

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением Metal forming. Technology and equipment of metal forming

Научная статья
УДК 621.789
DOI: 10.14529/met240103

СПОСОБЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА СОРБИТИЗИРОВАННОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Д.А. Назаров, seo@kolibri-group.ru

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Магнитогорск, Россия*

Аннотация. В статье рассмотрены варианты проведенных модернизаций действующих мелкосортных станов. Проведен анализ действующей технологии охлаждения проката на стане 170 ПАО «ММК». Рассмотрены результаты проведения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы в 2020–2021 годах, которые показали преимущество разработанных в МГТУ им. Г.И. Носова режимов прокатки над действующими на стане режимами.

Ключевые слова: сортовой прокат, катанка, сорбитизация, перлит, воздушное охлаждение

Для цитирования: Назаров Д.А. Способы совершенствования производства сорбитизированной высокоуглеродистой катанки с целью получения гарантированного комплекса эксплуатационных свойств // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2024. Т. 24, № 1. С. 23–29. DOI: 10.14529/met240103

Original article
DOI: 10.14529/met240103

METHODS FOR IMPROVING THE PRODUCTION OF SORBITIZED HIGH-CARBON WIRE ROD WITH THE PURPOSE OF OBTAINING A GUARANTEED COMPLEX OF PERFORMANCE PROPERTIES

D.A. Nazarov, seo@kolibri-group.ru

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. The article discusses options for modernization of existing small-section mills. An analysis of the current technology for cooling rolled products at mill 170 of PJSC MMK was carried out. The results of research and development work in 2020–2021 are considered, which showed the advantage of those developed at MSTU rolling modes over the current modes at the mill.

Keywords: long products, wire rod, sorbitization, perlite, air cooling

For citation: Nazarov D.A. Methods for improving the production of sorbitized high-carbon wire rod with the purpose of obtaining a guaranteed complex of performance properties. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2024;24(1):23–29. (In Russ.) DOI: 10.14529/met240103

Получение сорбитной структуры в заготовках из сталей с содержанием углерода 0,3–1,0 %, предназначенных для передела в проволоку холодным волочением, производится до настоящего времени патентированием в расплавах солей, и этот процесс в своей технологической сущности оказался столь консервативным, что, несмотря на присущие ему недостатки, остается основным способом получения сорбитной структуры на сталепроволочных заводах, массово производящих канатную, пружинную и струнобетонную проволоку. Разработка путей для решения вопроса получения сорбитизированной катанки с прокатного нагрева началась ещё в 1970-х годах [1, 2]. Несмотря на то, что полностью отойти от патентирования на сталепроволочных заводах вряд ли удастся в силу объективной необходимости проведения рекристаллизации в процессе волочения, отказаться от рекристаллизации после прокатного передела становится возможным. За последние два десятилетия лет начали появляться и активно внедряться на производстве работающие решения по получению сорбитизированной катанки с прокатного нагрева.

На современных проволочных станах температура раската в конце прокатки составляет 1000–1100 °С. Для управления температурным режимом в последних клетях стана температуру варьируют в более широких пределах с помощью блоков водяного охлаждения – от 750 до 1100 °С. Таким образом, появляется возможность термомеханической обработки с контролируемой прокаткой и охлаждением. Это позволяет улучшить качественные характеристики катанки и повысить технологичность ее на последующем метизном переделе [3].

С совершенствованием данных процессов вырос и комплекс получаемых свойств. На сегодняшний день различными предприятиями предъявляются достаточно высокие требования к катанке, подвергающейся сорбитизации в линии стана. Часть существующих стандартов представлена в табл. 1.

Для осуществления подобной термомеханической прокатки повсеместно проводились и проводятся реконструкции действующих сортопрокатных производств.

