

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НАНЕСЕНИЕМ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА И ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ

¹Попок Н.Н., ²Сачивко Я.С., ¹Хмельницкий Р.С.,
¹Анисимов В.С., ¹Пуйман Е.В., ¹Башлачев Д.А.

¹Полоцкий государственный университет
г. Новополоцк, Республика Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены методика и результаты исследований структуры и физико-механических свойств покрытий, полученных различными методами и из различных материалов с учетом микрорельефа исходной поверхности детали, выработаны рекомендации по применению покрытий для высоконагруженных деталей и инструментов.

Ключевые слова: газотермическая обработка, ионно-плазменная обработка, регулярный микрорельеф, покрытие, микротвердость, износо- и коррозионная стойкость

ENGINEERING OF THE SURFACES OF PARTS BY APPLYING REGULAR MICRORELIEF AND WEAR-RESISTANT COATING

¹Popok N.N., ²Sachivko Y.S., ¹Khmelnitsky R.S.,
¹Anisimov V.S., ¹Puyman E.V., ¹Bashlachev D.A.

¹Polotsk State University, Novopolotsk, Republic of Belarus

²United Institute of Mechanical Engineering of the National Academy
of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Methods and results of researches of structure and physical-mechanical properties of coatings obtained by various methods and from various materials with consideration of micro-relief of the original surface details, recommendations for application of coatings for highly loaded parts and tools.

Keywords: gas-thermal treatment, ion-plasma treatment, regular microrelief, coating, microhardness, wear and corrosion resistance

E-mail: rorctt@mail.ru

Введение

Проблема повышения стойкости деталей машин, работающих в условиях трения, а также режущих инструментов, функционирующих при по-

вышенных температурах и давлениях, становится все более значимой в связи с постоянным увеличением уровня действующих нагрузок, скоростей и рабочих температур, а также применением агрессивных сред [1]. Одним из наиболее перспективных способов существенного повышения физико-механических, триботехнических характеристик и антикоррозионных свойств, а также выносливости сталей и сплавов является инженерия поверхностных слоев этих материалов путем нанесения регулярного микрорельефа резанием [2,3], газотермических и ионно-плазменных покрытий из ионов металлов и газов[4]. В частности, регулярный микрорельеф способствует удержанию и хорошей адгезии смазок и покрытий, использование ускоренных ионов азота и титана позволяет при сравнительно кратковременной обработке достигать в поверхностных слоях сверхвысокую концентрацию азота (~ 30 ат.%) и за счет радиационно-стимулированной диффузии транспортировать его в подповерхностные слои. Важной особенностью такого комбинированного метода является сохранение прочностных свойств подложки за счет малой глубины микрорельефа и пониженной температуры резания и ионно-плазменной обработки, что весьма существенно для повышения ресурса работоспособности материалов с упрочненными поверхностными слоями.

Методика и результаты исследований

Методика исследований предусматривала предварительную подготовку плоской поверхности первой группы образцов из стали 40X путем ее фрезерования и шлифования, нанесения газотермического покрытия подслоя из стали X20H80 толщиной 0,1 мм и покрытия из инструментальной стали 95X18 толщиной 1 мм, затем шлифования и полирования нанесенного покрытия, ионно-плазменная его обработка нитридом титана в вакуумной установке PVM-0,5FN с созданием покрытия толщиной $5 \div 10$ мкм. Вторая группа образцов из стали 40X со сферическими поверхностями предварительно обрабатывалась вращающимся лезвийным инструментом с созданием на поверхности регулярного микрорельефа «сетчатой» формы и высотой неровностей «сетки» Ra 0,6–1,2 мкм и между сторонами «сетки» – Ra 0,021–0,064 мкм. Затем на эти поверхности ионно-плазменным методом наносился слой из нитрида титана толщиной $5 \div 10$ мкм. Плоские и цилиндрические поверхности третьей группы образцов из нержавеющей стали 12X18H10T предварительно полировались и затем на них наносилось покрытие из нитрида титана. Внешний вид образцов первой, второй и третьей групп представлен на рис. 1.

