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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор
_____ В.А. Скрипняк
«29» 06 2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПРОКАТКОЙ И ОТЖИГА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg

по основной образовательной программе подготовки бакалавров
направление подготовки 15.03.03 Прикладная механика

Аксенов Александр Александрович

Руководитель ВКР
канд. физ.-мат. наук
_____ А. А. Козулин
«29» 06 2020 г.

Автор работы
студент группы № 10603
_____ А. А. Аксенов

Томск 2020

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

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП,
доктор физ.-мат. наук, профессор
_____ Скрипняк В.А.
«___»_____2020 г.

ЗАДАНИЕ
на подготовку выпускной квалификационной работы бакалавра
на тему

Влияние обработки прокаткой и отжига на физико-механические свойства алюминиевого сплава системы Al-Mg
по основной образовательной программе подготовки бакалавров
направление подготовки 15.03.03 - Прикладная механика
Аксенову Александру Александровичу

Цель работы: Получение и обобщение экспериментальных и теоретических данных о модификации физико-механических свойств магниевых сплавов методом интенсивной пластической деформации.

Техническое задание:

1. Провести аналитический обзор опубликованных научных данных за последние 10 лет об изучении физико-механических свойств деформируемых алюминий-магниевых сплавов при разных условиях испытаний, определение сферы применения, выявление преимуществ перед другими конструкционными сплавами, описание методов обработки включая прокатку, волочение, штамповку и т.д.
2. Изучить распространенные методы испытаний алюминиевых сплавов для определения физико-механических свойств, обработки прокаткой в цилиндрических валках, методах отжига и искусственного старения, составить план экспериментальных работ. Ознакомиться с документами, регламентирующими порядок проведения экспериментов, и интерпретации полученных результатов.
3. Подготовить образцы для проведения экспериментальных работ по плану. Участвовать в проведении эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных.

Дата представления отчета на кафедру 15.06.2020 г.

Научный руководитель:
кандидат физ.-мат. наук, доцент
кафедры МДТТ: А.А. Козулин

Студент А. А. Аксенов

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа представлена на 56 страницах с использованием 26 рисунков, 8 таблиц и 43 источника литературы, приложений нет.

В работе исследованы алюминиевые сплавы системы Al-Mg путём литья с использованием ультразвуковой обработки. Была проведена отработка методов прокатки и отжига. Проведен комплекс исследований физико-механических свойств литых и обработанных сплавов, включающий изучение микроструктуры, определение твердости, измерение прочностных характеристик при одноосном растяжении, коррозионную стойкость, фактографический анализ поверхностей разрушенных сплавов. Результаты исследования показали эффективность отработанных режимов прокатки и отжига для повышения прочностных характеристик, измельчение зеренной структуры и внушительную коррозионную стойкость алюминиево – магниевых сплавов.

ABSTRACT

In this paper, aluminum alloys of the Al-Mg system are studied by casting using ultrasonic processing. Rolling and annealing methods were tested. A complex of studies of the physical and mechanical properties of cast and processed alloys, including the study of microstructure, determination of hardness, measurement of strength characteristics under uniaxial tension, corrosion resistance, and factographic analysis of the surfaces of destroyed alloys. The results of the study showed the effectiveness of the spent rolling and annealing modes to improve the strength characteristics, grain structure grinding and impressive corrosion resistance of aluminum-magnesium alloys.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 7
1 Аналитический обзор по свойствам и получению деформируемых алюминиевых сплавов системы Al-Mg 9
1.1 Описание сплавов системы Al-Mg.....9
1.2 Общие сведения о деформируемых алюминиевых сплавах. 9
1.3 Сплавы системы Al-Mg. Общие сведения.....10
1.4 Свойства сплавов системы Al-Mg.....11
1.5 Модификация сплавов внешними физическими и механическими воздействиями...12
1.6 Обработка сплавов давлением 14
1.7 Влияние коррозии на алюминиевые сплавы 15
2 Материал и методы исследований.....17
2.1 Получение отливок сплава системы Al-Mg-….....17
2.2 Прокатка в цилиндрических валках.....18
2.3 Отжиг под обработку давлением 21
2.4 Исследование структуры алюминиевых сплавов после литья и прокатки 22
2.5 Определение твердости методом Бринелля 22
2.6 Методики проведения испытаний на одноосное растяжение при низких скоростях деформации 22
2.7 Коррозионная стойкость 26
2.7.1 Проведение испытаний на общую коррозию в камере соляного тумана 26
2.7.2 Проведение испытаний на межкристаллитную коррозию.....27
3 Результаты исследований и их анализ.....29
3.1 Микроструктура сплавов.....29
3.2 Результаты измерения твердости отливок из исследуемого сплава.....33
3.3 Результаты испытаний на одноосное растяжение образцов из исследуемых сплавов34
3.3.1 Результаты испытаний сплавов без термообработки 34
3.3.2 Результаты испытаний сплавов с термообработкой 37
3.4 Результаты исследования общей коррозионной стойкости в камере соляного тумана40
3.5 Результаты исследования общей межкристаллитной коррозионной стойкости 44
3.6 Фрактографический анализ поверхностей разрушения литых сплавов.....45
3.7 Фрактографический анализ поверхностей разрушения прокатанных сплавов.....48

