

## УТОЧНЕНИЕ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКИХ ДИАГРАММ РАСПАДА АУСТЕНИТА СТАЛИ МАРОК 70–80

**А.Б. Моллер**, *amoller@mail.ru*  
**Д.А. Назаров**, *seo@kolibri-group.ru*  
**Н.А. Баранов**, *nikita\_ram96@mail.ru*  
**А.Д. Савва**, *savva.arkadiy@mail.ru*

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

**Аннотация.** В 2019 году была проведена модернизация линии воздушного охлаждения стана 170 ПАО «ММК». Она была направлена на получение сорбитизированной катанки непосредственно на стане. Применение такой продукции позволяет отказаться от одной промежуточной операции термической обработки в процессе производства проволоки, а также повысить стабильность механических свойств готовой проволоки, производимой из такой катанки. В рамках научных исследований по освоению технологии производства катанки на линии воздушного охлаждения были проведены исследования по определению и уточнению кривых охлаждения стали марок 70–80. Использование полученных кривых позволило предложить математическую модель режимов прокатки и охлаждения, адекватность которой была доказана на практике, а сами режимы внесены в технологическую инструкцию стана.

**Ключевые слова:** сортовой прокат, катанка, сорбитизация, перлит, микроструктура

**Для цитирования:** Уточнение термокинетических диаграмм распада аустенита стали марок 70–80 / А.Б. Моллер, Д.А. Назаров, Н.А. Баранов, А.Д. Савва // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2026. Т. 26, № 1. С. 27–33. DOI: 10.14529/met260104

Original article  
DOI: 10.14529/met260104

## REFINEMENT OF THERMOKINETIC DIAGRAMS DECOMPOSITION OF AUSTENITE STEEL GRADES 70–80

**A.B. Moller**, *amoller@mail.ru*  
**D.A. Nazarov**, *seo@kolibri-group.ru*  
**N.A. Baranov**, *nikita\_ram96@mail.ru*  
**A.D. Savva**, *savva.arkadiy@mail.ru*

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia*

**Abstract.** In 2019, the air cooling line of Mill 170 of MMK PJSC was upgraded. It was aimed at obtaining sorbitized wire rod directly at the mill. The use of such products makes it possible to eliminate one intermediate heat treatment operation in the wire production process, as well as to increase the stability of the mechanical properties of the finished wire produced from such a wire rod. As part of scientific research on the development of wire rod production technology on the air cooling line, studies were conducted to determine and refine the cooling curves of steel grades 70–80. The use of the obtained curves made it possible to propose a mathematical model of rolling and cooling modes, the adequacy of which was proven in practice, and the modes themselves were included in the technological instructions for the mill.

**Keywords:** long products, wire rod, sorbitization, perlite, microstructure

**For citation:** Moller A.B., Nazarov D.A., Baranov N.A., Savva A.D. Refinement of thermokinetic diagrams decomposition of austenite steel grades 70–80. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2026;26(1):27–33. (In Russ.) DOI: 10.14529/met260104

### Введение

На сегодняшний день поставка качественного исходного материала (горячекатаного круглого проката и катанки) на метизные предприятия РФ и ближнего зарубежья осуществляется по ТУ 14-101-582-2009, однако заложенное в требованиях данного ТУ содержание пластинчатого перлита 1–2 балла оказывается недостаточным для обеспечения стабильных и надежных эксплуатационных характеристик готовой проволоки и широкого круга изделий, изготовленных из нее, а также вынуждает использовать высокочрезвычайно дорогие промежуточные операции волочения и патентирования в технологическом процессе изготовления проволоки, что существенно удорожает продукцию, снижая ее конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках [1].

Инновационная стратегия предприятия должна быть нацелена не только на создание новых продуктов, но и на разработку новых технологий, обеспечивающих выпуск высококачественной продукции [2]. Получение требуемого уровня качества проволоки, метизов, автокомпонентов при одновременном снижении потребляемых ресурсов и удешевлении технологии их производства возможно только за счет инновационных свойств исходного круглого проката и катанки, полученных на сортовых станах горячей прокатки. Такой инновационный вид проката, позволяющий при его углубленной переработке за счет уникального комплекса свойств исключить промежуточные операции волочения и термообработки, а следовательно, существенно сэкономить энергетические, временные и финансовые ресурсы при производстве проволоки и метизов, можно определить как ресурсосберегающий круглый прокат (ресурсосберегающая катанка) [3].



