

Парусов Э.В.,*
Сычков А.Б.,**
Губенко С.И.,***
Сагура Л.В.,*
Чуйко И.Н.*

*Институт черной металлургии
им. З.И. Некрасова НАН Украины,
г. Днепропетровск, Украина,
**Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия,
***Национальная металлургическая
академия Украины,
г. Днепропетровск, Украина
E-mail: tometal@ukr.net

О ПОВЫШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ БУНТОВОГО ПРОКАТА ИЗ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.771.25:669.14-194:620.18:593.3

Проведен комплексный анализ различных факторов (структурных и технологических), снижающих технологическую пластичность при волочении бунтового проката из высокоуглеродистых марок сталей. Для гарантированного безобрывного волочения сталей перлитного класса со степенями деформации не менее 75 % бунтовой прокат диаметром 8,0 ... 14,0 мм должен обладать определенным комплексом качественных показателей: равномерно сформированной сорбитной структурой по сечению металла, минимальной загрязненностью стали неметаллическими включениями, отсутствием либо же наличием цементитной сетки не более класса В (стандарт NFA 04-114:1984).

Исследования показали, что мартенсит, неметаллические включения и участки перлита свыше 5 балла (ГОСТ 8233-56) являются дополнительными концентраторами напряжений и вызывают преждевременное разрушение металла при волочении.

Показано негативное воздействие дополнительных факторов, в частности, механических повреждений металла и превышения скоростного регламента волочения на формирование недопустимых структур (мартенсита) на поверхности бунтового проката-проволоки.

Ключевые слова: бунтовой прокат, химический состав, микроструктура, технологическая пластичность, неметаллические включения, перлит, мартенсит.

Введение и состояние проблемы

В настоящее время в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод» (ОАО «ММЗ», г. Рыбница, Молдова) успешно внедрена технология производства высокоуглеродистого бунтового проката диаметром 5,5 ... 14,0 мм из сталей марок C72D, C78D, C80D, C82D и C86D в соответствии с требованиями EN ISO 16120-2:2011. Данная металлопродукция предназначена для производства холоднодеформированной проволоки, из которой изготавливаются различные изделия, в том числе высокопрочные элементы строительных конструкций (арматурные канаты, проволочная арматура периодического и гладкого профилей). Для получения сочетания высоких прочностных и пластических показателей металлопроката определены рациональный химический состав и режимы деформационно-термической обработки [1 - 6].

Бунтовой прокат из высокоуглеродистых марок сталей используется при производстве ответственных видов метизной продукции, поэтому к его качественным показателям предъявляются весьма жесткие требования. Потребителями качественного сортамента сталей являются метизные предприятия, использующие современные и прогрессивные технологические схемы переработки, для которых характерным является снижение издержек технологического процесса и повышенная экологическая безопасность.

Подготовка поверхности бунтового проката к волочению при производстве высокопрочной холоднодеформированной проволоки в условиях национальных метизных предприятий осуществляется, как правило, при помощи кислотного травления, в отличие от метизных предприятий стран ЕС, где все большее предпочтение отдается переориентированию на механический способ удаления окалина, которому сегодня нет альтернативы [7].

Производство высокопрочных арматурных канатов состоит из целого ряда технологических операций: подготовка поверхности (кислотное травление) бунтового проката, подтяжка проката на промежуточный диаметр (заготовку), патентирование, повторная подготовка поверхности, волочение на конечный диаметр проволоки, свивка холоднодеформированной проволоки в канат требуемой конструкции, стабилизация каната под нагрузкой, намотка на деревянный барабан. Изготовление проволочной арматуры осуществляется аналогичным способом, отличие заключается лишь в том, что на поверхность готовой холоднодеформированной проволоки при помощи высокопрочных роликов накатывают двух-

или трехсторонний профиль, а затем выполняют ее стабилизацию с предварительным натяжением, после чего наматывают на деревянный барабан.

В отличие от традиционного технологического способа производства арматурных канатов и проволочной арматуры, которые используются на метизных предприятиях Украины, современная технологическая схема не включает операцию патентирования металла, а в некоторых случаях и кислотное травление при подготовке поверхности проката к волочению. Для переработки бунтового проката с применением современной и прогрессивной технологической схемы необходима высококачественная металлопродукция, изготовленная на металлургических предприятиях при непрерывном охлаждении на линии Стелмор [3]. Получение сорбитной структуры при производстве проката способствует повышению прочностных показателей при сохранении достаточного уровня пластичности, что позволяет обеспечить хорошую деформируемость металла на метизном переделе и отказаться от энергоемкой и экологически вредной операции патентирования.

В настоящее время метизные предприятия занимаются модернизацией своего технологического парка оборудования и приобретают современные производственные линии, которые предназначены, в частности, для изготовления элементов высокопрочных строительных конструкций (арматурные канаты, проволочная арматура). Указанные технологические линии оснащены участком стабилизации с предварительным натяжением, что позволяет повысить уровень механических свойств и показатель релаксационной стойкости метизных изделий под нагрузкой в процессе эксплуатации. Все это предопределяет необходимость использования качественного исходного сырья – бунтового проката диаметром 8,0 ... 14,0 мм, имеющего структуру сорбита. Однако необходимо понимать, что соответствие качественных показателей горячекатаного бунтового проката по структурному признаку свойствам патентированного металла не свидетельствует об однозначной возможности применения современной технологической схемы его переработки. Анализ технической литературы показал, что на сегодняшний день отсутствуют исследования, которые позволяют комплексно осветить всевозможные факторы, влияющие на снижение технологической пластичности бунтового проката на метизном переделе. На практике также проявляются факторы, которые не связаны с качеством исходной металлопродукции, однако могут вызывать повышенную обрывность металла при больших степенях суммарного обжатия в процессе волочения.

Цель работы

Целью работы является определение комплекса факторов, влияющих на технологичность бунтового проката в процессе волочения при суммарном относительном обжатии не менее 75 %.

