

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КАТАНКИ ИЗ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Zr

Бернгардт В.А., Федорова О.В.

научный руководитель канд. техн. наук Дроздова Т.Н.

*Сибирский федеральный университет*

В последние годы крупные города России сталкиваются с проблемой ограниченной пропускной способности ЛЭП. Современная энергетическая промышленность нацелена на применение высокотемпературных проводов, которые позволяют с минимальными затратами решать проблему увеличения пропускной способности ЛЭП, что повысит надежность и экономическую эффективность работы электрических сетей.

На сегодняшний день, выдвигаются следующие требования к современным проводам: высокая электропроводность; высокая прочность; небольшая погонная масса; устойчивость к высоким температурам; малые температурные удлинения; устойчивость к старению и ветровым воздействиям. Требования в соответствии ASTM B941-05 приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Свойства катанки в горячедеформированном состоянии.

Концентрация Zr, %	УЭС, Ом·мм <sup>2</sup> /м	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
0,2	0,03178	141	12
0,24	0,03272	142	9
0,27	0,03297	142	7
Требования международного стандарта ASTM B941-05	не более 0,0285	не менее 120	8

Достижение таких требований возможно при изготовлении проводов из алюминиевых сплавов с добавкой циркония, который резко повышает термостойкость, увеличивает прочность, при этом в сплавах с малой концентрацией циркония незначительно снижается электропроводность.

Удельное электросопротивление (УЭС) измеряли с помощью омметра «ВИТОК» на катанке с расчетной длиной 1 м. Испытание механических свойств проводили на испытательной машине Walter+Bai AG LFM 400 kN. Исследование микроструктуры осуществляли на микроскопе Axio Observer A1m, Carl Zeiss.

Технология изготовления катанки из сплава системы Al-Zr заключается в непрерывном литье заготовки на колесо литейно-прокатного агрегата и последующей сортовой прокатки многоклетьевого прокатного стана. Результаты механических свойств и удельного электросопротивления приведены в таблице 1.

Микроструктура образцов в горячедеформированном состоянии в поперечном сечении представляет собой  $\alpha$ -твердый раствор на основе алюминия и частицы железосодержащих фаз, раздробленные при деформации, расположенные по границам деформированных зерен (рисунок 1: а, в, г). Микроструктура катанки в поляризованном свете в горячедеформированном состоянии имеет волокнистое строение (рисунок 1: б, г, д).

