

Практическое занятие

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

1 Цель работы

- 1.1 Ознакомиться со свойствами, составом, классификацией, маркировкой и областями применения меди и ее сплавов.
- 1.2 Ознакомиться с диаграммой состояния Cu-Zn.
- 1.3 Изучить микроструктуру сплавов меди.

2 Общие сведения

Чистая медь - металл красноватого цвета. Температура плавления 1083 °С, плотность $\rho = 8960 \text{ кг/м}^3$, имеет кристаллическую ГЦК решетку с периодом $a = 0,3608 \text{ нм}$.

Медь характеризуется высокой электрической проводимостью (удельное электросопротивление меди $1,68 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$); теплопроводностью (386,7 Вт/(м·град); пластичностью ($\delta = 40\text{-}50 \%$); высокой сопротивляемостью коррозии.

Медь легко обрабатывается давлением, но плохо - резанием, в частности, шлифованием, имеет невысокие литейные свойства из-за большой усадки. Медь плохо сваривается, легко подвергается пайке.

В зависимости от чистоты медь подразделяют на несколько сортов: МООк, МОк, М1к, М006, М00, МО, М06, М1ф, М1, М1р, М2, М2р, М3, М3р (к - катодная медь, б - бескислородная медь, р - раскисленная медь). Содержание примесей наименьшее в меди марки М006 (99,99 % Си) и наибольшее в М3 (99,50 % Си).

В меди марок М1, М2, М3 содержание кислорода составляет от 0,05 до 0,08 %. Раскисленная медь отличается от обычных марок повышенным содержанием кислорода (не более 0,01 %), хотя его и больше, чем в бескислородной меди (менее 0,001 % О).

Вредными примесями являются висмут, кислород, сера, свинец и др. Примеси и наклёп резко снижают электропроводность меди. Примеси свинца и висмута в меди образуют легкоплавкие эвтектики (температура плавления эвтектики 270 °С), затрудняют горячую обработку, вызывают красноломкость. Содержание в сплаве Рb и Вi должно быть меньше 0,2 %.

Сера и кислород с медью также образуют химические соединения в виде: Cu_2O , Cu_2S (температура плавления эвтектики Cu_2O - 1065 °С, Cu_2S - 1067 °С). Содержание О и S в соединениях менее 1 % не вызывает красноломкости.

Нагрев меди в среде, содержащей кислород и водород, приводит к разрывам и трещинам ("водородная болезнь").

Вредные примеси снижают механические свойства меди, но в большей степени они зависят от ее состояния. В отожженном виде медь весьма пластична: $\delta = 50 \%$, $\psi = 75 \%$, $\sigma_B = 220 \text{ МПа}$. В деформированном состоянии пластичность меди понижается, твердость и прочность повышаются: $\delta = 1 - 3 \%$, $\psi = 35 \%$, 120 НВ , $\sigma_B = 450 \text{ МПа}$.

Микроструктура меди показана на рисунке 14.1.



Однородные полиэдрические зерна, включения двойников

Рисунок 14.1 - Микроструктура деформированной и отожженной меди

Сохраняя положительные качества меди, ее сплавы обладают хорошими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами. Высокая пластичность - отличительная особенность медных сплавов. Относительное удлинение для некоторых однофазных сплавов достигает 65 %. По прочности медные сплавы уступают сталям. Временное сопротивление большинства сплавов меди лежит в интервале 300-500 МПа.

Используются две основные группы сплавов на основе меди:

- а) латуни - двойные или многокомпонентные медные сплавы, в которых цинк является основным легирующим компонентом;
- б) бронзы - сплавы меди с алюминием, оловом, свинцом, кремнием, цинком и другими элементами, в которых цинк не является основным легирующим элементом.

По технологическим свойствам медные сплавы подразделяют на деформируемые и литейные, по способности упрочняться с помощью термической обработки - на упрочняемые и неупрочняемые.

Бронзы по сравнению с латунями обладают лучшими механическими, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью.

3 Сплавы на основе меди

3.1 Латунь

100

Диаграмма состояния Cu-Zn в зависимости от температуры приведена на рисунке 14.2.