Материал и методики исследований

В качестве материала для проведения исследований использованы промышленные партии бунтового проката, произведенные в условиях ОАО «ММЗ» из сталей марок С72D, С78D, С80D, С82D и С86D, микролегированных бором и изготовленных в соответствии с требованиями EN 16120-2:2011. В качестве легирующих элементов в стали марок С78D, С80D и С82D вводили ванадий (0,03 ... 0,08 %), хром (0,18 ... 0,30 %) и осуществляли комплексный ввод указанных элементов ($(V+Cr) \leq 0,27$ %). Оценку загрязненности стали неметаллическими включениями выполняли по ГОСТ 1778-70 (метод Ш4), степень дисперсности перлита определяли по ГОСТ 8233-56, а наличие цементитной сетки (класс) – по стандарту NFA 04-114:1984. Металлографический анализ выполняли на световом оптическом «Olympus BX51M» и растровом электронном «VEGA TS5130MM» микроскопах.

Результаты исследований и их обсуждение

Как было отмечено выше, одна из главных проблем, с которой сталкиваются металлургические предприятия при производстве бунтового проката диаметром 8,0 ... 14,0 мм, является обеспечение требуемого структурного состояния (количества сорбитообразного перлита) и временного сопротивления разрыву, которое в зависимости от класса прочности готовой метизной продукции должно составлять не менее 1150 ... 1200 МПа. Ввиду того, что для изготовления арматурных канатов и проволочной арматуры в качестве исходного сырья используется бунтовой прокат диаметром свыше 8,0 мм, обеспечение указанных значений временного сопротивления разрыву проката в состоянии поставки является весьма проблематичным.

Достигнутые практические результаты в условиях ОАО «ММЗ» показали, что гарантированное достижение требуемого диапазона значений временного сопротивления разрыву бунтового проката возможно при выполнении следующих условий [1]:

- интенсивное ускоренное воздушное охлаждение после виткообразователя на линии Стелмор (средняя скорость охлаждения ~ 25 °С/с);

- ввод легирующих элементов в сталь (ванадий и/или хром), что повышает устойчивость охлаждаемого аустенита, а нижняя критическая скорость охлаждения при этом снижается и составляет менее 25 °C/с;

- проведение дополнительной термической обработки патентирования на метизных предприятиях.

С экономической точки зрения наименее эффективным способом является проведение патентирования, а скорость воздушного охлаждения ~ 25 °C/с при производстве проката диаметром свыше 8,0 мм на линии Стелмор для большинства металлургических предприятий постсоветского пространства является недостижимой. Следовательно, наиболее перспективным способом является дополнительное легирование стали, что позволяет снизить скорость воздушного охлаждения (на 5 ... 8 °C/с) и адаптировать технологические режимы регулируемого охлаждения бунтового проката диаметром 8,0 ... 14,0 мм к условиям действующих производственных мощностей металлургических предприятий. Несмотря на снижение фактической скорости ускоренного воздушного охлаждения, все же удается достичь требуемое структурное состояние (количество сорбитообразного перлита не менее 75 %) в зависимости от диаметра проката [2, 5, 6]. Дополнительный вклад в упрочнение проката достигается за счет следующих механизмов: дисперсионного – выделение дисперсных частиц карбонитридов ванадия (при вводе ванадия наблюдается измельчение действенного зерна аустенита и, соответственно, снижается количество сорбитообразного перлита при последующем охлаждении), твердорастворного (ввод хрома) либо путем совмещения перечисленных механизмов.

Повышение охлаждающей способности линии Стелмор ОАО «ММЗ» было достигнуто после проведения работ по ее реконструкции, которая заключалась в замене дутьевых вентиляторных систем на высоконапорные блоки струйного охлаждения (в количестве 6 штук мощностью 160 кВт с частотой вращения 1480 мин⁻¹). Впоследствии дополнительно установлены два высоконапорных блока струйного охлаждения мощностью 55 кВт с частотой вращения 750 мин⁻¹, которые были перенесены из хвостовой части в начало линии Стелмор. Технологические мероприятия, заключающиеся в дополнительной герметизация участка ускоренного воздушного охлаждения, позволили исключить подсос воздуха и заметно повысить эффективность работы дутьевых вентиляторных систем. Это привело к обеспечению средней скорости ускоренного воздушного охлаждения на линии Стелмор ~ 20 °C/с для диаметра бунтового проката 12,0 мм, что способствовало формированию требуемой микроструктуры (количество сорбитообразного перлита ≥ 75 %, требования EN 16120:2011) и, соответственно, достижению необходимого класса прочности ($\sigma_s \geq 1200$ МПа). Такие показатели качества были получены при дополнительном введении в сталь легирующих элементов (V $\sim 0,055$... 0,080 %, Cr $\sim 0,24$... 0,28 %), (V + Cr) $\sim 0,24$... 0,27 %) при скорости воздушного охлаждения ~ 16 ... 18 °C/с, что \sim в 1,4 раза меньше скоростей охлаждения, применяемых при производстве проката из высокоуглеродистых марок сталей [1, 4, 8]. Следует отметить, что наряду с достигнутым положительным практическим результатом ввод в сталь легирующих элементов имеет и негативное воздействие на параметры структуры бунтового проката, которое заключается в проявлении ликвации вышеуказанных легирующих элементов в локальных микрообъемах металла [8] и вызывает образование структур закалки (мартенсита). Металлографический анализ показал, что мартенсит преимущественно расположен в осевой зоне бунтового проката. В работах [8, 9] показано, что после горячей пластической деформации дендритное строение непрерывнолитой заготовки может вызывать структурную и осевую полосчатости (рис. 1).

