

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 8176 ДЛЯ КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е.С. Сахарова

esakharova574@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Изучены свойства алюминиевого сплава марки 8176. Проведено исследование на коррозионную стойкость сплава в таких средах, как гидроксид натрия (NaOH), гидроксид кальция (Ca(OH)₂), хлорид натрия (NaCl), масло СЖР-3 и в условиях повышенной влажности (H₂O). Объектом испытаний служила проволока диаметром 0,5 мм токопроводящей жилы кабеля без изоляции из алюминиевого сплава 8176. Экспериментально установленные зависимости показывают снижение массы образцов алюминиевой проволоки при их выдержке в течение определенного времени в каждой из рассматриваемых сред. Анализ полученных зависимостей позволил оценить коррозионную стойкость сплава марки 8176 в данных средах.

Ключевые слова: кабель, кабельные изделия, алюминиевый сплав, химический состав, проволока, катанка, коррозионная стойкость

Введение. Кабельная продукция предназначена для передачи энергии и информации. Ее применяют в различных системах, включая электрические, электронные, радиотехнические и оптоволоконные. В производстве кабельной продукции для изготовления токопроводящих жил в основном используют медь, алюминий и их сплавы [1–3].

Медь обладает одним из самых высоких значений электропроводности среди металлов, почти на уровне серебра, что делает ее наиболее часто используемым материалом для кабельной промышленности [4, 5]. Однако у нее есть серьезный недостаток — высокая стоимость. В некоторых случаях стоимость меди может составлять до 80 % от общей стоимости кабельного изделия в зависимости от сечения проводников. По сравнению с медью алюминий является более дешевым материалом (его стоимость в 3 раза меньше), но его применение также обосновывается экономическими и техническими факторами, такими как сложность монтажа и необходимость использования более толстых проводов по причине их меньшей электропроводности [4].

Алюминиевые сплавы, помимо чистого алюминия, содержат различные легирующие добавки. Их свойства непосредственно зависят от структуры, которая определяется процессами деформации, термической обработки

и легирования. Сплавы алюминия успешно устраняют практически все недостатки чистого алюминия, включая его низкую стойкость к механическим воздействиям. Это делает их все более востребованными в кабельной промышленности.

Одним из требований, предъявляемым к металлам и сплавам, из которых изготавливают токопроводящие жилы, является коррозионная стойкость материала к различным окружающим средам. В кислотных средах, таких как соляная или плавиковая кислота, алюминий не стоек, однако в азотной кислоте с концентрацией более 75 % он обладает высокой коррозионной стойкостью. В атмосфере алюминий устойчив к коррозии, за исключением сред с галогенами, в особенности ионами хлора [6], поскольку он является наиболее активным стимулятором коррозии [7, 8]. В щелочных средах алюминий и его сплавы также активно растворяются, причем при полной активации поверхности, процесс протекает равномерно по всему изделию [6].

При контакте алюминия с воздухом на поверхности металла образуется тонкая и прочная оксидная пленка, которая предотвращает проникновение кислорода внутрь проводника. Это замедляет окислительные процессы, но также уменьшает проводимость, что может привести к нагреву кабельной продукции и увеличению электрического сопротивления [4]. Кроме того, алюминий обладает ползучестью и низкой стойкостью к многократным перегибам, что ограничивает его применение [9].

Цель работы заключается в исследовании коррозионной стойкости алюминиевого сплава 8176 в кабельных изделиях.

Материал и методика исследования. Объектом исследования служила проволока диаметром 0,5 мм токопроводящей жилы кабеля без изоляции из алюминиевого сплава 8176. Катанка диаметром 9,5 мм получена методом СЛиПП (совместное литье и прокатка-прессование) и далее подвергнута волочению для получения проволоки требуемого размера сечения [10, 11]. Испытания были проведены на испытательной базе ОАО «ВНИИКП».

Данный сплав обладает повышенными прочностными свойствами и высокой пластичностью за счет легирования алюминия железом (табл. 1), а также удовлетворительным уровнем пожарной безопасности по сравнению с чистым алюминием [1, 12].

