

DOI: 10.34031/article\_5d4d754620adc8.11242217

<sup>1,\*</sup>Романцов Р.С., <sup>1</sup>Серых И.Р., <sup>1</sup>Чернышева Е.В.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: romantsovrrs@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЛАЗМЕННОГО СИЛИЦИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ

**Аннотация.** Современные технологии являются важнейшей составляющей любого государства. Благодаря прогрессивным технологиям сегодня возможно создавать любые механизмы на уровне атомов и молекул. Для производства машин, агрегатов и отдельных их составных частей используются новые наноматериалы и нанотехнологии, которые позволяют многократно и с высокой эффективностью снижать трения, защищать детали от повреждений, экономить энергию, повышать надежность деталей машин в целом. Практически в любом механизме существуют отдельные детали, которые фокусируют на себе основную нагрузку. В нашем исследовании такой деталью является цанга зажимная из стали 65Г. Применительно к ней и был предложен метод плазменного силицирования для упрочнения ее внутренней поверхности. Так как повышение именно этой характеристики позволит увеличить срок ее эксплуатации, а значит обеспечит более надежную работу как отдельного механизма, так и производства в целом. Это в конечном счете позволит предприятию стать экономически эффективным и конкурентоспособным. В работе исследовалась величина влияния внедрения атомов кремния в поверхностный слой детали на такие характеристики как износостойкость и долговечность. Исследования и последующая обработка результатов с помощью программного пакета для статистического анализа Statistica, показали увеличение прочностных характеристик в 2,6 раза.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, цанговый зажим, износостойкость, плазменное силицирование.

Многочисленные исследования показывают, что до 70–80 % отказов машин происходит по причине износа их отдельных поверхностей, деталей в составе механизма, что в последствии влечет ремонт машин и оборудования, ежегодное расходование средств, выпуск большого количества запасных частей и др. Так, например, в конструкции цангового зажимного механизма наиболее «слабым» звеном является сама цанга. Именно она имеет тенденцию изнашиваться быстрее, чем сам механизм, так как обычно изготавливается из более мягкого металла и принимает на себя наибольшую нагрузку в процессе эксплуатации. Таким образом, чтобы обеспечить длительную и бесперебойную работу целого механизма, необходимо обеспечить высокую износостойкость и надежность при производстве каждой его составляющей единицы. Это и будет являться залогом качества механизмов и машин [1–8].

Развитие современных технологий нанесения защитных покрытий позволяет получать впечатляющие результаты по повышению износостойкости металла. Использование покрытий на основе различных соединений толщиной не более 2 мкм обеспечивает значительный запас выносливости металла, тем самым гарантирует функциональные свойства детали и обеспечивает высокий уровень сопротивления изнашиванию в определенных условиях трения. Одним из спосо-

бов нанесения защитного покрытия является метод плазменного силицирования. В основе данной производственной технологии лежит процесс плазмохимического осаждения на поверхность изделия и внедрения в нее атомов (кластеров, наночастиц) кремния из газовой фазы с помощью ВЧИ-генератора (высокочастотный индукционный). Источником упрочняющего материала – кремния служит жидкое кремнийорганическое соединение ТЭОС – химическое соединение тетраэтоксисилан  $(C_2H_5O)_4Si$ . Поток плазмы, несущий атомы кремния, на высокой скорости соударяется с поверхностью обрабатываемого изделия, в результате чего и происходит ее упрочнение. Основное назначение процесса силицирования – повышение износостойкости, защита от коррозии при воздействии агрессивных сред и повышение жаростойкости.

Получаемое в процессе силицирования прозрачное диффузионное покрытие с повышенной адгезионной прочностью к подложке за счет проникновения кремния вглубь до 50 нм состоит из многослойного гидрогенизированного аморфного кремния ( $\alpha$ -Si:H), внешний слой которого функционализирован углеводородными соединениями, имеющими ковалентную связь с предшествующим слоем. Получаемое покрытие позволяет достичь высокой химической инертности поверхности по сравнению с аналогами и используется для обнаружения агрессивных веществ с повышенной точностью. Покрытие в основном

является прозрачным и имеет толщину менее 2 мкм. Высокая скорость напыления частиц (800 – 1000 м/с и более) позволяют формировать покрытие преимущественно без его расплавления.

