

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ВНУТРЕННИХ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

УО «БГАТУ», г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Приведены результаты использования способа магнитно-абразивной обработки внутреннего кольца подшипника с целью повышения его коррозионной стойкости.

**Ключевые слова:** кольца подшипников, магнитно-абразивная обработка, коррозионная стойкость, шероховатость.

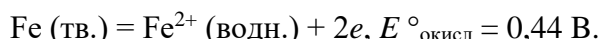
## TECHNOLOGICAL SUPPLY CORROSION RESISTANCE INTERNAL RINGS OF BEARINGS

**Abstract.** The results of using the method of magnetic abrasive processing of the inner ring of the bearing are presented in order to increase its corrosion resistance.

**Key words:** bearing rings, magnetic abrasive treatment, corrosion resistance, roughness.

В сельскохозяйственной технике широко применяются подшипники качения, большинство из которых работают в агрессивных средах, поэтому к ним предъявляют высокие требования. Одной из основных причин выхода из строя подшипников является коррозия [1]. Коррозия подшипника проявляется в виде пятен от красного до черного цвета, что приводит к отслоению материала. Она может быть химической, под действием окисленного масла, агрессивных продуктов, проникших из-за дефектов уплотнения, или электрохимической с образованием ржавчины от проникновения воды или чрезмерной конденсации.

При электрохимической коррозии возникает электрическая цепь. При этом могут быть случаи коррозии как одного металла, так и металлов в контакте [2]. Некоторые участки поверхности железа служат анодом, на котором происходит его окисление ( $E^\circ$  – стандартный электродный потенциал):



Образующиеся при этом электроны перемещаются по металлу к другим участкам поверхности, которые играют роль катода. На них происходит восстановление кислорода (рисунок 1):

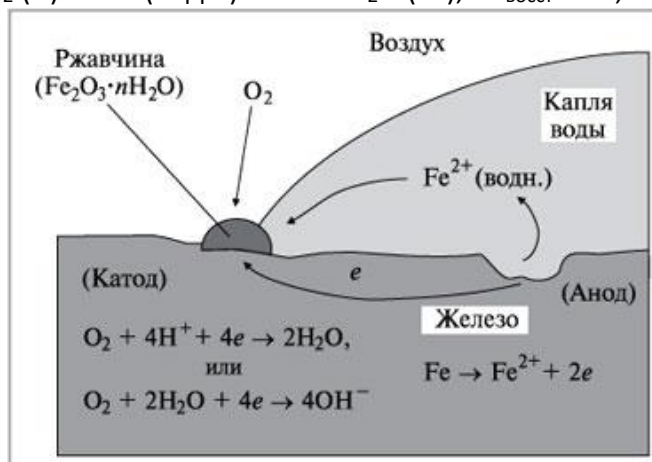
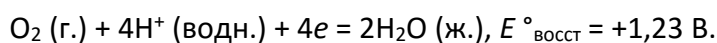
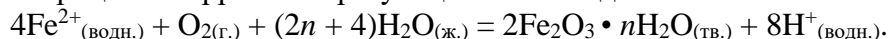


Рисунок 1. Схема электрохимической коррозии железа без контакта с другими металлами

В восстановлении кислорода участвуют ионы  $H^+$ . Если концентрация  $H^+$  понижается (при повышении pH), восстановление  $O_2$  затрудняется. Замечено, что железо, находящееся в контакте с раствором, pH которого выше 9–10, не корродирует.

В процессе коррозии образующиеся на аноде ионы  $Fe^{2+}$  окисляются до  $Fe^{3+}$ :



Поскольку роль катода обычно играет та часть поверхности, которая лучше всего обеспечена притоком кислорода, ржавчина чаще всего появляется именно на этих участках [2].

Эксплуатационная надежность подшипников качения определяется показателями качества поверхности, которая в основном формируется на финишных операциях обработки поверхностей колец подшипников. Кроме этого, показатели качества поверхности также зависят и от предшествующих операций, т.е. при обработке деталей имеет место технологическая наследственность [3,4].

Известно [5], что поверхность металлов в зависимости от способа обработки имеет разную шероховатость. На финишных способах обработки поверхностей достигается наименьшая шероховатость поверхности, поэтому такие поверхности являются более коррозионно стойкими. В связи с этим, представляет интерес определить влияние шероховатости поверхности, полученные разными способами обработки, на коррозионные свойства исследуемой поверхности внутреннего кольца подшипника.

