

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

Д-р. физ.-мат. наук, профессор

 Э.Р. Шрагер

«06»  2022г.

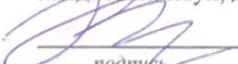
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА
АМГ5 С ДОБАВЛЕНИЕМ ЧАСТИЦ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ

по направлению подготовки 16.03.01 Техническая физика
направленность (профиль) «Теплофизика»

Ахмадуллин Тимур Матниёзович

Руководитель ВКР

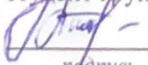
канд. техн. наук, доцент каф.

 И.А. Жуков

«06»  2022 г.

Автор работы

студент группы № 101806

 Т.М. Ахмадуллин

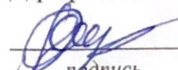
«06»  2022 г.

Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации.
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

Д-р. физ. -мат. наук, профессор

 Э.Р. Шрагер

подпись

« 06 » марта 2022 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра обучающегося
Ахмадуллин Тимуру Матниёзовичу

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки 16.03.01 «Техническая физика», направленность (профиль)
«Теплофизика»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Исследование структуры и физико-механических свойств сплава АМг5 с добавлением частиц
древесного угля.

Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) в учебный офис / деканат – 10.06.2022 г. б) в ГЭК – 10.06.2022 г.

2 Исходные данные к работе:

Объект исследования – Сплав АМг5 с добавлением частиц древесного угля.

Предмет исследования – Структура и механические свойства сплава АМг5 с добавлением
частиц древесного угля

Цель исследования – Исследование структуры и механических свойств сплава АМг5 с
добавлением микроразмерных частиц древесного угля
полученного с применением механической и вибрационной
обработки.

Задачи:

-Аналитический обзор литературы по теме исследования.

-Подготовка исходных материалов

-Получение экспериментальных образцов алюминиевого сплава АМг5 с добавлением частиц
углерода

-Подготовка металлографических шлифов с использованием шлифовальной машины.

-Получение и исследование изображений микроструктуры с помощью методов оптической
микроскопии и цветной металлографии.

-Расчет среднего размера зерна методом случайных секущих

-Анализ полученных данных и построение графиков

Методы исследования:

Подготовка металлографических шлифов с использованием шлифовальной машины. Электро-
химическое травление для получения оксидной плёнки на поверхности шлифа, пригодного для
исследования на оптическом микроскопе. Обработка изображений, полученных с оптического
микроскопа на специальном ПО. Расчёт среднего размера

зерна методом случайных секущих. Анализ полученных данных и построение графиков.

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, - Лаборатория нанотехнологий и металлургии

4 Краткое содержание работы

В данной работе было проведено исследование структуры и физико-механических свойства сплава АМг5, при ведение микроразмерных частиц угля. В результате исследования были получены образцы исходного сплава АМг5 и сплава, модифицированного частицами углерода. Введение углерода в сплав АМг5 позволило увеличить предел текучести на 15%, предел прочности на 13%, относительное удлинение на 25%. Испытания на твёрдость по методу Бринелля, показало увеличение твердость сплава на 25%. Также введение углерода позволило увеличить количество

зерна и уменьшить средний размер зерна на 25%.

Руководитель выпускной квалификационной работы

доцент каф. прикладной аэромеханики

должность, место работы

Задание принял к исполнению

студент гр. 101806, ФТФ, НИ ТГУ

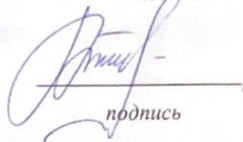
студент, группа



подпись

И.А. Жуков

И.О. Фамилия



подпись

Т.М. Ахмадуллин

И.О. Фамилия

АНОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа бакалавра на тему «Исследование структуры и физико-механических свойств сплава АМг5 с добавлением частиц древесного угля».

Выпускная квалификационная работа изложена на 41 страницах, содержит 17 рисунков, 5 таблиц, 45 источников литературы.

Исполнитель: Ахмадуллин Тимур Матниёзович, физико-технический факультет, кафедра прикладной аэромеханики, 16.03.01 – Техническая физика, профиль – Теплофизика.

Руководитель ВКР: Илья Александрович Жуков к. т. н., зав. лаб. нанотехнологий металлургии НИ ТГУ.

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию структуры и физико-механических свойств сплава АМг5 с добавлением частиц древесного угля.

Предметом исследования в работе, является исследование структуры и физико-механических свойств сплава АМг5 с добавлением частиц древесного угля.

В ходе исследования материалов, были использованы методы подготовки образцов для металлографических исследований, получены измерения твёрдости и микротвёрдости, рассчитан средний размер зерна методом случайных секущих и проведен анализ экспериментальных кривых «напряжение-деформация».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Структура, особенности свойства алюминия и его сплавов.....	5
1.1 Строение атома и кристаллической решетки алюминия	5
1.2 Свойства алюминия	6
1.3 Структурные свойства алюминия	7
1.4 Алюминиевые сплавы.....	7
1.4.1 Сплавы системы Al-Mg	8
2 Свойства и способы упрочнения сплавов алюминий-магний	11
2.1 Механические свойства сплавов	11
2.2 Способы упрочнения сплавов алюминий-магний.....	14
2.2.1 Отжиг сплавов.....	14
2.2.2 Деформационное упрочнение	14
2.2.3 Легирование	16
2.2.4 Упрочнение посредством модифицирования.....	17
3 Виды и методы получения композиционных материалов.....	20
3.1 Композиционные материалы.....	20
3.2 Виды и классификация композиционных материалов	20
3.2.1 Металломатричные композиты.....	21
3.3 Методы получения металломатричных композитов	22
3.3.1 Жидкофазный метод.....	23
3.3.2 Твердофазный метод	24
3.3.3 Метод осаждения	24
4 Современные исследования в области модифицирования композиционных материалов.....	26
5 Материалы и методы исследования	28
5.1 Исходные материалы	28
5.2 Методы получения и исследования	28
6 Результаты исследования полученных образцов	31
Заключение	36
ЛИТЕРАТУРА.....	37

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время алюминий и его сплавы актуальное направление для исследования. Актуальность обусловлена ориентированностью машиностроительных, авиастроительных и ракетостроительных компаний в сторону замены тяжеловесных материалов (сталь и др.) на легкие и сверхлегкие материалы, при этом отвечающие всем критериям надежности. Сплавы алюминия имеют плотность в 3 раза ниже чем у стали, поэтому это можно использовать для повышения грузоперевозочной эффективности, либо использовать для повышения мобильности и снижения, сокращения топливопотребления, что положительно скажется на экономическую составляющую и экологическую.

Помимо сравнительной малой плотности, алюминий отличается высокой удельной прочностью, хорошими литейными свойствами и высокой стойкостью к внешним химическим воздействиям. Продукты алюминиевой индустрии широко применяются во всех промышленных сферах. Согласно информации Алюминиевой Ассоциации, спрос алюминия в России будет расти с каждым годом и увеличится до 6.5 млн. тонн в 2035 году. Такой высокий спрос алюминиевой продукции обусловлен широким ассортиментом, что позволяет изготовить практически любую конструкцию.

На данный момент перспективными представляется сплавы системы алюминий-магний AMg5, AMg7 и др., с добавлением других элементов (Zn, Sc, Er, Si, Ti, В и т.д). Модификация структуры сплавов Al-Mg позволяет получать высокие физико-механические свойства конечных изделий. Свариваемость сплава Al-Mg практически не отличается от технически чистого алюминия. При увеличении процентного содержания магния в сплаве увеличиваются прочностные характеристики. Однако, при увеличении содержания магния снижается пластичность, ухудшается свариваемость, приводящее к увеличению пористости сварного соединения.

В качестве упрочнения сплава Al-Mg, возможно применение различных наночастиц и частиц оксидов, боридов и др. Введение этих тугоплавких частиц

приводит к ухудшению свариваемости сплава. За счет введения наночастиц к примеру, алмаза, при высоких его механических свойствах, возможно нивелировать процесс плохого сваривания листов сплава.

Цель работы. Изучение структуры и механических свойств сплава АМг5 с добавлением микроразмерных частиц древесного угля, полученного с применением механической и вибрационной обработки.

Основные задачи. Подготовка металлографических шлифов с использованием шлифовальной машины. Электрохимическое травление для получения оксидной плёнки на поверхности шлифа, пригодного для исследования на оптическом микроскопе. Обработка изображений, полученных с оптического микроскопа на специальном ПО. Расчёт среднего размера зерна методом случайных секущих. Анализ полученных данных и построение графиков.

