

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

**Рудницкий Э.А., Беспалов В.М., Трифоненков А.Л.
Научный руководитель – д-р. техн. наук, профессор Сидельников С.Б.**

Сибирский федеральный университет

На сегодняшний день в промышленности широко применяются сплавы на основе алюминия. Все чаще применяется алюминиевая кабельно-проводниковая продукция, что объясняется меньшей стоимостью деформированных полуфабрикатов в сравнении с медью.

В различных отраслях, где работа проводников электрического тока связана с повышенными температурами, нашли место сплавы алюминия с цирконием. При комнатной температуре механические свойства сплава алюминия с цирконием (до 0,4 %) и алюминия различаются мало, однако повышение температуры испытания до 200 °С приводит к заметной разнице в свойствах этих материалов: сохраняются высокие значения прочности и электропроводности. Исследования проволоки из алюминия и сплава с цирконием свидетельствуют о том, что проволока из сплава вполне может применяться при температуре 150 °С, в то время как максимально допустимая температура длительной эксплуатации твердой проволоки из алюминия не превышает 90 °С.

Современное состояние характеризуется наличием проволочных полуфабрикатов зарубежных фирм (J-Power Systems, Lumpi-Berndorf, ЗМ США), однако для их применения в России потребуется ряд процедур по сертификации и локализации продуктов, что является долгим и трудоемким процессом. Поэтому в настоящее время требуется разработки новых сплавов системы алюминий-цирконий, исследований существующих и разработка новых высокоэффективных технологий их обработки.

Действующее промышленное производство для изготовления катанки диаметром 9,5 мм включает литейно-прокатный агрегат, имеющий печь-миксер объемом 20 т, роторный кристаллизатор, прокатный стан с 14 клетями с горизонтально и вертикально расположенными валками и двумя моталками. Масса плавки достигает 9,3 т, температура расплава в миксере составляет 740-750 °С, перед фильтром в роторный кристаллизатор 710-720 °С. Закристаллизовавшийся металл поступает на непрерывный сортопрокатный стан на выходе из которого получают катанку заданного диаметра. Температура прутка на выходе 310-320 °С. Изменение геометрических размеров деформированных полуфабрикатов по переходам показано на рисунке 1.

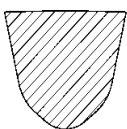
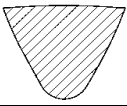
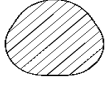














Рисунок 1 – Темплеты деформированных полуфабрикатов по проходам прокатки

Сотрудниками Сибирского федерального университета разработана серия сплавов системы алюминий-цирконий содержащей циркония не более 1,0 % масс. Сплавы различных химических составов были получены в промышленных условиях на ОАО «ИрКАЗ» различных плавки: плавка 3742 (сплав АЦЕ-1), плавка 3744 (сплав АЦЕ-2) и плавка 3743 (сплав АЦЕ-3). Масса одной плавки достигала примерно 9 тонн, что позволяло получать до пяти бухт готовой катанки сечением 9,5 мм массой порядка 1600 килограмм.

В процессе опытных плавки и сортовой прокатки отбирали образцы для исследований механических свойств. Для изучения влияния механических свойств в зависимости от деформации (суммарной вытяжки), определены площади сечений, представленные на рис. 2, путем оцифровки сканированных поперечных сечений. В таблице 1 представлены поперечные сечения полуфабрикатов по ходу деформации, определена суммарная деформация от литой заготовки до конечного сечения и указаны прочностные и пластические свойства сплава.

