



УДК 621.771.252:620.18

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ КАТАНКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО РИФЛЕННОЙ ПРОВОЛОКИ

*А. А. КУЧКОВ, С. А. САВЧЕНКО, Е. С. СЕРЕГИНА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: tehe.tpc@bmz.gomel.by, тел.: +(375-2334)5-67-57*

*И. В. АСТАПЕНКО, ГГТУ им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: astapenko@tut.by*

*Проведено исследование микроструктуры проволоки-заготовки диаметром 6,0 мм из стали 45 в местах излома при рифлении и образцов нерифленной проволоки для производства сеток. Определены возможные причины, приводящие к излому проволоки в процессе производства сеток. Выполнен анализ влияния исходной микроструктуры катанки на качество переработки проволоки при производстве рифленной сетки. Определено влияние начальной температуры охлаждения катанки диаметром 6,5 мм на формирование феррито-перлитной микроструктуры с соотношением перлит / феррит 95:5. Усовершенствован режим двухстадийного охлаждения катанки из стали 45 в условиях стана 370/150 для производства проволоки, обеспечивающий равномерную феррито-перлитную микроструктуру с соотношением перлит / феррит 95:5 по всей длине бухты. Проведены испытания на соответствие требованиям потребителя и сравнительный анализ механических свойств проволоки, изготовленной из катанки, прокатанной по базовому и усовершенствованному технологическому процессу. Проведены производственные испытания рифленной проволоки-заготовки, изготовленной из катанки, прокатанной по опытно-экспериментальному технологическому режиму прокатки. Качество переработки и уровень технологичности соответствовали всем заявленным требованиям.*

*Ключевые слова.* Предварительно рифленая проволока, сита для грохочения, феррито-перлитная микроструктура, рольганг воздушного охлаждения катанки, скорость охлаждения.

## IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ROLLING RIBBED WIRE FOR THE PRODUCTION OF PRE-RIBBED WIRE

*A. A. KUCHKOV, S. A. SAVCHENKO, E. S. SEREGINA, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: tehe.tpc@bmz.gomel.by, phone: +375-2334-56757*

*I. V. ASTAPENKO, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya Ave. E-mail: astapenko@tut.by*

*A study of the microstructure of 6.0 mm diameter wire blanks made of 45 steel at the breakage points during ribbing and samples of non-ribbed wire for mesh production has been conducted. Possible causes leading to wire breakage during mesh production have been identified. An analysis of the influence of the initial microstructure of the billet on the quality of wire processing during ribbed mesh production has been performed. The influence of the initial cooling temperature of the 6.5 mm diameter billet on the formation of a ferrite-perlite microstructure with a perlite/ferrite ratio of 95:5 has been determined. The two-stage cooling regime of the 45 steel billet in the conditions of the 370/150 mill has been improved to produce wire with a uniform ferrite-perlite microstructure with a perlite/ferrite ratio of 95:5 throughout the length of the coil. Tests have been carried out to ensure compliance with consumer requirements and a comparative analysis of the mechanical properties of wire manufactured from billets rolled using the base and improved technological processes. Production tests have been conducted on ribbed wire blanks made from billets rolled using the experimental technological rolling regime. The quality of processing and the level of technological efficiency met all specified requirements.*

*Keywords.* Pre-ribbed wire, sieves for screening, ferrite-perlite microstructure, air cooling roller, cooling rate.

Основной частью аппаратов для грохочения является рабочая поверхность, изготавливаемая в виде проволочных сеток, стальных перфорированных листов или параллельных стержней. Сетки с квадратными ячейками из предварительно рифленной проволоки (рис. 1) предназначены для просеивания каменных углей, горючих сланцев, кокса, руд черных и цветных металлов, агломерата, окатышей, нерудных строительных и других кусковых и сыпучих материалов, а также для фильтрации.

Сетки изготавливаются из термически необработанной проволоки по ОСТ 14-4-210-87: углеродистой стали марок 45, 50, 55; низкоуглеродистой стали диаметром 8,0; 10,0 мм; высоколегированной стали марок 12X18H9T, 12X18H10T диаметром 0,9–6,0 мм, проволоки термически необработанной высоколегированной из стали марок 20X13, 30X13 по ГОСТ 18143 диаметром 0,9–6,0 мм и проволоки из высокомарганцевистой стали марки Г12 диаметром 3–8 мм по ГОСТ 3306-88 [1].

