

УДК 620.178

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОДШИПНИКОВ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С.А. Пахомова¹, А.А. Климкина², М.А. Гресс³

¹кандидат технических наук, доцент, e-mail: vladisl-2013@yandex.ru

²студент, e-mail: mgtu2013@yandex.ru

³старший преподаватель, e-mail: gressma75@gmail.com

^{1,2,3}кафедра «Материаловедение», Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, Россия

Аннотация. В работе изложено исследование технологии термической обработки подшипников горнодобывающих машин - важной научной задачи, решение которой приведет к увеличению их эксплуатационного ресурса.

Основная причина повреждения подшипников связана с развитием процессов контактной усталости. Причина усталостных повреждений – высокие напряжения сдвига в подповерхностных слоях дорожек качения, порождающие трещины, которые распространяются по направлению к поверхности. В работе предлагаются пути решения проблемы повышения контактной долговечности тяжело нагруженных коррозионно-стойких шариковых подшипников.

Ключевые слова: шариковые подшипники, коррозионностойкие подшипниковые стали, вакуумная термическая обработка, твердость, контактная выносливость.

THE TECHNOLOGY OF HEAT TREATMENT OF CORROSION RESISTANT BEARINGS FOR THE MINING INDUSTRY

S. Pakhomova¹, A. Klimkina², M. Gress³

¹ Ph.D., assistant Professor, e-mail: vladisl-2013@yandex.ru

² student, e-mail: mgtu2013@yandex.ru

² senior Lecturer, e-mail: gressma75@gmail.com

^{1, 2, 3} Bauman Moscow State Technical University, Materials Department, Russia

Abstract. This work presents a study of the technology of bearings heat treatment for mining machinery is an important scientific problem, the solution of which will increase their service life. Bearings are often subjected to significant loads. They work in polluted humid atmosphere and at high temperatures.

The main cause of bearing damage is the development of contact fatigue processes. The paper suggests ways of solving the problem of improving the contact endurance of corrosion-resistant ball bearings.

Keywords: ball bearings, bearing corrosion-resistant steels, vacuum heat treatment, hardness, contact endurance.

Введение. Шарикоподшипниковые стали подвержены воздействию высоких нагрузок переменного характера. Основными требованиями являются высокая износостойкость, прочность, предел выносливости, отсутствие концентраторов напряжений, неметаллических включений и различных полостей, а также их размерная стабильность [1].

Основная причина повреждения подшипников связана с развитием процессов контактной усталости. Причина усталостных повреждений – высокие напряжения сдвига в подповерхностных слоях дорожек качения, порождающие трещины, которые распространяются по направлению к поверхности. Перекатывание тел качения по трещинам приводит к скалыванию (выкрашиванию) частиц материала, из которого изготовлен подшипник. Этот процесс постоянно усиливается не только из-за роста напряжений, но и под действием продуктов контактного изнашивания – частиц выкрашивания [1, 3].

Для обеспечения работоспособности основных деталей подшипников, работающих в условиях высоких контактных напряжений и изнашивания, материал должен иметь повышенную прочность, структурную однородность и твердость [3].

Для изготовления деталей прецизионных подшипников качения часто используют коррозионностойкие стали 60X13C-ШД, 95X18-Ш и 110X18M-ШД. Для обеспечения заданных свойств, изделия из этих сталей закаливают, обрабатывают холодом и однократно отпускают – это самая распространенная термическая обработка на сегодняшний день.

Для нагрева под закалку используют соляные ванны и печи с защитной атмосферой, в качестве закалочной среды используют масло. Недостатки такой ТО: а) применение соляных ванн и печей с защитной атмосферой не дает полной гарантии отсутствия окисления; б) возможно перераспределение легирующих элементов в поверхностном слое из-за их внутреннего окисления; в) необходимость тщательной очистки изделий после термической обработки.

Указанных недостатков лишена термообработка в новых вакуумных печах. Неоспоримые преимущества вакуумной ТО: а) после упрочняющей обработки получается чистая, лишенная окалины поверхность; б) из технологического цикла исключается операция мойки и повышается культура производства.

Цель работы: установление эффективности и выбор оптимальных режимов вакуумной термической обработки, обеспечивающей твердость 58...63 HRC. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1) определить время прогрева детали с учетом заданного поперечного сечения изделий; 2) определить давление охлаждающего газа при минимальном искажении их геометрии.

