



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279, ОКПО 02068574
ул. Политехническая, д. 29 литера Б,
вн. тер. г. муниципальный округ Академическое,
г. Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)552-60-80, office@spbstu.ru

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого», к.ф.-м.н.

Фомин Ю.В.

2025 г.

ОТЗЫВ

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

Актуальность темы диссертации

Алюминиевые сплавы в виде листов и лент толщиной менее 1 мм представляют большой интерес для использования в различных отраслях производства: машиностроении, строительстве и других, что обусловлено их способностью к гибке, малому весу, экономичности. При гибке тонких алюминиевых листов, на поверхности появляются дефекты, приводящие к отслоениям покрытий, ухудшающие декоративность и функциональность. Основными причинами этого являются особенности структуры, формирующейся при изготовлении листов, которая зависит от химического состава и технологических режимов прокатки и термической обработки. Результаты представленных в диссертации исследований позволили глубже понять взаимосвязь между особенностями структуры и технологическими свойствами тонколистовых алюминиевых сплавов. Это позволяет найти новые технологические решения для повышения качества и работоспособности тонких алюминиевых листов, что имеет существенное значение в металлургии и машиностроении.

Однако, закономерности протекания структурных и фазовых превращений, а также выявление температурных и временных параметров термической обработки, провоцирующих появление дефектов на поверхности изгиба тонких листов в

С отзывом ознакомлен

02.06.2025 г.

ФГБОУ ВО «СанГТУ»
Вход. №
06.06.2025 г.
БК

настоящий момент изучены мало. Это определяет актуальность темы исследования, которое посвящено изучению влияния химического состава, степени деформации при холодной прокатке, температуры отжига на структуру, механические и технологические свойства тонких алюминиевых листов из сплавов А5, 3005 и 5182, что позволит обеспечить достижение рациональных механических и технологических свойств и структуры тонких листов и лент деформируемых алюминиевых сплавов, применяемых для получения изделий методами гибки.

Цель работы

Экспериментально установить закономерности, определяющие влияние химического состава, термической и деформационной обработки на структуру, кристаллографическую текстуру, механические и технологические свойства на загиб и штампуемость тонких листов и лент из алюминиевых сплавов А5, 3005, 5182.

Структура и содержание работы

Содержание диссертационной работы соответствует заявленной теме, цели и задачам исследования. Диссертация состоит из введения, 5 глав, содержащих оригинальные результаты исследований, основных выводов по работе, списка цитируемой литературы, содержащего 105 источников, приложений с актами использования материалов диссертации. Общий объем диссертации составляет 153 страницы, включая 75 рисунков, 12 таблиц и 6 формул.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи проведенных исследований, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, описан личный вклад соискателя, а также приводятся основные положения, выносимые на защиту, достоверность и апробация результатов работы.

Первая глава посвящена применению тонких листов из алюминиевых сплавов в современных строительных конструкциях. Показано, что облегчение строительных конструкций влечет за собой ряд проблем, таких как снижение механических свойств и штампуемости. Описаны несколько примеров применения тонких (толщина до 1 мм) листов. Подробно описана технология получения тонких листов, показано в чём основная специфика при использовании разного оборудования на стадиях процесса. Основываясь на литературных источниках, показана наибольшая перспективность для исследования сплавов системы Al-Mn и Al-Mg. Особое внимание уделено алюминиевым сплавам 3xxx и 5xxx серий, описаны их исходные свойства: химический и фазовый составы, механические свойства и микроструктура. Уделено внимание классификации листов в соответствии с ГОСТ 21631–2023 и рассмотрено влияние толщины листов, структурных изменений и термической обработки в процессе изготовления на их служебные свойства. Описаны процессы формирования зёрненной структуры и

кристаллографической текстуры при штамповке тонких листов. На основе литературного обзора сформулированы цели и задачи исследований.

Во второй главе выбраны конкретные материалы исследования: технический алюминий А5 и два алюминиевых сплава 3005 и 5182. Обоснован выбор режимов холодной прокатки и термической обработки для тонких листов из алюминиевых сплавов. Описаны стандартные испытания металла тонких листов для определения механических и технологических свойств. Выбраны программные продукты для моделирования процессов загиба тонких листов из алюминиевых сплавов. Предложена количественная оценка листов при гибочных операциях. Описаны процедуры металлографического анализа и определения кристаллографической текстуры.

