

УДК 621.315

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОВОЛОКИ ИЗ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭКРАНОВ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ НА СРЕДНЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ

<sup>1</sup>Савченко В.Г., <sup>2</sup>Труфанова Н.М., <sup>2</sup>Щербинин А.Г., <sup>2</sup>Субботин Е.В., <sup>2</sup>Терлыч А.Е.

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Опытно-конструкторское предприятие «ЭЛКА-Кабель»», Пермь, e-mail: savchenko@etk-perm.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: ktei@pstu.ru

Одним из путей уменьшения затрат при производстве силовых кабелей на среднее напряжение является замена медных экранов на экраны, выполненные из алюминия или алюминиевых сплавов. Для оценки эксплуатационных характеристик проволоки из электротехнического алюминия и термокоррозионностойкого алюминиевого сплава были проведены экспериментальные исследования механических и электрических свойств при нормальных условиях и после термического воздействия. Для воспроизведения условий аварийного режима работы силового кабеля при коротком замыкании предварительный нагрев образцов проволок проводился путем приложения кратковременной токовой нагрузки. Установлено, что после термического воздействия удельные электрические сопротивления исследуемых материалов практически не изменились, при этом термокоррозионностойкий алюминиевый сплав показал более высокую стабильность механических характеристик.

**Ключевые слова:** экран силового кабеля, алюминий, алюминиевый сплав, механические и электрические характеристики

## APPLICATION OF ALUMINUM AND ALUMINUM ALLOYS WIRE FOR POWER CABLE SCREEN MANUFACTURING ON MEDIUM VOLTAGE

<sup>1</sup>Savchenko V.G., <sup>2</sup>Trufanova N.M., <sup>2</sup>Scherbinin A.G., <sup>2</sup>Subbotin E.V., <sup>2</sup>Terlych A.E.

<sup>1</sup>Limited Liability Company «Development enterprise «Elkacable», Perm, e-mail: savchenko@etk-perm.ru;

<sup>2</sup>Perm State National Research Politechnical University, Perm, e-mail: ktei@pstu.ru

One way to reduce manufacture costs of medium-voltage power cables is to replace the copper screens by aluminum screens or aluminum alloy screens. The experimental investigations of mechanical and electrical properties under normal conditions and after exposure to heat for estimate of operating characteristics aluminum wire and aluminum alloy wire were carried out. Preheating of wire samples was carried out by application of short-term current rating for reproduce the emergency operation of power cable during short-circuit. It is established that, after thermal exposure specific electrical resistance of test materials practically unchanged but aluminum alloy showed higher stability of mechanical characteristics.

**Keywords:** power cables screen, aluminum, aluminum alloy, mechanical and electrical characteristics

В последнее время одним из наиболее насущных вопросов как для предприятий, производящих кабельно-проводниковую продукцию, так и предприятий-потребителей является вопрос снижения ее себестоимости. На сегодняшний день одним из путей уменьшения затрат на производство кабельно-проводниковой продукции является использование более дешевых конструкционных материалов [1, 7]. В частности, для изготовления силовых кабелей на среднее напряжение [6] все более широкое применение находят экраны, выполненные из алюминия или алюминиевых сплавов (вместо медных экранов), что вызывает необходимость обоснования такого технического решения. В данной статье проводится сравнение проволоки, предназначенной для изготовления экранов, выполненной из электротехниче-

ского алюминия и термокоррозионностойкого алюминиевого сплава (ТАС).

На рис. 1 представлена конструкция кабеля среднего напряжения с алюминиевым проволочным экраном.

Известно, что при работе кабеля в штатном режиме температура экрана не превышает 60–70°C. Однако при возникновении аварийной ситуации в условиях короткого замыкания температура экрана может увеличиться до 250°C [4] и выше. При протекании токов короткого замыкания на кабельную линию оказывается существенное электродинамическое воздействие, в результате которого ослабленные нагревом проволоки могут деформироваться и разрушаться. Это, в свою очередь, может привести к увеличению сопротивления контакта, локальному перегреву и преждевременному выходу кабеля из строя.



Рис. 1. Кабель среднего напряжения с алюминиевым проволочным экраном

Для исследования влияния термического воздействия на механические характеристики проволок из алюминия и ТАС был проведен ряд экспериментов. Образцы проволок длиной 300 мм и диаметром 2,5 мм предварительно нагревались током до температур 150, 200, 250 и 300°C в течение пяти секунд и охлаждались на воздухе. Далее с помощью универсальной машины Walter Bai LFM 50 T проводились

испытания на статическое растяжение при скорости нагружения 10 Н/(мм<sup>2</sup>·с) [2, 5, 8]. Начальная расчетная длина образца проволоки составляла 200 мм.