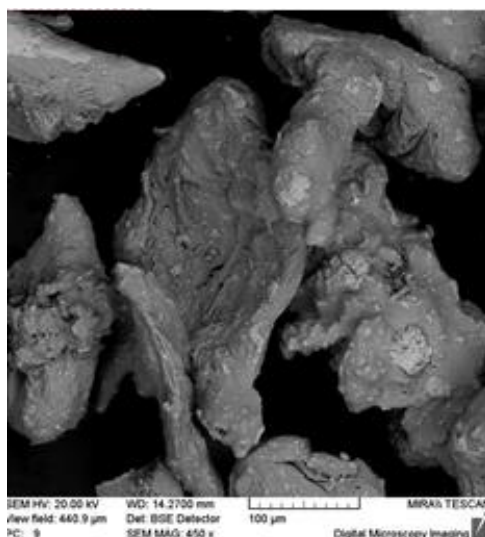
Классические способы финишной обработки поверхностей колец подшипников – шлифование, суперфиниширование [6,7]. Однако влияние ряда факторов, сопровождающих данные виды обработки (тепловые, износ абразивного инструмента и др.) приводит к снижению точности обработки дорожек качения, а также вызывает изменение физико-механических свойств их поверхностного слоя, в частности, за счет появления неоднородности структуры и твердости [8]. Указанные дефекты существенно снижают качество колец подшипников в целом.

Одним из перспективных способов финишной обработки фасонных поверхностей деталей являются способы, основанные на использовании эластичной связки или незакрепленного абразива, к которой и относится магнитно-абразивная обработка (МАО). Этот способ прост в осуществлении, экологически чист, обеспечивает высокое качество обработанных поверхностей деталей и существенное повышение их сопротивляемости износу, коррозии и механическим нагрузкам, обладает высокой производительностью и успешно заменяет процессы химической и электрохимической обработки (МАО)[9,10].

Испытаниям были подвергнуты образцы колец подшипников после токарной обработки, шлифования, суперфиниширования и МАО.

В качестве оборудования для МАО поверхности внутреннего кольца подшипника 108 ГОСТ8338-75 использовался станок СФТ 2.150.00.00.000. Параметры и режимы МАО: магнитная индукция  $B=1$ Тл; скорость резания  $V_p=2,5$  м/с; скорость осцилляции  $V_0=0,2$  м/с; амплитуда осцилляции  $A=1$  мм; коэффициент заполнения зазора  $k_3=1$ ; величина рабочего зазора  $\delta=1$  мм; время обработки  $t=60$  с. Ферроабразивный порошок (ФАП) – на основе боридов железа, зернистость ФАП,  $\Delta=100/160$  мкм. Морфология порошка показана на рисунке 2. Смазочно-охлаждающее технологическое средство (СОТС) – СинМА-1 ТУ 38.5901176-91, 5% водный раствор. Величина рабочего зазора варьировалась от  $\delta = 1-3,5$  мм, коэффициент заполнения рабочего зазора,  $k_3=1$ , время обработки составляло  $t = 120$ с. Исходная шероховатость поверхности кольца подшипника  $Ra_1=0,8-1$  мкм.

Полученные данные по показателям коррозионной стойкости сравнивались с аналогичными параметрами при суперфинишировании [7].



*Рисунок 2. Морфология ферробразивного порошка на основе боридов железа*

Методика проведения эксперимента по определению коррозионной стойкости обработанной поверхности внутреннего кольца подшипника 108 ГОСТ8338-75 включала ускоренные испытания при периодическом или полном погружении в 20%-ый водный раствор NaCl при температуре 20°C на 288 часов. При оценке коррозионной стойкости использовали качественные показатели [11], такие как изменение внешнего вида поверхности металла. При этом визуально оценивали цвет, потускнение поверхности; наличие и распределение видимых коррозионных дефектов и др. Для определения количества и местоположения дефектов применяли сетку - шаблон с квадратами  $5 \times 5$  мм, изготовленную из пластика, которую накладывали на испытуемый образец.

На рисунке 3 представлены фотографии колец подшипников, которые подвергались испытания на коррозионную стойкость. На фотографиях прослеживается кинетика развития коррозии на испытуемых образцах, обработанных методом MAO (рисунок 3б, 3в, 3г).



