

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ И ПРИМЕНЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы:

- 1) изучить классификацию, состав, свойства и применение цветных металлов и сплавов на основе меди и алюминия;
- 2) изучить микроструктуру и маркировки меди и ее сплавов;
- 3) изучить микроструктуру и маркировки алюминия и его сплавов.

Студент должен знать классификацию, состав, свойства и применение цветных металлов и сплавов на основе меди и алюминия

Студент должен уметь провести микроструктурный анализ цветных сплавов на основе меди и алюминия, определить вид сплава.

Общие сведения

Цветные металлы и сплавы на их основе широко применяются в различных областях производства. В ближайшем будущем они должны в значительной степени занять место сплавов на железной основе. Основные причины – большие потери от коррозии (до 30 % годового производства чугуна и стали), малая плотность (у сплавов алюминия и магния), низкие температуры плавления и высокие электротехнические характеристики цветных металлов.

Алюминиевые, магниевые и титановые сплавы применяются в авиационной и автомобильной промышленности. В то же время изделия из легких сплавов используют в строительстве, транспортном машиностроении, приборостроении, судостроении и других отраслях промышленности. Медь обладает высокой электрической проводимостью и широко применяется в электротехнике; она является также основой многих важных промышленных сплавов (например, латуней, бронз и др.).

Медь и ее сплавы

Медь – металл красного, а в изломе – розового цвета, температура плавления – 1083 °С, плотность 8,94 г/см³. Она имеет ГЦК решетку, диамагнитна и не имеет полиморфизма. Удельное электрическое сопротивление меди равно 0,0178 мкОм·м. Промышленно производится 11 марок меди с различным содержанием примесей. В электронике применяют бескислородную медь марок

M006 (99,99 % Cu) и M06 (99,97 % Cu), в электротехнике и металлургии M0 (99,95 % Cu), M1 (99,9 % Cu), M2 (99,7 % Cu) и др. (ГОСТ 859 -01).

Механические свойства меди в литом состоянии: $HВ = 160$ МПа, $\sigma_B = 35$ МПа, $\delta = 25$ %; горячедеформированном состоянии – $HВ = 240$ МПа, $\sigma_B = 50$ МПа, $\delta = 45$ %.

По характеру взаимодействия с медью легирующие элементы и примеси разделяют на три группы:

1. Элементы (Ag, Al, As, Au, Cd, Fe, Ni, Pt, P, Sb, Sn, Zn), взаимодействуя с медью, образуют твердые растворы. Они повышают ее прочность, но при этом существенно уменьшают тепло- и электропроводность.

2. Элементы (Bi, Pb), практически нерастворимые в меди в твердом состоянии и образуют с ней легкоплавкие эвтектики. Возникновение эвтектик по границам зерен приводит к разрушению слитков меди в процессе их горячей прокатки (явление красноломкости). Повышенное (более 0,005 %) содержание висмута вызывает хладноломкость меди.

3. Элементы (Se, S, O, Te и др.) образуют с медью хрупкие химические соединения (например, Cu_2O , Cu_2S). Увеличение содержания серы в меди, с одной стороны, обеспечивает повышение качества ее механической обработки (резанием), с другой стороны, вызывает хладноломкость меди. Присутствие кислорода в меди является причиной ее «водородной болезни», проявляющейся в образовании микротрещин и разрушении при отжиге (температуре выше 400 °С) в водородсодержащей среде.

Медь обладает ценными техническими и технологическими свойствами: высокими электро- и теплопроводностью, достаточной коррозионной стойкостью, хорошо обрабатывается давлением, сваривается всеми видами сварки, легко поддается пайке, прекрасно полируется. Недостатками меди являются ее высокая стоимость, значительная плотность, большая усадка при литье, горячеломкость, сложность обработки резанием.

Микроструктура меди после пластической деформации и рекристаллизационного отжига представлена на рисунке 9.1. Она состоит из зерен меди и двойников.

