

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа ядерных технологий
Направление – ядерные физика и технологии

Конструкционные сплавы алюминия

Курсовой проект

Студент гр. _____

/(подпись)

Преподаватель _____



подпись)

Д.В. Сиделев

Томск 2020





МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсового проекта студенту группы

- 1 Конструкционные сплавы алюминия
- 2 Исходные данные к работе
 - 2.1 Учебные пособия по материаловедению для ВУЗ
 - 2.2 Материаловедческие сборники
- 3 Содержание текстового документа
 - 3.1 Структурные свойства материала
 - 3.2 Фазовые диаграммы Al – Cu и Al – Mn
 - 3.3 Теплофизические и физико-механические свойства
 - 3.4 Методы получения исходного материала
 - 3.5 Функциональные свойства материала
 - 3.6 Применение рассматриваемого материала в промышленности
 - 3.7 Способы улучшения функциональных свойств материала
- 4 Перечень графического материала
 - 4.1 Фазовая диаграмма системы Al – Cu
 - 4.2 Фазовая диаграмма системы Al – Mn
- 5 Дата выдачи задания: 22.02.20

Преподаватель _____ Д.В Сиделев
(подпись)

Задание принял к исполнению _____
(подпись)

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| 1. Структурные свойства материала. | 6 |
| Алюминий. | 6 |
| Конструкционные алюминиевые сплавы. | 7 |
| 2. Анализ фазовых диаграмм. | 9 |
| 3. Теплофизические и физико-механические свойства рассматриваемых сплавов. | 13 |
| Свойства сплава Д16. | 13 |
| Свойства сплава АМц. | 15 |
| 4. Методы получения исходного материала. | 18 |
| Получение алюминия. | 18 |
| Производство алюминиевых сплавов. | 21 |
| 5. Функциональные свойства материала. | 22 |
| Функциональные свойства сплава Д16. | 22 |
| Функциональные свойства сплава АМц. | 22 |
| 6. Применение конструкционных сплавов в промышленности. | 24 |
| 7. Способы улучшения функциональных свойств. | 27 |
| Способы улучшения функциональных свойств сплава Д16. | 29 |
| Способы улучшения функциональных свойств сплава АМц. | 32 |
| Заключение. | 33 |
| Список используемой литературы. | 34 |

Введение.

В мировой промышленности алюминиевые сплавы характеризуются наибольшим объемом производства среди цветных металлов и уступают только стали. Трудно отыскать хотя бы одну отрасль, в которой не использовались бы алюминиевые сплавы. Они настолько широко применяются в самых разных областях промышленности и науки, что стали по-настоящему незаменимы. К счастью, ближайшие тысячи лет человечеству вряд ли придется беспокоиться о его дефиците, так как алюминий является самым распространенным металлом в недрах нашей планеты. Существуют мнения, что скоро алюминий заменит даже бензин, так как большой интерес представляет использование энергии воздушно-алюминиевых топливно-гальванических элементов.

Алюминий и алюминиевые сплавы – одни из первых конструкционных металлов, которые были использованы в самолетостроении. Даже сейчас – до 75% массы современного самолета составляют детали на его основе. Алюминиевые сплавы также применяют в строительных конструкциях, судостроении, железнодорожном и автотранспорте, электротехнике и т.д.

Конструкционные алюминиевые сплавы – это, главным образом, сплавы алюминия с пятью компонентами: *Cu, Mg, Mn, Zn* и *Si*, относительно недавно добавились *Li* и *Ag*. Все перечисленные компоненты выбраны по одному признаку – по сравнению с другими известными элементами они имеют наибольшую растворимость в твердом алюминии, резко снижающуюся с понижением температуры.

Благодаря сочетанию малой плотности с достаточно хорошими механическими свойствами и удовлетворительной устойчивостью к окислению, алюминиевые сплавы еще долгое время будут занимать лидерские позиции, как ключевой конструктивный материал нашего времени.

Цель курсового проекта заключается в сборке и обобщении данных об алюминии и его конструкционных сплавах, о их основных свойствах, технологии получения и применения.

Задачи, необходимые для достижения поставленной цели:

1. Подготовка литературного обзора по тематике курсового проекта.
2. Поиск и анализ научной литературы о структуре, свойствах, и применению алюминия и его конструкционных сплавов, на примере сплавов Д16 и АМц.
3. Подготовка пояснительной записки по курсовому проекту.

В данной курсовой работе объектами исследования будут являться алюминий и его конструкционные сплавы, а именно представители двух основных групп деформируемых сплавов на основе алюминия: Д16 и АМц, а предметом исследования будут являться свойства, методы получения и применение данных сплавов.

1. Структурные свойства материала.

Алюминий.

Так как основным элементом рассматриваемых конструкционных сплавов является алюминий, рассмотрим структурные свойства данного металла.

Алюминий (*Al*) – химический элемент III(A) группы периодической системы, третьего периода, атомный номер 13, атомная масса 26,981. В природе встречается лишь один стабильный изотоп алюминия ^{27}Al , с периодом полураспада в 720 тыс. лет. Алюминий является p – элементом, на внешнем энергетическом уровне которого, содержится 3 электрона, следовательно он проявляет степень окисления +3. [2]

Алюминий – легкий, парамагнитный металл серебристо-белого цвета. Температура плавления 660 °С. Алюминий имеет кристаллическую ГЦК решетку с периодом $a = 0.4041$ нм., которая устойчива при -269.15 °С до точки плавления. [1] При температуре 25 °С кратчайшее расстояние между атомами в решетке составляет 2.86 Å, а атомный объем $9.99 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{г}}$ атом. [2] Тип связи – металлическая. Не флюоресцентный.

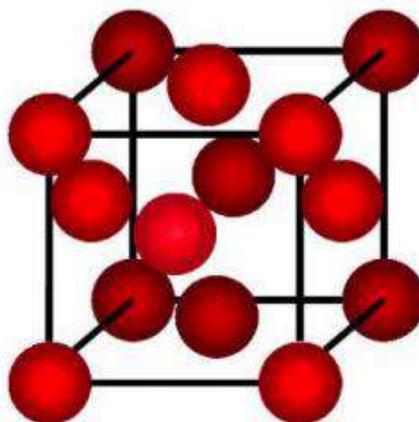


Рисунок 1. Прямая ГЦК решетка алюминия. [2]

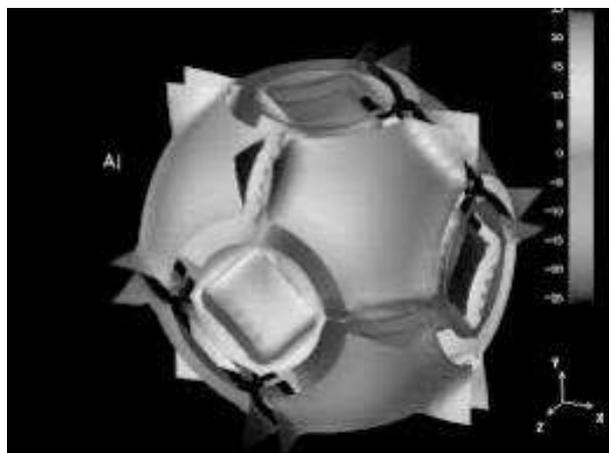


Рисунок 2. Топология экспериментальной поверхности Ферми алюминия. [2]

Картины поверхностей Ферми объясняют такие свойства металлов, как блеск, ковкость, электропроводимость и теплопроводность, но при этом, не являются реальной поверхностью, а только наглядной иллюстрацией поведения электронов в металлах. [2]

Наиболее важной особенностью алюминия является низкая плотность – 2.7 г/см^3 . Алюминий обладает достаточно высокой химической активностью, весьма велика энергия образования его соединений с кислородом, серой, углеродом. Алюминий в ряду напряжений находится среди наиболее электроотрицательных элементов, его нормальный электродный потенциал в кислой среде равен -1.67 В , а в щелочной -2.3 В . В следствие высокой склонности к пассивации, алюминий стоек в воде, большинстве нейтральных и слабокислых растворах, а также в атмосфере. Алюминий быстро взаимодействует с кислородом, даже при обычных температурах, образуя окись алюминия Al_2O_3 , которая покрывает поверхность металла очень тонким ($0.02 - 0.1 \text{ мк}$) и плотным слоем, защищающим металл от дальнейшего окисления, этим и объясняется антикоррозионная устойчивость алюминия.

Алюминий обладает высокой пластичностью и малой прочностью. Прокатанный и отожженный алюминий высокой чистоты имеет: $\sigma_{\text{в}} = 58 \text{ МПа}$; $\sigma_{0.2} = 20 \text{ МПа}$; твердость НВ 25; сужение $\psi = 85\%$; удлинение $\delta = 40\%$. Алюминий кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба и не имеет аллотропических модификаций, обладает высокой теплопроводностью, электропроводностью и очень высокой скрытой теплотой плавления. [3]

Конструкционные алюминиевые сплавы.

Алюминиевые сплавы – это сплавы, основной массовой частью которых является алюминий, а легирующими элементами в составе алюминиевых сплавов являются: медь, магний, марганец, кремний и цинк. Реже — цирконий, литий, бериллий, титан. В основном алюминиевые сплавы можно разделить на две основные группы: литейные сплавы и деформируемые (конструкционные). В свою очередь конструкционные сплавы подразделяют на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. [4]

Сплавы, упрочняемые термической обработкой классифицируют на дуралюмины, сплавы авиаль(АВ), высокопрочные сплавы, сплавы дляковки и штамповки, жаропрочные сплавы. К деформируемым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы алюминия с марганцем или с магнием.

Рассмотрим семейство деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, – дуралюмины на примере сплава Д16.

