



*It is shown that research of impurities on wire surface with the help of optical microscope after chemical bleed of covering enables to define type of pollution, character of their arrangement on wire surface, and also to eliminate the reason of their formation.*

Е. С. СЕРЕГИНА, Т. П. КУРЕНКОВА, ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»

УДК 669.21

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТСЛОЕНИЯ ЛАТУННОГО ПОКРЫТИЯ ПРОВОЛОКИ–ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОКОРДА И ПРОВОЛОКИ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ РУКАВОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Процесс изготовления латунированной заготовки для производства металлокорда и проволоки для армирования рукавов высокого давления (РМЛ) на Белорусском металлургическом заводе включает в себя патентирование стальной волоочной проволоки (нагрев до температуры аустенизации с последующим охлаждением в ванне с расплавом свинца при температуре ~570 °С), очистку поверхности проволоки от свинца в коксе мелкой фракции, электрохимическое биполярное серно-кислородное травление и нанесение латунного покрытия, которое состоит из следующих стадий: электролитическое пирофосфатное (щелочное) меднение; электролитическое сернокислородное меднение; электролитическое сернокислородное цинкование; термодиффузия (450–500 °С) с целью получения латуни на поверхности проволоки; фосфорнокислородное травление с целью очистки поверхности латунного покрытия проволоки от оксидов, образующихся при термодиффузии.

В результате этих процессов получается заготовка с мелкодисперсной пластинчатой феррито-

перлитной структурой и слоем латунного покрытия толщиной 1–2 мкм на поверхности. Степень сцепления латуни с поверхностью стальной проволоки влияет на дальнейший процесс мокрого волочения заготовки и свойства получаемой тонкой проволоки и металлокорда, поэтому данный параметр постоянно контролируется. Испытание проводят путем навивания нескольких витков проволоки в виде плотной спирали вокруг собственного диаметра, оценки качества покрытия под оптическим микроскопом методом сравнения с эталонными шкалами. Сцепление (или прилегание) латуни получается наилучшим (рис. 1, а), если поверхность проволоки максимально очищена перед нанесением покрытия. Наличие под латунным покрытием различного рода загрязнений приводит к отслоению латуни (рис. 1, б). Поэтому причины образования загрязнений под покрытием следует считать причинами отслоения латунного покрытия.

Одним из методов оценки загрязнений под покрытием является металлографический анализ се-



а



б

Рис. 1. Прилегание латуни после навивки проволоки вокруг собственного диаметра: а – хорошее прилегание; б – неудовлетворительное прилегание (отслоение).  $\times 10$

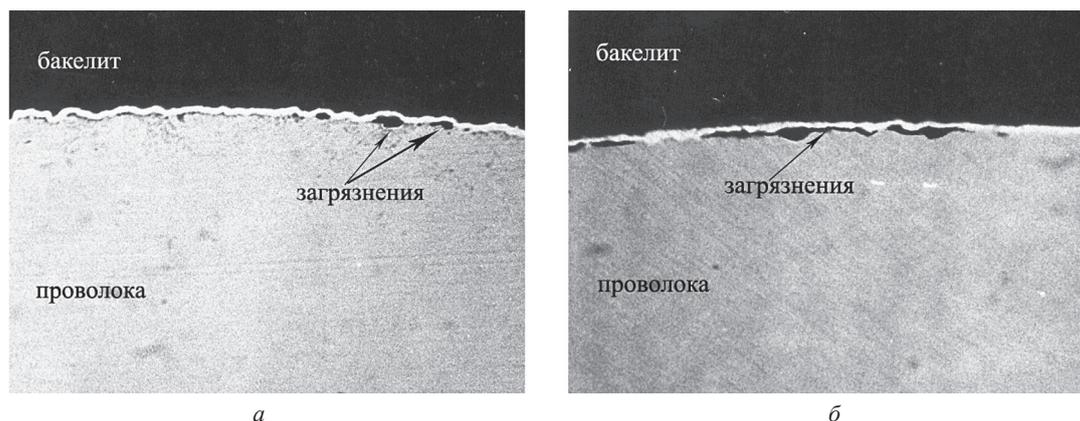


Рис. 2. Загрязнения под покрытием латунированной заготовки: *а* – малое количество; *б* – большое количество.  $\times 500$

чения проволоки в шлифе, когда количество загрязнений определяется с помощью сравнительных шкал (рис. 2).

