуговой печи на воздухе, а затем его переплавляют в вакуумных электродуговых печах с расходуемым электродом, либо в вакуумных индукционных тигельных печах с последующей переплавкой в вакуумных электродуговых печах с расходуемым электродом. Перспективными для жаропрочных сплавов являются различные варианты дуплекс-процесса, в которых используют электроннолучевую, электрошлаковую и плазменную плавки.

Слайд 8. Особенности технологии производства фасонных отливок. Фасонные отливки из никелевых сплавов изготавливают литьем в разовые формы – песчаные и керамические (по выплавляемым моделям и Шоу-процессу). Песчаные формы применяют для изготовления относительно массивных и больших по габаритам отливок. Ввиду того, что никелевые сплавы имеют большую литейную усадку (2%) и склонны к газонасыщению, песчаные формы должны быть податливы и иметь низкую газотворность и высокую газопроницаемость (не менее 80 см³/см²).

При изготовлении отливок, работающих в условиях повышенных давлений, применяют сухие окрашенные формы; для менее ответственных отливок с толщиной стенок менее 15 мм – сырые или подсушенные. В качестве противопригарной присадки в формовочную смесь вводят до 5% графита.

Для заполнения литейных форм расплавом применяют расширяющиеся литниковые системы с нижним или щелевым рассредоточенным подводом металла в тонкие части отливок, обеспечивающие равномерное распределение температуры по их сечению. Для предотвращения незаливов, питатели должны иметь большие площади сечения и малую (но не менее 15 мм) длину.

Направленное затвердевание отливок обеспечивают применением холодильников и установкой прибылей над массивными узлами. При изготовлении массивных отливок рекомендуется применять внутренние микрохолодильники. Для этой цели используют порошок никеля.

Керамические формы по постоянным моделям (по Шоу-процессу) изготавливают из формовочных масс, состоящих из гидролизованного этилсиликата, маршалита, сухого кварцевого песка и керамической крошки. Для огеливания этилсиликата в состав смеси вводят щелочь или другой гелеобразователь. Формовочную смесь заливают в опоки с установленными в них модельными комплектами. Крупные литейные формы делают двухслойными: облицовочный слой из керамики на этилсиликате, а наполнительный – из жидкостекольной смеси. Сушку форм ведут выжиганием спирта. Для этого сразу же после

извлечения модельного комплекта формы поджигают факелом. После прекращения горения паров спирта полуформы прокаливают при 850-950°C в течение нескольких часов, а затем охлаждают вместе с печью до 400-450°C. Дальнейшее охлаждение ведут на воздухе. После контроля качества поверхности полуформы притирают и зачищают, а затем направляют на сборку.

Внутренние полости в отливках выполняют с помощью керамических (на основе SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 и др.) или песчаных окрашенных стержней.

Металл перед заливкой нагревают до 1600-1700°C. Заполняют формы через расширяющиеся щелевые литниковые системы с подводом металла по высоте формы. Объем прибыли обычно принимают на 20-50% больше объема питаемого узла. Эффективность прибылей усиливают, обогревая их экзотермическими смесями. Прибыли и литники отделяют с помощью керамических абразивных кругов или газовой резкой. Керамические стержни удаляют выщелачиванием в растворах щелочей.

Литые детали из жаропрочных сплавов – лопатки газотурбинных двигателей, цельнолитые роторы энергетических установок и другие детали – должны изготавливаться с высоким классом точности и хорошим качеством поверхности. Эти детали имеют сложную конфигурацию с глухими каналами и развитыми внутренними полостями. Такие детали могут быть изготовлены только литьем по выплавляемым моделям.

Технологический процесс изготовления отливок из жаропрочных сплавов методом литья по выплавляемым моделям состоит из следующих основных операций:

- изготовления моделей
- сборки блоков моделей;
- изготовления стержней и форм;
- плавки металла и заливки форм;
- выбивки, очистки, термической обработки и контроля отливок.

В целом процесс получения отливок из жаропрочных сплавов аналогичен производству отливок из стали. Некоторые различия связаны с повышенными требованиями, предъявляемыми к отливкам из жаропрочных сплавов.

Слайд 9. Модели тонкостенных и сложных по конфигурации отливок должны иметь достаточную теплостойкость и прочность, легко удаляться из формы. Составы, используемые для изготовления моделей, должны также обладать минимальной и стабильной усадкой. Широкое распространение для серийного производства сложных по конфигурации тонкостенных отливок из жаропрочных сплавов получили выплавляемые и водорастворимые модельные составы.

Выплавляемые модельные составы содержат воскообразные вещества. Водорастворимые модельные составы приготавливают из карбамида, азотных и азотнокислых солей щелочных металлов.

Модельные составы на основе карбамида имеют стабильную и малую усадку, в 2-5 раз меньшую, чем у воскообразных составов, теплостойки и имеют высокую прочность (*таблица*). Эти составы в жидком состоянии обладают высокой текучестью, что позволяет получать сложные по конфигурации и тонкостенные модели методом свободной заливки модельного состава в металлические пресс-формы.

Восковые модели изготавливают путем запрессовки нагретого до пастообразного (иногда в зависимости от марки до жидкого) состояния состава в металлические пресс-формы с помощью разнообразных автоматизированных установок.

Водорастворимые модельные составы нагревают до жидкого состояния (120-140°C) и путем свободной заливки или под низким давлением (0,005-0,02 МПа) заполняют пресс-форму.

При литье пустотелых отливок в пресс-форму перед ее запрессовкой или заполнением модельным составом устанавливают керамические стержни.

В случае установки в пресс-форму тонкостенных и сложных по конфигурации стержней целесообразно использовать водорастворимые модельные составы, так как при использовании воскообразных составов запрессовка осуществляется под значительным избыточным давлением, вызывающим деформацию или разрушение стержня.

Свойства некоторых модельных составов

Модельный состав	t , °С	$\sigma_{изг}$ при 20 °С, МПа	Свободная линейная усадка, %
ПШБК ₀ 70-12-13-5	77-80/53-56	3,6-3,7	0,6-0,9
ПБП _{СМ} 60-25-15	75-80/43-70	2,4-4,0	0,6-1,0
ПБТТ ₂ 25-35-35-5	75-85/48-70	4,7-5,0	0,9-1,4
К ₀ Н _к 90-10	125/–	15,0-19,0	0,15-0,4
К ₆ П _{вс} М _с 95,5-2-2,5	110/–	12,0-17,0	0,2-0,6

Примечание. П_{вс} – поливиниловый спирт; М_с – сернокислый магний. В числителе – температура плавления, в знаменателе – температура пастообразного состояния.

Модели, прошедшие контроль, а также модели элементов литниковой системы, изготовленные из того же модельного состава, собираются в блоки. Количество моделей в блоке определяется их габаритами. Блоки собирают с помощью специальных приспособлений - кондукторов.

Для изготовления оболочковых форм используют смеси на основе электрокорунда (α - Al_2O_3), циркона ($ZrO_2 \times SiO_2$), и дистенсиллиманита ($Al_2O_3 \times SiO_2$). В качестве связующего вещества используют гидролизованый этилсиликат, оксинитрат алюминия и др.

Оболочковые формы для отливок из жаропрочных сплавов изготавливают из 4-9 слоев. Первые два слоя являются облицовочными, остальные – опорными. Оболочки, имеющие 7-9 слоев, направляют под заливку без формовки. Оболочки, имеющие 4-5 слоев, устанавливают в опоки, которые заполняют сухим или жидким наполнителем. Для получения отливок высокой точности опоки заполняют жидким наполнителем, состоящим из зернистых огнеупорных материалов (кварцевый песок, шамотная крошка и т. д.), глиноземистого цемента и воды. Для отливок несложной конфигурации опоки заполняют сухим наполнителем. Используют зернистые огнеупорные материалы: шамот, корунд, хромомagnesит и др.

Оболочковые формы без наполнителя или заформованные жидким или сухим наполнителем нагревают до 900-1000°С. После обжига формы охлаждают до 700-900°С и заливают расплавом.

С целью получения в отливках из жаропрочных сплавов столбчатой структуры широко используют различные технологические приемы, обеспечивающие направленное затвердевание металла.

После заливки форм их охлаждают до 50-150°С и производят выбивку блоков отливок на выбивных решетках и поворотных машинах. При выбивке оболочка формы и часть наполнителя остаются на поверхности отливки. Поэтому блоки отливок направляют на предварительную очистку, затем на операцию отделения отливок от литниковой системы и окончательную очистку.

Предварительную очистку чаще всего осуществляют на вибрационных установках. На этом этапе оболочка удаляется только с наружной поверхности отливок и остается в отверстиях и поднутрениях.

Отделение отливок из литниковой системы осуществляют обрезкой на металлорежущих станках, отделением на прессах, газопламенной или анодно-механической резкой. Мелкие отливки отбивают от литников на вибрационных установках, совмещая эту операцию с предварительной очисткой.

Окончательные способы очистки отливок, изготовленных по выплавляемым моделям, подразделяют на две группы: механические и химико-термические. При литье сложных по конфигурации отливок используют оба способа очистки. К механическим способам очистки относят очистку металлической дробью, гидроабразивную очистку, очистку в галтовочных барабанах и виброочистку.

Химико-термическую очистку осуществляют в горячих растворах или расплавах щелочей. Эффективность очистки резко возрастает при совмещении химико-термической

очистки с механической (например, проведение операции химико-термической очистки в галтовочном барабане).

В зависимости от требований к качеству отливок применяют контроль следующих параметров: химического состава, размеров отливок, механических и конструктивных свойств, структуры отливок, а также наличие трещин, рыхлот, пор, оксидных включений и др. Внутренние дефекты (поры, рыхлоты и т.д.) обнаруживают рентгеновским просвечиванием.

