



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-29-34>  
УДК 620.19

Поступила 10.08.2021  
Received 10.08.2021

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРЫВОВ ТИПА «ИСКРЕНИЕ» ТОНКОЙ ЛАТУНИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ МЕТАЛЛОКОРДА И РУКАВОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ПРИЧИН ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Е. С. СЕРЕГИНА, Т. Н. АЮПОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: nmg.czl@bmz.gomel.by. Тел. +375–2334–56587

Исследованы обрывы тонкой латунированной проволоки для металлокорда и рукавов высокого давления типа «искрение» и причины их образования. Проволоку изготавливали на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в условиях сталепроволочных цехов. Исследованы внешний вид и микроструктура обрывов тонкой латунированной проволоки типа «искрение». В результате анализа внешнего вида и микроструктуры обрывов предположили, что поверхностные дефекты образуются на латунированной проволоке-заготовке во время выполнения соединения сваркой в губках сварочного аппарата при отжиге. Для подтверждения проведены эксперименты с выполнением сварных соединений латунированной проволоки-заготовки на участках мокрого волочения, исследованы внешний вид и микроструктура полученных образцов сварных соединений.

В результате экспериментов и металлографических исследований подтвердили предположение, что локальные дефекты типа «прижог от искрения» на поверхности проволоки-заготовки образуются в процессе выполнения сварки во время операции отжига, установили, что причиной является нарушение контакта между проволокой и прижимными губками сварочного аппарата, износ прижимных губок. Приведены фотографии дефекта, описание его внешнего вида и микроструктуры.

На основе проведенных исследований был выполнен ряд мероприятий, направленных на устранение причин данного дефекта.

**Ключевые слова.** Тонкая латунированная проволока, проволока-заготовка, обрыв проволоки, поверхностный дефект, тип «искрение», прижог от искрения, стереоскопический микроскоп, микроструктура, мартенсит, сварной шов, губки сварочного аппарата, отжиг, износ.

**Для цитирования.** Серегина, Е. С. Исследование обрывов типа «искрение» тонкой латунированной проволоки для металлокорда и рукавов высокого давления и причин их образования / Е. С. Серегина, Т. Н. Аюпова // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 29–34. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-29-34>.

## INVESTIGATION OF BREAKS OF THE “SPARKING” TYPE OF BRASS-PLATED WIRE FOR METAL CORD AND HIGH-PRESSURE HOSES AND THE CAUSES OF THEIR FORMATION

E. S. SEREGINA, T. N. AYUPOVA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nmg.czl@bmz.gomel.by. Tel. +375–2334–56587

The article examines the breaks of thin brass-plated wire for metal cord and high-pressure hoses of the “sparking” type and the causes of their formation. The wire was manufactured in OJSC “BSW”- the Management Company of the Holding “BMC” in the conditions of steel-wire workshops. The appearance and microstructure of breaks of thin brass-plated wire of the “sparking” type are investigated. As a result of the analysis of the appearance and microstructure of the breaks, it was assumed that surface defects are formed on the brass-plated wire – billet during the welding connection in the jaws of the welding machine during annealing. To confirm this, experiments were carried out with the implementation of welded joints of brass – plated wire-blanks in wet drawing areas, the appearance and microstructure of the obtained samples of welded joints were studied.

As a result of experiments and metallographic studies, the assumption was confirmed that local defects such as “cauterization from sparking” on the surface of the workpiece wire are formed during welding during the annealing operation, it was established that the cause is a violation of contact between the wire and the pressure jaws of the welding machine, wear of the pressure jaws. Photos of the defect, a description of its appearance and microstructure are given.

Based on the obtained studies, a number of measures were carried out aimed at eliminating the causes of this defect.

**Keywords.** Thin brass – plated wire, blank wire, wire breakage, surface defect, “sparking” type, cauterization from sparking, stereoscopic microscope, microstructure, martensite, weld, welding machine sponges, annealing, wear.

**For citation.** SerEGINA E. S., AYUPOVA T. N. Investigation of breaks of the «Sparking» type of brass-plated wire for metal cord and high-pressure hoses and the causes of their formation. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 29–34. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-29-34>.