Цель данного научного исследования заключается в том, чтобы, используя вышеизложенную методику применительно к цанге зажимной, увеличить износостойкость ее внутренней поверхности, а значит и срок службы в целом.

В эксперименте были использованы стандартные цанги зажимные, изготовленные из стали марки 65Г, обладающей достаточно высокими прочностными характеристиками. Однако в связи с повышенным износом внутренней поверхности лепестков цанги проблема выдержать требуемое количество эксплуатационных циклов (закреплений) сохранялась, что снижало эксплуатационный ресурс детали [9].

За основу эксперимента были взяты параметры технологического процесса, использованные при проведении плазменного силицирования формообразующих поверхностей матриц [10]. Поверхность детали перед упрочняющей обработкой обезжиривалась ацетоном и при необходимости удалялась окисная пленка. В качестве плазмообразующего газа был использован аргон. Источником упрочняющего материала (кремния) служило жидкое кремнийорганическое соединение тетраэтоксисилан. Рабочая частота, создаваемая ВЧИ-генератором, составляла 1 МГц при потребляемой мощности в пределах 35...40 кВт. Скорость плазменного потока (ламинарный), имеющего температуру 8773 К, составляла 20...40 м/с. Диаметр пятна прижога в области контакта плазменной струи с поверхностью на расстоянии 45...60 мм от среза составлял около 60 мм. Смесь газа-носителя аргона с парами тетраэтоксисилана готовилась в герметически закрытой металлической термостатированной (~363 К) емкости, в которой находился жидкий тетраэтоксисилан и через которую с помощью заглубленной трубки барботировал аргон. Эта газообразная смесь подавалась в газоформитель плазмотрона и дальше в образующийся внутри него плазмод, где и происходило разложение тетраэтоксисилана с выделением атомарного кремния. Поток плазмы, несущий атомы кремния, на высокой скорости соударялся с поверхностью обрабатываемого изделия, внедряя в нее наночастицы металла, что приводило к ее упрочнению.

Экспериментальные образцы устанавливались в патрон токарного станка с ЧПУ, который совершает в автоматическом режиме вращательные движения с заданной скоростью (рис. 1.)

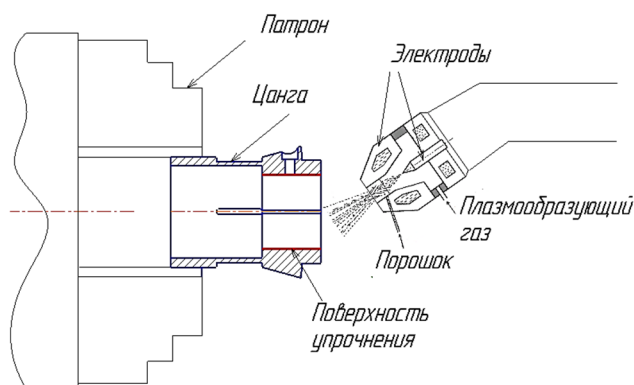


Рис.1. Схема процесса плазменного силицирования

При проведении эксперимента были выбраны несколько параметров варьирования процесса:

$S$  – ( $x_1$ ) скорость плазменного потока (ламинарный) составляла 20...40 м/с;

$T$  – ( $x_2$ ) время плазменного силицирования 30...60 с;

$N$  – ( $x_3$ ) количество полных оборотов патрона (проходов) 2...6.

В ходе эксперимента было обработано 15 деталей (цанг) с различными параметрами техпроцесса.

Затем методом вдавливания алмазной пирамиды определялся показатель их износостойкости, т.е. количество закреплений (рабочих циклов)  $n$  [11, 12]. Результаты исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1

#### Параметры техпроцесса

|    | S      | T      | N     | n    |
|----|--------|--------|-------|------|
| 1  | 20.000 | 30.000 | 4.000 | 1800 |
| 2  | 40.000 | 30.000 | 4.000 | 2600 |
| 3  | 20.000 | 60.000 | 4.000 | 2700 |
| 4  | 40.000 | 60.000 | 4.000 | 3100 |
| 5  | 20.000 | 45.000 | 2.000 | 2550 |
| 6  | 40.000 | 45.000 | 2.000 | 2900 |
| 7  | 20.000 | 45.000 | 6.000 | 2600 |
| 8  | 40.000 | 45.000 | 6.000 | 2800 |
| 9  | 30.000 | 30.000 | 2.000 | 2500 |
| 10 | 30.000 | 60.000 | 2.000 | 2700 |
| 11 | 30.000 | 30.000 | 6.000 | 2400 |
| 12 | 30.000 | 60.000 | 6.000 | 2800 |
| 13 | 30.000 | 45.000 | 4.000 | 2700 |
| 14 | 30.000 | 45.000 | 4.000 | 2600 |
| 15 | 30.000 | 45.000 | 4.000 | 2650 |