Дефекты отливок (поры, трещины и т.д.), выходящие на их поверхность, выявляют методом дефектоскопии.

Производство отливок из медных сплавов

Слайд 1. Состав и свойства меди. Медь находится в группе *IB* периодической системы Д. И. Менделеева. Температура плавления меди 1083°C, температура кипения 2595°C, плотность 8,96 г/см³; она имеет гранцентрированную кубическую решетку с периодом $a = 0,36074$ нм. Медь диамагнитна; при нагреве и охлаждении не имеет полиморфных превращений. Механические свойства меди приведены в *таблице*.

Механические свойства меди				
Состояние	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	НВ
литое	180-250	15-40	-	110
отожженное	200-280	20-50	-	45
деформированное	400-600	0,5-3,0	55	-

Медь и ее сплавы обладают высокой электро- и теплопроводностью. Удельное электросопротивление меди составляет $1,7241 \times 10^{-6}$ Ом·см при температуре 20°C.

По объему производства среди цветных металлов медь занимает третье место после алюминия. Более 50% производимой меди используется в электротехнике (микро- и макропровода, ленты, кабели, контакты) и электронике; 30-40% идет на изготовление сплавов.

Высокую теплопроводность меди [3,86 Вт/(м·К)] используют при изготовлении кристаллизаторов при непрерывном и полунепрерывном литье металлов, водоохлаждаемых изложниц и «холодных» тиглей при плавке тугоплавких металлов и сплавов (печи электрошлакового переплава, электронно-лучевые и плазменные плавильные установки и др.). Медь применяют для изготовления фасонных отливок – фурм для доменных печей и кислородно-конверторных сталеплавильных печей, а также токопроводящих фасонных изделий в электроаппаратах.

Медь обладает высокими коррозионными свойствами. Она устойчива на воздухе, в пресной и морской воде и ряде других химически агрессивных сред. Медь сохраняет высокие свойства при пониженных температурах, поэтому ее применяют в криогенной технике. Медь обладает хорошей технологичностью на всех операциях пластической обработки полуфабрикатов, прекрасно полируется, паяется, сваривается. К недостаткам меди относятся дефицитность, высокая стоимость, большая плотность и относительно невысокая удельная прочность (особенно при повышенных температурах), невысокие литейные свойства (большая линейная и объемная усадка), горячеломкость. Медь трудно обрабатывается резанием.

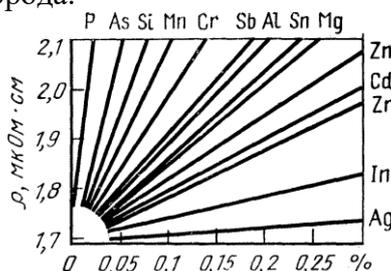
Медь является дефицитным цветным металлом и поэтому особое внимание должно быть обращено на создание экономичных, безотходных технологических процессов плавки и литья, сводящих к минимуму потери металла.

Слайд 2. Отечественная промышленность выпускает одиннадцать марок меди (*ГОСТ 859-2001*), различающихся содержанием примесей (*таблица*).

Химический состав меди														
Марка меди	Cu, %, не менее	Примеси, %, не более												Применение
		Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	O ₂	Zn	Bi	P	S	Σ примесей	
M006	99,99 (включая Ag)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,0005	0,002	0,01	Электроника
M06	99,97 (включая Ag)	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,0002	0,003	0,03	То же
M16	99,95 (включая Ag)	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,003	0,003	0,001	0,002	0,004	0,03	Электротехника
M0	99,95	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	-	-	0,001	0,003 Ag	0,004	0,05	То же
M1	99,9	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	-	0,005	0,001	0,003 Ag	0,005	0,1	Электротехника, приготовление сплавов
M1P	99,95 + Ag	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	-	0,005	0,001	0,005-0,006	0,005	0,1	То же
M2	99,7+ Ag	0,005	0,010	0,050	0,200	0,010	0,050	0,080	-	0,002	-	0,010	0,3	« «
M2p	99,7+ Ag	0,005	0,010	0,050	0,200	0,010	0,050	0,080	-	0,002	0,013-0,06	0,010	0,3	« «

Примечание. б – бескислородная медь; р – медь, раскисленная фосфором.

Слайд 3. Все примеси снижают электропроводность меди, но в большей мере это относится к растворимым примесям (Al, Zn, Sn, Ni, Sb) (рисунок). Особенно вредны примеси висмута, свинца и кислорода.



Влияние элементов на удельное электросопротивление меди ρ

Слайд 4. Висмут практически не растворяется в твердой меди (растворимость при температуре 600°C менее 0,001%), а выделяется по эвтектической реакции при температуре 270°C (рисунок) и располагается по границам зерен в виде прослоек. Влияние его на электропроводность невелико, однако сотые доли процента висмута вызывают разрушение слитков при горячей прокатке (красноломкость) из-за расплавления прослоек при нагреве выше 270°C. Хрупкость прослоек висмута существенно затрудняет и холодную деформацию. Поэтому содержание его в меди должно быть не более 0,001%.

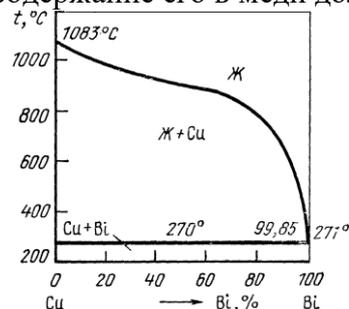


Диаграмма состояния системы Cu- Bi

Слайд 5. Свинец растворяется в твердой меди в количестве 0,3% при температуре 400°C и поэтому в большей мере, чем висмут, снижает ее электропроводность. Так же как и висмут, свинец вызывает красноломкость меди при нагреве выше 327°C, однако он менее опасен, чем висмут, из-за наличия в системе Cu-Pb монотектического превращения (рисунок).

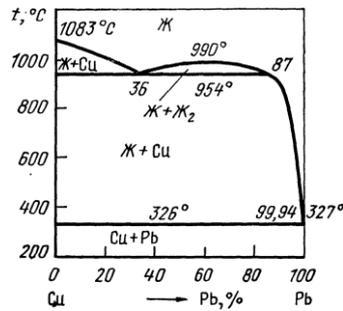


Диаграмма состояния системы *Cu-Pb*

Взаимодействие *кислорода* с медью описывается эвтектической диаграммой. Растворимость кислорода в твердой меди при 100°C составляет 0,005%. При большем содержании кислорода по границам зерен меди выделяется эвтектика. Кислород оказывает незначительное влияние на электропроводность меди и не вызывает краснотности при горячей деформации. Однако хрупкие включения закиси меди существенно понижают ее пластические свойства и делают медь склонной к водородной болезни – образованию трещин в изделиях при работе в атмосфере водяного пара.

Сера образует с медью сульфид, выделяющийся по границам зерен. Не отражаясь существенно на электропроводности, сера снижает пластичность меди при низких и высоких температурах. Содержание серы ограничивают 0,01%.

Слайд 6. Состав и свойства медных сплавов. Для изготовления изделий применяют литейные и деформируемые медные сплавы.

Литейные медные сплавы. Для изготовления фасонных отливок используют 3 группы сплавов:

1 группа: Оловянные бронзы (ГОСТ 613-79): БрОЗЦ12С5, БрОЗЦ7С5Н1, БрО4Ц7С5, БрО4Ц4С17, БрО5Ц5С5, БрО5С25, БрО6Ц6С3, БрО8Ц4, БрО10Ф1, БрО10Ц2, БрО10С10.

Оловянные бронзы обладают хорошими литейными свойствами в сочетании с хорошими механическими и эксплуатационными (коррозионными, антифрикционными) свойствами. Наибольшее практическое значение имеют сплавы с содержанием олова до 10%. На *рисунке* приведена диаграмма состояния *Cu-Sn*. В промышленных сплавах встречаются следующие фазы: α -твердый раствор олова в меди с гранцентрированной кубической решеткой, β - и γ -фазы, образующиеся в результате перитектических реакций и обладающие объемно-центрированной кубической решеткой. На *рисунке* пунктиром показан неравновесный солидус диаграммы состояния *Cu-Sn*, для которой характерно смещение границы α -фазы к медному углу и наличие метастабильной δ -фазы, не распадающейся до комнатной температуры.

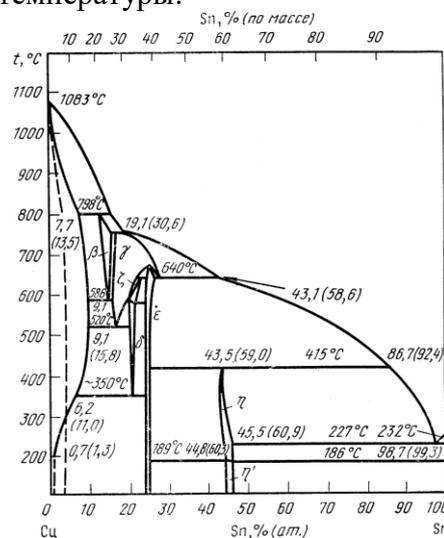


Диаграмма состояния системы *Cu-Sn*

Оловянные бронзы находят широкое применение при изготовлении арматуры, подшипников, шестерен, втулок, работающих в условиях истирания, повышенного давления воды и водяного пара. Характерная особенность оловянных бронз – большой интервал кристаллизации (150-200°C), что обуславливает образование в отливках рассеянной усадочной пористости. В целом оловянные бронзы имеют сравнительно хорошие литейные свойства, позволяющие получать сложные по конфигурации отливки.