Дуралюмины — это многокомпонентные сплавы на основе системы $\text{Al}-\text{Cu}-\text{Mg}$, в которые дополнительно вводят марганец (Mn) и другие химические элементы.

Дуралюмины – наиболее прочные, легкие и наименее коррозионностойкие из алюминиевых сплавов, склонны к межкристаллической коррозии. Для защиты листового дуралюминия от коррозии его поверхность плакируют чистым алюминием. Не обладают хорошей свариваемостью, поэтому применяются везде, где необходима прочность и легкость. [4]

Дуралюмины можно разделить на несколько подгрупп:

1. Нормальной прочности (Д1, Д16).
2. Повышенной пластичности (Д18). Отличается пониженным содержанием меди и магния.
3. Повышенной жаропрочности (Д19). Главным отличием является увеличенное отношение Mg/Cu .

Помимо основных компонентов в дуралюмине всегда содержится марганец и примеси кремния и железа. Марганец повышает стойкость дуралюмина против коррозии, а присутствуя в виде дисперсных частиц фазы ($Al_{12}Mn_2Cu$), повышает температуру рекристаллизации и улучшает механические свойства, а именно прочность структуры. Железо понижает прочность и пластичность дуралюмина, кроме того, образует соединение Al_3Fe , кристаллизующееся в виде грубых пластин. Кроме того, железо образует соединение Al_7Cu_2Fe , нерастворимое в алюминии, вследствие чего снижается эффект упрочнения при старении, поэтому содержание железа не должно превышать 0,5–0,7 %. Кремний образует фазы Mg_2Si и $W(Al_xMg_5Cu_4Si_4)$, которые растворяются в алюминии и при последующем старении упрочняют сплав. [1] Однако упрочнение невелико, примесь кремния уменьшает количество основных упрочняющих фаз, таким образом, способствует снижению прочности.

Рассмотрим семейство деформируемых алюминиевых сплавов, не упрочняемых термической обработкой, на примере сплава АМц.

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой, — сплавы $Al-Mn$ и $Al-Mg$. Эти сплавы не подвергают закалке и старению. Упрочнение сплавов достигается в результате образования твердого раствора и в меньшей степени избыточных фаз. Сплавы легко обрабатываются давлением, хорошо свариваются и обладают высокой коррозионной стойкостью. Обработка резанием затруднена. [1] Сплавы на базе системы $Al-Mg$ называют магналиями. По объему производства магналии занимают первое место среди деформируемых алюминиевых сплавов.

2. Анализ фазовых диаграмм.

Для более наглядного представления уместно рассмотреть фазовую диаграмму «Алюминий + легирующий элемент», по которой видна причина классификации сплавов алюминия.

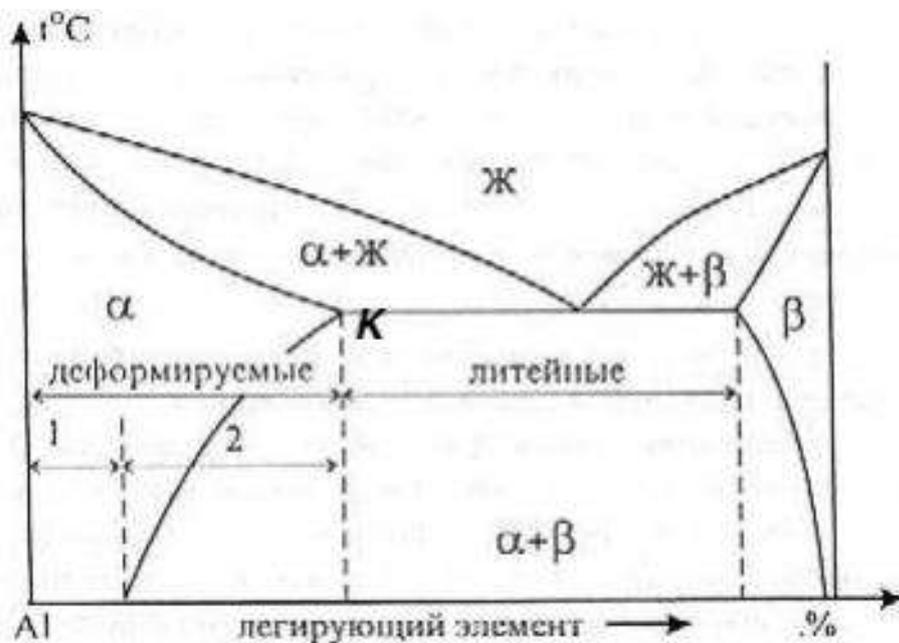


Рисунок 3. Фазовая диаграмма "Алюминий - легирующий элемент". [17]

Движение рассмотрения слева – направо.

1. Деформируемые сплавы алюминия, термически неупрочняемые
2. Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой
3. Литейные сплавы [17]

Границей между деформируемыми и литейными сплавами является предел насыщения алюминиевого твердого раствора при эвтектической температуре, а границей между сплавами упрочняемыми и неупрочняемыми термической обработкой является предел насыщения того же раствора, при комнатной температуре.

Точка К соответствует предельной растворимости легирующего компонента в алюминии при эвтектической температуре. Сплавы левее точки К имеют при нагревании однофазную структуру α – твердого раствора, высокую пластичность и низкую прочность. Поэтому сплавы легко обрабатываются давлением и относятся к деформируемым сплавам. В деформируемых алюминиевых сплавах, не упрочняемых термической обработкой, содержание легирующих элементов меньше предела насыщения твердого раствора при комнатной температуре. В термически упрочняемых алюминиевых сплавах содержание легирующих элементов превышает их равновесную концентрацию.

Сплавы, находящиеся правее точки К, имеют структуру, состоящую из α – твердого раствора и эвтектики. Они плохо деформируются, но благодаря наличию эвтектики обладают хорошими литейными свойствами: жидкотекучестью и высокой концентрацией литейной пористости.

Так как основным легирующим элементом дуралюминов является медь, поэтому для выяснения процессов, происходящих при термической обработке, можно условно воспользоваться диаграммой бинарных сплавов $Al - Cu$ (Рис.4).

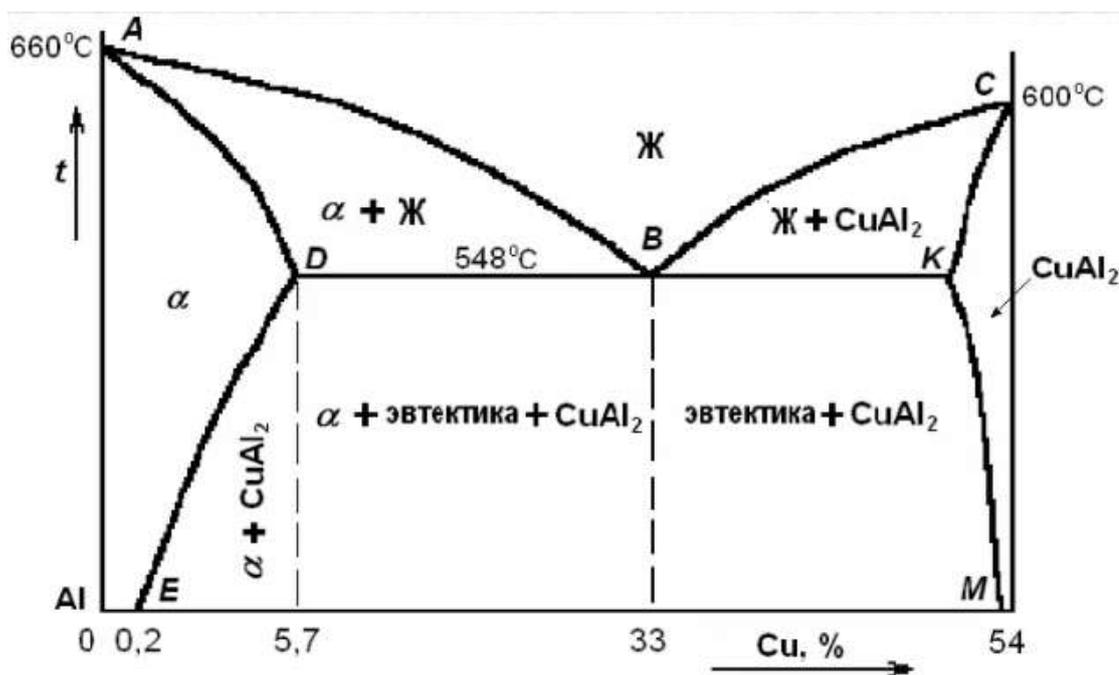


Рисунок 4. Фазовая диаграмма $Al - Cu$ [18]

Диаграмма состояния относится к диаграммам типа, когда элементы образуют твердый раствор с ограниченной растворимостью, уменьшающейся с понижением температуры.

Линия солидус – ADBKC, линия ликвидус – ABC. Основные фазы представлены в самой диаграмме.

Так как в нашем рассмотрении находятся деформируемые сплавы, следовательно для нас будет более интересна часть фазовой диаграммы с содержанием Cu не более 5,7%.

Твердый раствор меди в алюминии (фаза I). При нормальной температуре в алюминии растворяется 0,2% Cu . С повышением температуры растворимость меди возрастает и достигает максимального значения 5,7% при температуре 548 °C.

Сплавы, содержащие до 0,2 Cu (сплав I) имеет однородную структуру раствора. При нагреве (до температуры ниже температуры начала плавления) и охлаждении никаких структурных изменений в них не происходит. Эти сплавы не упрочняются

термической обработкой. Единственным способом их упрочнения является холодная деформация.

Сплавы, содержащие от 0,5 до 5,7% *Cu* (сплав II), в равновесном (отожженном) состоянии, имеет двухфазную структуру, состоящую из α – раствора с концентрацией *Cu* 0,5% и частичек соединения $CuAl_2$.