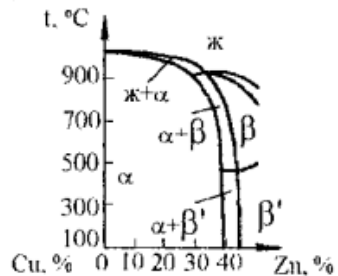


Рисунок 14.2 - Диаграмма состояния медь - цинк

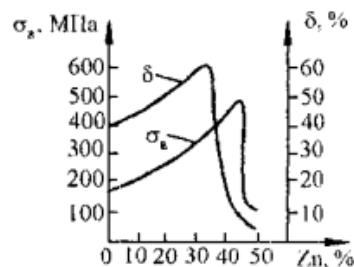


Рисунок 14.3 - Влияние цинка на механические свойства латуни

Система медь-цинк относится к случаю ограниченной растворимости компонентов в твердом состоянии. Сложная, на первый взгляд, диаграмма построена из пяти простых диаграмм третьего рода с перитектическим превращением. Компоненты образуют ряд различных твердых растворов электронного типа, указываемых в порядке увеличения содержания цинка а, р, у, е и др. - твердыми растворами, где;

а - фаза - твердый раствор цинка в меди с кристаллической решеткой меди ГЦК;

р - фаза - твердый упорядоченный раствор на основе электронного соединения CuZn;

у - фаза - твердый раствор Cu₅Zn₈ с ОЦК решеткой;

с - фаза - твердый раствор CuZn₃.

Строение и свойства двойной латуни изменяются в зависимости от концентрации или процентного содержания цинка (рисунок 14.3).

При содержании цинка до 39 % в сплаве образуется твердый раствор цинка в меди: а - фаза, которая обладает хорошей пластичностью и увеличивается с повышением концентрации цинка. Максимальную пластичность сплав имеет при содержании цинка около 37 %.

При увеличении содержания цинка от 37 % до 45 % избыток его начинает реагировать с медью, образуя соединение CuZn. В результате в сплавах появляется новая р - фаза (примерно до 45 % цинка).

Максимум прочности достигается в двухфазной области а + р при содержании цинка 45-47 %. Пластичность латуни с P'-структурой при 20 °C очень низка, и при содержании около 50 % Zn и более они не поддаются холодной обработке давлением. Поэтому в промышленности применяют преимущественно а- и а + P'-латуни.

В технике используются сплавы с содержанием цинка до 45 %.

По химическому составу латуни разделяют на двойные (простые), легированные только цинком, и многокомпонентные, которые помимо цинка содержат в качестве легирующих элементов алюминий (А), свинец (С), олово (О), никель (Н), железо (Ж), марганец (Мц), вольфрам (13), кобальт (К), кремний (Кр), магний (Мг) и другие элементы.

Легирующие элементы многокомпонентных латуней придают им специальные свойства. Количество цинка, соответствующее 1 % вводимого элемента, называют коэффициентом эквивалентности или коэффициентом замены. 1 % Si ~ 11 % Zn; 1 % Al ~ 5 % Zn; 1 % Sn ~ 2 % Zn; 1 % Fe ~ 0,9 % Zn; 1 % Ni ~ (-1,3 % Zn).

По технологическому признаку латуни подразделяют на литейные и обрабатываемые давлением.

Литейные латуни обладают хорошими литейными свойствами, малой склонностью к ликвации, хорошей жидкотекучестью и др.

Двойные деформируемые латуни маркируют буквой Л и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах: Л96, Л90, Л85, Л69. На рисунке 14.5 показана микроструктура латуни Л69.

Для обозначения многокомпонентных латуней, обрабатываемых давлением, за буквой Л ставятся другие буквы, указывающие на наличие легирующих элементов и цифры, указывающие на количественное содержание меди и легирующих элементов. Например, латунь марки ЛА77-2 имеет следующий состав: 77 % меди, 2 % алюминия, остальное - цинк.

Литейные латуни (ЛЦ40С, ЛЦ30А3, ЛЦ40АЖ) содержат те же элементы, что и латуни, обрабатываемые давлением; от последних литейные латуни отличаются, как правило, большим легированием цинком и другими элементами.

В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, обозначающей его название. Например, латунь ЛЦ40Мц3А содержит 40 % цинка, 3 % марганца, около 1 % алюминия, остальное - медь.

Для повышения механических свойств, улучшения: обрабатываемости, коррозионной стойкости двухфазные латуни легируют свинцом, оловом, железом, алюминием, кремнием и другими элементами. Такие латуни называют специальными. Например, олово повышает прочность латуни и сопротивление коррозии в морской воде, поэтому оловянные латуни называют еще морскими (адмиралтейскими).

Все двойные латуни хорошо обрабатываются давлением как в холодном, так и горячем состоянии (за исключением латуни Л60, которая обрабатывается в горячем состоянии).

Механические свойства и назначение латуней приведены в таблице 14.1.