Заключение 51
Список литературы.....53

Введение

Сплавы системы Al-Mg являются термически неупрочняемыми, поэтому деформационное упрочнение проводится холодной деформацией. Они имеют невысокие прочностные характеристики — временное сопротивление и предел текучести, но отличаются высокой пластичностью, хорошей коррозионной стойкостью в различных средах и хорошо свариваются аргонодуговой сваркой. Благодаря холодной деформации повышается такие свойства сплава, как предел текучести и временное сопротивление (при снижении пластичности).

В связи с этим представляет интерес деформации литых заготовок известными методами прокатки. Отработка режимов деформации представляет некоторые сложности связанные с выбором температурных режимов, степеней деформации и скорости деформации на различных этапах.

В работе отработаны режимы деформационной обработки, приводящие к получению бездефектного листового проката из исследуемых сплавов, и приведен план комплексных исследований физико-механических свойств партии полученных сплавов после отливки и деформационной и термической обработки. Комплексные исследования необходимы для установления зависимостей увеличения твердости, микротвердости, значений пределов текучести и пределов прочности при растяжении от режимов обработки.

Цели: Получить результат экспериментальных данных, в паре с теоретическими данными, о модификации физико – механических свойств алюминиево – магниевых сплавов методом интенсивной пластической деформации.

Задачи:

1. Провести аналитический обзор опубликованных научных данных за последние 10 лет об изучении физико-механических свойств деформируемых алюминий-магниевых сплавов при разных условиях испытаний, определение сферы применения, выявление преимуществ перед другими конструкционными сплавами, описание методов обработки включая прокатку, волочение, штамповку и т.д.

2. Изучить распространенные методы испытаний алюминиевых сплавов для определения физико-механических свойств, обработки прокаткой в цилиндрических валках, методах отжига и искусственного старения, составить план экспериментальных работ.

Ознакомиться с документами, регламентирующими порядок проведения экспериментов, и интерпретации полученных результатов.

3. Подготовить образцы для проведения экспериментальных работ по плану. Участвовать в проведении эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы в полном объеме были выполнены поставленные задачи:

1. Проведено ознакомление с существующими методиками деформационной и термической обработки алюминиевых сплавов. Выбор режимов прокатки для реализации обработки в лабораторных условиях на основе данных литературы.
2. Произведена подготовка материалов для проведения прокатки, вырезание и калибровка слябов под заданный размер.
3. Произведено проведение деформационной и термической обработки по выбранным режимам для получения плоских заготовок в виде листового проката для последующих исследований.
4. Изучены методы исследования основных физико-механических свойств алюминиевых сплавов, которые лягут в основу последующих экспериментальных исследований в рамках выпускной работы.

Деформационная обработка изучаемых сплавов проводилась с использованием прокатки в цилиндрических валках. Подбирались температурные режимы и степени деформации на каждой стадии обработки. Установлено, что для достижения состояния листового проката необходимы многоэтапные режимы обработки. Перед обработкой и в промежутках между этапами проводится гомогенизирующий отжиг.

Выявлено значительное различие прокатанных сплавов от первоначальной крупнокристаллической дендритной структуры после литья. С каждым этапом прокатки изначальная крупнозернистая дендритная структура разбивается на мелкие зерна, ориентированные вдоль прокатки.

