

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ НОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Самчук А.П.

научный руководитель доктор технических наук Сидельников С.Б.

*Сибирский федеральный университет*

Деформированные полуфабрикаты из алюминиевых сплавов находят широкое применение в современной промышленности. Одним из видов таких востребованных полуфабрикатов уже несколько десятилетий является алюминиевая катанка и проволока для электропроводников. Несмотря на то, что большое внимание уделяется изучению их свойств, до сих пор катанка производится в основном из одного сплава, а именно, АВЕ. Поэтому поиск новых электротехнических сплавов с высоким уровнем механических и электрических характеристик и изучение их свойств, а также совершенствование технологий их обработки, является актуальной научной задачей.

Учеными кафедры обработки металлов давлением (ОМД) института цветных металлов и материаловедения (ИЦМиМ) Сибирского федерального университета совместно с сотрудниками ООО «РУСАЛ-ИТЦ» предложены новые сплавы системы Al-Zr по патенту РФ №2458151, химический состав и свойства которых приведены в табл. 1. Сплав №3 был выбран за базовый и на нем проводились исследования механических свойств.

Таблица 1. – Химический состав и свойства сплавов по патенту РФ №2458151

Сплав	Содержание, %			Термостойкость при 150 °С	Временное сопротивление разрыву, МПа	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С Ом·мм <sup>2</sup> /м.
	Zr	Fe	Si			
1	0,05	0,10	0,16	неудовлетвор.	90–110	0,0285
2	0,10	0,15	0,11	удовлетвор.	110–120	0,0285
3	0,20	0,20	0,11	удовлетвор.	140–150	0,0290
4	0,30	0,30	0,11	хорошие	150–160	0,0295
5	0,40	0,40	0,11	хорошие	160–180	0,0295
6	0,55	0,40	0,11	хорошие	180–200	0,0231
7	0,60	0,50	0,10	хорошие	190–210	0,0233
8	0,10	0,21	0,11	хорошие	130–140	0,0285
9	0,15	0,30	0,12	высокая	140–150	0,0290
10	0,19	0,35	0,15	высокая	150–160	0,0295

В основном изготовление электротехнической катанки осуществляется на литейно-прокатных агрегатах (ЛПА), включающих печь-миксер, роторный кристаллизатор, прокатный стан, имеющий 14 клетей с горизонтально и вертикально расположенными валками и несколько моталок. Масса плавки достигает 12 - 15 т, что позволяет получать до шести бухт готовой катанки диаметром 9,5 мм и весом порядка 1600 килограмм.

Температура расплава в миксере составляет 740–780 °С, а перед заливкой в роторный кристаллизатор 710 – 720 °С. После получения литой заготовки в роторном кристаллизаторе металл поступает на непрерывный сортопрокатный стан, на выходе из которого получают катанку заданного диаметра, температура которой составляла 310–350 °С. Изменение геометрических размеров деформированных полуфабрикатов по переходам показано на рис. 1. Далее полученную катанку подвергают волочению до нужного размера и при необходимости подвергают термообработке, после чего продукцию упаковывают и отправляют потребителю.



Рисунок 1 – Темплеты деформированных полуфабрикатов по переходам прокатки

Для потребителя важными показателями продукции являются ее механические свойства. Для изучения прочностных и пластических свойств материала на кафедре ОМД ИЦМиМ образцы из новых сплавов подвергали разрушению на испытательной машине LFM400 усилием 400 кН методом растяжения стандартных образцов, фиксируя каждый раз изменение рабочей части образца, а так же соответствующее этому изменению значение растягивающей силы  $P$ . Затем определяют напряжение текучести  $\sigma_T$ , временное сопротивление разрыву  $\sigma_B$ , логарифмическую степень деформации  $\bar{\epsilon}$  и относительное удлинение  $\delta$  по известным формулам:

$$\sigma_T = \frac{P}{F_0}; \sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}; \bar{\epsilon} = \ln \frac{l}{l_0}; \delta = \frac{l - l_0}{l_0} 100\%,$$

где  $P_{\max}$  – максимальная сила растяжения на всем участке пластического деформирования образца, предшествующая моменту образования шейки;  $F_0$  и  $l_0$  – исходные

площадь поперечного сечения и длина рабочего участка образца соответственно,  $F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$ ;

$l$  – текущая длина рабочего участка образца.

Скорость деформации, рассчитываемая как отношение скорости перемещения подвижного захвата испытательной машины  $v$ , мм/с к исходной длине рабочего участка образца  $l_0$ , мм, варьировалась в процессе исследований в заданных техническими характеристиками машины пределах.

Прочностные и пластические показатели для катанки из нового алюминиевого сплава системы Al–Zr, полученного на установке ЛПА Иркутского алюминиевого завода, представлена на рис. 2. Из графиков видно, что катанка обладает повышенными прочностными пластическими характеристиками, что позволяет получать из нее проволоку без отжигов с суммарными степенями деформации до 70%. Данные исследования позволяют реализовать технологичный процесс получения проволоки с нужными потребителю свойствами.