Исследование коррозионной стойкости проводили в соответствии с ГОСТ 9.913–90 в пяти средах: морской климат (NaCl), тропический климат (H₂O), щелочная среда (NaOH и Ca(OH)₂), масла (СЖР-3). Подготавливали 3 образца (на каждую среду) длиной 60...65 см, закрученные в пружину, для определения изменения массы образца (рис. 1).

Таблица 1

Химический состав алюминиевого сплава 8176 (% мас., не более)

Al	Основные компоненты		Примеси						Прочие компоненты, не более	
	Fe	Cu	Si	Mg	Cu	Zn	Ga	Сумма Ti, V, Cr, Mn	Каждый	Всего
Основа	0,40–0,65	–	0,07	0,02	0,01	0,04	0,02	0,015	0,03	0,15



Рис. 1. Образцы из сплава 8176, скрученные в пружину, для измерения изменения массы после выдержки в корродирующих средах

Поверхность образцов подготавливали к проведению испытания, обезжиривая их органическими растворителями (нефрасом по ТУ 38.401-67-108). Далее образцы взвешивали для определения их изначальной массы и маркировали, чтобы потом можно было отследить потери массы каждого образца. Применяли аналитические весы фирмы VIBRA HT.

В стеклянные емкости объемом 0,3...0,4 мл заливали подготовленную для испытаний смесь объемом не менее 10 см³ на 1 см² температурой 18...25 °С. Подготовленные образцы помещали в раствор и плотно закрывались крышкой.

Состав смесей:

– морской климат: 3%-ный раствор хлористого натрия (NaCl) по ГОСТ 4233–77 и 0,1%-ный раствор перекиси водорода по ГОСТ 10929–76;

- тропический климат: дистиллированная вода;
- щелочная среда:
- 1%-ный раствор гидроксида натрия (NaOH) по ГОСТ 4328–77;
- 1%-ный раствор гидроксида кальция (Ca(OH)₂) по ГОСТ 9262–77;
- масло: машинное масло СЖР-3 по ТУ 38.10195-86.

Испытание проходило в течение 98 дней. Каждые 14 суток выполняли измерение изменения массы образца и заменяли раствор новым. Исследование структурных изменений (микроструктурный анализ) алюминиевой проволоки проводили каждые 30 дней.

Перед проведением оценки коррозионного испытания с поверхности образцов удаляли продукты коррозии химическим методом по ГОСТ 9.907–2007. Таким образом, по окончании выдержки контролировали:

- изменение внешнего вида по ГОСТ 9.913–90 (каждые 14 суток);
- изменение массы по ГОСТ 9.913–90 (каждые 14 суток);
- изменение структуры каждые 30 суток.

Шлифы подготавливали с использованием ювелирной эпоксидной смолы с последующей обработкой на шлифовальных кругах и травлением образцов реактивом Келлера: 5 мл HF (48 %), 3 мл HCl, 190 мл H₂O. Микроструктурный анализ проводили на оптическом микроскопе Olympus GX-51.

Результаты экспериментов и обсуждение. Процесс коррозии алюминиевого сплава заключается во взаимодействии исследуемого образца с окружающей его средой. В результате этого взаимодействия происходит самопроизвольное постепенное разрушение сплава в окружающей среде [1]. Однако в некоторых средах алюминий и его сплавы образуют на поверхности защитную оксидную пленку, что препятствует растворению образцов в окружающей среде.

Алюминиевый сплав 8176 имеет в составе алюминий в количестве 99,407...99,157 %, в связи с этим далее будем рассматривать реакции алюминия с определенными веществами.

В результате эксперимента были получены значения массы образцов, представленные в табл. 2. Каждый образец взвешивали 5 раз, в табл. 2 занесли среднеарифметическое полученное значение массы.

По результатам табл. 2 были рассчитаны средние значения массы трех образцов, выдерживаемых в каждой из сред, и построены графики (рис. 2) для наглядного анализа изменения массы образцов во время их выдержки в каждой исследуемой среде.

Результаты исследований (см. рис. 2) показали, что в NaOH образцы алюминиевого сплава 8176 растворились раньше второго съема значений массы. Раствор Ca(OH)₂ сильно взаимодействует с исследуемыми образцами.

