

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ  
ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДЕФОРМИРОВАННЫХ  
ПОЛУФАБРИКАТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ  
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ПЕРЕХОДНЫМИ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ  
МЕТАЛЛАМИ**

**Беспалов В. М., Мотков М.М., Стрижнев А.Э.**

**Научный руководитель д-р техн. наук, профессор Сидельников С. Б.  
*Сибирский федеральный университет***

В связи с изменением требований предъявляемых к деформированным полуфабрикатам актуальным направлением исследований в настоящее время является возможность повышения механических характеристик и термостойкости алюминиевой катанки при удовлетворительных значениях электропроводности. Этой проблеме посвящено достаточно большое количество работ современных ученых, одной из которых является поиск новых составов алюминиевых сплавов и создание энергоемких технологий и оборудования для их обработки. Наиболее перспективным является исследование совмещенных методов обработки [1] алюминиевых сплавов с переходными и редкоземельными металлами. Исходя из обзора научно-технической литературы, легирование алюминия ПМ и РЗМ приводит к значительному увеличению жаропрочности, устойчивости к коррозии, повышает вязкость сплава и физико-химические свойства. Тем не менее, существует потребность в дополнительном упрочнении деформированных полуфабрикатов.

Одним из возможных методов повышения прочности алюминиевой катанки является применение интенсивной пластической деформации (ИПД) [2], в частности, равноканального углового прессования (далее по тексту РКУП).

Целью данной работы является оценка влияния сдвиговых деформации на структуру, механические и электрофизические свойства деформированных полуфабрикатов из сплавов системы Al-Zr и Al-Ce-La.

Для реализации данной цели на кафедре ОМД СФУ ИЦМиМ были изготовлены прутки из вышеупомянутых сплавов полученные совмещенной прокаткой-прессованием (СПП), которые затем подвергались обработке методом РКУП в институте физики перспективных материалов Уфимского государственного авиационного технического университета [2] .

Для СПП использовали заготовки квадратной формы с размерами 14x14 мм, полученные литьем в изложницу. Выбор интервала температур при литье заготовок был обоснован особенностями приготовления сплавов и составлял 800 - 880<sup>0</sup>С, а время выдержки после ввода циркониевой лигатуры равнялось 10 мин.

Процесс СПП осуществляли на экспериментальной установке совмещенной обработки, смонтированной на базе прокатного стана дуо 200 [1]. В соответствии с технологией обработки заготовки нагревали в электрической камерной печи до температуры 550<sup>0</sup>С и задавали их в закрытый калибр валков экспериментальной установки. К валкам с помощью гидроцилиндра была поджата матрица с калибрующим отверстием диаметром 9 мм, поэтому на выходе из нее получали прутки круглого сечения указанного размера.

Исследования механических свойств полуфабрикатов проводили на испытательной машине Walter + Bai AG LFM400 («Walter + Bai AG») усилием 400 кН. Для исследования технологичности полученных полуфабрикатов и оценки изменения

их свойств прутки подвергали волочению на цепном стане без промежуточных отжигов и получали проволоку диаметром 2 мм.

Экспериментально выявлено, что значение удельного сопротивления проволоки варьируется от 0,03032 - 0,03353 Ом·мм<sup>2</sup>/м, а прутков, соответственно, от 0,03058 - 0,03421 Ом·мм<sup>2</sup>/м. Испытания образцов на термостойкость показали что при увеличении температуры с 150 до 250 °С временное сопротивление разрыву (предел прочности  $\sigma_b$ ) снижается в среднем на 13 %.

На рис. 1 показано, что диапазон изменения значений временного сопротивления разрыву прутков составляет 120 – 150 МПа, а прочностные характеристики проволоки равны 195-290 МПа.