При нагреве сплава II концентрация *Cu* в твердом растворе возрастает (по линии ED) за счет растворения кристаллов соединения $CuAl_2$. Нагревом до температуры $T_{кр}$ или выше нее сплав II переходит в однофазное состояние со структурой α , с концентрацией *Cu*, соответствующей концентрации ее в сплаве. При медленном охлаждении (с печью или на воздухе) будет происходить обратный процесс выделения из α – твердого раствора частичек $CuAl_2$. Если же охлаждение сплава происходит быстро (закалка в воде), то выделение частичек $CuAl_2$ произойти не успеет, а вся медь будет зафиксирована в твердом растворе α . Полученный таким образом твердый раствор, содержащий при комнатной температуре столько же меди, сколько было переведено в него при нагреве, является пересыщенным, а следовательно неустойчивым. Неустойчивый пересыщенный твердый раствор будет стремиться перейти в устойчивое равновесное состояние. Поэтому после закалки самопроизвольно протекает процесс распада пересыщенного твердого раствора (или подготовительные к распаду процессы), сопровождающиеся упрочнением сплава. Этот процесс упрочнения называется старением. [17]

Рассмотрим фазовую диаграмму «Алюминий – легирующий элемент марганец».

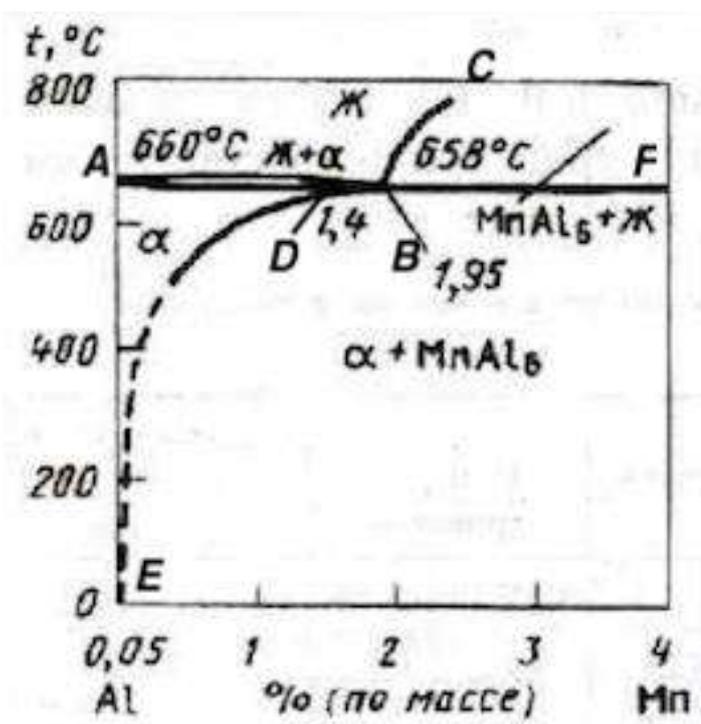


Рисунок 5. Фазовая диаграмма Al – Mn [3]

Данная фазовая диаграмма является диаграммой состояния алюминия с легирующим элементом одного типа (марганец) – эвтектическая, с ограниченной растворимостью легирующего элемента.

Линия ликвидуса – ABC, линия солидуса – ADBF. Точка D и B – эвтектические точки. Основные фазы представлены на самой диаграмме.

Твердый раствор меди в алюминии (фаза α). При нормальной температуре в алюминии растворяется 0,05% Mn. С повышением температуры растворимость марганца возрастает и достигает максимального значения 1,4 % при температуре 658 °С.

Наибольший интерес для сплава АМц представляет доэвтектическая часть диаграммы с содержанием Mn < 1,5%, отсюда получаем, что сплав АМц представляет α – твердый раствор марганца в алюминии, в котором имеются в небольшом количестве частицы соединения Al_6Mn , которые упрочняют сплав и способствуют измельчению зерна. [1]

3. Теплофизические и физико-механические свойства рассматриваемых сплавов.

Алюминий и его сплавы обладают уникальным сочетанием высоких технологических свойств и физических характеристик.

При температуре около 100° начинается увеличение ползучести алюминиевых сплавов. Отжиг закаленных сплавов происходит при 350-400°С, раньше, чем для стали наступает температурная пластичность. Несмотря на низкую температуру плавления сплавов (650-750°), количество тепловой энергии требуется затратить больше, чтобы расплавить алюминий, так как этот металл имеет высокую скрытую теплоту плавления. Благодаря этим свойствам алюминиевые конструкции мало подвержены разрушению пламенем, что подтверждается обследованием сооружений после пожара. Достоинством рассматриваемых сплавов является то, что при пониженных температурах они не только не ухудшают своих механических показателей, а даже становятся более прочными вследствие усиления процесса старения. Поэтому для строительства в северных широтах и для полярных экспедиций предпочтительнее изготавливать конструкции из алюминиевых сплавов, чем из стали. [3]

Свойства сплава Д16.

Сплав Д16 – сложнoleгированный сплав, повышенной прочности, на основе алюминия, типичный представитель «классических» дуралюминов, так называемый «супердуралюмин». Сплав Д16 относится деформируемым, упрочняемым при термообработке сплавам системы $Al - Cu - Mg$ (дуралюмин), который получил широкое распространение в авиастроении. Главной фазой-уплотнителем в данном сплаве является тройное соединение $CuMgAl_2$ (S – фаза). Основными легирующими элементами, дающими наибольшее упрочнение, является медь и магний. [5]

Таблица 1. Химический состав по ГОСТ 4784-97 в % сплава Д16.[5]

| Fe | Si | Mn | Cr | Ti | Al | Cu | Mg | Zn | Примеси | - |
|--------|--------|-----------|--------|---------|-------------|-----------|-----------|---------|---------------|-------------|
| До 0.5 | До 0.5 | 0.3 – 0.9 | До 0.1 | До 0.15 | 90.9 – 94.7 | 3.8 – 4.9 | 1.2 – 1.8 | До 0.25 | Прочие – 0.05 | Ti+Zr < 0.2 |

Таблица 2. Механические свойства сплава Д16 при T = 20°С [5]

| Прокат | Толщина, мм | E, ГПа | σ_{-1} , МПа | σ_B , МПа | $\sigma_{0.2}$, МПа | δ , % |
|--|-------------|--------|---------------------|------------------|----------------------|--------------|
| Лист | 2 – 4 | 72 | 130 | 450 | 320 | 19 |
| Лист | 30 – 40 | - | | 460 | 360 | 10 |
| Профиль прессованный закаленный и искусственно состаренный | 5 – 10 | 72 | 140 -150 | 480 | 350 | 12 |

Из данной таблицы видно, что прессованные полуфабрикаты прочнее катанных, что является результатом так называемого «пресс-эффекта». [1]

Таблица 3. Механические свойства сплава при высоких температурах. [5]

| Прокат | T, °C | σ_B , МПа | $\sigma_{0.2}$, МПа | δ , % |
|---|-------|------------------|----------------------|--------------|
| Лист плакированный закаленный и естественно состаренный | 20 | 435 | 280 | 19 |
| | 100 | 410 | 270 | 18 |
| | 200 | 330 | 250 | 12 |
| Лист плакированный закаленный и естественно состаренный нагартованный | 20 | 465 | 350 | 13 |
| | 100 | 440 | 320 | 13 |
| | 200 | 360 | 270 | 9 |
| Лист плакированный закаленный и естественно состаренный 5-10 мм | 20 | 455 | 390 | 7 |
| | 100 | 440 | 390 | 7 |
| | 175 | 410 | 350 | 10 |
| | 200 | 380 | 330 | 8 |
| Профиль прессованный закаленный и естественно состаренный 2 мм | 20 | 460 | 410 | 9 |
| | 100 | 460 | 410 | 9 |
| | 175 | 410 | 390 | |
| | 200 | 380 | 360 | 10 |
| | 250 | 290 | 260 | |

Таблица 4. Механические свойства сплава Д16 при низких температурах. [5]

| Прокат | T, °C | σ_B , МПа | $\sigma_{0.2}$, МПа | δ , % | ψ , % |
|---|-------|------------------|----------------------|--------------|------------|
| Лист плакированный до 2 мм, закаленный и естественно состаренный | 20 | 440 | 350 | 17 | |
| | -70 | 470 | 370 | 19 | |
| | -196 | 590 | 470 | 24 | |
| Лист плакированный до 2 мм, закаленный и искусственно состаренный | 20 | 460 | 420 | 6 | |
| | -70 | 500 | 460 | 6 | |
| | -196 | 570 | 520 | 8 | |
| Лист плакированный до 2 мм, закаленный и искусственно состаренный нагартованный | 20 | 460 | 360 | 13 | |
| | -70 | 500 | 370 | 16 | |
| | -196 | 570 | 490 | 20 | |
| Пруток прессованный закаленный и естественно состаренный 20-80 мм | 20 | 530 | 370 | 15 | 16 |
| | -70 | 560 | 400 | 12 | 12 |
| | -196 | 700 | 530 | 11 | 10 |

Таблица 5. Плотность, теплопроводность, теплоемкость сплава Д16. [5]

| | ρ $\cdot 10^3, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | При температуре, T, K | | | | | | | | | |
|-----|--|-----------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | | 298 | | 373 | | 473 | | 573 | | 673 | |
| Д16 | 2,770 | λ | C_p | λ | C_p | λ | C_p | λ | C_p | λ | C_p |
| | | | | 117.79 | - | 129.79 | 0.921 | 146.545 | 1.047 | 163.293 | 1.13 |

$C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{°C}}$ – удельная массовая теплоемкость, $\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}}$ – коэффициент теплопроводности.

