

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING

УДК 621.78.015

Коротков Александр Николаевич¹, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой, **Короткова Лидия Павловна**¹, канд. техн. наук, доцент, **Соленцов Роман Вячеславович**², начальник отдела, **Шакиров Николай Викторович**¹, магистр

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²Министерство промышленности Кузбасса, Россия, 650000, г. Кемерово, пр. Советский, 63

E-mail: korotkov.a.n@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ГОРНО-ШАХТНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Аннотация: Подшипники качения горно-шахтного оборудования отличаются большими габаритными размерами и тяжелыми условиями эксплуатации. При анализе причин их преждевременного разрушения необходимо учитывать несколько факторов, связанных с неправильной эксплуатацией, сборкой конструкции, а также с низким качеством подшипниковых сталей и их термической обработки. Наличие дефектов микроструктуры приводит к различным видам разрушения подшипников: их раскалыванию, выкрашиванию и выбоинам поверхности, псевдобриннелированию, бриннелированию, абразивному износу. Однако качество металла подшипников в состоянии поставки, как правило, не контролируется.

В работе исследовалось качество подшипниковых сталей на подшипниках российского, шведского (SKF) и японского (NSK) производств. Эти производители являются основными поставщиками подшипников качения для горной промышленности России. Проблема контроля качества подшипниковых сталей решалась комплексно. Разработана методика контроля качества, которая учитывала состояние металла после металлургического передела и на стадии производства подшипников. Проведена апробация этой методики, выявлены основные виды дефектов подшипниковых сталей, влияющих на механизм разновидностей разрушения подшипниковых сталей.

В результате в данной работе показано, что качество подшипниковых сталей отечественных производителей не уступает зарубежным аналогам, то есть подшипники российского производителя являются конкурентоспособными. Предложен метод неразрушающего контроля для выявления возможных дефектов микроструктуры в подшипниках как в состоянии поставки, так и в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: подшипники качения, горная промышленность, качество подшипниковых сталей, микроструктура, контроль качества, эксплуатационные свойства, конкурентоспособность.

Информация о статье: принята 24 июля 2020 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-4-9-15

Актуальность работы.

Состояние подшипниковой промышленности оказывает непосредственное влияние на эффективность производства горнодобывающей техники. От качества подшипников зависит срок эксплуатации оборудования и это отражается на себестоимости конечного продукта, являясь показателем конкурентоспособности горнодобывающей продукции [1, 2].

Известно, что качество подшипников формируется на различных технологических этапах и зависит от следующих составляющих:

- качества технологии изготовления, включая металлургическое и заготовительное производства, а также механическую обработку;
- качества материалов и их термической обработки;
- эффективности сборки подшипников [3].

Контроль качества подшипников делится на две группы: в состоянии поставки и в процессе эксплуатации. В настоящее время используются следующие виды контроля: визуальный контроль; внешний осмотр; проверка маркировки; контроль легкости вращения и интенсивности



а



б



в

Рис. 1. Внешний вид исследованных элементов подшипников качения:
а) ролик крупногабаритного подшипника российского производителя;
б) внутренние и внешние кольца подшипника NSK;
в) ролик крупногабаритного подшипника SKF.

Fig. 1. External view of the investigated elements of rolling bearings:
a) a roller of a large-sized bearing of a Russian manufacturer;
b) NSK inner and outer bearing rings;
c) the roller of a large SKF bearing.

шума; контроль габаритных размеров, радиальных зазоров и вибрационных параметров [4].

К сожалению, на многих предприятиях в последнее время не проводится контроль качества металла подшипников, а от этого параметра в значительной степени зависит их работоспособность. Поэтому была поставлена задача по изучению качества подшипниковых сталей в подшипниках различных фирм-производителей для выявления возможных дефектов и задача по контролю качества сталей в этих подшипниках.

Методика исследования.

В настоящей работе представлена методика контроля качества подшипниковых сталей, разработанная на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» КузГТУ, которая базируется на действующих стандартах [5].

