



*The possible reasons of nodular cement formation in structure of wire-slug for production of metal cord and wire RVD are determined and systematized.*

Т. П. КУРЕНКОВА, И. В. БОРИСОВЕЦ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ЗЕРНИСТОГО ЦЕМЕНТИТА В СТРУКТУРЕ ПРОВОЛОКИ ИЗ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ МЕТИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА РУП «БМЗ»

Одним из основных направлений развития производства металлокорда для армирования автомобильных шин и проволоки для рукавов высокого давления в настоящее время является увеличение прочности изделия при сохранении высокой пластичности. Для достижения этой цели применяются следующие методы:

- изменение химического состава стали;
- повышение уровня упрочнения во время волочения за счет оптимизации структуры исходной заготовки.

Заготовка для металлокорда и проволоки РВД представляет собой патентированную проволоку из высокоуглеродистой стали с нанесенным термогальваническим способом латунным покрытием. Оценка качества проволоки-заготовки включает определение физико-механических свойств, химического состава и массы латунного покрытия, а также исследование микроструктуры проволоки

после термической обработки. Металлографическое изучение структуры позволяет определять оптимальные режимы термообработки при патентировании, а также установить возможные причины при выявлении отклонений физико-механических свойств от требований нормативной документации.

### Анализ возможных причин образования зернистого цементита в микроструктуре проволоки-заготовки

Структура патентированной проволоки-заготовки, предназначенной для волочения тонкой проволоки, представляет собой мелкодисперсный пластинчатый перлит, получаемый при нагреве холоднотекучей проволоки до  $T \sim 1000$  °С и охлаждении и выдержке в свинцовой ванне при  $T \sim 570$  °С. Далее в процессе термодиффузионного нагрева на стадии латунирования проволока под-

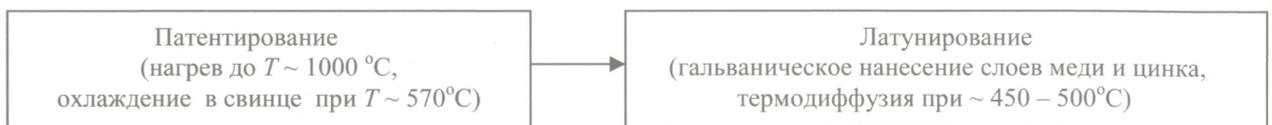


Рис. 1. Стадии термообработки проволоки-заготовки для тонкого волочения

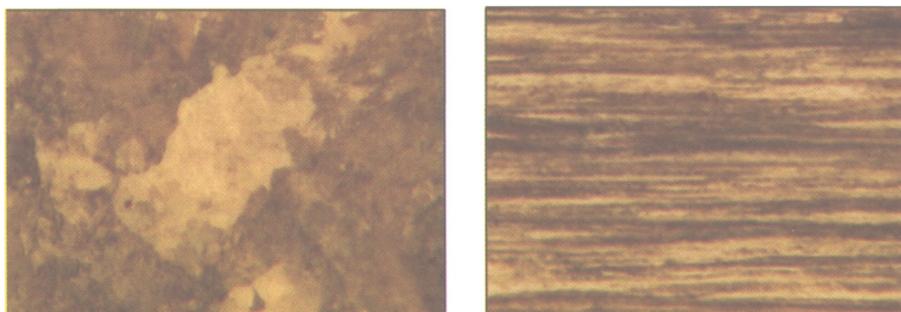


Рис. 2. Микроструктура патентированной заготовки и тонкой проволоки (продольное сечение).  $\times 1000$

вергается разогреву до температур  $\sim 450\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 1).

Получаемый при патентировании пластинчатый перлит – структура наиболее оптимальная для упрочнения при волочении и пригодная к высоким степеням обжатия. Микроструктура патентированной проволоки-заготовки и тонкой проволоки, полученной волочением заготовки, показана на рис. 2.