Работоспособность цанги считается удовлетворительной, если она способна закрепить не менее 100 000 заготовок ( $n=100000$  – при обычной термообработке поверхности). Для уменьшения трудоемкости эксперимента уменьшим показатель стандартного количества закреплений до

n=1000. На основании полученных данных и располагая установочными характеристиками, применив программный пакет для статистического анализа Statistica и используя в нем функцию

полного факторного эксперимента (ПФЭ) была установлена зависимость износостойкости и факторов процесса плазменного силицирования (рис. 2–7) [13, 14].

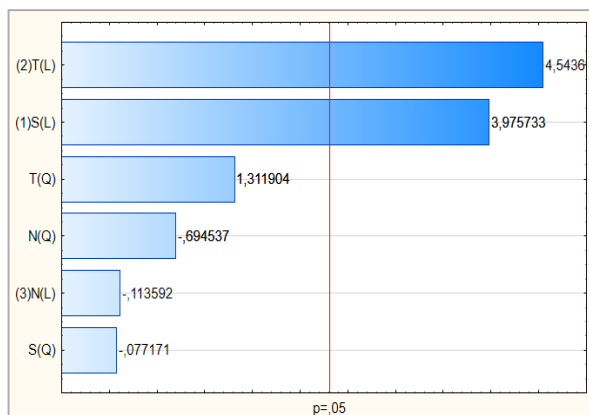


Рис. 2. Диаграмма Парето

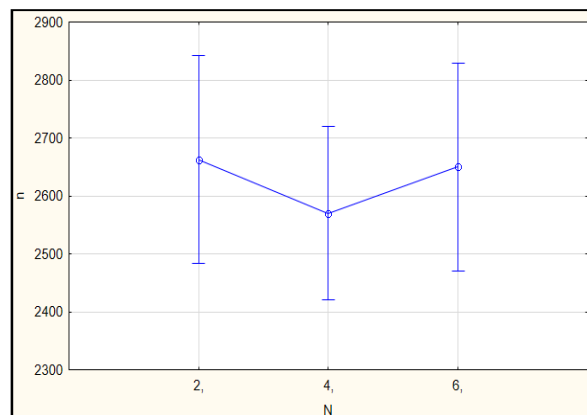


Рис. 3. Зависимость износостойкости (n) от количества полных оборотов (N)

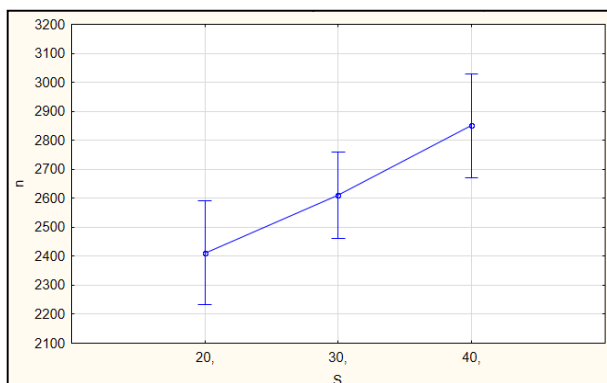


Рис. 4. Зависимость износостойкости (n) от скорости плазменного силицирования (S)

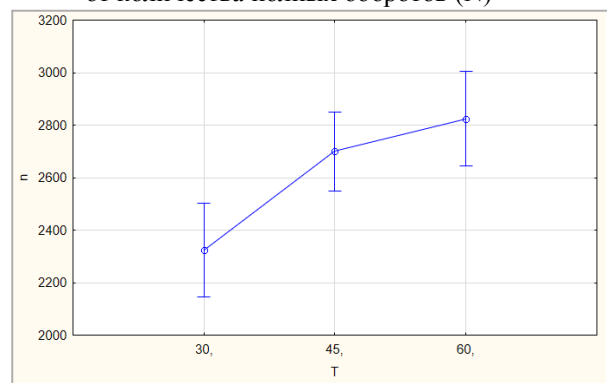


Рис. 5. Зависимость износостойкости (n) от времени плазменного силицирования (T)