К подшипниковым сталям относятся стали марок ШХ4, ШХ15, ШХ15С [6]. Износостойкость этих сталей обеспечивается химическим составом, а именно высоким содержанием углерода, а также термической обработкой на формирование мартенситной структуры с максимальной твердостью HRC 60÷62. Усталостная прочность таких сталей обеспечивается за счет повышенных требований к их качеству. Подшипниковые стали предназначены для изготовления деталей машин, которые могут работать в условиях интенсивного абразивного, усталостного износа, а также в условиях высоких контактных давлений и ударных нагрузок. Поэтому к ним предъявляются повышенные требования по усталостной прочности и износостойкости. Подшипниковые стали идут на изготовление внутренних и внешних колец, шариков и роликов подшипников качения.

Проблема контроля качества подшипниковых сталей в данной работе решалась комплексно. В частности, как упоминалось, разработана

методика контроля качества, которая учитывает состояние металла после металлургического передела и на стадии производства подшипников. Эта методика учитывает параметры структуры и свойств, которые должны быть обеспечены сталям в состоянии поставки и на этапе упрочняющей термической обработки в соответствии с действующими стандартами.

В стандарт включены следующие параметры для контроля [7]:

- наличие дефектов (ГОСТ 801);
- линейные размеры и конфигурация (ГОСТ 6507 или ГОСТ 4381);
- химический состав (ГОСТ 54153);
- механические свойства (ГОСТ 9012 или ГОСТ 9013);
- макро- и микроструктура (ГОСТ 10243 и ГОСТ 801).

Проводился контроль микроструктуры подшипниковых сталей по следующим параметрам: обезуглероженный слой, микроструктура перлита, наличие остатков карбидной сетки и карбидной ликвации, структурная полосчатость, наличие неметаллических включений и микропористость [5].

Результаты исследования.

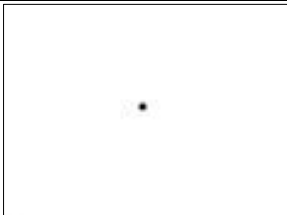
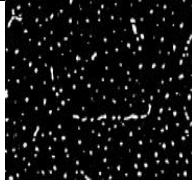


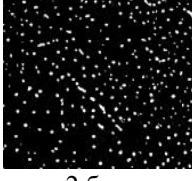


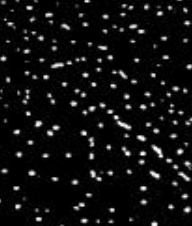
В настоящее время в горно-шахтном оборудовании на внутреннем рынке широко используются подшипники как отечественных, так и зарубежных производителей (SKF – шведская, FAG – немецкая, Коуро – японская, NSK – японская, SNR – французская компании). При производстве горнодобывающей техники, кроме отечественных, чаще всего используются подшипники шведской компании SKF и NSK [8,9,10].

Необходимо отметить, что на долю зарубежных компаний приходится до 65% подшипников, используемых в горно-шахтном оборудовании. Исходя из изложенного, эксперты отмечают, что

Таблица 1. Химический состав подшипников различных фирм-производителей
Table 1. Chemical composition of bearings of various manufacturers

Марки стали	Массовая доля элементов, %								
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Сера	Фосфор	Никель	Медь	Стандарт
ШХ15СГ	1.015	0.533	0.918	1.457	0,0005	0,01	0,041	0,09	ГОСТ 801
SUJ2 (ШХ15)	0.961	0.223	0.336	1.500	0,0005	0,01	0,069	0.073	JIS
100cr6 (ШХ15)	0,890	0,193	0,292	1,424	0,0007	0,01	0,017	0,066	DIN

Таблица 2. Результаты контроля качества подшипниковых сталей различных фирм-производителей подшипников
Table 2. Results of quality control of bearing steels of various bearing manufacturers