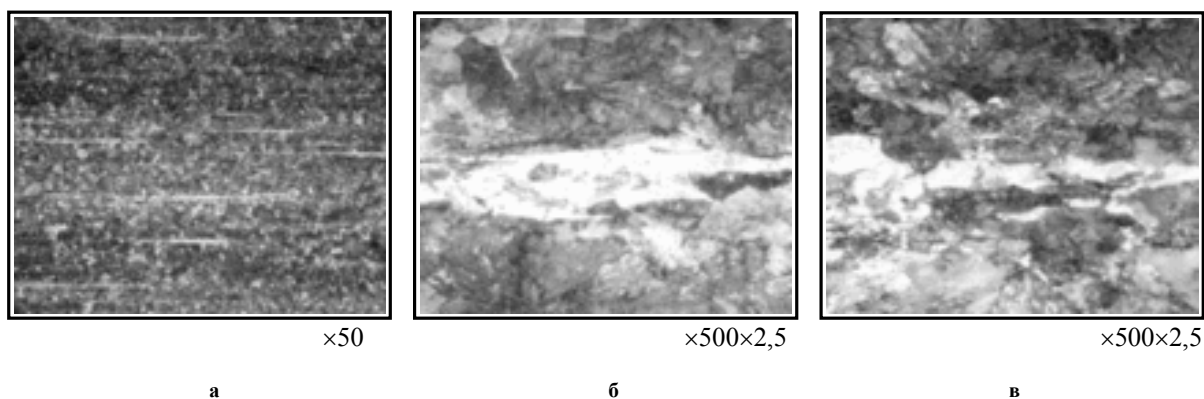


Рис. 1 – Структурная (а) и осевая (б, в) полосчатости в структуре бунтового проката из стали С82D диаметром 11,0 мм (продольный шлиф):
 а, б – содержание хрома 0,25 %;
 в – содержание ванадия 0,068 %

При непрерывном охлаждении бунтового проката на линии Стелмор в осевой зоне за счет ликвации ванадия и/или хрома и соответствующего повышения устойчивости метастабильного аустенита возникают предпосылки для образования мартенситных участков различных размеров (рис. 2). В работах [8, 9] показано, что мартенсит располагается преимущественно в тех местах, где проявляется структурная полосчатость. Деформационно-термическая обработка непрерывнолитой заготовки приводит к тому, что узор дендритного строения существенно нарушается, а в процессе горячей деформации оси дендритов вытягиваются, ориентируясь вдоль направления прокатки, что вызывает появление структурной полосчатости.

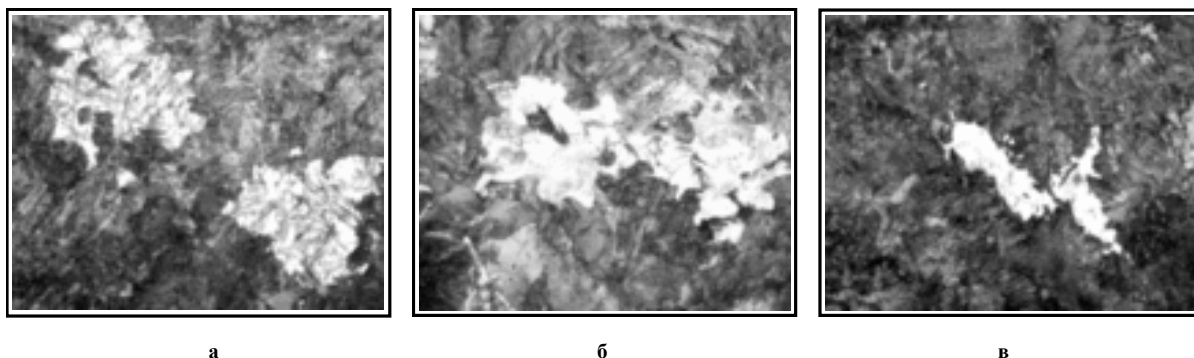


Рис. 2 – Мартенсит в осевой зоне ($\times 1000$) бунтового проката из стали S82D диаметром 12,0 мм (продольный шлиф):
 а – содержание хрома 0,25 %;
 б – содержание ванадия 0,068 %;
 в – без легирующих элементов

Установлено, что максимально допустимый размер мартенсита в осевой части проката не должен превышать следующих значений: для диаметра проката 5,5 ... 8,0 мм не более 50 мкм, а для проката диаметром 8,0 ... 14,0 мм не более 70 мкм. На рис. 3 показано формирование необратимых повреждений (микротрещин) в структуре бунтового проката, которые снижают его технологическую пластичность при волочении и вызывают повышенную обрывность при относительном суммарном обжатии более 36 %.

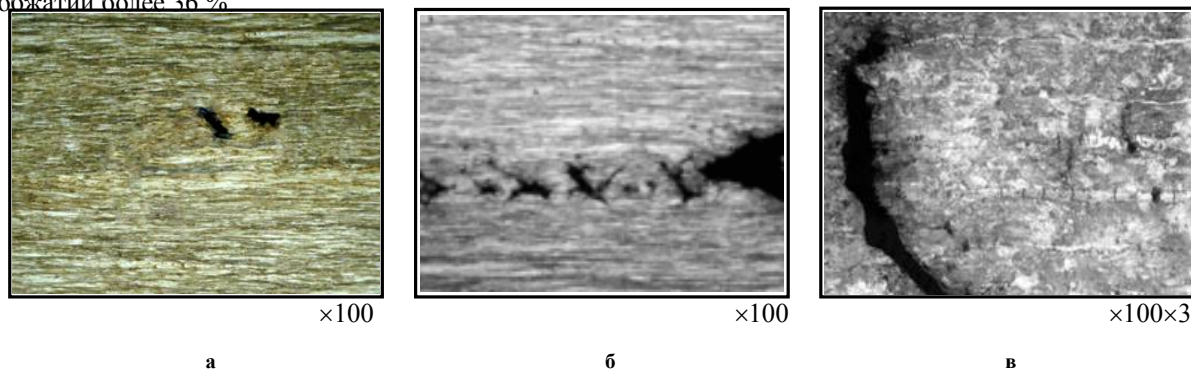
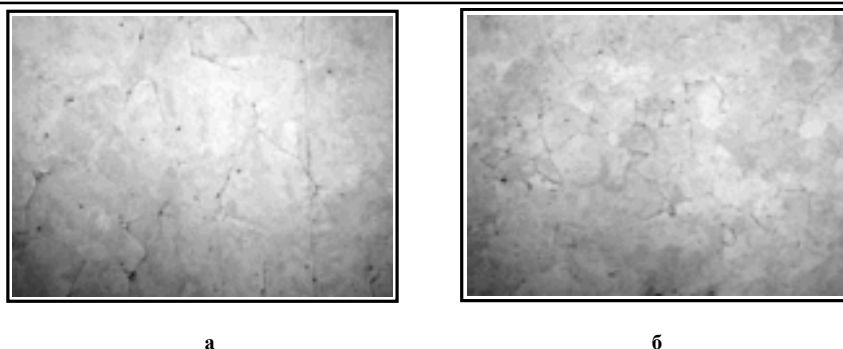