*а – до начала эксперимента, б – через 120 часов, в – через 192 часов, г – через 288 часов*  
*Рисунок 3. Фотографии образцов внутреннего кольца подшипника, обработанного методом MAO и подвергнутый испытанию через определенное время*

Интенсивность развития коррозии представлена графиками зависимостей при различных методах обработки (рисунок 4). Вместе с тем на развитие коррозии оказывает влияние технологическая наследственность, поэтому были проведены испытания образцов и после токарной обработки.

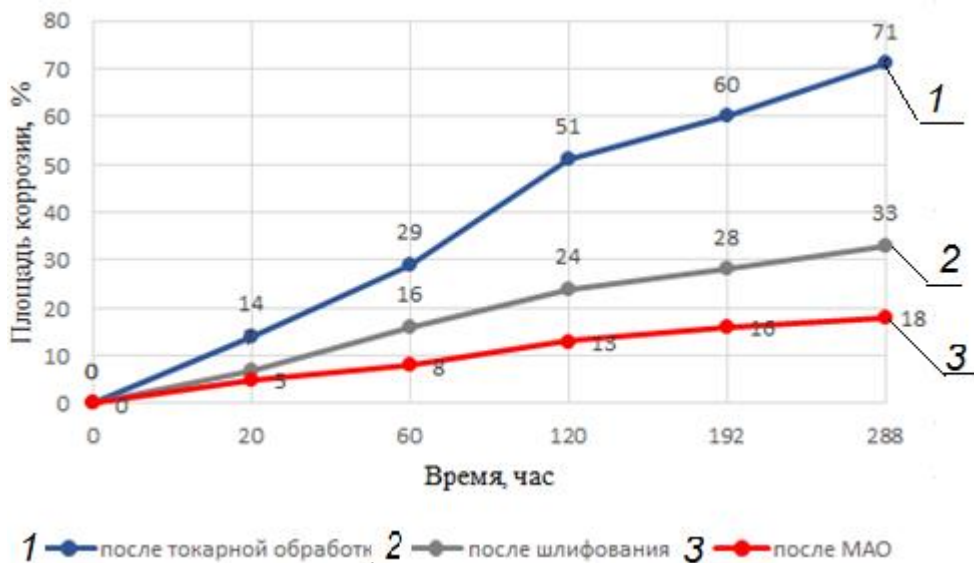
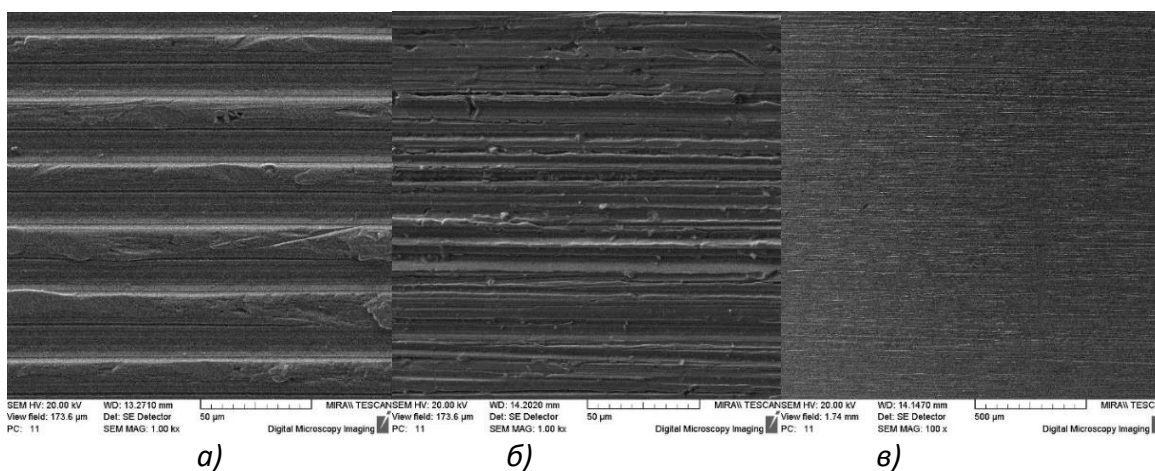


Рисунок 4. График интенсивности развития коррозии образцов в зависимости от времени проведения эксперимента

На рисунке 5 представлены топографии поверхностей после токарной обработки (рисунок 5а), после шлифования (5б) и МАО (5в).