Таблица 1 – Механические свойства плавки 3744

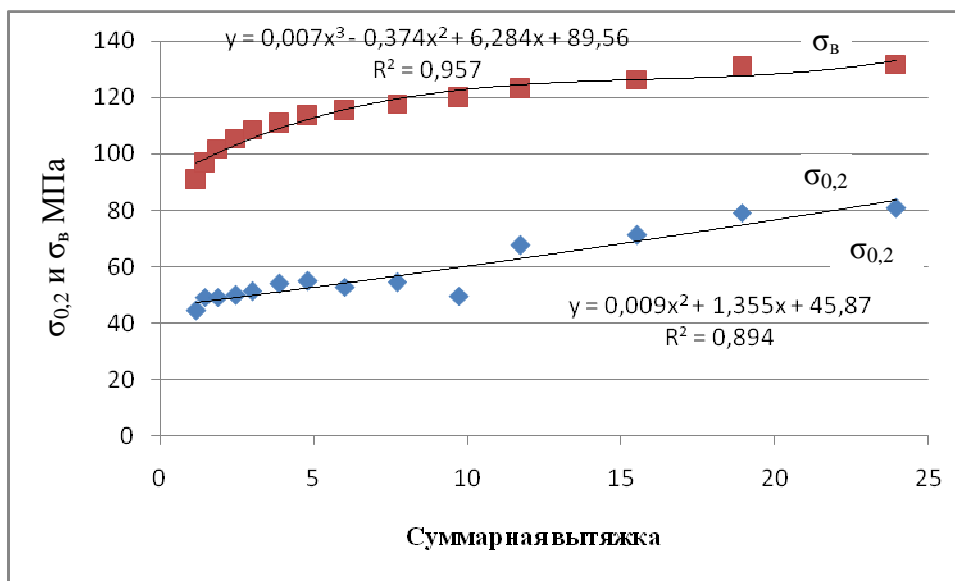
№ п/п	Форма поперечного сечения	Площадь поперечного сечения, мм ²	Суммарная вытяжка, $\lambda_{\text{сум}}$	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Относительное удлинение δ , %
0		1696,15	0	49,7	89,4	39,4
1		1412,75	1,2	44,4	90,9	47,5
2		1138,00	1,5	49,2	96,8	48,2
№ п/п	Форма поперечного	Площадь поперечного	Суммарная вытяжка,	Предел текучести $\sigma_{0,2}$,	Временное сопротивление	Относительное удлинение

	сечения	сечения, мм ²	$\lambda_{\text{сум}}$	МПа	разрыву $\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %
3		894,4	1,9	49,2	101,9	42,2
4		683,2	2,5	50,0	105,6	41,9
5		563,8	3,0	51,3	108,8	39,0
6		436,0	3,9	54,0	110,8	37,3
7		352,0	4,8	55,0	113,4	33,8
8		281,5	6,0	52,9	115,4	32,7
9		219,8	7,7	54,5	117,8	34,8
10		174,2	9,7	49,7	119,8	32,6
11		144,6	11,7	67,6	122,9	26,6
12		109,2	15,5	71,3	126,4	22,8
13		89,6	18,9	79,2	130,6	20,7
14		70,8	23,9	80,8	131,9	19,7

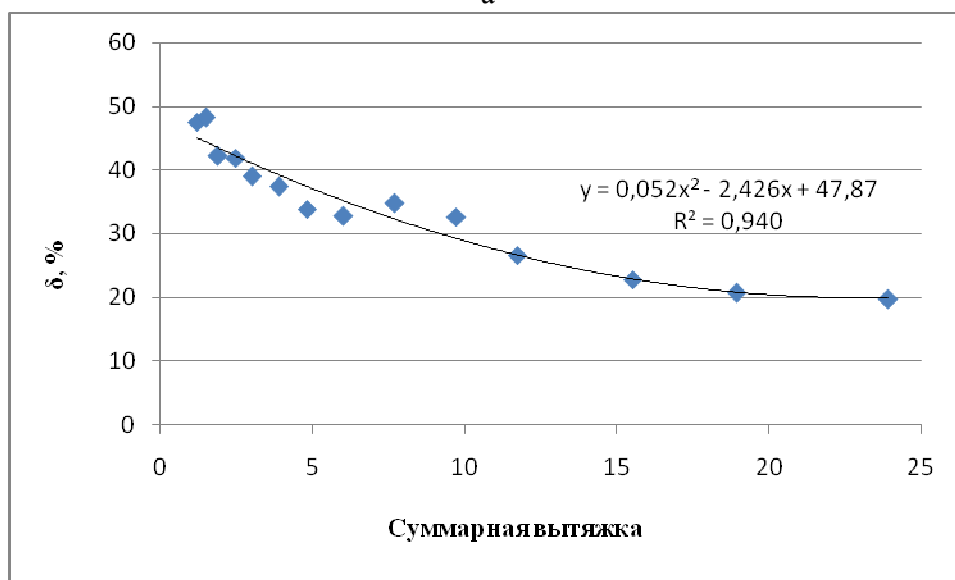
Исследование механических свойств проводили на испытательной машине Walter+Bai AG LFM400 («Walter+Bai AG», Швейцария) методом статических испытаний на растяжение. В качестве образцов для испытания, использовали выточенные гантели на металлорежущем станке, использование которого исключает возможное изменение свойств металла при нагреве или наклепе, возникающих в результате механической обработки. Образцы соответствуют ГОСТ 1497-84. Условия проведения испытаний были выбраны одинаковыми для всех опытов: температура 22-25 °С, скорость деформирования 20 мм/мин, длина рабочей зоны составляет 30-40 мм.

