

*На правах рукописи*



**Самчук Антон Павлович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАТАНКИ ИЗ НОВЫХ  
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМ А1-ПМ И А1-РЗМ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание  
степени магистра по направлению **Металлургия (150400.68)**  
магистерская программа – **Обработка давлением металлов и сплавов  
(150400.68.03)**

**Красноярск 2014**

Работа выполнена на кафедре обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор Сидельников Сергей Борисович

**Рецензент:**

Усольцев Сергей Викторович, кандидат технических наук, директор фонда МЦР-Железногорск

Защита диссертации состоится «9» июля 2014 г. в 9:00 часов в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95, ауд. 104 л.

С авторефератом магистерской диссертации можно ознакомиться на сайте СФУ <http://edu.sfu-kras.ru/engineering> и в архиве открытого доступа: <http://elib.sfu-kras.ru>

**Руководитель магистерской программы:**

доктор технических наук,  
профессор



С. Б. Сидельников

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Особенностью развития металлургических предприятий Красноярского края является создание мощных производственных центров по изготовлению прутково–профильной продукции из алюминиевых сплавов. Проблемы освоения прессового производства обусловили развитие исследований по изучению механических свойств деформированных полуфабрикатов, полученных методом горячего прессования из различных алюминиевых сплавов.

Алюминий и его сплавы благодаря своим уникальным техника эксплуатационным характеристикам занимают большое место в современной промышленности. Наличие таких свойств, как высокая электропроводность и коррозионная стойкость, в сочетании с небольшим весом привели к тому, что алюминий и его сплавы нашли широкое применение в машиностроении, электроэнергетике, транспорте, авиации и т.п.

Прессованные полуфабрикаты (профили, прутки, трубы, панели и т.д.) изготавливают из алюминиевых сплавов различных систем, основными из которых являются Al–Mn, Al–Mn (магний), Al–Mg–Si (авиали), Al–Cu–Si (дюралю), Al–Si (силумины), Al–Zn–Mg, Al–Zn–Mg–Cu, Al–Cu–Mg–Ni–Fe, Al–Cu–Mg–Si и др. В связи с этим область исследований механических свойств значительно расширена и необходимость их проведения для совершенствования технологий прессового производства не вызывает сомнений. Немаловажным следует считать и появление новых разработок в области изготовления пресс–изделий из алюминиевых сплавов систем Al–Ti–B, Al–Zr, Al–Ce, Al–Li и др., полученных с применением операций литья и ОМД, гранулирования, совмещенных и других методов обработки.

Технология производства длинномерных изделий из таких сплавов характеризуются высокой энерго– и трудоемкостью. При этом на различных этапах деформации металла возможно образование дефектов, которые приводят к нарушению технологического режима, что не позволяет производить такие деформированные полуфабрикаты с высокой производительностью. Вместе с тем предложены новые альтернативные технологии совмещенной обработки. Таким образом, изучение механических свойств полуфабрикатов, полученных с помощью таких методов обработки, из новых сплавов алюминия является актуальной задачей научных исследований.

**Предмет исследования** – режимы обработки новых алюминиевых сплавов систем AL-ПМ и AL-РЗМ.

**Цель работы:** повышение эффективности получения катанки электротехнического назначения из новых алюминиевых сплавов систем AL-ПМ и AL-РЗМ.

Для ее достижения сформулированы следующие **задачи**:

- разработать новые технические решения по созданию устройств для совмещенной обработки сплавов систем Al-РЗМ и Al-ПМ;
- провести экспериментальные исследования по получению электротехнической катанки из исследуемых сплавов с помощью методов

совмещенной обработки и определить механические свойства металла при комнатной температуре.

– осуществить модернизацию установки для кручения, разработать полезную модель и подготовить её для исследований;

– составить план эксперимента и провести исследования реологических характеристик катанки из исследуемых сплавов в заданном диапазоне температур, степеней и скоростей деформации.

– получить уравнения реологии для исследуемых сплавов и построить зависимости сопротивления металла деформации от температурно–скоростных параметров процесса обработки.

#### **Научная новизна работы**

1. Усовершенствована методика определения реологических характеристик металлов и сплавов методом горячего скручивания.

2. Получены зависимости механических свойств деформированных полуфабрикатов из сплавов систем Al-ПМ и Al-РЗМ, полученные методом растяжения.

3. На основании экспериментальных данных получены зависимости, характеризующие изменение сопротивление деформации ( $\sigma_s$ ) новых алюминиевых сплавов систем Al-ПМ и Al-РЗМ от степени ( $\epsilon$ ), скорости ( $\xi$ ) и температуры ( $T$ ) деформации.