Физические свойства сплава Д16 при температуре 20°С:

- модуль упругости первого рода $0,72 \cdot 10^5$ МПа;
- плотность 2770 кг/м³;
- удельное электросопротивление $54 \cdot 10^9$ Ом·м.

Термообработка: закалка сплава Д16 проводится при 485-503 °С (прессованные изделия), старение при T=20 °С, при 185-195 °С около 68 часов. [12]

Выпускаются полуфабрикаты из Д16 следующих видов:

1. в чистом виде.
2. Т – закалённые и естественно состаренные,
3. Т1 – искусственно состаренное состояние.
4. М – отожжённые,
5. Плакированные (прим. Д15ТА)

Свойства сплава АМц.

АМц – это сплав системы *Al – Mn* (Алюминий – марганец), который относится к числу деформируемых давлением, коррозионностойких и свариваемых без ограничений сплавов алюминия.

Таблица 6. Химический состав в % АМц. [6]

| Fe | Si | Mn | Al | Cu | Zn | Примеси |
|--------|--------|---------|------------|------------|--------|--------------|
| До 0.7 | До 0.6 | 1 – 1.5 | 96.35 - 99 | 0.05 – 0.2 | До 0.1 | Всего – 0.15 |

Таблица 7. Механические свойства при T = 20 °С [6]

| Сортамент | σ_b , МПа | δ , % |
|-------------------------------|-----------------------|--------------|
| Трубы | 100 | 12 |
| Трубы отожжен. | 90 – 135 | 15 |
| Трубы нагортован. | 135 | - |
| Пруток | 100 | 20 |
| Лента | 100 | 10 |
| Профили | 98 | 16 |
| Плита | 110 – 120 | 12 – 15 |
| Твердость АМц, нагортованного | НВ 10^{-1} = 55 МПа | |
| Твердость АМц, отожженный | НВ 10^{-1} = 30 МПа | |

Таблица 7. Физические свойства материала АМц при различных Т. [6]

| Т, °С | Е, МПа | $\alpha, \frac{1}{°C}$ | $\lambda, \frac{Вт}{м \cdot °C}$ | $\rho, \frac{кг}{м^3}$ | $C, \frac{Дж}{кг \cdot °C}$ | R, Ом · м |
|-------|--------|------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 20 | 0.71 | | | 2730 | | $34.5 \cdot 10^9$ |
| 100 | | 23.2 | 180 | | 1090 | |
| 200 | | 25 | | | | |

Таблица 8. Плотность, теплопроводность, теплоемкость сплава АМц. [6]

| | ρ $\cdot 10^3, \frac{кг}{м^3}$ | При температуре, Т, К | | | | | | | | | |
|-----|--|-----------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | | 298 | | 373 | | 473 | | 573 | | 673 | |
| АМц | | λ | C_p | λ | C_p | λ | C_p | λ | C_p | λ | C_p |
| | 2,73 | 180.041 | - | 180.041 | 1.089 | 180.041 | 1.172 | 184.228 | 1.298 | 188.415 | 1.298 |

Сплав АМц представляет α – твердый раствор марганца в алюминии и вторичных выделений фазы Al_6Mn . Так как сплав содержит малое количество Mn, то при закалке упрочнение идти не будет. [6]

Микроструктура сплава АМц представлена на рис. 6.

В структуре прессованного прутка сплава АМц можно увидеть многочисленные равномерно распределенные включения, размер которых не превышает 5мкм. [8]

Сплав АМц одержит 1,5% Mn, листы этого сплава выпускаются мягкими (АМцМ), так и полунагартованными (АМцН2).

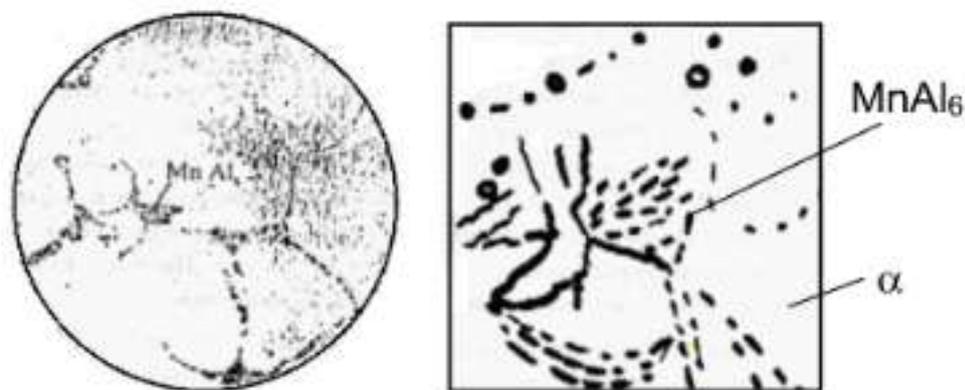


Рисунок 6. Микроструктура сплава АМц. [8]

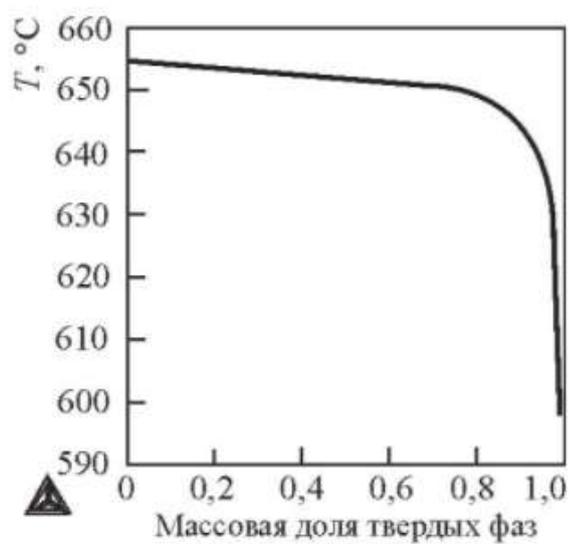


Рисунок 7. Массовая доля твердых фаз в сплаве АМц в процессе неравновесной кристаллизации.
[6]

4. Методы получения исходного материала.

Получение алюминия.

Алюминий, по распространенности в земной коре, занимает 1-е место среди металлов, по данным различных исследований, массовая концентрация содержания его в земной коре оценивается от 7.45 до 8.14%. [13]

Вследствие высокой химической активности алюминий не встречается в чистом виде, а лишь в составе различных соединений.

Современный метод получения алюминия, процесс Холла—Эру был разработан независимо американцем Чарльзом Холлом и французом Полем Эру в 1886 году. Он заключается в растворении оксида алюминия Al_2O_3 в расплаве криолита Na_3AlF_6 с последующим электролизом с использованием расходуемых коксовых или графитовых анодных электродов. Такой метод получения требует очень больших затрат электроэнергии, и поэтому получил промышленное применение только в XX веке. [11]

Для производства алюминия необходимо добыть боксит, переработать его в глинозем и доставить на алюминиевый завод. Наибольшие запасы бокситов в мире сосредоточены в тропическом и субтропическом поясах Земли, поэтому основные объемы добычи обеспечивают страны Юго-Восточной Азии, Латинской Америки и Африки, а также Австралия. Как правило, в этих регионах расположено и производство глинозема. [9]

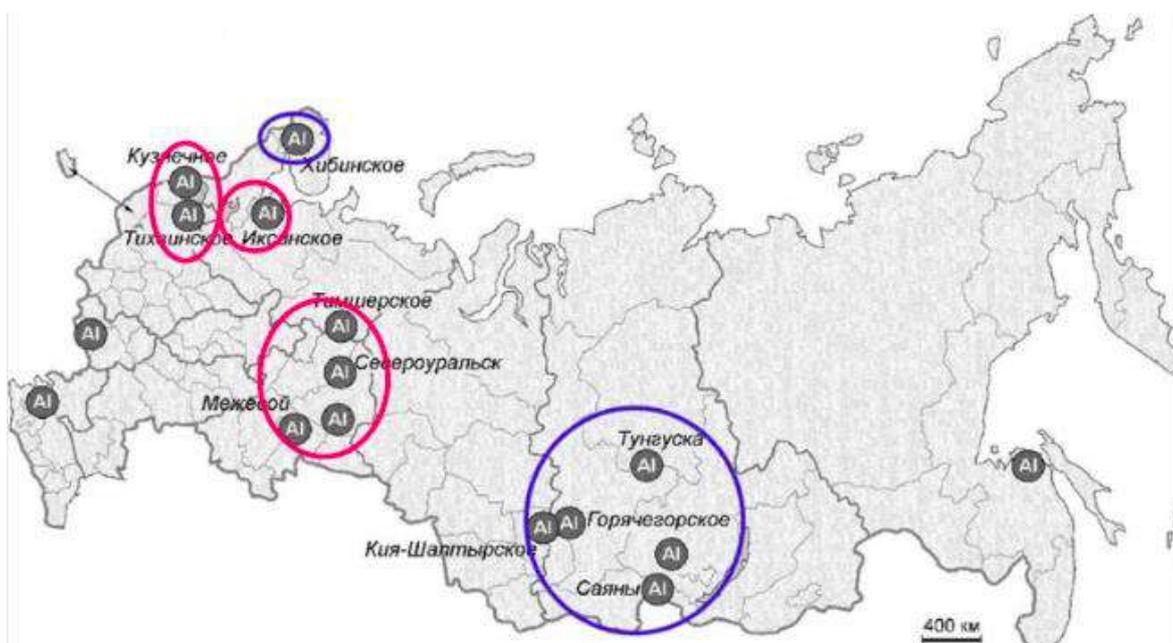


Рисунок 8. Минеральные ресурсы: Алюминиевые руды. [10]