Наличие в структуре патентированной заготовки избыточных структурно-свободных фаз и повышенное содержание бейнита приводят к снижению прочностных и пластических свойств проволоки и металлокорда. Если при металлографическом исследовании в микроструктуре выявляется зернистый цементит, то проволока признается несоответствующей требованиям нормативной документации.

Для определения причин образования зернистого цементита были изучены термодинамические условия, способствующие его формированию. На рис. 3 приведены схемы термической обработки проволоки-заготовки из высокоуглеродистой стали, при которых возможно образование зернистого цементита. На рис. 3, *а* показана схема замедленного охлаждения металла из аустенитной области, на рис. 3, *б* – недостаточного прогрева

в  $\gamma$ -области и, как следствие, неполной гомогенизации аустенита. При нагреве деформированного металла в область высокого отпуска (рис. 3, *в*) возможна сфероидизация цементита, находящегося в перлите. График на рис. 3, *г* описывает патентирование проволоки.

В соответствии с представленными схемами рассмотрены возможные отклонения в процессе термообработки проволоки-заготовки при патентировании-латунировании; проведены исследования образцов проволоки-заготовки и тонкой проволоки, полученных в этих условиях.

**Длительное нахождение металла в печи и свинцовой ванне** (так называемый «стоялый конец»). При этом процессе происходит медленное охлаждение проволоки после аустенитизации, в результате чего в микроструктуре заготовки наряду с грубодисперсным перлитом и значительным количеством избыточного феррита (для доэвтектоидной стали) наблюдается зернистый цементит. Временное сопротивление разрыву на образцах проволоки-заготовки ниже требований нормативной документации. При дальнейшем волочении заготовки были зафиксированы обрывы проволоки. Структура заготовки и проволоки, полученной при ее волочении, приведена на рис. 4. О длитель-