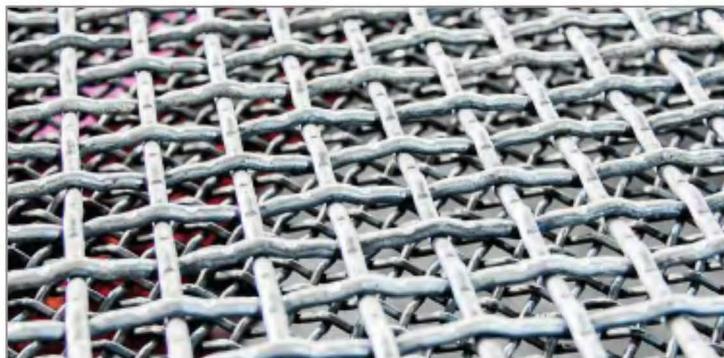


Рис. 1. Сетка с квадратными ячейками из предварительно рифленой проволоки

Основным способом производства сеток является сплетение прутков, перпендикулярно друг другу. Проволока перед сплетением подвергается рифлению с малыми радиусами изгиба, порезке на мерную длину исходя из размера карты. После чего станок протягивает прутки, скрепляя их между собой в определенной последовательности с последующей посадкой в замки. Замком служит изгиб проволоки, полученный в процессе рифления. В качестве замка применяют изгиб проволоки, полученный в процессе рифления.

При работе в составе грохотов в проволочной сетке, помимо статических напряжений от массы конструкции и просеиваемого материала, возникают циклические напряжения от рабочих и внешних вибрационных и динамических воздействий. Последние накладываются на напряжения изгиба, возникающие при рифлении и сборке сетки, и остаточные напряжения в проволоке после волочения. Возникающие напряжения приводят к разрушению сит в процессе эксплуатации. Одной из причин уязвимости сеток к разрушению является рифление с малыми радиусами изгиба, приводящее к высоким напряжениям сжатия и растяжения в местах максимальных перегибов.

В процессе освоения производства в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее – предприятие) проволоки-заготовки для изготовления сит грохотов был разработан технологический процесс горячей прокатки катанки диаметром 6,5 мм для последующего изготовления проволоки диаметром 6,0 мм. Деформационный режим прокатки соответствовал стандартной калибровке для круглого профиля 6,5 мм [2]. Режим двухстадийного охлаждения также соответствовал стандартному для стали 45 [3]. Начальная температура на линии воздушного охлаждения составила 850 °С, количество задействованных вентиляторов с мощностью включения 40% – 8 шт., скорость перемещения катанки по рольгангу – 1 м/с. В процессе изготовления проволоки диаметром 6,0 мм нарушений по технологии выявлено не было. Механические характеристики проволоки соответствовали требованиям, предъявляемым потребителем (табл. 1).

Таблица 1. Механические характеристики проволоки диаметром 6,0 мм, изготовленной из катанки 6,5 мм, прокатанной по базовому технологическому процессу

Значение	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	Число перегибов	Число скручиваний
Максимальное	868	12	37
Минимальное	835	10	29
Требования потребителя	750–1100	Не менее 10	Не менее 10

Однако при контрольных испытаниях готового изделия потребителем из опытной партии проволоки-заготовки происходил хрупкий излом проволоки. Для установления возможной причины разрушения был исследован фрагмент сетки с изломами проволоки (рис. 2).

Также в рамках совершенствования технологических режимов двухстадийного охлаждения была изучена микроструктура образца проволоки диаметром 6,0 мм альтернативного поставщика, которая перерабатывалась удовлетворительно.



Рис. 2. Внешний вид фрагментов сетки и проволоки с изломами

Исследование внешнего вида образцов проволоки с изломами проводили с помощью стереоскопического микроскопа Wild M5. Исследование микроструктуры образцов проволоки с изломами и проволоки, предоставленной для сравнения на наличие видманштеттовой структуры, соотношения перлит / феррит по шкале 7 ГОСТ 8233 проводили на поперечных сечениях с помощью металлографического микроскопа Lertz Metallovert.

Исследование внешнего вида предоставленных образцов проволоки с изломами с помощью стереоскопического микроскопа показало, что разрушение происходит с поверхности в зоне действия максимальных знакопеременных растягивающих и сжимающих напряжений (рис. 3). На поверхности образцов проволоки с изломами поверхностные дефекты и другие отклонения металлургического, прокатного и метизного переделов не выявлены. По внешнему виду излома проволоки причина хрупкого излома проволоки не установлена.