Например, в 2006 году была произведена модернизация стана 150 АО «БМК», город

Таблица 1
Требования НД, предъявляемые к параметрам механических свойств и микроструктуре катанки диаметром 5,5 мм из стали марки 70 и 80 после сорбитизации в линии прокатного стана

Table 1
Requirements of regulatory documentation for the parameters of mechanical properties and microstructure of wire rod with a diameter of 5.5 mm made of steel grades 70 and 80 after sorbitization in a rolling mill line

Контролируемые параметры	Сталь	Требования НД			
		ОАО «БМЗ»	СЗАО «ММЗ»	Зарубежные фирмы, потребляющие катанку	
		ЗТУ 840-03-2006	ТУ У 14-4-470-2000	Bekaert GS-02-070, GS-02-002; Good Year I. M 180 E 17.12.04	Pirelli N.02B.002, N.18.V.001, N.02.B.002
Временное сопротивление (цель), Н/мм ²	70	970–1130 (1035)	≤ 1160	1050–1180	980–1120
	80	1070–1210 (1140)	≤ 1250	1100–1200 (1150)	1180–1220
Относительное удлинение, %	70	≥ 11	≥ 9	–	–
	80	≥ 10	≥ 8	–	–
Относительное сужение, %	70	≥ 35	≥ 30	≥ 40	≥ 35
	80	≥ 30	≥ 27	32–48	≥ 35
Глубина обезуглероженного слоя, max мм (%)	70–80	max 0,1 мм	max 2 %	max 2,2 %	max 2,5 %
Размер действительного зерна	70–80	Не норм.	Не норм.	30–60 мкм	6–11 балл
Количество перлита 1-го балла, %	70–80	1–2 балл	1 балл, ≥ 50 %	1 балл, ≥ 80 %	1 балл, ≥ 80 %
Цементит	70–80	Не замкнут	Не норм.	Не норм.	До типа Б

Белорецк (входит в Группу «Мечел»). Была проведена реконструкция управления электроприводов линии двухстадийного охлаждения и реконструкция системы цифрового задания скорости и системы индикации скоростей электроприводов клетей с 1-й по 23-ю, модернизация цифрового задания скоростей приводов чистовых блоков, трайбаппаратов и виткоукладчиков стана 150, были автоматизированы рабочие места операторов.

Одной из основных целей реконструкции было обеспечение требуемой температуры катанки на всех стадиях охлаждения, достижение и стабильное обеспечение требуемых механических свойств металла.

Для этого было установлено оборудование управления процессом контролируемого охлаждения катанки в сочетании с параметрами прокатки для прогнозирования достигаемых в результате охлаждения заданных характеристик материала. Оборудование имеет возможность развития положенных в его основу баз данных параметров и характеристик. В связи с тенденцией повышения скорости проката и необходимостью освоения производства сорбитизированной катанки во всем диапазоне размеров поперечного сечения проката была произведена установка 4 вентиляторов с мощностью привода 200 кВт, 3 вентиляторов с мощностью привода 160 кВт, что позволило регулировать скорости охлаждения витков катанки воздухом в широких пределах [4].

В 2006 году была проведена реконструкция стана 150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», город Жлобин. По аналогии с проволочным станом на заводе Qingdao (Китай) была проведена модернизация хвостовой части стана.

После модернизации новое оборудование хвостовой части позволяет при производстве проката использовать схему комбинированной термомеханической обработки (КТМО) с контролируемой прокаткой и контролируемым охлаждением, включающей линию предварительного охлаждения подката перед блоком с секцией водяного охлаждения раската (до температур 900–950 °С); десятиклетевой чистовой блок (скорость прокатки до 100 м/с); линию водяного контролируемого охлаждения (до среднemasсовых температур 850–950 °С); четырехклетевой редуционно-калибрующий блок (РКБ) фирмы «Морган» (скорость прокатки до 110 м/с), после которого катанка

транспортируется через линию окончательного водяного контролируемого охлаждения, профилемер и виткоукладчик на роликовый транспортер, где осуществляется регулируемое охлаждение воздухом (от 1,0 до 20,0 °С/с) с целью получения необходимых свойств в готовой продукции.

В июне 2019 года на стане 170 ПАО «ММК» была осуществлена реконструкция компанией DANIELI. Одной из целей реконструкции было повышение содержания сорбитизированного перлита в микроструктуре прокатываемой высокоуглеродистой нелегированной стали и получение механических свойств после охлаждения на роликовом конвейере, соответствующих российским стандартам для высокоуглеродистой стали. Для этого были заменены 14 существующих вентиляторов 16 новыми на каждой линии. Мощность вентиляторов – от 132 до 152 кВт.