Рис. 1. Исследовательский комплекс GLEEBLE 3500  
Fig. 1. GLEEBLE 3500 Research Complex

Реальные процессы формирования структуры высокоуглеродистой катанки и бунтового проката из стали марок 70–80 на современных линиях двустадийного охлаждения Стелмор являются непрерывными и имеют определенные скорости охлаждения [4]. В связи с тем, что в литературе отсутствуют термокинетические диаграммы (ТКД) непосредственно для стали данных марок [4–7], для исследования процессов превращения на линиях воздушного охлаждения возникает необходимость в их построении [8]. В связи с этим в процессе исследований были построены диаграммы распада переохлажденного аустенита для стали данных марок.

Большие возможности для определения критических точек открывает использование исследовательского комплекса GLEEBLE 3500 НИИ Наносталей МГТУ им. Г.И. Носова (рис. 1, 2). Этот комплекс по сути представляет собой высокоскоростной пластометр с возможностью программирования практически неограниченного числа стадий обработки металлов с постоянной или переменной по ходу обработки температурой или скоростью охлаждения.

Для моделирования металлургических процессов в комплексе GLEEBLE 3500 предусмотрено и было применено следующее:

- нагрев образца осуществляется прямым пропусканием тока;
- контроль температуры осуществляется контактными термопарами, при этом имеется возможность контроля температуры по четырём каналам;
- обработка образцов осуществляется в вакууме (до 10–5 торр), в защитном газе или на воздухе;
- все параметры работы установки и обработки материала фиксируются в промышленном компьютере с частотой до 50 000 Гц.



Рис. 2. Исследовательский комплекс GLEEBLE 3500 в работе  
Fig. 2. GLEEBLE 3500 research complex in operation

### Методика построения ТКД

При выполнении исследований эксперименты проводились на образцах из стали марок 70, 75 и 80, изготовленных из проб раската действующего сортового стана 170 ПАО «ММК». Отбор производился после пятой клети черновой группы и перед чистовым блоком.

Нагрев образцов осуществляли в вакууме со скоростью до 50 °C/с (которая рекомендована инструкцией по эксплуатации комплекса GLEEBLE 3500) до температур 850–950 °C. При такой высокой скорости нагрева могли сместиться точки фазовых превращений. В связи с этим начальная температура была выбрана выше критической точки Aс1, а время выдержки было определено серией экспериментов.

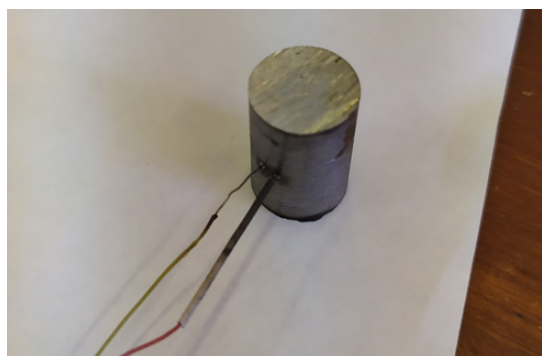


Рис. 3. Образец с приваренной термопарой  
Fig. 3. Sample with welded thermocouple

Охлаждение образцов проводили с различными скоростями. В процессе нагрева и охлаждения фиксировалась температура об-

разца, для чего к нему приваривалась хромель-алюмелевая термопара (рис. 3).

Критические точки для построения ТКД определяли dilatометрическим методом, основанным на измерении изменения удельного веса (плотности) или удельного объема металлов и сплавов. Его суть заключается в определении изменений линейных размеров образцов при нагреве и при охлаждении (диаметр образцов на GLEEBLE 3500 от 10 до 16 мм). Определение критических точек осуществляется по перегибам на dilatометрических кривых. Переход  $\alpha$ -Fe в  $\gamma$ -Fe или перлита в аустенит сопровождается заметным сокращением объема и длины образца, поскольку  $\gamma$ -Fe и твердый раствор углерода на его основе (аустенит) обладают наименьшим удельным объемом.

Обратное течение этих превращений при охлаждении сопровождается увеличением линейных размеров. Этим превращениям на dilatометрических кривых соответствуют резкие перегибы. Первая точка перегиба на кривой соответствует температуре начала превращения, вторая – концу превращения. Происходит отрыв касательной, проведенной к участку, на котором превращения ещё нет или имеет место обычное расширение (сжатие) образца, если превращение уже закончилось (рис. 4). Такой способ определения точек фазовых превращений позволяет установить моменты самого начала превращения и моменты, отвечающие его полному прекращению.

