

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.923

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ
ПОСЛЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ**

*д-р техн. наук, проф. Л.М. АКУЛОВИЧ; канд. техн. наук, доц. Л.Е. СЕРГЕЕВ;
В.В. ШАБУНЯ; С.К. ДУБНОВИЦКИЙ*
(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)

Рассмотрен метод повышения коррозионной стойкости деталей из легированных сталей путем формирования микропрофиля их поверхностей финишной магнитно-абразивной обработкой. Представлены результаты экспериментальных исследований коррозионной стойкости обработанных поверхностей внутреннего кольца подшипника и закаточного ролика. Показано влияние шероховатости поверхности на коррозионные свойства указанных колец, полученных разными способами.

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

Введение. В результате коррозии металл теряет свои физико-механические свойства (прочность, пластичность), вследствие чего выходят из строя оборудование, машины, механизмы, разрушаются металлические конструкции. Полностью предотвратить коррозию металлов невозможно, поэтому единственным путем борьбы с ней является поиск способов ее замедления [1]. В настоящее время борьбу с коррозией ведут сразу в нескольких направлениях: пытаются изменить среду, в которой работает металлическое изделие; повлиять на коррозионную устойчивость самого материала; предотвратить контакт между металлом и агрессивными веществами внешней среды. Коррозионную стойкость сталей можно повысить введением в их состав специальных легирующих элементов, нанесением защитных покрытий, пассивацией и т.п. [1]. Коррозионная стойкость деталей машин определяется показателями качества их поверхностей, которые формируются в основном на финишных операциях обработки. Показатели качества поверхности могут также зависеть и от предшествующих операций, так как при механической обработке имеет место технологическая наследственность [2; 3]. Одним из основных показателей качества поверхностей, влияющих на коррозионную стойкость, является шероховатость поверхности.

Основная часть. Известно [4], что рабочие поверхности деталей машин в зависимости от способа обработки имеют разную шероховатость. Финишные способы обработки обеспечивают наименьшую шероховатость поверхностей, что повышает их коррозионную стойкость. В связи с этим представляет интерес определить влияние шероховатости поверхностей, полученных разными способами обработки, на коррозионные свойства. Рассмотрим это влияние на примере внутреннего кольца подшипника и закаточного ролика.

Классические способы финишной обработки поверхностей колец подшипников и закаточных роликов – шлифование, суперфинишование [5; 6]. Однако эти виды обработки сопровождаются рядом факторов (тепловые, износ абразивного инструмента и др.), которые приводят к снижению точности обработки, а также вызывают изменение физико-механических свойств поверхностного слоя, в частности за счет появления неоднородности структуры и твердости [7]. Указанные дефекты существенно снижают качество поверхностей деталей и, как следствие, коррозионную стойкость.

Одним из перспективных способов финишной обработки поверхностей деталей являются способы, основанные на использовании эластичной связки или незакрепленного абразива, к которой и относится магнитно-абразивная обработка (МАО) [8]. Этот способ прост в реализации, экологически безопасен, обеспечивает высокое качество обработанных поверхностей деталей и существенное повышение их сопротивляемости износу, коррозии и механическим нагрузкам, обладает высокой производительностью, успешно конкурирует с процессами химической и электрохимической обработки [8; 9].

Экспериментальные исследования проводились на образцах колец подшипников (материал ШХ15 ГОСТ801-78) и закаточных роликов (материал Х12М ГОСТ 5950-73) после токарной обработки, шлифования и МАО. Магнитно-абразивная обработка проводилась на станке модели 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 $k_z = 1$; величина рабочего зазора $\delta = 1$ мм; время обработки $t = 120$ с. Для МАО поверхности внутреннего кольца подшипника использовали ферроабразивный порошок (ФАП) на основе боридов железа, зернистостью $\Delta = 100/160$ мкм; для обработки поверхности закаточного ролика – Ж15КТ на основе карбида титана ТУ 6-09-03-483-81, зернистостью $\Delta = 100/160$ мкм. В качестве смазочно-охлаждающего технологического средства использовали СинМА-1 ТУ 38.5901176-91, 5%-ный водный раствор. Исходная шерохова-

тость поверхности кольца подшипника и закаточного ролика $Ra_1 = 0,8...1$ мкм. Морфология и форма частиц ФАП на основе боридов железа близка к ромбической форме (рисунок 1, а). Морфология и форма частиц ФАП на основе карбида титана близка к сферической форме (рисунок 1, б). Полученные данные по показателям коррозионной стойкости сравнивались с аналогичными параметрами при шлифовании [7].