Методика и объекты исследования. Для выполнения работы использовали: кольца шариковых подшипников различных типоразмеров и металлографические образцы-свидетели с размерами, соответствующими геометрии обрабатываемых колец (в качестве образцов-свидетелей допускалось использование бракованных изделий); тестовые кольца для исследования коробления при закалке и тестовые образцы для испытаний на контактную выносливость.

Объекты исследования изготавливали из нержавеющей сталей: 60X13C-ШД, 95X18-Ш и 110X18M-ШД (табл. 1).

Таблица 1 - Химический состав сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Mn	Si	Mo	Cr	Ni	Cu	Ce	Zr
110X18M-ШД	1,10... 1,12	0,50... 1,00	0,53... 0,93	0,50... 0,80	16,50... 18,00	≤0,30	≤0,30	—	—
95X18-Ш	0,90... 1,00	≤0,70	≤0,80	—	17,00... 19,00	—	—	—	—
60X13C-ШД	0,56... 0,63	0,20... 0,60	1,20... 1,60	—	13,00... 13,90	≤0,30	≤0,30	0,05	0,05

Упрочняющую термообработку проводили в вакуумной печи 10.0VPT-4020/24N производства компании "SECO/WARWICK SA" [2]. Вакуумная печь является оборудованием высокого давления с двойным кожухом, охлаждаемым водой. Эта печь характеризуется компактной конструкцией и оборудована внутренними воздухоподводкой и теплообменником. Вентилятор конвекции обеспечивает быстрое и равномерное нагревание садки при низких температурах, что позволяет совместить процессы закалки и отпуска в одном автоматическом цикле. Многосопловая система охлаждения обеспечивает равномерность охлаждения обрабатываемого материала.

Конструкция печи обеспечивает возможность быстрого охлаждения в инертном газе, либо охлаждения в вакууме или при малом давлении инертного газа.

Для измерения температуры внутреннего пространства нагревательной камеры используют термоэлементы системы регулирования и защиты типа ТПП(S). Кроме того, возможно измерение температуры посредством двух кабельных термоэлементов погружения типа ТНН(N), рабочие спаи которых могут быть размещены в любых точках обрабатываемой садки изделий.

Двухступенчатая насосная система служит для вывода газов из рабочего пространства печи и обеспечения требуемого вакуума.

Обрабатываемый материал размещают в нагревательной камере на поде, выполненном из двух параллельных графитных балок, установленных на графитовых опорах. Загрузку садки в печь производят с помощью погрузчика.

Обработка в вакуумной печи состояла из следующих операций: 1) формирование садки и ее загрузка в нагревательную камеру; 2) предварительное и окончательное вакуумирование; 3) нагрев садки в вакууме до температуры закалки с одной или двумя изотермическими выдержками для равномерного прогрева садки; 4) выдержка при максимальной температуре нагрева для диффузионного выравнивания; 5) закалочное охлаждение в атмосфере азота высокого давления; 6) выгрузка садки.

Измерение твердости поверхности образцов-свидетелей проводили по методу Роквелла (ГОСТ 9013) на приборе TP5006-02.

Металлографические исследования после термообработки проводили на образцах-свидетелях после различных операций упрочняющей обработки при увеличении 200 крат на металлографическом микроскопе *Olympus GX-51*.

Проведение экспериментов и их обсуждение. Режим обработки образцов включает операции по следующей базовой схеме:

- 1) предварительный нагрев: $t = 840...850$ °С, $\tau = 20...30$ мин.;
- 2) окончательный нагрев: $t = 1080...1090$ °С, $\tau = 1,5$ мин. на 1 мм сечения деталей, но не менее 4 мин., вакуум от 13,333 до 0,133 Па;
- 3) охлаждение в азоте особой чистоты при избыточном давлении до 0,6 МПа;
- 4) обработка холодом при $t = -70...-80$ °С, $\tau = 1$ ч (с задержкой не более 2,5 ч);
- 5) отпуск при $t = 400...420$ °С, $\tau = 5$ ч.

Оптимизацию временных параметров технологического режима для обеспечения прогрева сердцевины с учетом заданного поперечного сечения изделий при максимальной температуре нагрева проводили с использованием одного из термоэлементов погружения типа ТНН(М), рабочий спай которого вводили в глухое отверстие образца-свидетеля. Установлено оптимальное с точки зрения гомогенизации структуры и роста зерна аустенита время выдержки при максимальной температуре нагрева: для значений толщин колец подшипников от 1,05 до 2,25 мм это время составило от 4 до 8 мин от момента достижения температуры нагрева на 5 °С меньше максимальной заданной температуры нагрева.

