



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-59-64>
УДК 669.

Поступила 13.07.2023
Received 13.07.2023

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАЛИБРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕЛ КАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ

В. В. БЕЛАШ, Ю. И. КОЗЫРЕВА, Ю. С. БЕЛАШ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: gcp.tu@bzm.gomel.by

В статье рассмотрены технологические схемы изготовления холоднодеформированной проволоки для производства тел качения подшипников. Рассмотрено несколько технологических схем производства проволоки. Представлена поэтапная разработка технологии волочения легированной (хромистой) подшипниковой марки стали. Описаны проблемы, возникающие при волочении подшипниковых сталей. Выявлена причина образования «шелушения» на поверхности катанки. Изложены пути решения проблемы, связанной с неудовлетворительным волочением проволоки из подшипниковых марок сталей.

Актуальность и новизна технических и технологических решений настоящей работы обусловлены отсутствием производства калиброванной проволоки для изготовления тел качения подшипников на территории Республики Беларусь. Разработка данного вида продукции позволит увеличить производство высокотехнологичной продукции с глубокой степенью переработки (калиброванной проволоки) для роста доходности и показателей эффективности. Создание производства калиброванной проволоки для изготовления тел качения подшипников позволит выйти на новых потребителей металлопродукции с увеличением добавленной стоимости готовой продукции.

Ключевые слова. Тела качения подшипников, заготовка, катанка, проволока, волочение, термообработка проволоки.

Для цитирования. *Белаш, В. В. Технология производства калиброванной проволоки для изготовления тел качения подшипников / В. В. Белаш, Ю. И. Козырева, Ю. С. Белаш // Литье и металлургия. 2023. № 3. С. 59–64. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-59-64>.*

TECHNOLOGY OF CALIBRATED WIRE PRODUCTION FOR BEARING ROLLING ELEMENTS MANUFACTURING

V. V. BELASH, Yu. I. KOZYREVA, Yu. S. BELASH, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMK”, Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: gcp.tu@bzm.gomel.by

The article considers technological schemes of cold-formed wire production for bearing rolling elements production. Several technological schemes of wire production are considered. The paper presents a step-by-step development of drawing technology of alloyed (chromium) bearing steel grade. Problems arising at drawing of bearing steels are described. The reason of formation of “flaking” on the surface of rod is revealed. Ways of solving the problem of unsatisfactory drawing of wire from bearing steel grades are stated.

Relevance and novelty of technical and technological solutions of the present work are caused by the absence of production of calibrated wire for manufacturing of rolling elements of bearings on the territory of the Republic of Belarus. The development of this type of production will allow to increase the production of high-tech products with a deep degree of processing (calibrated wire) for the growth of profitability and efficiency indicators. Creation of production of calibrated wire for manufacturing of rolling elements of bearings will allow to reach new consumers of metal products with increase of added value of finished products.

Keywords. Bearing rolling elements, billet, rod, wire, drawing, wire heat treatment.

For citation. *Belash V. V., Kozyreva Yu. I., Belash Yu. S. Technology of calibrated wire production for bearing rolling elements manufacturing. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 3, pp. 59–64. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-59-64>.*

Введение

Подшипники – незаменимые запчасти, обеспечивающие равномерное движение механизмов во время вращения. Без подшипников не обходится изготовление бытовых приборов, станков промышленного назначения, автомобилей и т. д. Одним из основных циклов производства подшипника является процесс изготовления тел качения, для реализации которого необходима холоднодеформированная проволока, произведенная из подшипниковых хромистых марок стали высокого качества. В соответствии с этим к стали, из которой изготавливают подшипники, предъявляют жесткие требования к микроструктуре,

неметаллическим включениям, твердости, глубине обезуглероженного слоя и карбидной неоднородности. Присутствие в стали скоплений твердых карбидов вызывает быстрый износ отдельных участков поверхности и преждевременный выход из строя подшипника.

Неметаллические включения являются концентраторами напряжений и играют определяющую роль при зарождении разрушений при холодной обработке металлов давлением [ГОСТ 801-78. Сталь подшипниковая]. В процессе волочения катанки в области включений образуются надрывы, которые, достигнув критического значения, приводят к обрыву проволоки уже при волочении.

