



УДК 621.778:621.791  
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-80-84

Поступила 15.05.2019  
Received 15.05.2019

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН НЕСООТВЕТСТВИЙ МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОКОРДА

*И. В. БОРИСОВЕЦ, Т. П. КУРЕНКОВА, А. А. САХАРНАЯ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.  
E-mail: nmg.plus@bmz.gomel.by*

*Актуальность:* увеличение количества разрушений сварных соединений металлокорда из-за несоответствий микроструктуры сварного шва.

*Цель:* поиск причин образования дефектов сварных соединений металлокорда для уменьшения количества несоответствий по данному параметру и исследование особенностей формирования микроструктуры сварных соединений.

*Методы исследования:* в качестве материала для исследования был применен металлокорд различных конструкций, произведенный в сталепроволочном цехе № 2 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» из катанки собственного производства; исследование проводили с помощью стереоскопического микроскопа NIKON SMZ 1000 с видеосистемой и инвертированного металлографического микроскопа OLIMPUS GX-51 с видеосистемой; замеры твердости проводили по методу Виккерса при нагрузке 0,5 кг на микротвердомере ZWICK 3X5624AT.

*Результаты исследования:* определены закономерности и причины образования несоответствия микроструктуры сварных соединений при выполнении сварки на металлокорде: неправильная настройка сварочного аппарата (торможение сварочной каретки); несоответствие температуры отпуска (неисправность кнопки отпуска или операция отпуска выполнена дважды); малое время выдержки в зажимах (зубках) для отпуска; несоответствующие Регламенту выполнения сварного соединения действия оператора (пропуск или невыполнение операции «отпуск сварного шва»); влияние внешних факторов окружающей среды (микроклимата) рабочего места оператора.

**Ключевые слова.** Сварной шов, металлокорд, микроструктура, термообработка, микротвердость, мартенсит отпуска, пережог, пластичность сварного соединения, разрывное усилие сварного шва, регламент выполнения сварного соединения.

*Для цитирования.* Борисовец, И. В. Исследование причин несоответствий микроструктуры сварных соединений металлокорда / И. В. Борисовец, Т. П. Куренкова, А. А. Сахарная // Литье и металлургия. 2019. № 2. С. 80–84. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-80-84.

## A STUDY ON THE CAUSES OF THE INCONSISTENCIES OF THE MICROSTRUCTURE OF WELDED JOINTS OF STEEL WIRE CORD

*I. V. BORISOVETS, T. P. KURENKOVA, A. A. SAKHARNAYA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.  
E-mail: nmg.plus@bmz.gomel.by*

*Relevance:* the increase in the number of destruction of welded joints of the metal wire cord due to discrepancies in the microstructure of the welded seam.

*Purpose:* to find the roots of defects in welded joints of metal wire cord to reduce the number of inconsistencies in this parameter and study the features of the formation of the microstructure of welded joints.

*Methods of research:* as a material for research the metal wire cord of various designs made in steel – wire shop No. 2 of OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» – a rod of own production was applied; the study was conducted using a Nikon SMZ 1000 stereoscopic microscope with a video system and an inverted metallographic microscope OLIMPUS GX-51 with a video system; measurement of hardness was carried out according to Vickers with a load of 0.5 kg on a hardness testing ZWICK 3X5624AT.

*Research results:* the regularities and causes of the formation of mismatch of the microstructure of welded joints during welding on metal: incorrect setting of the welding machine (slowing down of the welding carriage); mismatch of the tempering temperature (a faulty button or operation home run twice); a small dwell time in the terminals (jaws) for tempering; inadequate execution of Regulation of the welded connection of the operator's actions (pass or failure of the operation «tempering of the weld»); influence of external environmental factors (microclimate) of the operator's workplace.

**Keywords.** Welded seam, metal wire cord, microstructure, heat treatment, microhardness, tempered martensite, burnout, plasticity of the welded joint, breaking strength of the welding joint, the regulations of the welded joint.