Для оптимизации давления охлаждающего газа закаливали в азоте при избыточном давлении 0,73 МПа тонкостенные тестовые кольца из стали 110Х18М-ШД и проводили полную термическую обработку по базовой схеме при двух давлениях охлаждающего газа (0,1 и 0,6 МПа) образцов для испытаний на контактную выносливость.

Измерение размеров и овальности тестовых колец до и после закалки по исследуемой технологии (рис. 1) показало, что они уменьшились на 0,4...0,9 % (в среднем на 0,6 %).

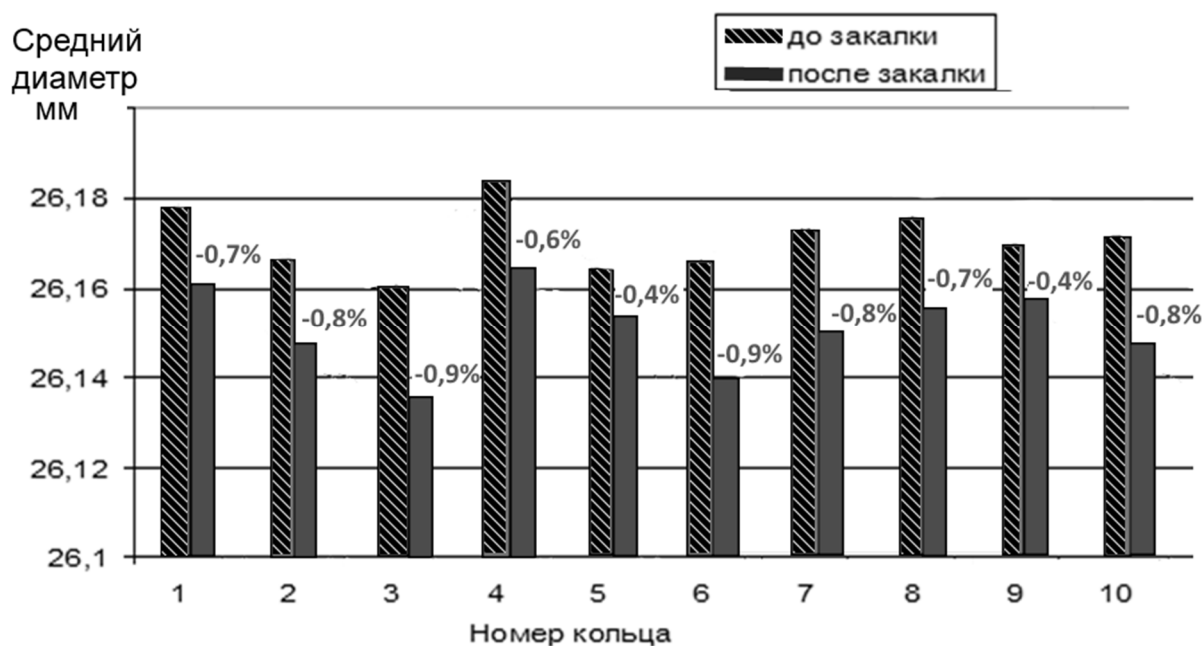


Рис. 1. – Изменение размеров тестовых колец при закалке

Это гораздо меньше, чем после стандартной ТО (в среднем 1,0 %). Таким образом была установлена большая размерная стабильность деталей после вакуумной ТО.

Результаты испытаний на контактную выносливость (рис. 2) показывают возможность повышения контактной прочности обрабатываемых изделий при увеличении давления охлаждающего газа. Можно предположить, что одной из причин упрочнения является более равномерное распределение вторичных карбидных фаз после закалки при большем давлении. Для объяснения причин роста контактной прочности требуются дополнительные структурные исследования.

Сопоставление результатов измерений тестовых колец и результатов испытаний на контактную выносливость дало возможность определить оптимальное с точки зрения полученных результатов давление охлаждающего газа, которое составило 0,6 МПа.