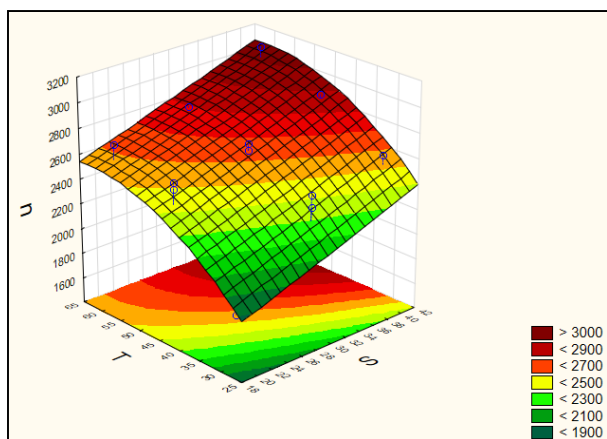


Рис. 6. Поверхность отклика

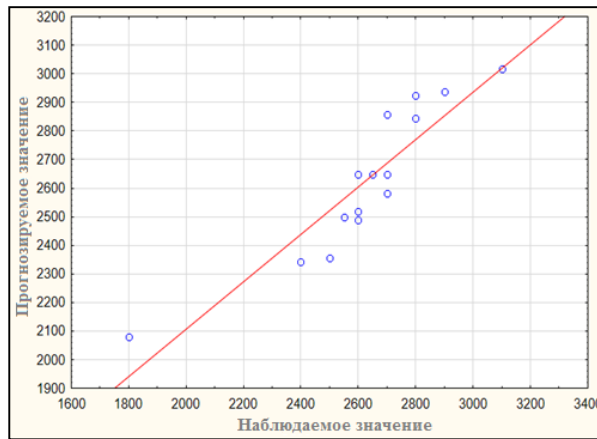


Рис. 7. Диаграмма разброса

На основании анализа полученных результатов, можно сделать вывод о том, что на характер износостойкости внутренней поверхности лепестков цанги зажимной из выбранных факторов наибольшее влияние оказывают только два параметра: скорость плазменного потока ( $x_1$ ) и время плазменного силицирования ( $x_2$ ) (табл. 2, рис.6). Причем зависимость является линейной, т.е. при

увеличении входных величин возрастает выходная величина – износостойкость (рис. 4–5).

По результатам ПФЭ было получено уравнение регрессии описывающее модель:

$$n = 1233 + 21,9X_1 + 16,7X_2$$

Таблица 2

## Оценка эффективности факторов силицирования

| Фактор                   | Эффект   | Станд. ошибка | t (8)  | P     | -95 %    | +95 %    | Коэф.    | Коэф. станд. ошибки | -95 %    | +95 %    |
|--------------------------|----------|---------------|--------|-------|----------|----------|----------|---------------------|----------|----------|
| Среднее/<br>Свобод. член | 2620.833 | 44.924        | 58.338 | 0.000 | 2517.237 | 2724.430 | 2620.833 | 44.92471            | 2517.237 | 2724.430 |
| S(L)                     | 437.500  | 110.042       | 3.976  | 0.004 | 183.741  | 691.259  | 218.750  | 55.02130            | 91.871   | 345.629  |
| S(Q)                     | -6.250   | 80.989        | -0.077 | 0.940 | -193.011 | 180.511  | -3.125   | 40.49458            | -96.506  | 90.256   |
| (2)T(L)                  | 500.000  | 110.042       | 4.544  | 0.002 | 246.241  | 753.759  | 250.000  | 55.02130            | 123.121  | 376.879  |
| T(Q)                     | 106.250  | 80.989        | 1.312  | 0.226 | -80.511  | 293.011  | 53.125   | 40.49458            | -40.256  | 146.506  |
| (3)N(L)                  | -12.500  | 110.042       | -0.114 | 0.912 | -266.259 | 241.259  | -6.250   | 55.02130            | -133.129 | 120.629  |
| N(Q)                     | -56.250  | 80.989        | -0.694 | 0.507 | -243.011 | 130.511  | -28.125  | 40.49458            | -121.506 | 65.256   |