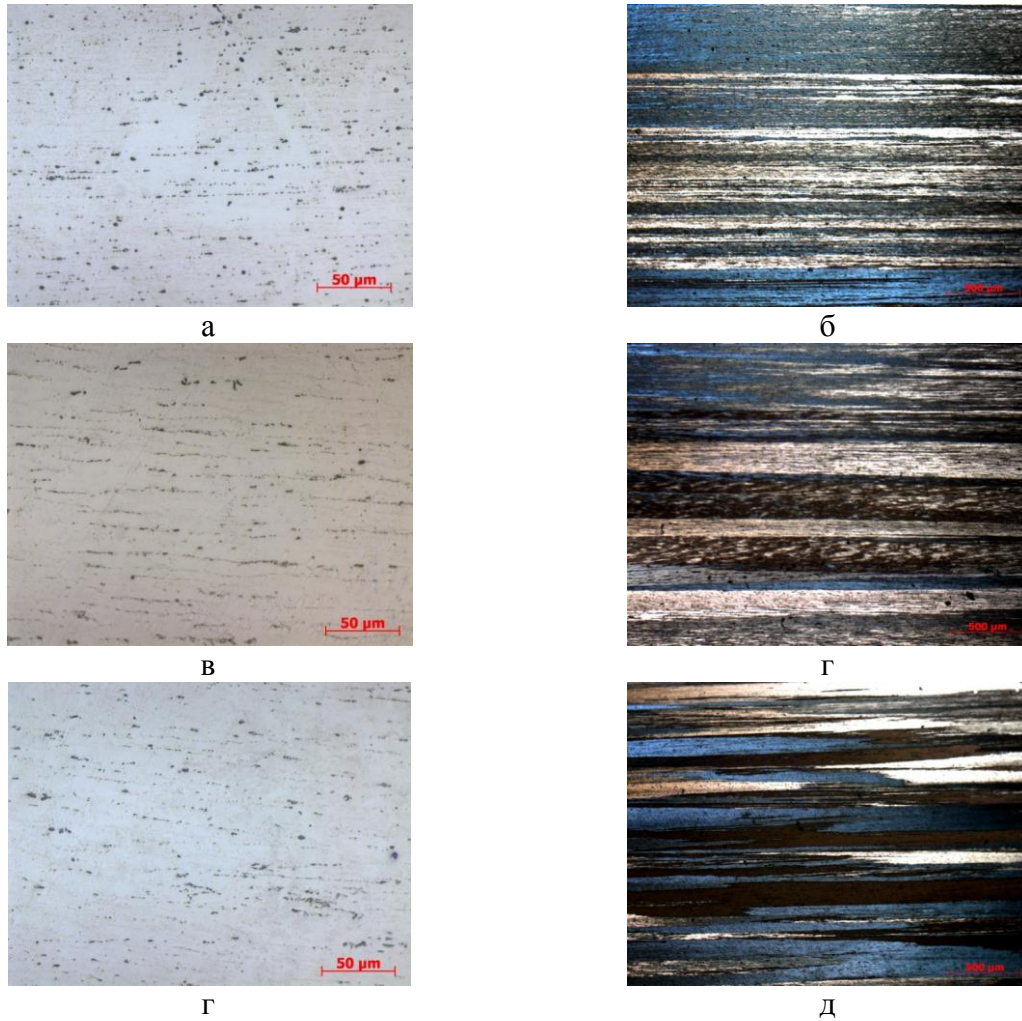
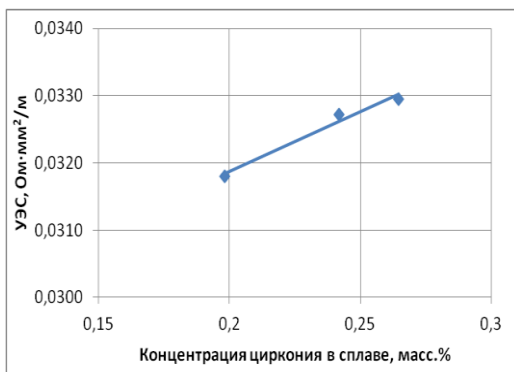
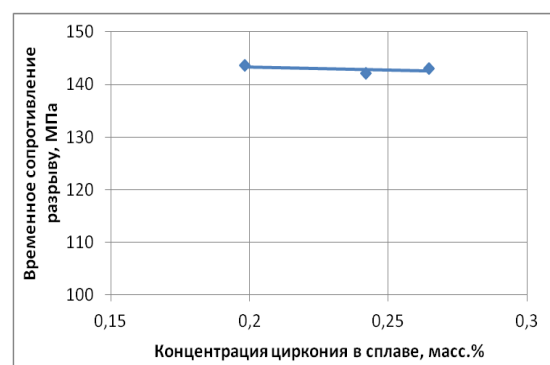


Рисунок 1 - Микроструктура образцов катанки в горячедеформированном состоянии: а, б - сплав Al-0,2% Zr; в, г - сплав Al-0,24% Zr; д, е - сплав Al-0,27% Zr

График показывает, что с увеличением концентрации циркония увеличивается удельное электросопротивление по прямолинейной зависимости, это объясняется тем, что с повышением концентрации циркония растет его концентрация в твердом растворе, затрудняя прохождение электрического тока (рисунок 2, а). С увеличением концентрации циркония в пределах от 0,20 до 0,27%, прочностные свойства практически не изменяются (рисунок 2, б).