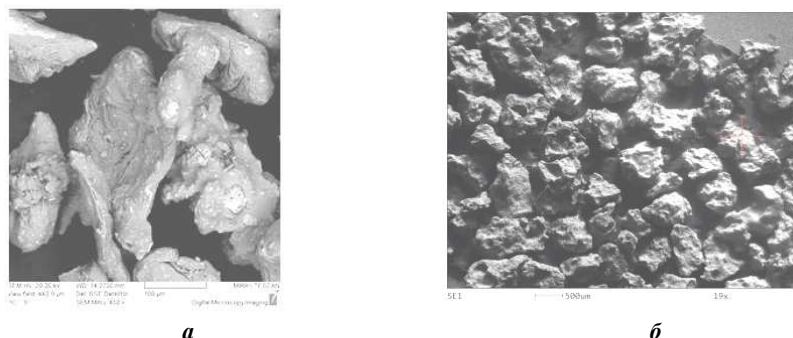


Рисунок 1. – Морфология ферроабразивного порошка на основе боридов железа (а) увеличение $\times 100$ и Ж15КТ (б) увеличение $\times 500$

Методика проведения эксперимента по определению коррозионной стойкости обработанных поверхностей *внутреннего кольца подшипника* включала ускоренные испытания при периодическом или полном погружении в 20%-ный водный раствор NaCl при температуре 20 °С на 288 часов; *закаточного ролика* – в 10%-ный водный растворе NaCl при температуре 20 °С на 336 часов. При оценке коррозионной стойкости использовали качественные показатели – изменение внешнего вида поверхности металла [10]. 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 5×5 мм, изготовленную из пластика, которую накладывали на испытуемый образец.

На рисунках 2, 3 представлены фотоснимки колец подшипников и закаточного ролика после испытаний на коррозионную стойкость.



а – до начала эксперимента; б – через 120 ч; в – через 192 ч; г – через 288 ч

Рисунок 2. – Фотоснимки образцов внутреннего кольца подшипника, обработанного методом МАО и подвергнутого испытанию через определенное время



а – до начала эксперимента; б – через 48 ч; в – через 336 ч; 1; 2 – очаги коррозии

Рисунок 3. – Фотоснимки образца закаточного ролика, обработанного методом МАО и подвергнутого испытанию через определенное время

На снимках прослеживается кинетика развития коррозии на испытуемых образцах, обработанных методом MAO (см. рисунки 2, б-з; 3, б-в).

В исследованиях учитывалась и интенсивность коррозии после токарной обработки, так как на развитие коррозии может оказывать влияние технологическая наследственность.

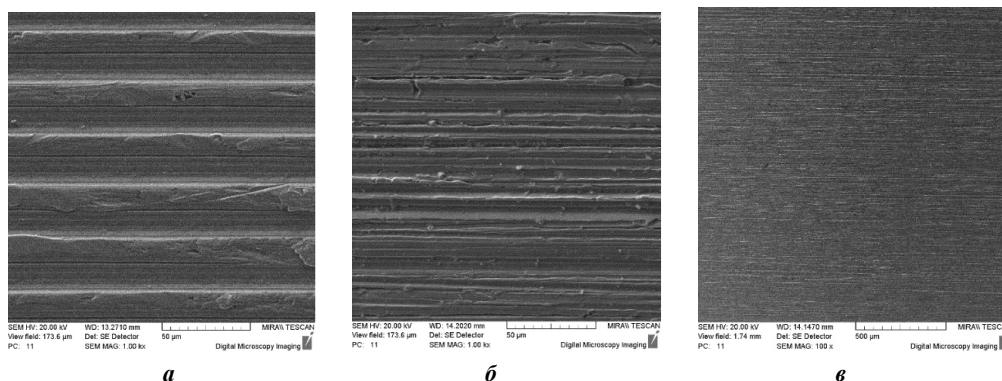
Интенсивность развития коррозии отражена в таблице 1 при различных методах обработки.

Таблица 1. – Интенсивность развития коррозии образцов (кольцо подшипника и закаточный ролик) в зависимости от времени погружения их в раствор

время проведения эксперимента, ч	Кольцо подшипника			время проведения эксперимента, ч	Закаточный ролик		
	площадь, занимаемой поверхности коррозией, %				площадь, занимаемой поверхности коррозией, %		
	после токарной обработки	после суперфиниширования	после MAO		после токарной обработки	после суперфиниширования	после MAO
20	14	6	3	48	7	6	3
60	29	16	8	96	14	8	5
120	51	24	13	168	18	12	8
192	60	28	16	240	25	16	10
288	71	33	18	336	32	18	12

В процессе обработки деталей на их поверхности формируются неровности – отклонения от геометрической формы (волнистость, шероховатость и др.), которые и определяют топографию поверхности. Топография обработанных поверхностей зависит от способа механической обработки, геометрии инструмента, режимов резания.