**For citation.** Borisovets I. V., Kurenkova T. P., Sakharayaya A. A. A study on the causes of the inconsistencies of the microstructure of welded joints of steel wire cord. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 2, pp. 80–84. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-80-84.

Качество соединений, выполненных контактной сваркой, определяется в основном наличием сплошной металлической связи по заданной площади соединения. Используемые в настоящее время технологии и сварочное оборудование не гарантируют полного отсутствия дефектов сварных соединений. Непровары, несплошности, а также несоблюдение установленного внешнего вида, формы и размеров сварных швов классифицируются как дефекты. К дефектам следует относить не только различные отклонения геометрических (несоосность, превышение диаметра сверх установленных норм, залом), внутренних (наличие несплошностей и недостатков прибыли) и механических (полученных в результате обработки сварного шва) параметров сварного соединения, но также несоответствие структуры сварного шва металлокорда.

Для выполнения качественного сварного соединения необходимо выполнить ряд последовательных операций. Регламент выполнения сварного соединения металлокорда показан на рис. 1.

В соответствии с Регламентом выполнения сварного соединения после сварки необходимо провести термическую обработку сварного шва (отпуск). Правильное выполнение данной операции позволяет получить достаточную пластичность сварного соединения при сохранении высокой прочности. Микроструктура сварного шва при этом представляет собой мартенсит отпуска (рис. 2).

Исследования в лабораториях ЦЗЛ ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания», направленные на поиск причин разрушения сварных швов, показали, что наиболее часто встречающимися дефектами сварного соединения являются дефекты микроструктуры сварного шва. Как правило, дефекты обусловлены нарушением режимов термообработки при выполнении сварки: пережог и неполный отпуск.