Фирмы-производители	Контролируемый параметр				
	HRC	Поры	Неметаллические включения (силикаты)	Неметаллические включения (оксиды)	Остатки карбидной сетки
Ролик Россия ШХ15СГ (ГОСТ 801-78)	64	Нет	 1 балл	Не обнаружены	 3 балл
Обойма Япония NSK (JIS) SUJ-2 аналог (ШХ15)	62	1 балл	 1балл	 1 балл	 2 балл
Ролик Швеция SKF (DIN) 100cr6 аналог (ШХ15)	60	1 балл	 1балл	 1балл	 2 балл

на рынке сложилась довольно напряженная ситуация, представляющая реальную опасность для отечественных производителей.

При производстве горно-шахтного оборудования используется вся основная номенклатура подшипников (шариковые, роликовые, комбинированные, игольчатые). Учитывая специфику эксплуатации и конструкцию оборудования (большие испытываемые статические и

динамические нагрузки и крупные размеры), применяются в основном роликовые и шариковые крупногабаритные подшипники различных конструкций [8].

В данной работе исследовались детали подшипников трех фирм:

- ролик крупногабаритного подшипника российского производства (рис 1, а);

Таблица 3. Влияние микроструктуры на скорость ультразвука и твердость подшипниковых сталей
Table 3. Influence of microstructure on the ultrasound speed and hardness of bearing steels

Структура	Твердость, НВ	Частота, КГц
Мелкозернистый перлит, 3-4 балла	163	8898
Без карбидной сетки	179	8886
100-процентный зернистый перлит, 4 балла	200	8870
Карбидная сетка, балл 3-4	203	8866
Крупнозернистый и полураспавшийся перлит, 7 баллов	217	8854
Карбидная сетка, 4 балла	229	8843
95-процентный перлит пластинчатый и полураспавшийся. 5-процентный зернистый перлит, 8 баллов	241	8841
Карбидная сетка, 4 балла, со следами контура	241	8841
Грубая карбидная сетка, 5 баллов	255	8841
100-процентный перлит пластинчатый	255	8841

- внутренние и внешние кольца подшипника NSK (рис 1, б);

- ролик крупногабаритного подшипника SKF (рис 1, в) [11,12,13].

Исследования проводились в соответствии с требованиями стандарта по вышеизложенной методике.

Контролировался химический состав сталей и осуществлялась идентификация сталей по маркам. Качество металлургического производства сталей оценивалось по микроструктуре: по наличию пор, неметаллических включений, карбидной ликвации и строчечности. Качество термической обработки определялось по твердости, а также по микроструктуре: исследовалось наличие остатков карбидной сетки и определялся размер ячеистой структуры.

Обсуждение результатов исследования.

Химический состав исследованных подшипников приведен в табл. 1, а результаты исследования качества подшипниковых сталей – в табл. 2. Из них видно, что химический состав соответствует российским стандартам и требованиям зарубежных фирм-поставщиков [7, 14].

Твердость в основном соответствует требованиям стандартов (60-62 HRC). На границе требования находится только подшипник фирмы SKF (60 HRC).

Результаты металлографических исследований также показали соответствие микроструктуры требованиям стандарта у подшипниковых сталей всех трех производителей. Параметры микроструктуры отличаются, но все они находятся в пределах допустимых значений, а именно: неметаллические включения соответствуют 1 баллу (допустимый 2), остатки карбидной сетки находятся в интервале от 2-3 балла (допустимый 3). Поры в российском изделии не обнаружены, а в образцах SKF и NSK они имеются и соответствуют 1 баллу (допустимый – 2).

Дополнительно исследованы подшипниковые стали в состоянии поставки отечественного производителя на соответствие по требованиям стандарта (ГОСТ 801). Дефекты структуры могут

возникнуть на разных технологических этапах изготовления подшипников.

Это могут быть дефекты металлургического и заготовительного производства, вызванные термической, механической обработками и шлифованием, причем дефекты в структуре сталей могут быть исправимыми и неисправимыми.