1 Структура, особенности свойства алюминия и его сплавов

1.1 Строение атома и кристаллической решетки алюминия

Алюминий – химический элемент, открытый в 1825 году, расположенный в третьей группе периодической системы химических элементов под номером 13, с атомной массой 26,98154 г/моль. Алюминий среди металлов занимает первое место по распространенности во всем мире, и второе место после железа по использованию в промышленном производстве. На долю алюминия в земной коре приходится около 7-9%. В чистом виде он не встречается, зато соединений содержащих алюминий очень много. Основным сырьем для получения алюминия служат бокситы и нефелины.

Радиус атома алюминия составляет 143 пм, а радиус положительно заряженного иона Al^{3+} – 51 пм. Ядро атома алюминия содержит в себе 13 положительно заряженных протонов и 14 нейтрально заряженных нейтронов. В природе существует три радиоактивных изотопа алюминия с массовыми числами 26, 28 и 29, которые образуются прямым захватом нейтрона ядром. В возбужденном состоянии на внешнем электронном облаке алюминия находится три валентных электрона [2]. Поэтому в соединениях с ковалентной связью алюминий проявляет валентность III. Во всех соединениях алюминий проявляет постоянную степень окисления: +3. Полную электронную конфигурацию атома алюминия можно записать как $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$.

При кристаллизации металла ионы электрона занимают углы куба и центры граней, образуя при этом гранецентрированную кубическую решетку (рис. 1) с периодом $a=0,404$ нм, устойчивую при температурах от 4 К до температуры плавления. Другие аллотропические модификации у алюминия отсутствуют. Координационное число алюминия равно 12. Алюминий также обладает высокой теплопроводностью и электропроводностью и имеет очень большую скрытую теплоту плавления.

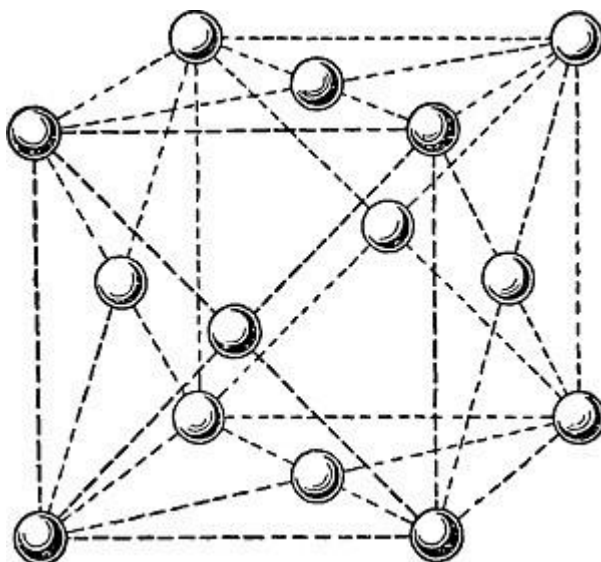


Рисунок 1 – Кристаллическая решетка алюминия

1.2 Свойства алюминия

Характерными свойствами чистого алюминия является его маленькая плотность $\rho=2,7 \text{ г/см}^3$ и низкая температура плавления $t_{пл}=660 \text{ }^\circ\text{C}$. Сравнивая с железом, плотность которого равна $7,8 \text{ г/см}^3$, а температура плавления достигает $1535 \text{ }^\circ\text{C}$, алюминий в 3 раза выигрывает в меньшей плотности, за счет чего алюминий и сплавы на его основе получают широкое применение в авиастроении, в машиностроении и в космической промышленности. Алюминий имеет оксидную пленку Al_2O_3 толщиной $5\ldots 10 \text{ нм}$ [3], образующуюся на его поверхности, которая связана с металлом очень хорошим сцеплением и делает металл коррозионностойким и устойчивым к окислению в воздухе и в других средах, что делает его очень востребованным металлом в авиастроении, автомобильной, химической, строительной промышленности.

Еще одним отличительным свойством алюминия выступает высокая пластичность. Он хорошо поддается горячей и холодной механической обработке: прокатке, ковке, волочению, прессованию, гибки, листовой штамповке, резанию и другим воздействиям [4].

Алюминий, подверженный прокатке и отжигу имеет предел текучести $\sigma_{0.2}=3 \text{ кг/мм}^2$, предел прочности $\sigma_b=10 \text{ кг/мм}^2$, твердость по Бринеллю $\text{HB}=25$, относительное удлинение $\delta=35\%$ и относительное сужение $\psi=80 \%$ [5].

1.3 Структурные свойства алюминия

Выделяющиеся при кристаллизации алюминия кристаллы формируют неправильные кристаллиты многогранной формы, которые состоят из элементарных ячеек, присоединяющихся друг к другу. В зависимости от чистоты алюминия меняется размер кристаллитов. У чистого алюминия грубее макроструктура и кристаллиты большего размера. Присутствие в технически чистом алюминии нерастворимых примесей может приводить к измельчению структуры: если дисперсные тугоплавкие включения равномерно распределить по объёму расплава, то данные частицы могут выступить в качестве дополнительных центров кристаллизации, что обусловит измельчение зерновой структуры.

При кристаллизации алюминия примеси концентрируются по границам зерен, мешая росту кристаллитов. Чем чище металл, тем менее заметными и протяженными становятся границы зерен. В металле повышенной чистоты границы полностью исчезают, за счет чего рост кристаллитов продолжается, и они сливаются, образуя монокристалл [6].

1.4 Алюминиевые сплавы

Технически чистый алюминий (99,9% Al) обладает слабым конструкционным потенциалом, так как имеет низкие физико-механические характеристики. Добавление в алюминий небольшого количества марганца, меди, магния, кремния или цинка в качестве легирующего элемента, а также воздействия на полученный алюминиевый сплав термической или деформационной обработкой, позволяют увеличить механические характеристики в несколько раз. Всего лишь девять элементов имеют предельную растворимость в твердом алюминии в количестве более 1.5% масс. К ним относятся цинк, серебро, галлий, марганец, магний, германий, медь, литий и кремний.

Все алюминиевые сплавы подразделяются на деформируемые

(подвергаемые горячей и холодной обработке давлением) и на литейные. Границей между этими видами сплавов является предел насыщения твердого раствора при эвтектической температуре.

Литейные сплавы имеют в структуре эвтектику и лежат за пределом насыщения. Литейные сплавы отличаются хорошими литейными свойствами, такими как жидкотекучесть, заполняемость, и ликвация. Деформируемые сплавы в свою очередь лежат до предела насыщения и при нагреве позволяют получить однофазную структуру, а также характеризуются высокой пластичностью в состоянии нагрева. Они хорошо поддаются ковке, прокатке, прессованию.

Для обозначения сплавов алюминия используется буквенно-цифровая и цифровая система обозначений. В буквенно-цифровой маркировке буквы могут символизировать алюминий и основной легирующий элемент – АМц (Al-Mn), АМг (Al-Mg); АК6, АК4-1 – алюминий ковочный; АВ – авиаль, Д16 – дюралюминий и др.

1.4.1 Сплавы системы Al-Mg

Сплавы системы Al-Mg называются магналиями и маркируются по принципу АМг1, АМг5 и др., где цифра обозначает среднее процентное содержание магния в сплаве. Магний выступает в качестве основного легирующего элемента, входящего в твердый раствор алюминия, повышающего таким образом его механические свойства [7]. Представителями группы Al-Mg являются сплавы АМг6л и АМг10. Буква «л» означает принадлежность сплава к литейным, в то время как АМг6 является деформируемым. Увеличение содержания магния в магналии приводит к увеличению прочности. Каждый процент магния приводит к повышению предела прочности на 30 Мпа [8]. При этом рост содержания магния способствует снижению пластичности.

Магналии обладают весомыми достоинствами по сравнению с другими алюминиевыми сплавами. За счет минимальной по сравнению с другими сплавами массы, а также повышенной коррозионной стойкости, сплавы алюминия-магния (с содержанием магния 3-6 % [9]) наиболее распространены в

судостроении и авиастроении [8]. Хорошая свариваемость позволяет получать неразъемные соединения, отвечающие эксплуатационным требованиям, при установленной технологии сварки. В комплексе со средними значениями прочности данные свойства позволяют применять при изготовлении сварных конструкций разнообразного назначения в судостроении и авиационной промышленности. Среди деформируемых сплавов алюминия, магналии занимают первое место по объему промышленного производства.