Видно, что масса образцов интенсивно уменьшается в течение всего времени выдержки. Раствор NaCl также взаимодействует с алюминиевым сплавом, приводя к его растворению и коррозии, однако не так интенсивно, как Ca(OH)₂. Поначалу масса практически не изменялась, однако потом начала убывать. В среде машинного масла СЖР-3 образцы не меняли своей массы. В воде исследуемые образцы сначала своей массы не меняли, однако потом она начала увеличиваться. Предположительно, повышение массы происходило в результате недостаточного удаления образовавшейся на поверхности образцов пленки и погрешности измерений. На поверхности образовывался белый налет Al₂O₃, который полностью в кислоте не смывался, что привело к постепенному увеличению массы образцов.

Таблица 2

Значения массы образцов

Вид воздействия	Номер образца	Масса, г							
		Исходная	14 сут	28 сут	42 сут	56 сут	70 сут	84 сут	98 сут
Гидроксид натрия (NaOH) 1 %	111	0,3405	–	–	–	–	–	–	–
	112	0,3412	–	–	–	–	–	–	–
	113	0,3435	–	–	–	–	–	–	–
Гидроксид кальция Ca(OH) ₂ 1 %	211	0,3382	0,2846	0,2394	0,2057	0,158	0,1155	0,0666	0,0256
	212	0,3417	0,2872	0,2391	0,2004	0,1482	0,1055	0,0563	0,0267
	213	0,3415	0,2865	0,2398	0,2018	0,148	0,1046	0,0530	0,0172
Хлорид натрия (NaCl)	311	0,3404	0,3405	0,3392	0,3394	0,3368	0,3363	0,3358	0,3357
	312	0,3475	0,3472	0,3473	0,3475	0,346	0,3392	0,3410	0,3389
	313	0,3455	0,3454	0,3450	0,3447	0,3443	0,3442	0,3457	0,3438
СЖР-3	411	0,3437	0,3436	0,3439	0,3438	0,3436	0,3434	0,3436	0,3436
	412	0,3369	0,3370	0,3369	0,3367	0,3367	0,3366	0,3366	0,3369
	413	0,3458	0,3459	0,3463	0,3467	0,3454	0,3454	0,3454	0,3456
Повышенная влажность (H ₂ O)	511	0,3402	0,3402	0,3399	0,3429	0,341	0,3408	0,3397	0,3390
	512	0,3405	0,3405	0,3409	0,3377	0,3427	0,3434	0,3430	0,3428
	513	0,3467	0,3467	0,3468	0,3520	0,349	0,3494	0,3485	0,3481