Бокситов в России – 400 млн. т. (0.7% мировых запасов)

Алюминий обладает амфотерными свойствами, т. е. реагируя с кислотами, образует соответствующие соли, а при взаимодействии с щелочами — алюминаты. Эта

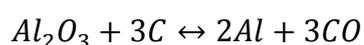
особенность существенно расширяет возможности извлечения алюминия из руд различного состава. [11]

Технологическое получение алюминия представляет собой 3 основных этапа:

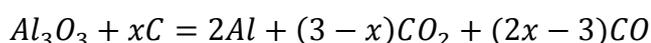
1. Получение глинозема (Al_2O_3) из алюминиевых руд.
2. Получение алюминия из глинозема.
3. Рафинирование алюминия. [10]

Практически единственным методом получения металлического алюминия является электролиз криолитоглиноземного расплава. Основное сырье для этого процесса — глинозем (Al_2O_3) — получают различными гидрохимическими методами путем переработки минералов, содержащих соединения алюминия. Например, рассмотрим получение глинозёма из алунитовой руды [$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$], которую обжигают при температуре 500 – 580 °С, а затем обрабатывают раствором аммиака. Оставшиеся в осадке Al_2O_3 и $Al(OH)_3$, обрабатывают 10 – 12 % раствором едкого натра и получают раствор алюмината, из которого при дальнейшем пропускании CO_2 выпадает осадок $Al(OH)_3$. Последующее прокаливание осадка заканчивает стадию образования глинозёма. [14]

Современное получение алюминия осуществляется путем электролитического разложения глинозема (Al_2O_3 , $t_{пл} = 2050$ °С), растворенного в электролите (расплавленный криолит (Na_3AlF_6 , $t_{пл} = 1010$ °С). Смешение необходима для снижения температуры плавления Al_2O_3 . Технологический процесс осуществляется при 950 °С — 965 °С в электролизных ваннах (электролизерах). В целом процесс разложения глинозема в электролизерах можно представить в виде формул:



Суммарную реакцию можно представить в виде:



Или



При электролизе на катоде выделяется алюминий, а на аноде — кислород. Алюминий, обладающий большей плотностью, чем исходный расплав, собирается на дне электролизера, откуда его периодически извлекают. [14]

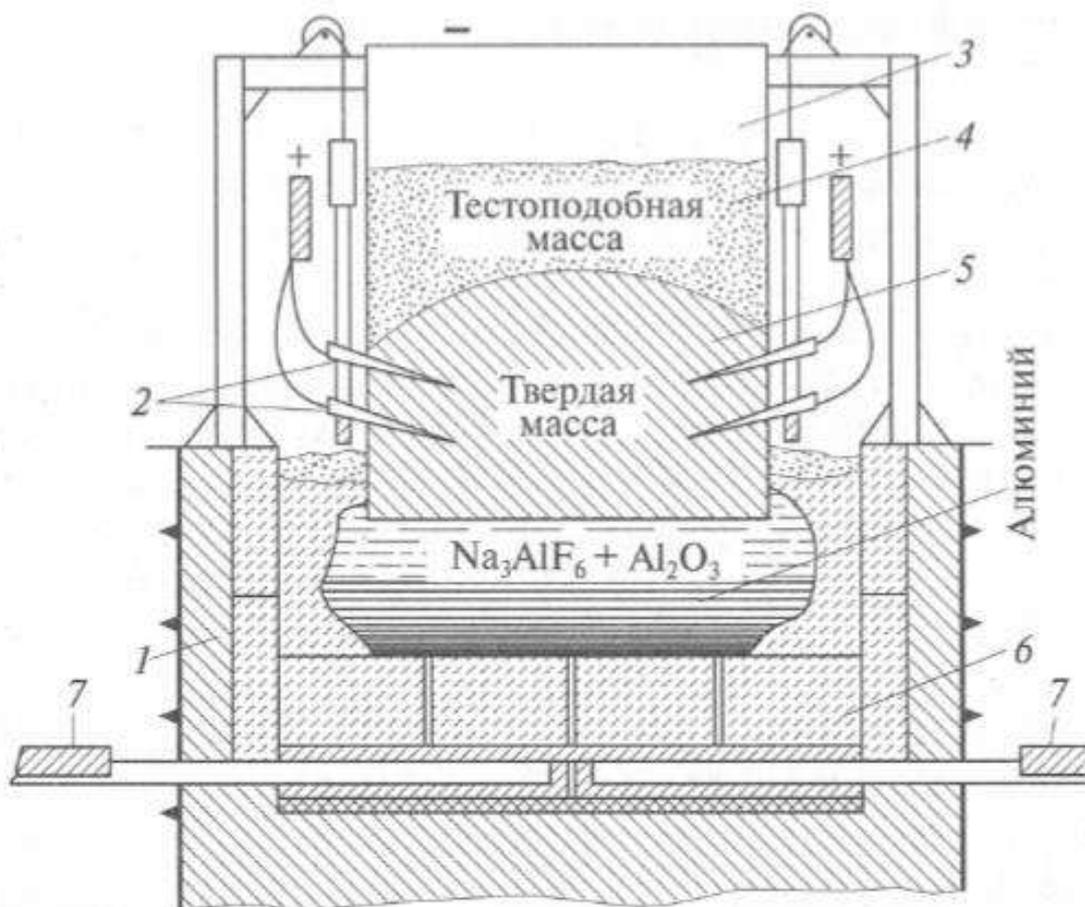


Рисунок 9. Схема электролитической ванны для получения алюминия электролитическим способом. [10]

1– Корпус ванны; 2 – проводники, падающие положительный потенциал, создающие анод; 3 – полость электрической ванны, куда попадает смесь оксида алюминия и криолита; 4 – тестообразная часть смеси оксида алюминия и криолита; 5 – то же, но твердая масса, которая внизу расплавляется и располагается над раствором; 6 – под ванны; 7 – летки для удаления жидкого алюминия. [10]

После алюминий отливают в слитки или добавляют к нему различные элементы для создания алюминиевых сплавов.

Технологический процесс в алюминиевом электролизере — сложный комплекс взаимосвязанных физико-химических процессов. Производство требует огромного количества энергии, поэтому обычно предприятия по его получению располагают рядом с гидроэлектростанциями. Необходимо так же обратить внимание на то, что производство алюминия опасно для экологии, вследствие теплового загрязнения, из-за использования фтора и образования углекислого газа. [10]

Производство алюминиевых сплавов.

1. Сушка, дробление, размалывание в шарнирных мельницах и обработка концентрированной щелочью.
2. Фильтрация.
3. Гидролиз в самоиспарителях.
4. Фильтрация, промывка, прокаливание.
5. Электролиз в специальных электролизных ваннах.
6. Легирование медью, марганцем, цинком, кремнием, железом, никелем и другими элементами. [11]

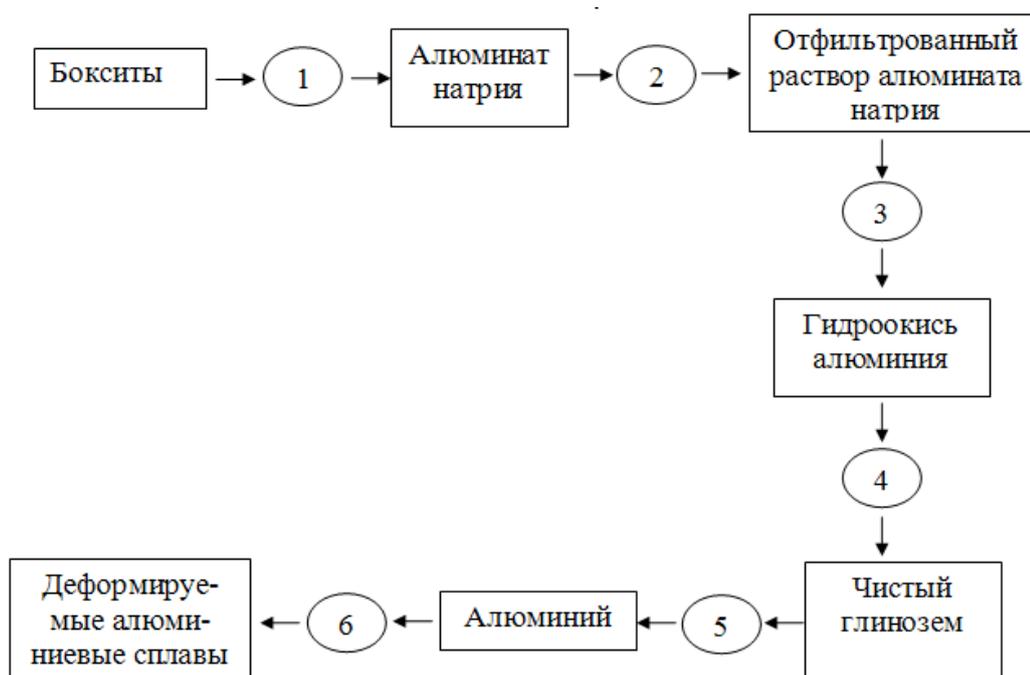


Рисунок 10. Блок-схема изготовления деформируемых алюминиевых сплавов. [11]

Наиболее перспективное направление развития приготовления алюминиевых сплавов в наше время является использование дуговых печей постоянного тока. Достоинствами таких печей является высокое качество выплавляемых алюминиевых сплавов, более низкий расход электроэнергии, сокращение безвозвратных потерь металла, повышение производительности труда. Легируемый алюминий (или сплав на его основе) в необходимом количестве расплавляют в печи любого типа до температуры регламентируемой технологической инструкции для конкретного сплава. [15]

5. Функциональные свойства материала.

Функциональные свойства сплава Д16.