В третьей главе приведено описание моделирования в программе Deform изгиба на 180 °С тонких листов толщиной от 0,25 до 0,92 мм. В результате моделирования в Deform процесса изгиба образцов алюминиевого сплава 3005 толщиной 0,25, 0,3, 0,33, 0,46, 0,82 и 0,92 мм рассчитаны максимальные напряжения и показана опасность разрушения на листе толщиной 0,25 мм. Однако выявить причину возникновения разрушения листа толщиной 0,25 мм при моделировании не удалось. Показано, что для решения этой проблемы необходимо установить закономерности, позволяющие улучшить штампуемость алюминиевых тонких листов в зависимости от их состава, структуры, термической и деформационной обработки.

В четвертой главе рассмотрено влияние термической и деформационной обработок при получении тонких листов на формирование микроструктуры и механических свойств алюминиевых сплавов 3005 и 5182 и технического алюминия А5. Показано что проведение отжига на линии непрерывной термообработки приводит к меньшим в 2,5 – 3 раза значениям относительного удлинения и на 5% более высоким показателям предела прочности и предела текучести, по сравнению с отжигом в садочной печи. Это заключение подтверждено для образцов всех толщин от 0,25 до 0,82 мм. При этом влияние степени деформации на показатели механических свойств не выявлено. С повышением температуры отжига от 220 до 285 °С в обоих видах нагревательных устройств предел прочности и предел текучести снижаются в среднем на 20 – 25%, а относительное удлинение повышается в 2,5 – 2,8 раза для всех толщин холодного проката. Корректировка состава, связанная с уменьшением содержания марганца и повышением содержания магния, позволяет исключить появление боковых трещин в месте изгиба за счёт повышения на 0,3 – 1,7% величины относительного удлинения. Структура металла для образцов всех толщин после холодной прокатки деформированная, зёрна вытянуты вдоль направления прокатки. После отжига на ЛНТО сохраняется деформированная структура, но уже с начальной стадией рекристаллизации. Структура металла, отожженного в садочной печи, частично рекристаллизованная.

Пятая глава посвящена изучению влияния кристаллографической текстуры и режимов деформационной и термической обработок на технологические свойства алюминиевых сплавов А5, 3005, 5182.

В холоднокатаном состоянии определяющую долю, занимающую более 80% от суммы полюсных плотностей, занимают 3 ориентировки: бестекстурная, $S''^2(341)\langle 4-58 \rangle$ и $Bs'(110)\langle 1-12 \rangle$, а на отожженных образцах ключевую роль, составляющую 80% играют бестекстурная составляющая и ориентировка $S''^2(341)\langle 4-58 \rangle$.

С уменьшением толщины образцов после холодной прокатки доли бестекстурной составляющей и текстуры $S''^2(341)\langle 4-58 \rangle$ практически не меняются, доля текстуры $Ba'(493)\langle 5-47 \rangle$ незначительно уменьшается, а текстур $Bs(110)\langle 1-12 \rangle$ увеличиваются.

Снижение почти до нуля доли ориентировки $S''(385)\langle 7-54 \rangle$ и рост объемной доли текстуры $Bs(110)\langle 1-12 \rangle$ при толщине листа 0,25 мм приводит к снижению способности к гибочным операциям в 2,8 раза. Для образцов после отжига, с уменьшением толщины образцов также практически не меняются доли бестекстурной составляющей и текстуры $S''^2(341)\langle 4-58 \rangle$, доля текстуры $Ba'(493)\langle 5-47 \rangle$ уменьшается, а текстур $Cu''(449)\langle -6-65 \rangle$ увеличиваются. Стоит отметить, что после отжига полностью пропала доля текстуры $S''(385)\langle 7-54 \rangle$, а доля $Bs(110)\langle 1-12 \rangle$ резко снижается по сравнению с холоднокатаным состоянием на образцах всех исследуемых толщин. Аналогичные наблюдения выявлены для двух других исследуемых сплавов А5 и 5182.

В заключении отражены основные выводы по работе.

Основные результаты диссертации изложены в 9 научных публикациях, в том числе 4 статьи в изданиях, включенных 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.

Научная новизна

Диссертационная работа Трибунского А.В. содержит ряд новых научных результатов, полученных в ходе исследований и имеющих важное значение для науки и производства:

1. Установлены особенности структуры и кристаллографической текстуры листов толщиной менее 1,0 мм из алюминиевых сплавов А5, 3005, 5182 и их влияние на способность к гибочным операциям и штампуемость. Это позволило получить тонкие листы с рациональным уровнем механических и технологических свойств для операций гибки.

2. Установлена количественная взаимосвязь содержания марганца и магния и условий термической обработки, определяющая условия формирования требуемых механических и технологических свойств и структуры в тонких алюминиевых листах.