Наряду с множеством достоинств, у магналиев присутствуют также заметные недостатки. Данные сплавы имеют низкие литейные свойства: обладают повышенной склонностью к образованию усадочных трещин и окислению, имеют низкую жидкотекучесть и взаимодействуют с влагой литейных форм [10]. Сплавы АМг непригодны в работе при больших температурах в связи с низкой теплопрочностью [9]. Предел текучести в сравнении, например, с силуминами или дуралюминами, имеет значительно меньшее значение. Повышения предела текучести достигают при использовании нагартовки в процессе холодной деформации.

Сплавы алюминия и магния подходят для изготовления широкого спектра деформируемых полуфабрикатов: листы, плиты, профили, трубы, штамповки и т.д. Такой ассортимент полуфабрикатов позволяет изготовить практически любую требуемую конструкцию. Свойства сплава, необходимого для изготовления изделия, выбирают исходя из его назначения, условий и среды эксплуатации. Помимо пределов текучести, прочности и пластических свойств, при выборе того или иного сплава необходимо учитывать следующие свойства [8]:

- Коррозионная стойкость;
- Свариваемость и надежность сварных соединений;
- Сопротивляемость к ударным нагрузкам;
- Отсутствие склонности к образованию искр при ударах и трении.

В работах В.В. Овчинникова и А.М. Дрица, Д.В. Малова, А.А. Суслиной [11,12,13] и др. рассматриваются сферы применения алюминиевого- магниевых

сплавов. Также, организации, занимающиеся реализацией полуфабрикатов из алюминия, размещают на своих ресурсах информацию о применении данных сплавов [14,15].

Сплав АМг3 (1530) подходит для изготовления корпусов судов, эксплуатируемых в пресной воде, а также для деталей и конструкций, работающих при повышенных температурах (до 150 °С) [8], за счет своей повышенной теплопрочности.

В воде с небольшим содержанием солей применяется сплав АМг5 (1550), а суда, используемые в соленой морской воде, изготавливают из сплава АМг6 (1560).

Для изготовления легких конструкций, используемых в агрессивных средах, хорошо подходит сплав 1980. Прочность сварных соединений составляет 90 % от прочности основного металла после применения термообработки [8].

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики некоторых наиболее распространенных на рынке сплавов Al-Mg [16-18].

Где % – процент магния в сплаве; σ_B – предел прочности; σ_T – предел текучести; δ_5 – относительное удлинение при разрыве;

Таблица 1 – Сравнительные характеристики сплавов Al-Mg

Марка сплава	% Mg	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
АМг3	3.2-3.8	165-185	59-69	11-12
АМг5	4.8-5.8	255-265	110-120	12-13
АМг6	5.8-6.8	275-305	130-145	4-11

2 Свойства и способы упрочнения сплавов алюминий-магний

2.1 Механические свойства сплавов

Механические характеристики сплавов являются показателями диагностирования свойств материалов, которые показывают прочность и устойчивость к различным деформациям. Эти определенные и характерные свойства позволяют сравнивать различные материалы друг с другом, выбирать конкретные характеристики материала для подходящей задачи, а также возможно производить математическое моделирование экспериментов, что, в частности, сокращает временные и финансовые ресурсы.

Твёрдость – это свойство одного материала противостоять проникновению другого материала. То есть оказывать сопротивление деформации или разрушению, когда вводится более твердое и не получающего остаточной деформации тела – индентора [19]. Методы определения твердости делятся на статические, динамические и кинетические, в зависимости от типа приложения нагрузки и измерения прижимного сопротивления индентора. Статистические методы являются наиболее распространённые. В статистическом методе нагрузка наносится на индентор плавно и постепенно. В динамических процессах индентер имеет абсолютную кинетическую энергию. Эта энергия затрачивается на упругую отдачу и образование углубления в виде отпечатка. В динамических методах твердость уточняется не только лишь поверхностным сопротивлением образца, но и в кое-каком размере, объеме материала. Выгодным отличием кинетических методов определения твердости, как оказалось, является непрерывная регистрация процесса введения индентора. В результате можно получить диаграмму нагрузки для индентора и глубину ввода самого индентора. Таким образом, результатом испытания будет не только окончательное значение твердости, но и запись всего кинетического процесса упругопластической деформации материала.

Инженерам для расчетов, не говоря уже о поведении напряженных конструкций и систем, важны константы материалов, которые получены экспериментальным путем. Одним из самых популярных методов получения

констант являются тесты на растяжение. В результате растяжений будет получена диаграмма напряжения-деформации. Анализируя диаграмму, можно получить большое количество информации, среди которой рассматриваются предел прочности, максимальные деформации, предел текучести, и модуль Юнга. Испытания на растяжение проводят на строго регламентированных плоских или же на цилиндрических образцах, называемых «лопатками» (рис. 2) [25].

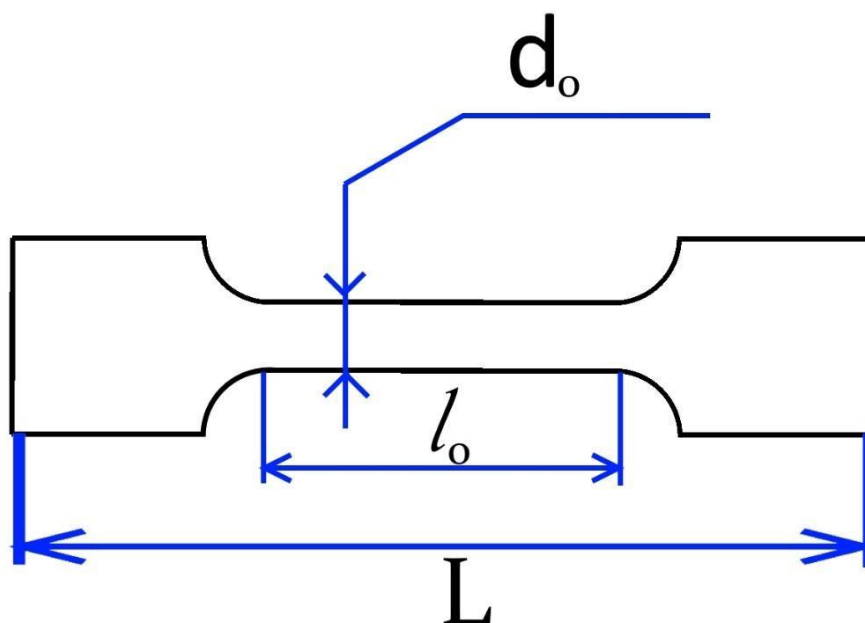


Рисунок 2 – Образец длины L в форме лопатки для испытания на растяжение с рабочей длиной l_0 и площадью поперечного сечения d_0 .

Предел текучести – механическое свойство материала, которое указывает на силу, при которой деформации продолжают увеличиваться без увеличения нагрузки. Данное свойство является важным параметром, которое позволяет рассчитать допустимые напряжения для пластичных материалов. Предел текучести - это точка, в которой начинается сама текучесть (площадь текучести): буквально горизонтальная область диаграммы нагружения (рис. 2). Впоследствии начинаются необратимые изменения, превышающие предел текучести в металле: появление значительных пластических деформаций, перестройка кристаллической структуры металла.