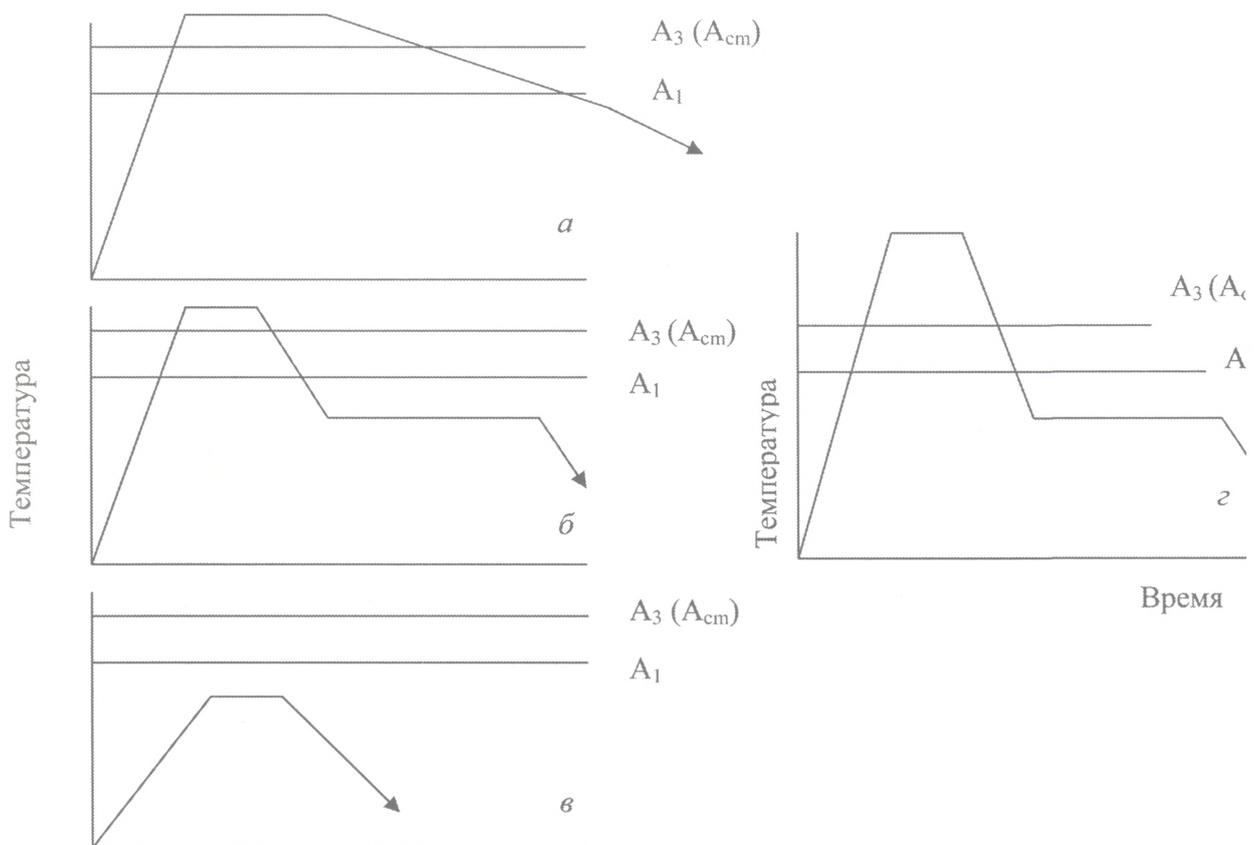


Рис. 3. Схемы термообработки проволоки-заготовки: *а* – медленное охлаждение проволоки после аустенитизации; *б* – недогрев проволоки в печи аустенитизации; *в* – нагрев волоченой проволоки в область высокого отпуска; *г* – патентирование

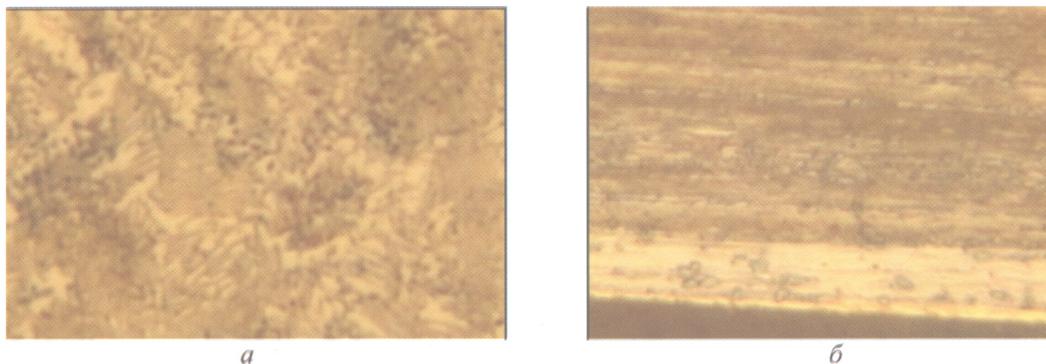


Рис. 4. Микроструктура заготовки (стоялый конец) (а); полученная из нее тонкая проволока (б).  $\times 1000$

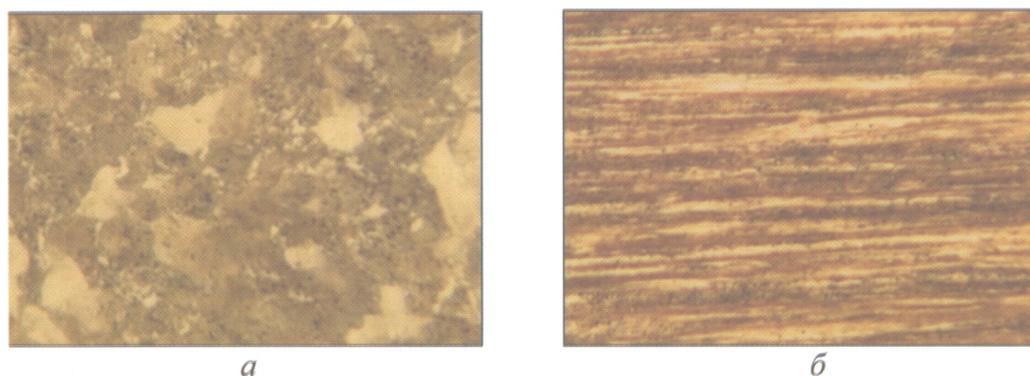


Рис. 5. Микроструктура заготовки, полученной с нарушением маршрута прохождения в печи (а); полученная из нее тонкая проволока (б).  $\times 1000$