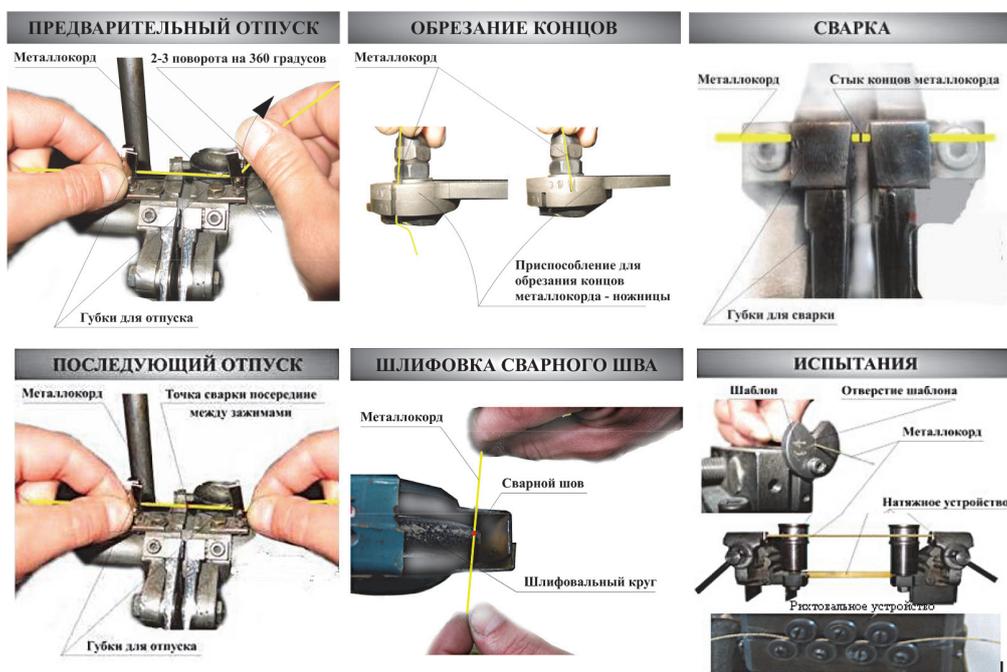


Рис. 1. Регламент выполнения сварного соединения металлокорда

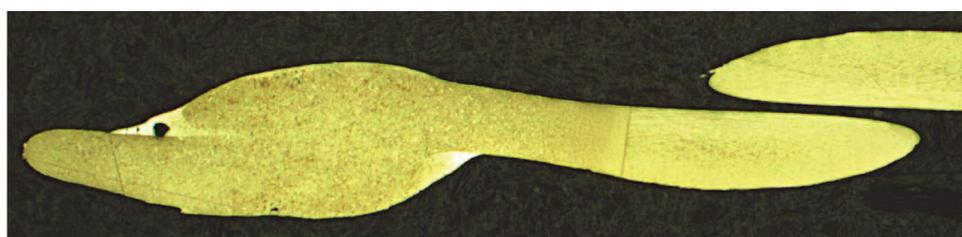


Рис. 2. Мартенсит отпуска в микроструктуре сварного шва. ×100

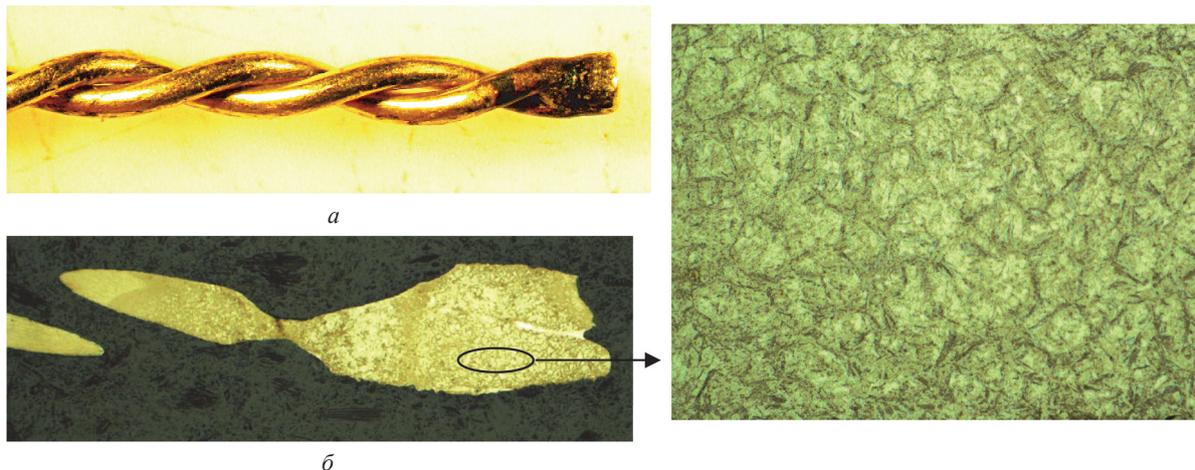


Рис. 3. Пережог в сварном шве: *a* – внешний вид разрушения.  $\times 10$ ; *б* – микроструктура сварного шва (крупнозернистая структура с окисленными границами зерен) при различных увеличениях.  $\times 100$ ,  $\times 500$

Рассмотрим более подробно причины данных несоответствий.

Пережог, крупнозернистая структура с окисленными границами зерен, представлен на рис. 3. При данном несоответствии микроструктуры сварной шов не выдерживает физико-механические испытания и разрушается хрупко даже при незначительном физическом воздействии.

Как показали исследования, структура пережога, как правило, получается при длительном воздействии электрического тока на металлокорд (слишком затянутый цикл оплавления) [Катаев Р. Ф. и др. Теория и технология контактной сварки: учеб. пособ. Екатеринбург, 2015]. Причина нарушения может быть как в технической неисправности сварочного аппарата или его неправильной настройке (торможение сварочной каретки, неисправность кнопки отпуска, операция отпуска выполнена дважды), так и в неправильных действиях персонала (кратковременное нажатие кнопки сварки во время или после отпуска).