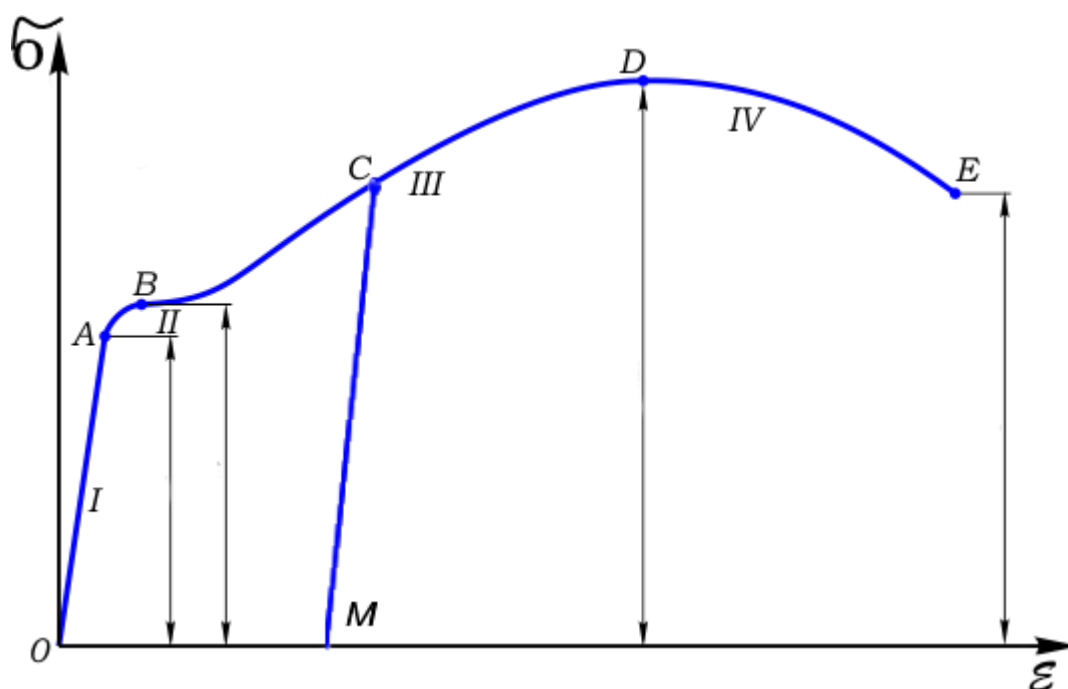


Рисунок 3 – Диаграмма нагружения, на которой обозначены четыре определенных участка: I – участок пропорциональности; II – участок текучести; III – участок самоупрочнения; IV – участок разрушения.

Предел прочности (временное сопротивление) – это параметр материала, соответствующий максимальному значению напряжений (точка D на рисунке 3). При расчете допустимых нагрузок, предел прочности на растяжение, является максимальным значением, деленным на коэффициент запаса.

Наклеп – процесс, который увеличивает прочность и меняющий эластичное свойство металлов, за счет пластической деформации. Наклеп определяет увеличение предела пропорциональности и в то же время снижение пластичности металла при повторных напряжениях. В случае если при испытании на растяжение, металлический образец нагрузить выше точки предела текучести, при этом не доводя до предела прочности (точка C на рисунке 3), то при разгрузке связь между напряжением и деформацией представлена прямой SM , которая параллельна прямому сечению пропорциональности. Отрезок OM диаграммы растяжения представляет собой остаточное или же пластическое удлинение, а соответствующая этому отрезку деформация, называется пластической деформацией.

2.2 Способы упрочнения сплавов алюминий-магний

2.2.1 Отжиг сплавов

Алюминиево-магниевые сплавы термически неупрочняемые. Единственным способом термической обработки таких сплавов является отжиг для снятия нагартовки или внутренних напряжений. Тем не менее, отжиг приводит к повышению коррозионной стойкости. Отжиг наиболее эффективен для сплавов, где содержание магния превышает 5%. Сплавы с меньшим содержанием, без термической обработки устойчивы к водородному охрупчиванию. Отжиг полуфабрикатов часто проводят в диапазоне температур от 310 до 335 °С в течение 1-2 часов, с дальнейшим медленным охлаждением. Для сплава АМg5 из-за достаточно высокого содержания магния рекомендуется поддерживать при температуре 250-260 °С в течение часа при охлаждении [20].

2.2.2 Деформационное упрочнение

Классические подходы к упрочнению алюминиевых сплавов считается, упрочнение деформацией и изложены в научных статьях и работах Хатча [29], И.Л. Розенфельда [30, 31], Добаткина В.И., Синявского В.С. и Н.И. Иваненко [32], Л.Л. Шрайера [33]. Сплавы системы АМg подвергаются упрочнению путем холодной деформации. Холодная деформация проводится при температуре ниже температуры рекристаллизации сплава. Холодная деформация включает в себя процедуры прокатки, ковки, волочения, глубокой вытяжки и др. Во время деформации происходит движение и перемещение дислокаций в архитектуре сплава (рис. 4). Это приводит к их переплетению и увеличению плотности деформаций, что приводит к увеличению свойств сплава, таких как условный предел текучести. Кроме того, временное сопротивление разрыву увеличивается, когда максимальные значения деформации неизбежно снижаются.

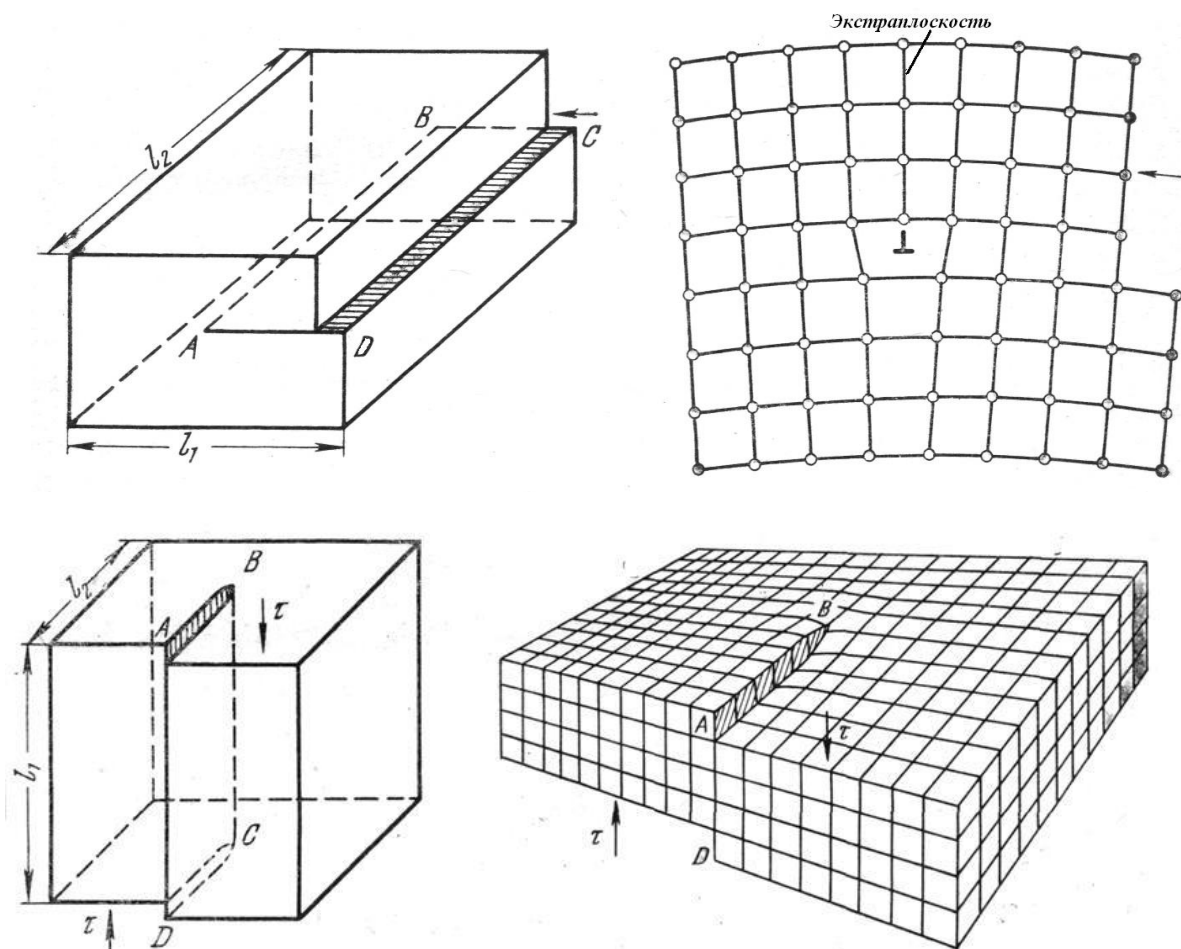


Рисунок 4 – Краевая и винтовая дислокация

Если движущаяся дислокация встречается с частицей, то есть два варианта развития событий - это перерезание частицы и дифракция частицы, называемый механизмом Орована. При реализации происходит процесс, для которого требуется минимальное напряжение.

Модель перерезания частиц представлена на рисунке 5. Она учитывает два случая, когда дислокации являются негибкими или частицы сферические. Дислокации во время движения отсекают частицы, в то время как энергия расходуется на формирование новых пограничных плоскостей.