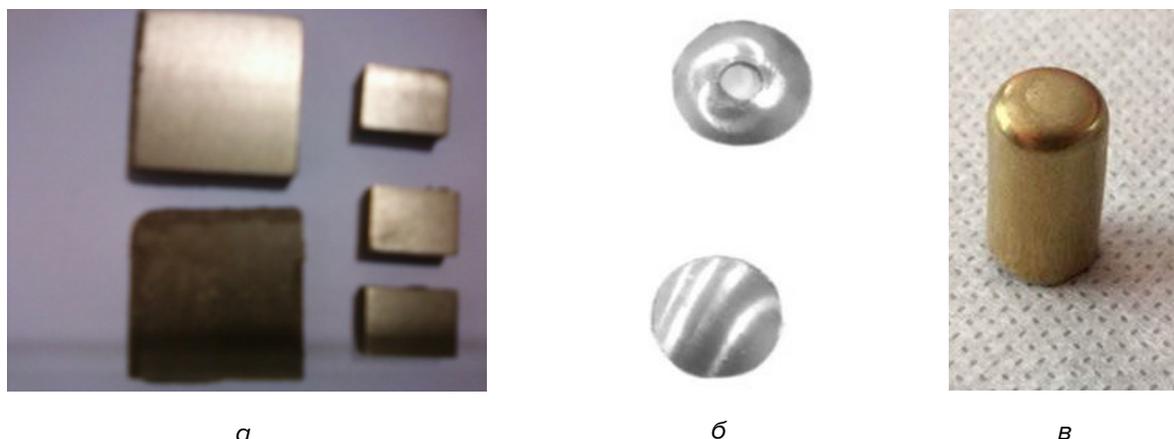


Рис. 1. Внешний вид образцов плоских поверхностей с газотермическим и ионно-плазменным покрытием (а), сферических (б) и цилиндрических (в) поверхностей с ионно-плазменным покрытием

Проводился металлографический и рентгеноструктурный анализ покрытий, а также измерение их твердости, микротвердости и шероховатости. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ. Твердость и микротвердость образцов измерялась методом Виккерса на приборе Durascan 20 при нагрузке 10 г и 50 г. Шероховатость поверхности измерялась на профилограф-профиллометре модели «TaylotHobsonPrecisionFormTalySurb 120» и атомно-силовом микроскопе модели NT-206. Рентгеновская съемка осуществлялась на дифрактометре ДРОН-2 в монохроматизированном (CoK_α) излучении. Запись дифракционных линий проводилась в режиме сканирования. Шаг сканирования – $0,1^\circ$, время набора импульсов в точке 10 с. Рентгеновскую съемку выполняли в монохроматизированном CoK_α излучении при ускоряющем напряжении 30 кВ и анодном токе 10 мА. Кристалл-монохроматор, в качестве которого использовался пиролитический графит, устанавливался на пути вторичного (дифрагированного) пучка лучей. Дифракционную картину регистрировали в диапазоне углов рассеяния ($2\theta = 10\text{--}130^\circ$). Для расшифровки фазового состава используется картотека стандартных спектров PDF2. При обработке данных рентгеноструктурного анализа применялась программа автоматизированного программного комплекса «DiffracPlusEVA» и «DIFWIN».

Для исследования коррозионной стойкости образцов использовалась плавиковая кислота (концентрат 45 %) с добавлением перманганата калия. Износ образцов определялся путем взвешивания на аналитических весах модели ВК-1500.1. Износостойкость образцов исследовалась с использованием машины трения модели mww-1A при скорости вращения образцов 60 м/мин и давлении 1–2 МПа.

Рентгеновская дифрактограмма образца с покрытием из стали 95X18 и осажденным слоем TiN представлена на рис. 2.

На дифракционной картине регистрируются фазы: TiN (TiN – ГЦК кристаллическая решетка, пространственная группа Fm-3m, $a = 0,424173$ нм, карточка PDF №38-1420), α -Ti (ГПУ кристаллическая решетка, пространственная группа P63/mmc, $a = 0,29505$ нм, $c = 0,46826$, карточка PDF №44-1294), а также γ -Fe, α -Fe, Fe_3O_4 , FeO. Интенсивность дифракционных линий от подложки снижается, что связано с большей толщиной нитридного слоя. Необходимо отметить, что в шлифованном покрытии 95X18 существенно уменьшается содержание γ -фазы ($V_\gamma = 25$ об. %), что связано с $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением при шлифовании. Микротвердость нитридного слоя составляет 2000 HV 0,05.

