

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА ИЗ СПЛАВОВ CU-SN

Моргунов В.В., Якубович Е.А.

Ключевые слова: контактный провод, бронза, легирование, непрерывное литье, прокатка, микроструктура, прочность, удельное электросопротивление.

Аннотация. В работе приведены результаты экспериментальных исследований микроструктуры, прочностных и электрических свойств контактного провода из сплавов Cu – Sn для скоростных магистралей железнодорожного транспорта. Проанализированы особенности технологических схем производства контактного провода с применением технологии непрерывного литья и прокатки, а также непрерывного литья с вытяжкой заготовки из расплава с последующим волочением. Выполнена оценка предела прочности и удельного электросопротивления провода в зависимости от содержания олова в сплаве. Дано сравнение этих характеристик с нормативными требованиями ГОСТ.

ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE CONTACT WIRE FROM CU-SN ALLOYS

Morgunov V.V., Yakubovich E.A.

Keywords: contact wire, bronze, alloying, continuous casting, rolling, microstructure, strength, electrical resistivity.

Abstract. The paper presents the results of experimental studies of the microstructure, strength and electrical properties of a contact wire made of Cu - Sn alloys for high-speed railways. The features of technological schemes for the production of a contact wire using the technology of continuous casting and rolling, as well as continuous casting with drawing the billet from the melt followed by drawing are analyzed. The assessment of the ultimate strength and electrical resistivity of the wire depending on the content of tin in the alloy is carried out. A comparison of these characteristics with the regulatory requirements of GOST is given.

Увеличение скоростей движения железнодорожного транспорта диктует необходимость применения контактных проводов нового поколения, обладающих высоким уровнем механических, электрических и эксплуатационных свойств. Это вызвано особенностями эксплуатации высокоскоростного железнодорожного транспорта, прежде всего высокой скоростью скольжения токоприемника подвижного состава по контактному проводу [1]. Высокая скорость скольжения непосредственно влияет на интенсивность износа контактного провода и токосъемных вставок токоприемников. Длительность износа контактного провода напрямую зависит от материала и свойств контактного провода.

В Российской Федерации, странах Европейского союза, КНР действуют собственные стандарты, содержащие требования к контактным проводам для электрифицированных железнодорожных магистралей. Сегодня в России действует ГОСТ Р 55647-2018 «Провода контактные из меди и ее сплавов для электрифицированных железных дорог. Технические условия» [2]. На высокоскоростных линиях используется уже не медные и низколегированные провода, а бронзовые. Они имеют повышенные по сравнению с медными и

низколегированными проводами значения прочности, жаропрочности и удельного электрического сопротивления. В связи с бурным развитием и начинающимся спросом на контактные провода из бронз актуальным становится вопрос технологии изготовления таких проводов.

В области промышленного производства контактного провода передовые позиции в России занимает АО «РОССКАТ». Здесь освоена современная технология производства контактного провода на основе полного производственного цикла от переработки меди в катанку до изготовления конечного продукта на базе установки непрерывного литья и прокатки (НЛП) фирмы Southwire (США) [3]. В настоящее время предприятие осуществляет стабильные поставки контактных проводов марок МФ и НлФ для российских железных дорог и ведет освоение технологии бронзовых проводов для высокоскоростных магистралей.

На установке непрерывного литья и прокатки (НЛП) было опробовано несколько способов получения низколегированных медных сплавов [4]. Низколегированными являются контактные провода, изготовленные из меди с содержанием легирующих элементов менее 0,1%. В случае производства контактного провода из меди и низколегированной меди особых технологических трудностей не возникает, а вот при изготовлении провода из бронз остро встает проблема ввода легирующих элементов в расплав меди в условиях непрерывности и высокой производительности процесса на НЛП.

Сложность изготовления катанки из бронз на установках НЛП связана, прежде всего, с образованием горячих трещин на литой заготовке и зашлаковыванием литейной системы. Кроме того, при получении катанки из бронз наблюдалась горячеломкость литой заготовки при выходе ее из роторного кристаллизатора, особенно при малом содержании легирующих добавок, когда в меди снижается содержание кислорода, а легирование еще не приводит к значительному повышению ее прочностных свойств.

