

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR PRESSURE TREATMENT

Научная статья

УДК 621.771

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-2-12-18

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ВТУЛОК С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ С РАССОГЛАСОВАНИЕМ СКОРОСТЕЙ ВАЛКОВ

Томило Вячеслав Анатольевич,
Белый Алексей Николаевич

Белорусский национальный технический университет

*для корреспонденции: anbely@bntu.by



Информация о статье

Поступила:

17 февраля 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 марта 2022 г.

Принята к публикации:

29 апреля 2022 г.

Ключевые слова:

Покрытие, деформация,
продольная прокатка с
рассогласованием скоростей
валков, двухслойный
композиционный
антифрикционный материал,
продольный изгиб.

Аннотация.

В статье проанализировано современное состояние теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку новых композиционных антифрикционных материалов на металлической основе, и создание технологии формирования тонкого (1–1,5 мм) пористого антифрикционного покрытия на рабочей поверхности изделий триботехнического назначения. Исследованы режимы получения тонкостенных композиционных антифрикционных втулок, особенностью которого является применение метода продольной прокатки с рассогласованием скорости валков как способа формирования окончательных физико-механических и триботехнических свойств получаемых изделий.

Для цитирования: Томило В.А., Белый А.Н. Получение тонкостенных композиционных антифрикционных втулок с применением метода продольной прокатки с рассогласованием скоростей валков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 2 (150). С. 12-18. doi: 10.26730/1999-4125-2022-2-12-18

Введение

Одна из задач, остро стоящая на сегодняшний день – это создание антифрикционных материалов, обладающих повышенной износостойкостью, низким значением коэффициента трения, способностью работать при высоких скоростях и больших нагрузках, а также в различных активных средах. Одним из таких материалов является композиционный антифрикционный материал, который представляет собой стальную ленту с нанесенным на нее порошком бронзы [1].

Композиционные антифрикционные материалы для работы в узлах трения получают литьем, газотермической наплавкой, сваркой взрывом [2], однако только технология порошковой металлургии позволила наиболее полно реализовать основные требования к триботехническим параметрам [3, 4] за счет введения различного рода смазок и антифрикционных добавок.

Композиционные антифрикционные материалы позволяют повысить надежность и долговечность деталей узлов трения. К важнейшим теплофизическим свойствам таких материалов относятся их теплопроводность, теплоемкость, температурные коэффициенты линейного и объемного расширения и усадка. Увеличение теплопроводности достигается путем введения в композицию порошкообразных материалов с высокой теплопроводностью [5, 6]. Для улучшения физико-механических и триботехнических свойств антифрикционных материалов используют различные мелкодисперсные наполнители: графит, дисульфид молибдена [7].

Для узлов трения, работающих при высоких скоростях скольжения и механических нагрузках, такие материалы не применяют из-за их недостаточной прочности; также определенные трудности вызывает получение тонкостенных втулок, отношение толщины стенки втулки к ее наружному диаметру 0,025–0,045 [8] и с толщиной стального вкладыша 1 – 1,5 мм, антифрикционного слоя 0,5–1 мм [9], а также пористостью 12–15 % [10], причем поры должны быть сообщающимися и равномерно распределенными по контактной поверхности. В связи с этим необходима разработка новых методов получения композиционных антифрикционных материалов, исключающих эти недостатки.

В этой связи актуальна разработка технологии получения композиционного антифрикционного материала.

Машиностроительные предприятия Республики Беларусь вынуждены закупать иностранные аналоги разрабатываемого материала за рубежом (Китай, Германия, Украина). Ежегодная потребность Житковичского моторостроительного завода достигает 210 тыс. штук. Исследования в области создания композиционного антифрикционного материала с порошковым антифрикционным слоем для работы в узлах трения ориентированы на импортозамещение и повышение эксплуатационных свойств антифрикционных материалов, применяемых в машиностроении.

Цель работы – разработка технологии получения тонкостенных композиционных антифрикционных втулок для шестеренчатого насоса, особенностью которой является применение метода продольной прокатки с рассогласованием скорости валков как метода формирования окончательных физико-механических и триботехнических свойств получаемых изделий.