Неполный отпуск, или присутствие структуры мартенсита закалки, также приводит к хрупкому разрушению сварных швов как при испытаниях на растяжение, так и при приложении знакопеременных нагрузок. Для выявления причин присутствия мартенсита закалки в зоне сварного шва были выполнены сварные соединения металлокорда различных конструкций и проведены эксперименты с режимами термообработки: проведен полный и частичный отпуск, отпуск не был проведен. После выполнения указанных операций на сварочных аппаратах канатного участка образцы были переданы в лабораторию физико-механических испытаний для испытаний на растяжение до разрушения. Затем была исследована микроструктура сварных швов и замерена твердость по Виккерсу при нагрузке 0,5 кг на микротвердометре ZWICK 3X5624AT.

Результаты исследований показали, что образец металлокорда со сварным соединением, выполненным согласно Регламенту с полным отпуском, разрушился вне зоны сварного шва по типу «сужение» (рис. 4, *a*). Разрывное усилие составило 277 Н при требовании 166 Н. Твердость, замеренная на различных участках сварного шва, составила 538–545 HV<sub>0,5</sub>.

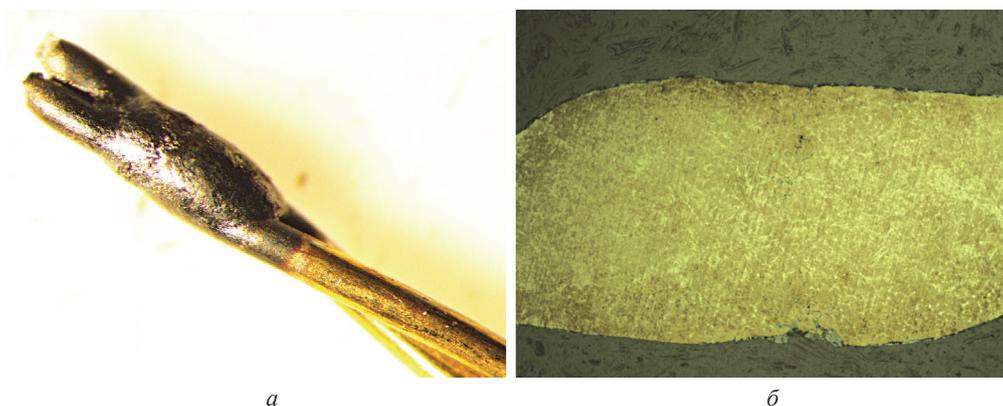


Рис. 4. Сварка, выполненная согласно Регламенту (с полным отпуском) на металлокорде конструкции 2×0,30 НТ: *a* – внешний вид разрушения после испытаний на разрыв.  $\times 10$ ; *б* – мартенсит отпуска в микроструктуре сварного шва.  $\times 200$

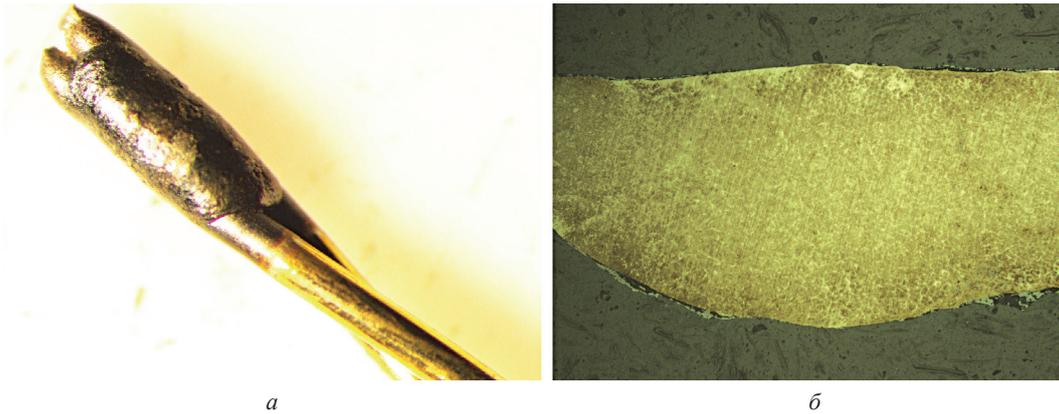


Рис. 5. Сварка, выполненная с частичным отпуском на металлокорде конструкции 2×0,30 НТ: *а* – внешний вид разрушения после испытаний на разрыв. ×10; *б* – микроструктура сварного шва. ×200