Несмотря на тот факт, что реконструированная линия была снабжена достаточно мощными вентиляторами и технология производства сорбитизированного проката в линии стана была в определенной степени известна в научном сообществе [5, 6], возникли некоторые затруднения в получении необходимой структуры и свойств готового проката [7].

Для разрешения данных затруднений в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы специалистами ФГБОУ ВО «МГТУ» был проведен комплекс исследований, результатом которых стал цифровой двойник линии воздушного охлаждения стана 170 ПАО «ММК» (ЦД-170) [8]. Одной из основных частей ЦД-170 является адаптированная математическая модель для расчёта кривых охлаждения катанки. Она позволяет рассчитать изменение температуры во времени и построить кривую охлаждения катанки для выявления необходимой скорости охлаждения (попадания в нужный диапазон скоростей охлаждения с целью получения ожидаемой микроструктуры и свойств катанки).

При моделировании учитывался комплекс таких целенаправленно управляющих параметров, как температура катанки при выходе из виткообразователя, степень загрузки двигателя вентилятора, угол открытия заслонки дутьевой системы и скорость секций транспортера линии охлаждения. Основные технологические параметры режима прокатки, включая марку стали, температуру нагрева, скорость прокатки, степень обжатия, предва-

рительное охлаждение в водяных коробах, термокинетическую диаграмму охлаждения и т. п., при моделировании являлись исходными данными [9].

Сопоставление действующих на ММК и разработанных в МГТУ с помощью ЦД-170 режимов охлаждения катанки в комиссионных условиях экспериментальных прокаток и последующих испытаниях продемонстрировали высокую степень адекватности работы математической модели.

Суммарно же за время опытных прокаток для проведения металлографических исследований в рамках учебно-научного центра МГТУ было подготовлено и изучено свыше 100 микршлифов, около 150 образцов для изучения механических свойств.

Схема отбора проб представлена на рис. 1.

В настоящее время по результатам исследования сформирована библиотека шлифов, а также физическая и электронная база исследованных образцов. Накоплен опыт, позволяющий сократить время поиска рациональных режимов для последующих актуальных профилируемых проката.

Наиболее показательными являются испытания, проведенные на образцах, прокатанных 03.12.2021. Эксперимент проводился на катанке диаметром 6,5 мм из стали марки 75. Замеры проводились на обеих нитках линии воздушного охлаждения. Результаты испытаний, проведенных в лаборатории МГТУ им. Г.И. Носова, представлены на рис. 2 и в табл. 2.

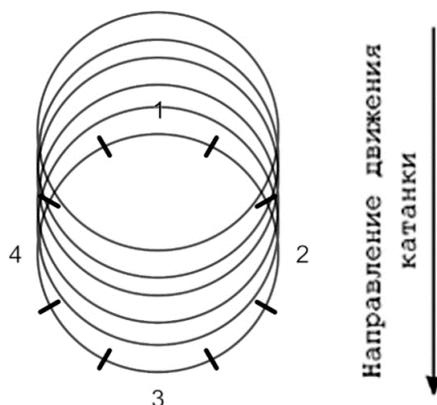


Рис. 1. Схема отбора проб: 1 – положение 0°; 2 – положение 90°; 3 – положение 180°; 4 – положение 270°
 Fig. 1. Sampling scheme: 1 – position 0°; 2 – position 90°; 3 – position 180°; 4 – position 270°