Нанесение покрытия на сферическую поверхность обеспечивает снижение

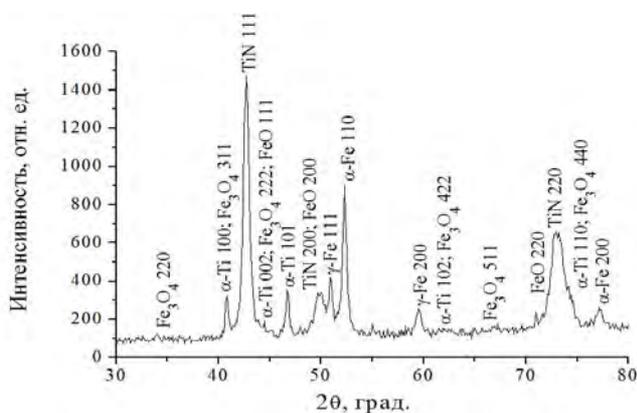


Рис. 2. Фрагмент рентгеновской дифрактограммы (CoK_α) покрытия из стали 95X18 и нитрида титана

шероховатости поверхности по сравнению с поверхностью без покрытия примерно в 10 раз с Ra 56,9÷176,9 до Ra 5,647÷12,031. Причём по мере уменьшения плотности покрытия со 100 % до 90 % и 70 % шероховатость повышается: образец А – Ra 5,647; 6,278; 12,031; образец Б – Ra 19,271; 10,970; 10,195; образец В – Ra 259,181; 29,945; 341,140 (рис. 3). Участок с высокой плотностью покрытия имеет микротвёрдость 790–800 HV 0,01, с менее высокой плотностью покрытия – 750–760 HV 0,01 и малой плотностью покрытия – 650–660 HV 0,01 (табл. 1).

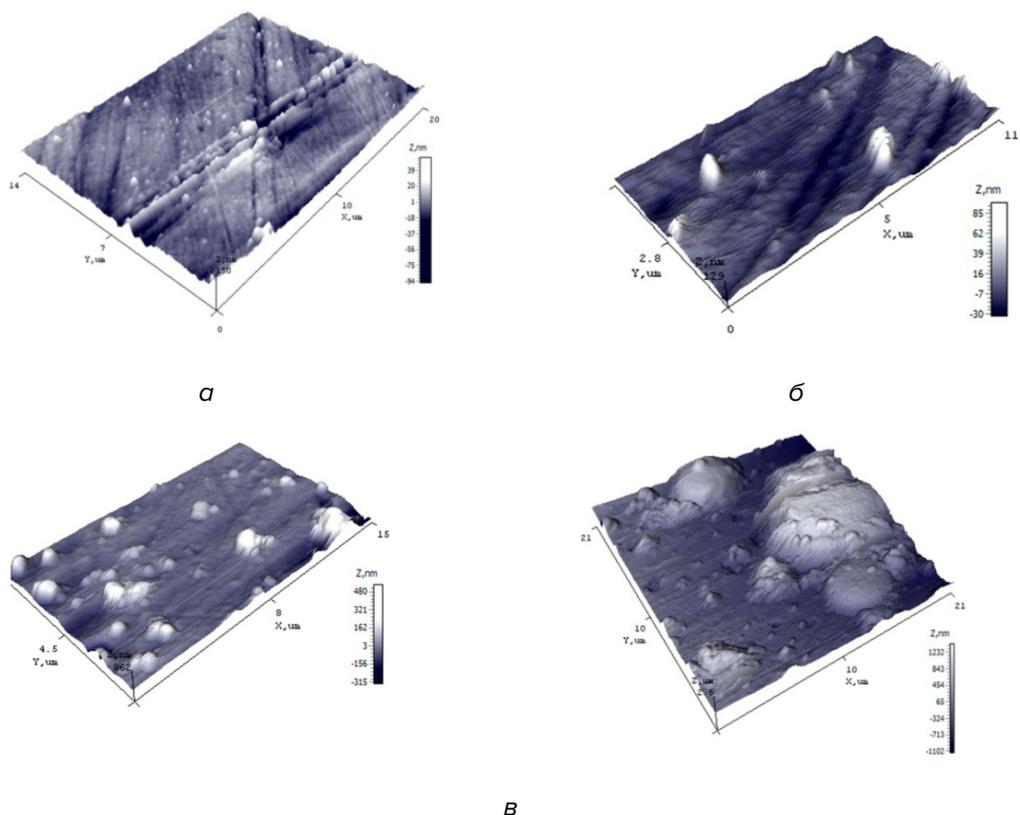


Рис. 3. Топография сферической поверхности с нанесенным покрытием TiN с предварительной обработкой вращающимся инструментом:
а – образец А; *б* – образец Б; *в* – образец В

Табл. 1

Микротвердость упрочненной поверхности

Номер измерения	Маркировка образца	Микротвердость, HV 0,01
1	Образец А(блестящий)	802
2		747
3		815
4		797
Среднее значение микротвердости образца А		790–800
1	Образец Б(с отверстием)	797
2		747
3		747
4		731
Среднее значение микротвердости образца Б		750–760
1	Образец В(матовый)	656
2		634
3		647
4		673
Среднее значение микротвердости образца В		650–660

Сравнение данных значений микротвердости с микротвердостью поверхности без покрытия показывает, что покрытие обеспечивает повышение микротвердости в среднем на 100 HV 0,01.