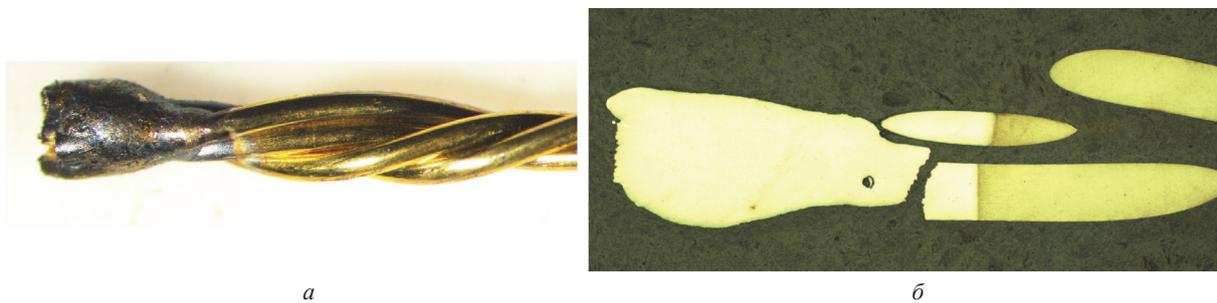


Рис. 6. Сварка, выполненная без отпуска на металлокорде конструкции 2+2×0,32НТ: *а* – внешний вид разрушения после испытаний на разрыв. ×10; *б* – мартенсит закалки в микроструктуре сварного шва. ×100

Образец металлокорда со сварным соединением, выполненным с частичным отпуском (прервана операция отпуска), разрушился в зоне термического влияния сварного шва по типу «сужение» (рис. 5). Разрывное усилие составило 223 Н при требовании 166 Н. Значения твердости в зоне сварного шва имеют разброс от 535 до 638 HV<sub>0,5</sub>, что свидетельствует о неравномерном прогреве при отпуске по длине сварной зоны.

Образец металлокорда со сварным соединением, выполненным без отпуска, разрушился хрупко в зоне термического влияния сварного шва (рис. 6). Разрывное усилие составило 68 Н при требовании 166 Н. Твердость, замеренная на различных участках сварного шва, составила 879–898 HV<sub>0,5</sub>. Структура соединения – мартенсит закалки.

Необходимо отметить, что не во всех случаях при хрупком разрушении образуется структура мартенсита закалки. Исследование микроструктуры сварных соединений с хрупким разрушением показывает, что в большинстве случаев отпуск данных образцов проводился, что подтверждается результатами измерений твердости. Значения твердости при этом находятся в диапазоне 595–710 HV<sub>0,5</sub>, что значительно ниже, чем твердость сварного шва без отпуска. Вероятнее всего, в процессе отпуска требуемая температура достигается после повторного нагрева и быстрого охлаждения.

Для определения причин, влияющих на разогрев – охлаждение проволоки во время отпуска, были проведены исследования влияния воздействия факторов окружающей среды (микrokлимата) на процессы термообработки при выполнении сварного соединения металлокорда. При этом были созданы следующие условия: выполнение сварки в зоне действия потока воздуха из открытых ворот цеха в холодное время года; повышенная скорость движения воздуха при работе сварочного аппарата в зоне действия диффузора приточной вентиляции или дополнительное охлаждение воздухом для ускорения процесса остывания во время отпуска.