Таблица 3

## Результаты регрессионного анализа

| N=15               | b*     | Станд. ошибка или b* | b        | Станд. ошибка или b | t(11)  | p-критерий |
|--------------------|--------|----------------------|----------|---------------------|--------|------------|
| Свобод. переменная |        |                      | 1232.917 | 253.623             | 4.861  | 0.000502   |
| S                  | 0.581  | 0.142                | 21.875   | 5.343               | 4.094  | 0.001777   |
| T                  | 0.664  | 0.142                | 16.667   | 3.563               | 4.679  | 0.000673   |
| N                  | -0.017 | 0.142                | -3.125   | 26.714              | -0.117 | 0.908986   |

Благодаря полученной модели возможно регулирование технологического процесса плазменного силицирования и прогнозирование износостойкости детали (табл. 3) [15].

Совокупность полученных в ходе эксперимента результатов, позволяет сделать вывод о том, что при обработке поверхности цапги зажимной методом плазменного силицирования срок ее службы увеличивается в среднем в 2,6 раза. Полученный результат позволяет утверждать об увеличении износостойкости детали в процессе эксплуатации, что в конечном итоге дает возможность сэкономить финансовые ресурсы, время на замену вышедших из строя деталей, уменьшить простой производства, а главное, повысить качество производимой продукции [16–20].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Черных Е.В., Иванова Т.Г. Химико-термическая обработка материалов для режущего инструмента // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. № 8 (58). С. 578–582
2. Богодухов С.И. Технологические процессы машиностроительного и ремонтного производства. Старый Оскол: ТНТ, 2015. 464 с.
3. Ильященко Д.П. Исследование химического состава и микроструктуры сварных соединений из стали 12Х18Н10Т, выполненных по различным технологическим схемам // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 2. С. 73–76.

4. Крушенко Г.Г., Решетникова С.Н. Применение и перспективы развития нанотехнологий // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 3. С. 103–106.

5. Крушенко Г.Г., Москвичев В.В., Буров А.В. Повышение износостойкости чеканочного инструмента плазменным силицированием. Технология машиностроения. 2004. № 5. С. 27–28.

6. Biswajit Das, Susmita Roy, Rai R.N., Saha S.C. Studies on Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness of Al–Cu–TiC MMCs: An Artificial Neural Network Approach // Procedia Computer Science. 2015. Vol. 45. Pp. 745–752.

7. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.

8. Gök K., Gök A., Bilgin M.B. Finite Element Modeling as Three Dimensional of Effect of Cutting Speed in Turning Process // Journal of Engineering and Fundamentals. 2014. №1 (1). Pp. 11–22.

9. Справочник конструктора-инструментальщика: Под общ. ред. В.И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1994. 560с.

10. Крушенко Г.Г., Решетникова С.Н. Применение нанотехнологий для повышения физико-механических характеристик поверхности металлоизделий // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2008. Выпуск 3(20). С. 113–117.

11. Романцов Р.С., Чернышева Е.В. Сущность метода вдавливания алмазной пирамиды при исследовании характера износа губок цапги зажимной // В сборнике: Наука молодых - будущее России сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных

разработок молодых ученых: в 6 т. 2018. С. 257–261

12. Чернышева Е.В., Серых И.Р. Основы научных исследований, планирование и организация эксперимента: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 103 с.

13. Справочник технолога–машиностроителя: в 2-х т. Т.2. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 5-е изд., исправл. М.: Машиностроение. 2003. № 1. 944 с.

14. Дальский А.М. Цанговые зажимные механизмы. Изд-во М. Машиностроение, 1966. 350 с.

15. Чернышёва Е.В., Тищенко А.В. Управление качеством как фактор успеха предприятия в конкурентной борьбе // Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации: сб. докл. VI межд. научн.пр. интернет-конференции. 2016. с. 184-188.

16. Svyazhin A.G., Siwka J., Kaputkina L.M. High-nitrogen steels – The current state and development trends // Proceed. Int. Conf. Advanced

Steels. – China, Beijing. Metallurgical Industry Press. 2010. Pp. 352–356.

17. Mareš M., Horejš O. Modelling of Cutting Process Impact on Machine Tool Thermal Behaviour Based on Experimental Data // Procedia CIRP. 2017. Vol. 58. Pp. 152–157.

18. Development of a Method for Calculating the Thickness of Thermal-Spray Aluminum Coating Used to Protect Low-Alloy Steel During Heating for Rolling. A. G. Radyuk, A. A. Gerasimova // Metallurgist, Vol. 62, No. 1-2, May, 2018 (Russian Original No.1-2, 2018) P. 176–180.