Рис. 3 – Необратимое повреждение бунтового проката, вызывающее преждевременное разрушение холоднодеформированной проволоки диаметром 7,2 мм из стали S82D ($V \sim 0,072$ %):
 а – осевая часть проката вблизи зоны ликвационной полосчатости;
 б – V-образная трещина вблизи мартенсита;
 в – развитие микротрещины вблизи участков перлита 5 балла (по ГОСТ 8233-56)

При скоростях воздушного охлаждения проката на линии Стелмор менее 8 °C/с ликвация проявляется в виде карбидной неоднородности – выделение структурно свободного цементита по границам перлитных зерен (рис. 4, а). Несмотря на это, мощность системы ускоренного воздушного охлаждения линии Стелмор ОАО «ММЗ» позволяет успешно решать эту проблему и практически полностью подавлять выделение цементитной сетки по границам зерен.

Следует отметить, что исключение цементитной сетки в структуре металла не гарантируется только применением ускоренного воздушного охлаждения, за счет ликвации структурно свободный цементит может проявляться в виде разорванной или сплошной сетки в осевой зоне проката (рис. 4, б). Такая вероятность повышается при увеличении диаметра бунтового проката, что связано с меньшей деформационной проработкой непрерывнолитой заготовки в процессе горячей пластической деформации и, соответственно, большей степенью проявления карбидной ликвации.



**Рис. 4 – Структурно свободный цементит ($\times 500$) по границам перлитных зерен в бунтовом прокате из стали S82D диаметром 11,0 мм (содержание хрома 0,27 %):
а – скорость охлаждения 7 °C/c;
б – скорость охлаждения 5,8 °C/c**

При выполнении исследований оценку цементитной сетки проводили методом сравнения с эталонными шкалами стандарта NFA 04-114:1984, согласно которому она разделяется на 5 классов: А, В, С, D, Е, где класс А соответствует полному её отсутствию в структуре металла.

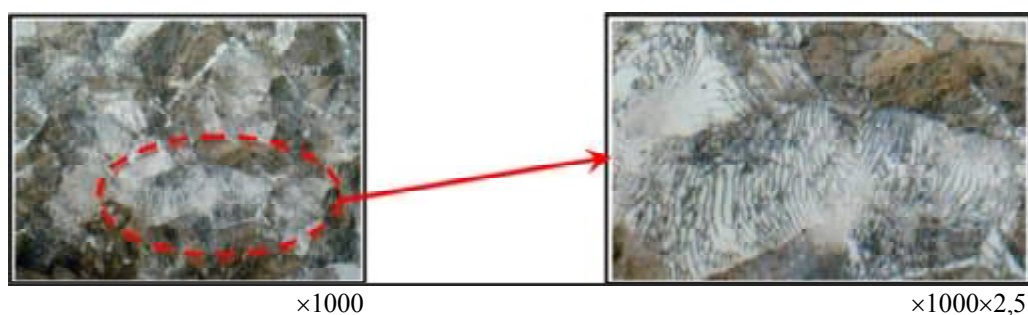
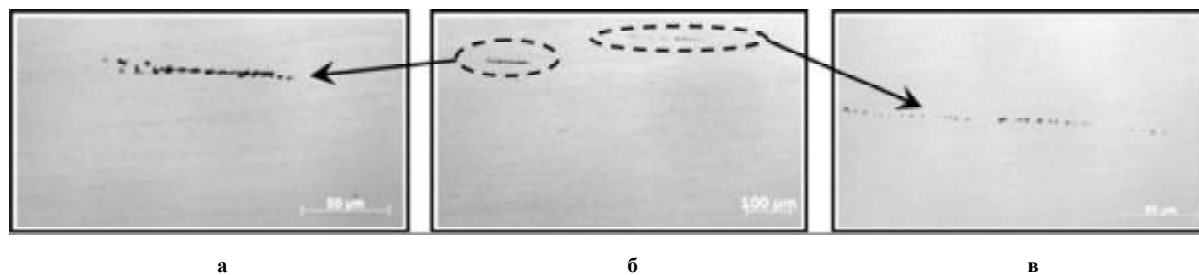
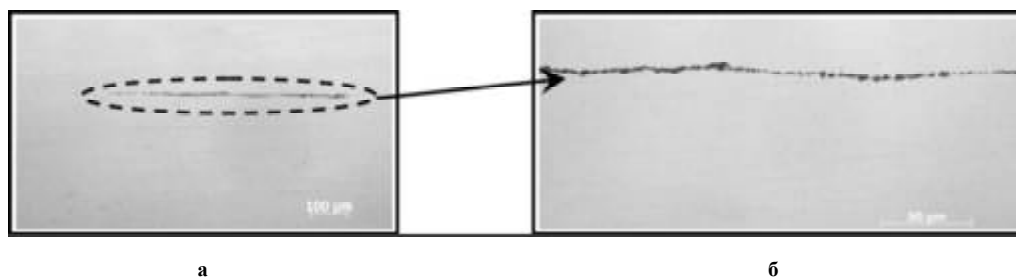


Рис. 5 – Неравномерность формирования перлитной структуры в бунтовом прокате из стали марки S72D диаметром 6,5 мм (количество сорбитообразного перлита менее 35 %)



**Рис. 6 – Допустимые неметаллические включения в бунтовом прокате из стали S78D диаметром 7,0 мм по ГОСТ 1778-70 (продольный шлиф):
а – силикаты хрупкие (1 балл);
б – общий вид неметаллических включений;
в – оксиды строчечные (2 балл)**



**Рис. 7 – Недопустимые неметаллические включения в бунтовом прокате из стали S72D диаметром 6,5 мм по ГОСТ 1778-70 (продольный шлиф):
а – общий вид неметаллического включения;
б – силикаты хрупкие (4 балл)**

Промышленное освоение и корректировка технологических режимов деформационно-термической обработки бунтового проката из высокоуглеродистых марок сталей позволили установить, что повышение обрывности металла при волочении связано в большинстве случаев с неравномерностью формирования перлитной структуры по сечению проката (рис. 5), загрязненностью стали неметаллическими включениями свыше 2 балла по ГОСТ 1778-70 (рис. 6, 7), а также с развитием карбидной ликвации классов С ... Е (рис. 8, в, г).