Сплавы на основе меди

Латунями называются сплавы меди с цинком. Они маркируются буквой Л и цифрой, указывающей содержание меди в сплаве в

%, остальное – цинк. Если латунь легирована другими элементами, то после буквы Л ставят обозначение этих элементов: С – свинец, О – олово; Ж – железо, А – алюминий, К – кремний, Мц – марганец, Н – никель. Числа после букв показывают содержание легирующих элементов (по ГОСТ 15527–04). Например, Л96 – латунь, которая содержит 96 % меди, а остальное – цинк; ЛАН59-3-2 – латунь, содержащая 59 % меди, 3 % алюминия, 2 % никеля, а остальное – цинк.

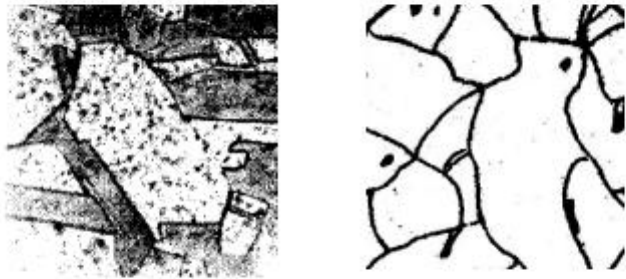


Рисунок 9.1. Микроструктура меди после деформации и отжига (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

Латуни по структуре подразделяются на однофазные и двухфазные сплавы. Практическое применение находят однофазные латуни с содержанием цинка до 39 % (α -латуни) и двухфазные с содержанием цинка от 39 до 45 % ($\alpha + \beta'$ латуни).

Латуни бывают деформируемые и литейные. Однофазные латуни пластичны, хорошо паяются, свариваются и обрабатываются давлением (прокатка, волочение, высадка и др.) в горячем и холодном состоянии. Микроструктура α -латуни (α -твердый раствор Zn в Cu) в литом состоянии имеет дендритное строение. Микроструктура деформированной и отожженной α -латуни (рисунок 9.2) имеет зернистое строение и полосы двойникования. Вследствие различной ориентировки зерен они травятся с разной интенсивностью, поэтому получают различную окраску.



Рисунок 9.2. Микроструктура деформированной и отожженной однофазной латуни Л80 (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

Двухфазные латуни, например, ЛС59-2 имеют структуру $\alpha + \beta'$ (рисунок 9.3), где α фаза – светлые зерна, β' – темные. Фаза β' является твердым раствором на базе соединения CuZn и имеет упорядоченное строение, что придает ей повышенную хрупкость.

Изделия из двухфазных латуней (проволока, трубы, прутки, листы, ленты) изготавливаются холодной штамповкой и глубокой вытяжкой.

Основным видом термической обработки латуней является смягчающий отжиг перед пластическим деформированием при $600 \dots 700 \text{ }^\circ\text{C}$ с медленным охлаждением. Если требуется повышение твердости и прочности, то охлаждение ведут ускоренно (на воздухе, в воде).

Бронзы называются сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка и никеля. В бронзах может находиться цинк, но при наличии других легирующих элементов. Маркируются бронзы буквами Бр, затем буквы, указывающие легирующий элемент, и цифры, показывающие содержание этих элементов. Обозначение элементов в бронзах то же, что и при маркировке латуней: Ф – фосфор, Ц – цинк, Х – хром, Б – бериллий (ГОСТ 613-97). Например, БрОФ6,5-0,4 содержит 6,5 % олова, 0,4 % фосфора, а остальное – медь.

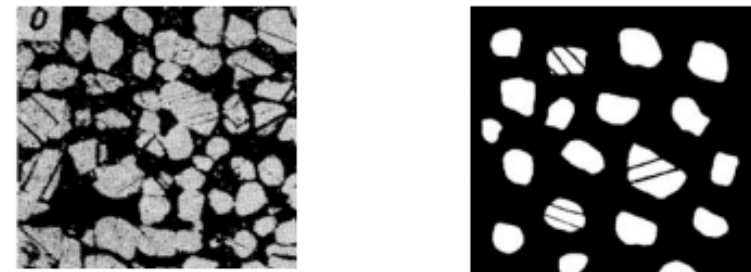


Рисунок 9.3. Микроструктура двухфазной латуни ЛС 59-2 (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

Бронзы бывают деформируемые и литейные.

