

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Трибунского Александра Викторовича по теме «Формирование рациональной структуры в тонких листах и лентах из алюминиевых сплавов для повышения их штампуемости», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование алюминиевых сплавов в форме листового материала и ленты толщиной меньше 1 миллиметра вызывает значительный интерес в промышленности — включая машиностроение и строительство — благодаря таким преимуществам, как легкость формовки, небольшой удельный вес и экономичность эксплуатации. Однако при сгибании тонколистовых изделий из алюминия возникают поверхностные повреждения, способствующие отслаиванию покрытия и негативно влияющие на эстетические характеристики и эксплуатационные качества продукции. Главными факторами возникновения дефектов являются специфическая структура материала, обусловленная химическим составом и условиями технологического процесса прокатки и термообработки. Проведенные исследования углубили понимание связи между структурной организацией металла и его прочностными характеристиками, открыв перспективы разработки инновационных методов изготовления деталей в сфере металлургической и машиностроительной отраслей.

Тем не менее, механизмы происходящих структурных изменений и фазовых переходов, а также влияние температурных условий и продолжительности термических обработок, провоцирующих возникновение дефектов на изгибаемых поверхностях тонких алюминиевых листов, остаются недостаточно исследованными. Это обстоятельство подчеркивает важность проводимого научного изучения воздействия химического состава, уровня деформации при холоднокатаной обработке и температуры последующего отжига на формирование микроструктуры, физико-механических характеристик и технологических особенностей тонких алюминиевых листов из характерных термически неупрочняемых промышленных сплавов А5, 3005 и 5182.

На основании вышеизложенного можно заключить, что тема диссертационной работы Трибунского А.В. является актуальной, работа направлена на создание оптимальных сочетаний свойств и структурных качеств тонких листов и полос алюминиевых сплавов, используемых для изготовления методом штамповки, что соответствует актуальным требованиям современного промышленного производства.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, 3 приложений и списка использованных источников в количестве 105 наименований. Работа выполнена на 153 страницах, содержит 73 рисунка, 12 таблиц и 6 формул.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, научное и прикладное значение работы, основные положения, выносимые на защиту, обосновано соответствие паспорту научной специальности 2.6.17. Материаловедение, представлена структура диссертационной работы, а также

С отзывом ознакомлен

11.06.2025г.

ФГБОУ ВО "СамГТУ"
1
"11" 06. 2025г.
Вход. № 011

информация об апробации работы и публикациях автора.

Первая глава посвящена изучению текущего состояния вопроса, включает подробный анализ имеющихся сведений о системах алюминий-марганцевых и алюминий-магнелиевых сплавов, описывает предыдущие научные изыскания и существующие публикации относительно их характеристик, методик обработки и сфер практического применения. Дополнительно в данной части приведены современные данные о достижениях науки, касающиеся зависимости химического состава и внутренней структуры листовых алюминиевых сплавов от улучшения показателей пригодности к процессам штамповки и гибки.

Во второй главе приведены материалы и описания методик экспериментальных исследований. Исследования проводились на образцах, находящихся как в состоянии после холодной прокатки, так и после отжига. Условия отжига были определены согласно общепринятым рекомендациям по термическим режимам обработки. Процесс отжига осуществлялся в печах с воздушной циркуляцией и на установках непрерывной термической обработки (ЛНТО), температура составляла 270°C, продолжительность процедуры была установлена равной одному часу.

Практическое исследование влияния добавок магния и марганца на механические и технологические показатели алюминиевого сплава 3005, выпускаемого АО «СМЗ», охватывало период с 2015 по 2024 годы. Химический состав листа был детально изучен, результаты анализа показали целесообразность уменьшения концентрации марганца примерно на 0,03–0,8%, одновременно увеличив содержание магния на аналогичный диапазон около 0,04–0,8%.

Третья глава содержит результаты компьютерного моделирования процесса V-образной гибки образца T0 с углом изгиба 180° в специализированной программе Deform. Было установлено, что поведение алюминиевых лент разной толщины существенно различается при одинаковом угле изгиба. Образцы толщиной менее 0,46 мм демонстрируют образование трещин и характерного волнообразного дефекта («эффект апельсиновой корки») именно в зоне изгиба, тогда как листы толщиной от 0,46 до 0,92 мм сохраняют целостность поверхности. Моделирование позволило рассчитать величины максимального напряжения при изгибе образца сплава 3005 толщиной 0,25 мм (при наличии разрушения) и образца толщиной 0,82 мм (без образования повреждений).