ном нахождении заготовки в печи также свидетельствует значительное обезуглероживание поверхности проволоки.

**Неполное патентирование (недостаточный нагрев проволоки в печи аустенитизации).** При нарушении маршрута прохождения проволоки в печи (например, нити собраны в «пучок») наблюдается недогрев проволоки (см. рис. 3, б). В микроструктуре заготовки отмечаются мелкое перлитное зерно и выделения зернистого цементита. Образование зернистого цементита в данном случае происходит, вероятнее всего, из-за недостаточной гомогенизации аустенита при нагреве. В этом случае участки с повышенным содержи-

ем аустенита, а также не полностью растворившиеся пластины цементита являются местами предпочтительного зарождения глобулярных цементитных частиц (рис. 5). Заготовка и полученная из нее проволока имеют пониженные прочностные характеристики. В данном случае при тонком волочении дефектной заготовки обрывы проволоки обычно не наблюдаются, но могут быть выявлены при свивке металлокорда.

**Высокий отпуск волооченой проволоки на установке термодиффузии.** Данное нарушение может быть зафиксировано в случае прохождения холоднодеформированной проволоки мимо печи патентирования и свинцовой ванны (см. рис. 3, в).

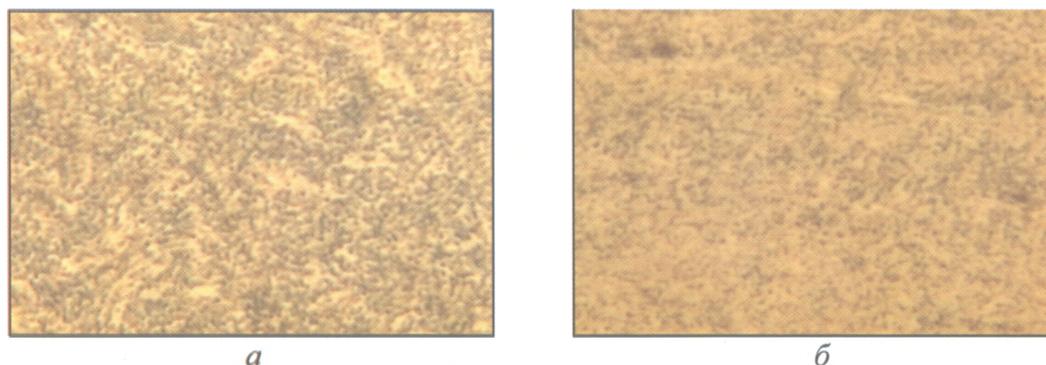


Рис. 6. Выделение зернистого цементита: а – микроструктура дефектной проволоки-заготовки (поперечное сечение); б – микроструктура обрыва с данной заготовки.  $\times 1000$