Методика исследования

Для повышения прочности контакта компактная сталь – порошковый слой были проведены следующие исследования:

1. Предварительно проводили пластическую деформацию стальной основы на прокатном стане СПП – 180 с рельефными валками. Предварительное нанесение рифления на стальную основу обеспечивает большую площадь контакта стальной основы с порошковым антифрикционным слоем [11]. Обжатие при прокатке со степенью 30-50% позволяет получить пористость антифрикционного слоя 12-15 %, обеспечивающую максимальные триботехнические свойства за счет оптимального заполнения смазкой пористого антифрикционного слоя. Обжатие со степенью менее 30 % приводит к увеличению пористости антифрикционного слоя, соответственно снижению его износостойкости, обжатие со степенью более 50% приводит к уменьшению пористости, что не позволяет получать необходимого заполнения антифрикционного слоя смазкой и вызывает повышение коэффициента трения антифрикционного слоя.

2. Перед нанесением порошкового слоя стальную основу методом деформационного плакирования гибким инструментом покрывали пленкой из бронзы марки БрОФ 10-1 [12]. Толщина слоя покрытия из бронзы БрО10Ф1 на чистых поверхностях составляла 9...12 мкм.

3. Антифрикционный порошковый слой на пластину наносили методом свободной насыпки и подвергали спеканию в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза при температуре 750-780 °С в течение 50-60 мин.

4. Далее проводили прокатку полученных заготовок.

Целью прокатки тонкостенного композиционного антифрикционного материала является формирование втулок определенных профиля и пористости композиционного антифрикционного материала [13]. Подобного эффекта можно достичь, используя асимметричную прокатку. Кинематическая асимметрия связана с неравенством окружных скоростей рабочих валков.

Асимметричная прокатка в валках, вращающихся с различными окружными скоростями, позволяет снизить давление металла на валки, в результате чего повышается степень деформации за проход, что подтверждает результаты компьютерного моделирования процесса прокатки композиционного антифрикционного материала сталь – порошковая бронза с использованием программы LS-DYNA [14, 15] (рис.1).

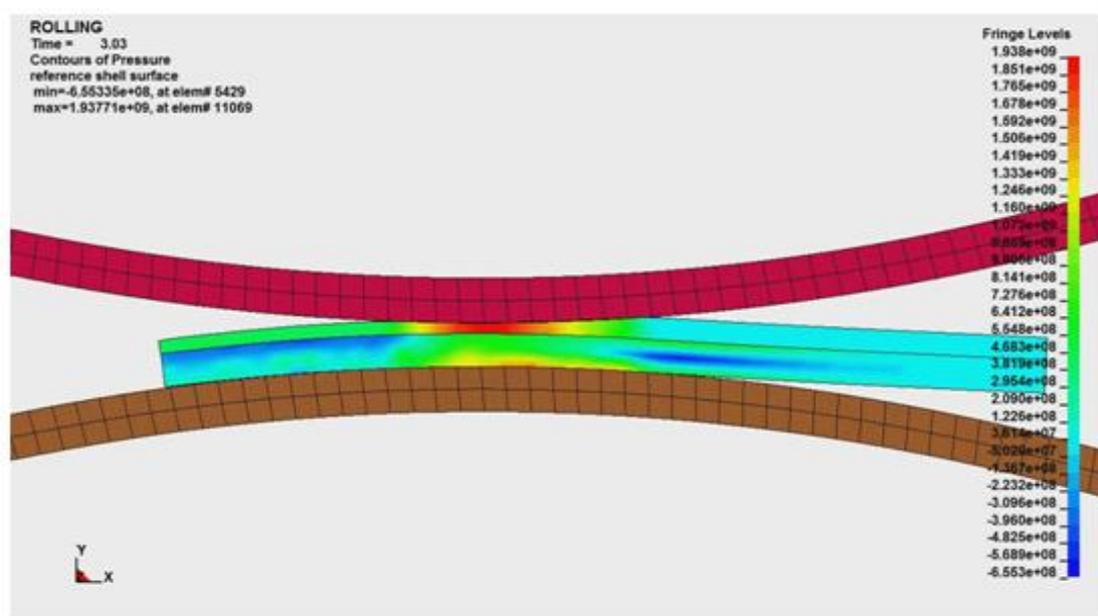


Рис. 1. Распределение давления по сечению образца
Fig. 1. Pressure distribution over the sample cross section

Аналитическое соотношение для определения радиуса изгиба срединного слоя полосы представили в виде

$$r = \frac{1+k \frac{1+S_2}{1+S_1}}{1-k \frac{1+S_2}{1+S_1}} \cdot \frac{h}{2},$$

где k – коэффициент, равный $k = \frac{v_2}{v_1}$,

v_1 и v_2 – окружные скорости первого и второго валков соответственно,

S_1 и S_2 – величины опережения на первом и втором валках соответственно,

h – толщина композиционного антифрикционного материала на выходе из валков, мм.