Бронзы с высоким содержанием олова, ввиду его высокой стоимости и дефицитности применяют лишь в тех случаях, когда другие медные сплавы не обеспечивают необходимой коррозионной стойкости или повышенных антифрикционных характеристик. Для рядовых отливок используют *малооловянные бронзы*.

Оловянные бронзы легируют цинком, свинцом, фосфором и никелем.

Цинк повышает прочность и плотность сплава, улучшает равномерность распределения свинца, способствует увеличению коррозионной стойкости, снижает интервал кристаллизации, что способствует повышению жидкотекучести, плотности и уменьшению склонности отливок к обратной ликвации.

Свинец образует мягкую металлическую фазу, при этом снижается прочность и твердость сплава, но улучшаются антифрикционные свойства.

Оптимальные содержания свинца повышают жидкотекучесть, плотность и герметичность.

Фосфор является интенсивным раскислителем и упрочнителем, снижает температуру плавления, улучшает практическую жидкотекучесть.

Никель измельчает макрозерно, повышает пластичность и прочность, уменьшает ликвацию.

Из примесей, присутствующих в бронзах, наиболее вредное влияние на свойства оказывают *алюминий* и *кремний*. Сотые доли процента указанных элементов снижают механические свойства и герметичность отливок.

Слайд 7. 2 группа: Безоловянные бронзы (ГОСТ 493-79): БрА9Мц2Л, БрА10Мц2Л, БрА9ЖЗЛ, БрА10ЖЗМц2, БрА10Ж4Н4Л, БрА11Ж6Н6, БрА9Ж4Н4Мц1, БрС30, БрА7Мц15ЖЗН2Ц2, БрСу3НЗЦ3С20Ф.

Безоловянные бронзы по механическим, коррозионным и антифрикционным свойствам не уступают оловянным, а некоторые превосходят их. Наиболее широко применяют алюминиевые бронзы. Они имеют хорошую коррозионную стойкость в пресной и морской воде, хорошо противостоят разрушению в условиях кавитации, обладают меньшим, чем оловянные бронзы, антифрикционным износом. Алюминиевые бронзы применяют для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов и других отливок.

Система *Си-А1* (рисунок) характеризуется значительной областью α -твердого раствора алюминия в меди. Промышленное использование находят бронзы с содержанием алюминия от 5 до 10-12%, имеющие либо однофазное (α -фаза), либо двухфазное ($\alpha + \gamma_2$) строение. Однофазные бронзы имеют высокие пластические свойства, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состояниях.

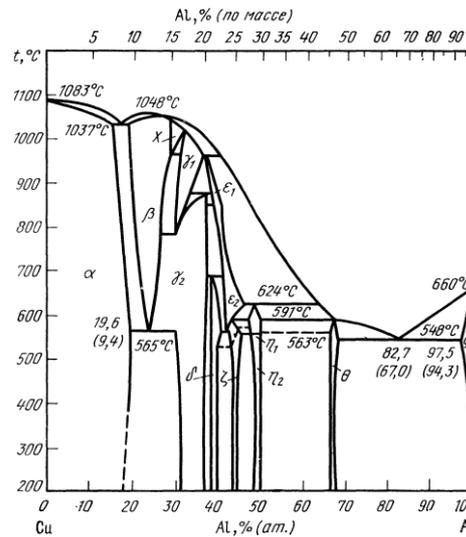


Диаграмма состояния системы *Cu-Al*

Двухфазные сплавы отличаются повышенной прочностью и пониженной пластичностью. В литом (неравновесном) состоянии и при наличии других легирующих компонентов область α -твердого раствора на диаграмме состояния сдвигается влево и литые бронзы, содержащие примерно более 7% алюминия, имеют двухфазное ($\alpha + \gamma_2$) строение.

Характерной особенностью двойных сплавов *Cu-Al* является их склонность к так называемому самоотжигу при медленном затвердевании (литье в песчаные формы), при котором происходит рост зерна. Для предотвращения самоотжига в бронзы вводят железо.

Механические, технологические и эксплуатационные свойства алюминиевых бронз улучшаются при легировании железом, марганцем, никелем и другими элементами.

Кроме *алюминиевых*, применяют *свинцовые, сурьмяные, кремниевые* и другие бронзы.

Свинцовая бронза БрС30 обладает низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью при трении в условиях больших удельных нагрузок и скоростей скольжения. Поэтому ее применяют для изготовления вкладышей подшипников дизельных двигателей. Особенность производства свинцовых бронз – ликвация свинца. Дисперсное распределение свинца в бронзе достигается тщательным перемешиванием расплава и большими скоростями охлаждения отливок. *Сурьмяные бронзы* имеют высокие антифрикционные свойства и дешевле оловянных.

Слайд 8. 3 группа: Латунни. Сплав на основе меди с содержанием цинка до 45-50% (ГОСТ 17711-93): ЛЦ40С, ЛЦ40Мц1,5, ЛЦ40Мц3Ж, ЛЦ40Мц3А, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ30А3, ЛЦ25С2, ЛЦ23А6Ж3Мц2, ЛЦ16К4, ЛЦ14К3С3.

Для фасонного литья применяют сложнoleгированные медно-цинковые сплавы; простые латуни используют сравнительно редко.

Взаимодействие меди с цинком характеризуется диаграммой состояния (рисунок).

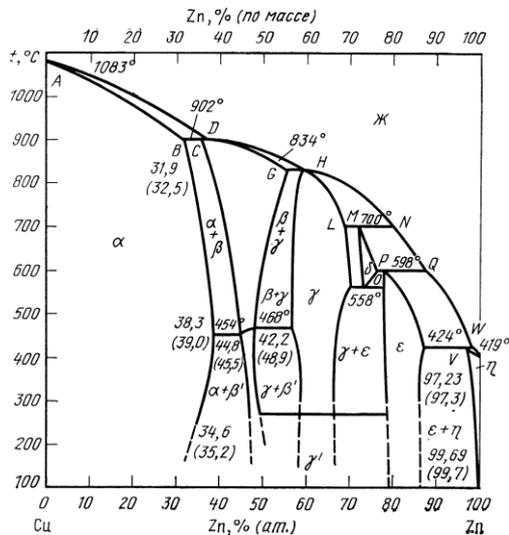


Диаграмма состояния системы $Cu-Zn$

Практическое значение имеют латуни, содержащие до 45-50% Zn со структурой α ; $\alpha + \beta$ и β . Богатая медью α -фаза (до 38-39% Zn) является типичным твердым неупорядоченным раствором замещения цинка в меди. Хорошая растворимость цинка в меди объясняется близкими значениями атомных радиусов этих компонентов: 0,128 и 0,139 нм (цинк).

Легирование двойных латуней алюминием и кремнием повышает жидкотекучесть, уменьшает угар цинка при плавке, повышает коррозионную стойкость сплавов и механические свойства. Наибольшее распространение для фасонных отливок находят кремнистая латунь ЛЦ16К4 (арматура) и свинцовая латунь ЛЦ40С (сепараторы подшипников).

Железо и марганец повышают механические свойства сплавов, но снижают жидкотекучесть. Олово до 2,0-2,5% повышает коррозионные, литейные и механические свойства.

Наиболее вредными примесями для латуней являются висмут, свинец, сурьма и сера, которые снижают пластичность при температурах горячей обработки давлением. Примеси алюминия оказывают вредное влияние на литейные свойства кремнистой латуни ЛЦ16К4, снижая жидкотекучесть и увеличивая склонность к образованию в отливках газовой пористости.

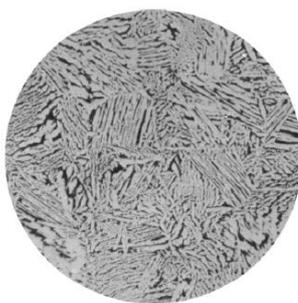
Свойства латуней зависят от содержания меди. Для латуней, содержащих медь на верхнем пределе допуска, характерны повышенные пластические свойства, а на нижнем пределе – высокие прочностные свойства. Легирующие элементы – алюминий, марганец, железо и др. (за исключением никеля) – действуют на структуру латуни качественно так же, как и цинк, но с гораздо большим эффектом. Варьируя концентрациями меди и легирующих компонентов в латунях даже в пределах ГОСТа, можно заметно изменять структуру, а, следовательно, и свойства литых заготовок.

Слайд 9. Деформируемые медные сплавы. Для получения деформированных полуфабрикатов используют большое число различных медных сплавов, которые делят на четыре группы:

1 группа: Оловянные бронзы (ГОСТ 5017-74): БрОФ6,5-0,4, БрОЦ4-3, БрОЦС4-2,5.

Слайд 10. 2 группа: Безоловянные бронзы (ГОСТ 18175-78): БрА5, БрА7, БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5, БрБ2, БрБНТ1,9, БрХ0,5, БрКМц3-1.

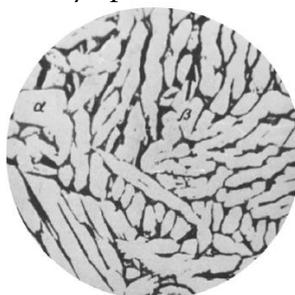
На рисунке приведена микроструктура безоловянной бронзы БрАЖ9-4 – по границам дендритов α -твердого раствора (светлые кристаллы) видны включения эвтектоида $\alpha + \gamma$. Внутри зерен γ -фазы – мелкие включения железо-содержащей фазы.



Микроструктура литой алюминиево-железистой бронзы *BrAJ9-4*. $\times 75$.

Слайд 11. 3 группа: Латунь (ГОСТ 15527-70): Л96, Л68, Л63, ЛС59-1, ЛС63-3, ЛА77-2, ЛЖМц59-1-1, ЛН65-5, ЛАН59-3-2.

На *рисунке* приведена микроструктура латуни *Л62* – светлые удлиненные зерна α -фазы, темные промежутки между ними β -фаза.