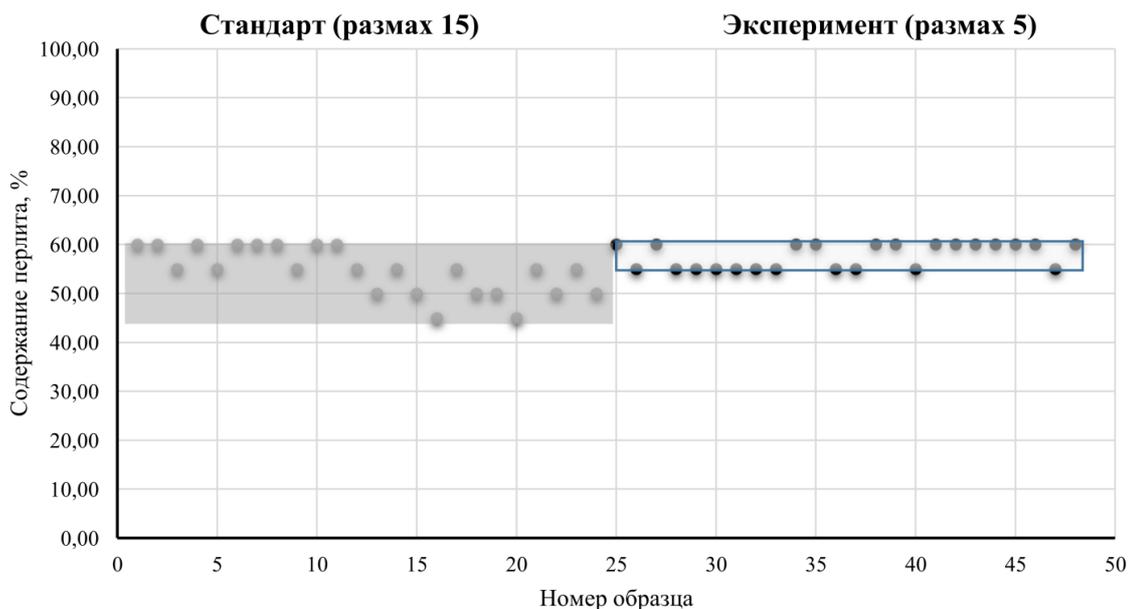


Рис. 2. Результаты металлографических испытаний катанки диаметром 6,5 мм из стали марки 75
 Fig. 2. Results of metallographic tests of wire rod 6.5 mm diameter made of grade 75 steel

Таблица 2
Сравнение стандартного и экспериментального режимов по выполнению требований равномерности по величине временного сопротивления

Table 2

Comparison of standard and experimental modes for meeting the requirements of uniformity in terms of tensile strength

Линия и режим	Часть бунта	Положение пробы в витке, °	Механические свойства			Разбег временного сопротивления		
			Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	Относительное сужение ψ , %	Относительное удлинение δ_{10} , %	по витку	по мотку	по плавке
			≤ 1180	–	–	≤ 40	≤ 50	≤ 60
Стандартный режим, линия А	задний конец	0	1161,69	41,54	11,70	31,48	99,85	103,09
		90	1130,21	42,12	8,81			
		180	1147,12	43,75	12,85			
		270	1148,45	–	6,42			
	середина	0	1101,09	45,24	12,07	29,81		
		90	1099,24	47,27	11,35			
		180	1114,12	–	7,16			
		270	1129,05	44,78	7,92			
	передний конец	0	1159,81	43,29	12,08	72,44		
		90	1174,42	–	6,34			
		180	1199,09	–	7,12			
		270	1126,65	44,44	11,79			
Стандартный режим, линия В	задний конец	0	1152,01	45,01	12,38	80,37	85,30	70,81
		90	1176,37	43,40	11,76			
		180	1096,00	44,55	12,35			
		270	1144,08	43,40	8,19			
	середина	0	1119,29	45,47	10,06	18,93		
		90	1126,37	43,17	12,09			
		180	1108,62	48,82	12,32			
		270	1127,55	46,82	9,09			
	передний конец	0	1111,64	45,47	11,71	69,66		
		90	1138,23	–	5,78			
		180	1169,80	–	7,21			
		270	1181,30	43,17	6,57			
Предлагаемый режим, линия А	задний конец	0	1142,38	46,93	13,11	14,78	69,03	70,81
		90	1141,89	46,26	11,30			
		180	1145,34	44,90	12,27			
		270	1156,67	–	7,22			
	середина	0	1131,36	45,47	12,05	24,12		
		90	1121,39	–	5,39			
		180	1132,33	44,33	11,74			
		270	1145,51	44,33	10,75			
	передний конец	0	1158,78	42,47	10,90	38,13		
		90	1168,85	43,87	5,62			
		180	1152,29	43,52	11,06			
		270	1190,42	42,94	7,91			
Предлагаемый режим, линия В	задний конец	0	1152,92	45,58	10,13	39,28	49,83	70,81
		90	1155,11	45,58	7,37			
		180	1187,50	45,58	12,43			
		270	1192,20	–	7,51			
	середина	0	1148,23	46,60	5,31	34,15		
		90	1142,37	46,60	10,87			
		180	1176,52	46,60	10,76			
		270	1174,04	–	12,02			
	передний конец	0	1165,03	46,26	11,71	19,08		
		90	1184,11	46,93	10,52			
		180	1165,78	45,24	6,07			
		270	1178,00	–	7,17			

Для экспериментальных режимов удалось повысить содержание перлита 1–2 балла не менее чем на 5 %, тем самым в большей степени удовлетворить требованиям нормативной документации.