Установлено, что приемлемым классом цементитной сетки, который не оказывает влияние на технологичность металла при волочении являются А и В (рис. 8, а).

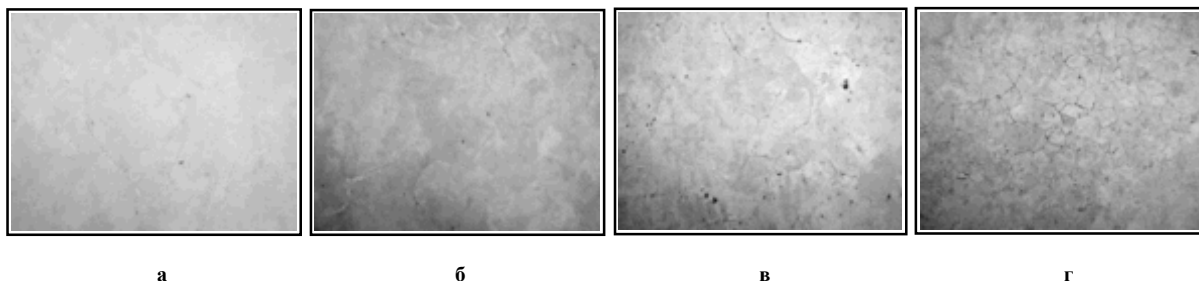


Рис. 8 – Выделение структурно-свободного цементита ($\times 500$) в структуре бунтового проката диаметром 11,0 мм из стали S82D:
 а – скорость охлаждения $14\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (класс В);
 б – скорость охлаждения $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (класс С);
 в – скорость охлаждения $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (класс D);
 г – скорость охлаждения $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (класс Е)

Подусадочная ликвация соответствующая 3 ... 4 баллам стандарта EN 16120:2011 проявляется в преждевременном разрушении металла в процессе волочения при степенях деформации более 40 %. При разрушении наблюдается образование характерного дефекта типа «конус-лунка» (рис. 9, а ... г). Участки перлита с межпластиночным расстоянием более $0,80\text{ }\mu\text{м}$ и цементитная сетка классов D, Е вызывают образование микро-, транс- и интеркристаллитных трещин (рис. 9, д ... з).

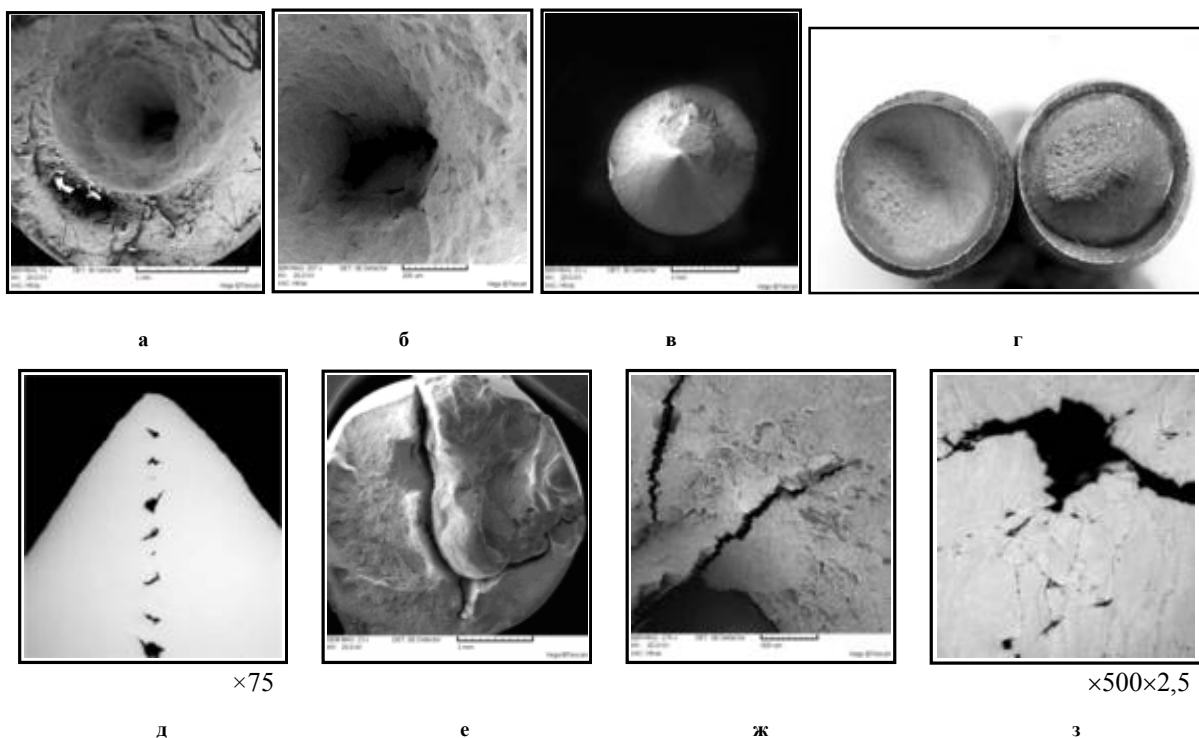


Рис. 9 – Влияние различных факторов на преждевременное разрушение бунтового проката в процессе волочения на метизном переделе:
 а ... г – дефект «конус-лунка», вызванный ликвацией;
 д – микротрещины в осевой зоне проволоки, совпадающей с осевой ликвацией;
 е – разрушение проволоки от участка перлита с межпластиночным расстоянием $0,87\text{ }\mu\text{м}$;
 ж – развитие интеркристаллитных трещин при деформации проката (степень деформации $\sim 47\%$) с цементитной сеткой класса Е;
 з – развитие транскристаллитных трещин по границам перлитных зерен (цементитная сетка класса Е)