В ходе экспериментов, проводимых в течение года, было установлено, что температура окружающей среды и интенсивность обдува (скорость охлаждения) влияют на превращения при отпуске и хрупкость сварного шва. Было отмечено, что при пластичном разрушении существует плавный переход от зоны термического влияния к структуре, соответствующей началу процесса рекристаллизации (выделение цементита на фоне текстуры волочения, рис. 7, *а*). На образцах сварных соединений, выполненных с принудительным обдувом, значения твердости имеют значительный разброс, а при достижении значения в 650–700 HV<sub>0,5</sub> происходит хрупкое разрушение и наблюдается резкий переход между зоной термического влияния и текстурой волочения в микроструктуре сварного шва (рис. 7, *б*).

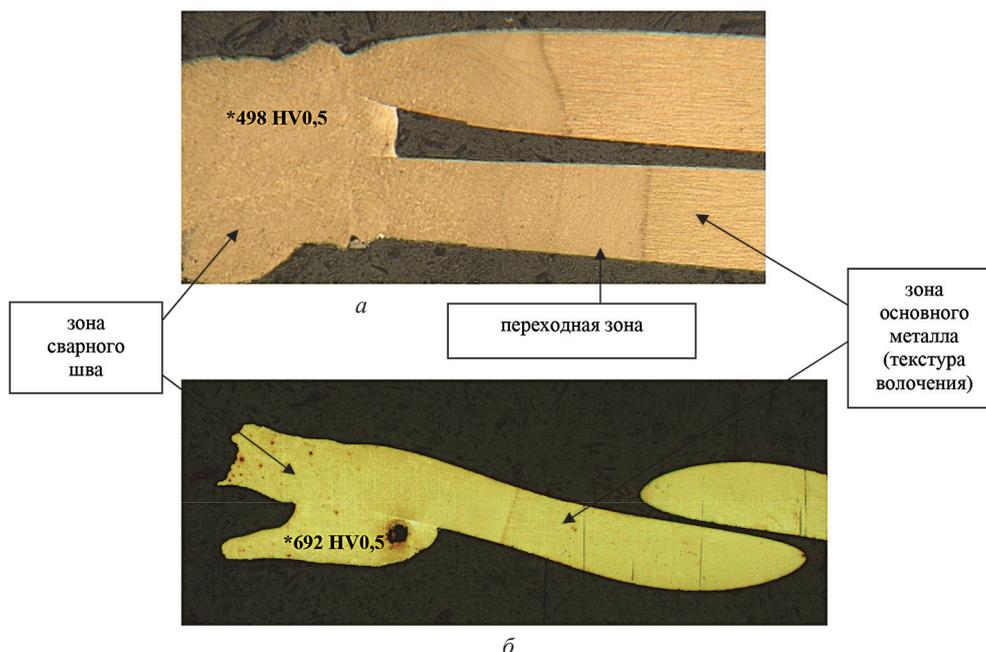


Рис. 7. Мартенсит отпуска в микроструктуре сварного шва: *а* – при пластичном разрушении.  $\times 200$ ; *б* – при хрупком разрушении.  $\times 100$

Лабораторные исследования и эксперименты, проведенные на канатных участках сталепроволочного цеха, показали, что несоответствие микроструктуры сварных соединений при выполнении сварки на металлокорде имеет следующие причины:

- неправильная настройка сварочного аппарата (торможение сварочной каретки);
- несоответствие температуры отпуска (неисправность кнопки отпуска или операция отпуска выполнена дважды);
- малое время выдержки в зажимах (губках) для отпуска;
- несоответствующие Регламенту выполнения сварного соединения действия оператора (пропуск или невыполнение операции «отпуск сварного шва»).

Также установлено, что на микроструктуру и механические свойства сварного соединения могут влиять факторы окружающей среды (микроклимата) рабочего места оператора, такие, как поток воздуха от диффузора вентиляционной установки, работа при открытых воротах цеха в холодное время года.