

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОЛОКИ ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Zr

Бернгардт В.А., Беспалов В.М., Шадрина Л.С.,  
научный руководитель канд. техн. наук Дроздова Т.Н.

*Сибирский федеральный университет*

Исследования проведены по государственному заказу (договор №13.G25.31.0083 с Министерством Образования и Науки РФ) по теме «Разработка технологии получения алюминиевых сплавов с редкоземельными, переходными металлами и высокоэффективного оборудования для производства деформированных полуфабрикатов электротехнического назначения».

В рамках данной работы были исследованы электрофизические и механические свойства проволоки из низколегированного сплава системы Al-Zr (с концентрацией Zr 0,15 масс. %) для оценки возможности ее применения в качестве изделий электротехнической промышленности. В соответствии с требованиями заказчика алюминиевые провода должны иметь удельное электрическое сопротивление (УЭС) не более 0,0295 Ом·мм<sup>2</sup>/м, и временное сопротивление разрыву не менее 180 МПа.

Классические методы производства электротехнической катанки предполагает большое количество переходов и высокую суммарную степень деформации, которая приводит к значительным потерям электропроводности за счет существенного увеличения плотности дислокаций в деформированном металле. Поэтому не менее актуальной проблемой является разработка технологии, позволяющей сократить количество технологических переделов и снизить значения электрического сопротивления в деформированных полуфабрикатах. Решить данную проблему позволяет применение совмещенных методов обработки металлов давлением.

Для получения проволоки использовали следующие технологические схемы: горячая сортовая прокатка (ГСП) – холодное волочение, совмещенная прокатка-прессование (СПП) – холодное волочение, совмещенное литье и прокатка-прессование (СЛИПП) – холодное волочение.

Процесс ГСП проводили на сортопрокатном стане AMBIFILO VELOCE ROSEN с диаметром валков 130 мм, при этом литую заготовку нагревали в электрической печи до температуры 550 °С, прокатывали в калибрах, и получали катанку размерами 9,2x9,2 мм.

Процесс СПП осуществляли на экспериментальной установке совмещенной обработки, смонтированной на базе прокатного стана ДУО 200 с диаметром валков 200 мм. При этом заготовки отлитые в изложницу, размерами 14x14 мм, задавали в закрытый калибр валков, к которым была поджата матрица с калибрующим отверстием 9 мм, таким образом получали прутки заданного размера.

Процесс СЛИПП проводили на той же экспериментальной установке, что и процесс СПП, однако в валки в этом случае заливали расплав металла, который последовательно кристаллизовался в калибре вращающихся валков, обжимался ими и выдавливался через матрицу в виде горячепрессованного прутка диаметром 9 мм. Волочение проводили из полученных заготовок в виде прутков и катанки на цепном стане без промежуточных отжигов и получали проволоку диаметром 2 мм.

Удельное электросопротивления измеряли с помощью омметра «ВИТОК» на алюминиевой проволоки с расчетной длиной 1 м. Исследование механических характеристик проводили на испытательной машине Walter+Bai AG LFM 25.

Проволока изготовленная по технологиям ГСП, СПП и СЛИПП подвергалась одинарному отжигу по режиму: 300 °С, выдержка 1 час и ступенчатому отжигу по режиму: температура 1-ой ступени – 300 °С, выдержка 1 час; температура 2-ой ступени – 450 °С, выдержка 3 часа, после чего измерялось удельное электрическое сопротивление и механические свойства.

Сравнительный анализ электрофизических свойств проволоки показал, что УЭС проволоки изготовленной по технологии ГСП составляет 0,0306 Ом·мм<sup>2</sup>/м, в то время как значения удельного электросопротивления проволоки полученной по технологиям СЛИПП и СПП находятся в интервале 0,0284 – 0,0288 Ом·мм<sup>2</sup>/м, что значительно ниже предъявляемых требований заказчика (Рисунок 1). Отжиг проволоки после горячей сортовой прокатки, незначительно снижает значение УЭС в отличие от проволоки полученной совмещенными методами обработки. Различия в значениях УЭС проволоки полученной по технологиям СПП и СЛИПП после одинарного и ступенчатого отжига несут существенны и составляют менее 0,0277 Ом·мм<sup>2</sup>/м, что значительно ниже предъявляемых требований.

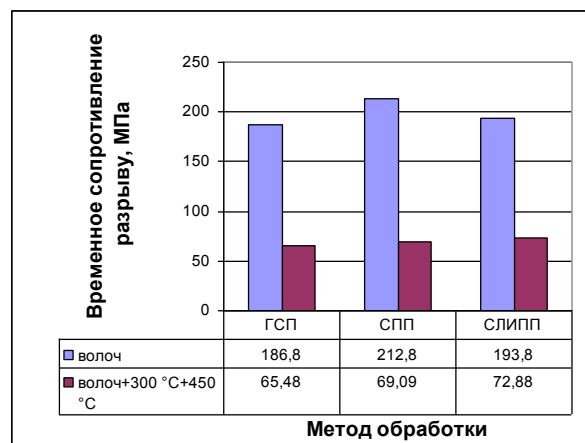
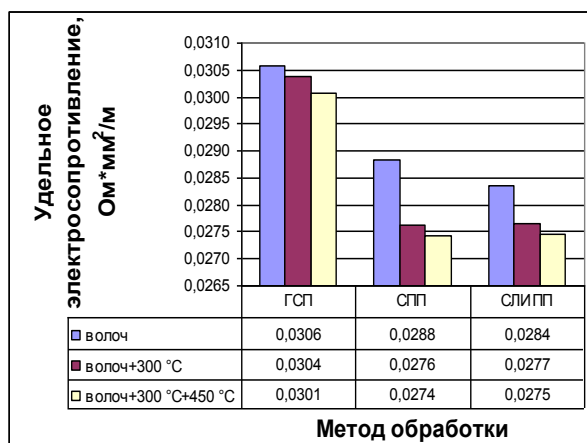


Рисунок 1- Гистограмма распределения удельного электросопротивления в зависимости от методов обработки давлением Рисунок 2 - Гистограмма распределения временного сопротивления разрыву в зависимости от методов обработки давлением

Анализ механических свойств в зависимости от метода изготовления алюминиевых прутков показывает, что после холодного волочения достигается требуемый уровень временного сопротивления разрыву при всех методах изготовления прутков, рисунок 2. Однако значение временного сопротивления разрыва проволоки изготовленной по технологии СПП на 9% выше чем у проволоки изготовленной по технологии СЛИПП и на 12% выше, чем у проволоки изготовленного из катанки после ГСП. Повышенная прочность проволоки, полученной из прутков после СПП объясняется более однородным и дисперсным строением структурных составляющих. Отжиг по выбранному ступенчатому режиму проводить нецелесообразно, так как это приводит к существенному снижению прочностных свойств, более чем в 3 раза, что не допустимо при использовании проволоки в проводах силовых линий электропередач.

Результаты исследования электрофизических и механических свойств проволоки из сплава Al-0,15%Zr показали возможность ее применения в качестве изделий электротехнической промышленности. Для производства проволоки с высокими значениями временного сопротивления разрыву целесообразно применять технологию СПП. Применение технологии СЛИПП позволяет значительно снизить энергоемкость процесса и производить проволоку с более высокими значениями электропроводности в холоднодеформированном состоянии и достаточной прочностью.