Четвертая глава посвящена исследованию влияния уровня пластической деформации, технологии и режима термической обработки на механические характеристики листовых алюминиевых сплавов марок 3005, 5182 и технически чистого алюминия марки А5. Представлены графические материалы, иллюстрирующие изменение ключевых механических свойств указанных сплавов в зависимости от интенсивности деформации, стадии обработки (отлитые заготовки, горячая и холодная прокатка), а также типа применяемого отжига (сачочные печи либо линия непрерывной термообработки).

Анализ показывает, что увеличение степени деформации сопровождается ростом показателя прочности, однако при этом снижается уровень пластичности. Термическая обработка путем отжига практически нивелирует зависимость прочностных и пластичных характеристик от предшествующего уровня деформации.

Отжиг алюминиевых образцов на линии непрерывной термообработки (ЛНТО) оказывает значительное воздействие на их механические свойства по сравнению с традиционными печами сачочного типа. Так, показатель относительного удлинения

оказывается примерно в 2,5—3 раза ниже после ЛНТО, при этом предел прочности и текучести увеличивается приблизительно на 5%. Эти различия проявляются независимо от толщины изделия, варьирующей от 0,25 до 0,82 мм, причем степень предварительной деформации практически не сказывается на итоговом уровне механических характеристик. Кроме того, применение непрерывного отжига для тонкой алюминиевой ленты толщиной 0,25 и 0,33 мм приводит к уменьшению относительного удлинения почти в полтора раза сравнительно с результатами садочного отжига. Такая ситуация часто становится причиной появления трещин в зонах изгиба при дальнейших испытаниях на прочность и гибкость.

Процесс отжига на линии непрерывной термообработки (ЛНТО) инициирует начало рекристаллизационных процессов, однако основная деформированная структура сохраняется неизменной. Напротив, использование садочных печей позволяет достичь значительно большего завершения рекристаллизации, что проявляется в формировании частично рекристаллизованной структуры образца.

В пятой главе представлены результаты исследования влияния кристаллографических текстур и режимов механической и термической обработки на технологические характеристики алюминиевых сплавов марок А5, 3005 и 5182.

При анализе распределения полюсных плотностей в холоднокатаных образцах алюминиевых сплавов доминирующими компонентами являются три ориентации: бесструктурная, $S''2(341)<4-58>$ и $Bs'(110)<1-12>$, суммарно составляющие свыше 80% всей плотности полюсов. В отожжённых же образцах преобладают две компоненты — бесструктурное состояние и ориентация $S''2(341)<4-58>$.

По мере утончения холоднокатаного материала отношение долей компонентов изменяется следующим образом: доли бессистемной ориентации и текстуры $S''2(341)<4-58>$ остаются стабильными, доля текстуры $Ba'(493)<5-47>$ немного сокращается, а доля текстуры $Bs(110)<1-12>$ возрастает. Примечательным является тот факт, что снижение объёмной доли ориентации $S''(385)<7-54>$ практически до нулевого уровня и одновременное увеличение доли текстуры $Bs(110)<1-12>$ при достижении толщины листа в 0,25 мм приводят к значительному падению способности материала выдерживать операции гибки — примерно в 2,8 раза.

Что касается отожжённого состояния, уменьшение толщины образцов не меняет заметно соотношение долей бесструктурных составляющих и текстуры $S''2(341)<4-58>$; наблюдается лишь сокращение доли текстуры $Ba'(493)<5-47>$ и некоторое возрастание доли текстуры $Cu''(449)<-6-65>$. Важно подчеркнуть полное исчезновение доли текстуры $S''(385)<7-54>$ после отжига, а также резкое падение доли текстуры $Bs(110)<1-12>$ во всех испытуемых образцах различной толщины. Описанные закономерности характерны не только для сплава 3005, но аналогично наблюдаются и для остальных исследованных сплавов — А5 и 5182.

В заключении представлены выводы по полученным результатам работы.

Основные выводы органично завершают диссертационную работу. Выводы обоснованы, полностью отвечают задачам и результатам исследований.

Диссертация представляет собой завершённую работу, логично изложена с использованием современной научной терминологии.

Результаты диссертации изложены в девяти научных публикациях, в том числе четырёх статьях в изданиях, входящих в перечень рецензируемых журналов ВАК для защиты диссертаций по специальности 2.6.17 Материаловедение. Зарегистрирована электронная база данных. Основные положения работы, выносимые на защиту, прошли

апробацию на 2 международных и 2 всероссийских конференциях.

Текст автореферата полностью соответствует тексту диссертации. Основное содержание диссертации, выводы и положения, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в автореферате.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

В диссертационной работе Трибунского А.В. представлены результаты, обладающие научной новизной, имеющие высокую достоверность и научную значимость. Наиболее важными результатами являются следующие:

1. Выявлены ключевые аспекты строения и кристаллографической текстуры тонких листов (менее 1,0 мм) из алюминиевых сплавов А5, 3005 и 5182, оказывающие существенное влияние на качество операций гибки и штамповки.

