

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.77.014

Полякова М. А., Ефимова Ю. Ю., Гулин А. Е., Пивоварова К. Г.

РЕГУЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПОВОЛОКИ ПЕРЛИТНОГО КЛАССА С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ

Аннотация. В статье представлен метод непрерывной комбинированной деформационной обработки проволоки. Приведена схема лабораторной установки для осуществления данного метода. Уникальность разработанной конструкции является объединение в одной линии двух волок и четырехроlikового устройства, что позволяет комбинировать различные виды пластической деформации волочением с изгибом и кручением. В качестве объекта исследования была выбрана высокоуглеродистая проволока из стали марки 70. Проведены эксперименты по исследованию особенностей формирования микроструктуры проволоки с применением метода комбинированной деформационной обработки. Для определения особенностей микроструктуры высокоуглеродистой проволоки после различных видов комбинированной деформационной обработки использован метод растровой электронной микроскопии. Механические свойства проволоки после различных видов деформационной обработки определяли в ходе испытаний на растяжение. Показано, что изменение микроструктуры высокоуглеродистой проволоки приводит к изменению ее прочностных свойств. Комбинирование деформации волочением с кручением и изгибом обеспечивает сочетание в высокоуглеродистой проволоке одного диаметра высокой прочности и пластичности, что характерно для металлов с ультрамелкозернистой структурой. Полученные результаты исследований позволяют судить о перспективности выбранного направления по совмещению различных методов деформационной обработки для получения высокоуглеродистой проволоки перлитного класса с требуемым уровнем механических свойств.

Ключевые слова: высокоуглеродистая проволока, комбинированная деформационная обработка, перлит, микроструктура, механические свойства

Введение

Углеродистые стали со структурой перлита находят широкое применение в различных отраслях промышленности - машиностроении, строительстве, на железнодорожном транспорте, при производстве труб, в автомобилестроении. В настоящее время повышение эксплуатационных свойств изделий является одной из важнейших задач. Важно отметить, что возможности повышения физико-механических свойств сталей с перлитной структурой не реализованы в полной мере. Традиционные технологические способы упрочнения имеют известные ограничения.

Мировая тенденция к повышению комплекса требований к качеству, надежности и долговечности изделий предопределяют необходимость промышленного производства материалов нового поколения, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками. Стратегически важным направлением развития Российской Федерации является создание новых и совершенствование существующих материалов и технологий. В металлургии наиболее

перспективными представляются следующие основные инновационные процессы обработки материалов:

- специальные (в том числе комбинированные) процессы интенсивной пластической деформации объемных заготовок из металлов и сплавов в сочетании с термической обработкой (при необходимости);

- высокоэнергетические воздействия различной физической природы (взрыв, вибрация, импульсный ток, высокочастотные колебания, ультразвук, электрический разряд, электростатическое поле, воздействие дискретной средой и т.д.), применяемые как отдельно, так и в комбинации с традиционными или инновационными схемами обработки объемных заготовок из металлов и сплавов;

- модифицирование и легирование расплава с целенаправленным формированием требуемой структуры на стадии кристаллизации.

Создание сложных высоколегированных сталей в конечном итоге приводит к существенному удорожанию продукции, которое не всегда оправданно. Поэтому в последнее время все большее внимание направлено на получение и исследование наноструктурных состояний в недорогих сплавах, которые позволяют значительно расширить класс

конструкционных материалов благодаря созданию повышенных прочностных свойств в них. Данные материалы обладают уникальными механическими свойствами: прочностные характеристики возрастают в 1,5-2 раза относительно их крупнокристаллических аналогов [1, 2].