Результаты проведенных исследований коррозионной стойкости образцов из стали 12X18H10T без покрытия и с покрытием из нитрида титана представлены на рис. 4.

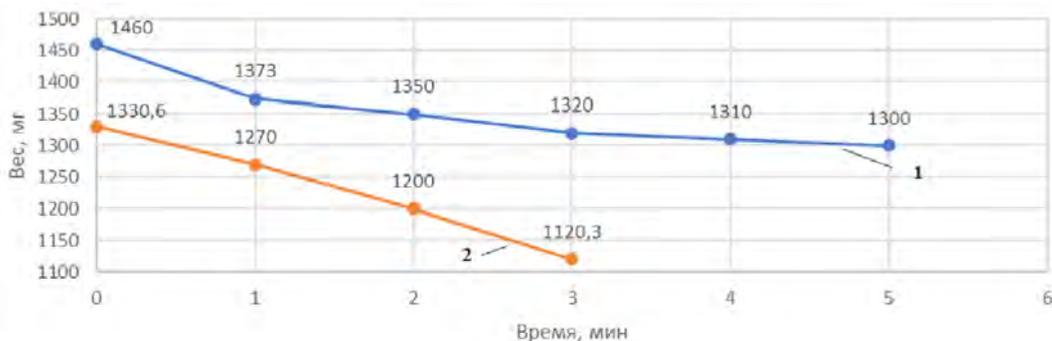


Рис. 4. Зависимости коррозионной стойкости образцов от времени травления:
1 – без покрытия; 2 – с покрытием TiN

Как видно из графика, коррозионная стойкость образцов после нанесения покрытия из нитрида титана выше, чем без покрытия. На рис. 5 показан внешний вид образцов после их травления в плавиковой кислоте.

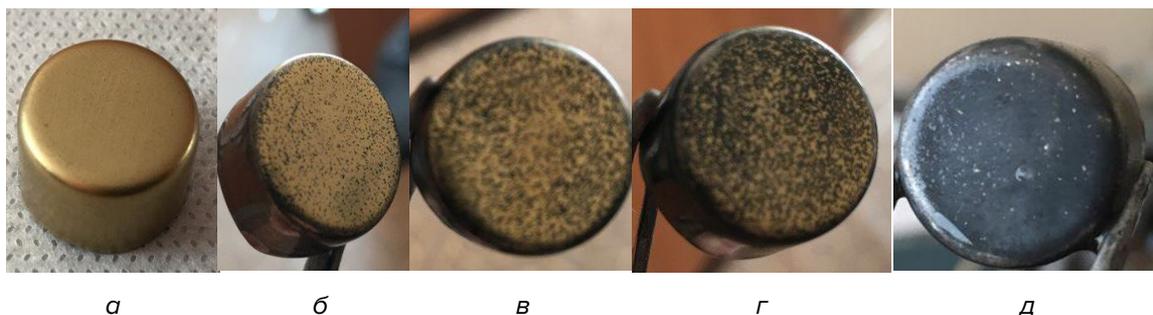


Рис. 5. Внешний вид образцов после травления в плавиковой кислоте в течение:
а – 1 мин; б – 2 мин; в – 3 мин; г – 4 мин; д – 5 мин

Результаты исследований износа образцов из различных материалов покрытий показывает (рис. 6), что комбинированное покрытие из инструментальной стали 95X18 и нитрида титана, полученное газотермическим и ионно-плазменным методами обеспечивает наименьший износ и может быть рекомендован к применению в высоконагруженных узлах трения и режущих инструментах.