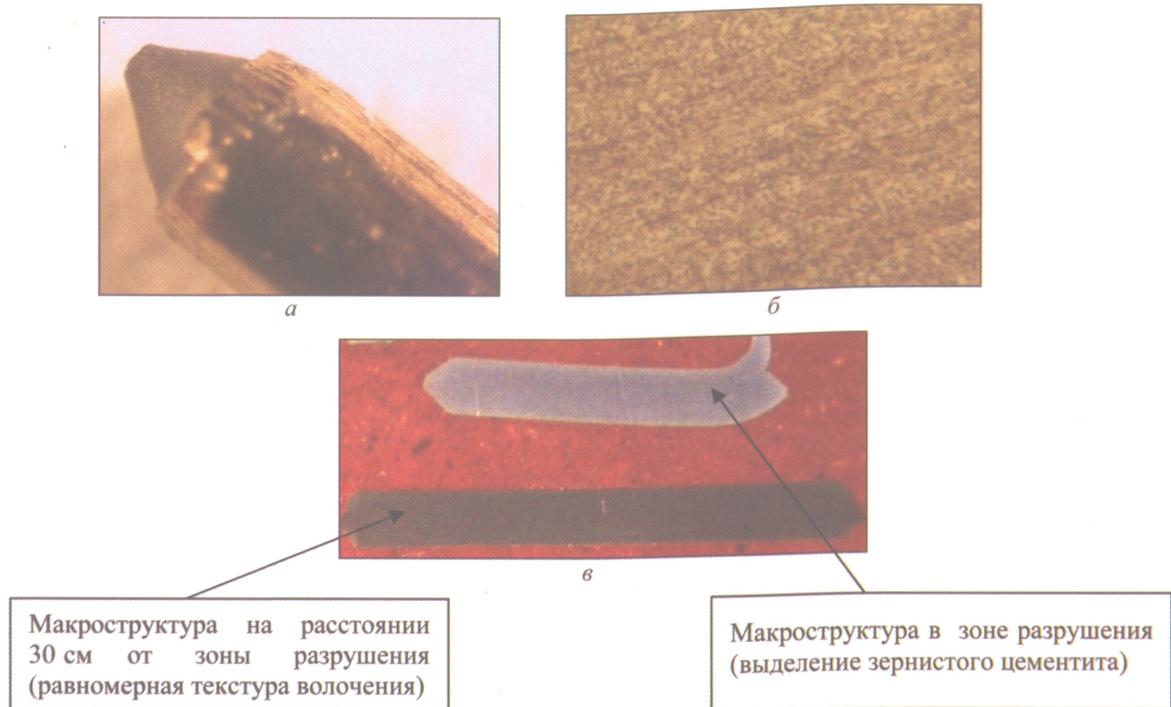


Рис. 7. Внешний вид, микро- и макроструктура обрыва, имеющего локальное выделение зернистого цементита. *a* –  $\times 25$ ; *б* –  $1000$ ; *в* –  $\times 6,5$

При термодиффузии на стадии латунирования за счет повышения диффузионной подвижности атомов углерода происходит сфероидизация цементита. При этом в микроструктуре проволоки выделения зернистого цементита выявляются на фоне текстуры волочения, сформированной при грубом волочении проволоки. Проволока с данной структурой не способна к волочению и обрывы наблюдаются уже на первых проходах маршрута тонкого волочения. Микроструктура заготовки, имеющей нерекристаллизованное зерно и выделение зернистого цементита, и микроструктура обрыва, полученного при ее волочении, приведены на рис. 6.

Следует отметить, что в рассмотренных случаях нарушений режимов термообработки длина дефектного участка проволоки может составлять от нескольких метров до полнотражных катушек в зависимости от момента установления несоответствия. Однако при исследовании причин обрывности на участке тонкого волочения отмечают обрывы по причине выделений зернистого цементита с длиной дефектного участка проволоки от 20 до 50 см. При этом вид обрыва и его микроструктура несколько отличаются от рассмотренных выше случаев (рис. 7).

В данном случае причиной образования зернистого цементита является кратковременное или локальное термическое воздействие на проволоку, при котором происходит образование зернистого цементита.

Внешний вид, макро- и микроструктура такого обрыва приведены на рис. 7. После травления в 2%-ном спиртовом растворе азотной кислоты участки, на которых происходит выделение зернистого цементита, выглядят значительно светлее нормальной структуры.