Различают оловянистые, алюминиевые, бериллиевые, свинцовистые, оловянно-фосфорные и другие бронзы. Структура и свойства бронз изменяются в зависимости от скорости охлаждения кристаллизующихся сплавов, вида термической обработки и характера обработки давлением. Бронзы немагнитны, коррозионно-стойки, имеют высокие коэффициенты тепло- и электропроводности. Для улучшения свойств их подвергают термообработке: отжигу, закалке и отпуску или пластическому деформированию с целью наклепа.

Оловянистые бронзы содержат до 12 % олова, с повышением количества которого увеличивается их твердость и прочность. Эти бронзы характеризуются высокими антифрикционными и упругими свойствами. Применяются для изготовления деталей работающих в коррозионной среде (подшипники, уплотняющие втулки, клапаны).

При содержании до 6...7 % Sn микроструктура литой бронзы состоит из дендритов α -твердого раствора олова в меди (рисунок 9.4). Микроструктура этой бронзы после деформации и отжига представляет однородные по составу зерна твердого α -раствора.

Алюминиевые бронзы, например, БрА5, БрА7 и другие (5...11 % Al), являются дешевыми заменителями оловянистых. Эти бронзы очень пластичные и их используют для изготовления проката различного профиля и других изделий. Алюминиевые бронзы пластически деформируются как в холодном, так и горячем состоянии, коррозионно-стойки, обладают высокими механическими свойствами. Они имеют хорошие литейные свойства. Высокопрочные алюминиевые бронзы применяются для изготовления шестерен, втулок, подшипников, пружин, деталей электрооборудования.



Рисунок 9.4. Микроструктура литой бронзы (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

Свинцовистые бронзы, например БрС30, содержат 27...33 % свинца. Свинец практически не растворяется в меди в жидком состоянии. После охлаждения наблюдается структура, состоящая из зерен меди и эвтектики Cu + Pb, в которой 99,98 % Pb, расположенной по границам зерен Cu в виде крупных скоплений (рисунок 9.5). Эти бронзы используют для изготовления подшипников качения, работающих при высоких удельных нагрузках и больших скоростях.

Бериллиевые бронзы, например, БрБ2, содержат 1,8...2,5 % бериллия. Они обладают высокими упругими свойствами, стойкостью против коррозии, хорошо свариваются. Бериллиевые бронзы

упрочняются закалкой с последующим старением, при этом в 3 раза повышается предел прочности. Применяются для изготовления деталей точного приборостроения: упругие элементы электронных приборов и устройств, мембраны.

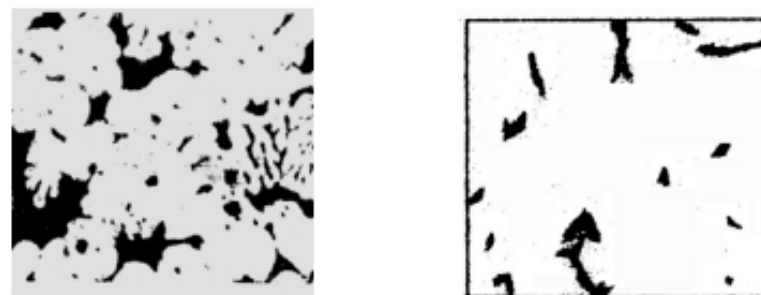


Рисунок 9.5. Микроструктура литой бронзы БрС30: светлые зерна меди и темные участки эвтектики (слева), $\times 300$, справа – схема зарисовки

Алюминий и его сплавы

Алюминий – самый распространенный металл в природе. Обладает ценными физико-химическими свойствами. Широко применяется в чистом виде, является основой многих легких сплавов.