Микроструктура литой латуни *Л62*. $\times 150$.

Слайд 12. 4 группа: Медноникелевые сплавы (ГОСТ 492-73):

Мельхиор МНЖМц30-1-1 – обладает хорошими механическими свойствами, удовлетворительно обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях, имеет высокую коррозионную стойкость в пресной и морской воде. Применяют для изготовления конденсаторных труб морских судов, монет.

Мельхиор МН19 – обладает высокой коррозионной стойкостью и механическими свойствами, хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Применяют для изготовления монет, медицинского инструмента, сеток, деталей в точной механике и химической промышленности, для производства изделий широкого потребления.

Нейзильбер МНЦ15-20 – обладает высокой коррозионной стойкостью, красивыми серебристым цветом, хорошими механическими свойствами, удовлетворительно обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Применяют для изготовления приборов точной механики, медицинского инструмента, технической посуды, арматуры, художественных изделий, изделий широкого потребления.

Кунцаль МНА13-3, МНА6-1,5 – обладают высокими механическими и коррозионными свойствами, морозостойкостью, хорошими пружинящими свойствами, удовлетворительно обрабатываются давлением в горячем состоянии. Применяют в виде прутков и полос для изготовления деталей повышенной прочности и для пружин ответственного назначения, применяемых в различных областях промышленности.

Копель МНМц43-0,5 – обладает высокими удельным электросопротивлением. Применяется в пирометрии в качестве компенсационного провода, отрицательного электрода термопар и в радиотехнических приборах.

Константан МНМц40-1,5 – обладает высокой термоэлектродвижущей силой, малым температурным коэффициентом и постоянным электросопротивлением, устойчив к коррозии, жаростоек, имеет механические свойства, хорошо обрабатывается давлением. Применяют для изготовления реостатов, термопар, нагревательных приборов с рабочей температурой до 500°C .

Манганин МНМц3-12 – обладает высоким электросопротивлением, малым температурным коэффициентом электросопротивления. Применяется для изготовления приборов электросопротивления с рабочей температурой до 100°C, точных электроизмерительных приборов.

Слайд 13. Шихтовые материалы для приготовления медных сплавов. Шихтовые материалы для плавки сплавов на медной основе подразделяют на первичные (свежие) и вторичные материалы, лигатуры, возврат (отходы) собственного производства и стружку.

Первичные материалы поставляют в виде чушек, катодов, гранул и т.д. Их химический состав и условия поставки регламентированы соответствующими ГОСТами или ТУ.

Вторичные материалы получают путем переплава и подшихтовки лома и стружки цветных металлов или сплавов. Они имеют химический состав, близкий к составу данного металла или сплава, регламентированный ГОСТами или ТУ. Поставляются вторичные материалы в виде чушек.

Лигатуры – это промежуточные сплавы, которые предназначены для удобства введения в сплав тугоплавких и легкоокисляемых компонентов. Лигатура может содержать несколько легирующих добавок, обладать низкой температурой плавления и иметь достаточную хрупкость для удобства дробления.

Возврат собственного производства в виде литников, прибылей, бракованных отливок должен иметь габаритные размеры, удобные для загрузки в плавильные агрегаты. Его хранят строго по маркам.

Структуру лучше вводить в расплав в виде брикетов.

Катодная медь находит широкое применение в качестве исходного шихтового материала при плавке сплавов на основе меди и как легирующая добавка при плавке других сплавов цветных металлов. Показателем качества катодной меди помимо ее химического состава является содержание в ней газов, в частности водорода. Особенно велико содержание газов в наростах, где оно в 1,5-2 раза превышает их содержание на соседних участках. Поверхность катодов должна быть чистой, хорошо отмытой от электролита и шлама. Катоды должны иметь плотную структуру и не ломаться от ударов при погрузке и транспортировке.

Основным раскислителем при плавке медных сплавов, а иногда и легирующей добавкой, является фосфор, который вводят в расплав в виде лигатуры медь-фосфор. Лигатуру медь-фосфор поставляют в виде плиток с пережимами для удобства дробления.

Вторичные медные сплавы поставляют в виде чушек массой до 42 кг. Их назначение – это получение литейных бронз и латуней.

Плавка меди и медных сплавов. Плавку меди и ее сплавов ведут на воздухе, в среде защитных газов и в вакууме. Наиболее важным для качества металла при плавке является контроль за протеканием физико-химических процессов взаимодействия металла с кислородом, водородом, серой, футеровкой печей, шлаками и флюсами.

Кислород растворяется в жидкой меди при высокой температуре в значительных количествах – при температуре 1473К до 1,5%.

Основным источником насыщения меди водородом и кислородом являются пары воды атмосферы печи, а также влага, попадающая в расплав из футеровки, шихты, флюсов и других источников.

Если в меди много кислорода, то насыщение ее водородом будет меньше, и наоборот. Так, если твердую медь, содержащую кислород, нагревают (выше 400°C) в восстановительной атмосфере (при неполном отжиге, сварке, пайке и др.), содержащей водород, то водород легко диффундирует в медь с образованием паров воды.

Водород может вызывать охрупчивание (растрескивание) меди и в отсутствие кислорода, выделяясь из пересыщенного раствора в микропоры, или за счет создания внутренних напряжений, образующихся в меди в результате чрезмерного внедрения в нее водорода.

Легирующие компоненты, входящие в состав сплавов, по-разному качественно и количественно оказывают влияние на растворимость водорода в меди. Водород снижает свойства литого металла, способствует образованию в отливках газовой или газоусадочной пористости. Для каждого конкретного условия плавки и технологии получения отливки существуют предельно допустимые концентрации водорода в расплаве.

Реальное содержание водорода в меди и медных сплавах зависит от температуры (чем выше температура, тем содержание водорода в металле больше), состояния шихты, футеровки, очередности загрузки компонентов в сплав. Предельно допустимая концентрация зависит от скорости охлаждения жидкого металла в литейной форме. Чем больше скорость охлаждения, тем больше можно допустить содержание водорода в расплаве без опасности получения пористого металла.

Кислород и водород являются нежелательными примесями в меди, поэтому на всех технологических этапах плавки меди стараются не допускать их чрезмерного попадания в расплав.

Растворенный в меди кислород удаляют с помощью раскислителей.

Наиболее удобны в качестве раскислителей углерод, фосфор, бор, литий. Эти элементы образуют продукты раскисления, сравнительно легко удаляемые из расплава. Магний, цирконий, кальций и ряд других элементов хотя и обладают более высокой раскислительной способностью в окисленной меди, но образуют твердые, пленкообразные продукты раскисления и с трудом удаляются из жидкого металла.

В практике для раскисления меди чаще всего используют фосфор, который хорошо в ней растворяется.

Фосфор, как раскислитель меди, имеет существенный недостаток – снижает электропроводность. Поэтому при плавке меди специально оговаривают условия раскисления, в частности различают медь, раскисленную фосфором с низким ($<0,02\% P$) и высоким ($>0,02\% P$) остатком фосфора в меди.

Введение фосфора осуществляют лигатурой *Cu-P* (7-10% *P*). В зависимости от содержания кислорода в меди фосфор вводят в количестве 0,10-0,015% от массы расплава.

Бор также является хорошим раскислителем меди, образуя жидкие продукты раскисления (бораты), легко удаляемые из расплава. При этом бор благоприятно влияет на литейные свойства (подобно фосфору повышает жидкотекучесть), не снижая электропроводность. Однако бор и литий более дорогие и дефицитные раскислители, чем углерод и фосфор, и их применение оправдывается только в производстве специальных, бескислородных марок меди.

Плавка меди в литейных заготовительных цехах состоит из нагрева, расплавления, перегрева, проведения ряда металлургических процессов (удаления примесей), раскисления и разлива. Температура перегрева расплавленной меди определяется особенностями металлургических процессов плавки и технологическими условиями литья слитков, отливок (способы литья, габариты отливок и др.). Однако во всех случаях излишний перегрев меди нежелателен, так как возрастают потери металла, увеличивается опасность насыщения его примесями и в первую очередь кислородом и водородом.

Обычно в современных цехах медь перегревают до 1200°C. При вакуумной плавке для ускорения процессов раскисления допускают более высокий перегрев – до 1300-1350°C.

Плавку меди в заготовительных литейных цехах ведут преимущественно в индукционных канальных печах типа ИЛК и в тигельных индукционных печах. Кроме катодной меди, в состав шихты входят отходы (возврат) в виде обрезки слитков и бракованные изделия. Подогретую шихту загружают в печь по мере расплавления предыдущей закладки. Поверхность расплава должна быть постоянно покрыта слоем древесного угля толщиной 150-200 мм, который предохраняет жидкий металл от чрезмерного окисления и одновременно служит раскислителем.

При плавке меди в индукционных печах для футеровки печей применяют огнеупорные смеси из 98% кварцита марки *K98-300*, (*ГОСТ 9854-71*) и 2% буры. Для повышения огнеупорной стойкости футеровки используют также смеси SiO_2 и Al_2O_3 (45%) и кварцитовые смеси с добавками магнезита или хромомагнезита (до 15%).

Вакуумную плавку производят в вакуумных индукционных тигельных печах (*ВИП*). Медь вакуумной плавки имеет повышенные значения электро- и теплопроводности. Для плавки применяют катодную медь высших марок с исходным содержанием кислорода 0,0015-0,0058 и водорода 0,0002-0,0007%. После плавки в *ВИП* содержание кислорода и водорода снижается в 5-20 раз. Тигли изготавливают из графита плотных негасотворных и малогазотворных сортов. Плавку, перегрев и раскисление (углеродом) ведут в вакууме (1-2 Па) при 1300-1400°C в течение 35-40 мин.