Наличие дефектов металлургического производства приводит к значительному снижению эксплуатационной стойкости подшипников, поскольку большинство дефектов является концентраторами напряжений и очагами зарождения трещин под действием знакопеременных нагрузок [1].

Важными параметрами тел качения являются высокая твердость, износостойкость и сопротивляемость контактной усталости, которые напрямую зависят от наличия различных металлургических дефектов (сульфидных и оксидных включений, пористости и др.), попадая на рабочую поверхность, служат концентраторами напряжений, вызывая преждевременное разрушение стали от усталости. Не менее вредными факторами, способствующими преждевременному разрушению стали, являются карбидная ликвация и структурная полосчатость. Определенная микро- и макроструктура стали, задающая как обрабатываемость проволоки-заготовки при изготовлении тел качения, так и конечные характеристики элементов подшипников, обеспечиваются соблюдением определенных условий выплавки, разливки стали, термомеханической обработки при прокатке и термической обработке субпродуктов и готовой проволоки [2].

Подшипники качения – высокоточные, технологичные изделия, которые в процессе своего изготовления проходят через большое количество операций. При производстве подшипников используется специальная подшипниковая сталь с содержанием углерода от 0,95 до 1,15 % при обязательном присутствии хрома 0,6–1,5 %, что обеспечивает высокую твердость, сопротивляемость контактной усталости, износостойкость и хорошую прокаливаемость. Технологическая цепочка производства тел качения:

- нарезка стальной проволоки определенного диаметра;
- предварительная обработка давлением – получение заготовок для тел качения с припуском 350 мкм;
- окончательная обработка давлением – обработка заготовок для тел качения до получения припуска 100 мкм;
- термическая обработка;
- финишная обработка: шлифование и полирование изделий.

Для получения тел качения с необходимыми характеристиками требуется получение ряда свойств на проволоке-заготовке, таких, как:

- высокая твердость, износостойкость и сопротивляемость контактной усталости;
- сопротивление контактной усталости, которое напрямую зависит от наличия различных металлургических дефектов (сульфидных и оксидных включений, пористости и др.), которые, попадая на рабочую поверхность, служат концентраторами напряжений, вызывая преждевременное разрушение стали от усталости;
- строго заданный квалитет проволоки-заготовки, позволяющий производить изделия с требуемыми массогабаритными характеристиками, задаваемый точностью изготовления проволоки;
- требования к поверхности проволоки-заготовки, определяющие ее технологические и потребительские свойства, получаемые за счет верно организованных транспортно-логистических операций и обработки поверхности проволоки.

Экспериментальная часть

Для оценки возможности производства проволоки для дальнейшего изготовления тел качения диаметром 2,40–6,0 мм по ГОСТ 4727-83 использовали катанку диаметром 5,5–6,5 мм марки стали ШХ15, выплавленной в дуговой электропечи с последующим вакуумированием [ГОСТ 4727-83. Проволока подшипниковая]. Химический состав и физико-механические свойства катанки после проведения отжига катанки в печи типа KL-11 полностью соответствовали требованиям ГОСТ 801.

Производство холоднодеформированной проволоки проводили по основной разработанной схеме:

Катанка → сфероидизирующий отжиг (+АС) → травление катанки → волочение → увязка в бухты → поставка потребителю (схема № 1).

Для устранения закалочных структур исходной заготовки (катанки), полученной после проката, был применен сфероидизирующий отжиг. Сталь со структурой зернистого перлита обладает меньшей твердостью и легче обрабатывается, что особенно важно для дальнейшего волочения [3].

При производстве холоднодеформированной проволоки по разработанной схеме № 1 волочение предварительно отожженной и травленной катанки осуществляли по технологическим схемам, аналогичным производству высокоуглеродистой проволоки с использованием сухой волочильной смазки.

Результаты испытаний физико-механических свойств холоднотянутой проволоки приведены в таблице.