В процессе наблюдения за технологичностью переработки бунтового проката на метизных предприятиях установлено, что дополнительными факторами, которые снижают технологическую пластичность металла при волочении, могут быть дефекты поверхности, наследуемые от дефектов поверхности заготовки, а также возможных повреждений в линии прокатного стана в процессе горячей деформации. Одним из критериев оценки качественных показателей проката является нормирование поверхностных дефектов [10 - 13]. Их влияние подробно изучено в технической литературе, в связи с этим в настоящей работе они не рассматриваются.

В процессе транспортировки металлопродукции к потребителю и во время проведения погрузочно-разгрузочных работ поверхность проката следует предостерегать от возможных механических повреждений, связанных с трением поверхности, приводящим к резкому разогреву тонкого слоя проволоки. В результате при быстром охлаждении этого слоя образуется мартенсит (рис. 10, а). Немаловажным является и соблюдение скоростного регламента процесса волочения, который для бунтового проката не должен составлять – $V_{вол} \leq 10 \dots 12$ м/с (рис. 10, б). При формировании мартенсита в процессе механического воздействия на поверхности бунтового проката появляется характерный блеск, напоминающий полированный металл (рис. 10, д).

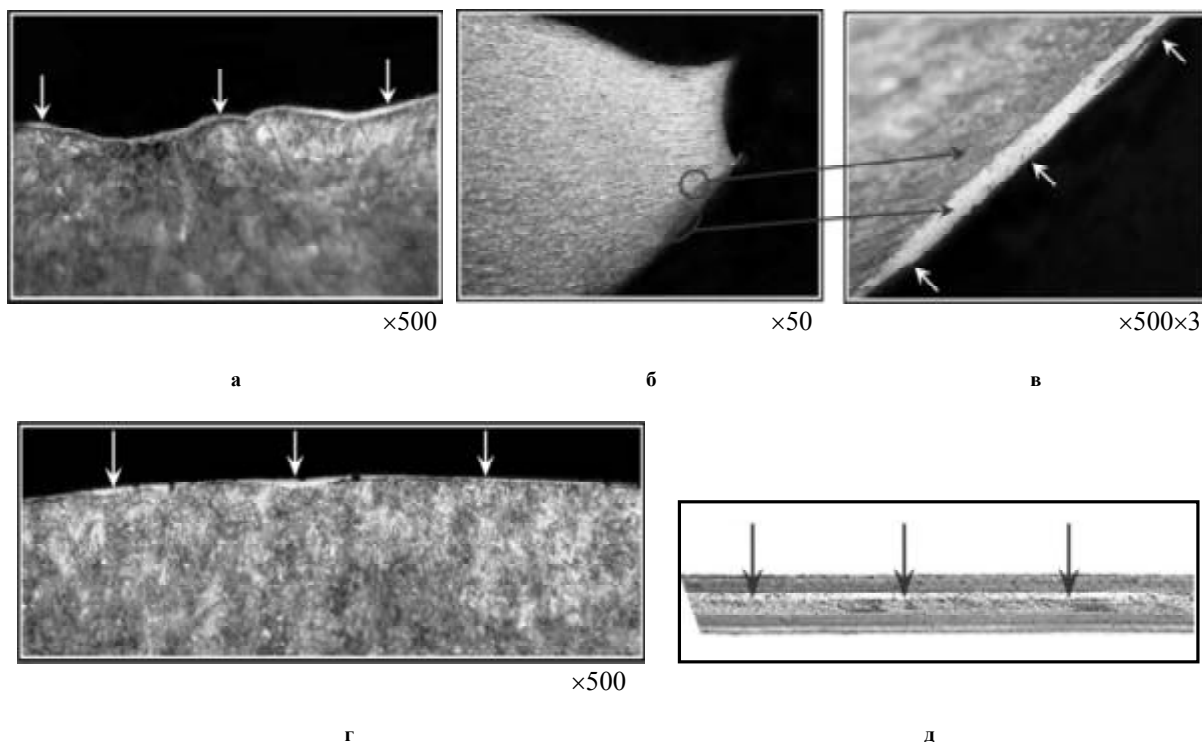


Рис. 10 – Образование структур закалки на поверхности бунтового проката и холоднодеформированной проволоки (участки с мартенситом выделены стрелками):
 а – механическое повреждение бунтового проката диаметром 7,0 мм из стали С80D;
 б, в – нарушение скоростного регламента волочения проката диаметром 6,5 мм ($V_{вол} \sim 15$ м/с) из стали С72D (зона излома, поперечный шлиф);
 г – нарушение скоростного регламента волочения проката диаметром 7,0 мм ($V_{вол} \sim 14$ м/с) из стали С78D (продольный шлиф)



Рис. 11 – Развитие необратимых повреждений проката-проволоки при наличии закаленного слоя на поверхности металла (микротрещины выделены пунктирными линиями)

При технологическом движении такого проката через систему монолитных волок волочильного состава в очаге деформации возникают локальные сколы твердого недеформирующегося закаленного слоя (мартенсита), приводящие к образованию микротрещин, развивающихся от поверхности вглубь металла (рис. 11), что в дальнейшем повышает обрывность проволоки, вызывая её преждевременное разрушение.