19. Стаинов В.В., Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н. Риск-ориентированный подход в области промышленной безопасности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 6–12.

20. Чернышева Е.В., Серых И.Р., Стаинов В.В., Чернышева А.С. Актуальные проблемы промышленной безопасности // Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš. Serbia. 2016. С. 164–165.

#### Информация об авторах

**Романцов Роман Сергеевич**, магистрант кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: romantsovrrs@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Серых Инна Робертовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: inna\_ad@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Чернышева Елена Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: bellena\_74@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019 г.

© Романцов Р.С., Серых И.Р., Чернышева Е.В., 2019

<sup>1,\*</sup>**Romantsov R.S., <sup>1</sup>Serykh I.R., <sup>1</sup>Chernysheva E.V.**

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

\*E-mail: romantsovrrs@mail.ru

## APPLICATION OF PLASMA SILICATION METHOD TO WEAR RESISTANCE OF THE PART

**Abstract.** Modern technologies are the most important component for any state. Today, advanced technologies allow to create any mechanisms at the level of atoms and molecules. For the production of machines, aggregates and their individual components, new nanomaterials and nanotechnologies are used, which reduce friction repeatedly and with high efficiency, protect parts from damage, save energy and increase the reliability of machine parts as a whole. Virtually in any mechanism, some parts focus on the main load. In this study, such a detail is the steel clamping collet 65G. A method of plasma siliconizing is proposed for hardening its inner surface. The raise of this characteristics will allow to increase its service life, and therefore will ensure more reliable operation of both a separate mechanism and production as a whole. This allows the enterprise to become cost-effective and competitive. In this paper, the magnitude of the effect of the silicon atoms intro-

duction into the surface layer of a part on wear resistance and durability is investigated. Research and subsequent processing of the results using Statistica software for statistical analysis shows an increase in the strength characteristics by 2.6 times.