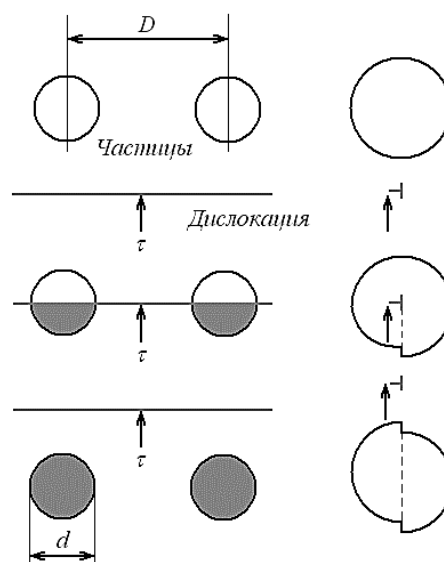


Рисунок 5 – Перерезание частиц дислокацией.

Процессы, происходящие в архитектуре сплава и влияние деформации на твердость сплава подробно описаны в научных статьях и работах В.К. Портного и И.С. Головина [34,35]. Холодное деформационное упрочнение не влияет на свариваемость полуфабрикатов. При высоких степенях наблюдается тенденция к снижению коррозионной стойкости.

2.2.3 Легирование

Легирование - это процесс, в котором в сплав вводятся дополнительные компоненты, которые улучшают физические, химические и механические свойства основного материала. Легирование считается обобщающей концепцией ряда технологических процессов, выполняемых на различных этапах производства металлического материала, с целью повышения качества металлургической продукции. При применении легирования повышается твердость, приобретаются прочность, термостойкость и другие свойства. В этом процессе также происходят нежелательные изменения: часто усиливается коррозионная стойкость, снижается электропроводность, увеличивается относительная плотность.

Ведущими легирующими веществами в алюминий-магниево-сплавов считаются Mn, Cr, Ti, Zr, Zn, Si [36,37,38], при маленьком массовом проценте для

повышения прочности, стойкости к коррозии и свариваемости. Добавление марганца до 1% приводит к уменьшению среднего размера зерна [31], а предел прочности и предел текучести растут приблизительно на 40–50 МПа. При содержании марганца до 1.1% и хрома в пределах 0.2% пластичность буквально не изменяется, а прочность и коррозионная стойкость улучшаются [30,32,33]. Титан и цирконий повышают устойчивость сплава к образованию горячих трещин, при воздействии температуры сварным швом. Добавление цинка в пределах 0.7% повышает предел прочности и предел текучести приблизительно на 10–20 МПа. Кремний в количестве 0.5–0.8% повышает свариваемость, впрочем, негативно воздействует на прочностных параметры сплава [21]. Влияние содержания меди в алюминиевом сплаве на его механические качества показано на рисунке 6.

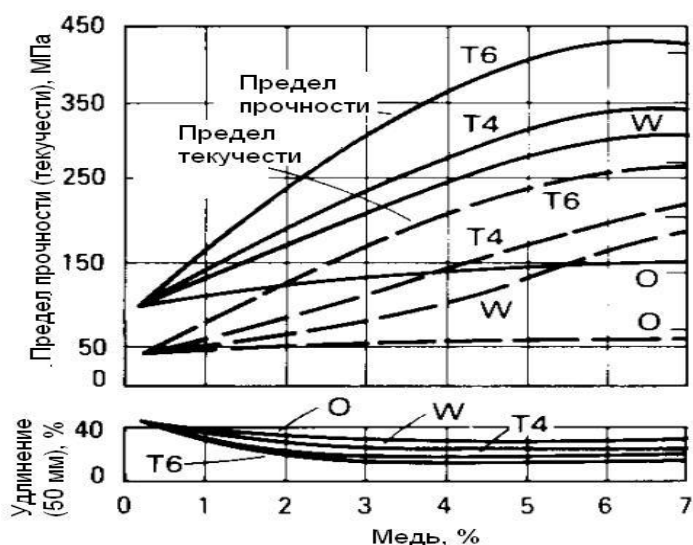


Рисунок 6 – Влияние содержания меди в алюминиевом сплаве

2.2.4 Упрочнение посредством модифицирования

Принцип модифицирования несколько идентичен с легированием. Способ модифицирования заключается в воздействии экстремально на структуру сплава при кристаллизации. В результате этой процедуры меняются физико-механические параметры исходного сплава. Отличительной особенностью модификации является то, что приобретенное свойство

значительно уменьшается при плавлении, в отличие от легирования [38]. Например, при модификации алюминиевого сплава тугоплавкими микро- и наночастицами оксида алюминия, из-за слабого термодинамического равновесия агрегатное состояние матрицы расплава на собственной поверхности заменяется. Где позже образуются вспомогательные центры кристаллизации, что способствует уменьшению среднего размера зерна [39]. Размер зерна оказывает значительное влияние на прочность металла, поскольку границы зерна могут препятствовать движению дислокации; соседнее зерно имеет другую ориентацию решетки, что затрудняет смещение примерно таким же образом. Увеличение количества зерна приводит к увеличению усилий, затрачиваемых на пластическую деформацию. По этой причине металлы с мелкозернистой архитектурой имеют лучшие показатели прочности и пластичности. Упрочнение сплавов за счет уменьшения среднего размера зерна происходит по закону Холла-Петча. Этот закон описывает соотношение предела текучести и среднего размера зерна. Согласно этому закону предел текучести повышается с уменьшением-измельчением зернёной архитектуры. В виде уравнения 1 Холла-Петча связывает прочность со средним размером зерна [40]:

$$\Delta\sigma_{H-P} = \frac{k_p}{\sqrt{d}} \quad (1)$$

где k – коэффициент упрочнения (характеристическая константа каждого материала), d – средний размер зерна.

Когда зернистая архитектура уменьшается и измельчается, механические свойства увеличиваются за счет модификации. Это достигается за счет упрочнения частиц при перераспределении нагрузки, т.е. дислокационное торможение по механизму Орована [41-44].

Упрочнение по Оровану происходит путем введения нано- и микрочастиц в расплавленную матрицу сплава. Движение и перемещение дислокаций за счет препятствий в близ находящихся к друг к другу частиц, приводит к повышению

прочности материала

Огибание дислокациями частиц происходит с помощью механизма Орована. В этом механизме упрочнение металла значительно выше, чем при перерезании частиц дислокациями. При огибании вокруг частицы, дислокации изгибаются и образуют дислокационные кольца (рис. 7), упрочняющие плоскость скольжения.

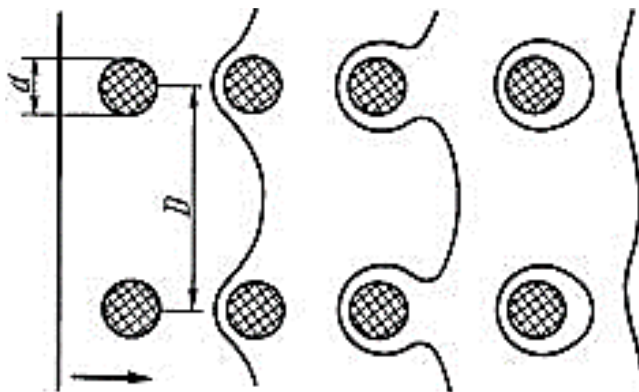


Рисунок 7 – Схема огибания частиц дислокациями по механизму Орована.

Еще одним способом упрочнения является, перенос нагрузки от мягкой матрицы к твердым и жестким частицам, под действием внешней нагрузки. Уравнение 2, введенное Нарданом и Прево, позволяет спрогнозировать вклад в упрочнение металла из-за переноса нагрузки в композитных материалах, модифицированных частицами:

$$\Delta\sigma_{LT} = \frac{1}{2} P_p \sigma_m \quad (2)$$

где P_p – объемная доля модифицирующих частиц, σ_m – предел текучести матрицы, l и t – размеры частиц параллельно и перпендикулярно нагрузке.

3 Виды и методы получения композиционных материалов.