3. Определено, что при отжиге листов толщиной 0,25 мм, 0,46 мм и 0,82 мм из алюминиевого сплава 3005 происходит двукратное увеличение бестекстурной составляющей при сопоставимом уменьшении объемных долей других кристаллографических текстур.

4. На основании анализа дефектов наружной поверхности в месте изгиба разработана методика количественной оценки способности тонких листов и лент из алюминиевых сплавов к гибочным операциям.

Практическая значимость

1. Определены наиболее рациональные и эффективные режимы термической обработки (отжига) листового алюминиевого сплава 3005 для получения листов с высокими показателями при изгибе с углом 180 градусов.

2. Предложен способ количественной оценки штампуемости в зависимости от рельефа поверхности изгиба, который позволяет выявить благоприятные режимы деформации и отжига для обеспечения высокой штампуемости тонких листов и лент из алюминиевых сплавов. Разработанный способ оценки штампуемости в зависимости от рельефа поверхности изгиба является инструментом для определения возможности и количественной оценки пригодности тонких алюминиевых листов к гибочным операциям в зависимости от степени холодной пластической деформации и отжига.

3. Согласно полученным актам практического использования результатов диссертации, разработанные режимы прокатки и отжига сплавов А5, 3005 и 5182 используются как справочные данные при производстве продукции в АО «АлТи Фордж» и АО «Самарский металлургический завод».

Достоверность полученных результатов и выводов

Достоверность полученных 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 содержанию работы

1. В методическом разделе 2 автор в пункте 2.2. по рис. 2.1. описывает микроструктуру тонких листов из алюминиевых сплавов, обращая внимание на размер зерна, фаз и частиц, дисперсоиды и текстуру, однако в экспериментальном

исследовании уделено внимание только размеру зерна и текстуре. В то же время, на изменение механических свойств алюминиевых сплавов определяющее влияние оказывают именно фазовый состав, размер и характер дисперсоидов. Их влияние в диссертации не рассмотрено.

2. Пункты 2.2. и 2.3. не соответствуют разделу методики экспериментальных исследований, поскольку в них не приведены конкретные режимы пластической деформации и горячей прокатки, выбранные для исследования. В этих пунктах дано описание процессов общими словами без каких-либо конкретных данных.

3. В пункте 2.9. диссертации не уточнена методика определения размера зерна и включений, а также увеличение, при котором проводился анализ. В пункте 4.4. диссертации автор ограничился только увеличением 100, хотя для достоверного анализа исследуемой микроструктуры требовалось увеличение 500 и более и использование сканирующего электронного микроскопа.

4. Отсутствуют выводы по Главе 3 диссертации. Вызывает сомнение необходимость моделирования процесса изгиба, поскольку не ясно как автор использовал эти результаты в своей работе и какая их сходимость с реальным процессом технологической операции. Данные по практическим экспериментам отсутствуют.

5. Автор необоснованно использует термин «оптимальный», характеризуя технологические режимы обработки и получения алюминиевых листов. В действительности, в работе не проводилась оптимизация и полученные режимы правильнее считать как рациональные и эффективные.

5. В пункте 4.1. отсутствуют зависимости микротвердости от степени деформации технического алюминия А5 и алюминиевого сплава 5182. Такие зависимости дополнили бы понимание процессов и закономерностей при сравнении трёх сплавов.

6. В пункте 4.4. описано влияние термической и деформационной обработок на микроструктуру, однако отсутствует попытка связать полученные закономерности с механическими свойствами в пунктах. 4.2. и 4.3.

7. Следует отметить небрежность в оформлении диссертации, в частности ошибочно указано количество рисунков в диссертации 73, но фактическое количество 75.

Заключение

Диссертационная работа Трибунского Александра Викторовича «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.

Отзыв на диссертацию подготовлен по результатам рассмотрения диссертационной работы на заседании НТС Научно-технологического комплекса «Новые технологии и материалы» (протокол № 25/2 от 12.05.2025).

Авторы отзыва дают согласие на обработку персональных данных.

Отзыв составили:

Кондратьев Сергей Юрьевич

доктор технических наук (специальность
05.16.01. Металловедение и термическая
обработка металлов и сплавов), профессор,
профессор Высшей школы физики и технологий
материалов «12 мая 2025».

Швецов Олег Викторович

кандидат технических наук (специальность
05.16.01. Металловедение и термическая
обработка металлов и сплавов), заместитель
заведующего лабораторией ресурса материалов
«12.05.2025».

Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое.

e-mail: office@spbstu.ru

телефон: +7 (812)552-60-80