Основным видом загрязнений под латунным покрытием первоначально считалась окалина, образовавшаяся на поверхности проволоки при нагреве в печи и недостаточно полно стравленная в процессе электрохимического биполярного травления (так называемая остаточная окалина). Технологические причины загрязнений под латунным покрытием на проволоке при этом определялись как невыполнение оптимальных условий термообработки (несоответствующие температура печи, состав печной атмосферы, скорость движения проволоки), а также нарушения в процессе травления. Однако впоследствии было установлено, что мероприятия, направленные на устранение несоответствий в печи патентирования и ванне травления, не всегда дают положительный результат. Поэтому на БМЗ были проведены исследовательские работы по изучению других возможных причин образования загрязнений под покрытием.

Для этого образцы проволоки отбирали с агрегатов латунирования по стадиям процесса нанесения покрытия: после очистки в коксе, травления, щелочного меднения, кислого меднения, цинкования, термодиффузии и фосфорного травления. На каждом этапе исследовали загрязнения на поверхности проволоки под оптическим микроскопом, оценивали количество загрязнений методом металлографического анализа сечения проволоки в шлифе, определяли качество сцепления покрытия методом навивки. В результате было установлено, что в большинстве случаев загрязнения появляются на проволоке после кислого меднения и являются продуктами электрохимического взаимодействия стальной проволоки и сернокислого электролита в местах пор и несплошностей щелочного медного покрытия. Загрязнения такого типа отличны от остаточной окалины по составу и

технологическим причинам образования, поэтому их начали классифицировать как оксиды. Элементный химический состав оксидов исследовали на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микрозондом Stereoscan 200. Исследования показали, что состав загрязнений определяется технологической стадией, после которой производился отбор пробы. Так, в образце, отобранном после кислого меднения, в состав оксидов входят железо и медь; в образце, отобранном после цинкования, в оксидах определяется железо, медь, цинк. Наряду с этими элементами в некоторых оксидах после травления проволоки в фосфорной кислоте был выявлен фосфор.

В металлографических шлифах загрязнения отличаются по форме и цвету: остаточная окалина имеет светло-серый цвет, располагается сплошным слоем по всей поверхности образца или на большей его части (рис. 3, *а*); оксиды имеют темно-серый цвет и располагаются в большинстве случаев отдельными глобулями на локальных участках в неровностях поверхности (рис. 3, *б*). При значительной степени загрязнения оксиды расположены сплошным слоем на локальных участках поверхности (рис. 3, *в*). Дальнейшие исследования оксидов в металлографических шлифах показали, что после нагрева проволоки на стадии термодиффузии часто появляется слой железной окалины толщиной 0,2–0,5 мкм между стальной основой и оксидом (рис. 3, *г*). Образование окалины при термодиффузии свидетельствует о локальном доступе кислорода к стальной основе из-за несплошности покрытия в зоне оксидов.

Таким образом, в результате проведенных работ было установлено, что загрязнения под покрытием в большинстве случаев это оксиды, которые образуются первоначально в ванне электролитического сернокислого меднения. Далее при движении проволоки по агрегату латунирования оксиды могут укрупняться и изменяться в своем составе.