Кристаллическая решетка алюминия – ГЦК., температура плавления 660 °С, плотность 2,7 г/см³, предел прочности $\sigma_B = 80...100$ МПа, НВ = 250...300 МПа, $\delta = 35...40$ %, $\psi = 80$ %.

Алюминий высокой и технической чистоты по ГОСТ11069 -01 маркируется А99 (99,999 % Al), А8, А7, А6, А5, А0 (содержание алюминия от 99,85 % до 99 %). Технический алюминий хорошо сваривается, имеет высокую пластичность. Из него изготавливают различные строительные конструкции, малонагруженные детали машин. Алюминий используется как электротехнический материал для изготовления кабелей, проводов, шин.

Алюминий обладает низкой плотностью, высокой тепло- и электропроводностью, хорошей коррозионной стойкостью во многих средах за счет образования на поверхности металла плотной оксидной пленки Al₂O₃. Технический отожженный алюминий АДМ (М – мягкий; $\sigma_B = 80$ МПа; $\delta = 35$ %) упрочняется холодной пластической деформацией.

Более высокими механическими и технологическими свойствами обладают сплавы на основе алюминия. Алюминиевые сплавы, в основном, подразделяются на **деформируемые, литейные и спечен-**

ные. Последние используются при производстве **порошковых**, в том числе и гранулируемых сплавов и **композиционных** материалов.

Маркировка алюминиевых сплавов. В настоящее время одновременно существуют две маркировки сплавов: старая буквенно-цифровая и новая цифровая. Существует буквенно-цифровая маркировка технологической обработки полуфабрикатов и изделий. Примеры обозначения сплавов с помощью буквенно-цифровой и цифровой маркировок приведены в таблице 1. В таблице 2 дана классификация алюминиевых сплавов.

В сельскохозяйственном машиностроении чаще всего применяются литейные алюминиевые сплавы.

Таблица 1 – Буквенно-цифровая маркировка алюминиевых сплавов

Принцип классификации	Сплав	
	Название	Обозначение
По химическому составу	–	АМг, АМц
По названию сплава	Дюралюмин	Д1, Д16
По технологическому назначению	Ковочный	АК6, АК8
По свойствам	Высокопрочный	В95, В96
По методу получения полуфабрикатов и изделий	Спеченный	САП, САС,
	Литейный	АК9, АК12
	Деформируемый	Д1, Д18
По виду полуфабрикатов	Проволочный	АМг5П

Таблица 2 – Классификация алюминиевых сплавов

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов	Основные химические элементы и компоненты сплавов	Примеры сплавов
Деформируемые	Коррозионно-стойкие, повышенной пластичности	Al – Mn Al – Mg Al – Mg – Si	АМц АМг6 АВ, АД31, АД33
	Пластичные при комнатной температуре	Al – Cu – Mg	Д18, В65
	Среднепрочные	Al – Cu – Mg	Д1, Д16
	Высокопрочные	Al – Zn – Mg – Cu	В95, В96Ц1
	Малой плотности, высоко модульные	Al – Mg – Li – Zr	1420
	Ковочные, пластичные при повышенной температуре	Al – Mg – Si – Cu	АК6, АК8
	Жаропрочные	Al – Cu – Mg – Fe – Ni Al – Cu – Mn	АК4 – 1 Д20, Д21
Спеченные	Жаропрочные	Al – Al ₂ O ₃ Al – Cu – Mg – Al ₂ O ₃ Al – Cr – Zr	САП – 1 САП – 2 СПАК – 4 01419
	Высоко модульные с пониженной плотностью	Al – Mg – Li – Zr	01429
	Сплавы с низким коэффициентом линейного расширения	Al – Si – Ni Al – Si – Fe	САС1 – 50 САС – 2
	Высокопрочные	Al – Zn – Mg – Cu	ПВ90
Литейные	Герметичные	Al – Si Al – Si – Mg Al – Si – Cu – Mg	АК12, АК9ч, АК7 АК8л АК9М, АК8М