Слайд 14. Приготовление медных лигатур. Лигатуры медь-марганец и медь-марганец-алюминий. Двойную лигатуру медь-марганец готовят, вводя отдельные порции марганца в расплавленную и перегретую до 1200°C медь.

При плавке медь покрывают сухим древесным углем. Для приготовления тройной лигатуры расплавляют марганцовистую медь и вводят в нее алюминий. Расплав рафинируют обезвоженным хлористым цинком, тщательно перемешивают и разливают по изложницам.

Лигатуры медь-железо и медь-железо-алюминий. Двойную лигатуру медь-железо готовят, вводя в расплавленную и перегретую до 1150°C медь отдельными порциями железную мелочь и перемешивают до полного растворения железа. Для получения тройной лигатуры медножелезный сплав смешивают с расплавленным алюминием. Приготовленные лигатуры рафинируют обезвоженным хлористым цинком и разливают по изложницам.

Лигатуры медь-кремний и медь-сурьма. Отдельные порции кремния или сурьмы вводят в расплавленную и перегретую медь. Медь плавят под слоем древесного угля. Расплав тщательно перемешивают и разливают по изложницам.

Лигатура медь-фосфор. В керамический тигель загружают мелкую медную стружку и порошок красного фосфора. Тигель герметически закрывают (щели промазывают огнеупорной глиной) и выдерживают в печи при температуре 350-360°C в течение 4-5 час.

Полученный спек прессуют на гидравлическом прессе в стерженьки (штабики), которые и используют для приготовления сплавов или для раскисления меди.

Слайд 15. Технология плавки медных сплавов. Для плавки медных сплавов в современном производстве наибольшее распространение получили электрические индукционные печи: каналные с железным сердечником и высокочастотные тигельные печи (обычные или вакуумные) или печи на промышленной частоте. Не утратили своего значения пламенные отражательные печи (особенно газовые), электродуговые барабанные печи типа *ДМБ* (с независимой дугой) и тигельные топливные печи.

При выборе типа плавильной печи особое внимание уделяют величине потерь металла на угар и со шлаком. При плавке в пламенных печах потери в случае применения покрова древесного угля или флюсов составляют 2,5-4,5% (наименьший показатель соответствует плавке на компактной шихте, наибольший – на некомпактной шихте с большой поверхностью), без покровов 4-8%; при плавке в тигельных топливных (газовых, мазутных) печах без применения покровов 2-4%, под покровом угля или флюсов 1,5-2,5%; при плавке в дуговых электропечах типа *ДМБ* без покровов 2-4%, с покровом 1,5-3,0% (при плавке латуней потери могут быть 2,5-8,0%); при плавке в индукционных печах 0,5-1,5%. Таким образом, наименьшие потери наблюдаются при плавке в индукционных печах.

Плавка латуней. Плавку двойных латуней производят в индукционных каналных печах типа *ИЛК* и *ИЛКА*, так как эти печи наиболее экономичны и обеспечивают хорошее качество жидкого металла. Футеровка печей – кварцитовая, либо высокоглиноземистая (66% SiO_2 + 32% Al_2O_3).

При плавке латуней потери металла в виде угара цинка достигают заметных значений – от 0,5 до 5,0%. Поэтому проведение плавки с минимальным угаром и потерями металла является одним из основных требований при разработке технологии плавки латуней.

В состав шихты при выплавке латуней входят чистые металлы (медь, цинк, никель, алюминий, олово, свинец), лигатуры и отходы собственного производства.

Литейные латуни плавят как в индукционных канальных печах, так и в индукционных тигельных на высокой и промышленной частотах (печи типа *ИЛТ*, *ИЧТ*, *ИСТ* и др.), а также в тигельных печах, обогреваемых газом, реже в пламенных печах (например, для плавки больших масс металла при производстве гребных винтов в судостроении). В качестве шихтовых материалов применяют металлы промышленной чистоты, а также марочные латуни в виде чушек (*ГОСТ 1020-97*).

Слайд 16. Плавка оловянных бронз. Шихтой для приготовления литейных оловянных бронз служат либо готовые сплавы в чушках (*ГОСТ 614-97*), либо чистые металлы. Последние из экономических соображений используют редко, в основном для деформируемых оловянных бронз.

Оловянные бронзы плавят в различных печах, однако с точки зрения качества, минимальных безвозвратных потерь металла, производительности и условий труда плавильщиков предпочтительны электрические индукционные печи (в фасоннолитейных цехах – высокочастотные, а в заготовительных цехах заводов по обработке цветных металлов – низкочастотные, канальные).

Плавка оловянных бронз из шихты на основе чушковой бронзы состоит из четырех основных периодов: загрузки, расплавления, перегрева и рафинирующе-дегазирующей обработки расплава.

Плавку в индукционных печах ведут в графито-шамотных либо в графито-карборундовых тиглях. Тигли перед установкой в печь должны быть просушены и прокалены по особому режиму, гарантирующему отсутствие влаги, трещин и повреждений на поверхности. Стойкость тиглей зависит в значительной степени от качества их предварительной подготовки. Однако недостаток плавки в печах с тиглями – относительно невысокая их стойкость по сравнению с печами, футерованными другими огнеупорными материалами (шамотом, набивкой футеровкой и др.). При плавке оловянных бронз в пламенных печах и электродуговых типа *ДМБ* их футеруют шамотным кирпичом.

После расплавления всей шихты расплав перегревают до 1150-1200°C (на 100-200°C выше температуры ликвидуса) и вводят фосфористую медь в количестве 0,02-0,04%. Присадки фосфора в оловянные бронзы, содержащие цинк, благоприятно действуют на образование жидких продуктов раскисления, легко удаляемых из расплава по сравнению с твердыми, вязкими оксидами цинка.

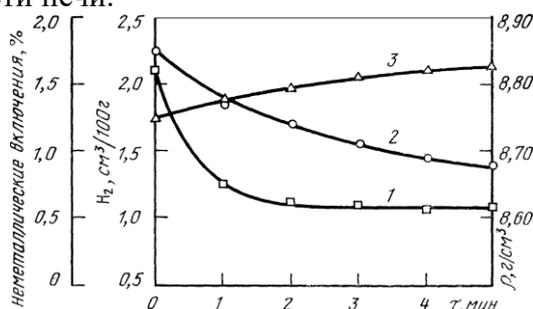
При выплавке оловянных бронз из чистых металлов плавку начинают с расплавления меди, которую загружают в печь сразу полностью или по частям. Плавку меди ведут форсировано под покровом древесного угля. При большегрузных плавках рекомендуется медь предварительно подогреть до 600-800°C. Если в состав шихты входит никель, то его загружают либо вместе с медью, либо вводят (растворяют) подогретым в жидкий металл. Никель повышает равновесную растворимость водорода в меди, а поэтому введение его в расплав на более поздней стадии предпочтительнее.

При плавке высокосвинцовых оловянных бронз требуется интенсивное перемешивание расплавленного металла для предотвращения ликвации свинца. Для этих бронз наиболее подходящим плавильным агрегатом являются индукционные печи на промышленной или высокой частоте, обеспечивающие интенсивное перемешивание расплава. В конце плавки перед выпуском готового металла из печи рекомендуется ввести фосфор для разжижения шлака и повышения жидкотекучести оловянных бронз. Количество фосфора контролируют, так как его избыток может вызвать взаимодействие расплава с влажной формой с выделением водорода, что приведет к пористости отливок.

Практика показывает, что для получения качественных фасонных отливок содержание фосфора в оловянных бронзах должно быть ограничено 0,01-0,02% при литье толстостенных (до 20-40 мм) отливок и 0,02-0,04% (отливки с толщиной стенок до 20 мм).

Флюсы загружают в печь частично вместе с шихтой, частично на зеркало металла, перемешивая их с металлом. Отработанные флюсы (шлаки) перед выпуском металла удаляют из печи. Эффективна обработка расплавов порошкообразными флюсами в струе азота или аргона. Такую смесь составляют с помощью специального устройства и подают в расплав огнеупорной трубкой.

Дегазацию оловянных бронз от водорода производят продувкой расплава осушенным азотом или аргоном, что является наиболее эффективным средством рафинирования бронз. На *рисунке* приведены результаты продувки бронзы *BrO3Ц7С5Н11* осушенным азотом при 1200°C. Оптимальными считаются режимы продувки при интенсивности подачи азота 0,6-0,8 л/(мин·кг). Время продувки обычно составляет 3-10 мин в зависимости от емкости печи.



Влияние длительности продувки азотом на эффективность рафинирования бронзы *BrO3Ц7С5Н11*

Плавка безоловянных бронз. Технология плавки безоловянных бронз определяется химическими особенностями основного легирующего элемента при высокой температуре, например алюминия в алюминиевой бронзе, свинца в свинцовой бронзе, кремния в кремниевой бронзе и т.д.

Алюминиевые бронзы плавят в индукционных тигельных и канальных печах, а также в тигельных и пламенных (барабанного типа) газовых печах. Повышенная склонность алюминиевых бронз к окислению при высоких температурах и образованию твердых оксидных плен Al_2O_3 , загрязняющих расплав, а также к поглощению водорода составляет основные трудности при плавке.

В состав шихты входят возвраты, количество которых варьируется от 25 до 75%. Однако многократный переплав шихты, содержащей отходы, может привести к накоплению примесей, оксидов, газов и поэтому рекомендуется периодически освежать шихту чистыми металлами. В зависимости от состава шихты и типа плавильного агрегата применяют различную очередность приготовления сплава. Если плавят в канальных индукционных печах, то наиболее тугоплавкие компоненты (*Fe, Mn, Ni* и др.) рационально вводить в жидкий металл, примыкающий к каналу, так как в этом месте печи наиболее высокая температура. Очередность введения в жидкий металл тугоплавких компонентов определяется также характером их диаграмм состояния. Так, железо плохо растворяется в чистой меди, а марганец хорошо. Поэтому вначале в медь вводят марганец, а затем железо, которое в расплаве *Cu-Mn* растворяется лучше.