а



б

Рисунок 2 - График изменения свойств от концентрации циркония: а - удельного электросопротивления, б - временного сопротивления разрыву от концентрации циркония

Снижение удельного электросопротивления возможно при проведении специальной термической обработки, которая должна обеспечить распад пересыщенного твердого раствора циркония в алюминии с выделением наноразмерных частиц фазы  $Al_3Zr$ . С целью снижения УЭС проводили отжиг по режимам: Температура отжига от 300 до 500°C, время выдержки от 3 до 72 часов.

Ни один одноступенчатый режим не позволил снизить удельное электросопротивление до требуемого значения. В сплавах Al-0,24% Zr и Al-0,27% Zr заметное разупрочнение наблюдается при температуре 450°C. В сплаве Al-0,2% Zr при температурах выше 400°C прочностные свойства снижаются ниже требуемого уровня, что объясняется более низким порогом рекристаллизации.

Для дальнейшего исследования был выбран сплав Al-0,27% Zr, в котором менее резко снижаются прочностные свойства. С целью снижения электросопротивления было принято решение о проведении двухступенчатых режимов отжига (таблица 2).

Таблица 2 - Свойства катанки сплава Al-0,27%Zr

Отжиг	Состояние	$\rho$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
одинарный	отжиг 300°C, 36ч	0,03034	134	18
ступенчатый	отжиг 300°C, 36ч + вторая ступень	0,02779	127	25
одинарный	отжиг 350°C, 48ч	0,03024	135	19
ступенчатый	отжиг 350°C, 48ч + вторая ступень	0,02803	134	23
одинарный	отжиг 400°C, 12ч	0,02959	127	23
ступенчатый	отжиг 400°C, 12ч + вторая ступень	0,02790	127	25

Микроструктура после двухступенчатого отжига имеет частично рекристаллизованную структуру (рисунок 3), при этом свойства и значение удельного электросопротивления удовлетворяют требованиям международного стандарта ASTM B941-05 (таблица 2).

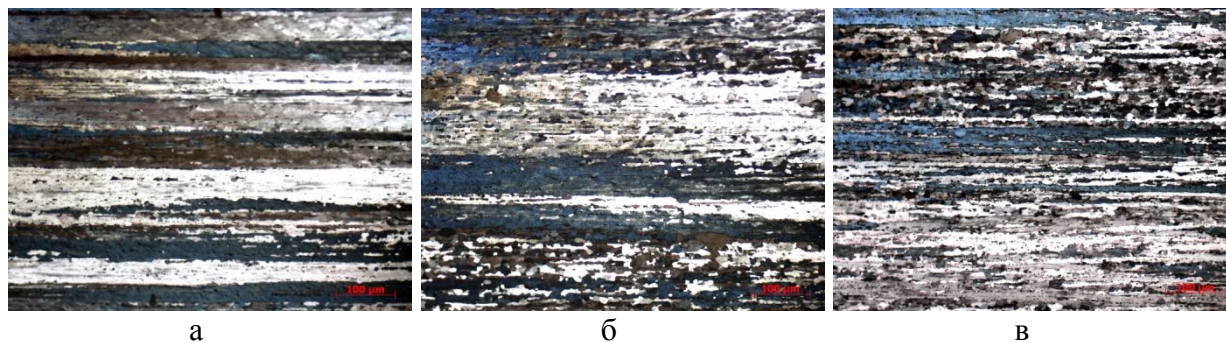


Рисунок 3 - Микроструктура в поляризованном свете катанки сплава Al-0,27%Zr после двухступенчатого отжига,  $\times 100$ : а - 300°C, 36 ч + вторая ступень, 10 ч; б - 350°C, 48 ч + вторая ступень; в - 400°C, 12 ч + вторая ступень.

#### Выводы

1. Отжиг при температурах 300-500°C и времени выдержки 3-48 часов не приводит к требуемому снижению УЭС до 0,0285 Ом·мм<sup>2</sup>/м.
2. Двухступенчатый отжиг позволяет получить требуемый уровень УЭС и предел прочности при этом формируется частично рекристаллизованная структура.