В разработках последних лет доказано, что основной тенденцией развития технологий в металлургической и метизной отраслях является внедрение комбинированных и совмещенных процессов. Преимущества таких технологий заключаются не столько в сокращении количества технологических операций, сколько, в возможности получения продукции с новым комплексом свойств [3, 4]. Для разработки комбинированных и совмещенных процессов производства проволоки в качестве базовой операции традиционно выбирается операция волочения, что обеспечивает непрерывность процесса и получение длинномерного готового продукта [5]. Достоинством использования комбинированных и совмещенных процессов при производстве проволоки является возможность формирования в ней ультрамелкозернистой структуры [6, 7]. Это также свидетельствует о перспективности разработки и внедрении в производство комбинированных и совмещенных процессов производства проволоки.

Механическое поведение металлических материалов находится в тесной взаимосвязи с их структурным состоянием [8 - 10]. Структуры, сформированные методами ИПД, оказывают значительное, а иногда и коренное влияние

на деформационное поведение и механические свойства металлов и сплавов, что позволяет считать их весьма перспективным методом управления структурой и свойствами.

Целью данной работы является исследование взаимосвязи механических свойств с особенностями перлитной структуры высокоуглеродистой проволоки после различных видов деформационной обработки.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования была выбрана высокоуглеродистая проволока из стали марки 70. Химический состав проволоки в исходном состоянии представлен в табл. 1.

Проведена серия экспериментов с использованием лабораторной установки (см. рис. 1), позволяющей реализовать на проволоке различное сочетание видов деформационной обработки: растяжение и сжатия волочением при прохождении проволокой через волоки, знакопеременный изгиб и кручение при прохождении проволоки через четырехроlikовое устройство [11 - 13]. Устройство монтируется на волочильный стан однократного волочения. Проволока заправляется через волоки и четырехроlikовое устройство, натяжение проволоки обеспечивается намоточным барабаном волочильного стана. Четырехроlikовое устройство имеет независимый привод, что позволяет в широких пределах изменять скорость кручения.

Таблица 1

Химический состав (%) высокоуглеродистой стали марки 70

Марка стали	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
70	0,71	0,25	0,59	0,15	0,022	до 0,018	0,14	0,12

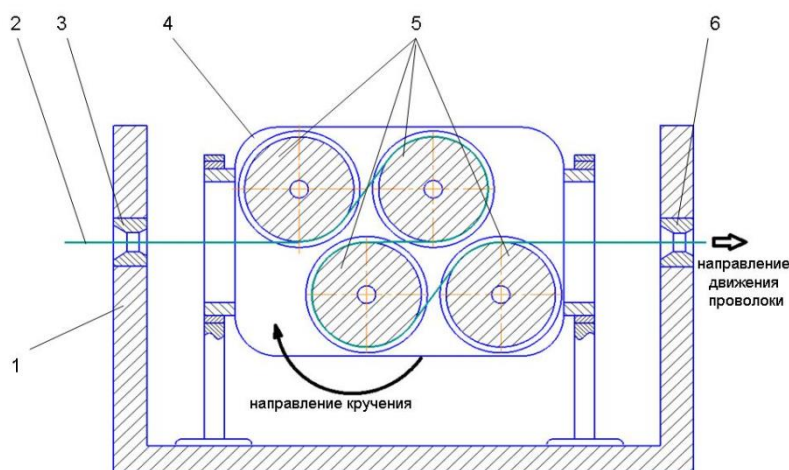


Рис. 1 Принципиальная схема комбинированной пластической деформации проволоки волочением с кручением и изгибом: 1 – корпус; 2 – проволока; 3 – первая волока; 4 – четырехроlikовый блок; 5 – ролики; 6 – вторая волока

Таблица 2

Режимы экспериментальной деформационной обработки высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70

Образец	Деформация кручением	Диаметр d, мм	Величины обжатий в волокнах, %
Исходное состояние	0	3,05	$\varepsilon_1 = 0$; $\varepsilon_2 = 0$
1	30 об/мин	2,9	$\varepsilon_1 = 0$; $\varepsilon_2 = 12,7$
2	75 об/мин	2,9	$\varepsilon_1 = 0$; $\varepsilon_2 = 12,7$
3	30 об/мин	2,75	$\varepsilon_1 = 0$; $\varepsilon_2 = 18,7$
4	75 об/мин	2,75	$\varepsilon_1 = 0$; $\varepsilon_2 = 18,7$