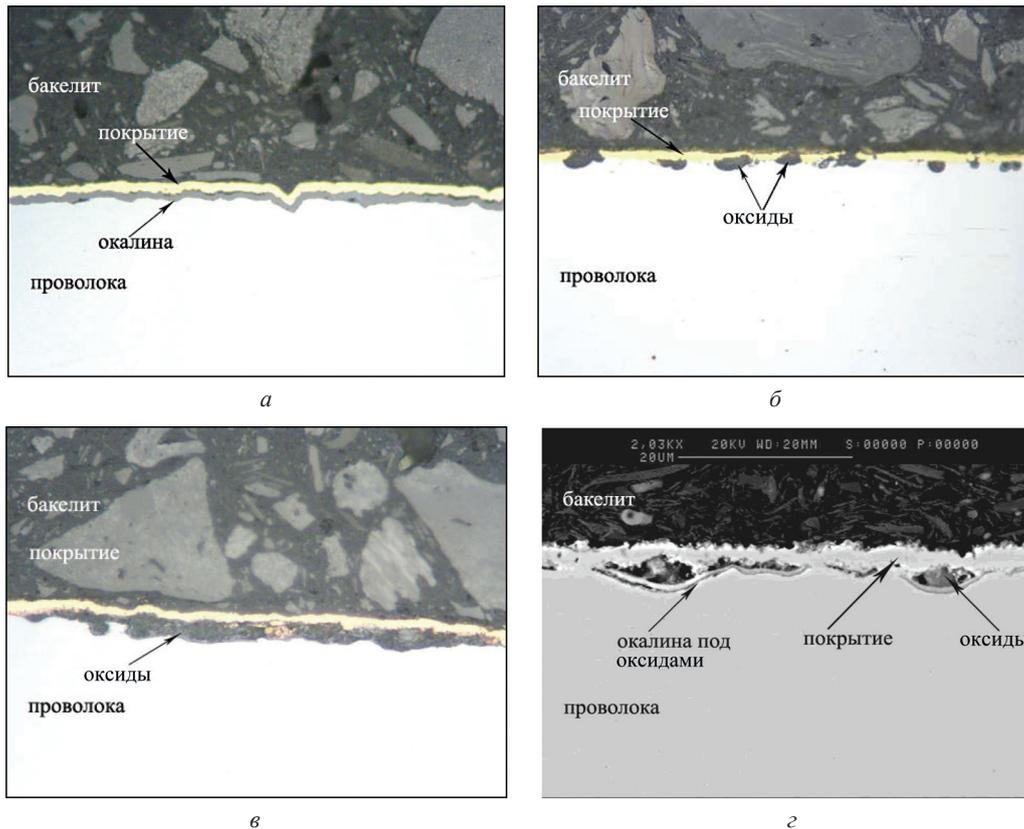


Рис. 3. Загрязнения под покрытием латунированной заготовки, сечение проволоки в металлографическом шлифе: *а* – остаточная окалина,  $\times 1000$ ; *б* – оксиды расположены отдельными глобулами,  $\times 1000$ ; *в* – оксиды расположены сплошным слоем,  $\times 1000$ ; *г* – окалина, образовавшаяся под слоем оксидов после термодиффузии,  $\times 1400$

После получения этих результатов в качестве технологических причин образования оксидов стали рассматривать несоответствия в ваннах щелочного меднения, приводящие к пористости, несплошности, тонкому слою меди, а также задиры и истирания поверхности проволоки на контактных деталях во время ее прохождения по агрегату.

В настоящее время для выявления причин неудовлетворительного прилегания латуни в лаборатории металлографии ЦЗЛ разработан новый метод – определение типа загрязнения на поверхности проволоки под стереоскопическим микроскопом после химического травливания покрытия (рис. 4). При этом с проволоки травливается только латунное покрытие, а стальная основа, окалина, оксиды, другие загрязнения приобретают характерную окраску. В результате появилась возможность по внешнему виду оперативно определять тип загрязнений, характер их расположения на поверхности проволоки, количество и степень распространения, а также предполагать причину их образования.

В процессе исследования загрязнений на поверхности проволоки под оптическим микроскопом после химического травливания покрытия и анализа производственных условий, при которых они образовались, удалось еще более конкретизи-

ровать виды загрязнений и причины их возникновения. Дополнительно к тому, что было известно ранее, появилась возможность наблюдать налипание свинца (рис. 4, *в*, *г*). Полоса свинца толщиной от 0,3 мкм и более (рис. 4, *в*) приводит к отслоению латуни при навивке. Кроме того, из-за несплошностей щелочного медного покрытия и повышенной шероховатости поверхности проволоки именно в местах налипания свинца происходит образование оксидов в ванне сернокислого меднения, что усугубляет степень загрязнения поверхности и отслоение латуни при навивке. Анализ числа несоответствий показал, что налипание свинца и образование оксидов из-за налипания свинца – это основной тип загрязнения на проволоке и основная причина отслоения латуни.

Причинами налипания свинца являются:

- трение проволоки о погружные скобы в свинцовой ванне (рис. 4, *в*);
- несоответствие температурно-скоростных параметров термообработки проволоки в печи;
- неполная очистка поверхности от свинца при прохождении проволоки в коксе;
- повышенная шероховатость поверхности проволоки (риски, царапины) (рис. 4, *г*).