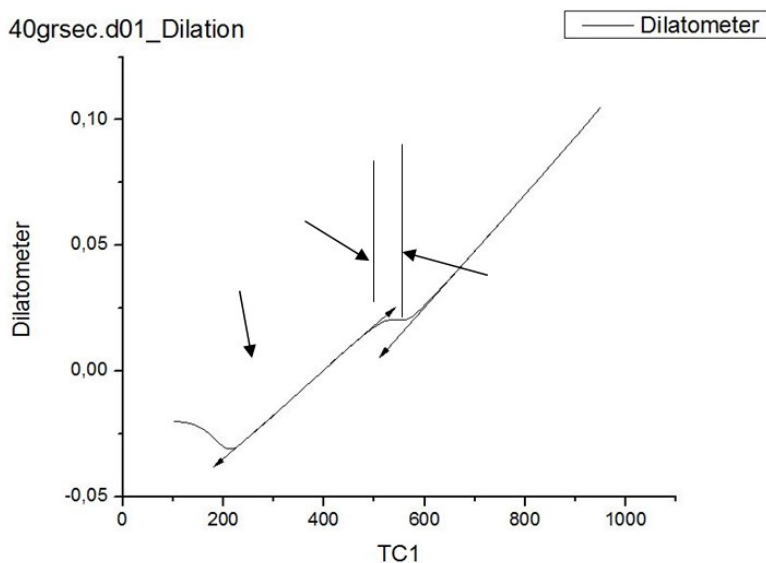


Рис. 4. Пример определения критических точек при непрерывном охлаждении  
стали марки 80 на комплексе GLEEBLE 3500

Fig. 4. Example of determining critical points during continuous cooling  
of grade 80 steel using the GLEEBLE 3500 complex

Программа проведения эксперимента задавалась при помощи программного обеспечения QuikSim2® (рис. 5).

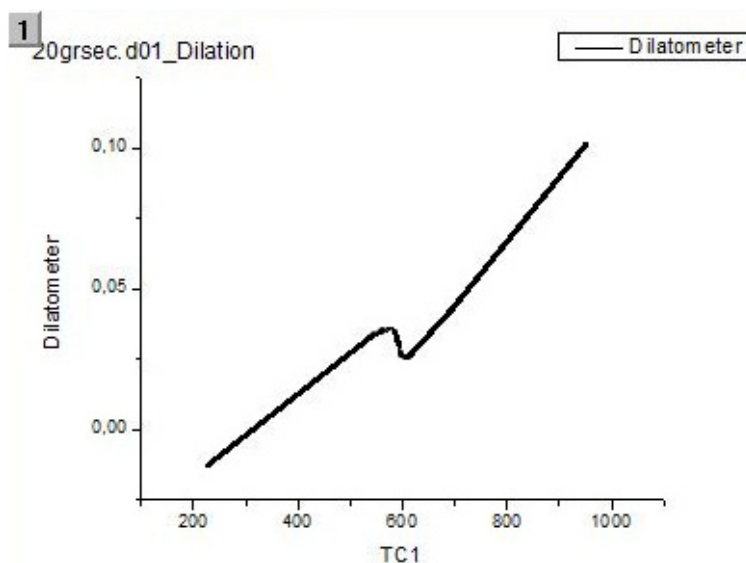
Эта программа имеет форму сводной таблицы с полями для заполнения и позволяет описывать каждое действие в процессе испытания, их порядок и длительность. Полученные данные были проанализированы при помощи стандартного программного пакета Origin®, встроенного в систему Gleeble 3500. Программа Origin® обладает математическими функциями для анализа данных и может быть настроена таким образом, чтобы загружать данные каждого испытания и мгновенно

отображать любое количество диаграмм, обеспечивая тем самым быстрый и удобный анализ каждого проведенного испытания.

Специально разработанная надстройка к программе Origin® позволяет выполнять построение дилатометрических кривых (рис. 6) в автоматическом режиме по результатам соответствующих экспериментов. По полученным дилатометрическим кривым, построенным в координатах «удлинение образца – температура», определяли критические точки, фиксируя температуру начала и конца фазовых превращений, а также время, за которое превращение произошло.