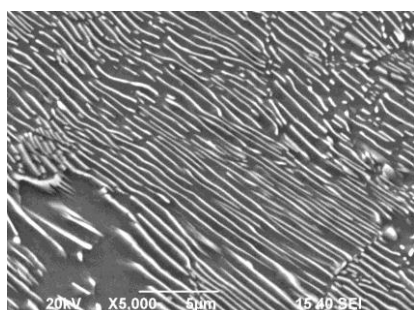
В табл. 2 приведены принятые для исследования режимы деформационной обработки.

Исследование микроструктуры проводили на растровом электронном микроскопе японской фирмы «JEOL». Для исследования микроструктуры из образцов изготавливали шлифы (продольное сечение) с использованием запрессовки в акриловую смолу «Clarofast». Для выявления микроструктуры шлифы подвергли химическому травлению в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте методом погружения

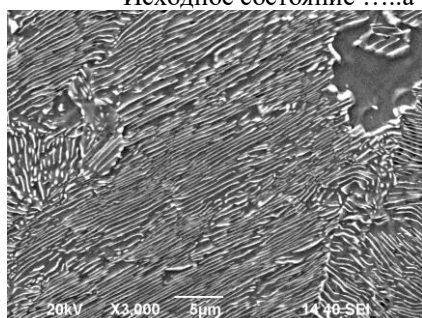
полированной поверхности в ванну с реактивом. Механические свойства проволоки исследовали по ГОСТ Р 8.748-2011(ИСО 14577-1:2002).

Результаты и их обсуждение

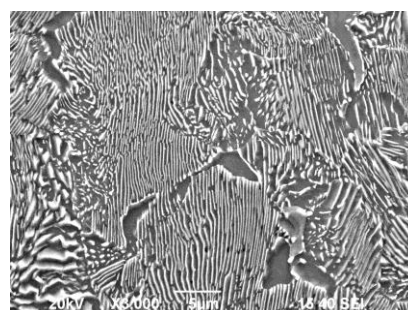
На рис. 2 представлена микроструктура проволоки (на поверхности и в центре) после различных видов деформационной обработки.