Физико-механические свойства холоднотянутой проволоки

Номинальный диаметр, мм	Фактический диаметр, мм	Используемый диаметр катанки, мм	Суммарная деформация, %	Овальность, мм	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²
6,0	5,96–5,98	6,5	14,8	0,01	734–757
5,70	5,65–5,66		23,1	0,01–0,02	795–830
5,20	5,16	5,5	10,7	0,02	689–751
4,60	4,55–4,56		30,0	0,01	824–892
3,90	3,86		49,7	0,01–0,02	940–973
3,40	3,38–3,40		61,8	0,01	1038–1063
2,80	2,77		74,1	0,01	1192–1196
2,40	2,38		80,9	0,01	1188–1237
Требование ГОСТ 4727	+0 / - 0,06			Не более 0,03	590–720

Как видно из результатов испытаний, временное сопротивление разрыву готовой продукции не соответствует требованиям ГОСТ 4727. Для достижения необходимых требований по временному сопротивлению проведен дополнительный отжиг готовой проволоки согласно следующей схеме:

Катанка → сфероидизирующий отжиг (+AC) → травление катанки → волочение → увязка в бухты → смягчающий отжиг (+A) → поставка потребителю (схема № 2).

Схема № 2 целесообразна для достижения прочностных свойств согласно ГОСТ 4727 на проволоке с суммарным обжатием более 10%, т. е. для всего рассматриваемого сортамента.

В процессе волочения катанки по схеме № 2 на поверхности катанки и проволоки было отмечено «шелушение», негативно влияющее на процесс волочения. В процессе волочения отмечено забивание входного канала волоки частицами «шелушения», что являлось причиной преждевременного износа волок. Внешний вид «шелушения» показан на рис. 1.

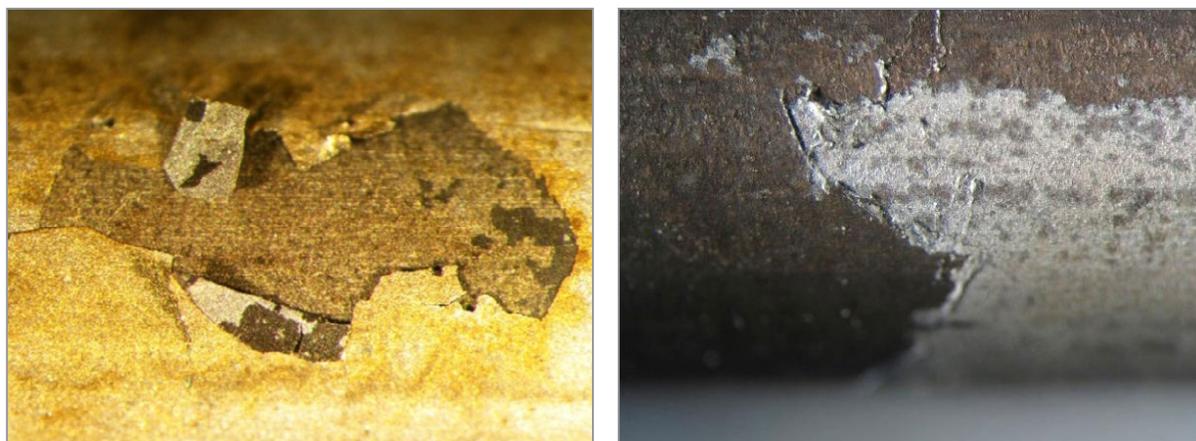


Рис. 1. Внешний вид «шелушения» проволоки в процессе волочения

Образования на поверхности образцов катанки после травления были исследованы на химический состав. На поверхности предоставленных образцов (катанки и проволоки), подвергнутых травлению и волочению, окалина не обнаружено; выявлены пики железа (спектр 2.1, рис. 2, спектр 1, рис. 3).

Данное «шелушение» на поверхности катанки, подвергнутой травлению и волочению, не является окалиной, а является, вероятнее всего, обезуглероженным железом (толщина 3–5 мкм), содержащим $\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)$, которое образуется при сфероидизирующем отжиге.

Повторное травление и увеличение времени травления не позволило устранить данное «шелушение», выявленное на поверхности катанки.