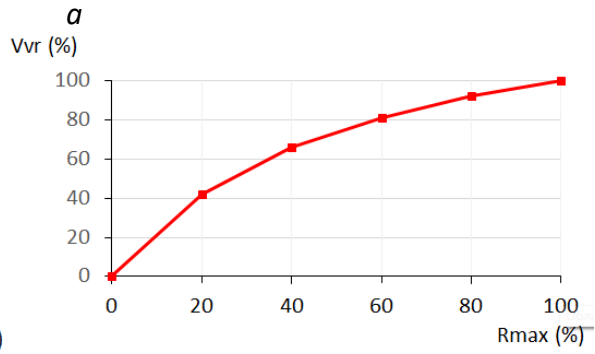
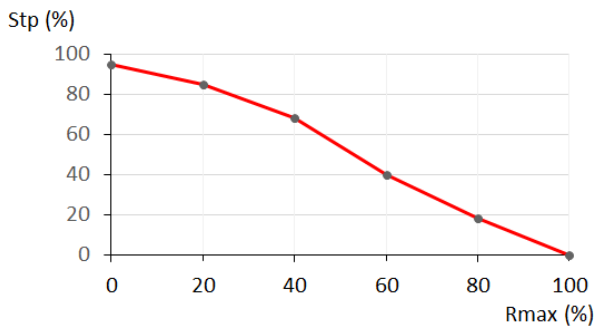
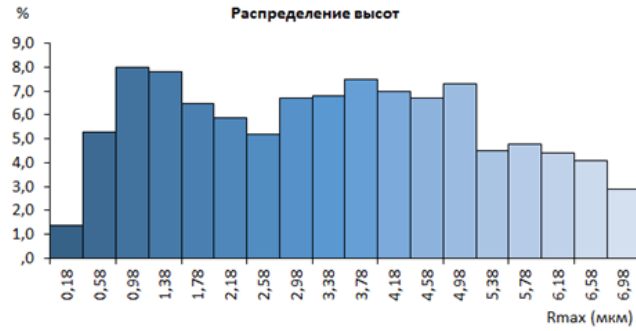


а – после токарной обработки, б – после шлифования, в – после магнитно-абразивной обработки

Рисунок 5. Топографии поверхностей исследуемых образцов

На поверхности после токарной обработки (рисунок 5, а) остались неровности в виде впадин и гребешков. Шероховатость поверхности зависит от режимов обработки, геометрии режущей кромки инструмента и т.д.

Гистограмма (рисунок 6, а) показывает распределение высот, близкое к гауссовскому, что подтверждается также значениями асимметрии. Такие значения характерны для кругового точения. Значение параметра Ra при круговом точении может варьироваться весьма существенно, поскольку оно зависит от формы режущей кромки резца, глубины резания и отношению подачи к частоте вращения заготовки [12].



**б** **в**  
*а – гистограмма распределения высот, б – опорная кривая поверхности, в – маслоемкость*

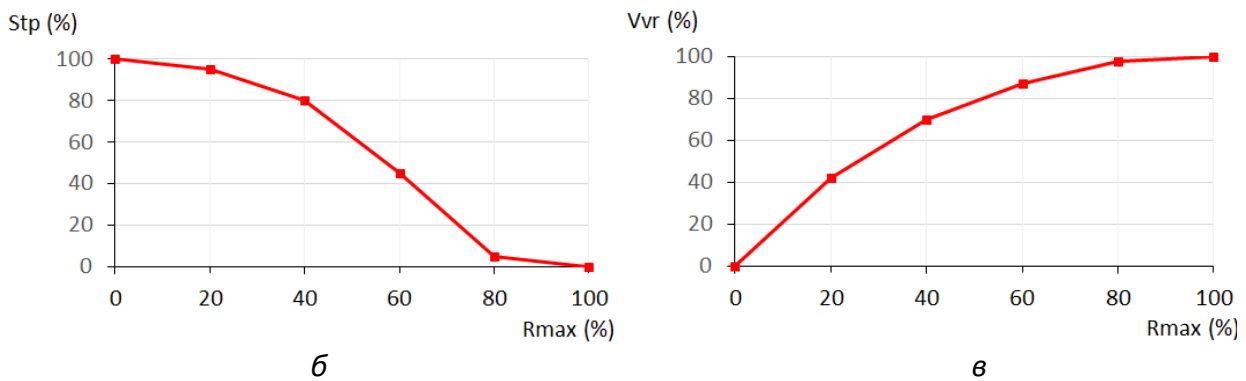
*Рисунок 6. Топографические характеристики поверхности после токарной обработки*

Как видно из графиков материального объема и маслоемкости (рисунок 6, в-г), в процессе трения данного типа поверхности происходит достаточно быстрое удаление приблизительно 50% от общей высоты шероховатости, после чего наступает некоторая стабилизация. Впадины, возникающие в образце, достаточно узкие и строго ориентированы поперек направлению движения инструмента [12].