В номенклатуре изделий, выпускаемых ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», особое место занимает продукция цехов сталепроволочного производства – металлокорд, бронзированная бортовая проволока для армирования автомобильных шин и латунированная проволока для армирования рукавов высокого давления (РВД). Продукция предприятия пользуется высоким спросом в мире благодаря своим качественным характеристикам. Качество продукции обеспечивается на всех стадиях производства за счет высокого уровня автоматизации и оснащенности оборудованием, квалифицированного персонала, применения современных методов контроля качества. Производство проволоки тонких диаметров (0,15–0,8 мм) от выплавки стали до готовой продукции представляет собой особенно сложный процесс, так как незначительное несоответствие или дефект приводит к обрывам при ее производстве. Кроме основных методов контроля технологических процессов и качественных характеристик продукции, на заводе проводятся исследования обрывов проволоки, которые происходят в текущем производстве, анализ причин обрывности, разрабатываются мероприятия по результатам анализа.

Основными методами анализа видов и причин выявляемых дефектов являются оценка внешнего вида обрыва, качества поверхности и исследования микроструктуры проволоки. Многообразие дефектов, выявляемых при производстве проволоки для металлокорда и РВД, имеющих порой схожий внешний вид, создает определенные трудности при их идентификации. Сложным является определение происхождения дефектов проволоки, так как, кроме технологических факторов метизного производства (подготовка поверхности, волочение, термообработка, нанесение покрытия), необходимо учитывать влияние металлургического передела (разливка стали, горячий прокат). Эти трудности возрастают с каждым этапом производственного цикла. Трансформация дефектов, протекающая при волочении и термообработке проволоки, значительно усложняет идентификацию наблюдаемых дефектов. Поэтому одним из необходимых условий достоверного определения вида дефекта и его причины является одновременное исследование дефектной проволоки и исходной проволоки-заготовки. Определение характерных для каждого дефекта особенностей, их сопоставление с ранее установленными признаками позволяют идентифицировать исследуемый дефект [1].

В настоящей статье представлено исследование происхождения поверхностных дефектов тонкой латунированной проволоки для металлокорда и РВД после мокрого волочения по их внешнему виду и микроструктуре, определение причин образования дефектов экспериментальным методом с выполнением сварных соединений латунированной проволоки-заготовки в различных условиях и металлографическим исследованием образцов полученных сварных соединений. Исследования проводили в металлографической лаборатории производства металлокорда № 1 центральной заводской лаборатории.

Одним из видов обрывов тонкой латунированной проволоки по причине наличия на ней поверхностных дефектов является обрыв типа «искрение» [2]. При исследовании под стереоскопическим микроскопом обрыв типа «искрение» представляет собой хрупкий излом проволоки по разволоченным поверхностным трещинам локального характера, расположенным по одной образующей (рис. 1). При этом проволока в зоне локальных трещин или по всей поверхности имеет отбеленный цвет, характерный для участков с отсутствием латунного покрытия.



Рис. 1. Внешний вид хрупкого разрушения по поверхностным трещинам. x25

В микроструктуре обрыва типа «искрение» на поверхности тонкой латунированной проволоки в зоне разрушения и поверхностных трещин наблюдаются локальные участки со структурой мартенсита, глобулярный цементит в переходной зоне (рис. 2).