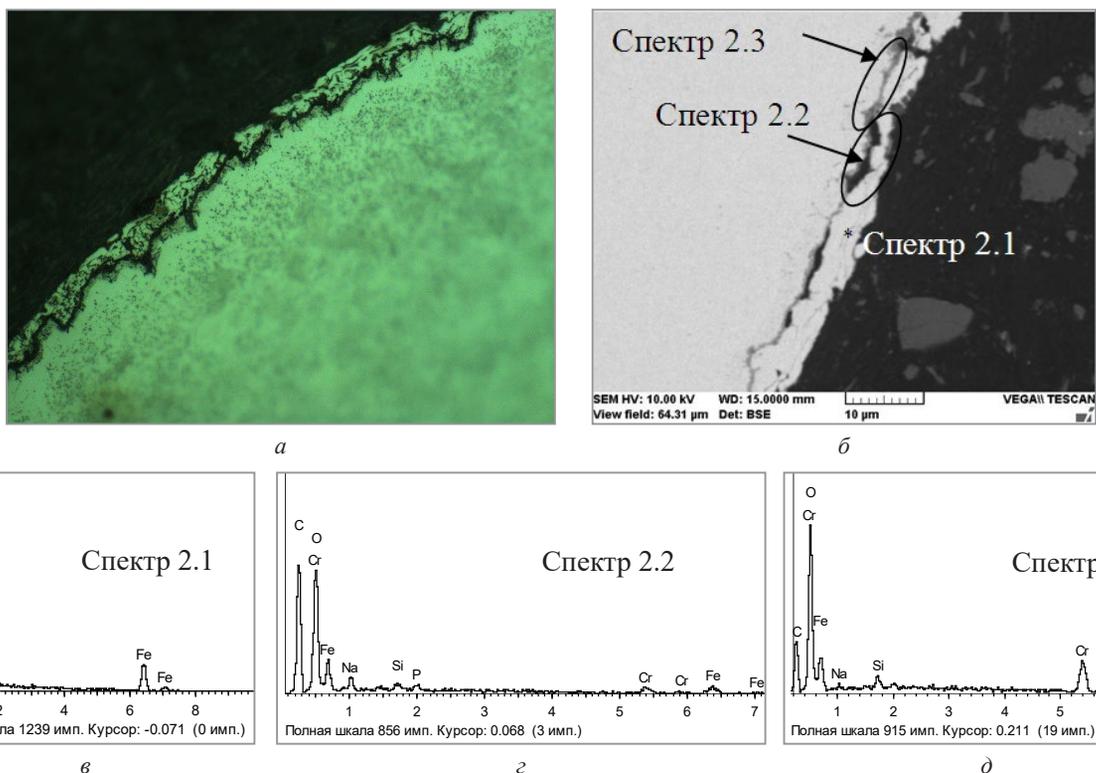


Рис. 2. Поперечное сечение катанки: *a* – внешний вид поверхности. $\times 200$;
б–д – спектры, собранные в зоне «шелушения» на растровом электронном микроскопе (РЭМ)

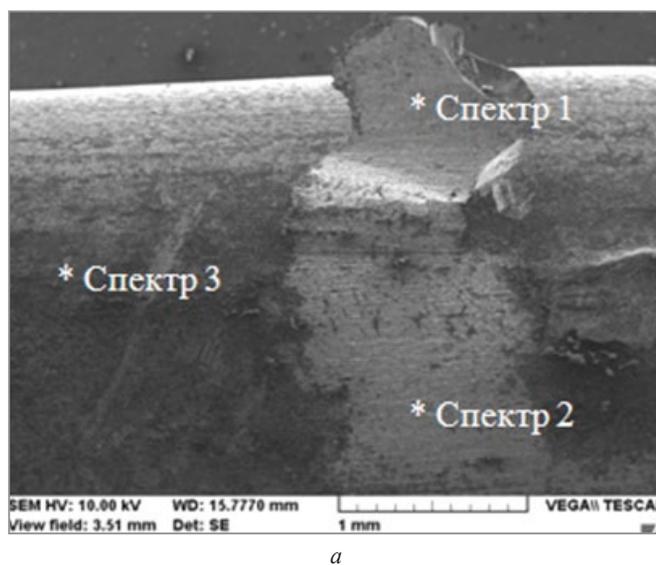


Рис. 3. Образец катанки: *a* – внешний вид поверхности;
б–г – спектры, собранные в зоне «шелушения» на растровом электронном микроскопе (РЭМ)

Для снижения себестоимости проволоки, а именно исключения второго отжига готовой проволоки, была опробована схема:

Катанка → травление катанки → волочение → увязка в бухты → сфероидизирующий отжиг (+АС) готовой проволоки → поставка потребителю (схема № 3).