При использовании в шихте отходов их обычно загружают в медь в первую очередь, расплавляют, а затем в жидкую ванну вводят предварительно подогретые чистые металлы. Из экономических соображений (меньше угар) и с целью получения качественного расплава (меньше неметаллических включений) мелкую шихту вводят вместе с флюсами.

Алюминиевые бронзы иногда модифицируют ванадием, вольфрамом, бором, цирконием или титаном. Указанные присадки в виде лигатур с алюминием и медью вводят в расплав в количестве 0,05- 0,15% при 1200-1250°C.

К стандартным безоловянным бронзам относятся *высокоцинковые бронзы* марок *БрCuH3Ц3С20Ф* и *БрС30 (ГОСТ 493-79)*. Плавку высокоцинковых бронз обязательно следует проводить в индукционных печах на высокой или промышленной частоте. Свинец практически нерастворим в твердой меди и ее сплавах, а в жидкой меди образует металлическую эмульсию. Чем интенсивнее происходит перемешивание расплава после введения свинца, тем дисперснее включения свинца. Кроме того, свинец тяжелее меди и ликует по плотности. При плавке в индукционных печах «живучесть» дисперсных включений свинца достаточна, чтобы получить расплав (эмульсию), из которого можно получать качественные отливки. Для предупреждения ликвации в цинковые бронзы вводят 2,0-2,5% никеля, а охлаждение отливок ведут с большими скоростями.

При плавке *сурьмяной бронзы* в печь загружают медь и никель и после расплавления проводят раскисление фосфором в количестве 0,01-0,05%. Затем вводят цинк и сурьму *Су0, Су1 (ГОСТ 1089-82)*. После растворения сурьмы вводят свинец и остальное количество фосфора при интенсивном перемешивании ванны металла. При плавке сурьмяной бронзы с использованием возвратов вначале расплавляют медь, вводят фосфор, возвраты в виде крупных кусков, никель и затем остальные легирующие компоненты – цинк, сурьму, свинец и фосфор.

Плавка *бериллиевых бронз* марок *Бр, Б2, Бр БНТ*. Для плавки используют индукционные печи с графитовыми тиглями. Из-за токсичности пара и пыли бериллия плавку ведут в изолированных помещениях, оборудованных хорошей приточно-вытяжной вентиляцией и фильтрами.

Кремнистые бронзы плавят в электрических индукционных печах под покровом древесного угля. Медь перед введением кремния или отходов раскисляют фосфором. Недопустим перегрев бронз выше 1250-1300°C.

Из специальных бронз наибольшее применение в последние годы находили *хромовые бронзы*. Легирование меди хромом затруднено из-за высокого угара хрома при его введении в расплав в результате его высокой химической активности по отношению к кислороду.

Для получения хромовых бронз повышенной чистоты применяют электрошлаковый переплав литых заготовок. В отдельных случаях (получение фасонных отливок) плавку хромовых бронз, а также высокоэлектропроводной меди, легированной цирконием, титаном и другими элементами, можно производить в открытых индукционных печах, однако это сопряжено со значительными техническими трудностями и требует применения специальной технологии плавки.

Плавка медно-никелевых сплавов. Медно-никелевые сплавы имеют температуру плавления гораздо более высокую, чем остальные медные сплавы. Они нагреваются в печи до 1350-1450°C и поэтому способны растворять повышенные концентрации кислорода и водорода. Наличие в сплавах никеля придает им способность одновременно растворять углерод, тогда как большинство медных сплавов с углеродом не взаимодействуют.

Плавку медноникелевых сплавов можно проводить в индукционных тигельных и канальных печах типа *ИЛК*, а также в электродуговых печах. Футеровку предпочтительно выполнять основной – магнезитовой (98% магнезита и 2% буры для индукционных канальных печей), однако она хорошо работает только при непрерывном процессе плавки. При периодической работе применяют кварцевую футеровку либо высокоглиноземистую на основе дистенсиллиманитового концентрата с добавками электрокорунда (40-45%) и 1,5-2,0% борной кислоты. Ряд медно-никелевых сплавов (*МН0,6; МН5; МН6; нейзильберы, кундали* и др.) можно плавить в графито-шамотных или карборундовых тиглях, если температура перегрева сплава не превышает 1350°C. При этом содержание углерода, который может переходить из тигля в расплав, не превышает 0,02%, что допустимо для медно-никелевых сплавов.

Сплавы готовят с применением шихты из чистых металлов с добавкой возвратов (до 50%). Стружку и мелкие отходы рекомендуется плавить отдельно и разливать в чушки, которые затем можно применять в качестве возврата для приготовления рабочих сплавов.

При плавке *мельхиора* (МН19, МН30 и др.) в канальных печах и наличии переходной ванны жидкого сплава вначале загружают (растворяют) по частям никель и тугоплавкие металлы (железо и др.), покрывая зеркало металла по мере наплавления сплава флюсом. Потом вводят крупные отходы, чтобы они быстрее растворялись в приканальной, наиболее нагретой части печи. Затем вводят марганец или лигатуру *Cu-Mn* и по частям подогретые куски меди, иногда отходы вводят вместе с медью.

При плавке *нейзильбера* (МНЦ15-20), который имеет более низкую температуру перегрева, чем мельхиор, допускается применение и покровов из древесного угля. Очередность введения шихты при плавке нейзильбера в канальных печах следующая: вводят (растворяют) никель, далее медь, а в конце плавки отходы и цинк. Всю шихту перед введением в жидкий металл подогревают. Медно-никелевые деформируемые сплавы не должны содержать свинец, висмут, сурьму и другие вредные примеси, поэтому при плавке следят за чистотой шихты.

Перед разливкой медно-никелевые сплавы обязательно раскисляют различными раскислителями: углеродом, фосфором, марганцем, кремнием, алюминием, магнием, литием, цирконием, *PЗМ* и др. На практике наиболее распространено последовательное раскисление несколькими раскислителями либо комплексными раскислителями в виде лигатур, содержащих несколько элементов-раскислителей в определенных пропорциях.

Плавку *куниалей* (сплавы системы *Cu-Ni-Al*) производят под покровом древесного угля, а для уменьшения окисления алюминия в покровы вводят криолит. Алюминий вводят в последнюю очередь. Расплав перед введением алюминия должен быть хорошо раскислен марганцем либо комплексными раскислителями, иначе в нем может образоваться большое количество дисперсного оксида Al_2O_3 , снижающего свойства металла. Особое внимание обращают на чистоту шихты в отношении легкоплавких примесей (*Pb, Bi, Sb* и др.).

Производство отливок. Доля фасонных отливок из медных сплавов составляет примерно 15% от производства всех отливок из цветных сплавов. Фасонные отливки из медных сплавов широко используются в различных областях техники. Изготавливают их всеми известными в настоящее время прогрессивными технологическими способами. Основным способом является литье в разовые формы (примерно 80%). Литьем в кокиль, под давлением и другими специальными методами производится примерно 20% отливок.

Выбор способа литья определяется количеством, конструкцией и конфигурацией изделий, требованиями к свойствам отливок, особенностями сплава и др. При единичном характере производства (до сотни отливок) выбирают более дешевые способы изготовления – в разовые песчаные формы, при крупносерийном и массовом производстве (десятки тысяч отливок и более) используют литье в металлические формы. Однако в зависимости от требований, предъявляемых к качеству отливок, и технологических свойств медного сплава иногда целесообразно и при небольших сериях запроектировать литье в металлические формы с некоторым увеличением затрат на изготовление литейной оснастки, но с получением высокого качества изделий. Это в первую очередь относится к фасонным отливкам из сплавов с широким интервалом кристаллизации, из которых получить плотную отливку очень трудно при относительно малых скоростях затвердевания, характерных при литье в песчаные формы.

Качество отливок и особенности технологии литья во многом определяются характером кристаллизации медных сплавов. По величине интервала кристаллизации медные сплавы условно делят на три группы. Первую группу составляют сплавы с узким (5-30°C) интервалом кристаллизации – латуни *ЛЦ40С*, высокопрочные латуни, алюминиевые бронзы. Во вторую группу входят оловянные и кремнистые бронзы с интервалом кристаллизации 70-200°C. В третью группу входят сплавы со средним

интервалом кристаллизации (30-70°C) – латуни *ЛЦ30*, мельхиоры, нейзильберы, никелевые бронзы.

Сплавы с узким интервалом кристаллизации характеризуются образованием сосредоточенных усадочных раковин в тепловых узлах отливок и почти полным отсутствием усадочных пор. Поэтому при разработке технологии получения отливок из этих сплавов предусматривают установку прибылей для выведения раковин из отливок.

Для сплавов с широким интервалом кристаллизации характерно образование рассеянной усадочной пористости. Плотные отливки из этой группы сплавов получить очень трудно, так как пропитка усадочной пористости с помощью прибылей малоэффективна. Поэтому для сплавов этой группы предусматривают совмещение небольших прибылей с наружными холодильниками (оловянные бронзы) или утепленные прибыли (кремнистые бронзы).

Сплавы с узким интервалом кристаллизации, как правило, менее склонны к образованию трещин при затрудненной усадке, чем сплавы с широким интервалом кристаллизации.

Многие сплавы, за исключением латуней и нейзильберов, склонны к образованию газовой или газоусадочной пористости, при этом в большей мере она проявляется в сплавах с широким интервалом кристаллизации.