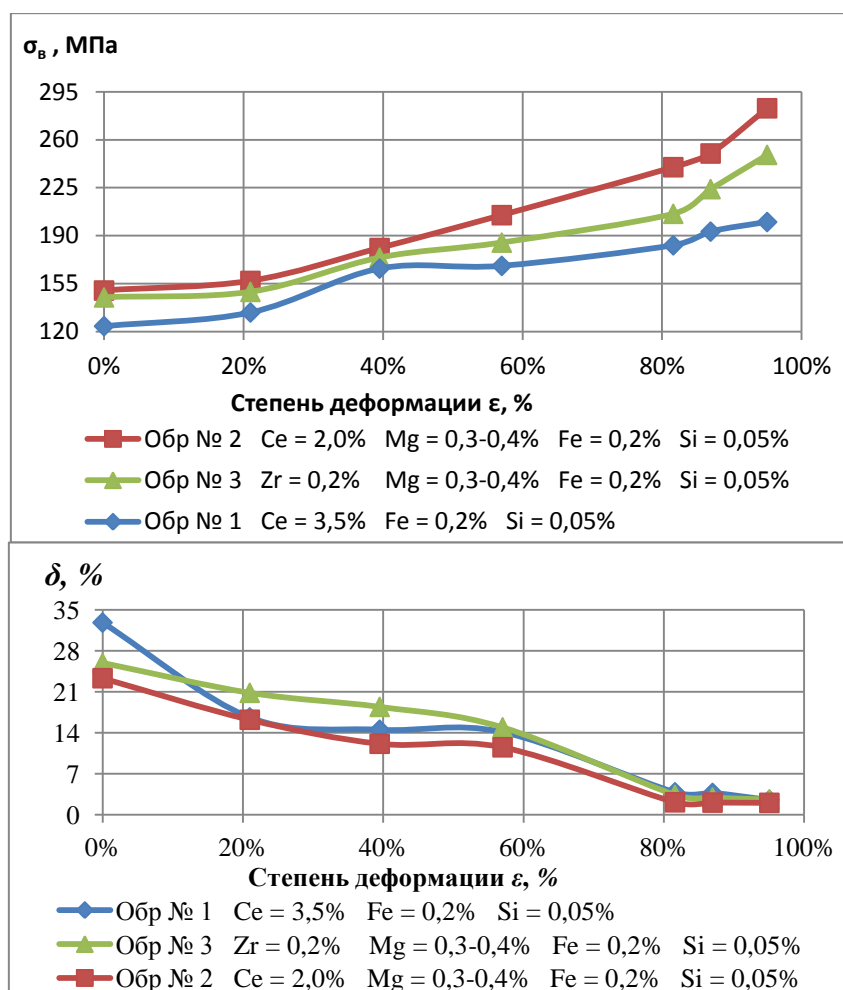
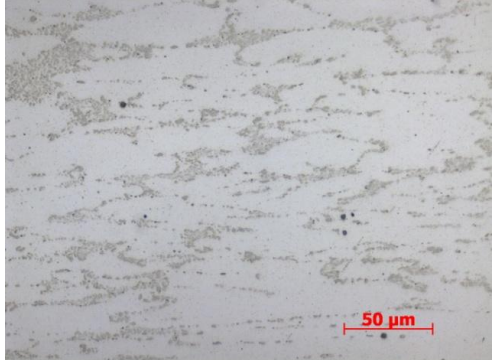
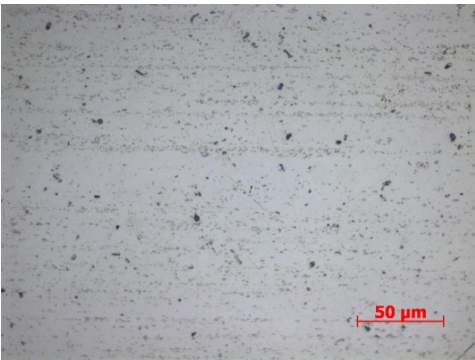
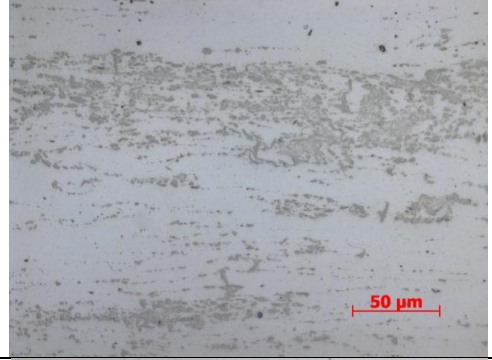
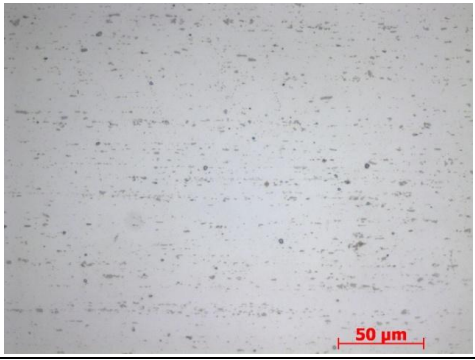
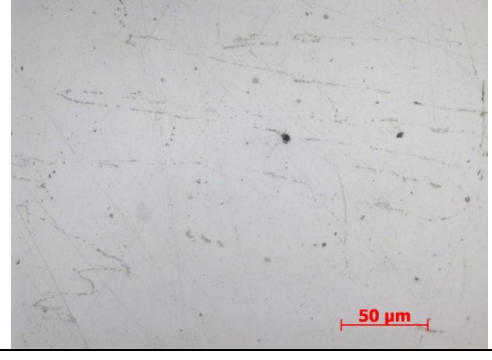
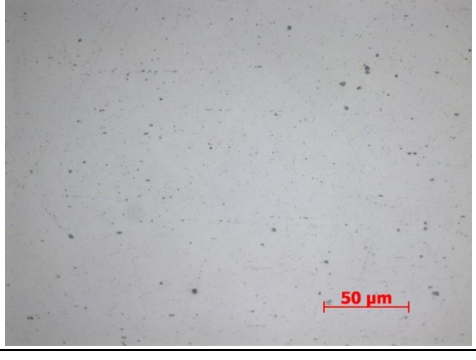