Из полученных данных видно, что стандартный режим обеспечивает равномерность по витку в 3 случаях из 6 (50 %), в то время как экспериментальный режим обеспечивает равномерность в 6 случаях из 6 (100 %). Для стандартного режима не достигается равномерность ни по мотку, ни по плавке (разница между полученными значениями и требуемыми больше 30 Н/мм²), в то время как экспериментальный режим обеспечивает равномерность по мотку в 1 случае и близкие (разница между полученными значениями и требуемыми составляет ~ 10 Н/мм²) к требуемым значениям во втором случае по мотку и плавке.

Данные показатели характеристик качества сорбитизированной катанки являются результатом проведенного комплексного вариационного моделирования с применением разработанного цифрового двойника линии ускоренного охлаждения стана 170.

Данного результата удалось достичь только с помощью настройки существующего оборудования. Для достижения более высокого комплекса механических свойств может потребоваться модернизация действующей линии стана 170.

При дальнейшем переделе на ОАО «ММК-Метиз» проволока, изготовленная из катанки по технологии МГТУ им. Г.И. Носова, показала меньшие значения стандартного отклонения по временному сопротивлению разрыву и повышенный комплекс прочностных и пластических свойств (запас по количеству перегибов) по сравнению с проволокой, изготовленной по стандартной технологии.

Выводы

Проанализировав историю развития идеи получения высокоуглеродистой катанки с прокатного нагрева, можно сделать вывод, что на протяжении многих лет металлургии пытаются решить данную проблему. На сегодняшний день на ряде предприятий удалось достичь требуемых показателей механических свойств и получить нужную микроструктуру в прокате. Для ряда станов, которые будут проходить модернизацию в ближайшее время, для получения сорбитизированной катанки с прокатного нагрева рациональным видится путь установки более мощных вентиляторов для расширения границ варьирования скоростей охлаждения и разработка современных, комплексных решений автоматизации и цифровизации, позволяющих как управлять технологическим процессом, так и разрабатывать новые режимы производства.

Список литературы

1. Шаповалов С.И., Алимов В.И., Эстрин Ю.С. Высокоуглеродистая катанка, сорбитизированная с прокатного нагрева, и арматурная проволока из нее // *Сталь*. 1974. № 6. С. 567–569.
2. Шаповалов С.И., Алимов В.И., Эстрин Ю.С. Сорбитизация углеродистой катанки в потоке непрерывного прокатного стана // *Проблемы производства черных металлов: сб.* 1974. С. 143–149.
3. Особенности термомеханической обработки высокоуглеродистой катанки в потоке высокоскоростного проволочного стана 150 ОАО «БМЗ» / В.А. Луценко, П.А. Бобков, О.М. Кириленко, О.В. Луценко // *Литье и металлургия*. 2012. № 3 (66). С. 172–175. EDN SJCCIF.
4. Фомочкина А.А., Клековкин А.А., Евтеев Е.А. Оптимизация технологических параметров производства пружинной проволоки из сорбитизированной катанки // *Сталь*. 2007. № 7. С. 99–100. EDN IBCTNB.
5. Опыт производства круглого сортового проката из стали марки 60С2ХА с повышенными требованиями к глубине обезуглероженного слоя в условиях ОАО «ММК» / О.Н. Тулупов, А.Б. Моллер, С.А. Левандовский [и др.] // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2015. № 2 (50). С. 28–36.
6. Особенности влияния термомеханической обработки в потоке стана 150 Белорусского металлургического завода на качественные характеристики высокоуглеродистой катанки / В.А. Луценко, М.А. Муриков, П.А. Бобков [и др.] // *Литье и металлургия*. 2012. № 4 (68). С. 110–114.
7. Оценка перспектив и определение стратегии освоения технологии производства сорбитизированной катанки согласно требованиям ОАО «ММК-Метиз» в существующих условиях стана 170 на основе создания Цифрового двойника реконструированных линий ускоренного охлаждения. Отчет по НИОКР № 242586 от 16.03.2020 г.