Достоинством дуралюминов являются высокие показатели надежности: коэффициента вязкости разрушения и ударной вязкости. Повышение этих показателей достигается при снижении вредных примесей: железа и кремния.

Благодаря малой тепло- и электропроводности сплав Д16 хорошо проявляет себя при температурах 120 - 250° С, однако не допускается его использовать даже кратковременно при температуре выше 500 °С. [19]

Сплав является плохо свариваемым, для соединения деталей из дуралюминов используются заклепки.

Сплав Д16 обладает хорошим сочетанием прочности и пластичности, не склонен к образованию трещин, но имеет при этом невысокую коррозионную стойкость, и при повышении температуры выше 80° С склонен к образованию межкристаллической коррозии, вследствие чего, детали плакируют 2 – 4% слоем технического алюминия, защищают лакокрасочными покрытиями. Однако искусственное старение повышает сопротивление коррозии, с одновременным уменьшением прочности и пластичности.

Отличительной чертой дуралюминов является очень узкий диапазон допустимых температур нагрева под закалку, т.е. нагрев выше оптимальной температуры приводит к пережогу, а недогрев – к неполному растворению меди и магния в алюминии. Закалка сплава выше допустимой температуры (т.е. выше 503 °С, что является температурой солидуса) по границам зерен появляются тонкие прослойки расплава, которые при закалке в результате неравновесной кристаллизации превращаются в тонкие эвтектические прослойки, которые снижают механические свойства сплава, кроме того, под действием растягивающих напряжений возникают межзеренные микротрещины. [18] Металлографически, пережог проявляется в утолщении границ зерен.

Хорошо деформируется и в холодном и горячем состоянии.

Функциональные свойства сплава АМц.

Это пластичный, но малопрочный материал, который применяется чаще всего в автомобильной промышленности для изготовления сварных баков, бензо- и маслопроводов.

В состоянии после отжига они имеют временное сопротивление разрыву от 50 до 100 МПа, которое обеспечено только твердорастворным механизмом упрочнения, Повышение прочности достигается при холодной пластической деформации. После деформации может проводиться отжиг для полной или частичной рекристаллизации.

Так же сплав отличается высокой коррозионной стойкостью. Наблюдается быстрый рост прочности при пониженных температурах.

Полуфабрикаты из сплава АМц хорошо свариваются газовой, атомно-водородной, аргонодуговой и контактной сваркой. Сплав хорошо деформируется в холодном состоянии и в горячем, температурный интервал (320-470 ° С). Термической обработкой не упрочняется, и профили из него поставляются в отожженном или горячепрессованном состоянии. [1]

Также следует отметить его высокую электропроводность и теплопроводность, благодаря которой этот сплав получил распространение в изготовлении различных радиаторов.

6. Применение конструкционных сплавов в промышленности.

Алюминий и сплавы широко применяют во многих отраслях промышленности, в том числе в металлургии, в авиации, транспорте, пищевой промышленности и др. Из алюминия и его сплавов изготавливают корпуса самолетов, моторы, коробки передач, насосы и другие детали в авиационной, автомобильной и тракторной промышленности, сосуды для хранения химических продуктов. Алюминий широко применяют в быту, пищевой промышленности, в ядерной энергетике, электронике и микроэлектронике. Широко применяется в черной металлургии, как раскислитель, вследствие большого химического сродства алюминия к кислороду, а также для получения трудно восстанавливаемых металлов (*Ca, Li* и т. д.) с помощью так называемого алюминотермического процесса. По общему производству металла в мире алюминий занимает второе место после железа. [21]

Алюминий — один из космических «первопроходцев»: конструкторы первых спутников даже не задавались вопросом, какой именно металл использовать в конструкции своих аппаратов. Многие части искусственных спутников нашей планеты и космических кораблей изготовлены из алюминия и его сплавов. Легкие и прочные сплавы алюминия — точнее, «самолетные сплавы», стали постоянными «участниками» космических проектов. Около половины веса современной ракеты приходится на алюминиевые конструкции, а шаттлы почти на 90% состоят из алюминиевых сплавов. [20]

Химическая стойкость алюминия по отношению ко многим кислотам и щелочам делает этот металл и его сплавы незаменимыми для изготовления емкостей и трубопроводов в химической и топливной промышленности для хранения и транспортирования продуктов, богатых сернистыми соединениями.

Свою актуальность алюминиевые сплавы получили благодаря своей высокой стойкости против коррозии не только в сооружениях, эксплуатирующихся в условиях особо агрессивной среды, но и в обычных гражданских и промышленных зданиях для элементов, которые испытывают атмосферные воздействия. [19]

Кровля из алюминиевых листов, благодаря совмещению несущих и ограждающих функций в ряде случаев дешевле других кровель, пусть первоначальные затраты на нее будут выше, чем на другие типы покрытий, всё же алюминиевая кровля окупит себя в короткое время, так как она почти не требует профилактического ремонта и срок службы во много раз продолжительнее, чем обычных кровель. [19]

Штампованные алюминиевые листы, а также специально изготовленные алюминиевые панели используются для внешней отделки и облицовки зданий. [19]

Для наглядности представлена диаграмма применения алюминия и его сплавов в промышленности Рис. 9. Из данной диаграммы видно, что наибольший процент использования алюминия и его сплавов приходится на упаковочную промышленность, вследствие свойств, делающих его оптимальным «пищевым» металлом, например, алюминиевая фольга позволяет сохранить значительно дольше вкусовые и полезные качества продуктов, чем упаковки из других металлов, при этом она наиболее удобна в использовании.

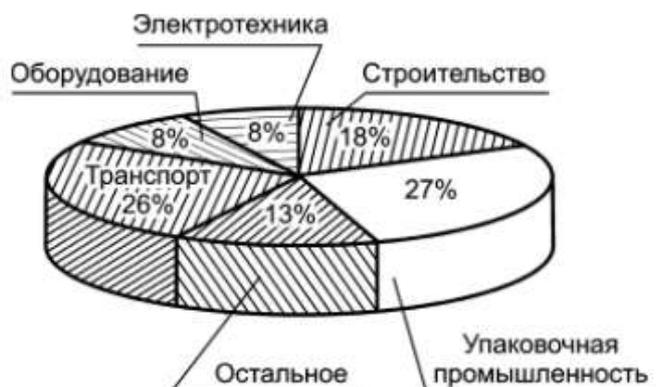


Рисунок 11. Применение алюминия и его сплавов в промышленности. [21]

Прокат Д16 используется в конструкциях летательных аппаратов, судов и бурильных труб. Из него производят транспортные детали и обшивку, декоративные элементы, уличные таблички и дорожные знаки. Он широко востребован в строительстве, машиностроении, авиастроении, топливной и химической промышленности. Используется для основных силовых элементов планера (панели крыла, лонжероны, балки, стыковые гребенки, обшивка гермокабины, основные шпангоуты, детали оперения), особенно в силовых элементах конструкции самолетов с длительным ресурсом (детали каркаса, обшивка, шпангоуты, нервюры, лонжероны, тяги управления) и других нагруженных конструкциях. [12]

Жизненный пример: разрушение моста через реку Озерна в Подмосковье, вследствие расслаивающей коррозии (РСК), построенного из сплава Д16Т. Разрушение профилей моста началось под действием солевых растворов, образующихся в результате обработки дорог хлоридсодержащими реагентами. Мост был не окрашен, но и на окрашенных по современным схемам изделиях РСК часто реализуется. [21]

Сплавы АМц применяются для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой, от которых требуется высокая коррозионная стойкость (трубопроводы для масла и бензина, радиаторы охлаждения тракторов и автомобилей, сварные бензобаки, сантехнические изделия, декоративная отделка), а также для заклепок, корпусов и мачт

судов, узлов лифтов и подъемных кранов, рам транспортных средств. При понижении температуры у сплава АМц прочность быстро растет, поэтому они нашли широкое применение в криогенной технике. [12]

Алюминиевые сплавы АМц целесообразно применять для трубопроводов в химической и нефтяной промышленности. Антикоррозийные свойства этих сплавов позволяют не делать наружную изоляцию, а также увеличивают длительность эксплуатации сооружений (благодаря устойчивости против агрессивного воздействия транспортируемой среды). Достоинством таких трубопроводов является также и то, что сопротивление движению жидкостей или газов в более гладких алюминиевых трубах на 10 - 15% меньше, чем в стальных, а поэтому можно соответственно уменьшить мощность компрессорных станций. [21]

Листы марки АМц отлично поддаются деформации, как в холодном, так и в горячем состояниях. Низкий предел текучести не позволяет применять их повсеместно, а использовать, в основном, для конструкций с малой нагрузкой. Теплопроводность АМц высокая, почти как у чистого алюминия и его можно использовать для изготовления радиаторов охлаждения. [3]

7. Способы улучшения функциональных свойств.

Для алюминиевых сплавов широкое распространение получили три основных вида термической обработки: отжиг, закалка, термомеханическая обработка и старение.

Алюминиевые сплавы отжигают тогда, когда возникающая по тем или иным причинам неравновесная структура обуславливает появление нежелательных свойств, чаще всего пониженной пластичности. Наиболее распространены три разновидности неравновесных состояний алюминиевых сплавов. [22]

1. Неравновесное состояние, свойственное литым сплавам. Скорости охлаждения сплавов при литье слитков, а также при всех видах фасонного литья значительно превышают скорости охлаждения, необходимые для равновесной кристаллизации.

2. Неравновесное состояние, вызванное пластической деформацией.

3. Неравновесное состояние, являющееся результатом предыдущей термической обработки. Основная особенность такого состояния - присутствие в сплаве более или менее пересыщенного (легирующими компонентами) твердого раствора на основе алюминия.