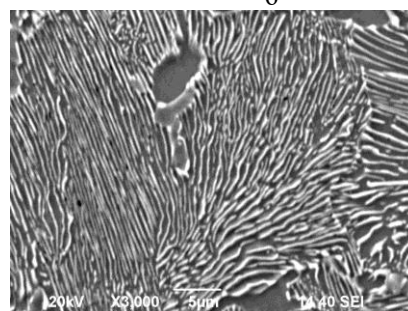
Исходное состояниеа



Режим 1 в



б



г

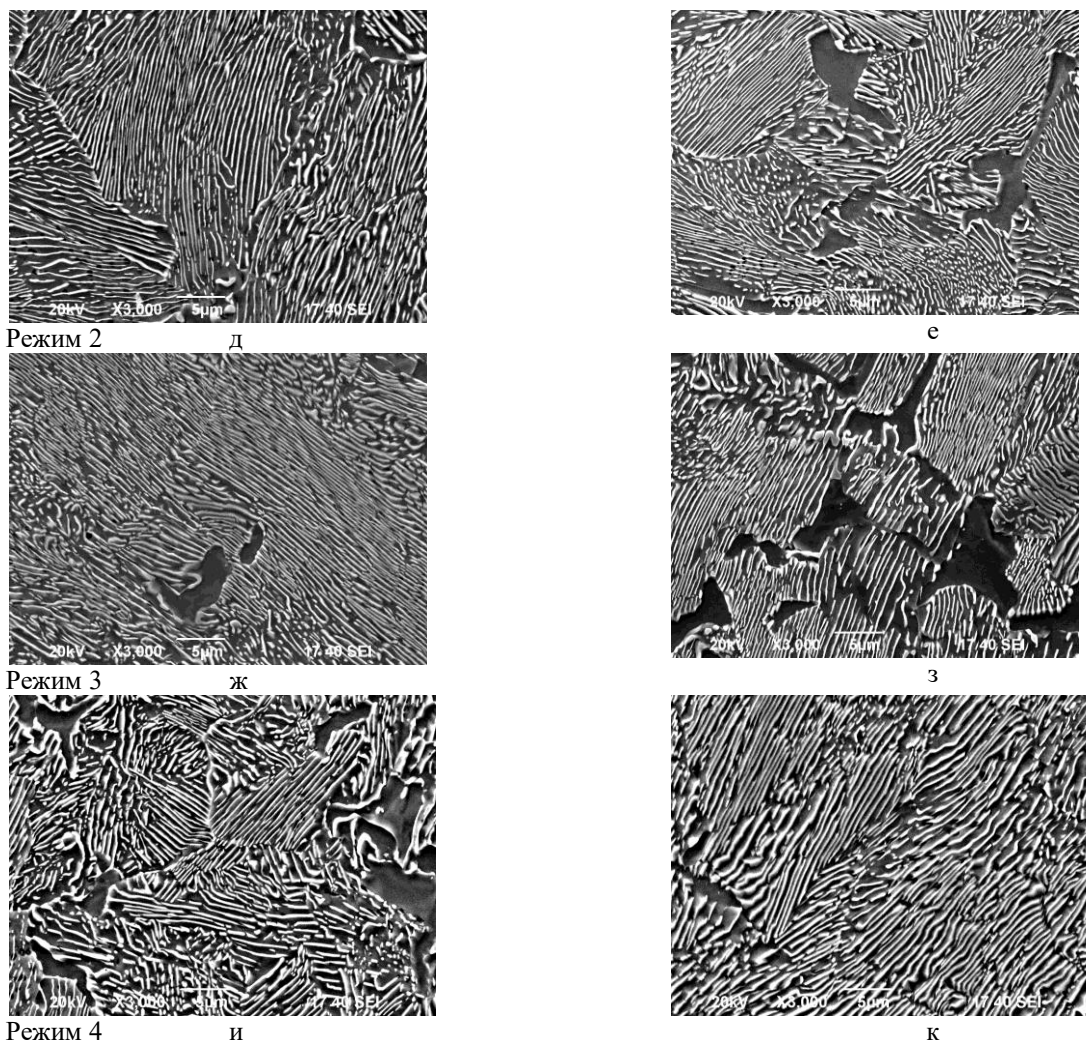


Рис. 2 Изменение микроструктуры проволоки диаметром 3,05 мм из высокоуглеродистой стали 70 в исходном состоянии и при различных видах деформационной обработки (режимы 1 – 4 представлены в табл. 2):

а, в, д, ж, и – поверхность; б, г, е, з, к – центр

В исходном состоянии (после волочения) исследуемая сталь имеет ферритно-перлитную структуру, типичную для стали марки 70. Феррит расположен по границам перлитных зерен. Количество феррита не превышает 5%, что свидетельствует о низких пластических свойствах исследуемой проволоки. Содержание феррита оказывает влияние на процесс формирования структуры при деформации. Наложение деформации кручения приводит к изгибу и разрушению цементитных пластин, наблюдается процесс дробления перлитных колоний. Результаты механических испытаний проволоки с УМЗ структурой после метода непрерывного деформационного наноструктурирования на прочность представлены на рис. 3.