2. Установлено количественное соотношение между содержанием марганца и магния, а также условиями термического отжига, необходимыми для формирования заданных механических и технологических характеристик тонких алюминиевых листов.

3. Показано, что при проведении отжига алюминиевых листов толщиной 0,25 мм, 0,46 мм и 0,82 мм из сплава 3005 количество бестекстурного компонента в материале увеличивается вдвое, при соответствующем снижении объема прочих кристаллографических текстур.

4. Разработана методология количественного анализа способности тонких алюминиевых листов и лент к выполнению гибочных операций, основанная на детальном изучении дефектов внешней поверхности, возникающих в местах изгиба.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Был определен оптимальный режим термической обработки (отжига) для листового алюминиевого сплава 3005, обеспечивающий высокие показатели при операциях гибки с углом 180°. Предложен новый метод количественной оценки штампуемости, основанный на характеристиках рельефа поверхности в зоне изгиба, позволяющий определить наиболее подходящие условия деформации и отжига для повышения штампуемости тонких алюминиевых листов и лент.

Разработанные рекомендации по режимам прокатки и отжига алюминиевых сплавов А5, 3005 и 5182 успешно внедрены в производственную практику предприятий АО «АлТи Фордж» и АО «Самарский металлургический завод», демонстрируя свою эффективность и значимость на практике.

СООТВЕТСТВИЕ ПАСПОРТУ ЗАЯВЛЕННОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Тема диссертационной работы и ее содержание полностью соответствует паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки) по пунктам 3, 5 и 6:

- п.3 Разработка научных основ выбора материалов с заданными свойствами применительно к конкретным условиям изготовления и эксплуатации изделий и конструкций;

- п.5 Установление закономерностей и критериев оценки разрушения металлических, неметаллических и композиционных материалов и функциональных

покрытий от действия механических нагрузок и внешней среды.

- п.6 Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на образцах и изделиях.

ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДОВ

Обоснованность и достоверность научных положений и заключений Трибунского А.В. подтверждается большим объемом экспериментальных данных, обеспечивается корректным применением существующих методик, использованием современного исследовательского оборудования с компьютерным управлением, согласованностью теоретических результатов с экспериментальными данными, полученными соискателем.

Замечания по работе

1. Поскольку в диссертационной работе рассматриваются 3 характерных термически неупрочняемых сплава 1, 3 и 5 групп (ГОСТ 4784-2019), то это следовало бы отразить в названии («...лентах из *термически неупрочняемых* алюминиевых сплавов...») и актуальности работы.

2. В научной новизне не отражена связь технологичности тонких листов при штамповке с конкретными структурными параметрами. В частности, не ясно, как небольшое изменение в химическом составе («...за счет уменьшения содержания марганца с 1,15% до примерно 1,07-1,12% и одновременное увеличение уровня магния с 0,37% до 0,41-0,45%...» п.2) влияет на структуру.

3. Отсутствует анализ таких структурных параметров, как Fe-содержащие частицы кристаллизационного происхождения и Mn-содержащие дисперсоиды. В частности, именно последние в значительной мере определяют способность холоднокатаного листа сохранять нерекристаллизованную структуру после отжига. При этом на рис.2.1 («Структуры алюминия при деформации») эти структурные параметры отмечены.

4. Нет объяснения причины разницы в механических свойствах лент после отжига в садочной печи и линии непрерывной термообработки (ЛНТО) (рис. 4.8, 4.11). Вероятно, это связано с разницей в фактических режимах отжига (с учетом времени прогрева и остывания рулонов).

5. В первом пункте заключения по диссертационной работе следовало бы указать объекты исследования.

6. В табл.2.1 и 2.2 следовало бы уточнить, что указаны проценты по массе.

Сделанные замечания имеют частный, рекомендательный характер и не влияют на высокую оценку диссертационной работы Трибунского А.В. в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Трибунского Александра Викторовича на тему «Формирование рациональной структуры в тонких листах и лентах из алюминиевых

сплавов для повышения их штампуемости» соответствует научной специальности 2.6.17 Материаловедение, а также пп. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции от 16 октября 2024 г.). а её автор, Трибунский Александр Викторович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

На обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертационной работы Трибунского Александра Викторовича, согласен.

Официальный оппонент,

Главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС, доктор технических наук, профессор

Белов Николай Александрович

28.05. 2025 г.

Адрес: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1.

Телефон: +7 (910) 476-58-57

Электронная почта: belov.na@misis.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Проректор по безопасности
и общим вопросам
НИТУ МИСИС М.Исаев