Поэтому наряду с установками непрерывного литья и прокатки для изготовления контактных проводов часто применяют и установки непрерывного литья с вытяжкой литой заготовки из расплава, которые широко используют во всем мире при производстве медных проводов и труб. Такие установки с вытяжкой литой заготовки вертикально вверх производят фирма Outokumpu (Финляндия), фирма Rautomead International (Великобритания) и ряд китайских производителей. Установки с вытяжкой из расплава литой заготовки имеют различные модификации и в зависимости от конструкции позволяют вытягивать из расплава литую заготовку в горизонтальной или вертикальной плоскости.

Основным преимуществом таких установок является то, что они позволяют использовать для легирования элементы, которые оказываются нетехнологичными в условиях совмещенного непрерывного литья и прокатки. Это, прежде всего, связано с уменьшением образования горячих трещин на литой заготовке и хорошей защитой от кислорода воздуха ванны с расплавом, из которой производится вытяжка литой заготовки. После вытяжки из

расплава длинномерные литые заготовки подвергают холодному волочению на контактный провод, либо перед волочением подвергают холодной прокатке или интенсивной пластической деформации по технологии Conform [5, 6]. При этом применение интенсивной пластической деформации по технологии Conform позволяет увеличить прочность контактных проводов из меди и ее сплавов более, чем на 10% и температуру начала разупрочнения на несколько десятков градусов без снижения пластичности и электропроводности [7].

Мировой опыт использования такой технологии изготовления контактных проводов убедительно показал, что свойства проводов не только удовлетворяют нормам, установленным ГОСТ, но и превосходят его требования.

Для этих целей на установке непрерывного литья АО «РОССКАТ» по технологии вертикального непрерывного литья Urecast были получены литые заготовки диаметром 20 мм из сплавов CuSn 0,1; CuSn 0,2; CuSn 0,3; CuSn 0,4. При производстве литых заготовок из сплавов применялись аналогичные технологические режимы, как и при производстве заготовок из чистой меди. Литые заготовки подвергались деформации по технологии Conform с получением заготовок диаметром 20 мм для последующего волочения на фасонный контактный провод сечением 100 мм² на машине Tm-120/4 Technocable. Микроструктуры характерных участков сечения провода представлены на рисунке 1.