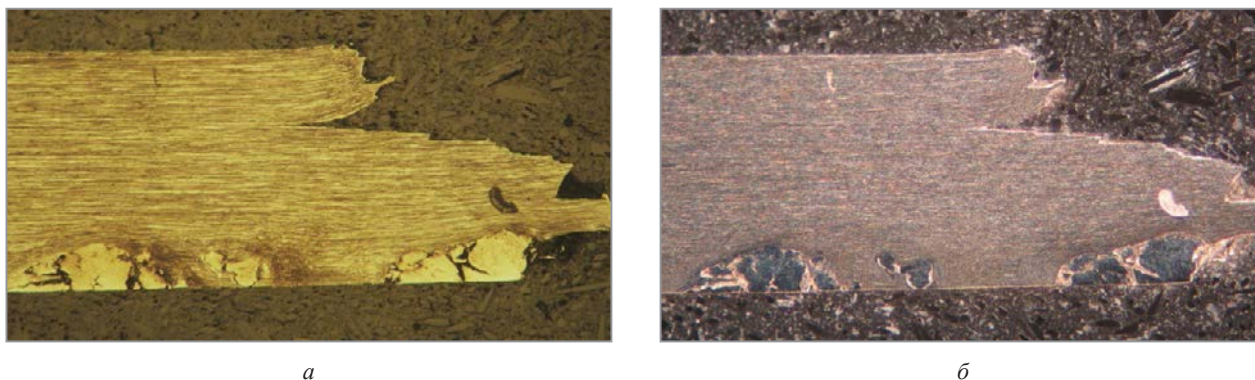


Рис. 2. Локальные участки мартенсита в микроструктуре обрывов тонкой латунированной проволоки, продольное сечение, травление в реактиве Нитал: *а* – светлое поле; *б* – темное поле.  $\times 65$

Хрупкое разрушение и обрыв проволоки типа «искрение» происходят на стадии волочения, свивки в металлокорд, при переработке у потребителя по поверхностным трещинам, образовавшимся в зоне мартенситной структуры, по причине высокой твердости мартенсита по сравнению с перлитной структурой проволоки, при разной деформируемости микроструктур вследствие структурной неоднородности.

Одной из известных причин образования указанного дефекта является наличие на латунированной проволоке-заготовке поверхностного дефекта в виде прижога от искрения (рис. 3), образующегося в результате точечного термического воздействия на стадии термодиффузии покрытия на установках патентирования – латунирования с электроконтактным нагревом [2].

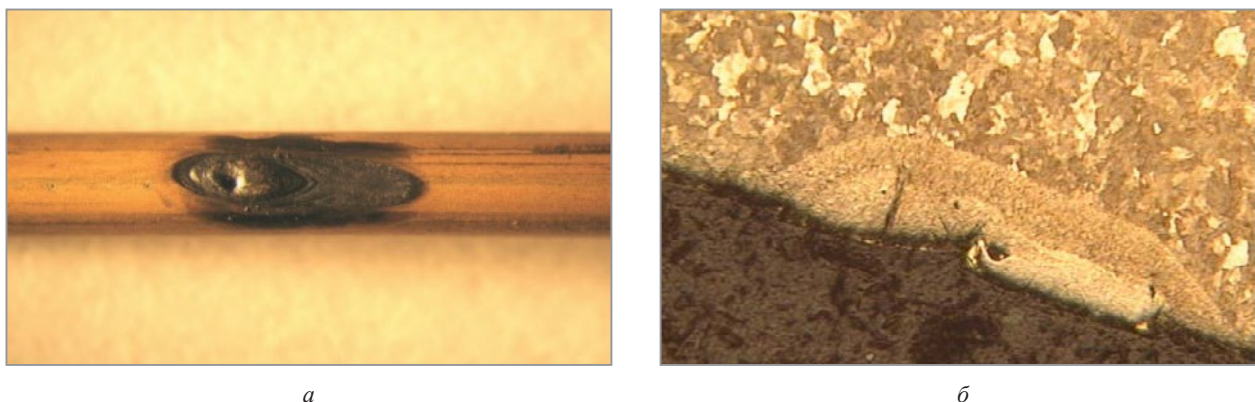


Рис. 3. Поверхностный дефект типа «прижог от искрения» на латунированной проволоке-заготовке: *а* – внешний вид.  $\times 6,5$ ; *б* – микроструктура мартенсита в зоне оплавления и глобулярного цементита в переходной зоне, поперечное сечение, травление в реактиве Нитал.  $\times 200$

