

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ  
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ  
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
СОВМЕЩЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ**

**Стрижнев А.Э., Ворошилов Д.С., Мотков М.М.**

**Научные руководители – д-р техн. наук, профессор Сидельников С. Б.**

**д-р техн. наук, профессор Довженко Н.Н.**

***Сибирский федеральный университет***

Анализ научно-технической литературы [1-3] показал, что присутствие редкоземельных металлов (РЗМ) в алюминиевых сплавах ведет к следующим преимуществам: улучшается жаропрочность и термостойкость, увеличивается устойчивость к коррозии, повышается вязкость сплава и механические свойства.

В связи с этим в последнее время активно разрабатываются и внедряются технологии производства катанки, прутков и проволоки с повышенным комплексом механических и эксплуатационных свойств для изготовления электропроводников. Одним из таких перспективных направлений является применение в технологии совмещенных методов обработки [4] для получения заготовок с высокими пластическими характеристиками, подвергающихся затем волочению с целью получения проволоки заданного диаметра.

Известно, что увеличение содержания РЗМ в сплаве в значительной мере влияет на механические и электрофизические характеристики металла, поэтому целью работы являлось изучение этих свойств при изменении химического состава сплавов и применении различных видов совмещенной обработки для получения заготовки для последующего волочения проволоки.

Исследования по получению заготовок проводились на экспериментальной установке совмещенной обработки, смонтированной на базе прокатного стана ДУО 200, включающего электродвигатель переменного тока, коробку передач, двухступенчатый редуктор, шестеренную и прокатную клетки, последняя для удобства загрузки заготовки в калибр была повернута на угол 90° и установлена на опору. После получения прутков диаметром 9 мм методами совмещенной прокатки-прессования (СПП) и совмещенного литья и прокатки-прессования (СЛИПП) осуществлялось холодное волочение прутка до диаметра 2 мм на цепном волочильном стане однократного действия.

Оценку механических свойств экспериментальных сплавов системы Al-РЗМ проводили на испытательной машине Walter + Bai AG LFM400 («Walter + Bai AG», Швейцария) методом статических испытаний на растяжение.

Результаты исследований приведены на рис. 1. При степени деформации 0% (условно) приведены значения исследуемых характеристик для прутков, являющихся заготовками для волочения.

После холодной деформации и получения проволоки диаметром 2 мм прочностные характеристики для низколегированных сплавов (0,5-3,5 % РЗМ) достигают 180-210 МПа из прутков, полученных методом СПП (рис. 1 а) и 175-200 МПа из прутков, полученных методом СЛИПП (рис. 1 б). Тогда, как для проволоки из высоколегированных сплавов (7 % РЗМ) значения временного сопротивления разрыву достигают 300 МПа после метода СПП (рис. 1 а) и 275 МПа после метода СЛИПП (рис. 1 б).

Пластические характеристики металла падают с ростом степени деформации. При этом значения относительного удлинения прутка, полученного по методу СПП,

составляют 17-20 % (рис. 1 в) и 20-29 % у прутка после метода СЛИПП (рис. 1 г) для низколегированных сплавов. Для прутков из высоколегированных сплавов значения  $\delta$  составляют 9-10 %, как для СПП, так и для СЛИПП. При достижении степени деформации  $\epsilon$  90 % из-за упрочнения в результате холодной деформации значения  $\delta$  выравниваются для всех сплавов и составляют 1-5 %.