Процесс резания при суперфинишировании происходит за счет внедрения большого числа вершин абразивных зерен, расположенных на поверхности бруска, в поверхностный слой металла и движения этих зерен по обрабатываемой поверхности детали (рисунок 7). Абразивные зерна часто меняют направления движения, благодаря чему большое число вершин и режущих граней зерен может участвовать в работе. В результате сложения движений: вращения изделия, осциллирующего движения и продольной подачи бруска – на обрабатываемой поверхности остаются синусоидальные следы от прохождения абразивных зерен. Пути абразивных зерен перекрещиваются и образуют сетку диагонально-скрещивающихся следов, (рисунок 5, б). График опорной кривой показывает хорошую несущую способность данной поверхности (рисунок 7, б).



**а**

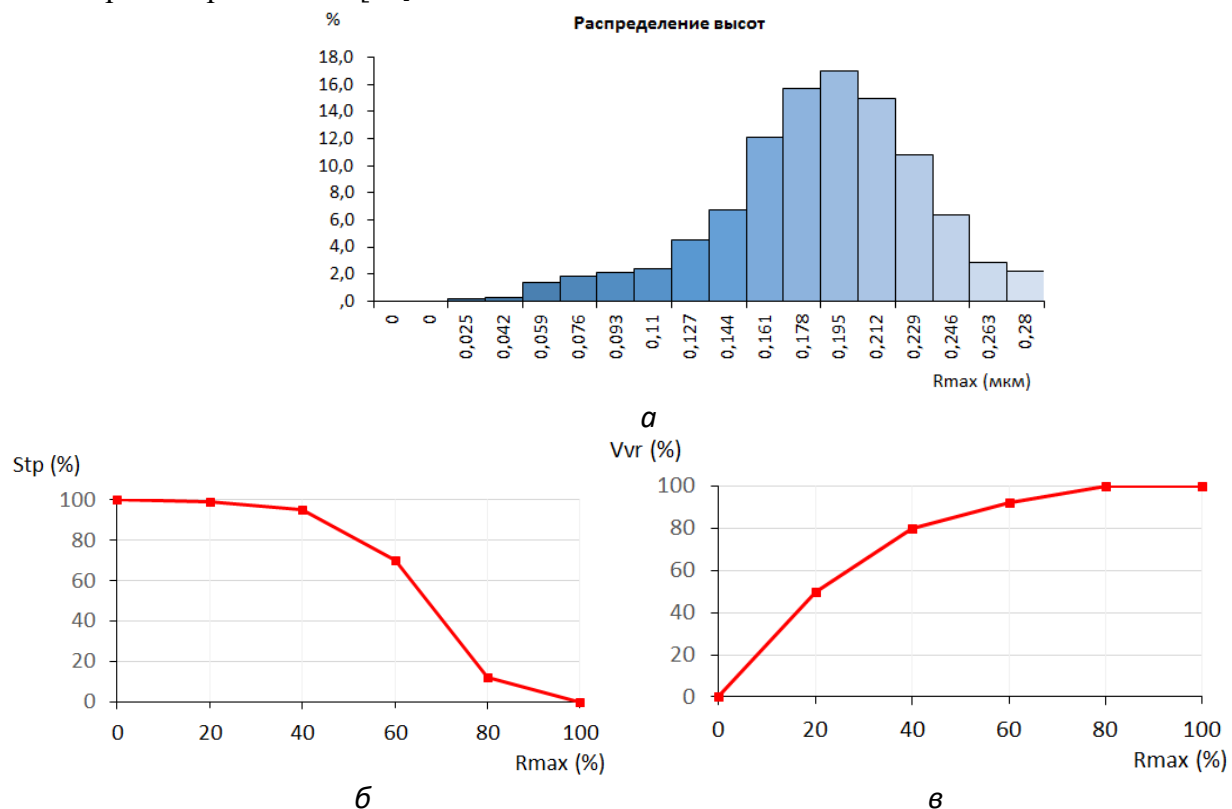


*а – гистограмма распределения высот, б - опорная кривая поверхности, в – маслосъемность*

*Рисунок 7. Топографические характеристики поверхности после суперфиниширования*

В процессе MAO поверхность (рисунок 5, в) формируется частицами ФАП приблизительно равного размера, контактирующей с поверхностью в различных местах и под произвольным углом. Количество единичных взаимодействий, приходящихся на участок поверхности, определяет глубину образующейся на нем впадины. В результате, структура поверхности после MAO имеет случайный характер не только по площади, но и по амплитуде.