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов	Основные химические элементы и компоненты сплавов	Примеры сплавов
	Высокопрочные и жаропрочные	Al – Cu – Mn Al – Cu – Mn – Ni Al – Si – Cu – Mg	AM5 AK6MцH AK5M2, AK5M
	Коррозионно-стойкие	Al – Mg Al – Mg – Zn	АЛ8, АМг10 АЦ4Mг
Композиционные	Волокнистые, армированные борным волокном (Б.В.)	АД1 – БВ АД33 – БВ	ВКА – 1 ВКА – 2
	Сплавы, армированные стальной проволокой	Матрица: АД1, АВ; проволока 18Х15Н5АМ3	КАС – 1, КАС – 1А

Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 1583-93)

Основные требования, предъявляемые к этим сплавам, – сочетание хороших литейных свойств (высокой жидкотекучести, небольшой усадки, малой склонности к образованию горячих трещин и пористости) с оптимальными механическими и химическими свойствами. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы эвтектического состава. Больше всего распространены сплавы на основе систем Al – Si, Al – Cu, Al – Mg.

Силумины (конструкционные герметичные сплавы) систем Al – Si, описываются диаграммой состояния сплавов (рисунок 9.6) (AK12) и Al – Si – Mg (AK9ч, АК7ч, АК8л). Сплав АК12 близок к эвтектическому составу (10...13 % Si) и обладает высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью, большой плотностью отливок. В то же время структура сплава АК12, представляющая собой игольчатую грубую эвтектику с включениями кристаллов первичного кремния (рисунок 9.7), не обеспечивает требуемых механических свойств материала.

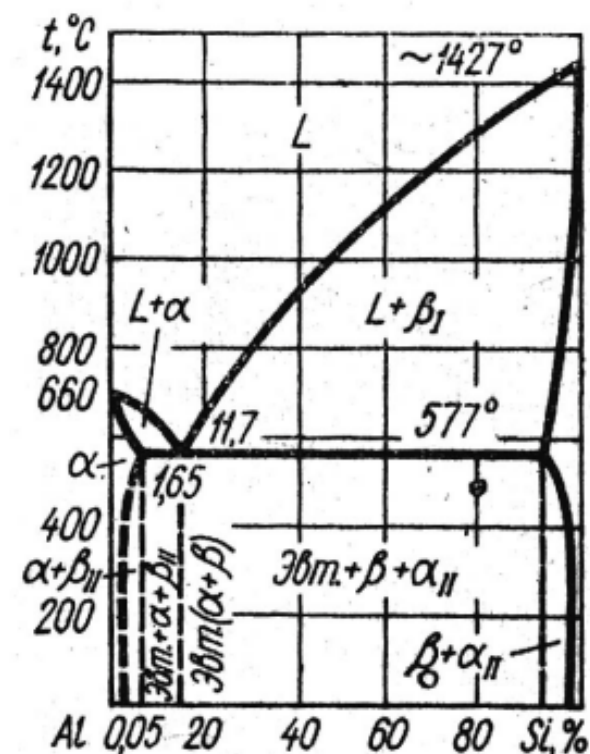


Рисунок 9.6. Диаграмма состояния сплавов системы «алюминий–кремний»

Повышение пластичности сплава за счет изменения структуры достигается модифицированием АК12 натрием (0,065 %) посредством введения в расплав смеси солей (67 % NaF + 33 % NaCl) (рисунок 9.8). Легированные силумины АК9ч, АК7ч, АК8л упрочняются термической обработкой.

Сплав АК12 используют для изготовления мелких, а АК9ч и АК7ч – средних и крупных литых деталей (корпусов компрессоров, картеров двигателей внутреннего сгорания). Сплав АК8л применяется для отливок, получаемых литьем под давлением (блоков цилиндров автомобильных двигателей), и отличается хорошим комплексом технологических свойств.

Высокопрочные и жаропрочные литейные сплавы. Это сплавы систем Al – Cu – Mn (AM5), Al – Cu – Mn – Ni (AK6MцH) и Al – Si – Cu – Mg (AK5M2, AK5M).