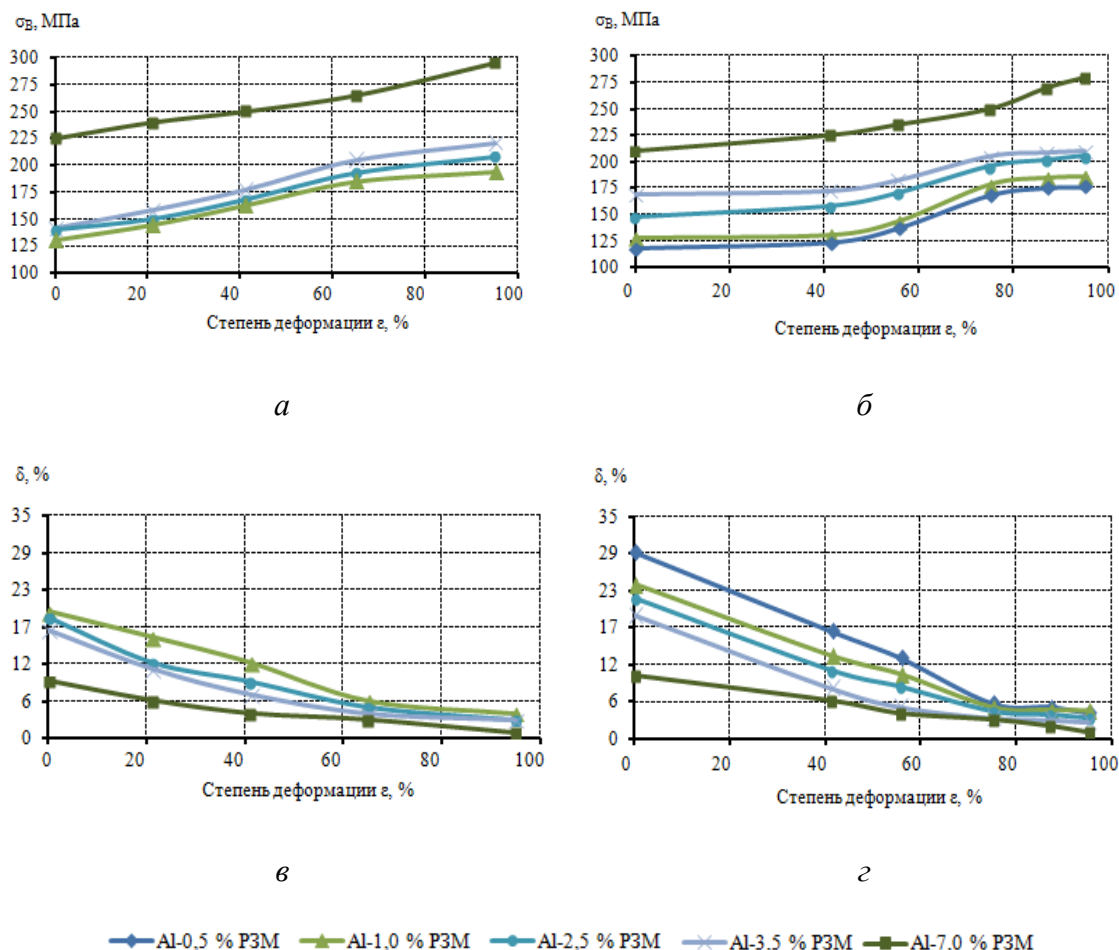


Рис. 1. Графики зависимости временного сопротивления разрыву (а, б) и относительного удлинения (в, г) от степени деформации для сплавов Al-PЗМ, полученных методом СПП (а, в) и СЛИПП (б, г)

Кроме того, замерялось электросопротивление полученных полуфабрикатов с помощью милливольтметра «Виток» в соответствии с ГОСТ 7229-76. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения электросопротивления ( $\rho$ , Ом·мм<sup>2</sup>/м при 20 °С) для деформированных полуфабрикатов из сплавов системы Al-PЗМ

Вид	Алюминиевый сплав с содержанием PЗМ				
	0,5%	1,0 %	2,5 %	3,5 %	7,0 %
Пруток (заготовка) диаметром 9 мм	0,02791	0,02803	0,02813	0,02902	0,03125
Проволока диаметром 2 мм	0,02858	0,02958	0,03064	0,03118	0,03311

Анализ приведенных данных показал, что с увеличением содержания РЗМ и степени деформации электросопротивление металла растет. Так значения этого параметра для высоколегированных сплавов системы Al-РЗМ (7 % РЗМ) находятся в пределах 0,03125-0,03311 Ом·мм<sup>2</sup>/м, а для низколегированных сплавов в пределах 0,02791-0,03118 Ом·мм<sup>2</sup>/м. С увеличением степени деформации до значений 95-98% электросопротивление увеличивается не так интенсивно, в среднем оно возрастает в 1,02-1,05 раза. Поэтому для снижения этого показателя, если нет особых требований к прочностным характеристикам, рекомендуется провести термообработку (отжиг).