8. Способы повышения качества производимой продукции в условиях стана 170 ПАО «ММК» / Н.А. Баранов, О.Н. Тулупов, А.Б. Моллер [и др.] // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2022. № 1 (34). С. 4–8.

9. Моделирование процесса воздушного охлаждения катанки / М.Е. Ишметьев, О.Н. Тулупов, А.Б. Моллер [и др.] // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2022. № 1 (34). С. 9–13.

References

1. Shapovalov S.I., Alimov V.I., Estrin Yu.S. [High-carbon wire rod, sorbitized from rolling heating, and reinforcing wire made from it]. *Steel*. 1974;6:567–569. (In Russ.)

2. Shapovalov S.I., Alimov V.I., Estrin Yu.S. [Sorbitization of carbon wire rod in the flow of a continuous rolling mill]. In: *Problemy proizvodstva chernykh metallov* [Problems of ferrous metal production]. 1974. P. 143–149. (In Russ.)

3. Lucenko V.A., Bobkov P. A., Kirilenko O. M., Lucenko O. V. Features of high carbon wire rod thermomechanical working in a stream of high-speed wire mill 150 of “BSW”. *Litiyo i Metallurgiya (Foundry Production and Metallurgy)*. 2012;3(66):172–175. (In Russ.)

4. Fomochkina A.A., Klekovkin A.A., Evteev E.A. Parameter optimization in the production of spring wire from sorbitized wire rod. *Steel in Translation*. 2007;7:648–650. (In Russ.)

5. Tulupov O.N., Moller A.B., Levandovskiy S.A., Kinzin D.I., Olina A., Novitskiy R.V., Dzyuba A.Yu., Shurygin V.I., Serpkov E.S. Experience in the production of round long products of steel grade 60S2KHA with higher requirements to a decarburized layer depth at OJSC MMK. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university*. 2015;2(50):28–36. (In Russ.)

6. Lutsenko V.A., Murikov M.A., Bobkov P.A., Lutsenko O.V., Gritsaenko V.I. [Peculiarities of influence of thermo-mechanical processing in production line of mill 150 of the Belarusian metallurgical works on qualitative characteristics of high-carbon rolled wire]. *Litiyo i Metallurgiya (Foundry Production and Metallurgy)*. 2012;4(68):110–114. (In Russ.)

7. *Otsenka perspektivy i opredelenie strategii osvoeniya tekhnologii proizvodstva sorbitizirovannoy katanki soglasno trebovaniyam OAO “ММК-Метиз” v sushchestvuyushchikh usloviyakh stana 170 na osnove sozdaniya Tsifrovogo dvoynika rekonstruirovannykh liniy uskorenogo okhlazhdeniya. Otchet po NIOKR N 242586 ot 16.03.2020 g.* [Assessment of prospects and determination of a strategy for mastering the technology for the production of sorbitized wire rod in accordance with the requirements of OJSC MMK-Metiz in the existing conditions of mill 170 based on the creation of a Digital Twin of the reconstructed accelerated cooling lines]. R&D report No. 242586 dated March 16, 2020. (In Russ.)

8. Baranov N.A., Tulupov O.N., Moller A.B., Levandovskiy S.A., Kinzin D.I. Ways to improve the quality of manufactured products in the conditions of mill 170 PJSC “ММК”. *Modelirovanie i razvitie protsessov obrabotki metallov davleniem*. 2022;1(34):4–8. (In Russ.)

9. Ishmetev M.E., Tulupov O.N. Simulation of the process of air cooling of wire rod. Modeling and development of metal forming processes. *Modelirovanie i razvitie protsessov obrabotki metallov davleniem*. 2022;1(34):9–13. (In Russ.)

Информация об авторе

Назаров Дмитрий Алексеевич, инженер, Научно-инновационный сектор, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия; seo@kolibri-group.ru.

Information about the author

Dmitry A. Nazarov, Engineer, Scientific and Innovation Sector, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia; seo@kolibri-group.ru.

Статья поступила в редакцию 16.11.2023

The article was submitted 16.11.2023