Все рассмотренные разновидности неравновесных структур могут быть устранены отжигом, причем во всех случаях после отжига повышается пластичность (хотя другие свойства в зависимости от исходного состояния меняются по-разному). Очевидно, что процессы, происходящие при отжиге литого, деформированного и предварительно термически обработанного материала, различны, а, следовательно, необходимо выбирать и разные режимы отжига. [22]

Рекристаллизационный отжиг наиболее распространен в качестве промежуточной технологической операции между операциями холодной деформации или между горячей и холодной деформацией. В ряде случаев рекристаллизационный отжиг используют в качестве окончательной термообработки деформированных полуфабрикатов, в частности, когда изделие должно отличаться низкой или умеренной прочностью в сочетании с высокими характеристиками пластичности. [23]

Цель закалки - получить в сплаве предельно неравновесную структуру (пересыщенный твердый раствор с максимальным содержанием легирующих элементов). Такая структура обеспечивает возможность дальнейшего упрочнения старением. Закалку применяют для сплавов, претерпевающих фазовые превращения в твердом состоянии. В алюминиевых сплавах, используемых в промышленности, наблюдается лишь один вид фазовых превращений; при нагреве интерметаллидные фазы растворяются в алюминии, а при охлаждении вновь выделяются из твердого раствора. [19]

Закалка возможна только для алюминиевых сплавов, содержащих компоненты, растворимость которых в твердом алюминии возрастает с температурой, причем в количествах, превышающих растворимость при комнатной температуре. Закалка алюминиевых сплавов заключается в нагреве их до температуры, при которой легирующие компоненты полностью или частично растворяются в алюминии, выдержке при этой температуре и быстром охлаждении до низкой температуры (10- 20°C). В результате такой обработки структура, свойственная температуре нагрева, может быть получена при комнатной температуре, так как при быстром охлаждении распад твердого раствора (выделение интерметаллидных фаз) не успевает происходить. При комнатной температуре твердый раствор перенасыщен, так как после закалки содержание легирующих компонентов в твердом растворе значительно превышает их предельную равновесную концентрацию при комнатной температуре. [15]

Смысл этого нагрева - термическая активация диффузионных процессов.

Старение представляет собой выдержку закаленного сплава при некоторых относительно низких температурах, при котором начинается разложение пересыщенного твердого раствора или происходят структурные изменения в твердом растворе, которые являются подготовительными для разложения. Сильная пересыщенность твердых растворов в закаленных алюминиевых сплавах обуславливает их повышенную свободную энергию. Распад твердого раствора ведет к уменьшению «свободной энергии системы» т.е. в закаленном сплаве распад твердого раствора является самопроизвольно идущим процессом. [22]

Естественное старение - выдержка закаленных алюминиевых сплавов в естественных условиях, которая приводит к определенным изменениям структуры и свойств, например, повышение прочности.

Искусственное старение - нагрев закаленных алюминиевых сплавов до относительно невысоких температур (обычно в интервале 100-200°C) и выдержка в пределах от нескольких десятков часов при этих температурах. [22]

Для улучшения физико-механических и физико-химических свойств используются различные методы ионно-лучевой модификации. Применение ионных пучков вызывает в материале ряд структурных изменений. Дефекты, обусловленные бомбардировкой ионами высоких энергий, взаимодействуют как с матрицей, так и с имплантированными ионами.

Для закаленных и естественностаренных сплавов наблюдается резкое уменьшение микротвердости H при имплантации до дозы 10^{13} см⁻². Последующее увеличение дозы до $3 \cdot 10^{14}$ см⁻² приводит к возрастанию величины H и для естественностаренных образцов ее значение превышает исходные при всех глубинах

индентирования. Влияние имплантации на микротвердость искусственно состаренных образцов не так значительна, а для перестаренных сплавов наблюдается монотонное увеличение микротвердости с ростом дозы имплантации. [26]

Изменение прочностных свойств сплава Д16, имплантированного ионами криптона с энергией 245 МэВ, определяется его исходным структурно-фазовым состоянием. В сплавах с равновесной структурой происходит радиационное упрочнение, для сплавов с метастабильными выделениями наблюдается разупрочнение, степень которого уменьшается с ростом дозы имплантации. Иницируемые ионной имплантацией процессы распада твердого раствора, старения и динамического возврата приводят к изменению уровня микронапряжений в матрице сплавов и соответствующему изменению их микротвердости. [26]

Способы улучшения функциональных свойств сплава Д16.

Таблица 10. Влияние режима обработки на механические свойства сплава Д16. [25]

| Состояние сплава | $\sigma_{в}$, МПа | δ , % | Твердость НВ |
|---|--------------------|--------------|--------------|
| Отжиг | 210 | 18 | 45 |
| Закалка | 300 | 18 | 75 |
| Закалка + естественное старение | 420 | 15 | 100 |
| Закалка + искусственное старение | 440 | 6 | - |
| Закалка+ нагартовка 5...7% + искусственное старение | 490 | 5.5 | - |

Сплавы типа дуралюминов по сравнению с другими алюминиевыми сплавами наиболее чувствительны к скоростям охлаждения при закалке. Поэтому на практике необходимо строго выполнять технологические режимы закалки, не допускать задержку изделий и полуфабрикатов на воздухе, после извлечения из печи; повышения температуры закалочной среды; повышения массы и нарушения расположения деталей и полуфабрикатов в садке. [5]

Большое влияние на скорость охлаждения при закалке оказывает температура закалочной воды. Как правило, для малогабаритных полуфабрикатов температура воды 40~50°C обеспечивает удовлетворительный уровень сопротивления и МКК (Межкристаллическая коррозия) и РСК. [5]

В результате закалки длина образцов из сплавов Д16 и Д1 (Al-Cu-Mg) сильно уменьшается. Уменьшение размеров после закалки можно объяснить растворением фаз, содержащих медь, которая уменьшает параметр решетки алюминия. После естественного старения наблюдается незначительное уменьшение длины закаленных образцов. При

искусственном старении при 130-200° С размеры в первоначальный период уменьшаются, а затем начинают расти (рисунок слева). Последнее объясняется распадом твердого раствора с выделением и коагуляцией упрочняющих фаз ($CuAl_2$ и S), что согласуется с данными об увеличении параметра решетки сплавов системы Al-Cu в процессе старения при 200° С и выше. С повышением температуры старения выше 200° С сразу наблюдается резкое увеличение длины образцов. 24-часовое старение при 190° С не приводит к стабилизации размеров в процессе нагрева, в то время как при 225° С для этого достаточно 6 ч. [19]

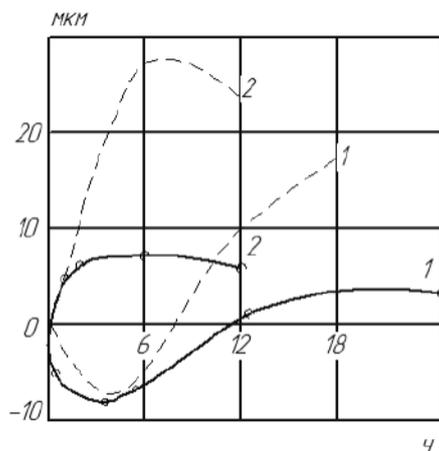


Рисунок 12. Изменение размеров закаленных образцов из сплава Д16 (сплошные линии) и Д1 (пунктир) в зависимости от продолжительности старения. [19]

Высокая пластичность сплава после закалки позволяет формоизменять полуфабрикаты, с целью изготовления деталей, пока легирующие элементы находятся в твердом растворе.

Сущность процесса старения дуралюмина составляет, распад пересыщенного твердого раствора или подготовительные к распаду процессы.

При естественном старении распада пересыщенного твердого раствора не происходит, а происходит лишь подготовка к распаду. Сущность этих подготовительных процессов заключается в том, что в результате диффузии атомов Cu в решетке α – раствора образуются частички, обогащенные атомами Cu (до 50-55%), называемые зонами Гинье-Престона. Образование зон Гинье-Престона приводит к искажению решетки α – раствора, возникновению больших внутренних напряжений, что и является причиной упрочнения. Процесс естественного старения заканчивается образованием зон Гинье-Престона. [16]

Процесс искусственного старения также начинается с образования зон Гинье-Престона. С повышением температуры старения возникают зоны большего размера. Однако, процесс искусственного старения не останавливается на образовании зон Гинье-Престона, а идет дальше. На базе зон Гинье-Престона возникает неустойчивая фаза так

называемая θ – фаза с тетрагональной кристаллической решеткой, по составу близкая к химическому соединению $CuAl_2$, так же образуется S-фаза (Al_2CuMg). Вследствие процесса коагуляции этих фаз, происходит постепенное снижение прочности.

Искусственное старение дуралюмина не только дает меньший эффект упрочнения по сравнению с естественным, но и снижает пластические свойства, увеличивает чувствительность к концентраторам напряжений и уменьшает коррозионную стойкость сплава. [16]

Преимущественное применение естественного, а не искусственного старения дуралюминов может быть обосновано при помощи графиков, приведенных на рис. 12. Как видно из этих графиков, наибольшее упрочнение дуралюминия может быть достигнуто при естественном старении, т. е. в результате выдержки закаленного сплава при обычной температуре 20 °С. Упрочнение в результате искусственного старения, проводимого при температуре 100, 150 и 200 °С, оказывается менее значительным.