Микроструктура образцов прутков и проволоки из сплава Al + 7,0 % РЗМ показана на рис. 2.

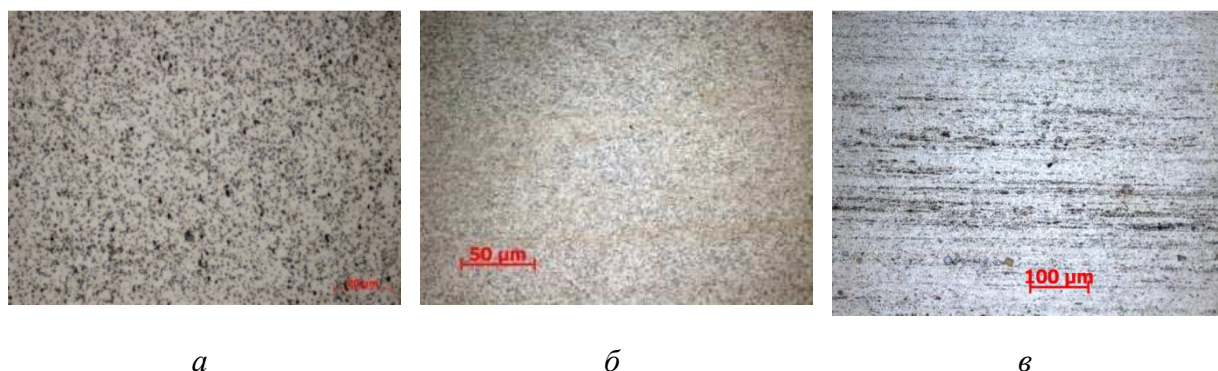


Рис. 2. Микроструктура деформированных полуфабрикатов из сплава Al + 7,0 % РЗМ: *а* – пруток диаметром 9 мм, полученный методом СПП при  $T = 550$  °С и скорости деформации  $0,74 \text{ с}^{-1}$ ; *б* – пруток диаметром 9 мм, полученный методом СЛИПП при  $T = 780$  °С и скорости деформации  $1,49 \text{ с}^{-1}$ ; *в* – проволока диаметром 2 мм

Проведенные исследования позволили определить уровень механических и электрофизических свойств новых алюминиевых сплавов системы Al-РЗМ. При этом установлены закономерности изменения прочностных и пластических свойств металла в зависимости от химического состава этих сплавов, технологической схемы совмещенной обработки, степени деформации. Полученные данные позволяют прогнозировать свойства новых алюминиевых сплавов с редкоземельными металлами с учетом полученных закономерностей их изменения, а также использовать их для расчета энергосиловых параметров при проектировании нового оборудования.

В настоящее время результаты исследований используются при промышленном внедрении технологии совмещенной обработки для получения катанки на Иркутском алюминиевом заводе.

#### Литература

1. Сплавы редкоземельных металлов. Савицкий В.М., Терехова В.Ф., Буров И.В. и др. Издательство АН СССР, 1962.
2. Горбунов Ю.А. Основные характеристики и перспективы развития сплавов алюминия с высокой дисперсностью фаз легирующих элементов. Цветные металлы-2013: Сб. научн. статей. - Красноярск: Версо, 2013 г., с.585-590.
3. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Ворошилов Д.С., Трифоненков Л.П., Лопатина Е.С., Баранов В.Н., Галиев Р.И. Исследование структуры металла и оценка свойств опытных образцов из сплава системы Al - РЗМ, полученных совмещенными методами литья и обработки давлением // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – Магнитогорск. №.2. 2011. С. 23-28.

4. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов. М.: МАКС Пресс, 2005.