На рисунке 4 представлена топография поверхностей после токарной обработки (а), после шлифования (б) и MAO (в).



а – после токарной обработки; б – после шлифования; в – после MAO

Рисунок 4. – Топографии поверхностей исследуемых образцов (увеличение ×50)

На рисунке 5 показаны профилограммы поверхностного слоя после шлифования и MAO. На поверхности после токарной обработки (см. рисунок 4, а) остались неровности в виде впадин и гребешков.

Таким образом, шероховатость поверхности зависит от режимов обработки, геометрии режущей кромки инструмента и т.д.

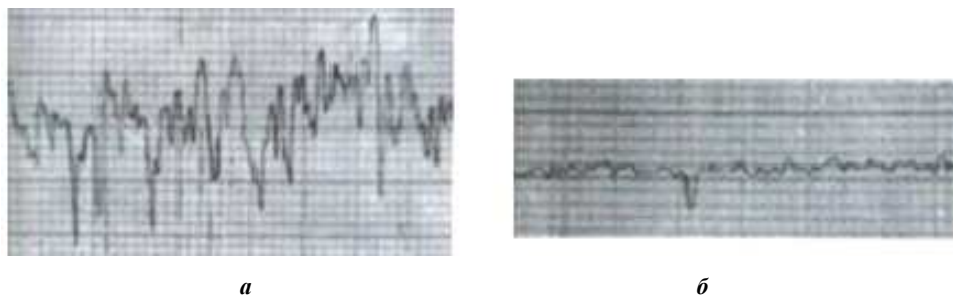
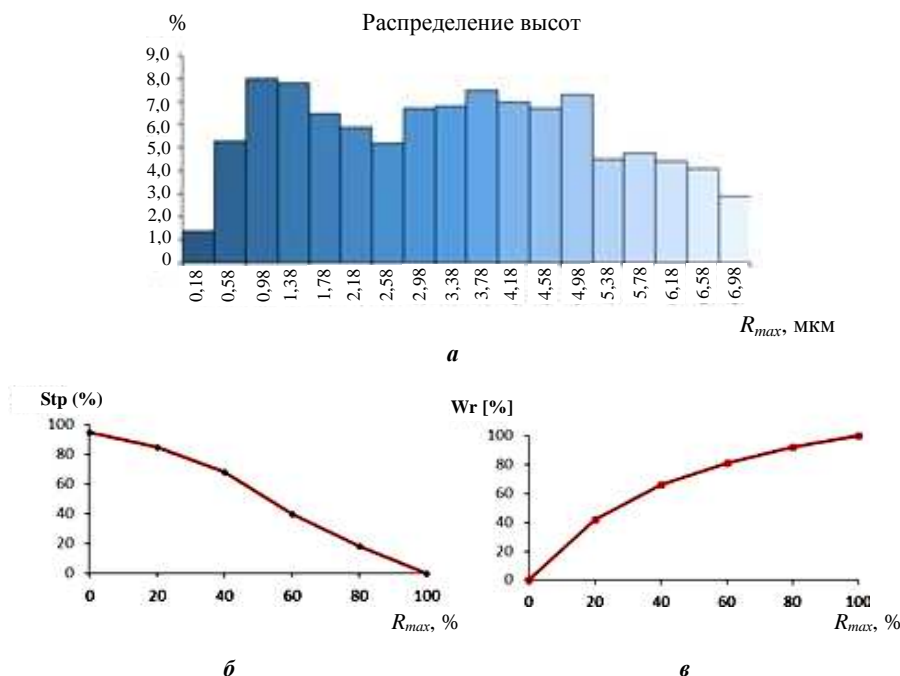


Рисунок 5. – Профилограммы поверхностного слоя кольца подшипника после шлифования (а), после MAO (б)

Гистограмма (рисунок 6, а) иллюстрирует распределение высот неровностей, близкое к гауссовскому, что подтверждается также значениями асимметрии. Значение параметра Ra при точении может варьироваться весьма существенно, так как зависит от формы режущей кромки резца, глубины резания и отношения подачи к частоте вращения заготовки [11].



а – гистограмма распределения высот;
б – опорная кривая поверхности; в – маслоемкость

Рисунок 6. – Топографические характеристики поверхности после токарной обработки

Как видно из графиков маслоемкости (рисунок 6, в), при трении такой поверхности происходит достаточно быстрое удаление гребешков неровностей (до 50% от общей высоты), после чего наступает некоторая стабилизация. Впадины, возникающие в образце, достаточно узкие и строго ориентированы поперек направлению движения инструмента [11].