Сплав AM5 упрочняется термообработкой, он широко используется для литья крупногабаритных отливок в песчаные формы.

Сплав AK6MцH характеризуется высокой жаропрочностью, хорошей обрабатываемостью резанием, однако имеет пониженные литейные свойства и коррозионную стойкость. Он термически упрочняется. Температура работы сплава – до 350 °С.

Сплавы AK5M2 и AK6MцH используются для изготовления корпусов приборов, головок цилиндров двигателей, работающих при повышенных температурах (250...270°С).

Коррозионно-стойкие литейные алюминиевые сплавы. Сплавы систем Al–Mg (AMg10) и Al–Mg–Zn (АЦ4Mг) обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, обрабатываются резанием и свариваются. Сплав AMg10 характеризуется невысокими литейными свойствами и низкой жаропрочностью (рабочие температуры до 80°С). Сплав АЦ4Mг обладает стабильными механическими свойствами, хорошей жаропрочностью (до 150 °С) и удовлетворительными литейными свойствами. Эти сплавы способны работать в условиях коррозии морской воды вместо дефицитных бронз, латуней и нержавеющей сталей.

Спеченные алюминиевые сплавы (порошковые и гранулированные) характеризуются повышенными механическими и физическими свойствами.

Спеченный алюминиевый порошок (САП) — это материал, полученный холодным, а затем горячим брикетированием (прессованием под давлением 700 МПа при 500...600 °С). Потом из горячепрессованных брикетов ковкой, прокаткой или прессованием изготавливаются изделия или полуфабрикаты. САП характеризуется высокой прочностью и жаропрочностью при повышенных температурах (350...500 °С).

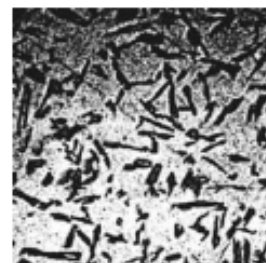


Рисунок 9.7. Микроструктура немодифицированного силумина АК12: кристаллы избыточного кремния и игольчатая эвтектика $\alpha + \text{Si}$ (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

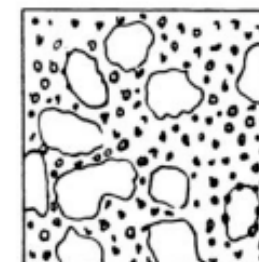
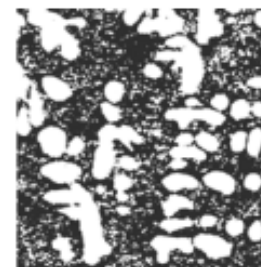


Рисунок 9.8. Микроструктура модифицированного силумина АК12: светлые дендриты α -твердого раствора в мелкозернистой эвтектике (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

Спеченные алюминиевые сплавы систем Al – Si – Ni (CAC-1) и Al – Si – Fe (CAC-2) обладают низким коэффициентом термического расширения, изготавливаются из порошков, полученных пуделлизацией жидких сплавов. Это обеспечивает сплавам достаточно равномерную дисперсную структуру, содержащую мелкие включения кремния и интерметаллидов.

В настоящее время получили распространение **гранулируемые алюминиевые сплавы**, отличающиеся высоким содержанием легирующих элементов (Mn, Cr, Zr, Ti, V), нерастворимых или мало растворимых в алюминии, и **композиционные алюминиевые сплавы**. Волокнистые композиционные материалы получают, армируя алюминиевые сплавы АД1, АД33 борными волокнами (ВКА-1, ВКА-2) или стальной проволокой (КАС-1, КАС-1А). Они могут подвергаться гибке, обладают высокой ударной вязкостью и жаропрочностью, большим сопротивлением распространению ус-

талостной трещины и значительной прочностью. Эти материалы используются для изготовления труб.