#### **Практическая значимость работы**

1. Получены данные по сопротивлению деформации новых сплавов систем Al-ПМ и Al-РЗМ, которые использованы при расчетах энергосиловых параметров и проектировании оборудования для получения электротехнической катанки на Иркутском алюминиевом заводе.

2. Усовершенствован инструмент и получен патент Российской Федерации № 138590 на устройство для непрерывной прокатки и прессования изделий из цветных металлов и сплавов.

3. Усовершенствована установка для получения реологических характеристик металла методом горячего скручивания и на нее получен Патент Российской Федерации №130708.

4. Результаты исследований внедрены в учебный процесс и используются при обучении бакалавров и специалистов в области обработки металлов давлением.

#### **Личный вклад автора**

Все результаты исследований получены в соавторстве при личном участии автора, основными из которых являются: разработка устройства для непрерывной прокатки и прессования изделий из цветных металлов и получение опытных партий катанки из исследуемых сплавов; модернизация установки для испытаний на скручивание; проведение экспериментальных исследований и получение зависимостей, характеризующих реологические свойства новых алюминиевых сплавов систем Al-ПМ и Al-РЗМ.

**Место выполнения диссертации.** Кафедра обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет».

**Место прохождения международной стажировки.** Internationale Akademie für Management und Technologie e.V. (г. Дюссельдорф, Германия).

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы представлены на российских и международных конференциях и конгрессах: ежегодный Международный конгресс «Цветные металлы» (Красноярск, 2012, 2013 гг.), ежегодная Всероссийская научно-техническая конференция Сибирского федерального университета с международным участием «Молодежь и наука» (Красноярск, 2012-2014 гг.); ежегодная выставка инновационных проектов и научно-технических разработок в рамках общегородской ассамблеи «Красноярск. Технологии будущего» (Красноярск, 2012-2013 г.).

**Публикации.** Результаты диссертационной работы отражены в 5 печатных трудах, а также в 2-х патентах.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Содержит 88 страниц машинописного текста, 31 рисунок, 28 таблиц, библиографический список из 75 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы и сформулирована цель работы, отмечается ее новизна и практическая значимость.

**В первой главе** дан анализ имеющихся в научно-технической литературе результатов исследований механических свойств алюминиевых сплавов и рассмотрены подходы различных авторов к вопросам по определению сопротивления деформации металла в зависимости от температурноскоростных и деформационных условий обработки. Описано оборудование и методики исследования механических свойств металла с помощью кручения и растяжения.

Проведен анализ формирования структуры и свойств быстозакристаллизованных сплавов на основе алюминия с редкоземельными и переходными металлами, которые применяются для изготовления проводов электротехнического назначения. Рассмотрены особенности обработки и получения длинномерных деформированных полуфабрикатов с помощью литейно-прокатных агрегатов (ЛПА), совмещенной прокатки-прессования (СПП) и совмещенного литья и прокатки-прессования (СЛИПП).

**Во второй главе** представлены результаты экспериментальных исследований по получению катанки из сплавов систем Al-ПМ и Al-РЗМ методом совмещенной прокатки-прессования с применением усовершенствованного инструмента (рис. 1) для получения длинномерных изделий из цветных металлов и сплавов (патент №138590).



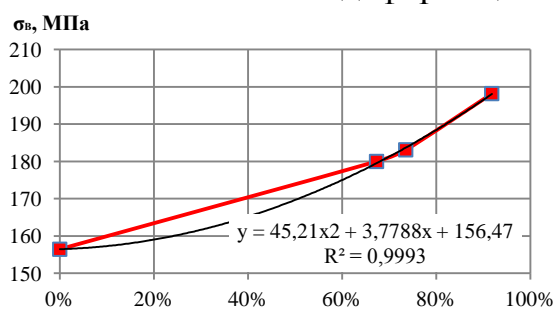
Рисунок 1 – Общий вид матрицы для СПП

Описаны методы получения катанки из исследуемых сплавов, предназначенных для электротехнической продукции на установках непрерывного литья и совмещенной обработки металлов давлением. Приведен химический состав исследуемых сплавов (табл. 1) и технические параметры оборудования, на котором получали катанку для исследований.

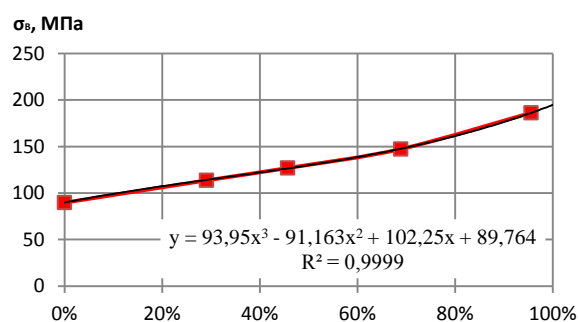
Таблица 1 – Химический состав сплавов

Сплав	Содержание, %				
	Al	Fe	Zr	РЗМ	Si
Zr-1	Основа	0.273	0.2645	–	0.071
Zr-2	Основа	0.288	0.1980	–	0.067
РЗМ-1	Основа	–	–	He > 0.5%	–
РЗМ-2	Основа	0.6	–	7.0–9.0	0.3

Проведен анализ механических характеристик исследуемых сплавов методом растяжения. Получены уравнения, которые позволяют рассчитать временное сопротивление разрыву металла (рис. 2) и относительное удлинение в зависимости от степени деформации.