Выяснилось, что термически обработанные и прокатанные сплавы более стойко ведут себя в агрессивных средах, а образцы после литья поддаются коррозии сильнее.

Фарктографический анализ показал, что при разрушении сплавов, не обработанных ультразвуком, выявляется на изломах следы вязкого разрушения. Наличие подобных картин со свободными поверхностями зерен на изломах для литых сплавов является следствием наличия больших дендритов и, как следствие, слабой связью на границе между их ячейками, являющейся основным источником концентрации напряжений и, следовательно, распространения трещин, что приводит к образованию межзеренного разрушения под

нагрузкой. На поверхности разрушения образцов из литых сплавов, обработанных ультразвуком, по результатам растяжения одноосных образцов, они подверглись более сильной пластической деформации до разрушения. Таким образом были получены более высокая прочность и удлинение. В результате разрыва прокатанных образцов на образцах получился косой излом. Подробно нюансы работы описаны в отчете и лабораторных инструкциях.

Список литературы

1 Белов, А.Ф. Строение и свойства авиационных материалов/ А.Ф.Белов, Г.П. Бенедиктова, А.С. Висков и др.; учеб.для вузов; М.: Металлургия, 1989.-368 с.

2 Фридляндер, И.Н. Перспективные высокопрочные материалы на алюминиевойоснове / И.Н. Фридляндер и др. Металлов-е и терм.обработка мет-ов: науч.-техн. и произ.журнал, No7, 2005.-С.17-21.

3 Бакастов С.С., Маркелов П.П. Авиационное материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений // М.: ВИНКО СССР, 1941. - 230 с.

4 Donald R. LesuerExperimental Investigationsof Material Models for Ti-6Al-4V Titanium and 2024-T3 Aluminum// Office of Aviation Research Washington, D.C. – 2000. – P. 41.

5 Лахтин Ю.И., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений// М.: Альянс, 2009. - С. 528.

6 Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы. - К.: «КОМИНТЕХ». - 2005. - 365 с.

7 Алюминий для судостроения [электронный ресурс] // Невская Алюминиевая Компания [сайт]. - URL: http://spbalum.ru/manual/morskoj-alyuminij (дата обращения 02.04.2018).

8 Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Промышленные алюминиевые сплавы: справочник. - М.: «МЕТАЛЛУРГИЯ». - 1984. - 528 с.

9 Китаева Д.А., Рудаев Я.И. О чувствительности к структурным превращениям при деформации алюминиевых сплавов // Вестник КРСУ. - 2014. - №7. - С. 60-63.

10 Пазылов Ш.Т. Свойства и структура литого алюминиевого сплава 1561 при высоких температурах деформирования // Вестник КРСУ. - 2015. - №9. - С. 60-62.

11 Барахтин Б.К., Барахтина Н.Н., Лебедева Н.В. Тенденции структурных изменений при горячем сжатии Al-Mg сплавов в отображении карт диссипации // Вестник ТГУ. - 2013. - №4. - С. 1926-1928.

12 Кищик А. А., Михайловская А. В., Левченко В. С., Портной В. К. Формирование микроструктуры и сверхпластичность магналиев // Физика металлов и металловедение. - 2017. - №1. - С. 101-108.

13 Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы: Учебное пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т. - 2013. - 81 с.

14 Хэтч Дж.Е. Алюминий: свойства и физическое металловедение: справочник. – М.: «МЕТАЛЛУРГИЯ». - 1989. - 422 с.

15 Grandfield, J. Direct-Chill Casting of Light Alloys / J. Grandfield, D.G. Eskin, I. Bainbridge. – John Wiley & Sons, 2013. – 424 P.]

16 Atamanenko T.V., Eskin D.G., Sluiter M., Katgerman L. On the mechanism of grain refinement in Al–Zr–Ti alloys // Journal of Alloys and Compounds. 2011. No. 509. P. 57–60, doi 10.1016/j.jallcom.2010.09.046.

17 García-Rodríguez S., Puentes J., Li X.C., Osswald T.A. Prediction of vortex height from mechanical mixing in metal matrix nanocomposite processing by means of dimensional analysis and scaling // Journal of Manufacturing Processes. 2014. No. 16. PP. 212–217, doi: 10.1016/j.jmapro.2013.12.001.