Однако в процессе исследования обрывов тонкой латунированной проволоки типа «искрение» было установлено, что на некоторых образцах, кроме характерных признаков внешнего вида и микроструктуры, перечисленных выше, имеются особенности: цвет проволоки в месте разрушения обычный соломенно-желтый, а на расстоянии 30–60 см от обрыва на локальном участке длиной 50–140 см проволока отбеленная, отсутствует латунное покрытие, наблюдаются поверхностные микротрещины. Указанные отличительные признаки свидетельствует о том, что отбеленный участок является разволоченным участком сварного соединения проволоки-заготовки, зона зачистки абразивом. Это самая дефектная зона сварного шва, обычно в ней происходят обрывы проволоки. В исследуемых же обрывах типа «искрение» поверхностные трещины, вызвавшие разрушение, находятся на расстоянии 30–60 см от зоны зачистки. В результате анализа внешнего вида и микроструктуры таких обрывов тонкой проволоки предположили, что дефект образуется на латунированной заготовке при выполнении операции отжига сварного соединения в прижимных губках сварочного аппарата. Именно при отжиге, так как в случае образования локальных участков мартенсита на предшествующих стадиях процесса сварки мартенсит при отжиге перекристаллизовался бы в перлит, в прижимных губках при отжиге, так как поверхностные дефекты, вызывающие обрыв, находятся вне зоны зачистки абразивом, а рядом с ней, на расстоянии 30–60 см.

Чтобы минимизировать и предотвращать обрывы проволоки, важно и необходимо определять конкретную причину их возникновения. Причины и условия образования поверхностного дефекта типа «прижог от искрения» на этапе соединения сваркой латунированной заготовки ранее не были достаточно исследованы и известны. Для проверки и подтверждения предположения об образовании дефекта в прижимных губках при отжиге, а также для определения других возможных причин образования дефекта на участке мокрого волочения были проведены эксперименты с выполнением сварок латунированной проволоки-заготовки. Чтобы получить указанный дефект на проволоке, установить условия его образования, соединения сваркой выполняли на различных сварочных аппаратах как в соответствии с установленными требованиями к технологическому процессу, так и с нарушениями требований. Затем полученные сварные соединения исследовали на наличие дефекта.

Соединение сваркой на этапе мокрого волочения выполняют при замене латунированной проволоки-заготовки, замене волочильного инструмента, обрывах проволоки. Процесс сварки проводится соединением встык проволок, разогревом их электроконтактным способом до оплавления в зоне стыка и состоит из следующих технологических операций:

- подготовка концов проволоки к сварке (отрезается специальными ножницами, чтобы поверхность резки была перпендикулярна оси проволоки);
- установка свариваемых концов проволоки в зажимы сварочного аппарата и их центровка между собой;
- выбор режима сварки и настройки сварочного аппарата;
- стадия сварки;
- отпуск сварной зоны (нагрев до 500–600 °С);
- зачистка сварного шва абразивом с помощью шлифовального круга;
- отжиг сварной зоны (нагрев до 900–1000 °С);
- зачистка оксидной пленки на поверхности сварного шва наждачной бумагой.

При проведении эксперимента были допущены следующие несоответствия требованиям:

- плохой контакт торцов проволоки в месте стыка на стадии сварки;
- плохой контакт в прижимных губках при сварке;
- смещение проволоки от центра при закреплении ее в губках для отжига;
- плохой контакт проволоки в губках при отжиге (недостаточно затянуты винты регулировки верхнего зажима; удерживание проволоки вручную без контакта с верхним зажимом).

При исследовании с помощью стереоскопического микроскопа внешнего вида образцов сварных соединений, полученных в результате экспериментов, установлено, что проволока имеет локальные оплавления поверхности в виде «прижогов от искрения» (рис. 4) в случае плохого контакта ее с прижимными губками во время отжига. Прижоги расположены на расстоянии 2–4 см от центра сварного соединения.