На рис. 2, 3 представлены кривые деформирования образцов электротехнического алюминия и термокоррозионностойкого алюминиевого сплава.

В табл. 1 приведены значения пределов прочности исследуемых материалов.

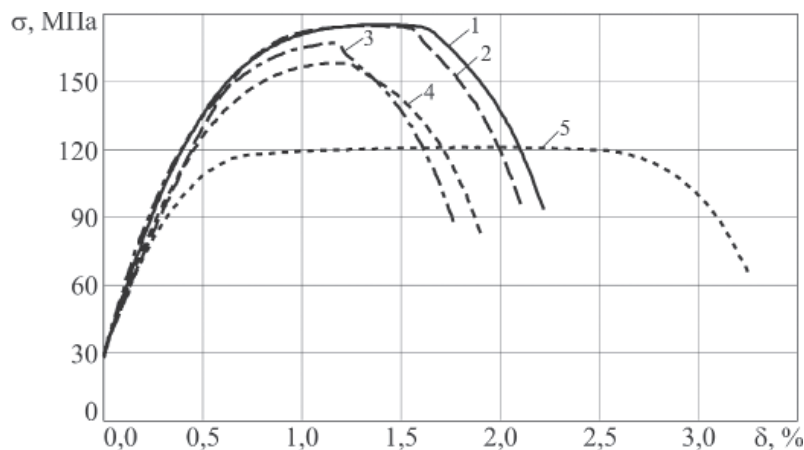


Рис. 2. Деформационные кривые проволоки из электротехнического алюминия: 1 – без предварительного нагрева; 2 – температура предварительного нагрева 150°C; 3 – 200°C; 4 – 250°C; 5 – 300°C

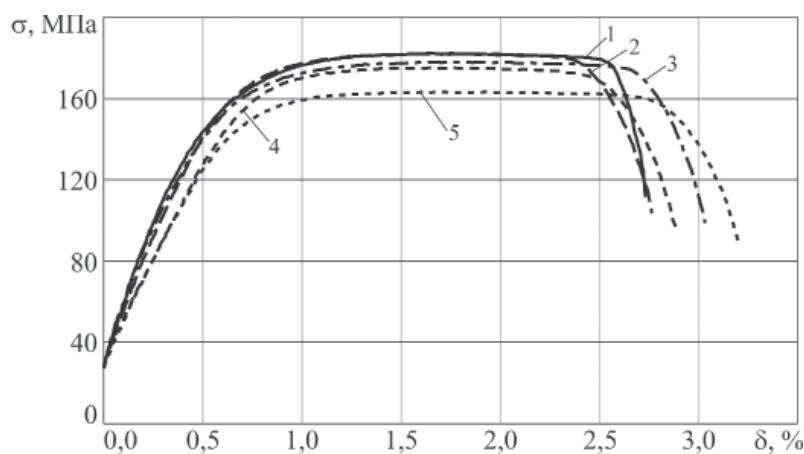


Рис. 3. Деформационные кривые проволоки из сплава ТАС: 1 – без предварительного нагрева; 2 – температура предварительного нагрева 150°C; 3 – 200°C; 4 – 250°C; 5 – 300°C

Таблица 1

Пределы прочности проволок из алюминия и сплава ТАС

№ п/п	Температура предварительного нагрева, °С	σ <sub>n</sub> , МПа	
		ТАС	Алюминий
1	Без предварительного нагрева	182	176
2	150	182	174
3	200	178	167
4	250	175	158
5	300	163	121

Таблица 2

Удельное электрическое сопротивление алюминия и сплава ТАС

№ п/п	Температура предварительного нагрева, °С	Удельное сопротивление при 20°С ρ, Ом м	
		ТАС	Алюминий
1	Без предварительного нагрева	2,89·10 <sup>-8</sup>	2,81·10 <sup>-8</sup>
2	150	2,90·10 <sup>-8</sup>	2,80·10 <sup>-8</sup>
3	200	2,89·10 <sup>-8</sup>	2,82·10 <sup>-8</sup>
4	250	2,87·10 <sup>-8</sup>	2,80·10 <sup>-8</sup>
5	300	2,89·10 <sup>-8</sup>	2,81·10 <sup>-8</sup>

Из анализа результатов можно сделать вывод о том, что механическая прочность проволок из сплава ТАС выше прочности алюминия как при начальных условиях, так и после нагрева до температуры 300 градусов. Можно отметить, что ТАС является более стабильным материалом по характеру поведения и разбросу свойств, а также менее чувствительным к температурным перегревам. Так изменение значения предела прочности ТАС во всем диапазоне температур предварительного нагрева не превышает 11 %, в то время как для алюминиевых проволок эта величина составляет 45 %. Отличие по значению предела прочности при 300°С для двух материалов составляет 34 %, при этом значение относительного удлинения после разрыва для сплава ТАС в ряде экспериментов более чем в 2 раза выше.