Дефекты микроструктуры опасны на стадии производства подшипников, так как они приводят к повышению твердости до 260-280 НВ и тем самым ухудшают технологические свойства, особенно обрабатываемость резанием и давлением. Это устранимые дефекты на стадии производства, но важно обнаружить их в состоянии поставки и предотвратить возможные отрицательные последствия.

На работоспособность готовых подшипников существенно влияют дефекты микроструктуры, так как они наследуются и приводят к ухудшению эксплуатационных свойств. Микро- и макроликвация, пористость в сердцевине, дефекты микроструктуры (карбидная сетка, карбидная ликвация, обезуглероженный слой), поверхностные нарушения сплошности металла (закаты, рванины, волосовины, трещины ковошные, шлифовочные, травильные, вмятины, раковины, усадочные раковины, центральная и общая пористость, газовые пузыри, флокены) приводят к различным видам разрушения подшипников: выкрашиванию поверхности, раскалыванию подшипников, выбоинам поверхности, псевдобриннелированию, бриннелированию, абразивному износу.

Микроструктура всех исследованных подшипниковых сталей отечественных производителей в состоянии поставки представляла перлит зернистый с вторичными включениями карбидов. Чаще всего она соответствовала требованиям стандарта и не превышала по зернистости перлита допустимый 4 балл. Глубина обезуглероженного слоя находилась преимущественно в интервале от 0,15 до 0,3 мм, что соответствует допустимым значениям. Твердость сталей в состоянии поставки находилась в интервале 179-207 НВ, после упрочняющей обработки (неполная закалка с последующим низким отпускком) она

составляла 62-64 HRC. Остатки карбидной сетки не превышали в большинстве случаев 3 балл.

Однако в ходе исследований были обнаружены дефекты структуры в образцах, вырезанных на концах трубы. Здесь выявлены: обезуглероженный слой (устраняется механической обработкой); остатки пластинчатого перлита выше допустимого (выше 4 балла) и остатки карбидной сетки выше 3 балла (брак устраняется повторным отжигом). Дефекты металлургического производства в виде неметаллических включений и пор в структуре всех исследуемых отечественных сталей обнаружены не были, что свидетельствует о высоком качестве металлургического производства отечественных подшипниковых сталей.

В данной работе проведены также исследования в направлении выбора метода неразрушающего контроля для сортировки подшипников по качеству металла с целью выявления опасных дефектов микроструктуры готовых подшипников. Для этого выбран ультразвуковой метод, основанный на автоциркуляции импульсов ультразвука. [15] Измерения проводились на измерительно-вычислительном приборе «Астрон» (табл. 3).

Результаты исследований, представленные в таблице 3 в виде значений частоты автоциркуляции импульсов поверхностных акустических волн, прошедших по участку контролируемого металла, свидетельствуют о взаимосвязи скорости звука между структурой и твердостью подшипниковой стали и могут быть заложены в основу использования метода неразрушающего контроля по качеству металла в готовых подшипниках.

Выводы

Изучено состояние рынка подшипниковой промышленности в России. Установлено, что в связи с острой конкуренцией отечественный рынок производства подшипников замещается иностранными фирмами-производителями.

Разработана методика контроля качества подшипниковых сталей в состоянии поставки и после термической обработки на основе технических требований по ГОСТ 801; систематизированы возможные виды дефектов сталей в состоянии поставки и после упрочняющей термической обработки, а также способы их устранения.

Проведены исследования качества подшипниковых сталей на примере подшипников различных фирм-производителей (SKF и NSK). Установлено, что отечественные подшипниковые стали в состоянии поставки соответствуют стандарту (ГОСТ 801). По качеству сталей в готовых подшипниках по показателям структуры и свойствам отечественные изделия не уступают зарубежным аналогам производства. Таким образом, подшипники российского производства являются конкурентоспособными.