При анализе возможных причин образования подобного дефекта было установлено, что наиболее вероятной причиной его возникновения является сварка двух отрезков проволоки, которая производится на участках патентирования-латунирования и тонкого волочения при замене катушек проволоки, отборе образцов для испытаний, обрыве проволоки. Для подтверждения этого предположения были исследованы образцы сварных соединений проволоки-заготовки. На рис. 8, *a* показан внешний вид продольного сечения обрыва проволоки по причине некачественной сварки. Интересно отметить, что по длине зоны термического влияния наблюдаются структуры, соответствующие схемам, приведенным на рис. 3, *б*, *в*, что можно объяснить различной степенью нагрева металла при проведении операции сварки. Отличие микроструктуры по длине зоны термического влияния от микроструктуры основного металла после патентирования заготовки свидетельствует о различной термодинамике и кинетике фазовых превращений в указанных зонах.

На рис. 8, *б*, *в* также показана макроструктура обрывов по причине некачественных сварок, по-

Зона сварного шва

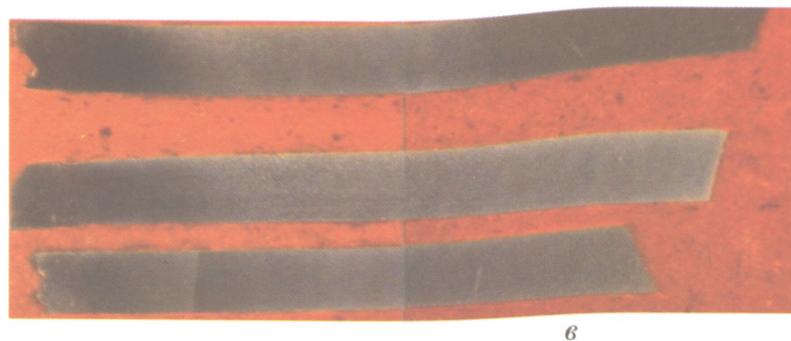
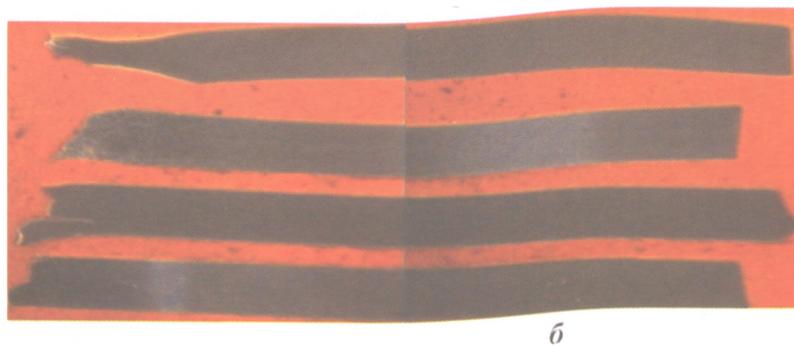


Рис. 8. Макроструктура продольного сечения обрывов проволоки по причине некачественных сварок

лученных на различных диаметрах. На разных образцах протяженность участка с выделением зернистого цементита, его удаленность от места сварки и концентрация выделений различна, что объясняет разную длину дефектного участка при исследовании обрыва проволоки.

Таким образом, определены и систематизированы возможные причины образования зернистого

цементита в структуре проволоки-заготовки для производства металлокорда и проволоки для руково-вов высокого давления. Проведенные исследования позволяют своевременно устранять причины несоответствий и получать продукцию, отвечающую высоким требованиям потребителей метизного производства РУП «Белорусский металлургический завод».

#### Литература

1. Смирнов М. А., Счастливец В. М., Журавлев Л. Г. Основы термической обработки стали. М.: ООО «Наука и технологии», 2002.
2. Долженков И. Е., Долженков И. И. Сфероидизация карбидов в стали. М.: Металлургия, 1984.
3. Увеличение прочности стальной проволоки для шинного корда // Nippon Steel Technical Report. 1995. N 64.
4. Т о ш и м и Т. Регулирование структуры и повышение прочности стального корда // ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. 2007. № 4.