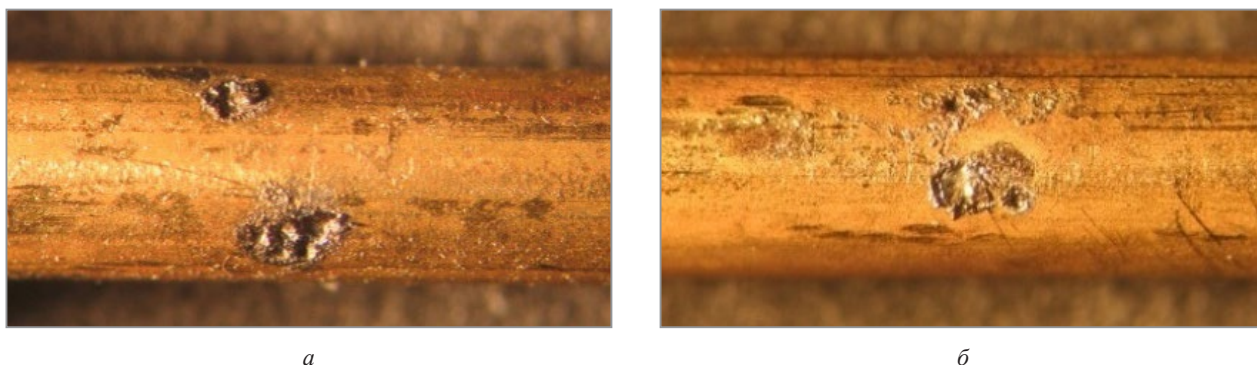


Рис. 4. Внешний вид поверхностных дефектов типа «прижог от искрения» на латунированной проволоке-заготовке. х9

Аналогичные прижоги были обнаружены на образцах сварных швов проволоки, выполненных на некоторых сварочных аппаратах без нарушений требований к режиму сварки. При осмотре прижимных губок сварочных аппаратов было выявлено неудовлетворительное состояние контактной поверхности – раковины от износа.

Прижоги на поверхности проволоки находятся на расстоянии 2–4 см от зоны оплавления сварного шва. Размер, форма и количество прижогов на разных исследуемых образцах различны. Учитывая

размеры прижимных губок для отжига и расстояние между ними, прижоги на поверхности проволоки-заготовки образовались в зоне контакта проволоки с прижимными губками. Диаметр прижогов на поверхности латунированной проволоки-заготовки составляет  $\sim 0,5\text{--}3,0$  мм, что затрудняет выявление дефекта невооруженным глазом оператором, выполняющим сварку. Большая часть прижогов может быть выявлена только при осмотре с помощью стереоскопического микроскопа.

При исследовании микроструктуры латунированной проволоки-заготовки в зоне прижогов, образовавшихся при сварном соединении, обнаружены участки локального характера с мартенситной структурой глубиной  $0,04\text{--}0,3$  мм (рис. 5). На границе раздела мартенсит-перлит наблюдается переходный слой, содержащий пластинчатый и глобулярный цементит (рис. 5).

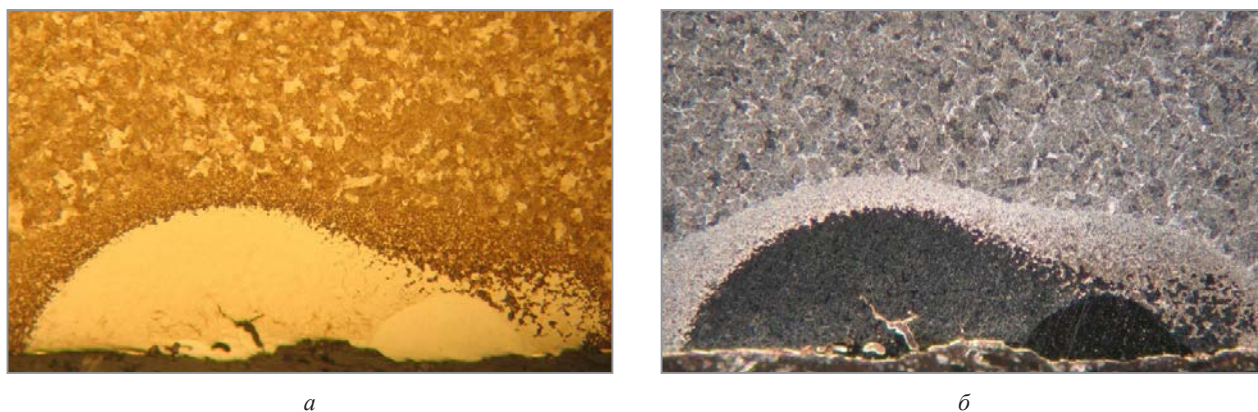


Рис. 5. Локальные участки мартенсита и глобулярного цементита в микроструктуре поверхности латунированной проволоки-заготовки в зоне прижогов от искрения, полученных при выполнении сварного соединения, продольное сечение, травление в реактиве Нитал: а – изображение в светлом поле; б – изображение в темном поле.  $\times 200$