Гистограмма распределения высот (рисунок 8, а) показывает гауссовскую природу поверхности. Опорная кривая поверхности (рисунок 8, б) имеет плавный переход от зоны незначительного контакта в зону развитого контакта, что является полезным ее свойством с точки зрения трибологии [12].

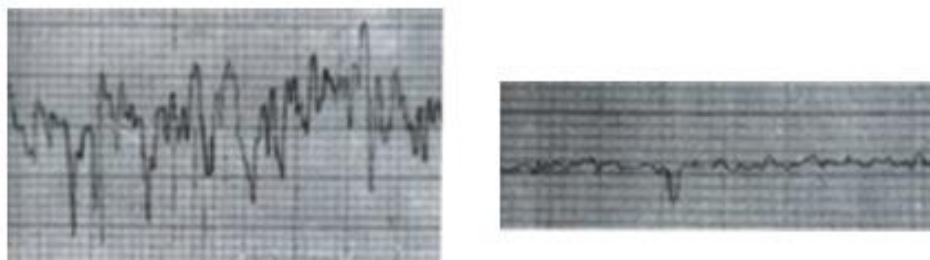


*а – гистограмма распределения высот, б – опорная кривая поверхности, в – маслосъемность*

*Рисунок 8. Топографические характеристики поверхности после MAO*

После MAO на поверхности остаются единичные микровпадины. Данные микровпадины имеют случайные координаты по горизонтали и размеры, однако их форма приблизительно

одинакова. Это показывает одновременно множественный характер взаимодействий и случайное их распределение [12]. На рисунке 9 представлены профилограммы поверхностного слоя после суперфиниширования и МАО.



*а*

*б*

*а – после суперфиниширования; б – после МАО*

*Рисунок 4. Профилограммы поверхностного слоя кольца подшипника*

Уменьшение шероховатости поверхности существенно улучшает антикоррозионную стойкость деталей и позволяет повысить срок эксплуатации. В ходе исследований установлено, что образец после магнитно-абразивной обработки, выдержавший 228 часов испытаний в 20% растворе NaCl, имеет 32% коррозионных поражений на поверхности (коррозия была выявлена лишь на рабочем участке внутреннего кольца подшипника).

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что магнитно-абразивная обработка повышает коррозионную стойкость поверхности внутреннего кольца подшипника в 1,83 раза.

#### **Литература**

1. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Эксплуатация подшипников качения. Л. - Донецк: Технопарк ДонГТУ "УНИТЕХ", 2014. - 175 с.
2. Кофанова Н.К. Коррозия и защита металлов. Алчевск: Донбасс.гор.- металлург.институт, 2003. – 181с.
3. Горленко О. А. Технологическое обеспечение геометрических параметров качества поверхности на основе учета закономерностей технологической наследственности. - В кн.: Метрология и свойства обработанных поверхностей. М., Изд-во стандартов, 1977, с. 149-154.
4. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. Минск, 1971
5. Зрунек М. Противокоррозионная защита металлических конструкций. М.: Машиностроение, 1984 – 136с.
6. Ящерицын П.И., Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей / П.И. Ящерицын, А.К. Цокур, М.Л. Еременко - Минск: Наука и техника, 1973. - 148 с.
7. Захаров, О.В. Технология и оборудование бесцентрового суперфиниширования / О.В. Захаров – Саратов: Учебное пособие, 2007 – 80 с.
8. Игнатъев, С.И. Обеспечение качества обработки поверхностей качения колец подшипников на основе контроля динамического состояния шлифовальных станков по стохастическим характеристикам виброакустических колебаний: автореф. дис., канд.техн.наук./ С.И. Игнатъев; Саратовский государственный технический университет. - Саратов, 2001. – 20с.
9. Барон, Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле. Л.: Машиностроение, 1975. 128с.
10. Кожуро Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Кожуро Л.М., Чемисов Б.П.; Под ред. Н.Н.Подлекарева. - Минск: Наука и техника, 1995. - 232 с.
11. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости ГОСТ 9.908-85. Введ. 01.01.1987. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 17 с.
12. Порошин, В.В. Основы комплексного контроля топографии поверхности деталей: Монография / В.В. Порошин – М.: Машиностроение-1, 2007. – 196 с.