При волочении проволоки без использования сфероидизирующего отжига по схеме № 3 при заправке волочильного оборудования отмечены ломкие обрывы проволоки, причиной которых служит наличие участков мартенсита в микроструктуре исходной катанки, имеющих пониженную пластичность и являющихся концентраторами напряжений при холодной пластической деформации, а также замкнутой карбидной сетки, приводящей к охрупчиванию границ зерен. Таким образом, технологическая схема № 3 (без термообработки катанки) не может быть использована для производства проволоки из подшипниковых сталей.

Для дальнейшей переработки данная травленая катанка была термообработана (отжиг +АС) с последующим волочением. Отмечено отсутствие «шелушения» на поверхности травленой катанки до и после термообработки, при волочении данной катанки проблем со стойкостью волок не выявлено.

Сравнительный внешний вид поверхности катанки показан на рис. 4.

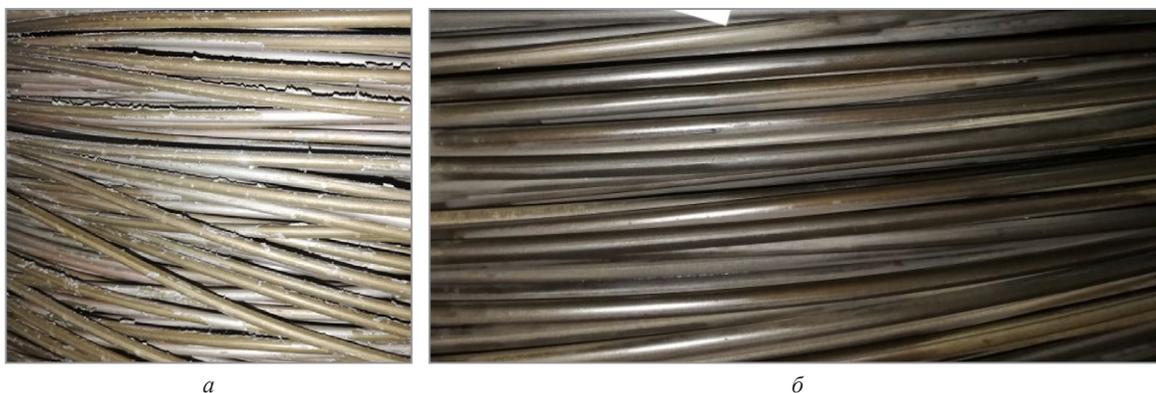


Рис. 4. Внешний вид травленой катанки: *a* – термообработанной после проката; *б* – термообработанной после химического удаления окалины

Для определения причин появления «шелушения» проведен сравнительный анализ образцов травленой катанки, термообработанной после проката и термообработанной после травления. Результаты металлографического исследования представлены на рис. 5.