#	L	Time	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Commer
1	System		Setup	Limits: Compression=-150mm, Force=5000		
2	Stress/Strain		Axial strain using , l = 12mm, d = 10mm			
3	Acquire		Dilatometer PTemp TC1			
4	*					
5	*					
6	*					
7	Start		<input checked="" type="checkbox"/> Mechanical	<input type="checkbox"/> High	<input checked="" type="checkbox"/> Thermal	
8	Mode		Force(kN)	Wedge(cm)	TC1(C)	
9	Sample		10,0Hz			
10	Zero		Dilatometer			
11		00:01,0000	0,0	0	0	
12		00:19,0000	0,0	0	950	
13		03:00,0000	0,0	0	950	
14		02:00,0100	0,0	0	100	
15	GSL>		wait TC1<100C			
16	End		<input type="checkbox"/> Mechanical	<input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Thermal	

**Рис. 5. Программа проведения эксперимента в QuikSim2**  
**Fig. 5. Experiment program in QuikSim2**



**Рис. 6. Пример дилатометрической кривой**  
**Fig. 6. Example of a dilatometric curve**

### Результаты исследования

По результатам dilatометрических исследований были построены кривые охлаждения, которые приведены на рис. 7–9.

Полученные кривые были использованы при коррекции математической модели для расчета скоростей охлаждения сортового проката на конвейере воздушного охлаждения. Это позволило разработать новые режимы работы оборудования, обеспечивающие содержание перлита 1–2 балла на уровне 75–80 %.

При моделировании учитывался комплекс основных управляющих параметров. К ним были отнесены параметры из числа измеряемых, контролируемых и хранящихся в архивных данных системы автоматизированного учета. Это температура катанки при выхо-

де из виткообразователя, степень загрузки двигателя вентилятора, угол открытия заслонок дутьевой системы и скорость транспортера линии охлаждения. Исходными данными при моделировании являлись основные технологические параметры режима прокатки, такие как марка стали, температура нагрева заготовок, скорость прокатки, степень обжатия, предварительное охлаждение в водяных коробах, термокинетическая диаграмма охлаждения и т. п.

Установлено, что достижение более высокого содержания перлита в прокате требует внесения ряда изменений в оборудование и технологию управления на линии конвейерного охлаждения стана. Такие изменения целесообразны для увеличения интенсивности

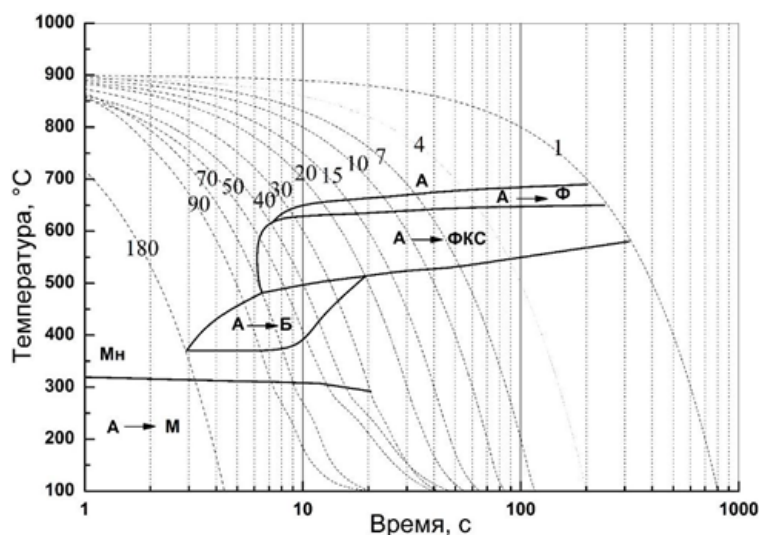


Рис. 7. Термокинетическая диаграмма распада аустенита стали 70  
Fig. 7. Thermokinetic diagram of austenite decomposition of steel 70