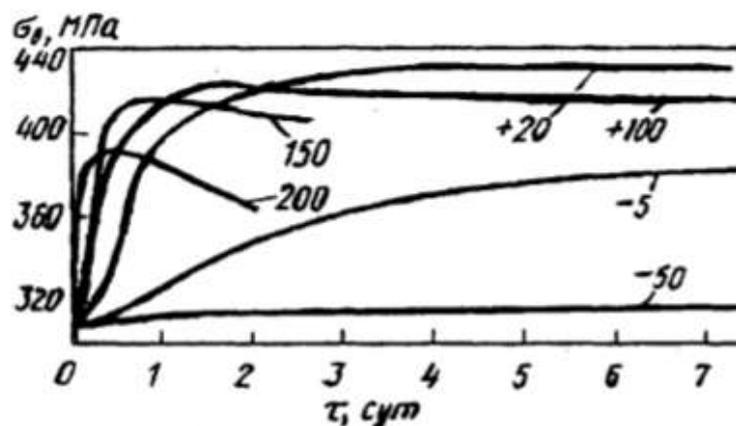


Рисунок 13. Изменение прочности дуралюмина в зависимости от режима старения. [23]

Сплав Д16 после старения при 200 °С имеет сравнительно малую степень перенасыщения твердого раствора. Таким образом, относительно малая степень перенасыщения твердого раствора, низкая диффузионная подвижность атомов меди в алюминии, а также отсутствие резких перенапряжений в кристалле при образовании выделений обеспечивают достаточную стабильность структуры и высокое сопротивление микропластическим деформациям в условиях эксплуатации.

Анализ фазового состава сплава Д16 показал наличие большого количества избыточных растворимых, но не растворенных интерметаллидных фаз.

Установлено, что снижение доли нерастворенных фаз до 2% приводит к заметному повышению характеристик вязкости разрушения и сопротивления малоцикловой усталости. Эти исследования привели к разработке сплава 1163. [12]

Способы улучшения функциональных свойств сплава АМц.

Важнейшей термической обработкой для сплава АМц является рекристаллизационный (полный) отжиг (450-470 °С) или дорекристаллизационный (неполный) отжиг (200-300 °С). Если проводить полный отжиг, то сплав будет более мягким (относительное удлинение 23%), и будет маркой АмцМ. Если проводить неполный отжиг – АмцП (полунагартованный с относительным удлинением 10%)

При отжиге алюминиевых сплавов возможно формирование крупнозернистой структуры. Причем это возможно не только на стадии собирательной рекристаллизации, но и на стадии первичной. Нельзя забывать, что рассматриваемом сплаве АМц главным легирующим элементом является марганец - одна из главных причин роста зерна. [24]

Прочность сплава АМц возрастает с увеличением степени легирования, но при этом пластичность уменьшается.

Данный сплав относится к термически не упрочняемым сплавам, окончательной термообработкой которого является рекристаллизационный отжиг с произвольным охлаждением. Для устранения крупнозернистости, вызванной марганцем, необходимо повысить скорость нагрева до температуры отжига, избегать пониженных температур, уменьшить длительность выдержки и легировать Ti . Охлаждение проводят произвольно. [24]

Заключение.

В ходе выполнения курсового проекта была достигнута заданная цель путем выполнения поставленных задач.

Из всего вышеизложенного, можно подвести итог, что алюминий и его сплавы обладают уникальным сочетанием высоких технологических свойств и физических характеристик, а также, учитывая его «неисчерпаемое» количество в земной коре, можно сказать, что алюминий и его сплавы самые перспективные материалы.

Трудно поверить, но всего 150 лет назад алюминий считался серебром из глины и был чрезвычайно дорогим металлом. Сегодня алюминий занимает второе место в мире по объемам потребления среди всех металлов, уступая лишь стали. В ближайшие десятилетия спрос на алюминий продолжит расти опережающими темпами. И правда: сейчас трудно найти отрасль промышленности, где бы не использовался алюминий или его сплавы – от микроэлектроники до тяжелой металлургии, от бытовых столовых приборов до невероятно сложных космических аппаратов.

Алюминий является крупнейшим по объему торгов биржевым товаром среди всех металлов в мире. На него приходится почти треть заключаемых на LME (ведущая мировая товарная биржа, специализирующаяся на торговле цветными металлами) контрактов. На бирже торгуются свыше 100 марок алюминия от ведущих производителей, она работает более чем с 700 различными специализированными складами для металлов в 14 странах мира. Ежегодно мировая потребность в алюминии увеличивается в среднем на 5-7%. Так, мировое потребление первичного алюминия в 2014 году по сравнению с 2013 годом увеличилось на 7% – до 54,8 млн тонн. А по итогам 2015 года мировой спрос должен вырасти еще на 6% – до 58 млн тонн. К 2030 году объем потребления «крылатого» металла может перевалить за 80 млн тонн, таким образом позволяя алюминию не только отстоять, но и укрепить свои лидерские позиции как ключевого конструктивного материала нашего времени. [10]

В настоящее время разрабатываются новые сплавы на основе алюминия, позволяющие еще больше расширить сферу применения этих материалов. Современная наука и технология идет по пути создания материалов, сочетающих максимально возможный набор полезных качеств. [10]

Недаром знаменитый писатель Н.Г. Чернышевский в своем произведении «Что делать?» писал: «Рано или поздно алюминий заменит собой дерево, может быть и камень. Но как же это богато! Везде алюминий и алюминий. Этому металлу принадлежит будущее».

Список используемой литературы.

1. Ю.М Лахтин, В.П Леонтьева Материаловедение: Учебник для высших технических заведений. – 4-е изд., стр 384.
2. Кушебина А.К Статья «Анализ свойств алюминия в нано- и микроструктурах».
3. А.Р.Луц, А.А. Суслина, Алюминий и его сплавы: Учебное пособие Самар. гос. техн. ун-т, 2013
4. Гринева С.И., Коробко В.Н., Кузнецов А.И., Сычев М.М. Алюминий и сплавы на его основе. Учебное пособие. /СПб, СПбГТИ(ТУ). – 2003. – 22 с.
5. Центральный металлический портал РФ. [Электронный ресурс] //Алюминий Д16: [сайт] – Режим доступа: <https://teh-stl.ru/wp-content/uploads/2018/11/D16.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 25.05.2020).
6. Центральный металлический портал РФ. [Электронный ресурс] //Алюминий Д16: [сайт] – Режим доступа: <https://teh-stl.ru/wp-content/uploads/2018/11/AMts.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 25.05.2020).
7. Валуев Д.В, Микроскопическое исследование структуры алюминиевых сплавов, 2014
8. А. К. Вершина, Н. А. Свидунович, Д. В. Куис, О. Ю. Пискунова Состав – структура – свойства цветных металлов и сплавов, полимерных материалов.
9. Елагин, В.И. Пути развития высокопрочных и жаропрочных конструкционных алюминиевых сплавов в XXI столетии [Текст]/ В.И. Елагин / Металловед. и терм. обр-ка металлов: науч.-техн. и произв. журн.,- №9.-2007. С. 3-11.
10. Сайт об алюминии. [Электронный ресурс] // Как устроен мировой рынок алюминия: [сайт] – Режим доступа: https://aluminiumleader.ru/economics/how_aluminium_market_works/, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 25.05.2020).
11. Реферат по дисциплине «История и философия науки» на тему: «История развития электролитического получения алюминия». 2017 С. 12-15.
12. Металловедение алюминия и его сплавов: Справ. рук-во / Под ред. И.Н. Фридляндера. М.: Металлургия, 1971.
13. Э.Ф Матвеева, Е.И Тупикин. Методика обучения химии. Первоначальные знания по химическим производствам. 48 стр.
14. Информативно технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство алюминия. Москва. Бюро НТД. 2016. С.

15. Щенков В.В., Литвак С.Н. Разработка новых технологических процессов получения алюминия // Цв. металлургия: Бюл. НТИ / Цветметинформация. - 1974. - №9. - С. 38 - 41.
16. Лекция материаловедение [Электронный ресурс] //Термическая обработка сплава Д16: [сайт] – Режим доступа: <https://helpiks.org/5-95874.html>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 25.05.2020).
17. Симонов В.Н., Пучков Ю.А., Андреев П.П., Теория термической и химико-термической обработки. – 2014. – Москва. С. 26-28
18. Белов Н.А. Фазовый состав алюминиевых сплавов. – 2009.
19. Материаловедение и технологии материалов [Электронный ресурс] // Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевого сплава Д16: [сайт] – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/28737/1/TPU213193.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 25.05.2020)
20. Статьи. Космические сплавы [Электронный ресурс] //: Перспективы использования алюминия в космической отрасли [сайт] – Режим доступа: <https://tdsm.ru/article/view/perspektivy-ispolzovania-aluminia-v-kosmiceskoj-otrasli-cast-i>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 25.05.2020)
21. Горынин И.В. и др. Алюминиевые сплавы. Применение алюминиевых сплавов: Справочное руководство. М.: Металлургия, 1978 – 364с.
22. Статьи. Алюминиевые сплавы [Электронный ресурс] //: Термообработка алюминиевых сплавов [сайт] – Режим доступа: https://www.ntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/instit_fakul_kaf_shkoly/ips/no_vye_vozmozhnosti_dlya_kazhdogo/materialoved_term_obr_i_met_issl_met_i_spl/tema8/termoobr_alumin_splavov.pdf, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 25.05.2020)
23. Мальцева Т.В., Озерец., Ленина А.В., Учебное пособие. Цветные металлы и сплавы. – 2019. – Екатеринбург. С. 14 – 32.
24. Л.А. Московских, Ю.Г. Головачева ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
25. Галимов Э. Р., Абдулин Л.А., Современные конструкционные материалы для машиностроения. – 2020 – Санкт -Петербург. С. 117 – 125.
26. Анищик, В.М., Структурно-фазовая стабильность дисперсионно-твердеющего сплава Д16 при высокоэнергетической имплантации ионов криптона // Взаимодействие излучения с твердым телом: материалы III Международной научной конференции, Минск. С. 13-15.