Для оценки влияния термического воздействия на электрические характеристики проволок из двух исследуемых материалов после предварительного нагрева и охлаждения до комнатной температуры были измерены удельные электрические сопротивления [3]. Результаты, полученные на измерителе сопротивления жил

кабеля «КИС», представлены в табл. 2. Из таблицы видно, что удельное электрическое сопротивление обоих материалов практически не зависит от температуры предварительного нагрева в рассматриваемом диапазоне. При этом

$$\frac{\rho_{\text{ТАС}}}{\rho_{\text{Алюминий}}} = 1,03.$$

Таким образом, при замене медных экранов силовых кабелей среднего напряжения на экраны из электротехнического алюминия или его сплавов, помимо экономической целесообразности, необходимо учитывать их эксплуатационные характеристики. Так, исходя из результатов проведенных исследований, можно сделать вывод, что существенным преимуществом сплава ТАС по отношению к электротехническому алюминию является высокая стабильность его механических характеристик после термического воздействия в аварийных ситуациях. При этом разница удельных электрических сопротивлений сплава ТАС и электротехнического алюминия не превышает 3 %.

### Список литературы

1. Белый Д.И. Алюминиевые сплавы для токопроводящих жил кабельных изделий // Кабели и провода. – 2012. – № 1 (332). – С. 8–15.
2. ГОСТ 10446-80 (СТ СЭВ 835-89, ИСО 6892-84). Проволока. Метод испытания на растяжение.
3. ГОСТ 7229-76. Кабели, провода и шнуры. Метод определения электрического сопротивления токопроводящих жил и проводников.
4. ГОСТ Р МЭК 60968-2009. Предельные температуры электрических кабелей на номинальное напряжение от 6 кВ ( $U_m = 7,2$  кВ) до 6 кВ ( $U_m = 36$  кВ) в условиях короткого замыкания.
5. Каллистер У., Ретвич Д. Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры). – СПб.: Научные основы и технологии. 2011. – 896 с.
6. Основы кабельной техники / под ред. И.Б. Пешкова. – Мю: Академия. 2006. – 427 с.
7. Пешков И.Б. Состояние и перспективы применения алюминия в кабельной промышленности // Кабели и провода. – 2009. – № 1 (314). – С. 7–9.
8. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. – М.: Мир, 1972. – 406 с.

### References

1. Belyj D.I. Aljuminievyje splavy dlja tokoprovodjashhijh zhil kabelnyh izdelij [Aluminium alloys for current-carrying conductors of cable products]. *Kabeli i provoda*. 2012. no. 1 (332). pp. 8–15.
2. GOST 10446-80 (ST SJeV 835-89, ISO 6892-84). Provoloka. Metod ispytaniya na rastjazhenie [Wire. Tensile test method].
3. GOST 7229-76. Kabeli, provoda i shnury. Metod opredelenija jelektricheskogo soprotivlenija tokoprovodjashhijh zhil i

provodnikov. [Cables, wires and cords. Method of measurement of electrical resistance of conductors].

4. GOST R MJeK 60968-2009. Predelnye temperatury jelektricheskijh kabelej na nominalnoe naprjazhenie ot 6 kV ( $U_m = 7,2$  kV) do 6 kV ( $U_m = 36$  kV) v uslovijah korotkogo замыкания. [Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages from 6 kV ( $U_m = 7,2$  kV) up to 30kV ( $U_m = 36$  kV)].

5. Kallister U., Retvich D. Materialovedenie: ot tehnologii k primeneniju (metally, keramika, polimery) [Materials science: from technology to application (metals, ceramics, polymers)]. SPb.: Nauchnye osnovy i tehnologii. 2011. 896 p.

6. Osnovy kabelnoj tehniki [Fundamentals of cable technology]. Pod red. I.B. Peshkova. Moskva: Akademija. 2006. 427 p.

7. Peshkov I.B. Sostojanie i perspektivy primenenija aljuminija v kabelnoj promyshlennosti [Status and prospects of application of aluminum in the cable industry]. *Kabeli i provoda*. 2009. no. 1 (314). pp. 7–9.

8. Honikomb R. Plasticheskaja deformacija metallov [Plastic deformation of metals]. M.: Mir. 1972. 406 p.

### Рецензенты:

Сметанников О.Ю., д.т.н., доцент кафедры вычислительной математики и механики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь;

Бочкарев С.В., д.т.н., профессор кафедры микропроцессорных средств автоматизации, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.