**Keywords:** nanotechnology, collet tightening, wear resistance, plasma siliconizing.

## REFERENCES

1. Guriev A.M., Ivanov S.G., Gurev M.A., Chernykh E.V., Ivanova T.G. Chemical-heat treatment of materials for cutting tools [Himiko-termicheskaya obrabotka materialov dlya rezhushchego instrumenta]. News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy. 2015. No. 8 (58). Pp. 578–582. (rus)
2. Bogodukhov S.I. Technological processes of engineering and repair production [Tehnologicheskie processy mashinostroitel'nogo i remontnogo proizvodstva]. Stary Oskol: TNT, 2015. 464 p. (rus)
3. Ilyaschenko D.P. Study of the chemical composition and microstructure of welded joints of steel 12X18H10T, made according to various technological schemes [Issledovanie himicheskogo sostava i mikrostruktury svarnykh soedineniy iz stali 12H18N10T, vpolnennykh po razlichnym tehnologicheskim shemam]. Modern high technologies. 2015. No. 2. Pp. 73–76. (rus)
4. Krushenko G.G., Reshetnikova S.N. Application and prospects for the development of nanotechnology [Primenenie i perspektivy razvitiya nanotehnologii]. Bulletin of SibSAU. 2007. Vol. 3. Pp. 103–106. (rus)
5. Krushenko G. G., Moskvichev V. V., Burov A. V. Improving the durability of the embossing tool by plasma siliconization [Povyshenie iznosostoykosti chekanochnogo instrumenta plazmennym silicirovaniem]. Engineering technology. 2004. No. 5. Pp. 27–28. (rus)
6. Biswajit Das, Susmita Roy, Rai R.N., Saha S.C. Studies on Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness of Al–Cu–TiC MMCs: An Artificial Neural Network Approach. Procedia Computer Science. 2015. Vol. 45. Pp. 745–752.
7. Reznikov A.N. Thermal physics of machining processes [Teplofizika processov mehanicheskoy obrabotki]. M.: Mashinostroenie, 1981. 279 p. (rus)
8. Gök K., Gök A., Bilgin M.B. Finite Element Modeling as Three Dimensional of Effect of Cutting Speed in Turning Process. Journal of Engineering and Fundamentals. 2014. No. 1 (1). Pp. 11–22.
9. Reference designer toolmaker [Spravochnik konstruktora-instrumental'shchika]: Under total. ed. IN AND. Baranchikova. M.: Mashinostroenie, 1994. 560 p. (rus)
10. Krushenko G. G., Reshetnikova S. N. The use of nanotechnology to improve the physico-mechanical characteristics of the surface of metal products [Primenenie nanotehnologii dlya povysheniya fiziko-mehaniicheskikh harakteristik poverhnosti metalloizdeliy]. Bulletin of the Siberian State Aerospace University Academician M.F. Reshetnev. 2008. Iss. 3 (20). Pp. 113–117. (rus)
11. Romantsov R.S., Chernysheva E.V. The essence of the method of indentation of the diamond pyramid in the study of the nature of the wear of the clamping jaws [Suschnost' metoda vdavlivaniya almaznoy piramidy pri issledovanii haraktera iznosa gubok cangi zazhimnoy]. V sbornike: Nauka molodyh – budushee Rossii sbornik nauchnykh stately 3-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii perspektivnykh razrabotok molodyh uchenykh: v 6 t, 2018. Pp. 257–261. (rus)
12. Chernysheva E.V., Serykh I.R. Fundamentals of research, planning and organization of the experiment [Osnovy nauchnykh issledovaniy, planirovaniye i organizaciya eksperimenta]: a training manual. Belgorod: BSTU publishing house, 2014. 103 p. (rus)
13. Reference technologist – mechanical engineer: in 2 tons [Spravochnik tehnologa–mashinostroitel'ya: v 2-h t]. V.2. Ed. A.M. Dalsky, A.G. Kosilov, R.K. Meshcheryakova. 5th ed., Amended. M.: Mechanical Engineering, 2003. No. 1. 944 p. (rus)
14. Dalsky A.M. Collet clamping mechanisms [Cangovye zazhimnye mehanizmy]. Publishing house, M. Mashinostroenie, 1966. 350 p. (rus)
15. Chernysheva E.V., Tishchenko A.V. Quality management as a factor in the success of an enterprise in competition [Upravlenie kachestvom kak faktor uspeha predpriyatiya v konkurentnoy bor'be]. Aktual'nye problemy menedzhmenta kachestva i sertifikacii: sb. dokl. VI mezhd. nauchn. pr. internet-konferencii, 2016. Pp. 184–188.
16. Svyazhin A.G., Siwka J., Kaputkina L.M. High-nitrogen steels – The current state and development trends. Proceed. Int. Conf. Advanced Steels. China, Beijing. Metallurgical Industry Press, 2010. Pp. 352–356.
17. Mareš M., Horejš O. Modelling of Cutting Process Impact on Machine Tool Thermal Behaviour Based on Experimental Data. Procedia CIRP. 2017. Vol. 58. Pp. 152–157.
18. Development of a Method for Calculating the Thickness of Thermal-Spray Aluminum Coat-

ing Used to Protect Low-Alloy Steel During Heating for Rolling. A.G. Radyuk, A.A. Gerasimova. Metallurgist. Vol. 62, No. 1-2, May, 2018 (Russian Original No.1-2, 2018). Pp. 176–180.

19. Statinov V.V., Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N. Risk-oriented approach in the field of industrial safety [Risk-orientirovanny pod-

hod v oblasti promyshlennoy bezopasnosti]. Bulletin of BGTU im. V.G. Shukhov. 2018. No. 12. Pp. 6–12. (rus)

20. Chernysheva E.V., Serykh I.R., Statinov V.V., Chernysheva A.S. Actual problems of industrial safety [Aktual'nye problemy promyshlennoy bezopasnosti]. Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš Serbia, 2016. Pp. 164–165. (rus)

#### *Information about the authors*

**Romantsov, Roman S.** Master student. E-mail: romantsovrrs@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Serykh, Inna R.** PhD, Assistant professor. E-mail: inna\_ad@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Chernysheva, Elena V.** PhD, Assistant professor. E-mail: bellena\_74@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in June 2019*

#### **Для цитирования:**

Романцов Р.С., Серых И.Р., Чернышева Е.В. Применение метода плазменного силицирования для повышения износостойкости деталей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 129–135. DOI: 10.34031/article\_5d4d754620adc8.11242217

#### **For citation:**

Romantsov R.S., Serykh I.R., Chernysheva E.V. Application of plasma silication method to wear resistance of the part. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 129–135. DOI: 10.34031/article\_5d4d754620adc8.11242217