Медные сплавы склонны к дендритной ликвации. В сплавах с широким интервалом кристаллизации дендритная ликвация проявляется сильнее, чем в сплавах с узким интервалом кристаллизации.

Высокооловянные бронзы имеют сильно выраженную обратную ликвацию, проявляющуюся в выдавливании ликвата на поверхность отливок.

Алюминиевые бронзы, латуни, кремнистые и бериллиевые бронзы, в отличие от других медных сплавов, окисляются с образованием плотных оксидных плен, которые могут увлекаться расплавом в полости литейных форм.

Слайд 17. Литье в песчаные формы. Технология литья медных сплавов в песчаные формы принципиально не отличается от той, которую применяют при изготовлении отливок из других сплавов. Основное отличие заключается, в основном, в выборе состава формовочных и стержневых смесей. Так, для изготовления форм при литье медных сплавов применяют смеси с более высокой прочностью в сыром и сухом состоянии, чем при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов. Необходимость этого вызывается опасностью размывания формы струей падающего металла и более высоким металлостатическим давлением на стенки формы, обусловленными большей плотностью медных расплавов. Необходимая прочность формовочных смесей обеспечивается повышенным содержанием глинистой составляющей и воды. Но излишне большая прочность формовочных смесей является причиной возникновения поверхностных дефектов: ужимин, вскипов и др.

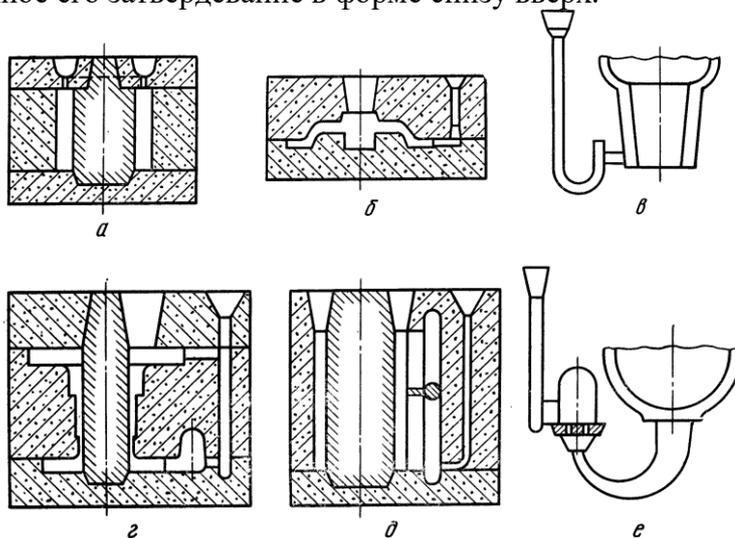
Формовочные смеси для медных сплавов могут быть менее огнеупорны, чем смеси для чугуна и стали, и менее газопроницаемы, чем смеси для алюминиевых сплавов.

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 300-350°C (чтобы глина не потеряла связующую способность температура сушки не должна превышать 400°C). Длительность сушки зависит от толщины стенок формы, влажности смеси, степени ее уплотнения и может составлять 6-40 ч.

Для сплавов с широким интервалом кристаллизации – оловянных и свинцовых бронз, латуней, марганцевых латуней и медно-никелевых сплавов, не образующих прочных оксидных плен на поверхности расплавов, применяют литниковые системы без шлакоуловителей сложной конструкции. Основным требованием к таким литниковым системам является обеспечение спокойного заполнения полости формы металлом.

Для простых по конфигурации отливок из перечисленных выше сплавов (втулки, слитки) применяют верхние или дождевые литниковые системы с подводом металла в прибыль (*рисунке, а*). В тех случаях, когда прибыль отсутствует, компенсация объемной усадки (от температуры заливки до температуры солидуса сплава) осуществляется литниковой системой. Питатели в таких системах должны иметь большую площадь сечения; металл в них должен кристаллизоваться после того, как закристаллизуется отливка. Верхний подвод металла при литье оловянных бронз предпочтителен потому, что сплавы с широким интервалом кристаллизации практически трудно питать из массивных прибылей, поэтому для получения плотного металла в отливках необходимо обеспечить строгое направленное его затвердевание в форме снизу вверх.



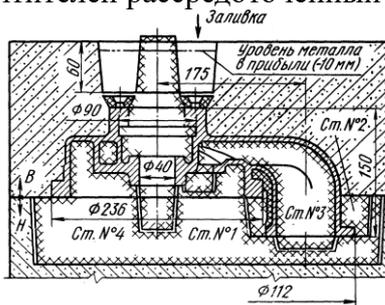
Литниковые системы для медных сплавов

При литье мелких отливок в опоках с вертикальным и горизонтальным разъемом применяют литниковые системы, приведенные на *рисунке, б*.

Литниковую систему с сифонным и боковым рассредоточенным подводом металла применяют при изготовлении отливок сложной конфигурации (*рисунке, б*).

Для сплавов, образующих при окислении плотные и прочные оксидные пленки на поверхности расплавов (алюминиевые и кремнистые бронзы и латуни, бериллиевые бронзы), предусматривают применение расширяющихся литниковых систем с сифонным подводом металла и наличием различных тормозящих элементов. Плавное, без ударов и завихрений, поступление металла в полость формы обеспечивает следующее соотношение площадей литниковых каналов.

Слайд 18. На *рисунке* показана форма в сборе для отливки корпуса насоса из бронзы с подводом металла, обеспечивающим направленное затвердевание отливки. Если же невозможно рационально спроектировать литниковую систему с верхним подводом металла для оловянных бронз, то стремятся, чтобы она обеспечивала максимально возможную направленность затвердевания и в то же время исключала местный перегрев металла. В этом случае предпочтителен рассредоточенный подвод металла к телу отливки.



Литейная форма в сборе для отливки корпуса насоса из бронзы *БрОЗЦ7С5Н1*

Слайд 19. Для отделения оксидных плен и шлаковых включений литниковые системы нередко снабжают центробежными шлакоуловителями (рисунок). Расплав в них вводят и выводят по касательной к боковой поверхности, что сообщает ему вращение вокруг оси шлаковика. Центробежная сила способствует скоплению неметаллических включений в центре шлаковика в зоне низкого давления, предотвращая попадание их в тело отливки. Для этой же цели в литниковые каналы устанавливают сетки (из стеклоткани или стержневой смеси), а также заливают формы через зернистые (магнезитовые, фторидные), фильтры.

Слайд 20. На рисунке показан пример литниковой системы для получения арматурных отливок из алюминиевой бронзы. Литниковые системы для отливок из литейных латуней (особенно алюминиевых) по конструкции сходны с литниковыми системами для алюминиевых бронз. Для большинства медных сплавов характерны узкие пределы оптимальных температур заливки, способные обеспечить получение качественных отливок. Это объясняется тем, что к арматурным отливкам из бронз и латуней предъявляются повышенные требования к герметичности при работе в различных средах под высоким давлением (до 0,2-0,3 МПа). Оптимальная температура заливки должна обеспечивать при заливке конкретной литейной формы наиболее плотную структуру литого металла, без внешних и внутренних пороков. Для каждой весовой группы отливок из бронз и латуней имеются оптимальные, причем обычно довольно узкие, пределы температур заливки.

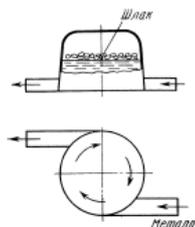


Рис. 114. Центробежный шлакоуловитель

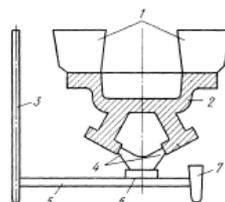


Рис. 115. Сифонная литниковая система для алюминиевых бронз:
1 – прибыли; 2 – отливка; 3 – стояк; 4 – питатель; 5 – питатель; 6 – фильтр; 7 – шлакоуловитель

Выбор температуры заливки зависит от конфигурации и массы отливки, а так же от метода подвода металла в форму и конструкции литниковой системы. При верхнем подводе металла в форму температура заливки может быть снижена на 10-20°C по сравнению с сифонным подводом.

Литье в гипсовые, цементные и оболочковые формы применяют для изготовления отливок из медных сплавов с повышенной чистотой поверхности. Для изготовления форм используют смеси, незначительно отличающиеся по составу от смесей для алюминиевых сплавов. Так же как и для песчаных форм используют расширяющиеся литниковые системы с различными видами подвода металла (верхний, нижний, боковой) в тонкие части отливок.

Длительность охлаждения отливок в форме, определяемая их массой и наличием массивных узлов, составляет 20-30 мин для мелких отливок и несколько десятков часов для крупных отливок.

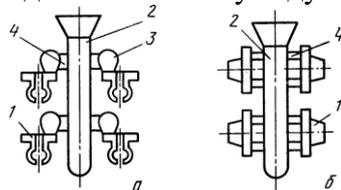
Выбивку форм производят после охлаждения отливок до 350-500°C.

Слайд 21. Литье по выплавляемым моделям. Данный способ литья применяют для изготовления сложных по геометрии небольших отливок из медных сплавов, производство которых другими способами трудоемко, неэкономично, или вовсе невозможно. Себестоимость отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям, выше, чем при изготовлении другими способами литья. Однако если отливки не подвергаются механической обработке, то эти затраты бывают оправданными.

По составу модельных масс и огнеупорных покрытий, литниковым системам и технологии изготовления моделей и форм медные сплавы имеют много общего с алюминиевыми сплавами. Учитывая более высокую плотность медных сплавов (особенно сплавов, содержащих свинец) рекомендуется для повышения прочности керамической

оболочки увеличивать ее толщину. В основном для обсыпки модельных блоков (с целью упрочнения огнеупорного покрытия) применяют отмытый и прокаленный кварцевый песок. Кварцевый песок применяют также в качестве засыпки опок.