Таблица 14.1 - Механические свойства и назначение деформируемых и литейных латуней

Сплавы	Дополнительные легирующие элементы	Механические свойства			Назначение
		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	ПВ	
Обработываемые давлением в холодном и горячем состоянии Пластичные (двойные латуни)					
Л96: (томпак) мягкая твердая	- -	216-255 392-470	45-55 1-3	49-59 127-142	Трубки, радиаторные листы, ленты
Л80: (полутомпак) мягкая твердая	- -	290-340 550-670	45-55 2-10	52-64 137-147	Тонкостенные трубы, лента, проволочная сетка для целлюлозно-бумажной промышленности и др.
Л68: мягкая твердая	- -	290-340 510-725	50-60 3-12	54-64 142-152	Полосы, листы, ленты, прутки, трубы, проволока, фольга, профили различных размеров
Обработываемые давлением в горячем состоянии (многокомпонентные латуни)					
1 С высокими антифрикционными свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием					
ЛС59-1: мягкая твердая	Pb-0,8- 1,9	290-412 590-690	36-50 4-6	68-79 147-157	Крепежные изделия, зубчатые колеса, втулки
2 Повышенной прочности и коррозионной стойкости					
ЛАН59-3-2: мягкая твердая	Al-2,5- 3,5; Ni -2-3	440-540 635-735	40-50 7-11	108-118 172-182	Морское судостроение, химическое машиностроение в электромашинках
Литейные латуни					
ЛД40С	Pb-1	345-390	-	78	Арматура, втулки, сепараторы для подшипников качения.
Примечание – Полуфабрикаты латуней поставляются в мягком (отожженном) состоянии; полутвердом состоянии (степень обжатия 10-30 %); твердом состоянии (степень обжатия 30-50 %).					

Микроструктура латуни Л62 показана на рисунке 14.4.



Однородные зёрна α - твёрдого раствора, видны двойники

Рисунок 14.4 - Микроструктура α - латуни Л62 после холодной пластической деформации и отжига при 500 °С



Светлые зёрна - α - фаза, тёмное поле - γ - фаза

Рисунок 14.5 - Микроструктура $\alpha + \gamma$ - латуни (типа Л69)

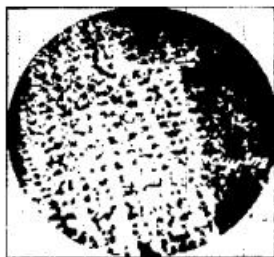
Деформируемые латуни, в зависимости от структуры, подразделяются на однофазные (α - латуни) и двухфазные ($\alpha + \gamma$ - латуни).

Структура α - латуни похожа на структуру меди, а структура $\alpha + \gamma$ - латуни состоит из светлой составляющей α - фазы и темной (γ - фазы).

3.2 Бронзы

Бронзы подразделяются на обрабатываемые давлением и литейные. Обрабатываемые давлением бронзы маркируют буквами Бр, за которыми следуют буквы, обозначающие название легирующих элементов, а затем цифры, показывающие их содержание в процентах. Например, бронза БрОЦ4-4-2,5 содержит 4 % олова, 4 % цинка, 2,5 % свинца, остальное - медь.

В марках литейных бронз содержание каждого легирующего элемента ставится сразу же после буквы, обозначающей его название. Например, бронза БрОЮЦ2 содержит 10 % олова, 2 % цинка, остальное - медь. Структуры бронз показаны на рисунках 14.6, 14.7.



Основа α - твёрдый раствор олова и цинка в меди
Включения - эвтектид ($\alpha + \text{Cu}_3\text{Zn}_{13}\text{Sn}_8$)

Рисунок 14.6 - Микроструктура литой оловянной бронзы БрОЮЦ2



По границам дендритов (светлые кристаллы) видны
включения эвтектоида $\alpha + \gamma$

Рисунок 14.7 - Микроструктура литой алюминиевой бронзы БрАЖ9-2

Бронзы в зависимости от содержания основных элементов подразделяются на оловянные, алюминиевые, кремнистые, бериллиевые и свинцовистые.

Алюминиевые бронзы (двух- и многокомпонентные) имеют большое распространение в машиностроении. Система медь-алюминий (рисунок 14.8) относится к случаю ограниченной растворимости. Алюминий растворяется в меди с образованием α -твёрдого раствора.

Алюминиевые бронзы при содержании до 3,8 % алюминия после деформации и отжига имеют однофазную структуру, при большем содержании алюминия - двухфазную структуру.