3.1 Композиционные материалы

Композиционный материал (КМ) – структурный (неметаллический или же металлический) материал, состоящий из 2-ух или более компонентов (армирующего компонента и скрепляющих их матрицы) обладающих замечательными суммарными качествами самих компонентов. Предполагается, что компоненты, содержащиеся в композите, должны быть совместимы и не растворяться или иным образом поглощать друг друга. Компоненты в композите имеют армирующие составляющие в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного компонента. Примеры композиционных материалов: пластик, армированный борными, углеродными, стеклянными волокнами, жгутами или же тканями на их основе; алюминий, армированный нитями стали, бериллия и т.д. Комбинируя содержимое, можно получить композиты с необходимыми свойствами: прочность, термостойкость, с высоким модулем упругости, стойкость к истиранию, а также композиты с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами [13].

Свойства композитных материалов (КМ) зависят от состава компонентов (армирующих агентов), их сочетания, количественного соотношения и прочностной связи между ними. Чем выше модуль прочности и упругости усилителя (волокон), тем выше прочность и жесткость композиционного материала. Свойства матрицы определяют прочность композиции при смещениях, сжатии и сопротивлении к усталому разрушению.

3.2 Виды и классификация композиционных материалов

Существуют КМ с металлической и неметаллической матрицей. Композиты с металлической матрицей, именуемые металломатричные композиты ММК (чаще Al, Mg, Ni и их сплавы), упрочены прочными волокнами (волокнистые материалы) или же тонкодисперсными тугоплавкими частицами, не растворяющиеся в ведущем металле (дисперсно-упрочненные материалы).

Металлическая матрица связывает волокна (дисперсные частицы) в единое целое. Волокно плюс связка (матрица), образует ту или иную композицию композита [13].

КМ с неметаллической матрицей нашли обширное применение. В качестве неметаллических матриц используют полимерные, углеродные, и керамические материалы. Из полимерных матриц стали популярными эпоксидная, фенолоформальдегидная и полиамидная матрица. По типу усилителя композитные материалы подразделяются на стекловолокниты, карбоволокниты с углеродными волокнами, бороволокниты и органо-волокниты [14].

3.2.1 Металломатричные композиты

Металломатричные композиты (ММК), как и все композиционные материалы, состоят из двух и более химически и физически различных материалов, для того чтобы придать свойства, которые не могут быть достигнуты ни в одном из материалов по отдельности. Наиболее распространенными являются металлические матрицы с микро- и наночастицами. К примеру волокна Al_2O_3 , вводятся в алюминиевую металлическую матрицу, которая используется в линиях электропередач.

Следует отметить, что, по мнению некоторых исследователей [15-17], композиты ММК преобладают по сравнению с другими неупрочненными металлами и другими композитами, особенно с полимерной матрицей (КПМ).

Что касается металлов, ММК имеют следующие преимущества:

- Снижение веса из-за высокой удельной прочности.
- Формоустойчивость.
- Повышенная температурная стабильность.
- Улучшение производительности при циклических нагрузках.

В основном во всех ММК металл используется в качестве матричного материала. Элементы, введенные в матрицу, могут быть металлическими или керамическими. В общем случае существует 4 вида КМ с металлической матрицей: дисперсно-упрочненные ММК; КМ упрочненные коротким волокном

или нитевидными кристаллами; КМ упрочненные длинными волокнами или пластинками; слоисто-упрочненные композиты.

На рисунке 8 схематично показаны 3 основных типа ММК.

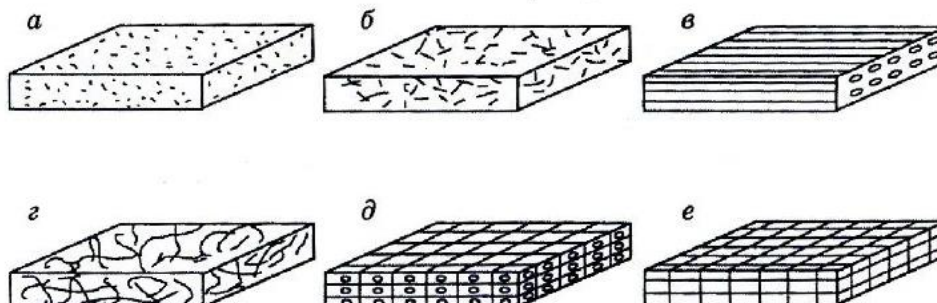


Рисунок 8 – Виды металлических матричных композитов; дисперсно-упрочненные (а,б), упрочненные волокнами (в, г) и слоистые (д,е).

В таблице 2 приведены типы элементов, используемые в композитах.

Таблица 2 – Типы армирующих элементов, используемые в композитах.

Вид	Соотношение сторон	Диаметр, μm	Примеры
Частицы	1-4	0.05-25	SiC, BN, WC, B ₄ C, Al ₂ O ₃
Короткое волокно или нитевидные кристаллы	10-10000	1-5	C, SiC, Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ +SiO ₂
Непрерывное волокно	>100	3-150	SiC, Al ₂ O ₃ , C, B, W, Nb-Ti, Nb ₃ Sn

3.3 Методы получения металломатричных композитов

В настоящее время существует множество технологических процессов, которые можно использовать для изготовления металломатричных композитов. При выборе конкретной технологии следует учитывать конечные потребности,

поскольку не все они обеспечивают однородную структуру, равномерное распределения усилителей и экономическую эффективность. Большинство методов, как показано на рисунке 9, можно разделить на три основных типа: жидкофазные, твердофазные и методы с осаждением (гетерофазные)

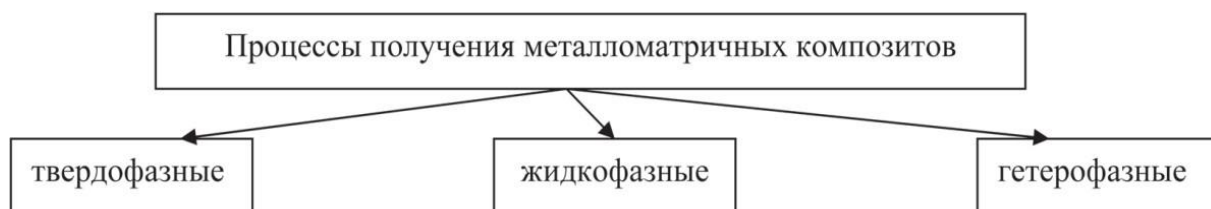


Рисунок 9 – Методы получения композиционных материалов на основе алюминия и магния.

3.3.1 Жидкофазный метод

Жидкофазные методы предполагают плавление матрицы для получения композиционного материала без плавления упрочняющих компонентов (частиц, волокон, каркасов и др.). Жидкофазные методы производства композиционных материалов, обычно включают, как минимум три основных этапа:

1 Расплавление матричного сплава. Температура расплава определяется в зависимости от типа и свойств конкретных сплавов, а также от типа усилителей, которые можно вводить.

2 Введение упрочняющих элементов. В зависимости от типа жидкофазного метода и объёма плавления, процесс введения усилителей может занимать от нескольких минут до нескольких часов.

3 Кристаллизация (затвердевание) сплава. Требуемая структура матрицы в основном зависит от её параметров кристаллизации и может существенно повлиять на распределение усилителей по объёму композиционного материала.

Жидкофазные методы получения композиционных материалов являются наиболее универсальным, поскольку они достигают больших объемов производства и могут получать продукцию различных форм и размеров [18].

3.3.2 Твердофазный метод

Поверхности металлических и неметаллических материалов имеют множество кристаллографических (искажения и дефекты решётки) и химических (наличие оксидов, элементов в аморфном состоянии и др.) дефектов.

При изготовлении композиционных материалов эти дефекты затрудняют создание прочной связи между компонентами из-за невозможности довести их до расстояний действия межатомных сил. Чтобы достичь схватывания между чистыми поверхностями поликристаллических материалов, необходимо, чтобы поверхностные атомы достигли определённого энергетического состояния. Кроме того, подводимая энергия (теплота, упругая или пластическая деформация, ультразвуковые колебания) усилит процесс схватывания между компонентами композиционного материала [19-21]. Также при изготовлении композиционных материалов твердофазными методами большое значение имеет предварительная подготовка исходных компонентов, которая включает очистку поверхности, диспергирование упрочняющих элементов и др.