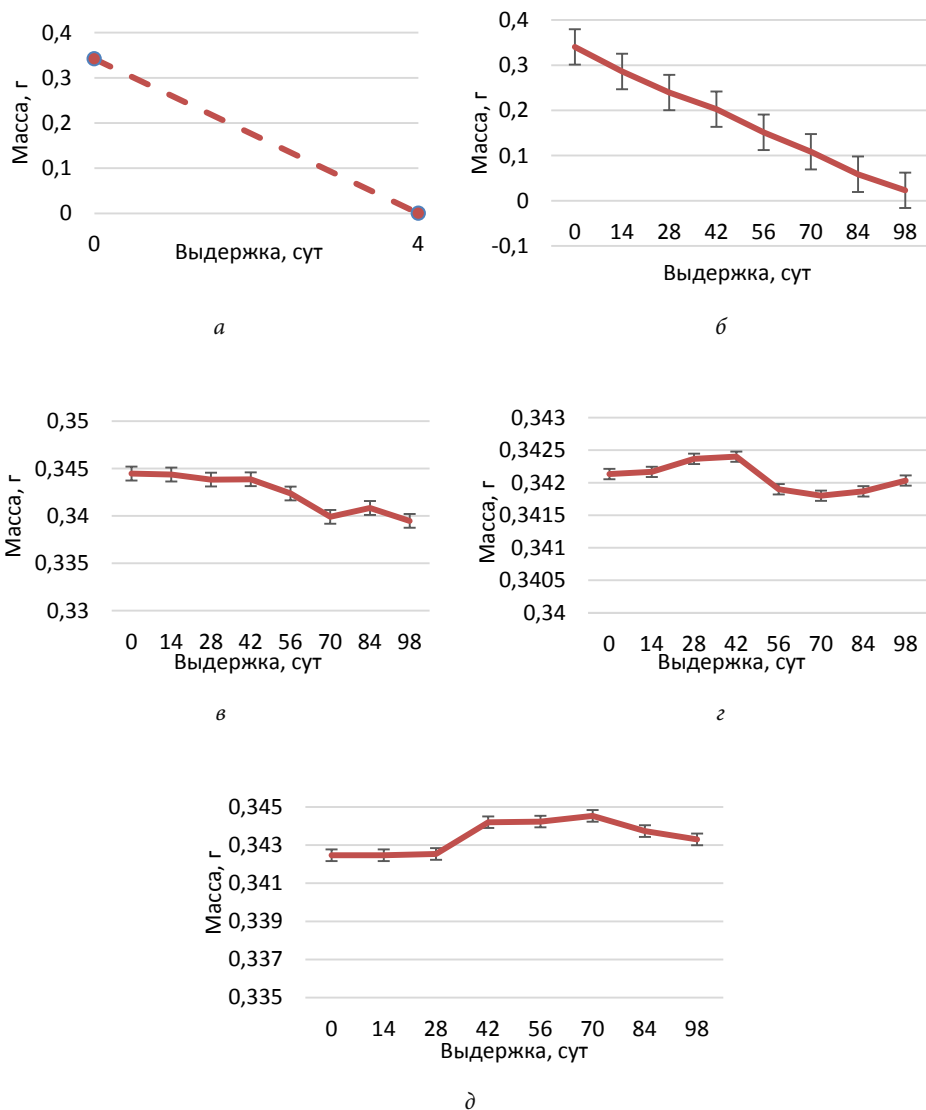


Рис. 2. Средние значения изменения массы образцов во время их выдержки в каждой исследуемой среде:
а — гидроксид натрия (NaOH); *б* — гидроксид кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); *в* — хлорид натрия (NaCl);
г — масло (СЖР-3); *д* — повышенная влажность (H_2O)

Внешний вид исследуемых образцов, выдерживаемых в щелочной среде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в течение 84 суток, представлен на рис. 3.

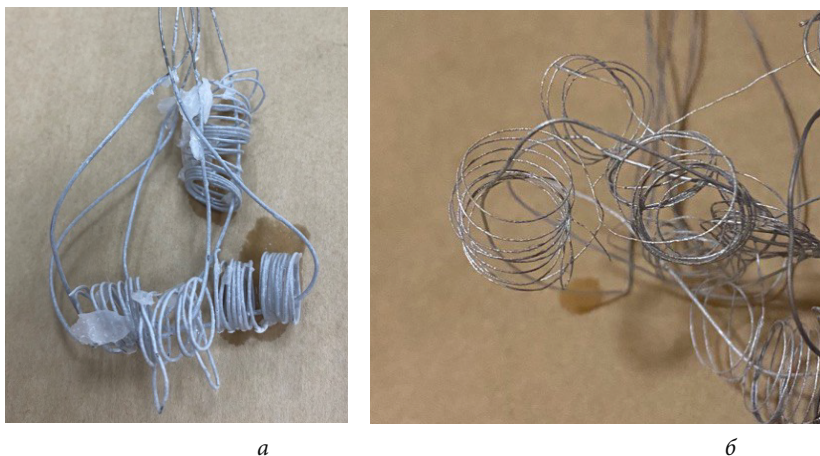


Рис. 3. Внешний вид проволоки сплава 8176 после воздействия щелочной среды $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в течение 84 суток:

а — до промывки; *б* — после промывки

Заключение. По результатам исследований можно сделать выводы о том, что наиболее агрессивными для исследуемого сплава 8176 с точки зрения реальных условий эксплуатации внешними воздействующими средами оказались щелочные растворы и раствор NaCl , имитирующий морской климат.