Для данного способа литья рекомендуется диаметр стояка принимать равным 25-40 мм, а расстояние между моделями – не менее 4-6 мм. Питание отливок осуществляют обычно через литниковые каналы больших сечений или от прибылей. Применяют литниковые системы с верхним, нижним, боковым и комбинированным подводом металла (рисунк). Для предотвращения недоливов заливку ведут в нагретые (600-800°С) формы.



Литниковые системы для литья медных сплавов по выплавляемым моделям с верхним (а) и с боковым (б) подводом металла

Несмотря на соблюдение оптимальной температуры заливки, и нагрева керамических форм в бронзах с широким интервалом кристаллизации иногда возникает рассеянная газоусадочная пористость из-за медленного затвердевания и недостаточной направленности затвердевания. Поэтому для повышения эффективности питания рабочих полостей формы от литниковых систем применяют центробежную заливку форм, установленных на вращающихся столах, обеспечивающую питание от стояка через широкий и короткий питатель.

Слайд 22. Значительное количество отливок из медных сплавов получают литьем в многократные формы: в кокиль, центробежным способом, под давлением, штамповкой из жидкого металла.

Литье в кокиль. Литье в кокиль позволяет получить более качественные отливки, особенно из оловянных бронз с широким интервалом кристаллизации, повышает выход годного (75-90%) и коэффициент использования цветных металлов (КИМ). Скорость затвердевания расплава в кокиле в несколько раз превышает эту характеристику в песчаной форме и обеспечивает получение более плотного металла; зона усадочной пористости уменьшается и концентрируется в осевой узкой зоне. Повышенная скорость затвердевания подавляет выделение газов из расплава при кристаллизации. Они остаются в пересыщенном растворе и не оказывают такого вредного влияния как газоусадочная пористость. Литьем в Кокиль отливают втулки, вкладыши, подшипники, венцы и другие антифрикционные детали, а также фасонные отливки несложной конфигурации.

Кокили изготавливают из чугуна, а металлические стержни из стали. Для увеличения срока службы форм и стержней иногда предусматривают их охлаждение водой. Сложные полости в отливках выполняют песчаными стержнями. Наиболее рационально применять оболочковые стержни, получаемые с помощью горячего или холодного твердения, так как они обеспечивают высокую точность геометрии отливки, минимальные припуски на обработку и высокое качество литой поверхности.

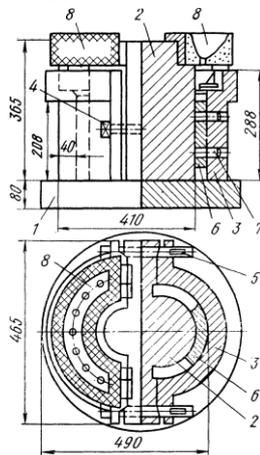
По конструкции механизмов разъема, выталкивания отливок и устройству вентиляционных каналов кокили для медных сплавов аналогичны кокилям для легких сплавов.

Заливку металла ведут в нагретые до 150-250°С формы. Для облегчения извлечения отливок и охлаждения рабочей поверхности полость формы перед заливкой смазывают суспензией машинного масла с 6% графита. Для изготовления отливок из алюминиевых и кремнистых бронз и латуней применяют расширяющиеся литниковые системы с сифонным или боковым подводом металла, обеспечивающие спокойное заполнение кокилей. Для оловянных бронз, используют литниковые системы с верхним подводом металла или осуществляют заливку через прибыль.

При разработке технологии литья в кокиль основное внимание уделяют созданию направленного затвердевания отливок в форме.

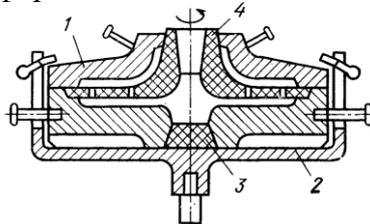
В целях снижения величины усадочных напряжений в отливках их извлекают из металлических ферм сразу же после приобретения ими достаточной механической прочности (при 500-600°C).

На *рисунке* показана металлическая форма для отливки вкладышей подшипников электродвигателей из оловянной бронзы.



Металлическая форма для отливки вкладышей подшипников из оловянной бронзы

Слайд 23. Значительное распространение получил центробежный метод литья как крупных, так и мелких заготовок из медных сплавов (например, в станкостроении этим методом отливается около 37% всех заготовок). Центробежным методом получают крупные цилиндрические заготовки в виде цилиндрических барабанов из оловянной и алюминиевой бронзы для бумагоделательных машин диаметром более 1000 мм, длиной до 4 м и толщиной до 80 мм. Отливку производят на горизонтальных центробежных машинах в стальную изложницу, которая опирается на несколько роликовых опор. Изложница после заливки в нее бронзы охлаждается снаружи водой. Более мелкие цилиндрические заготовки отливают на горизонтальных машинах консольного типа. Для получения отливок с усложненными внутренними полостями применяют машины с вертикальной осью вращения. На *рисунке* показан кокиль для отливки на центробежной машине бронзовых рабочих колес насосов массой 5-20 кг и диаметром 150-400 мм. Внутренние полости выполнены оболочковыми песчаными стержнями, которые изготавливают на пескодувно-пескострельной машине. Кокиль перед заливкой нагревают до 100-150°C. Скорость вращения формы 160-350 об/мин, температура заливки 1160-1190°C.



Металлическая форма для отливки бронзовых колес насосов на центробежной машине с вертикальной осью вращения

Литье под давлением. Литьем под давлением изготавливают небольшие отливки средней сложности из некоторых марок латуней и алюминиевых бронз.

Литьем под давлением в настоящее время отливают водопроводную арматуру (корпуса водоразборных кранов, тройники, камеры смешивания воды и др.) со стенками толщиной 3-4 мм из латуни Л40С и судовую штуцерную арматуру из алюминиевой бронзы на машинах с холодной камерой прессования.

Для литья под давлением обычно используют пресс-формы со вставными матрицами, для изготовления которых применяют низколегированные хромомолибденовые стали. Из этих же сталей изготавливают и пуансоны.

При литье под давлением медных сплавов стойкость пресс-форм составляет 5-30 тыс. запрессовок. Для изготовления пресс-форм применяют теплостойкие и коррозионностойкие стали, содержащие хром, ванадий, молибден и другие легирующие элементы.

Для повышения стойкости пресс-форм, устранения налипания металла на форму и стержни, уменьшения его трения по поверхности формы при заливке, а также для получения качественной поверхности отливки рабочие поверхности пресс-форм смазывают. Рекомендуются различные жирные смазки на основе масел, восков, твердых жиров, силиконовых масел и другие материалов. При литье под давлением латуней хорошо зарекомендовали себя смазки из индустриального масла 12 в смеси с графитом и водносиликоновые суспензии.

Для обеспечения высокого качества отливок при литье под давлением латуней и бронз рекомендуется минимально возможная температура заливки. Так, температура порции расплава, заливаемого в камеру прессования, должна быть на 10-20°C выше температуры ликвидуса сплава.

Заливку латуней ведут при 900-1000°C для тонкостенных отливок и кашеобразным металлом (850-900°C) для толстостенных отливок. В процессе литья на рабочей поверхности пресс-формы осаждается оксид цинка. Поэтому ее периодически следует очищать.

Выполнение полостей отливок при литье под давлением осуществляют с помощью металлических стержней. Однако сложные полости с большими поднутрениями выполнить при помощи металлических стержней невозможно. Известны попытки выполнения сложных полостей с помощью песчаных стержней (смеси с терморезактивными смолами), на которые для предотвращения механического пригара наносят жидкостекольную краску на основе цирконового порошка. Опробование показало, что стержни не разрушаются при заполнении пресс-форм металлом и хорошо удаляются из отливок при выбивке на вибрационных установках или растворяются при выдержке в водном растворе щелочи при 90°C.

Извлечение отливок из пресс-форм производят при 500-550°C.

Жидкая штамповка. Значительное распространение получил процесс получения плотных отливок из медных сплавов штамповкой (или прессованием) из жидкого состояния на специализированных гидравлических прессах. В отличие от обычного литья под давлением, для которого характерна большая линейная скорость движения металла при заполнении полостей формы и, как следствие этого, попадание пузырьков воздуха в металл, при штамповке из жидкого металла (этот способ называют также затвердевание под давлением), этот недостаток не наблюдается. Литые заготовки получают плотными с мелкозернистой структурой, чистой поверхностью и с повышенными механическими свойствами. Удельное давление прессования зависит от марки сплава и от конструкции заготовки.

Обрубка, очистка, термическая обработка и контроль качества отливок. Обрезку литников и прибылей производят обычно на фрезерных станках или дисковых пилах. В цехах литья под давлением для удаления литников используют обрубные прессы. Для обрубки отливок широко используют также пневматические зубила и зачистные станки с корундовыми абразивами.

Очистку поверхности отливок производят в гидropескоструйных камерах или в галтовочных барабанах. Для этого используют также дробеструйные камеры с заменой чугунной дроби на алюминиевую.

Большинство отливок из медных сплавов сдаются заказчику без термической обработки. В ряде случаев для снятия остаточных термических напряжений отливки

подвергают отжигу. Для отливок из оловянных бронз отжиг ведут при 650-800°С с выдержкой в течение 2,0-2,5 ч и охлаждением с печью до 300-350°С. Отливки из кремнистой латуни отжигают при температуре 750-760°С с выдержкой в течение 1,5-2,0 ч и охлаждением с печью до 250—300°С. Отливки из сложнолегированных медно-никелевых сплавов подвергают упрочняющей термической обработке – закалке с 850-909°С и отпуску при 400-500°С в течение 10-12 ч.