В основном к твердофазным методам получения металломатричных композитов относят:

- Диффузионное спекание. При получении КМ данным методом, из фольги (листа) и длинных волокон, которые укладываются слоями и в дальнейшем подвергаются термической и механической обработке, происходит диффузия атомов на поверхности матричного материала. Это приводит к сварке и образованию консолидированного композита, состоящего из различных материалов.
- Метод порошковой металлургии. В данном методе получения КМ происходит прессование с последующим спеканием при температуре спекания матрицы

3.3.3 Метод осаждения

Методы осаждения для изготовления металломатричных композитов

основываются на покрытии отдельных волокон матричным материалом и последующей выравнивании волокон между собой путём диффузии [22]. Использование этого метода делает микроструктуру композита более однородной, чем литая, но он сложен в реализации. Методы осаждения делятся на несколько групп:

- Покрытие волокон путём погружения в жидкий металл: осуществляется аналогично как в пропитке, но в данном случае волокна непрерывно проходят через расплав

- Электрохимическое покрытие: метод нанесения покрытия упрочняющими волокнами или частицами, помещённые в электролит, и с анода, под воздействием электрического тока, происходит осаждение необходимого матричного материала на усилителя. Одним из основных преимуществ этого метода является то, что процесс осаждения происходит при температуре, близкой к комнатной и позволяет сохранить структуру усилителей.

- Напыление: процесс распыления металлического расплава на упрочняющие частицы (или волокна), с последующим уплотнением [23].

- Химическое осаждение из паровой фазы: метод нанесения покрытия на усилители, при котором испаренные компоненты на подложке взаимодействуют друг с другом, образуя покрытие. С помощью этого метода можно получить металлические и оксидные покрытия [22].

Физическое осаждение из паровой фазы: метод покрытия, который основан на испарении, при котором матрица формируется на упрочняющих частицах. Этот метод позволяет изготавливать материалы с высокой адгезией между частицами и матрицей и высоким качеством поверхности [22].

4 Современные исследования в области модифицирования композиционных материалов.

Современный этап развития металломатричных композиционных материалов (КМ) характеризуется разработкой методов получения новых видов армирующих и матричных компонентов. К данным методам можно отнести метод модифицирования. Метод заключается в уменьшении размеров зерна, а также изменение формы, размера, и распределения структурных составляющих КМ. Известно, что главным преимуществом мелкозернистой структуры композита, является повышение пластичности и сопротивления к трещинообразованию.

Начиная с середины прошлого века было показано, что модифицировать структуру материала возможно путем внедрения небольших добавок специально подобранных элементов. Изначально, для достижения измельчения вводили специально подобранные лигатуры тугоплавких металлов в печь с расплавом. Так, для алюминия широко применимы малые количества добавок тантала, титана, ванадия, бора, циркония. При введение этих элементов в сотых долях процентов заметно измельчается структура полученного материала.

В настоящее время проводится большое количество исследований по модифицированию сплавов системы алюминий-магний. Введение частиц кремния, углерода, титана, бора и др. значительно повышают характеристики материала.

Так, например, в авиационных конструкциях используют алюмокозиты, армированные дисперсными высокомодульными частицами SiC в количестве 10-20%, обладающие повышенными прочностными характеристиками, жесткостью и износостойкостью. Введение частиц SiC 10% масс. в матричный сплав АМг5, приводит к увеличению предела прочности по сравнению со стандартным сплавом АМг5 примерно на 20%, а предел текучести повышается на 50-60%. При этом пластичность полученного материала уменьшилось на 4-

6%. Измерение твердости сплава АМг5 10% масс.частиц SiC увеличило твердость на 30% [43].

Эффект упрочнения от введения частиц SiC в матричный сплав АМг5, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – механические свойства сплава АМг5 и полученного КМ с частицами SiC

№	Состав образцов	Плотность, ρ , г/см ³	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
1	АМг5	2,66	250-270	110-120	10-15
2	КМ АМг5+10%SiC	2,73	310-330	180-200	4-6

Частицы TiB₂ в настоящее время являются, несомненно, наиболее широко используемым модификатором. В работе [45] проведены исследования сплавов алюминия АМг5, где в качестве модификаторов вступали частицы TiB₂. При введении частиц в сплав средний размер зерна уменьшился около 30%. Также наблюдается увеличение механических свойств получаемых отливок. Результаты исследования приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты квазистатического растяжения исследуемых сплавов

Номенклатура	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %
АМг5	57	155	11.5
АМг5+TiB ₂ (1)	74	192	14.5
АМг5+TiB ₂ (2)	71	200	18.8
АМг5+TiB ₂ (3)	69	201	17.8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения ВКР были получены образцы исходного сплава АМг5 и сплава, модифицированного частицами углерода. В итоге исследования экспериментальных данных образцов установлено, что:

- Частицы углерода носят бимодальный характер распределения по размерам. Гистограмма распределения имеет два пика 16 мкм и 170 мкм.
- Введение углерода позволило увеличить предел текучести с 40 до 46 Мпа (повысился до 15%), предел прочности от 150 до 170 Мпа (повысился до 13%), относительное удлинение с 14,5 до 17% (повысилось до 17%).
- Испытания на твердость по методу Бринелля показали, что значения твердости увеличилось с 48 НВ до 60 НВ (повысилось на 25%).
- Введение углерода позволило увеличить количество зёрен и уменьшить средний размер зёрна с 104,7 мкм до 78,4 мкм (уменьшился 25%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Косов Я. И. Перспективные композиции алюминиевых сплавов и лигатур / Я. И. Косов. – Екатеринбург : ИП Соколова М. В., 2016. – № 11. – С. 73–77.
2. Борисоглебский Ю. В. Металлургия алюминия / Ю. В. Борисоглебский, Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин, М. Я. Минцис, Г. А. Сиразутдинов. – Новосибирск : Наука, 1999. – 438с.
3. Колачев Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учебное пособие для ВУЗов. / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Metallurgiya, 1981. – 416 с.: ил.
4. Арзамасов Б. Н. Конструкционные материалы. Справочник. / Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше и др. – М. : Машиностроение, 1990. – 688с.: с ил.
5. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. 3-е изд., перераб. – М. : Оборонной промышленности, 1956. – 344 с.
6. Беляев А. И. Металловедение алюминия и его сплавов: справочник / А. И. Беляев, О. С. Бочвар, Н. Н. Буйнов и др.; отв. ред. И. Н. Фридляндер. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgiya, 1983. – 279 с., ил.
7. Новиков И. И. Металловедение, термообработка и рентгенография. Учебник / И. И. Новиков, Г. Б. Строганов, А. И. Новиков. – М. : МИСИС, 1994. – 480 с.
8. Белецкий В. М. Алюминиевые сплавы. Состав, свойства, технология, применение. Справочник. / В. М. Белецкий, Г. А. Кривов, под ред. И. Н. Фридляндера. – Киев : КОМИНТЕХ, 2005. – 365 с.
9. Алюминий для судостроения // Невская Алюминиевая Компания – Санкт-Петербург, 2013. – URL: <http://spbalum.ru/manual/morskoj-alyuminij> (дата обращения 10.04.2022).
10. Курдюмов А. В. Производство отливок из сплавов цветных металлов. Учебник для вузов. / А. В. Курдюмов, М. В. Пикун, В. М. Чурсин, Е. Л. Бибилов. – М. : Metallurgiya, 1986. – 416 с.: ил.

11. Овчинников В. В. Особенности сварки листов сплава 1565ч в нагартованном состоянии / В. В. Овчинников, А. М. Дриц, Д. В. Малов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2014. – № 11. – С. 8–14.
12. Овчинников В. В. Свариваемый алюминиевый сплав 1565ч / В. В. Овчинников, А. М. Дриц // Машиностроение и инженерное образование. - 2014. – №4. – С. 6–12.
13. Луц А. Р. Алюминий и его сплавы: Учебное пособие. / А. Р. Луц, А. А. Суслина. – Самара : СамГТУ. – 2013. – 81 с.
14. Алюминий для судостроения // Невская Алюминиевая Компания. – Санкт-Петербург, 2013. – URL: <http://spbalum.ru/manual/morskoy-alyuminij> (дата обращения 18.04.2022).
15. Алюминиевый лист 1565ч // Прогрессив Северо-Запад. – Санкт-Петербург, 2019. – URL: <http://psz-spb.ru/armatura-homuty-mufty-nakonechniki-izolyatory/cvetnoy-metalloprokat/alyuminievyy-list/alyuminievyy-list-1565ch> (дата обращения 15.04.2022).
16. ГОСТ 17232-99 Плиты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия : Межгосударственный стандарт : дата введения 2000- 09-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 128 с.
17. Конюхов А. Д. Свойства стыковых сварных соединений алюминиевого сплава / А. Д. Конюхов, А. М. Дриц, А. К. Шуртаков // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – №3. – С. 33–38.
18. Fatigue Of Aluminum Structural Weldments // Ship Structure Committee. 2006. – Washington, 2000. – URL: <http://www.shipstructure.org/pdf/410.pdf> (дата обращения 21.04.2022).
19. Петухов С. В. Справочник мастера машиностроительного производства. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 352 с.
20. Белецкий В. М., Кривов Г. А. Алюминиевые сплавы. – Киев : «КОМИНТЕХ», 2005. – 365 с.
21. Квасов Ф. И., Фридляндер И. Н. Промышленные алюминиевые сплавы: справочник. – М. : Металлургия, 1984. – 528 с.