Необходимо отметить, что в большинстве случаев на проволоке можно наблюдать несколько ви-

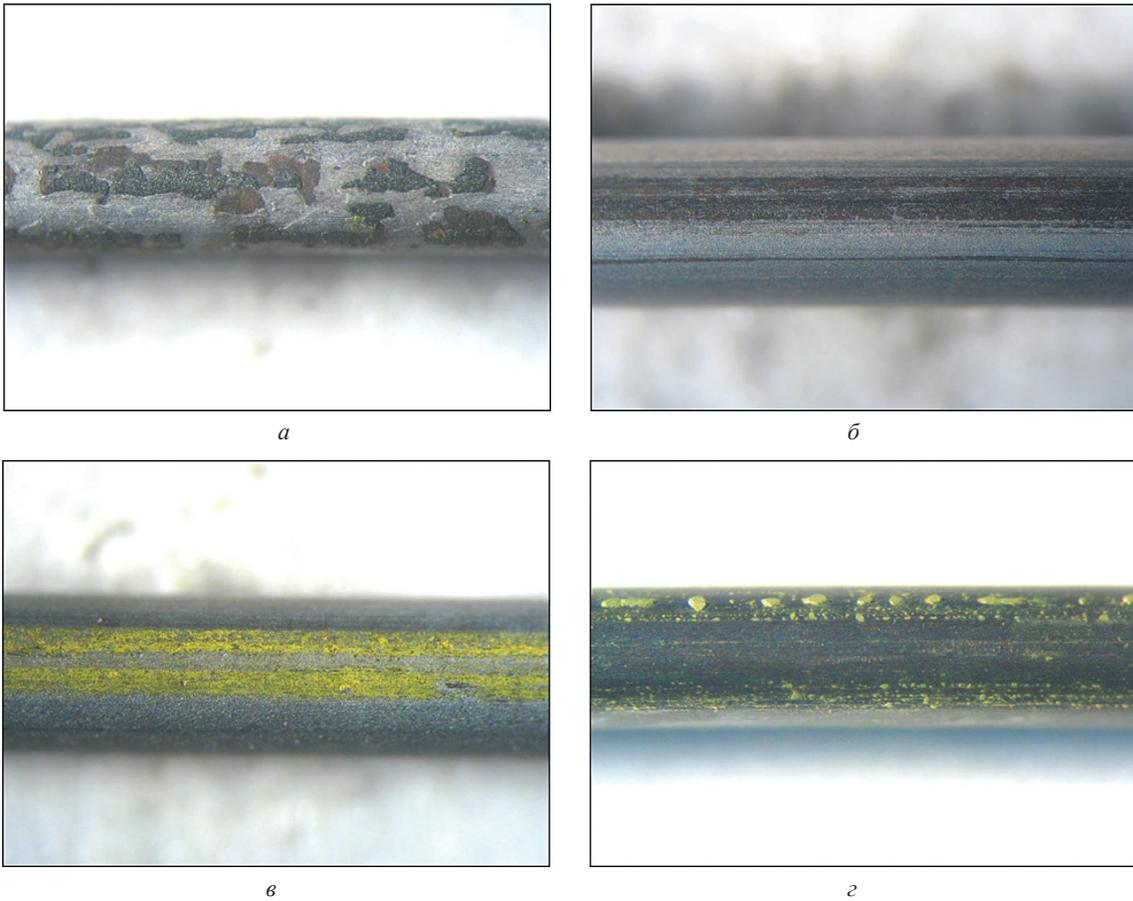


Рис. 4. Загрязнения на поверхности проволоки после стравливания латуни: *а* – остаточная окалина; *б* – оксиды; *в* – налипание свинца; *г* – в виде полос; *з* – налипание свинца в виде крупных частиц, расположенных по всей поверхности.  $\times 15$

дов загрязнений одновременно, так как наличие одних является причиной образования других. Это влечет за собой сложность в точном определении технологических причин возникновения загрязнений. Нередко различные причины приводят к образованию одних и тех же видов загрязнений. Поэтому в таких случаях необходимо применять разные методы исследования, анализировать последовательность образования загрязнений для выявления первичных и определяющих факторов, знать и учитывать конкретные условия производства проволоки.

### Выводы

1. Отслоения при навивке проволоки вызываются наличием загрязнений под покрытием, таких, как остаточная окалина, оксиды в зонах несплошностей покрытия, налипание свинца.
2. Исследования загрязнений на поверхности проволоки под оптическим микроскопом после химического стравливания покрытия позволяют оперативно определять тип загрязнений, характер их расположения на поверхности проволоки, количество и степень распространения, а также находить и устранять причину их образования.