Характер неровностей и профилограмма поверхности после шлифования (см. рисунки 4, б; 5, а) представляет собой множество параллельно расположенных царапин, произведенных абразивными зернами, находящимися на периферии шлифовального круга. Зерна, участвующие в процессе шлифования, имеют разную степень износа, что приводит к неоднородности получаемой шероховатости поверхности. Новые зерна, которые не подверглись износу, производят резание поверхности.

Поскольку инструмент для правки шлифовальных кругов придает поверхности шлифовального круга ярко выраженную направленную структуру, то совместно с траекторией движения шлифовального круга это определяет анизотропность получаемой поверхности (рисунок 7).

Особенностью шлифования является наличие на поверхности четко выраженных впадин. Данные впадины создаются острыми зернами, копирующими свой профиль на поверхность. График опорной кривой обработанной поверхности приведен на рисунке 7, б.

Поскольку шлифовальный круг вращается с высокой скоростью, индивидуальные контактные взаимодействия накладываются друг на друга и совмещаются, включая резание, адгезионный и абразивный износ, пластическую деформацию и трещинообразование, одновременно происходящие на всей обрабатываемой поверхности. Следствием такого комплексного взаимодействия является близкая к гауссовской структура поверхности с редкими впадинами, оставляемыми единичными абразивными зернами [11].

В процессе МАО поверхность формируется частицами ФАП приблизительно равного размера, контактирующими с поверхностью в различных местах и под произвольным углом. Количество единичных взаимодействий, приходящихся на участок поверхности, определяет глубину образующейся на нем впадины. В результате характер неровностей и профилограмма поверхности после МАО (см. рисунки 4, в; 5, б) имеет случайный характер не только по площади, но и по амплитуде.

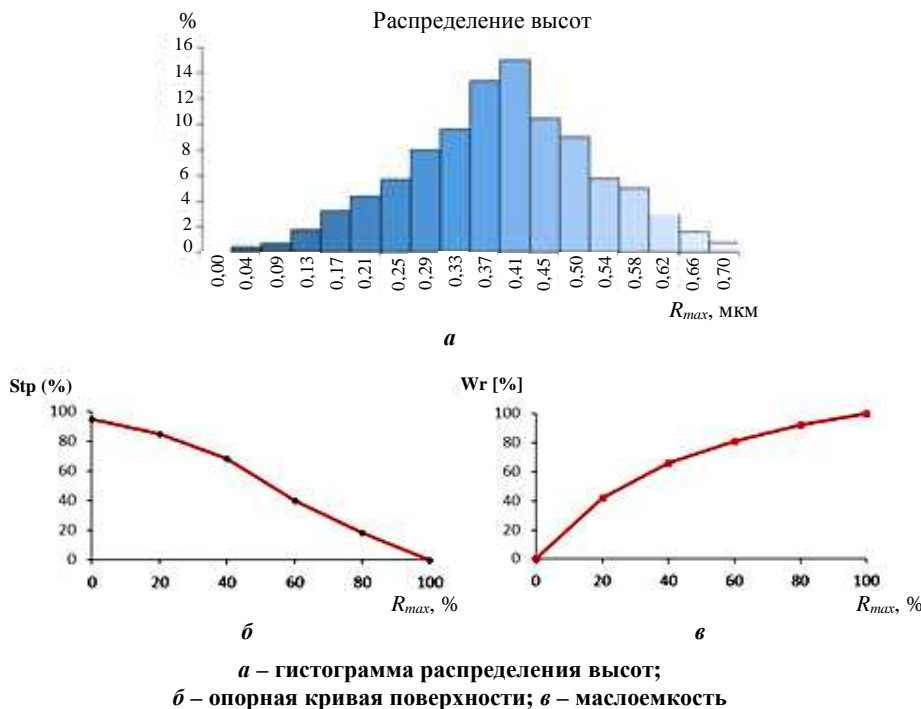


Рисунок 7. – Топографические характеристики поверхности после шлифования

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 [11].