18 Vorozhtsov S., Kudryashova O., Promakhov V., Dammer V., Vorozhtsov A.Theoretical and Experimental Investigations of the Process of Vibration Treatment of Liquid Metals Containing Nanoparticles // JOM. 2016. V. 68, No 12. PP. 3094–3100, doi: 10.1007/s11837-016-2147-z.

19 Khrustalev A.P., Vorozhtsov S.A., Zhukov I.A., Promakhov V.V., Dammer B.Ch. Struktura i mekhanicheskie svojstva kompozicionnyh materialov na osnove magniya, uprochnennyh nanochasticami nitrida alyuminiya // Izvestiya vuzov. Fizika. 2016. V. 59, № 12. PP. 176–178.

20 Kudryashova O., Vorozhtsov S., Stepkina M., Khrustalyov A. Introduction of Electrostatically Charged Particles into Metal Melts // JOM. 2017. Vol. 69. Issue 12. PP. 2524-2528, doi: 10.1007/s11837-017-2567-4.

21 Wang X. et al. On the Understanding of Aluminum Grain Refinement by Al-Ti-B Type Master Alloys // Metallurgical and Materials Transactions. 2014. B. PP. 1–6, doi: 10.1007/s11663-014-0252-3.

22 Патент №2164458 РФ. Статор для электромагнитного перемешивания электропроводных расплавов / Тимофеев В.Н., Христинич Р.М., Первухин М.В., Маракушин Н.П., опубл. 18.01.1999.

23 Патент №2113672 РФ. Способ электромагнитного перемешивания электропроводных расплавов / Тимофеев В.Н., Христинич Р.М., Бояков С.А., Рыбаков С.А., опубл. 20.06.1998.].

24 Ворожцов С.А., Козулин А.А., Кульков С.С., Кульков С.Н., Тайпель У. Влияние ультразвуковой деагломерации на морфологию и параметры кристаллической структуры порошковых систем «Al – углеродные нанотрубки» // Перспективные материалы. 2014. №11. С. 48–55.

25 Kudryashova O.B., Eskin D.G., Khrustalyov A.P., Vorozhtsov S.A. Ultrasonic Effect on the Penetration of the Metallic Melt into Submicron Particles and Their Agglomerates // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2017. V. 58, No. 4. PP. 427–433.

26 Vorozhtsov S., Zhukov I., Promakhov V., Naydenkin E., Khrustalyov A., Vorozhtsov A. The Influence of ScF3 Nanoparticles on the Physical and Mechanical Properties of New Metal Matrix Composites Based on A356 Aluminum Alloy // JOM. 2016. V. 68, No. 12. PP. 3101–3106, doi: 10.1007/s11837-016-2141-5.

27 Naydenkin E., Mishin I., Khrustalyov A., Vorozhtsov S., Vorozhtsov A. Influence of Combined Helical and Pass Rolling on Structure and Residual Porosity of an AA6082-0.2 wt % Al2O3 Composite Produced by Casting with Ultrasonic Processing // Metals. 2017. Vol. 7, № 8. PP. 544-1-544-7.

28 Eskin, G.I.; Eskin, D.G. Ultrasonic Treatment of Light AlloyMelts, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2015.

29 Eskin G.I., Eskin D.G. Production of natural and synthesized aluminum-based composite materials with the aid of ultrasonic (cavitation) treatment of the melt // Ultrasonics Sonochemistry. 2003. Vol. 10. PP. 297–301.

30 Xu H., Meek T.T., Han Q. Effects of ultrasonic field and vacuum on degassing of molten aluminum alloy // Materials letters. 2007. No. 61. PP. 1246–1250.

31 Nagasivamuni B., Ravi K. R. Discussions on the Mechanism of Grain Refinement in Ultrasonic Treated Ti Containing Mg–Al Alloys // Trans. Indian. Inst. Met. 2015. Vol. 68, № 6. PP. 1161-1165.

32 Константинов И. Л., Загиров Н. Н., Иванов Е. В. Основы расчетов процессов получения длинномерных металлоизделий методами обработки металлов давлением // Инфра-М. – 2016. – С. – 311.