Рисунок 1 – Графики зависимости механических свойств исследуемых образцов, полученных методом СПП от степени деформации

Микроструктура исследуемых прутков диаметром 9 мм и проволоки диаметром 2 мм приведена в табл.2. Металлографические исследования образцов прутков № 1 и 2, легированных РЗМ показали, что микроструктура состоит из α-твердого раствора и эвтектических включений фаз, типа Al<sub>4</sub>Me, Al-Fe-Si и Mg<sub>2</sub>Si для образца сплава 2, легированного магнием. В сплавах по сечению прутка проявляется неоднородность распределения структурных составляющих, характеризующаяся зонами с повышенным количеством эвтектических составляющих, вытянутых в строчки, и зонами с единичными выделениями эвтектических кристаллов.

Таблица 1 – Микроструктура прутков и проволоки из исследуемых сплавов

№ образца	Микроструктура (x500)	
	прутки	проволока
1		
2		
3		

В прутках наблюдается неоднородность состава в зонах, содержащих эвтектические кристаллы. Практически во всех прутках в эвтектических областях обнаруживаются включения первичных кристаллов типа  $Al_4Me$ , что свидетельствует о значительной ликвации расплава (табл. 1). Первичные кристаллы и эвтектические колонии в прутках № 501 и 502 из сплавов системы Al-PЗМ и Al-PЗМ-Mg содержат Al, Si, Fe, La, Ce, а также Mg в образце 2. В исследуемых спектрах эвтектических колоний атомное соотношение церия к лантану составляет (1,5-2):1. Содержание церия и лантана в первичных кристаллах превышает содержание в эвтектических кристаллах и составляет в среднем 4 ат. % La и 7 ат. % Ce. В образце 2 обнаружены крупные включения железа, что свидетельствует о его неполном растворении в расплаве алюминия при приготовлении сплава. Данный факт подтверждается отсутствием железа в спектрах МРСА исследуемых фаз. В образцах 2 и 3 выявлены окисные пленки, в состав которых входит  $Al_2O_3$ , Mg и Si.

Волочение проволоки (образцы сплава 1, 2) до диаметра 3,9 мм не устранило макро и микронеоднородности исходных заготовок, характеризующейся скоплениями

первичных и эвтектических кристаллов. Структура проволоки этого диаметра образцов 1,2 подобна структуре прутков тех же составов. Дальнейшая холодная деформация проволоки до 2 мм (см. табл. 1) привела к дроблению первичных и эвтектических кристаллов типа  $Al_4Me$ ,  $Al-Fe-Si$ , а также к более однородному распределению эвтектики по сечению образцов 1 и 2. В образце проволоки сплава 1 диаметром 2 мм с более высокой концентрацией РЗМ (3,5 масс. %) в структуре наблюдается строчечность из избыточных фаз. При волочении образцов проволоки 2, 3 с 3,9 мм до 2 мм достигнута однородность распределения избыточных фаз.

Прутки, полученные методом СПП, подвергали ИПД с помощью метода РКУП. Результаты исследований представлены в табл. 2, при этом выявлено, что временное сопротивление разрыву повышается на 32 - 33% , а относительное удлинение снижается на 5 - 6%.

Таблица 2- Сравнение средних значений механических свойств исследуемых образцов, полученных методами СПП и РКУП

Номер образца	$\sigma_b$ , МПа	Отклонение, %	$\delta$ , %	Отклонение, %
СПП				
2	150	-	23,3	-
3	145	-	25,9	-
СПП+РКУП				
2	200.9	33,9	9.9	5,8
3	192.5	32,8	12.9	5,0

Таким образом, проведены экспериментальные исследования структуры и свойств деформированных полуфабрикатов из сплавов с переходными и редкоземельными металлами, при этом выявлено, что метод СЛИПП позволяет получить временное сопротивление разрыву в среднем 147 МПа, а относительное удлинение 24%, при этом метод РКУП позволяет повысить прочностные свойства в среднем на 33%, при этом пластичность снижается в среднем на 5,5% .

Полученные данные используются при промышленном внедрении технологии СЛИПП на Иркутском алюминиевом заводе в соответствии с результатами научно-исследовательской работы в рамках договора Минобрнауки России №13.G25.31.0083 по созданию высокотехнологичного производства по теме «Разработка технологии получения алюминиевых сплавов с переходными металлами и высокоэффективного оборудования для производства электротехнической катанки».

#### Литература

1. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н. Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография. // М.:МАКС Пресс, 2005.- 344 с.
2. Г.И. Рааб, М.Ю. Мурашкин, Р.З. Валиев Перспективные направления развития технологий ИПД для получения УМЗ алюминиевых сплавов // Цветные металлы-2011, с. 500-501.