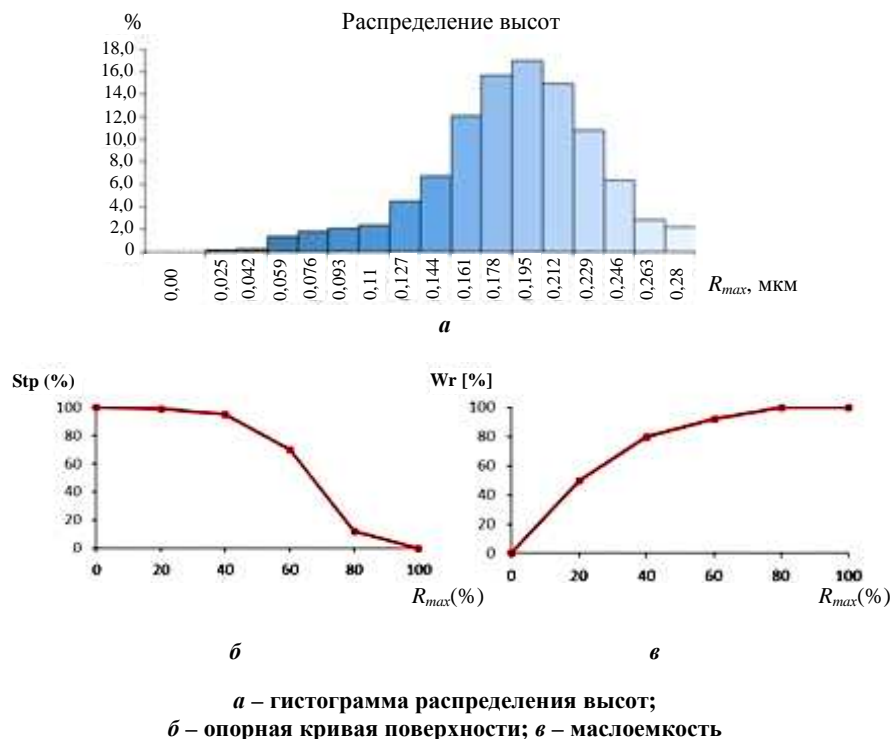


Рисунок 8. – Топографические характеристики поверхности после МАО

После МАО на поверхности остаются единичные микровпадины. Данные микровпадины имеют случайные координаты по горизонтали и размеры, однако их форма приблизительно одинакова, что указывает на одновременно множественный характер взаимодействий и случайное их распределение [11].

Заключение. В ходе исследований установлено, что образец кольца подшипника после МАО, выдержавший 228 часов испытаний в 20%-ном растворе NaCl, имеет 18% коррозионных поражений на поверхности (коррозия была выявлена лишь на рабочем участке внутреннего кольца подшипника), а образец закаточного ролика, выдержавший 336 часов испытаний в 10%-ном растворе NaCl, имеет 12% коррозионных поражений на поверхности.

Анализ результатов эксперимента свидетельствует о том, что МАО повышает коррозионную стойкость поверхности внутреннего кольца подшипника в 1,83 раза, а закаточного ролика – в 1,5 раза, при этом морфология и состав ФАП не оказывают существенного влияния на коррозионную стойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайловский, Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты / Ю.Н. Михайловский. – М. : Металлургия, 1989.
2. Горленко О.А. Технологическое обеспечение геометрических параметров качества поверхности на основе учета закономерностей технологической наследственности / О.А. Горленко // Метрология и свойства обработанных поверхностей. – М. : Изд-во стандартов, 1977.
3. Ящерицын, П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей / П.И. Ящерицын. – Минск, 1971.
4. Зрунек, М. Противокоррозионная защита металлических конструкций / М. Зрунек. – М. : Машиностроение, 1984.
5. 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.
6. Захаров, О.В. Технология и оборудование бесцентрового суперфиниширования : учеб. пособие / О.В. Захаров. – Саратов, 2007.
7. 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 ; Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2001.
8. Барон, Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле. – Л. : Машиностроение, 1975.
9. Кожуро, Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов ; под ред. Н.Н. Подлекарева. – Минск : Наука и техника, 1995.
10. 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 Изд-во стандартов, 1999.
11. Порошин, В.В. Основы комплексного контроля топографии поверхности деталей / В.В. Порошин. – М. : Машиностроение-1, 2007.

Поступила 30.05.2018

THE CORROSION RESISTANCE OF PARTS MADE OF ALLOYED STEELS AFTER MAGNETIC ABRASIVE FINISHING

L. AKULOVICH, L. SERGEEV, V. SHABUNYA, S. DUBNOVITSKY

A method for increasing the corrosion resistance of parts made of alloyed steels by forming a micro-profile of their surfaces by finishing magnetic-abrasive processing is considered. The results of experimental studies of the corrosion resistance of the machined surfaces of the inner ring of the bearing and the seaming roller are presented. The effect of surface roughness on the corrosion properties of these rings obtained by different methods is shown.

Keywords: *bearing rings, seaming roller, magnetic abrasive treatment, corrosion resistance, roughness.*