Рис. 3. Внешний вид проволоки в зоне излома.  $\times 4$

Далее были проведены исследования микроструктуры образцов проволоки с изломом и проволоки, переработанной удовлетворительно. Установлено, что образцы имеют однородную феррито-перлитную микроструктуру, видманштеттова структура отсутствует. Отличие микроструктуры образцов проволоки с изломами и без них заключалось в различном соотношении перлит / феррит: на образцах с изломами – 75:25 (рис. 4), на образцах проволоки альтернативного поставщика, переработанной удовлетворительно, – 95:5 (рис. 4). Кроме того, выявлено, что микроструктура образца проволоки для сравнения более крупнозернистая.

По результатам исследования сделан вывод, что возможными причинами изломов проволоки при изготовлении сетки являются неоптимальное соотношение перлит / феррит в микроструктуре катанки, большое содержание свободного феррита.

Учитывая результаты исследования, а также на основе анализа литературных источников [4–6] и опыта производства катанки на предприятии [7, 8], был усовершенствован режим двухстадийного охлаждения и проведена опытно-экспериментальная прокатка катанки диаметром 6,5 мм из стали 45 в условиях стана 370/150 для последующего волочения. Начальная температура катанки на линии воздушного охлаждения была увеличена на 122 °С и составила 972 °С, количество задействованных вентиляторов с мощностью включения 40 % – 8 шт., скорость перемещения по рольгангу – 1 м/с.

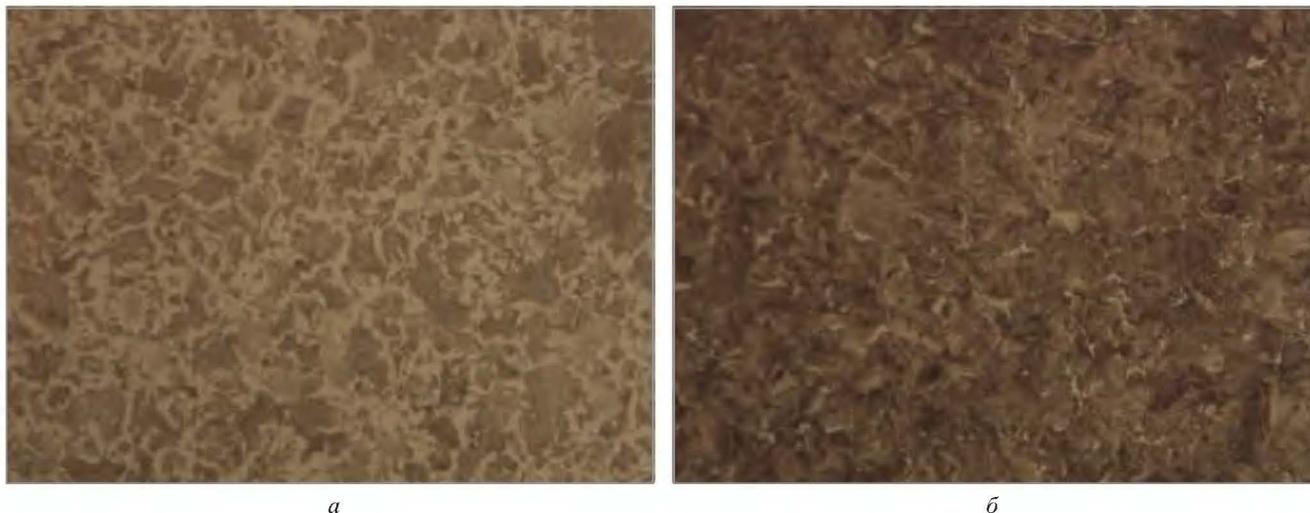


Рис. 4. Характерная микроструктура образцов проволоки с изломами при переработке (а) и проволоки, переработанной удовлетворительно (б), травление в реактиве Нитал.  $\times 330$

Были прокатаны две бухты и отобраны образцы катанки для металлографических исследований от начала и конца бухты. По результатам исследования микроструктуры соотношение перлит/феррит составило 95:5 (рис. 5).