22. Влияние микродобавок магния и цинка в алюминии на разупрочнение при нагреве холоднокатаных листов / А. В. Михайловская, М. А. Рязанцева, И. С. Головин, В. К. Портной. // Физика металлов и металловедение. – М. : Наука. – 2012. – № 8. – С. 837–845.
23. Формирование микроструктуры и сверхпластичность магналиев / А. А. Кишик, А. В. Михайловская, В. С. Левченко, В. К. Портной // Физика металлов и металловедение. – М. : Наука. – 2017. – № 1. – С. 101–108.
24. Абраимов Н. В. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов: учебное пособие для авиационных вузов / Н. В. Абраимов, Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов. – М.: Высшая школа. – 1998. – 444 с.
25. Анализ влияния внешних физических воздействий на процессы литья легких сплавов / П. А. Данилов, А. П. Хрусталева, А. Б. Ворожцов [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2018. – № 55. – С. 84–98.
26. Управление пластичностью металлов слабыми электрическими воздействиями / С. В. Коновалов [и др.] // Вестник НГУ. Серия: Физика. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – № 4. – С. 65–70.
27. Возможности управления структурой и свойствами металлических материалов при комбинированном нагружении / Е. Г. Пашинская [и др.] // Известия РАН. Серия физическая. – М : Наука, 2009. – № 9. – С. 1319–1323.
28. Зуев В. М. Термическая обработка металлов. – 3-е изд., переработан и дополнен – М. : Высшая школа, 1986. – 288 с.
29. Хэтч Дж. Е. Алюминий: свойства и физическое металловедение // Справочник. – М. : Металлургия, 1989. – 422 с.
30. Розенфельд И. Л. Коррозия и защита металлов. – М. : Металлургия, 1970. – 448 с.
31. Розенфельд И. Л. Атмосферная коррозия металлов. – М. : Издательство АН СССР, 1960. – 372 с.
32. Dobatkin V. I., Sinyavsky V. S., Ivanenko N. I. Metallic Corrosion Proceedings // 8-th International Congress on Metallic Corrosion. Dechema, Frankfurt

am Main. – 1981. – P. 871–876.

33. Шрайер Л. Л. Коррозия // Справочник. – М. : Металлургия, 1981. – 632 с.

34. Михайловская А. В., Рязанцева М. А., Головин И. С., Портной В. К. Влияние микродобавок магния и цинка в алюминии на разупрочнение при нагреве холоднокатаных листов // Физика металлов и металловедение. – М. : Наука, 2012. – № 8. – С. 837–845.

35. Кищик А. А., Михайловская А. В., Левченко В. С., Портной В. К. Формирование микроструктуры и сверхпластичность магналиев // Физика металлов и металловедение. – М. : Наука, 2017. – № 1. – С. 101–108.

36. Калинина Н. Е., Кавац О. А., Калинин В. Т. Повышение технологических свойств литейных алюминиевых сплавов при модифицировании нанодисперсными частицами // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков : Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", 2010. – № 4. – С. 17–20.

37. Калинина Н. Е., Вилищук З. В., Калинин В. Т. Особенности модифицирования алюминиевых сплавов системы Al-Mg // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков : Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", 2011. – № 7. – С. 80–83.

38. Модифицирование [электронный ресурс] // Исследовательский центр Модификатор URL: <http://www.modificator.ru/terms/modif.html> (дата обращения: 11.05.2022).

39. Zhukov, I. A., Kozulin, A. A., Khrustalyov, A. P., Kahidze, N. I., Khmeleva, M. G., Moskvichev, E. N., Lychagin, D. V., Vorozhtsov, A. B. Pure aluminum structure and mechanical properties modified by Al₂O₃ nanoparticles and ultrasonic treatment. // Metals. – Switzerland : MDPI AG, 2019. – № 9. – 1199.

40. Hull, D., Bacon, D. J. Introduction to dislocations // 4th ed.; Butterworth Einemann – Oxford, UK, 2001. – 258 p.

41. Zhang, Z., Chen, D. L. Contribution of Orowan strengthening effect in particulate-reinforced metal matrix nanocomposites // Mat. Sci. Eng: A. – : Switzerland : Elsevier Science Publishing Company, Inc, 2008. – 585 p.
42. Zhang, Z., Chen, D. L. Consideration of Orowan strengthening effect in particulate-reinforced metal matrix nanocomposites: A model for predicting their yield strength // Scripta Materiala – UK : Elsevier Science Publishing Company, Inc., 2006. – № 54 – P. 1321–1326.
43. Sanaty-Zadeh, A. Comparison between current models for the strength of particulate-reinforced metal matrix nanocomposites with emphasis on consideration of Hall–Petch effect // Mat. Sci. Eng: A. – : Switzerland : Elsevier Science Publishing Company, Inc, 2012. – № 531. – P. 112–118.
44. Luo, P.; McDonald, D. T.; Xu, W.; Palanisamy, S.; Dargusch, M. S.; Xia. K. A modified Hall–Petch relationship in ultrafine-grained titanium recycled from chips by equal channel angular pressing // Scripta Materiala – UK : Elsevier Science Publishing Company, Inc., 2012. – № 66 – P. 785–788.
45. Жуков И.А., Зиятдинов М.Х., Ворожцов А.Б., Жуков А.С., Ворожцов С.А., Промахов В.В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез боридов Al и Ti // Изв. вузов. Физика. – 2016. – № 8. – С. 177–178.

Заключение
руководителя ООП 16.03.01 Техническая физика

Руководствуясь п. 3.2 и п. 3.4 «Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке НИ ТГУ» (Приказ ректора №301/ОД от 22.04.2016) выпускную квалификационную работу Ахмадуллина Тимура Матниёзовича «Исследование структуры и физико-механических свойств сплава АмГ5 с добавлением частиц древесного угля» следует разместить в депозитарий НБ НИ ТГУ с изъятием глав 5, 6.

10.06.2022 г.

Руководитель ООП
Д-р. физ. -мат. наук, профессор



Э.Р. Шрагер



(index.php)

(index.php/ru)

(index.php/en)

Поиск заимствований в научных текстах^β

Введите текст:

...или загрузите файл:

Файл не выбран...

Выбрать файл...

Укажите год публикации: 2022

Выберите коллекции

Все

Рефераты

Авторефераты

Иностранные конференции

PubMed

Википедия

Российские конференции

Иностранные журналы

Российские журналы

Энциклопедии

Англоязычная википедия

Анализировать

Проверить по расширенному списку коллекций системы Руконтекст (<http://text.rucont.ru/like>)Обработан файл:
диплом (1).pdf.

Год публикации: 2022.

Оценка оригинальности документа - 92.85%

Процент условно корректных заимствований - 0.0%

Процент некорректных заимствований - 7.15%

Просмотр заимствований в документе

Время выполнения: 16 с.

Документы из базы

Источники заимствования

1. Композиционные материалы
(<http://mobiro.org/downloads/stroitelbstvo/144065.zip>)

Год публикации: 2016. Тип публикации: реферат.
<http://mobiro.org/downloads/stroitelbstvo/144065.zip>
<http://mobiro.org/downloads/stroitelbstvo/144065.zip>
Показать заимствования (13)

2. Реферат: Композиционные материалы
(<http://www.bestreferat.ru/files/90/bestreferat-108890.docx>)

Год публикации: 2016. Тип публикации: реферат.
<http://www.bestreferat.ru/files/90/bestreferat-108890.docx>
<http://www.bestreferat.ru/files/90/bestreferat-108890.docx>
Показать заимствования (12)



В списке литературы Источники
Заимствования

3.83%

3.6%