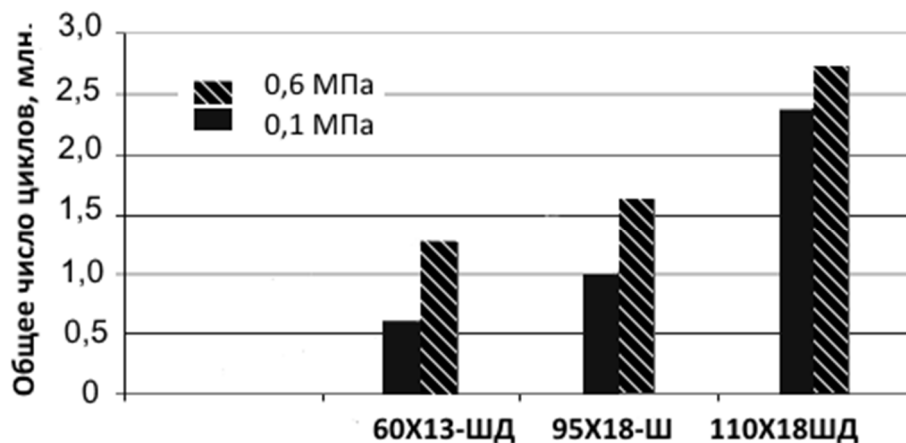


Рис. 2. – Результаты испытаний на контактную выносливость после полной ТО при давлении охлаждающего газа 0,1 и 0,6 МПа

Результаты термической обработки. Для контроля результатов ТО изделий использовали измерение твердости по Роквеллу (*HRC*) образцов-свидетелей (табл. 2), а также анализ микроструктуры после различных операций упрочняющей обработки. Видно, что их твердость после различных операций термической обработки не отклоняется от общепринятых значений, а твердость после полной ТО соответствует предъявляемым к подшипникам требованиям (58...63 *HRC*).

Таблица 2. Результаты измерения твердости образцов-свидетелей после различных операций термической обработки

Материал	Твердость <i>HRC</i> в различных состояниях		
	после закалки	после обработки холодом	после отпуска
60X13С-ШД	58,8...59,4	59,9...61,3	58,3...59,8
95X18-Ш	59,1...60,0	60,9...61,7	58,0...58,3
110X18М-ШД	54,9...60,3	61,6...64,2	58,8...61,0

Выводы. 1. Установлена целесообразность использования вакуумной термической обработки для упрочнения колец и шариков шарикоподшипников из коррозионностойких сталей вместо стандартной термической обработки.

2. Определено время прогрева деталей при закалке для обеспечения заданных свойств изделий.

3. Результаты испытаний на контактную выносливость показывают возможность повышения контактной прочности обрабатываемых изделий при увеличении давления охлаждающего газа до 0,6 МПа.

4. Установлено, что вакуумная ТО обеспечивает высокую размерную стабильность деталей подшипников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х томах. М.: Машиностроение, 2001.
2. Смирнов А.Е., Семенов М.Ю. Применение вакуумной термической и химико-термической обработки для упрочнения тяжело нагруженных деталей машин, приборов и инструмента. / Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2014. № 2. С. 343-359.
3. Тарасенко Л.В., Пахомова С.А., Унчикова М.В. Материаловедение. - М.: Инфа-М, 2013 – 267 с.

УДК 621.893

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИКАТОРОВ ТРЕНИЯ В УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Р.С. Пугач

аспирант, кафедры технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: dracov-pugach@yandex.ua

Аннотация. В работе проведено исследование образцов из стали 40Х после поверхностно пластической деформации с одновременным внесением в зону деформации геомодификатора трения «ГЕОМ». Полученные результаты интегрированной технологии обработки рабочих поверхностей свидетельствуют о повышении износостойкости деталей в 2,5 - 3 раза.

Ключевые слова: геомодификатор трения, износостойкая пленка, износостойкость, поверхностная пластическая деформация, шероховатость.

ON THE USAGE OF FRICTION MODIFIERS IN STRENGTHENING TECHNOLOGIES

Ruslan Puhach

Postgraduate, Department of Mechanical Engineering Technology of Mining, State Higher Educational Institution «National Mining University», Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: dracov-pugach@yandex.ua

Abstract. Research of steel samples after overground plastic deformation with synchronous addition of friction modifier «GEOM» to deformation zone have been passed in work. Obtained results of integrated processing technology of working surfaces shows the increasing of details' wear-resistance at 2,5 - 3 times.

Keywords: friction modifier, wear-resistant layer, wear-resistance, overground plastic deformation, roughness.