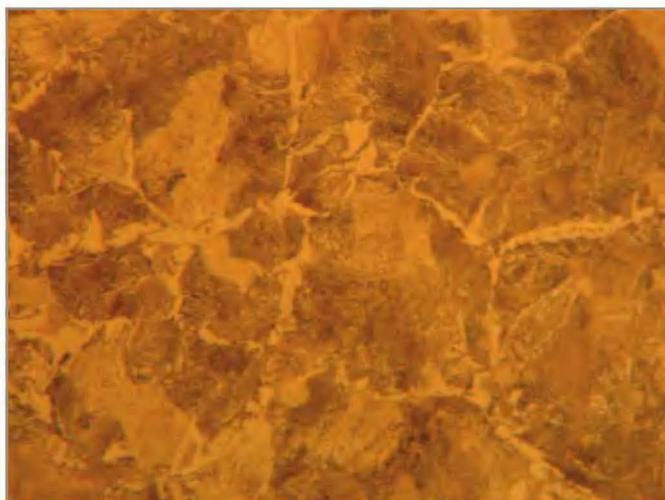


Рис. 5. Микроструктура образца катанки, прокатанной по опытно-экспериментальному режиму.  $\times 330$

После переработки катанки проведены механические испытания проволоки диаметром 6,0 мм на соответствие требованиям потребителя (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Механические характеристики проволоки диаметром 6,0 мм

Значение	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	Число перегибов	Число скручиваний
Максимальное	860	12	40
Минимальное	833	10	27
Требования потребителя	750–1100	Не менее 10	Не менее 10

Как видно из табл. 1, 2, значения временного сопротивления, число перегибов и скручиваний проволоки, изготовленной из катанки, прокатанной по базовому и опытно-экспериментальному технологическому процессу, находятся на одном уровне.

Опытная партия проволоки-заготовки диаметром 6,0 мм была отправлена на производство сеток для грохотов. Переработка и испытания готовой сетки у потребителя прошли удовлетворительно. Предложенное усовершенствование технологии проката катанки диаметром 6,5 мм из стали 45 повысило технологичность изготовления сеток у потребителя.

### Выводы

1. Результаты проведенных исследований показали, что проволока-заготовка диаметром 6,0 мм, вольчатая из катанки диаметром 6,5 мм марки стали 45 с минимальным содержанием свободного феррита (5%) в микроструктуре, имеет более высокую стойкость к локальным знакопеременным растягивающим / сжимающим напряжениям.

2. Для проволоки-заготовки, подвергаемой рифлению с малыми радиусами изгиба, критичными являются не только механические характеристики, но и микроструктура исходной катанки.

3. Получение микроструктуры катанки с соотношением перлит / феррит 95:5, обеспечившей технологичность изготовления сетки для грохотов без изломов, было достигнуто повышением температуры катанки в зоне виткообразователя на 122 °С до 972 °С со средней интенсивностью охлаждения (40–50% мощности вентиляторов) на первой половине рольганга воздушного охлаждения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 3306-88 Сетки с квадратными ячейками из стальной рифленой проволоки. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003. 12 с.
2. Анализ влияния деформационных параметров прокатки на качество прутка из шарикоподшипниковой стали в условиях стана 370/150 ОАО «БМЗ» / С. А. Савченко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Гомель, 25–26 апреля 2019 г. 2019. С. 116–119.
3. Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 / В. С. Путьев, С. А. Савченко, И. А. Панковец [и др.] // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 65–73.
4. **Гриднев В. Н., Гаврилюк В. Г., Мешков Ю. Я.** Прочность и пластичность холоднодеформированной стали. Киев: Наукова думка, 1974. 231 с.
5. Перлит в углеродистых сталях / В. М. Счастливцев, Д. А. Мирзаев, И. Л. Яковлева и др. Екатеринбург: УрО РАН. 2006. 312 с.
6. Совершенствование технологии производства высококачественной катанки / А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, С. Ю. Жукова [и др.] // Литье и металлургия. 2011. № 4(63). С. 85–92.
7. Влияние исходной структуры бунтового проката из подшипниковой марки стали на равномерность получения структуры после сфероидизирующего отжига / С. А. Савченко, И. А. Ковалева, И. А. Гузова [и др.] // Черная металлургия. Бюл. науч.-техн. и эконом. информ. 2023. Т. 79. № 3. С. 251–260.
8. Исследование факторов, способствующих снижению карбидной неоднородности в подшипниковых марках стали / И. А. Панковец, С. А. Савченко, В. И. Возная [и др.] // Черная металлургия. Бюл. науч.-техн. и эконом. информ. 2021. Т. 77. № 7. С. 804–810.