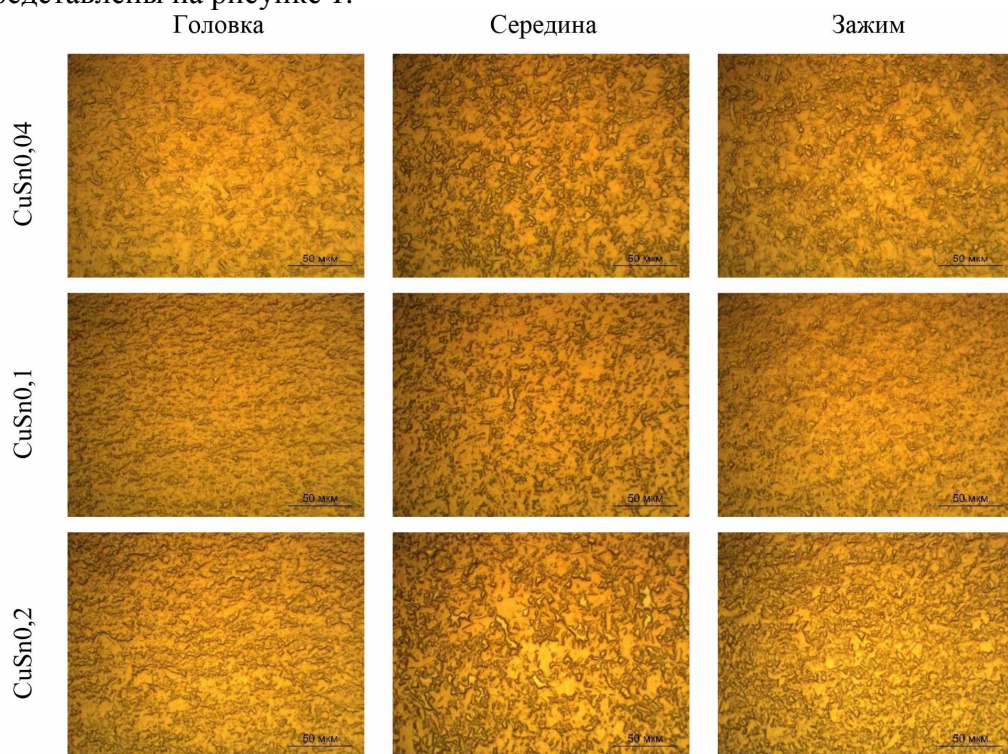


Рис. 1. Микроструктура контактного провода из сплавов CuSn 0,04; CuSn 0,1; CuSn 0,2 на различных участках

Помимо изучения микроструктуры данных образцов была определена твердость по Бринеллю в поперечном сечении образцов по ГОСТ 9012-59 (рис. 2).

Полученные результаты указывают на повышение твердости контактного провода с увеличением содержания олова в сплаве. Результаты определения прочностных свойств и удельного электросопротивления контактного провода, изготовленного из сплавов первой (Бр1) и второй (Бр2) условных групп, отличающихся процентным содержанием металлов и примесей, представлены в (табл. 1).

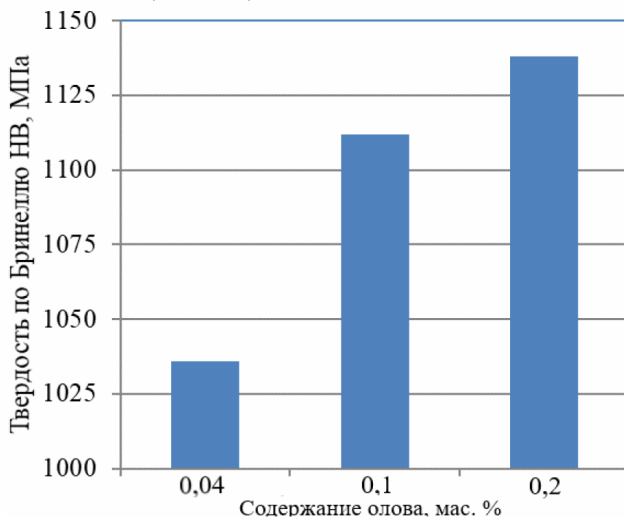


Рис. 2. Значения твердости контактного провода из различных сплавов по Бринеллю

Табл. 1. Механические и электрические свойства контактного провода сечением 100 мм² из сплавов Cu-Sn

Сплав, марка контактного провода	Временное сопротивление разрушению при растяжении, МПа		Удельное электросопротивление, мкОм·м	
	Фактическое	Регламентированное ГОСТ Р 55647-2018, не менее	Фактическое	Регламентированное ГОСТ Р 55647-2018, не более
CuSn 0,04 НлФ-100	413,2	377,3	0,01852	0,0179
CuSn 0,1 Бр1Ф-100	н/д	420	н/д	0,0208
CuSn 0,2 Бр1Ф-100	440	420	0,02089	0,0208
CuSn 0,4 Бр2Ф-100	457,1	499,8	0,02386	0,0278

Анализ полученных результатов показал, что при волочении изготовленных методом вытяжки из расплава и деформированных по технологии Conform заготовок из низколегированного сплава CuSn 0,04

контактный провод достигается требуемого уровня прочностных свойств, но значение удельного электросопротивления превышает значение, регламентированное ГОСТ Р 55647-2018. Для контактного провода из сплава CuSn 0,1 первой условной группы не достигается регламентированный уровень временного сопротивления разрушению при растяжении.