Предложен метод акустического неразрушающего контроля для рассортировки готовых подшипников по качеству подшипниковых сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Voeth S. Maschinen Grundlagen der Elemente und Systeme Teil1: Maschinenelemente. - TH Georg Agricola, 2018 – 256 s.
2. Косоруков Н.Д. Машины и оборудование для шахт и рудников / Н.Д. Косоруков, И.С. Солопин, С.Х. Клорикьян // М: изд-во Московского государственного горного университета, 2002. – 471 с.
3. Michael W. Washo Bearings with Rolling Contact / Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers. 10th edition. Eugene A. Avallone Editor Consulting Engineer; Theodore Baumeister III Editor Retired Consultant. – McGraw-Hill, New York, San Francisco, Washington, D.C. et al., 1996, pp. 8-132 – 8-138.
4. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Входной контроль подшипников качения / Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2011. – №3. – С. 5-14.
5. Шакиров Н.В., Видин Д.В. Методика контроля качества подшипниковых сталей. XII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 16-19 апреля 2019 г.
6. Гольдштейн М.И. Специальные стали: учеб. для вузов / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, М.Г. Векслер. – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.
7. ГОСТ 801-78. Сталь подшипниковая. Технические условия. – Введ. 1980-01-01. – Москва: Изд-во стандартов, 2004. – 23 с.
8. Шакиров Н.В., Лашинина С.В. Современное состояние рынка производства подшипников качения для горнодобывающей техники. XII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 21-24 апреля 2020 г.
9. Любимов О.В. Повышение ресурса подшипниковых опор шнекового става машин горизонтального бурения. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – Кемерово, КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2012. – 203 л.
10. Черменский О.Н., Федотов Н.Н. Подшипники качения: Справочник-каталог. - М: Машиностроение, 2003. - 576 с.
11. Официальный сайт московского завода по изготовлению шарикоподшипников «ГПЗ-1» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gpz1.ru/>.
12. Официальный сайт «SKF» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.skf.com/ru/index.html>.
13. Официальный сайт «NSK EUROPE LTD.» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nsk.com/index.html>.
14. Ключ к сталям [Текст]: справочник / авт.-сост. К. Вегст, М. Вегст; пер. с 20-го нем. изд.

Alexander N. Korotkov¹, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Head of Department, **Lidia P. Korotkova¹**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Roman V. Solentsov²**, Head of Department, **Nikolay V. Shakirov¹**, Master

¹Kuzbass State Technical University, 650000, 28, Vesennyya St., Kemerovo, Russia

²Ministry of Industry of Kuzbass, 650000, 63, Sovetskiy Ave., Kemerovo, Russia

RESEARCH OF THE QUALITY OF STEELS OF ROLLING BEARINGS BY DIFFERENT MANUFACTURERS USED IN MINING EQUIPMENT

Abstract: Rolling bearings in mining equipment are characterized by large dimensions and severe operating conditions. When analyzing the causes of their premature failure, it is necessary to take into account several factors associated with improper operation, assembly of the structure, as well as the poor quality of bearing steels and their heat treatment. The presence of defects in the microstructure leads to various types of destruction of bearings: their splitting, chipping and gouging of the surface, pseudo brinelling, brinelling, abrasive wear. However, the quality of the metal of the bearings as delivered is generally not controlled.

The work investigated the quality of bearing steels on bearings of Russian, Swedish (SKF) and Japanese (NSK) production. These manufacturers are the main suppliers of rolling bearings for the Russian mining industry. The problem of quality control of bearing steels was solved in a complex manner. A quality control technique was developed, which took into account the state of the metal after metallurgical processing and at the stage of bearing production. The approbation of this technique was carried out, the main types of defects in bearing steels, which affect the mechanism of types of destruction of bearing steels, were identified.

As a result, this work shows that the quality of bearing steels of domestic manufacturers is not inferior to foreign counterparts, that is, bearings of a Russian manufacturer are competitive. A non-destructive testing method is proposed for detecting possible microstructure defects in bearings both in the state of delivery and during their operation.