Исследование пластических свойств литой заготовки и заготовки после первого прохода плавки 3744 при незначительном увеличении временного сопротивления разрыву с 89,4 до 90,9 МПа, также показывает рост относительного удлинения с 39 до 49 %. Подобный рост пластических свойств можно объяснить дроблением структуры слитка в результате горячей деформации.

Проведенные испытания позволили построить графики и определить закономерность изменения механических свойств в зависимости от вытяжки деформированного сплава. На основании результатов проведена аппроксимация полученных данных, результаты представлены на рисунке 2. На графиках указаны уравнения для расчетов требуемых механических свойств в зависимости от вытяжки.



а



б

Рисунок 2 – Прочностные (а) и пластические (б) характеристики плавки 3744

Предел текучести сплава плавки 3744, при малых вытяжках (до 3,0), повышается незначительно с 44,4 до 51,3 МПа (примерно на 13 %), при увеличении вытяжки до 23,9 предел текучести увеличивается на 45 % до 80,8 МПа. Временное сопротивление разрыву с увеличением вытяжки равномерно возрастает, так при малых вытяжках повышается с 89,4 до 108,8 МПа (на 17 %), при увеличении вытяжки до 23,9 временное сопротивление разрыву увеличивается до 131,9 МПа (на 32 %). Незначительное увеличение прочностных характеристик при больших степенях деформации (при вытяжке 23,9 степень деформации достигает 96 %), связано с температурой обработки металла, превышающей 320 °С. В общем случае, временное сопротивление разрыву выше значений предела текучести на 40-70 МПа. Не смотря на незначительное изменение прочностных свойств, пластические характеристики снижаются практически в 2,5 раза, при этом относительно удлинение падает с 48,2 до 19,7 %.

Помимо влияния режимов деформации (суммарной вытяжки) на изменение свойств, изучали изменение механических свойств в зависимости от химического

состава с учетом места отбора образцов. Средние значения механических свойств образцов, отобранных от начала (1,3) и конца (2, 4, 5) прутка представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Средние значения механических свойств алюминиевых сплавов

№ п/п	Плавка	Сплав	Место отбора образца	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	Относительное удлинение δ , %
1	3742	АЦЕ-1	начало	93,0	126,3	18,6
2			конец	82,2	125,7	19,7
3	3744	АЦЕ-2	начало	95,9	128,1	23,1
4			конец	88,8	126,9	22,4
5	3743	АЦЕ-3	конец	88,7	129,2	20,4

Уровень прочностных характеристик в начале прутка, полученного на литейно-прокатном агрегате, выше в сравнении с его концом (сплав АЦЕ-1, АЦЕ-2). Уровень пластических свойств сплавов АЦЕ-1, АЦЕ-2 в начале и конце прутка практически одинаков. С увеличением циркония в сплаве (АЦЕ-1, АЦЕ-2, АЦЕ-3) увеличивается временное сопротивление разрыву с 125,7 до 129,2 МПа (образец 2, 4, 5).

Таким образом, в результате проведенных исследований определили, как изменяются показатели прочности сплава плавки 3744 при горячей обработке металла: предел текучести растет с 49,7 до 80,8 МПа, временное сопротивление разрыву увеличивается с 89,4 до 131,9 МПа, пластичность снижается в 2,5 раза. При анализе механических свойств различных составов сплавов установили, что увеличение циркония в сплаве ведет к увеличению прочности сплава.