а



б

Рисунок 2 – Графики зависимости временного сопротивления разрыву от степени деформации для сплава Zr-1 (а) и сплава РЗМ-1 (б)

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований реологических свойств новых сплавов методом горячего кручения. Приведен состав модернизированной установки для испытаний на горячее скручивание (патент №130708), где нагрев образцов происходит в расплаве солей, и описан принцип ее работы.

Составлен план эксперимента для изучения реологических характеристик четырех исследуемых сплавов при различных температурно–скоростных параметрах, характерных для процессов прессования. Уровни варьирования и единицы измерения факторов процесса деформаций для экспериментальных сплавов представлены в табл. 2.

Таблица 1– Уровни варьирования факторов эксперимента

Факторы			Единицы измерения	Варьирование факторов		
n	Название	Обозначение		1	2	3
1	Температура нагрева заготовки	T	°C	320	400	550
2	Скорость деформации	$\xi$	c <sup>-1</sup>	0,5	1,5	10

Результатом исследований на основании данного плана экспериментов являются графики зависимостью сопротивления деформации  $\sigma_s$  от степени деформации  $\epsilon$  при различных скоростях деформации  $\xi$  один из, которых представлен на рисунке 2.

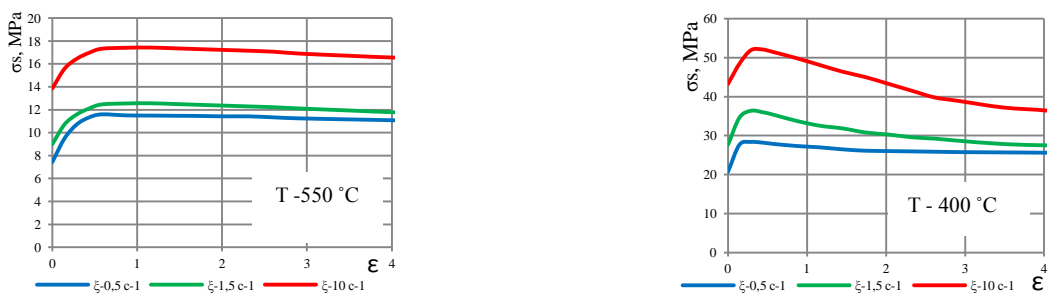


Рисунок 3 – Зависимость сопротивления деформации  $\sigma_s$  сплава Zr-1 от степени деформации  $\epsilon$  при различных скоростях деформации  $\xi$  и температурах

Приведены регрессионные уравнения для расчета сопротивления деформации для исследуемых сплавов, полученных на основании результатов экспериментов проводимых на установке горячего скручивания при различных температурно–скоростных условиях. Данные представлены в табл. 3.

Таблица 2 – Регрессионные уравнения для определения сопротивления деформации  $\sigma_s$  сплава Zr-1 при различных температурно–скоростях условиях

Измеряемый параметр	Интервал	Сопротивление деформации
T, °C	320–400	$\sigma_s = 30,81 - 11,41 \left( \frac{T-360}{40} \right) + 2,81 \left( \frac{\xi-1}{0,5} \right) = 129,59 - 0,29T + 5,62\xi$
$\xi, c^{-1}$	0,5–1,5	
T, °C	400–550	$\sigma_s = 13,81 - 5,58 \left( \frac{T-475}{75} \right) + 1,98 \left( \frac{\xi-1}{0,5} \right) = 45,19 - 0,0744T + 5,94\xi$
$\xi, c^{-1}$	0,5–1,5	
T, °C	320–400	$\sigma_s = 38,2 - 11,88 \left( \frac{T-360}{40} \right) + 4,58 \left( \frac{\xi-5,75}{4,25} \right) = 138,9 - 0,3T + 1,1\xi$
$\xi, c^{-1}$	1,5–10	
T, °C	320–400	$\sigma_s = 18,3 - 8,025 \left( \frac{T-470}{75} \right) + 2,5 \left( \frac{\xi-5,75}{4,25} \right) = 65,745 - 0,107T + 0,588\xi$
$\xi, c^{-1}$	1,5–10	

Так же приведено графическое описание результатов рассчитываемых по полученным уравнениям.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Анализируя результаты проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Для повышения эффективности получения длинномерных профилей методом совмещенной прокатки прессования разработано и запатентовано (Патент Российской Федерации №138590) устройство, которое по своим характеристикам превосходит ранние разработки.