33 Каримова С.А., Кутырев А.Е., Фомина М.А., Чесноков Д.В. Моделирование процесса воздействия агрессивных компонентов промышленной атмосферы на металлические материалы в камере солевого тумана // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 86-94.

34 Каблуков Е.Н. Коррозия или жизнь // Наука и жизнь. 2012. № 11. С. 16-21.

35 Каримова С.А., Жиликов В.П., Михайлов А.А., Чесноков Д.В., Игонин Т.Н., Карпов В.А. Натурно-ускоренные испытания алюминиевых сплавов в условиях воздействия морской атмосферы // Коррозия: материалы, защита. 2012. №10. С. 1-3.

36 Eskin D. G., Al-Helal K., Tzanakis I. Application of a plate sonotrode to ultrasonic degassing of aluminum melt: acoustic measurements and feasibility study //Journal of Materials Processing Technology. – 2015. – V. 222. – P. 148-154.

37 ASTM E10:2017. Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.

38 ASTM E8M:2008. Standard test method for tension testing of metallic materials.

39 Астафурова Е.Г. Механические испытания материалов // − Томск: ИФПМ СО РАН, 2013. − 32 с.

40 ГОСТ 9.913-90 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Алюминий, магний и их сплавы. Методы ускоренных коррозионных испытаний.

41 ГОСТ 9.021-74 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию (с Изменениями N 1, 2).

42 ГОСТ 9.908-85 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости (с Изменением N 1).

43 ГОСТ 9.913-90 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Алюминий, магний и их сплавы. Методы ускоренных коррозионных испытаний.

АНТИПЛАГИАТ
ТВОРИТЕ СОБСТВЕННЫМ УМОМ

Отчет о проверке на заимствования №1

Автор: shura.axyonof@yandex.ru / ID: 6665038
Проверяющий: (shura.axyonof@yandex.ru / ID: 6665038)

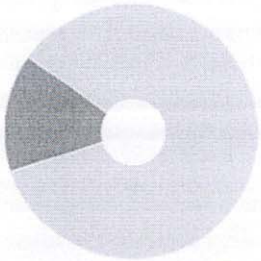
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»- http://users.antiplagiat.ru

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 14
Начало загрузки: 29.06.2020 06:40:37
Длительность загрузки: 00:00:02
Имя исходного файла: Диплом Аксенов 29_06.pdf
Название документа: Диплом Аксенов 29_06
Размер текста: 1 кБ
Символов в тексте: 74320
Слов в тексте: 8575
Число предложений: 726

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
Начало проверки: 29.06.2020 06:40:40
Длительность проверки: 00:00:04
Комментарии: не указано
Модули поиска: Модуль поиска Интернет



ЗАИМСТВОВАНИЯ	САМОЦИТИРОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
15,25%	0%	0%	84,75%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.
Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.
Заимствований, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.
Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска
[01]	4,81%	http://www.ispms.ru/files/Publications/astafurova/AstafurovaEG_uchebnoe_...	http://ispms.ru	14 Сен 2018	Модуль поиска Интернет
[02]	0,29%	Выбор материала и технологии изготовления геомембраны хвостохран...	http://elib2.altstu.ru	26 Ноя 2016	Модуль поиска Интернет
[03]	0%	http://old.kai.ru/science/disser/files/file_220/text_diss.pdf	http://old.kai.ru	14 Сен 2018	Модуль поиска Интернет

Еще источников: 17
Еще заимствований: 10,15%

Руководитель ООП: Скрипняк В. А. _____

Научный руководитель: Козулин А. А. _____

Студент группы 10603: Аксенов А. А. _____

Заключение
руководителя ООП 15.03.03 Прикладная механика,
бакалаврская программа
«Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»

Руководствуясь п.3.2 «Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке НИ ТГУ» (Приказ ректора №301/ОД от 22.04.2016) выпускную квалификационную работу Аксенова Александра Александровича на тему: «Влияние обработки прокаткой и отжига на физико-механические свойства алюминиевого сплава системы Al-Mg» следует разместить в депозитарий НБ НИ ТГУ с изъятием глав 1,2,3.

29.06.2020 г.

Руководитель ООП
зав. кафедрой механики
деформируемого твердого тела ТГУ,
д.ф.-м.н., профессор  В.А. Скрипняк