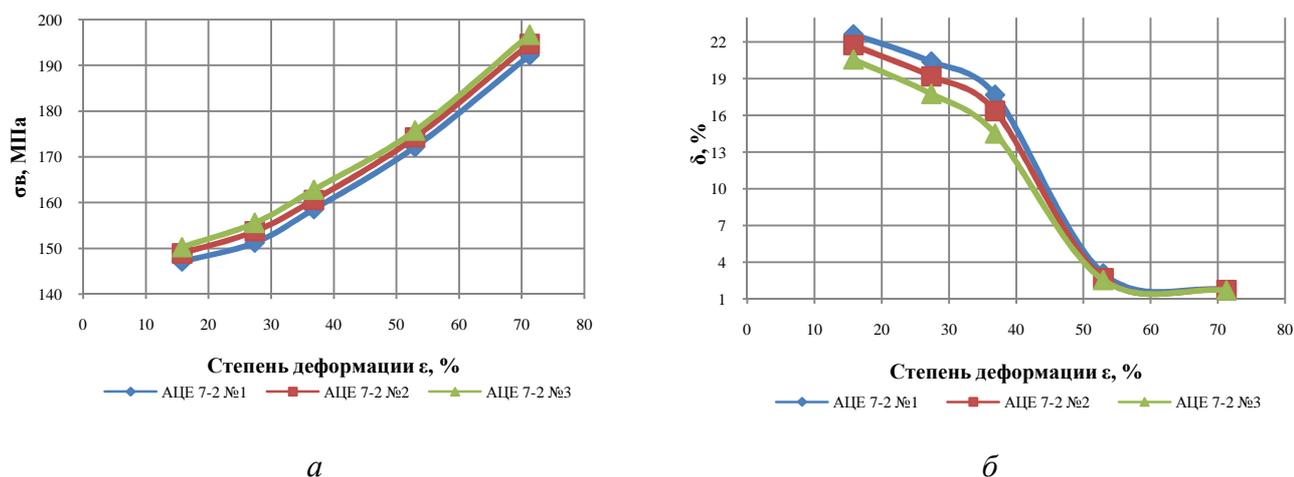


Рисунок 2 – Изменение временного сопротивления разрыву (а) и относительного удлинения (б) от степени деформации

Важнейшее практическое значение для проектирования технологических процессов и оборудования имеет правильное определение реологических свойств металла, используемого для деформации. Для их исследования создана и запатентована установка горячего скручивания с нагревом в расплаве солей (патент РФ №.130708). Методика определения сопротивления деформации металла заключается в поочередном скручивании двух различных по диаметру образцов в расплаве солей с фиксацией момента скручивания. Далее рассчитывается истинное сопротивление деформации для трубчатого образца с толщиной стенки ( $d_1-d_2$ ) по формуле

$$\tau = \frac{3(M_1 - M_2)}{2\pi(d_1^3 - d_2^3)}, \quad (1)$$

где  $M_1, M_2$  – момент сил приложенный к образцам для их деформации;

$d_1, d_2$  – соответственно диаметры первого (8мм) и второго (6мм) образцов.

Для пересчета числа скручиваний в деформацию сдвига используют соотношение

$$\gamma = \frac{d_1 + d_2}{2l} \varphi, \quad (2)$$

где  $l$  – длина рабочей части образца, мм;

$\varphi$  – угол скручивания (угол поворота шпинделя), рад.,  $\varphi = 2\pi n$ ;

$n$  – количество оборотов шпинделя активного захвата,

а скорость деформации определяют по формуле

$$\xi = \frac{d_1 + d_2}{2l} \omega, \quad (3)$$

где  $\omega$  – угловая скорость шпинделя,  $c^{-1}$ .

Сопротивление металла деформации можно пересчитать по формуле.

$$\sigma_s = \sqrt{3}\tau, \quad (4)$$

При этом параметром, характеризующим степень деформации, может являться коэффициент вытяжки  $\lambda$ , используемый для процессов получения длинномерных изделий с помощью операций прокатки, прессования и волочения.

$$\ln \lambda = 0,58\gamma. \quad (5)$$

В качестве примера на рис. 3 приведены результаты исследований реологических характеристик катанки из нового алюминиевого сплава, полученной на установке ЛПА Иркутского алюминиевого завода.