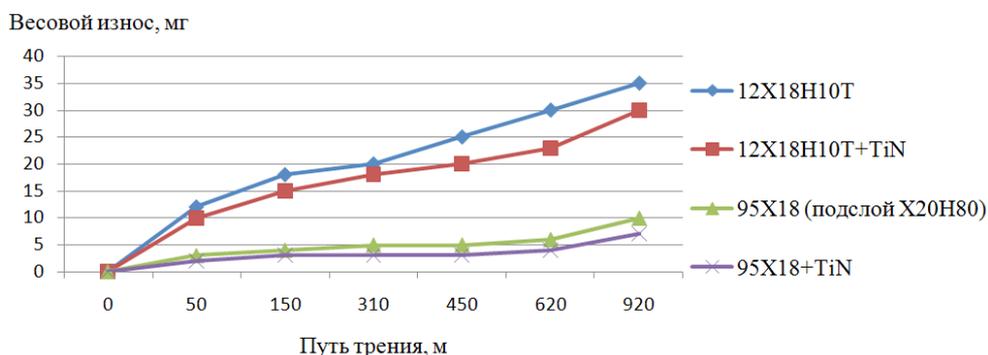


Рис. 6. Износ образцов из различных материалов покрытий

Заключение

Исследование комбинированной инженерии поверхностей деталей машин путем формирования механическим способом регулярного микрорельефа с последующим нанесением газотермическим и ионно-плазменным методами покрытий из инструментальной стали и нитрида титана обеспечивает повышение микротвердости, износо- и коррозионной стойкости.

2. Установлен механизм формирования поверхностного слоя упрочняемой детали, учитывающий размеры микрорельефа и толщину покрытия, обеспечивающий снижение шероховатости до 10 раз, повышение микротвердости в 1,3–1,5 раза, коррозионной стойкости в 1,5–1,7 раза, износостойкости более чем в 2 раза по сравнению с неупрочненными образцами.

3. Изучение структуры комбинированного упрочненного поверхностного слоя показывает, что остаточная пористость покрытия не превышает 3 %, а содержание оксидов составляет примерно 25 об.%. В покрытии регистрируются преимущественно фазы γ -Fe и α -Fe, а также TiN, что обеспечивает повышение микротвердости и износостойкости поверхностей деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по триботехнике : в 3 т. / под общ.ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1989. – Т. 1: Теоретические основы. – 400 с.
2. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 248 с.
3. Кинематическое и технологическое обеспечение формирования регулярного микрорельефа сферических поверхностей деталей комбинированной обработкой резанием / Н.Н. Попок [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета: Промышленность, Прикладные науки. Серия В. 2017. – №11 – С. 16–26.
4. Белоцерковский, М.А. Структурно-фазовое состояние и износостойкость гиперзвуковых газотермических покрытий из проволочных высокохромистых сталей / М.А. Белоцерковский, А.Н. Григорчик, Н.Н. Попок // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки / редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2014. с. 117–122.

REFERENCES

1. Spravochnik po tribotekhnike [Handbook of tribotechnics]: in 3 tons / under total. Ed. M. Hebdy, A.V. Chichinadze. Moscow, Mechanical Engineering, 1989. T. 1: Theoretical Foundations. 400 p. (in Russian)
2. Schneider Yu.G. Ehkspluatatsionnye svojstva detalej s reguljarnym mikrorel'efom [Operational properties of parts with regular microrelief]. 2nd ed. Pererab. and additional. Leningrad, Mechanical Engineering, Leningrad, Deposition, 1982. 248 p. (in Russian)
3. Popok N.N., Kukareko V.A., Khmel'nitsky R.S., Gvozd G.I., Anisimov V.S. Kinematicheskoe i tekhnologicheskoe obespechenie formirovaniya reguljarnogo mikrorel'efa sfericheskikh poverhnostej detalej kombinirovannoj obrabotkoj rezaniem [Kinematic and technological support for the formation of a regular microrelief of the spherical surfaces of parts by combined machining by cutting]. Bulletin of the Polotsk State University: Industry, Applied Sciences. Series B. B. 2017.– №11 - P. 16–26. (in Russian)
4. Belotserkovsky M.A., Grigor'chik A.N., Popok N.N. Strukturno-fazovoe sostoyanie i iznosostojkost' giperzvukovykh gazotermicheskikh pokrytij iz provolochnykh vysokohromistykh stalej [Structural-phase state and wear resistance of hypersonic gas-thermal coatings from wire high-chromium steels]. Modern methods and technologies for creating and processing materials: Sat. scientific works. In 3 books. Book. 2. Technology and equipment for mechanical and physico-technical processing / editorial board: S.A. Astapchik (Ed.) [Andothers]. Minsk: PTI NAS Belarus, 2014. pp. 117–122. (in Russian)

Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 03.05.18