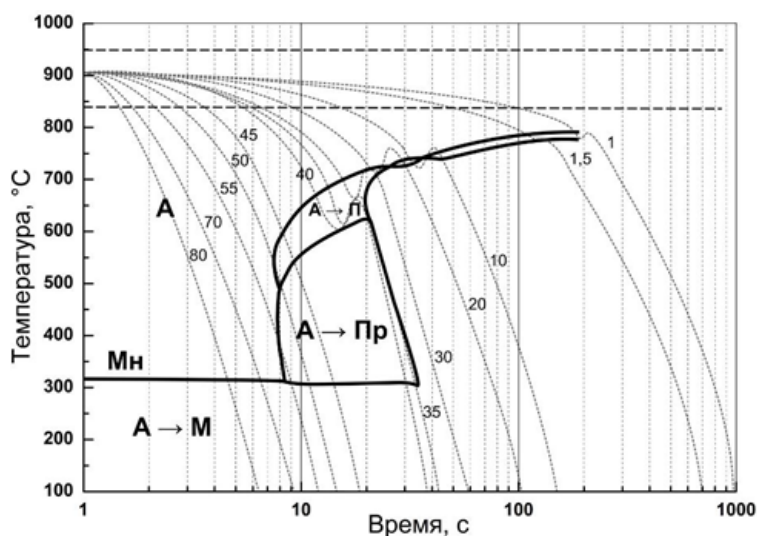


Рис. 8. Термокинетическая диаграмма распада аустенита стали 75  
Fig. 8. Thermokinetic diagram of austenite decomposition of steel 75

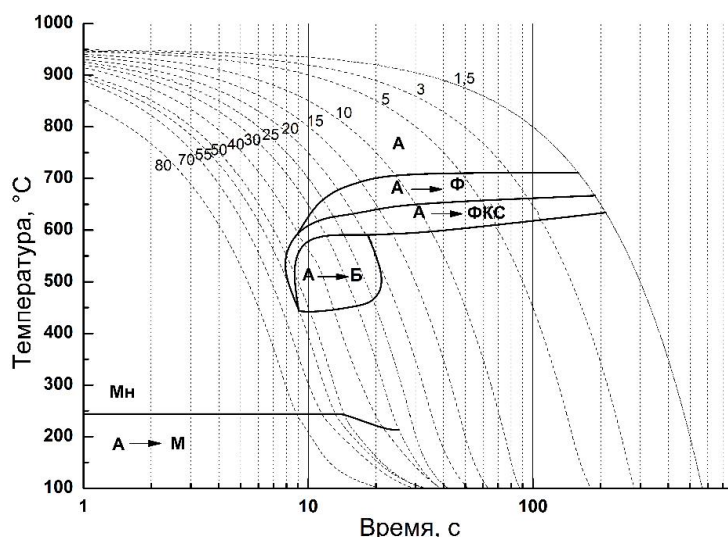


Рис. 9. Термокинетическая диаграмма распада аустенита стали 80  
Fig. 9. Thermokinetic diagram of austenite decomposition of steel 80

охлаждения проката диаметром более 9 мм. Также требуется проведение определенных организационных мероприятий, направленных на возможность практического использования полученной модели управления микроструктурой сортового проката не в качестве советчика, а в режиме реального времени на действующем мелкосортно-проволочном про-

катном стане. Следует отметить, что структура построения математической модели имеет потенциал её адаптации к персональным конструктивным особенностям производства, что позволяет рассчитывать на постепенное масштабирование результатов применения модели с конкретного стана на другие, родственные по технологии станы [4].

#### Список литературы

1. Технология термической обработки арматурного и фасонного проката: Теория и металлургическая практика / А.Б. Сычков, Э.В. Парусов, А.Б. Моллер [и др.]. Beau Bassin: Palmarium Academic Publishing, 2017. 264 с. ISBN 978-3-659-72435-0. EDN: YMZRGQ.
2. Моллер А.Б., Лимарев А.С., Каледина О.С. Управление качеством продукции на основе инновационной стратегии предприятия // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. № 4 (61). С. 45–50. EDN: VDOVWX.
3. Совершенствование сортопрокатных технологических систем через развитие элементов менеджмента качества / А.Б. Моллер, С.А. Левандовский, Н.А. Ручинская [и др.] // Труды Восьмого конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 11–15 октября 2010 года. Т. 1. Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2010. С. 224–229. EDN: TGBNMN.
4. Тулупов О.Н., Моллер А.Б. Эволюция методологического подхода к моделированию процессов сортовой прокатки в МГТУ им. Г.И. Носова // Сталь. 2014. № 4. С. 25–34. EDN: UAEJND.
5. Садовский В.Д., Попов А.А. Диаграммы кинетики превращений переохлажденного аустенита // Металловедение и термическая обработка стали: справ.: в 3 т. / под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1961. Т. 1. С. 616–669.
6. Садовский В.Д. Превращения при нагреве стали. Структурная наследственность // Металловедение и термическая обработка стали: справ.: в 3 т. / под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1995. Т. 3. С. 108–172.
7. Материалы для судостроения и морской техники: справ.: в 2 т. / под ред. акад. И.В. Горынина. СПб.: НПО «Профессионал», 2009. Т. 1. 776 с. Т. 2. 664 с.
8. Методы применения математической модели настройки непрерывных сортовых станов / А.Б. Моллер, А.А. Зайцев, О.Н. Тулупов, С.Ф. Рашников // Производство проката. 1999. № 5. С. 7–12. EDN: RSYMPT.