Выполненные исследования позволили определить рациональный химический состав стали, а также разработать на ОАО «ММЗ» технологические режимы высокотемпературной деформационно-термической обработки бунтового проката из высокоуглеродистой стали марки С86D, применив инновационные подходы при его производстве, которые не предусматривают дополнительное введение в сталь легирующих элементов (ванадий и/или хром) [6, 14]. Это позволило уменьшить проявление ликвации и обеспечить формирование эффективной сорбитной структуры и комплекса механических свойств проката с целью его переработки в проволоку по современной технологической схеме прямого волочения (без применения дополнительной термической обработки), которая предназначена для изготовления высокопрочных арматурных канатов и проволочной арматуры (гладкого и периодического профиля).

На металлургических предприятиях Украины производство бунтового проката из высокоуглеродистых марок сталей осуществляется по стандартам ДСТУ 3683-98 и ГОСТ 14959-79, однако при этом не нормируются загрязненность стали неметаллическими включениями и допустимый класс цементитной сетки. Кроме этого в соответствии с ДСТУ 3683-98 допускается достаточно большой разброс временного сопротивления разрыву более 150 МПа, а по ГОСТ 14959-79 вообще отсутствуют требования к механическим свойствам и оценке степени дисперсности перлита. Следовательно, применяемые стандарты при производстве бунтового проката из высокоуглеродистой стали в Украине сегодня являются морально устаревшими, ввиду чего целесообразно разработать новую нормативную документацию, к примеру, на базе европейского стандарта EN 16120:2011. Наряду с этим, разработка инновационных подходов к режимам деформационно-термической обработки бунтового проката и внедрение современных методик оценки его качественных показателей позволит добиться желаемого результата – получить высококачественное исходное сырьё для метизной промышленности.

Выводы

1. При проведении исследований выполнен комплексный анализ различных факторов (структурных и технологических), которые снижают технологическую пластичность при волочении бунтового проката из высокоуглеродистых марок сталей.

2. Для гарантированного безобрывного волочения сталей перлитного класса со степенями деформации не менее 75 %, бунтовой прокат диаметром 8,0 ... 14,0 мм должен обладать определенным комплексом качественных показателей: равномерно сформированной сорбитной структурой, минимальной загрязненностью стали неметаллическими включениями (не более 2 балла по ГОСТ 1778-70) и полным отсутствием (класс А) либо наличием цементитной сетки не более класса В (стандарт NFA 04-114:1984).

3. Ввиду отсутствия в используемых в Украине стандартах (ДСТУ 3683-98, ГОСТ 14959-79) требований к оценке цементитной сетки и неметаллических включений в структуре бунтового проката, целесообразно разработать новую нормативную документацию на производство качественного бунтового проката из высокоуглеродистых марок сталей.

4. Повышение прочностных показателей металла достигается при дополнительном вводе в сталь легирующих элементов (ванадий и/или хром), однако при этом в осевой зоне бунтового проката формируются участки мартенсита различной протяженности. Исследования показали, что мартенсит, неметаллические включения и участки перлита свыше 5 балла (по ГОСТ 8233-56) являются дополнительными концентраторами напряжений и вызывают преждевременное разрушение металла при волочении.

5. Показано негативное воздействие дополнительных факторов, в частности, механических повреждений металла и превышение скоростного регламента волочения на формирование недопустимых структур (мартенсита) на поверхности бунтового проката, снижающих технологическую пластичность металла.

6. Проведенные исследования позволили разработать в условиях ОАО «ММЗ» новые инновационные режимы деформационно-термической обработки бунтового проката из высокоуглеродистой стали. Это позволило наряду с рационально выбранным химическим составом стали снизить ликвационные проявления, обеспечить высокую технологическую пластичность металла при волочении и достичь требуемого класса прочности готовых изделий без применения дополнительного ввода в сталь легирующих элементов.

Литература

1. Парусов В. В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки // В. В. Парусов, А. Б. Сычков, Э. В. Парусов. – Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2012. – 376 с.
2. Разработка режима термомеханической обработки катанки из стали 85, микролегированной бором, на основе закономерностей превращений аустенита при непрерывном охлаждении / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – № 3. – С. 54-58.
3. Современные требования к качественным показателям катанки различного назначения / Э. В. Парусов, И. Н. Чуйко, Л. В. Сагура [и др.] // XIX Международная научно-практическая конференция «Металлургия: технологии, инновации, качество», 15-16 декабря 2015 г. Российская Федерация, Новокузнецк // *Материалы конференции*. – 2015 г. – С. 90-96.
4. Высокоуглеродистая катанка из стали, микролегированной ванадием / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, Э. В. Парусов [и др.] // *Металлург*. – 2004. – № 12. – С. 63-67.
5. Разработка режима двустадийного охлаждения катанки из стали С80D2, микролегированной бором и ванадием / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 3. – С. 53-56.
6. Разработка технологии производства высокоуглеродистой катанки для ее энерго- и ресурсосберегающей переработки на метизном переделе / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, А. Б. Сычков [и др.] // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. тр.* – Днепропетровск. – 2010. – Вып. 53. – С. 146-152.
7. Перспективы использования экологически чистого способа подготовки поверхности бунтового проката к волочению / Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, С. И. Губенко, И. Н. Чуйко // *Проблемы трибологии (Problems of tribology)*. Хмельницкий. ХНУ, 2016. – № 2. – С. 74-82.
8. Вплив хімічного складу і дендритної структури безперервнолитих заготовок на прояв ліквіаційних явищ у бунтовому прокаті / Е. В. Парусов, О. Б. Сычков, С. І. Губенко [та ін.] // *Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць*. – Маріуполь. – Вип. 32. – 2016. – С.61-71.
9. Effect of dendritic segregation in the continuous-cast semifinished product on the formation of the structure of high-carbon-steel wire rod / A. B. Sychkov, M. A. Zhigarev, S. Yu. Zhukova [and etc.]. – *Metallurgist*. – 2008. – Vol. 52. – № (5-6). – P. 275-282.
10. Дефекты стали. Справочное изд. / Под ред. С. М. Новокщеновой, М. И. Виноград. – М. : *Металлургия*, 1984. – 199 с.
11. Дефекты стальных слитков и проката. Справочник / В. В. Правосудович, В. П. Сокурченко, В. Н. Данченко, С. В. Кондратьев. – М. : *Интермет Инжиниринг*, 2006. – 384 с.
12. Трансформация дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхностные дефекты проката / А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. В. Перчаткин [и др.] // *Металлург*. – 2006. – № 2. – С. 60-63.
13. Дефекты стальных заготовок и металлопродукции Белорусского металлургического завода. Справочник-атлас / Рук-ль проекта и составитель В. В. Грицаенко, под общ. ред. А. Н. Савенка. – Жлобин : *ОАО БМЗ*, 2013. – 326 с.
14. Технология квазипатентирования бунтового проката больших диаметров в потоке линии Стелмор / Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, И. Н. Чуйко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. – № 3. – С.96-101.