Эксперименты, проведенные на участке мокрого волочения и металлографические исследования образцов сварок, показали, что дефект сварного соединения типа «прижог от искрения», вызывающий в дальнейшем обрывы проволоки, образуется во время отжига по следующим причинам: плохой контакт проволоки с прижимными губками сварочного аппарата; износ прижимных губок сварочного аппарата.

Для устранения причин возникновения указанного дефекта персоналом технического управления разработаны такие мероприятия, как аттестация сварочных аппаратов по критерию отсутствия прижогов в зоне сварного соединения проволоки-заготовки в металлографической лаборатории с применением стереоскопического микроскопа; обеспечение регулярного контроля за техническим состоянием (отсутствием износа) губок сварочных аппаратов; размещение на рабочих местах визуальных инструкций по проведению процесса соединения проволоки сваркой и оценке технического состояния губок.

Таким образом, в процессе металлографических исследований обрывов тонкой латунированной проволоки после мокрого волочения, экспериментов с выполнением сварных соединений на латунированной проволоке-заготовке, металлографических исследований поверхности и микроструктуры образцов сварных соединений установлена причина образования поверхностного дефекта типа «искрение» на тонкой латунированной проволоке, связанная с плохим контактом проволоки с прижимными губками сварочного аппарата при отжиге во время выполнения сварного соединения латунированной заготовки. На основе полученных исследований выполнен ряд мероприятий, направленных на устранение причин образования дефекта при выполнении сварных соединений латунированной заготовки, что позволит снизить количество обрывов проволоки в процессе дальнейшего ее производства, повысить качество продукции.

### Выводы

1. Обрывы типа «искрение» тонкой латунированной проволоки для производства металлокорда и проволоки РВД происходят из-за наличия на латунированной проволоке-заготовке локальных поверхностных дефектов – прижогов от искрения. Одной из причин их образования являются неудовлетворительные условия при выполнении сварного соединения перед задачей в стан мокрого волочения во время операции отжига – плохой контакт между проволокой и прижимными губками сварочного аппарата, износ контактной поверхности прижимных губок.

2. Характерные особенности внешнего вида обрыва типа «искрение» тонкой латунированной проволоки по причине наличия на проволоке-заготовке прижогов от искрения, полученных при выполнении сварного соединения: хрупкое разрушение по разволоченным поверхностным трещинам локального характера, расположенным по одной образующей; в зоне разрушения и вблизи обычный соломенно-желтый цвет проволоки; на расстоянии 30–60 см от разрушения отбеленный цвет, отсутствие покрытия, поверхностные дефекты, характерные для разволоченной зоны зачистки абразивом проволоки-заготовки. Характерные особенности микроструктуры: локальные участки мартенсита в зоне разрушения и поверхностных трещин, глобулярный цементит в переходной зоне.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Веденеев, А.В.** Метизное производство / А.В. Веденеев, Ю.Д. Губанов, В.В. Ростовцева и др. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2019. С. 209–210.
2. **Микирова, З.А.** Дефекты стальных заготовок и металлопродукции / З.А. Микирова, Е.А. Перетягина, В.И. Грицаенко и др. Минск: СтройМедиаПроект, 2019. С. 228, 267.

#### REFERENCES

1. **Vedeneev A.V., Gubanov Ju.D., Rostovceva V.V. et al.** *Metiznoe proizvodstvo* [Hardware production]. Gomel', GGTU im. P.O. Suhogo Publ., 2019, pp. 209–210.
2. **Mikirova Z.A., Peretjagina E.A., Gricaenko V.I. et al.** *Defekty stal'nyh zagotovok i metalloprodukcii* [Defects of steel billets and metal products]. Minsk, StrojMediaProekt Publ., 2019, pp. 228, 267.