Для контактного провода из для бронзы первой условной группы Бр1 CuSn 0,2 обеспечивается уровень временного сопротивления разрушению при растяжении. Однако значение удельного электросопротивления несколько превышает допустимое ГОСТ Р 55647-2018 значение 0,0208 мкОм·м и составляет 0,02089 мкОм·м.

Уровень временного сопротивления разрушению при растяжении для контактного провода из бронзы второй условной группы Бр2 CuSn 0,4 ниже регламентированного. При этом значение удельного электросопротивления 0,0239 мкОм·м соответствует требованиям ГОСТ Р 55647-2018 для контактного провода из бронзы группы Бр2.

Таким образом, содержания олова существенно влияет на уровень прочностных и электрических свойств контактного провода. Для получения нормированных значений этих свойств контактного провода из бронзы первой условной группы целесообразно уменьшение содержания олова в сплаве до уровня 0,17 – 0,18 мас. % с целью уменьшения электросопротивления.

Список литературы

1. Гершман И.С., Миронос Н.В. Требования к контактным проводам для высокоскоростного железнодорожного транспорта // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – №3. – С. 13-17.
2. ГОСТ Р 55647-2018. Провода контактные из меди и ее сплавов для электрифицированных железных дорог. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2018. – 18 с.
3. Моргунов В.В., Якубович Е. А. Производство контактного провода на основе комплекснолегированной меди // Современные материалы, техника и технологии. – 2016. – №3(6). – С. 96-101.
4. Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. – М.: Интекст, 2005. – 408 с.
5. Логинов Ю.Н., Мысик Р.К. Полунепрерывное и непрерывное литье меди и ее сплавов при производстве контактного провода // Литейщик России. – 2005. – № 1. – С. 34-37.
6. Логинов Ю.Н., Мысик Р.К. Непрерывные методы литья и прокатки в производстве контактного провода для железнодорожного транспорта // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2014. – Т. 7, № 3. – С. 316-326.
7. Гершман И.С. Материалы на основе цветных металлов для железнодорожного транспорта // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2014. – № 4. – С. 11-20.

References

1. Gershman I.S., Mironos. N.V. Requirements for contact wires for high-speed railway transport // VNIIZhT Bulletin. – 2011. – No. 3. – P.13-17.
2. GOST R 55647-2018. Contact wires made of copper and its alloys for electrified railways. Technical conditions. – M.: Standartinform, 2018. – 18 p.
3. Morgunov VV, Yakubovich EA Production of a contact wire based on complex-alloyed copper // Modern materials, equipment and technologies. – 2016. – No. 3 (6). – P. 96-101.
4. Berent V.Ya. Materials and properties of electrical contacts in railway transport devices. – M.: Intext, 2005. – 408 p.
5. Loginov Yu.N., Mysik R.K. Semi-continuous and continuous casting of copper and its alloys in the production of contact wire // Foundry of Russia. – 2005. – No.1. – P. 34-37.
6. Loginov Yu.N., Mysik R.K. Continuous methods of casting and rolling in the production of a contact wire for railway transport // Journal of the Siberian Federal University. Series: Technique and technologies. – 2014. – Vol.7, No. 3. – P. 316-326.
7. Gershman I.S. Materials based on non-ferrous metals for railroad transport // Bulletin of the United Scientific Council of JSC "Russian Railways". – 2014. – No. 4. – P. 11-20.

<p>Моргунов Вадим Владимирович – директор Дирекции металлургического производства, АО «РОССКАТ», г. Нефтегорск, Россия, MorgunovVV@rosskat.ru</p>	<p>Morgunov Vadim Vladimirovich – director of metallurgical production Directorate, JSC "ROSSKAT", Neftegorsk, Russia, MorgunovVV@rosskat.ru</p>
<p>Якубович Ефим Абрамович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», Самарский государственный технический университет, г.Самара, Россия, eyakubovich@mail.ru</p>	<p>Yakubovich Efim Abramovich – candidat of technical science, professor, Department «Metal science, powder metallurgy, nanomaterials», Samara state technical university, Samara, Russia, eyakubovich@mail.ru</p>

Received 01.02.2021