2. Проведены экспериментальные исследования по получению электротехнической катанки из сплавов систем Al-ПМ и Al-РЗМ с помощью совмещенных методов обработки и определены механические характеристики металла при комнатной температуре.

3. Проведена модернизация установки для горячего скручивания, разработана и запатентована (Патент Российской Федерации №130708) полезная модель данной установки. Разработанная установка соответствует всем требованиям, предписанным испытательным машинам, оснащена современным регистрирующим тензометрическим, оптическим, термометрическим оборудованием, проста в использовании и имеет стоимость на порядок ниже, чем у современного оборудования зарубежных аналогов.



4. Анализ исследований показывает высокую точность результатов определения реологических свойств, полученных на установке для кручения, которые использовались для расчета энергосиловых параметров и проектирования нового оборудования совмещенной обработки на Иркутском алюминиевом заводе.

5. Проведен ряд исследований реологических характеристик четырех новых алюминиевых сплавов, построены графики изменения сопротивления деформации металла в заданном диапазоне температур, степени и скорости деформации, характерном для процесса прессования.

6. Получены регрессионные формулы для описания реологических характеристик исследуемых сплавов, которые с высокой точностью описывают полученные экспериментальные зависимости.

7. Результаты исследований применяются в курсовом и дипломном проектировании при обучении студентов направления 150400 «Металлургия».

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в работе получены новые научные знания, необходимые для разработки технологии получения катанки из новых алюминиевых сплавов с переходными и редкоземельными металлами, которые активно применяются в последние годы в электротехнической отрасли для производства электропроводников. Полученные результаты применялись для расчетов энергосиловых параметров и технологических параметров оборудования совмещенной обработки, которое внедряется в настоящее время на Иркутском алюминиевом заводе.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

1. **Самчук, А.П.** Получение длинномерных деформированных полуфабрикатов из сплавов системы Al-PЗМ с помощью непрерывных методов обработки / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Ворошилов Д.С., Трифоненков Л.П., Галиев Р.И., Лопатина Е.С., Самчук, А. П. / Ц 27 Цветные металлы–2012: Сб. научн. Статей. – Красноярск: Версо, 2012. – 1044 с., с. 794-801

2. **Самчук А. П.** Исследовательский комплекс для определения реологических характеристик деформированных полуфабрикатов из цветных металлов и / А.П. Самчук // М75 Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс] , отв. ред. О.А.Краев - Красноярск : Сиб. федер. ун-т., 2013

3. **Самчук, А. П.** Исследование процесса получения длинномерных полуфабрикатов из сплавов алюминия с различным содержанием редкоземельных металлов. / Н.Н. Довженко, С.Б. Сидельников, Т. Н. Дроздова,

Д. С. Ворошилов, С. Л. Яковлев, А.П.Самчук // Цветные металлы-2013: Сб. научн. статей. – Красноярск: Версо, 2013.

4. **Самчук, А. П.** Методика реологических свойств алюминиевых сплавов и установка для их изучения /А.П.Самчук Специальное инженерное образование – подготовка современных инженерных кадров [Электронный ресурс] : тезисы I региональной научно-технической конференции магистрантов 19 ноября 2013 года // Сиб. федерал. ун-т ; отв. за вып. Е. А. Шипилова. - Электрон. текстовые дан. (PDF, 14,8 Мб). - Красноярск: СФУ, 2013.

5. **Самчук, А. П.** Исследование реологических характеристик деформированных полуфабрикатов из новых алюминиевых сплавов / А.П. Самчук // Молодежь и наука: Всероссийской научно-технической конференции с международным участием [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сиб.федер.ун-т, 2014.

6. Патент Российской Федерация № 138590, МПК В21С. Устройство для непрерывной прокатки и прессования изделий из цветных металлов и сплавов / Сидельников С.Б., Беспалов В.М., Довженко Н.Н., Беляев С.В., Солдатов С.В., Трифоненков А.Л., **Самчук А.П.**, Бурлуцкая Д.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирский федеральный университет".; заявл. 20.11.2013 ; опубл. 20.03.2014.

7. Патент Российской Федерация № 130708, МПК G01N3/22. Установка для испытания на скручивание / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Беляев С.В. Грищенко Н.А., **Самчук А.П.**, Губанов И.Ю., Лопатина Е.С., Галиев Р.И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирский федеральный университет".; заявл. 07.03.2013 ; опубл. 27.07.2013.