### References

1. Sychkov A.B., Parusov E.V., Moller A.B. et al. *Tekhnologiya termicheskoy obrabotki armaturnogo i fasonnogo prokata: Teoriya i metallurgicheskaya praktika* [Technology of heat treatment of reinforcing and shaped rolled products: Theory and metallurgical practice]. Beau Bassin: Palmarium Academic Publishing, 2017. 264 p. (In Russ.) ISBN 978-3-659-72435-0. EDN YMZRGO.
2. Moller A.B., Limarev A.S., Kaledina O.S. Product quality control based on innovative enterprise strategy. *Proceedings of the South-West State University*. 2015;4(61):45–50. (In Russ.) EDN VDOVWX.
3. Moller A.B., Levandovsky S.A., Ruchinskaya N.A. et al. [Improving Rolling Technological Systems through Developing Quality Management Elements]. In: *Proceedings of the Eighth Congress of Rolling Mills, Magnitogorsk, October 11–15, 2010. Vol. 1*. Magnitogorsk: Magnitogorsk Printing House, 2010. P. 224–229. (In Russ.) EDN TGBNMN.
4. Tulupov O.N., Moller A.B. Simulation of Bar Rolling: Experience at Nosov Magnitogorsk State Technical University. *Steel in Translation*. 2014;44(4):280–288. (In Russ.) DOI: 10.3103/S0967091214040172. EDN: UGGNWR.
5. Sadovsky V.D., Popov A.A. [Kinetic Diagrams of Supercooled Austenite Transformation]. In: *Bernstein M.L., Rakhstadt A.G. (Eds.). Metal Science and Heat Treatment of Steel: Handbook: in 3 volumes*. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Literature on Ferrous and Non-Ferrous Metallurgy, 1961. Vol. 1. P. 616–669. (In Russ.)
6. Sadovsky V.D. [Transformations during Steel Heating. Structural Heredity]. In: *Bernstein M.L., Rakhstadt A.G. (Eds.). Metal Science and Heat Treatment of Steel: Handbook: in 3 volumes*. 4th ed., revised and enlarged. Moscow: Metallurgiya, 1995. Vol. 3. P. 108–172. (In Russ.)
7. Gorynin I.V. (Ed.). *Materialy dlya sudostroeniya i morskoy tekhniki: sprav.: v 2 t.* [Materials for Shipbuilding and Marine Engineering: Handbook: in 2 volumes]. St. Petersburg: NPO Professional, 2009. Vol. 1. 776 p. Vol. 2. 664 p. (In Russ.)
8. Moller A.B., Zaitsev A.A., Tulupov O.N., Rashnikov S.F. [Methods of Application of Mathematical Model for Setting Up Continuous Bar Mills]. *Rolling*. 1999;(5):7–12. (In Russ.) EDN RCYMPT.

### Информация об авторах

**Моллер Александр Борисович**, д-р техн. наук, проф. кафедры обработки материалов давлением им. М.И. Бояршинова, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия; a.moller@magtu.ru.

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

**Баранов Никита Алексеевич**, инженер Научно-инновационного сектора, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия; nikita\_ram96@mail.ru.

**Савва Аркадий Дмитриевич**, студент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия; savva.arkadiy@mail.ru.

### Information about the authors

**Aleksandr B. Moller**, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the M.I. Boyarshinov Department of Materials Processing by Pressure, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk; a.moller@magtu.ru.

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

**Nikita A. Baranov**, Engineer of the Scientific and Innovation Sector, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk; nikita\_ram96@mail.ru.

**Arkady D. Savva**, Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk; savva.arkadiy@mail.ru.

*Статья поступила в редакцию 25.09.2025*

*The article was submitted 25.09.2025*