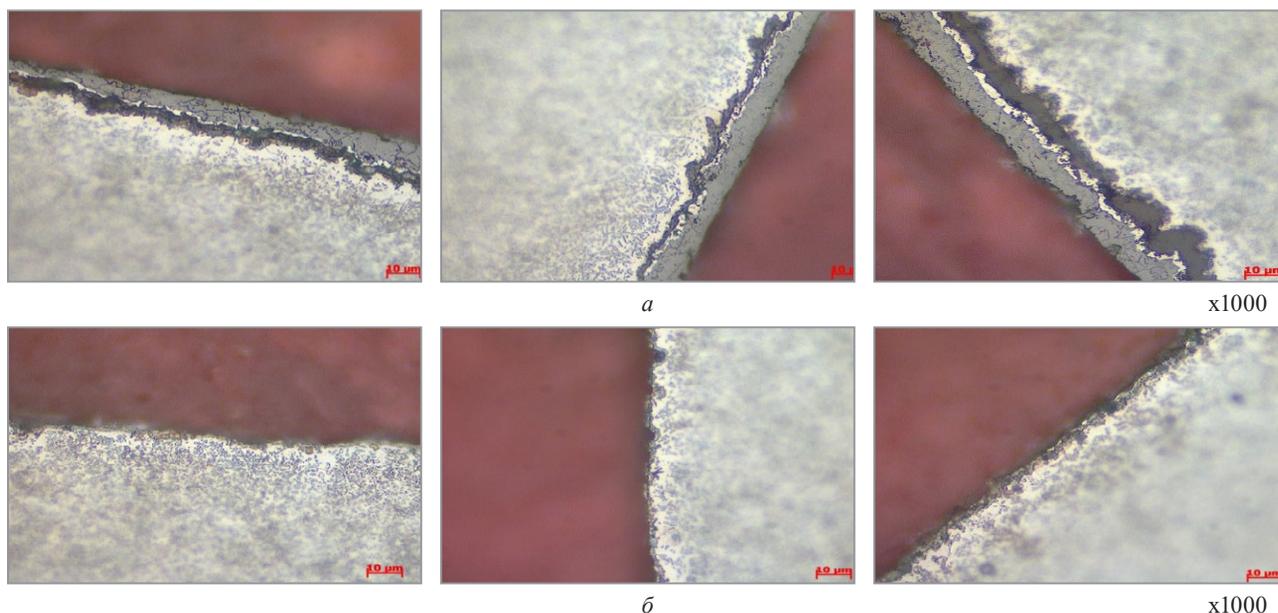


Рис. 5. Поперечное сечение катанки: *a* – термообработанной после проката; *б* – термообработанной после химического удаления окалины

Как видно из рисунка, на поверхности термообработанной катанки (без предварительного травления) присутствует промежуточный слой обезуглероженного железа, содержащий $\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)$, неудаляемого травлением. Указанный дефект образуется во время сфероидизирующего отжига катанки, предположительно является результатом окисления поверхности катанки, находящейся под окалиной.

Таким образом, согласно анализу полученных результатов исследования, для обеспечения высоко-технологичного процесса волочения оптимизирована технологическая схема изготовления проволоки для тел качения с обеспечением требуемых физико-механических свойств.

На основании полученных результатов разработана окончательная схема для производства проволоки, предназначенной для производства тел качения:

Катанка → травление катанки → сфероидизирующий отжиг (+АС) → волочение (схема № 4).

В результате проведения работы предложенная схема позволяет осуществлять волочение проволоки из хромистых сталей, таких, как стали марки ШХ15 (100Cr6).

Обсуждение результатов

1. Для производства шарикоподшипниковой проволоки из стали марки ШХ15 с обеспечением необходимой технологичности волочения обязательным условием является применение сфероидизирующего отжига катанки.

2. В результате проведения сфероидизирующего отжига катанки до операции травления на ее поверхности образуется слой обезуглероженного железа, содержащего $\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)$, неудаляемого при химическом травлении катанки, что приводит к снижению технологичности волочения.

3. Для проволоки с суммарным обжатием при волочении более 10% для достижения прочностных характеристик необходимо проведение дополнительного отжига на готовом размере.

Выводы

Разработана оптимальная схема волочения катанки для производства проволоки, используемой для производства тел качения из катанки марки ШХ15 (100Cr6):

Катанка → травление катанки → сфероидизирующий отжиг (+АС) → волочение.

Данная схема позволит осуществлять волочение проволоки из хромистых сталей, таких, как стали марки ШХ15 (100Cr6).

Для получения требуемых физико-механических свойств шарикоподшипниковой проволоки, согласно ГОСТ 4727, и обеспечения технологичности волочения предлагается технологическая схема:

Катанка → травление катанки → сфероидизирующий отжиг (+АС) → волочение → сфероидизирующий отжиг (+АС) для проволоки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башнин, Ю. А. Технология термической обработки стали / Ю. А. Башнин, Б. К. Ушаков, А. Г. Секей. М.: Металлургия, 1986. 426 с.
2. Гальдштейн, М. И. Специальные стали / М. И. Гальдштейн [и др.]. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
3. Новиков, И. И. Теория термической обработки: учеб. / И. И. Новиков. М.: Металлургия, 1986. 480 с.

REFERENCES

1. Bashnin Ju. A., Ushakov B. K., Sekej A. G. *Tehnologija termicheskoj obrabotki stali* [Steel heat treatment technology]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 426 p.
2. Gal'dshtejn M. I. et al. *Special'nye stali* [Special steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1985, 408 p.
3. Novikov I. I. *Teorija termicheskoj obrabotki* [Heat Treatment Theory]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 480 p.