Литература

- [1] Харламенков А.С. Кабельная продукция их алюминиевых сплавов как альтернатива меди. *Пожаровзрывобезопасность*, 2018, т. 27, № 6, с. 70–72.
- [2] Быков Ю.А., Унчикова М.В., Пахомова С.А., Помельникова А.С., Силаева В.И. Методика выбора материала и технологии термической обработки деталей машиностроения. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2015, № 8, с. 43–47.
- [3] Пахомова С.А., Унчикова М.В. Перспективные методы обучения бакалавров дисциплине «Инженерия поверхности». *Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта*, 2016, № 1 (3), с. 475–482.
- [4] Лопарев В.В. Алюминий и его сплавы для отечественной кабельной промышленности. *Кабели и провода*, 2022, № 6, с. 12–25. https://doi.org/10.52350/2072215X_2022_6_12
- [5] Pakhomova S.A., Povalyayev A.I. Silicon nitride-based ceramic composite materials for corrosion-resistant rolling bearings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1, Advances in Composite Science and Technologies*, 2019, art. 012040. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/683/1/012040>

- [6] Ракоч А.Г., Бардин И.В. *Коррозионностойкие и жаростойкие материалы. Коррозионная стойкость легких конструкционных сплавов в различных средах. Курс лекций*. Москва, МИСиС, 2011, 77 с.
- [7] Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. *Коррозия и защита от коррозии*. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2002, 336 с.
- [8] Pakhomova S. Surface modification of low carbon steel to improve corrosion resistance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Ser. "Modern Power Engineering"*, 2020, vol. 963, art. 012001.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/963/1/012001>
- [9] Горобец А.В., Филиппова Т.М. Алюминий как материал для монтажа электрического кабеля. *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*, 2020, № 17, с. 204–210.
<https://doi.org/10.36629/2686-7788-2020-1-204-210>
- [10] Медведев А.Е., Жукова О.О., Федотова Д.Д., Мурашкин М.Ю. Механические свойства, электропроводность и термостабильность проволоки из сплавов системы Al–Fe, полученных литьем в электромагнитный кристаллизатор. *Frontier Materials & Technologies*, 2022, № 3, с. 96–105.
<https://doi.org/10.18323/2782-4039-2022-3-1-96-105>
- [11] Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Трифоненков Л.П., Солдатов С.В., Беспалов В.М., Лопатина Е.С., Сидельников А.С., Трифоненков А.Л. Исследование способов получения и свойств катанки из сплавов алюминия с переходными и редкоземельными металлами на установке совмещенного литья, прокатки и прессования. *Обработка сплошных и слоистых материалов*, 2012, № 38, с. 6–10.
- [12] Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов*. Москва, Металлургия, 1981, 416 с.

Поступила в редакцию 25.03.2024

Сахарова Екатерина Сергеевна — студентка кафедры «Материаловедение», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Пахомова Светлана Альбертовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация. E-mail: pahomo@bmstu.ru; SPIN-код: 7042-6638.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Сахарова Е.С. Коррозионная стойкость алюминиевого сплава 8176 для кабельной промышленности. *Политехнический молодежный журнал*, 2024, № 02 (91). URL: <https://ptsj.ru/catalog/metmat/mstp/973.html>

CORROSION RESISTANCE OF THE 8176 ALUMINUM ALLOY FOR THE CABLE INDUSTRY

E.S. Sakharova

esakharova574@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

The paper analyzes properties of the 8176 aluminum alloy. The alloy was studied for corrosion resistance in such media as sodium hydroxide (NaOH), calcium hydroxide (Ca(OH)₂), sodium chloride (NaCl), SZhR-3 oil and in the high humidity (H₂O) conditions. The object for testing was a wire with a diameter of 0.5 mm from the current-carrying cable core without insulation made of the 8176 aluminum alloy. The experimentally established dependencies demonstrate a decrease in the aluminum wire sample mass with their exposure to each media under consideration for a certain time. Analysis of the obtained dependencies made it possible to evaluate the 8176 alloy corrosion resistance in those media.

Keywords: cable, cable products, aluminum alloy, chemical composition, wire, wire rod, corrosion resistance

Received 25.03.2024

Sakharova E.S. — Student, Department of Materials Science, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Pakhomova S.A., Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Material Science, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation. E-mail: pahomo@bmstu.ru; SPIN-code: 7042-6638.

Please cite this article in English as:

Sakharova E.S. Corrosion resistance of the 8176 aluminum alloy for the cable industry. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2024, no. 02 (91). (In Russ.). URL: <https://ptsj.ru/catalog/metmat/mstp/973.html>