Деформируемые алюминиевые сплавы (ГОСТ 4784 - 97)

Самыми распространенными деформируемыми алюминиевыми сплавами являются **дюралюмины** Al – Cu – Mg (Д1, Д16, Д18, Д19, ВД17 и др.). Они упрочняются термической обработкой, хорошо свариваются точечной сваркой, удовлетворительно обрабатываются резанием (в термоупрочненном состоянии), однако склонны к межкристаллитной коррозии после нагрева (особенно Д1, Д16 и В65). Сплавы Д19 и ВД17 работают при нагреве до 200...250 °С (например, из сплава ВД17 изготавливают лопатки компрессора двигателя). В авиации дюралюмины применяются для изготовления лопастей воздушных винтов (Д1), силовых элементов конструкций самолетов (Д16, Д19), заклепок (В65, Д18) и др. Микроструктура дюралюминия характеризуется сложным фазовым составом.

Высокопрочные сплавы системы Al – Zn – Mg – Cu (В3, В95, В96Ц) обладают лучшей коррозионной стойкостью, чем дюралюмины. Рабочая температура высокопрочных сплавов не превышает 120 °С, ибо они не являются теплопрочными. Сплавы используются для изготовления высоконагруженных изделий, как правило, работающих в условиях сжатия (стрингеры, шпангоуты, лонжероны и др.).

Ковочные сплавы системы Al – Mg – Si – Cu (АК6 и АК8) обладают высокой пластичностью при горячей обработке давлением, удовлетворительно свариваются, хорошо обрабатываются резанием. Из этих сплавов изготавливаются ковкой и штамповкой детали самолетов, работающие под нагрузкой (рамы, пояса лонжеронов, крепежные детали).

Жаропрочные алюминиевые сплавы системы Al – Cu – Mn (Д20, Д21) и Al – Cu – Mg – Fe – Ni (АК4, АК4-1) работают при повышенных температурах (до 300 °С). Их применяют для изготовления деталей (поршни, головки цилиндров, диски и лопатки компрессоров). Сплавы обладают высокой пластичностью и технологичностью в горячем состоянии.

Материалы и оборудование

1. Металлографический микроскоп МИМ-7, установка для приготовления шлифов, наборы микрошлифов и травителей.
2. Плакаты, стенды, фотографии микроструктур сплавов на основе меди и алюминия.

Порядок выполнения работы

1. Для изучения микроструктуры сплавов на основе меди и алюминия студенты получают набор шлифов (шлифы предварительно подготавливаются лаборантом).
2. На микроскопе МИМ-7 при заданном увеличении студенты изучают и определяют структуру бронз, латуней, силуминов и дюралюминов.
3. Студенты схематично зарисовывают в отчете изученные микроструктуры.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткая характеристика меди и сплавов на ее основе.
3. Краткая характеристика алюминия и сплавов на его основе.
4. Диаграмма состояния сплавов Al – Si (выполняется в процессе самоподготовки к работе).
5. Схемы микроструктур изучаемых сплавов, описание их свойств и применения в сельскохозяйственном машиностроении.
6. Выводы по работе.
7. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает медь?
2. Как маркируется медь?
3. Где применяется медь?
4. Какие сплавы на основе меди известны?
5. Что такое латунь?
6. Как подразделяются латуни по структуре?
7. Как маркируются латуни?
8. Где применяются деформированные латуни?

9. Где применяются литейные латуни?
10. Что такое бронза?
11. Как маркируются бронзы?
12. Где применяются оловянные бронзы?
13. Где применяются алюминиевые бронзы?
14. Где применяются бериллиевые бронзы?
15. Какими свойствами обладает алюминий?
16. Как маркируется алюминий?
17. Где применяется алюминий?
18. Какие сплавы на основе алюминия известны?
19. Как маркируются алюминиевые сплавы?
20. Укажите классификацию алюминиевых сплавов.
21. Где применяются дюралюмины?
22. Где применяются силумины?
23. Что представляют собой спеченные алюминиевые сплавы?
24. Что представляют собой композиционные алюминиевые сплавы?