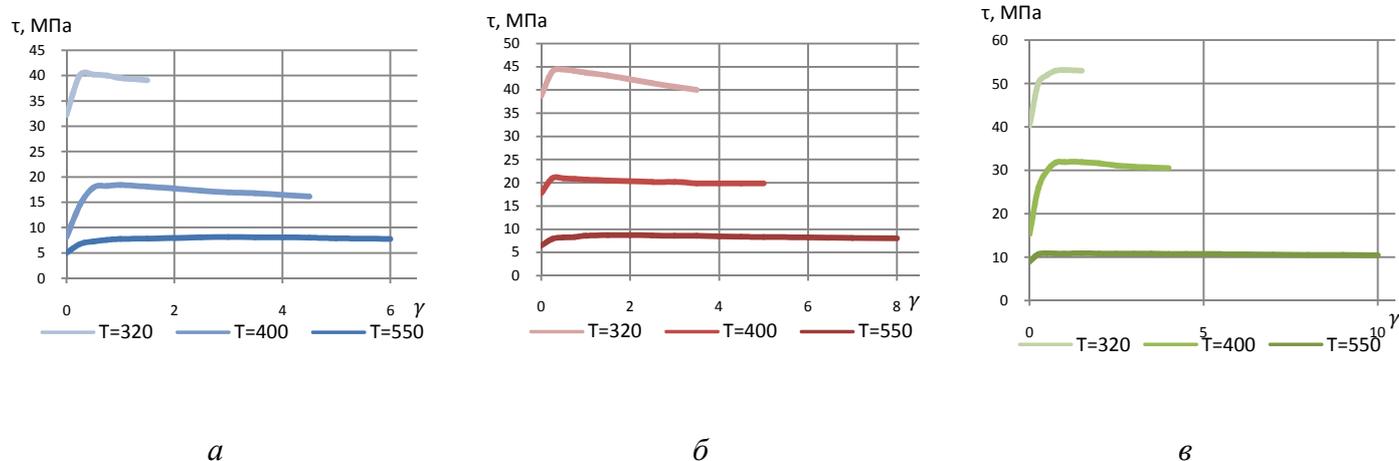


Рисунок 3 – Изменение истинного сопротивления деформации в зависимости от температуры и скорости деформации ( $c^{-1}$ ): *a* –  $\xi = 0,5$ ; *б* –  $\xi = 1,5$ ; *в* –  $\xi = 10$

На рис. 4 приведены пересчитанные значения  $\sigma_s$  в зависимости от изменения температуры, степени и скорости деформации.

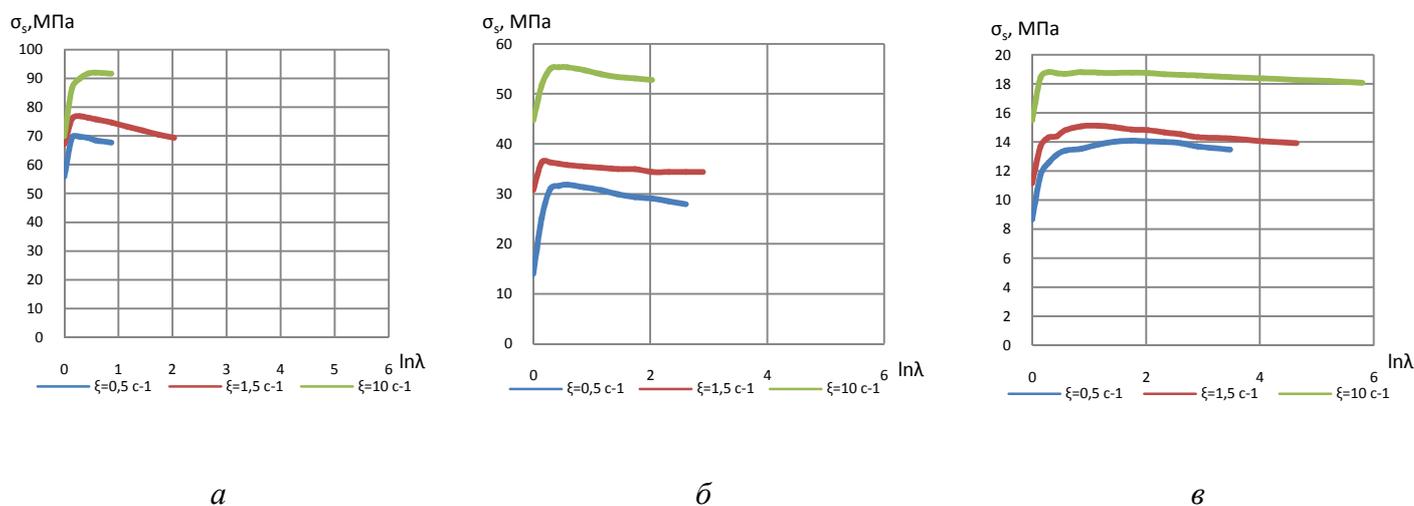


Рисунок 4 – Зависимость сопротивления деформации  $\sigma_s$  от скорости и степени деформации: *a* – 320 °C; *б* – 400 °C; *в* – 550 °C

Результаты исследований использовались для моделирования процессов ОМД методом конечных элементов, для определения энергосиловых параметров проектируемого оборудования и совершенствования технологии производства электротехнической катанки из сплавов системы Al-Zr, которая внедряется в настоящее время на Иркутском алюминиевом заводе.