Keywords: rolling bearings, mining, bearing steel quality, microstructure, quality control, performance, competitiveness.

Article info: received July 24, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-4-9-15

REFERENCES

1. Voeth S. Maschinen Grundlagen der Elemente und Systeme Teil1: Maschinenelemente. - TH Georg Agricola, 2018 – 256 s.

2. Kosorukov N.D. Mashiny i oborudovanie dlya shaht i rudnikov / N.D. Kosorukov, I.S. Solopin, S.H. Klorik'yan // M: izd-vo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2002. – 471 s.

3. Michael W. Washo Bearings with Rolling Contact / Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers. 10th edition. Eugene A. Avallone Editor Consulting Engineer; Theodore Baumeister III Editor Retired Consultant. – McGraw-Hill, New York, San Francisco, Washington, D.C. et al., 1996, pp. 8-132 – 8-138.

4. Sidorov V.A., Sotnikov A.L. Vhodnoj kontrol' podshipnikov kacheniya / Vibraciya mashin: izmerenie, snizhenie, zashchita. – 2011. – №3. – S. 5-14.

5. Shakirov N.V., Vidin D.V. Metodika kontrolya kachestva podshipnikov stalej. XII Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenykh «ROSSIYA MOLODAYA» 16-19 aprelya 2019 g.

6. Gol'dshtejn M.I. Special'nye stali: ucheb. dlya vuzov /

M.I. Gol'dshtejn, S.V. Grachev, M.G. Veksler. – M.: Metallurgiya, 1985. – 408 s.

7. GOST 801-78. Stal' podshipnikovaya. Tekhnicheskie usloviya. – Vved. 1980-01-01. – Moskva: Izd-vo standartov, 2004. – 23 s.

8. Shakirov N.V., Lashchinina S.V. Sovremennoe sostoyanie rynka proizvodstva podshipnikov kacheniya dlya gornodobyvayushchej tekhniki. XII Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenykh «ROSSIYA MOLODAYA» 21-24 aprelya 2020 g.

9. Lyubimov O.V. Povyshenie resursa podshipnikov opor shnekovogo stava mashin gorizonta'nogo bureniya. Dissertaciya na soiskanie

uchenoj stepeni k.t.n. – Kemerovo, KuzGTU imeni T.F. Gorbacheva, 2012. – 203 l.

10. Chermenskij O.N., Fedotov N.N. Podshipniki kacheniya: Spravochnik- katalog. - M: Mashinostroenie, 2003. - 576 s.

11. Oficial'nyj sayt moskovskogo zavoda po izgotovleniyu sharikopodshipnikov «GPZ-1» [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://gpz1.ru/>.

12. Oficial'nyj sayt «SKF» [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.skf.com/ru/index.html>.

13. Oficial'nyj sayt «NSK EUROPE LTD.» [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.nsk.com/index.html>.

14. Klyuch k stalyam [Tekst]: spravochnik / avt.-sost. K. Vegst, M. Vegst; per. s 20-go nem. izd. pod red. E.Yu. Kolpishona – SPb. : Professiya , 2006 – 724 s.

15. Smirnov A.N. Razrushenie i diagnostika metallov / A.N. Smirnov, V.V. Murav'ev, N.V. Ababkov // M: Innovacionnoe mashinostroenie; Kemerovo: Sibirskaya izdatel'skaya gruppa, 2016. – 479 s.

Библиографическое описание статьи

Коротков А.Н., Короткова Л.П., Соленцов Р.В., Шакиров Н.В. Исследование качества сталей подшипников качения различных производителей, используемых в горно-шахтном оборудовании // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 4 (150). – С. 9-15.

Reference to article

Korotkov A.N., Korotkova L.P., Solentsov R.V., Shakirov N.V. Research of the quality of steels of rolling bearings by different manufacturers used in mining equipment. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.4 (150), pp. 9-15.