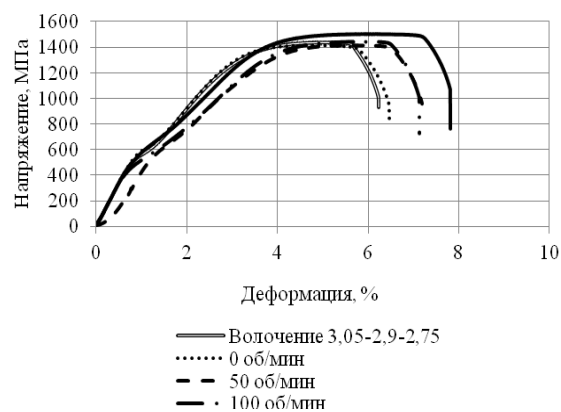


Рис. 3 Диаграммы растяжения лабораторных образцов, полученных традиционным волочением по маршруту 3,05 → 2,90 → 2,75 и при комбинировании волочения со

знакопеременным изгибом и кручением

Из рис. 3 следует, что прочностные показатели проволоки из стали марки 70 после комбинированной деформационной обработки волочением со знакопеременным изгибом и кручением увеличились по сравнению с исходным состоянием без обработки ($\sigma_b = 820$ МПа) примерно в 2 раза. Это свидетельствует о том, что комбинирование различных видов пластической деформации обеспечивает высокие прочностные свойства высокоуглеродистой проволоки при незначительном уменьшении ее пластичности.

Выводы

1. Для реализации комбинированной деформационной обработки проволоки разработана лабораторная установка, состоящая из двух последовательно расположенных волок и четырехроликового устройства между ними, позволяющего осуществлять деформацию изгибом и кручением.

2. Показаны характерные особенности

Список литературы

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 398 с.

2. Инновационный потенциал новых технологий производства метизных изделий из наноструктурных сталей /Чукин М.В., Копцева Н.В., Барышников М.П., Ефимова Ю.Ю., Носов А.Д., Носков Е.П., Коломиец Б.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2009. - № 2 (26). - С. 64-69.

3. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов. - М.: МАКС Пресс, 2005. - 344 с.

4. Харитонов В.А., Таранин И.В. Повышение деформируемости проволоки на основе применения модульных и комбинированных способов деформации// Черная металлургия. - 2016. - №11(1403). - С. 70-78.

5. Харитонов В.А., Таранин И.В. Сравнительный анализ эффективности совмещенных способов обработки металлов давлением при производстве проволоки// Сталь. - 2015. - №1. - С. 61-64.

6. Состояние и перспективы применения деформационных методов измельчения структуры объемных материалов /Чукин М.В., Емалеева Д.Г., Полякова М.А., Гулин А.Е.// Металлург. - 2016. - № 3. - С. 73-79.

7. Принципы проектирования непрерывного способа получения стальной проволоки с ультрамелкозернистой структурой /Корчунов А.Г., Чукин М.В., Полякова М.А., Емалеева Д.Г.// Вестник

изменения микроструктуры высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70 при изменении режимов комбинирования различных видов пластической деформации: растяжение и сжатие при волочении с изгибом и кручением.

3. Установлено, что комбинирование волочения с кручением и изгибом позволяет регулировать соотношение прочностных и пластических свойств в высокоуглеродистой проволоке из стали марки 70 за счет изменения соотношения величины обжатия в волоках и скорости кручения.

4. Дальнейшее направление исследований связано с установлением количественных закономерностей между параметрами микроструктуры высокоуглеродистой проволоки и режимами комбинированной деформационной обработки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ДНТ в рамках научного проекта №18-58-45008 ИНД_а.

Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2011. - № 1. - С. 43 – 46.

8. Исследование эволюции структур наносталей 20 и 45 при критических степенях пластической деформации /Чукин М.В., Валиев Р.З., Рааб Г.И., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю.// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2007. - № 4 (20). - С. 89-93.

9. Влияние предварительной термической обработки на структуру и свойства углеродистых конструкционных сталей 20 и 45, наноструктурированных методом равноканального углового прессования /Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Чукин М.В., Полякова М.А.// Черные металлы. – 2010, июль. - С. 14-19.

10. Особенности влияния комбинирования различных видов пластической деформации на измельчение микроструктуры и механические свойства углеродистой проволоки /Чукин М.В., Полякова М.А., Пивоварова К.Г., Ефимова Ю.Ю., Гулин А.Е.// Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2018. - Т. 61. - № 7. - С. 572-578.