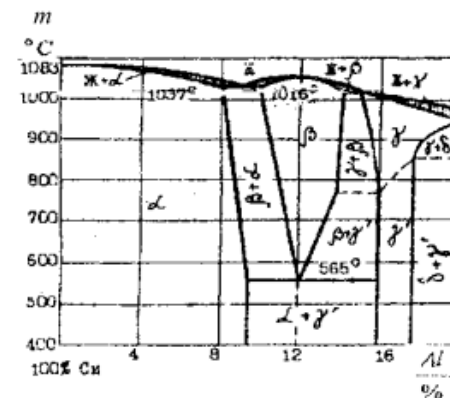


Рисунок 14.8 - Диаграмма состояний медь - алюминий

Последние могут подвергаться закалке и отпуску. Алюминиевые однофазные бронзы (БрА5, БрА7) отличаются высокой прочностью и пластичностью. Они хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Предназначены для упругих элементов; для деталей, работающих в морской воде. По коррозионной стойкости превосходят латуни и оловянные бронзы. Вместе с тем эти сплавы трудно поддаются пайке, не устойчивы в условиях перегретого пара. Недостатки двойных алюминиевых бронз существенно устраняются при легировании железом, никелем, марганцем.

Железо значительно улучшает механические свойства бронз, измельчая зерно; оно способствует задержке рекристаллизации. Алюминиево-железные бронзы (БрАЖ9-4) для улучшения прочностных характеристик подвергают старению при 250 °С в течение 2-3 ч. после их закалки при 950 °С. Они применяются для изготовления шестерен, червяков, втулок, седел клапанов и др., в основном в авиационной промышленности.

Кремнистые бронзы содержат до 3 % кремния, никель или марганец (БрКН1-3, БрКМц3-1). Эти сплавы отличаются высокими механическими, упругими и антифрикционными свойствами, при этом не теряют своей пластичности при низких и высоких температурах. Применяются для антифрикционных деталей, например, пружин, подшипников, в морском судостроении и пр. Выпускают в виде ленты, полос, прутков, проволоки.

Оловянные бронзы. Обрабатываемые давлением бронзы изготавливают в виде прутков, лент и проволоки в нагартованном (твердом) и отожженном (мягком) состоянии (таблица 14.2). Они содержат до 6-7 % олова. Обрабатываемые давлением оловянные бронзы в равновесном состоянии имеют однофазную структуру - твердого раствора. Обрабатываемые давлением бронзы характеризуются хорошей пластичностью и более высокой прочностью, чем литейные

Таблица 14.2 - Механические свойства и назначение деформируемых и литейных оловянных бронз

Бронзы	Механические свойства			Назначение
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	
Деформируемые бронзы				
БрОФ 6,5-0,4: мягкая твердая	295-440 685-785	60-70 7-12	68,5-82	Пружины, детали машин и подшипников, сетки для целлюлозно-бумажной промышленности
БрОЦ 4-3: мягкая твердая	295-390 490-590	35-45 3-8	59-68,5 157-167	Ленты, полосы прутки, применяемые в электротехнике, для токоведущих пружиц, контактов, пружинной проволоки и химической промышленности, точной механике
БрОЦС 4-2,5: мягкая твердая	295-345 540-640	35-45 2-4	48-68,5 147-176	Для втулок и подшипников в автотракторной и автомобильной промышленности
Литейные бронзы *)				
БрО3Ц12С5	175(205)	8(5)	59(59)	Для литья антифрикционных деталей, для арматуры, работающей в воде и водяном пару
БрО5Ц5С5	145(175)	6(4)	59(59)	Для литья антифрикционных деталей
*) В скобках указаны свойства латуней при литье в кокиль, а без скобок при литье в песчаную форму.				

4 Порядок выполнения работы

- 4.1 Ознакомиться с внешним видом сплавов, измерить твердость.
- 4.2 Просмотреть и изучить микроструктуру сплавов меди при увеличениях 200 и 500 раз.
- 4.3 Зарисовать микроструктуры исследуемых сплавов.
- 4.4 Под каждой зарисованной микроструктурой дать подпись с указанием наименования металла или сплава, марки, ориентировочного химического состава, обработки, наименования включений и структуры, увеличения.
- 4.5 Изобразить диаграммы состояний Cu-Zn, провести на них вертикальные линии, соответствующие рассматриваемым сплавам, дать описание процессов превращений, происходящих при охлаждении.

5 Содержание отчета

- 5.1 Цель работы.
- 5.2 Описать внешний вид и признаки цветных металлов.
- 5.3 Зарисовать и описать микроструктуры сплавов.
- 5.4 Дать пояснения по диаграмме Cu-Zn.
- 5.5 Выводы.

6 Контрольные вопросы

- 6.1 Назовите основные цветные металлы.
- 6.2 Свойства технической меди.
- 6.3 Латуни и их применение, марки латуней, маркировка латуней.
- 6.4 Состав и структура латуней.
- 6.5 Назначение бронзы, маркировка бронзы.
- 6.6 Расшифруйте сплав Л90.
- 6.7 Расшифруйте сплав БрСЦЮ-Ю.
- 6.8 Чем отличается бронза марки Бр05Ц5С5 от БрСЦ-5-5-5?