Поступила в редакцію 07.10.2016

Parusov E. V., Sychkov A. B., Gubenko S. I., Sahura L.V. **On improving technological plasticity at drawing rolled steel products of high-carbon steel without heat treatment.**

The comprehensive analysis of various factors (structural and process), reducing the technological plasticity rolled steels of high-carbon steel at drawing is completed. To ensure hitless drawing pearlite class steels with a deformation degree of not less than 75%, rolled steels diameter of 8.0...14.0 mm must have a certain set of quality indicators: uniformly formed sorbitol structure on the cross section of the metal, minimum pollution has become non-metallic inclusions, absence or the presence of cementite grid no more class B (NFA 04-114:1984).

Studies have shown that martensite, non-metallic inclusions and areas of perlite more than 5 points (GOST 8233-56) are additional stress concentrators and cause premature failure of metal at drawing.

Negative effects of additional factors, such as mechanical damage and exceeding metal drawing speed regulation on the formation of unacceptable structures (martensite) at rolled steels-wire surface it is established.

The research allowed to develop innovative new modes of deformation and heat treatment rolled steel high carbon steel. This allowed along with rationally selected chemical composition of steel to reduce liquation manifestations, provide high technological plasticity of the metal during drawing and to achieve the required strength class finished products without any additional input in the steel alloying elements.

Keywords: rolled steel, chemical composition, microstructure, process flexibility, non-metallic inclusions, perlite, martensite.

References

1. Parusov V. V., Sychkov A. B., Parusov E. V. Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovyi proizvodstva vyisokoeffektivnykh vidov katanki, Dnepropetrovsk. : Art-press, 2012, 376 p.
2. Parusov E. V., Parusov V. V., Sagura L. V. Razrabotka rezhima termomekhanicheskoy obrabotki katanki iz stali 85, mikrolegirovannoy borom, na osnove zakonornostey prevrascheniy austenita pri nepreryivnom ohlazhdenii, Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost, 2015, No 3, pp. 54–58.
3. Parusov E. V., Chuyko I. N., Sagura L. V. Sovremennyye trebovaniya k kachestvennyim pokazatelyam katanki razlichnogo naznacheniya, HIIH Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Metallurgiya: tehnologii, innovatsii, kachestvo», 15-16 dekabrya 2015, Rossiyskaya Federatsiya, Novokuznetsk, Materialy konferentsii, 2015, pp. 90-96.
4. Parusov V. V., Sychkov A. B., Parusov E. V. Vyisokouglerodistaya katanka iz stali, mikrolegirovannoy vanadium, Metallurg, 2004, No 12, pp. 63–67.
5. Parusov E. V., Parusov V. V., Sagura L. V. Razrabotka rezhima dvustadiynogo ohlazhdeniya katanki iz stali S80D2, mikrolegirovannoy borom i vanadium, Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost, 2011, No 3, pp. 53-56.
6. Parusov E. V., Parusov V. V., Sychkov A. B. Razrabotka tehnologii proizvodstva vyisokouglerodistoy katanki dlya ee energo- i resursoberegayushey pererabotki na metiznom peredele, Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: Sb. nauchn. tr., Dnepropetrovsk, 2010, V. 53, pp.146-152.
7. Parusov E. V., Sychkov A. B., Gubenko S. I., Chuyko I. N. Perspektivy ispolzovaniya ekologicheskogo chistogo sposoba podgotovki poverhnosti buntovogo prokata k volocheniyu, Problemy trybologii (Problems of tribology). Khmel'nyts'kyi, KhNU, 2016, No 2, pp. 74-82.
8. Parusov E. V., Sychkov O. B., Gubenko S. I. Vpliv himichnogo skladu i dendritnoyi strukturi bezperervnolitykh zagotovok na proyav likvatsiy nih yavisch u buntovomu prokati, Visnik Priazovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu: zb. nauk. Prats, Mariupol, V. 32, 2016, pp.61-71.
9. Sychkov A. B., Zhigarev M. A., Zhukova S. Yu. Effect of dendritic segregation in the continuous-cast semifinished product on the formation of the structure of high-carbon-steel wire rod, Metallurgist, 2008, V. 52, No (5-6), pp. 275-282.
10. Defekty stali. Spravochnoe izd., Pod red. S. M. Novokshenovoy, M. I. Vinograd. M. : Metallurgiya, 1984, 199 p.
11. Pravosudovich V. V., Sokurenko V. P., Danchenko V. N., Kondratev S. V. Defekty stalnykh slitkov i prokata. Spravochnik, M. : Intermet Inzhiniring, 2006, 384 p.
12. Sychkov A. B., Zhigarev M. A., Perchatkin A. V. Transformatsiya defektov nepreryivnolitykh zagotovki v poverhnostnyie defekty prokata, Metallurg, 2006, No 2, pp. 60–63.
13. Defekty stalnykh zagotovok i metalloproduktii Belorusskogo metallurgicheskogo zavoda. Spravochnik-atlas. Ruk-l proekta i sostavitel V. V. Gritsaenko, pod obsch. red. A. N. Savenka, Zhlobin : OAO BMZ, 2013, 326 p.
14. Parusov E. V., Sychkov A. B., Chuyko I. N. Tehnologiya kvazipatentirovaniya buntovogo prokata bolshih diametrov v potoke linii Stelmor, Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost, 2016, No 3, pp.96-101.