11. Пат. 2467816 RU, МПК В21С 1/04, В21С 1/00. Способ получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов волочением с кручением/ Чукин М.В., Полякова М.А., Голубчик Э.М., Рудаков В.П., Носков С.Е., Гулин А.Е. Заявл. 28.02.2011. Опубл. 27.11.2012. Бюл. № 33.

12. Разработка концепции совмещения процессов пластического деформирования для формирования ультрамелкозернистой структуры в длинномерных изделиях /Чукин М.В., Полякова М.А.,

Емалеева Д.Г., Пивоварова К.Г., Гулин А.Е.// Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции. - Старый Оскол, 2015. - Т. I. - С. 170 - 177.

13. Возможности совмещения различных схем пластической деформации для получения

углеродистой проволоки с заданным уровнем механических свойств /Чукин М.В., Полякова М.А., Пивоварова К.Г., Гулин А.Е., Емалеева Д.Г.// Многофункциональные конструкционные материалы нового поколения: сборник статей/ под общ. ред. В.Е. Громова. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. - С. 174 – 182.

Сведения об авторах

Полякова Марина Андреевна – д.т.н. профессор ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: m.polyakova@magtu.ru

Ефимова Юлия Юрьевна – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: yu.efimova@magtu.ru

Гулин Александр Евгеньевич – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: a.gulin@magtu.ru

Пивоварова Ксения Григорьевна – к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: k.pivovarova@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CONTROL OF MECHANICAL PROPERTIES OF PEARLITIC HIGH CARBON STEEL WIRE BASED ON THE PECULIARITIES OF MICROSTRUCTURE CHANGES

Polyakova Marina Andreevna - D. Sc. (Engineering) Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Associate Professor Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: m.polyakova@magtu.ru

Efimova Yulia Yuryevna - PhD (Engineering), Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Associate Professor. E-mail: yu.efimova@magtu.ru

Gulin Alexandr Evgenyevich - PhD (Engineering), Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: a.gulin@magtu.ru

Pivovarova Kseniya Grigoryevna - PhD (Engineering), Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Associate Professor. E-mail: k.pivovarova@magtu.ru

Abstract. Method of wire continuous combined deformational processing is described in the paper. The scheme of the laboratory setup is represented. The novelty of this design is that two drawing dies and four-rolls system are arranged in one line which makes it possible to combine different kinds of plastic deformation by drawing with bending and torsion. High carbon steel wire 0.7 % C was chosen for investigation. Experiments were carried out for investigation of peculiarities in wire microstructure changes after combined deformational processing. Scanning electron microscopy was used to study of wire microstructure specific features after combined deformational processing. Wire mechanical properties after different kinds of deformational processing were obtained by tensile test. It was shown that changes of high carbon steel wire microstructure lead to variation of its strength properties. Combined deformational processing by drawing with bending and torsion ensure both high strength and ductile properties in wire of the same diameter. It is typical to metals with ultrafine grain structure. The obtained results of the investigation allow to conclude about the perspectiveness of chosen direction in combination of different kinds of deformational processing for obtaining pearlitic high carbon steel wire with desired level of mechanical properties.

Keywords: High carbon steel wire, combined deformational processing, pearlite, microstructure, mechanical

Ссылка на статью:

Полякова М. А., Ефимова Ю. Ю., Гулин А. Е., Пивоварова К. Г. Регулирование механических свойств высокоуглеродистой проволоки перлитного класса с учетом особенностей изменения микроструктуры // Теория и технология металлургического производства. 2018.

properties

№4(27). С. 21-26.

Polyakova M. A., Efimova Yu. Yu., Gulin A. E., Pivovarova K. G. Control of mechanical properties of pearlitic high carbon steel wire based on the peculiarities of microstructure changes. *Teoria i tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 27, no. 4, pp. 21-26.