Сходимость расчетного значения и компьютерного моделирования составляет 7%, что является допустимым для задач подобного рода.

Проведенные исследования показали, что прокатка композиционных антифрикционных материалов после спекания обеспечивает уплотнение порошкового антифрикционного слоя (пористость 12–15%) и образование сплошного слоя, не отслаивающегося при изгибе. В антифрикционном порошковом слое наблюдается сквозная по всей толщине пористость.

Поры сообщающиеся и равномерно распределены по контактной поверхности, что позволяет материалу эффективно аккумулировать смазывающие вещества (рис. 2).

Микроструктурный анализ образцов показал, что в антифрикционном слое наблюдаются сферические частицы с различной степенью деформации. Это связано с рельефом предварительно сформированной поверхности пластины (рис. 3), что способствует лучшему взаимодействию компонентов двухслойного материала при сохранении способности насыщения поверхностного слоя жидкими смазками.

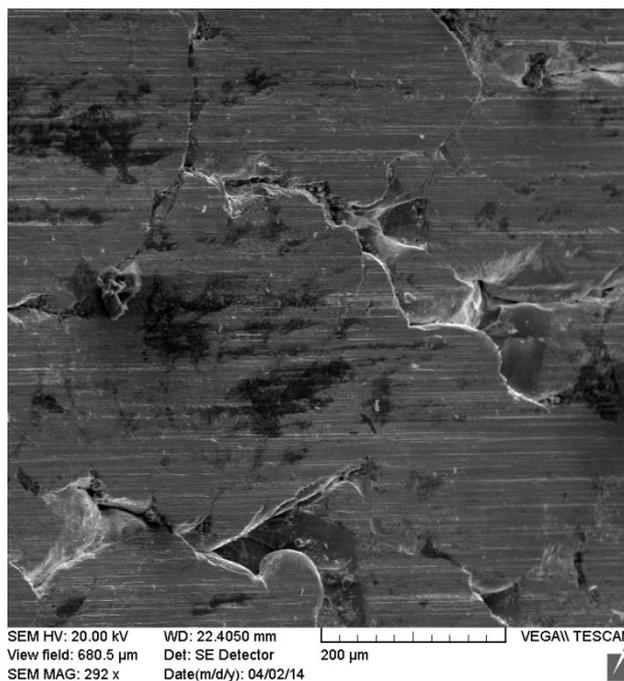


Рис. 2. Микроструктура рабочей поверхности композиционного двухслойного материала с порошковым антифрикционным слоем ($\times 500$)

Fig. 2. Microstructure of the working surface of a composite two-layer material with a powder anti-friction layer ($\times 500$)



Рис. 3. Микроструктура композиционного двухслойного материала с порошковым антифрикционным слоем ($\times 200$)

Fig. 3. Microstructure of a composite two-layer material with a powder anti-friction layer ($\times 200$)

Проведенные триботехнические испытания показали, что коэффициент трения образцов составил 0,028–0,03, что соответствует требованиям, предъявляемым к антифрикционным материалам на основе бронзы.

Выводы

На основании выполненного теоретического и экспериментального изучения процесса получения тонкостенных композиционных антифрикционных втулок продольной прокаткой с рассогласованием скоростей валков из стали марки Ст3 и бронзового сферического порошка

марки БрОФ 10-1 (фр. 0,3 – 0,4 мм) разработан технологический процесс (НИЛ ОМД ТП 01/17) и проведены промышленные испытания образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федорченко И. М., Пугина Л. И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. Киев : Наукова думка, 1980. 404 с.
2. Сорокин Г. М. Проблемы технического обновления различных отраслей машиностроения // Трение и износ. 2001. Т. 22, № 3. С. 349-353.
3. Чичинадзе А. В., Берлинер Э. М., Браун Э. Д. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). М. : Машиностроение, 2003. 576 с.
4. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Конструирование, изготовление и эксплуатация машин. М. : МСХА, 2002. 626 с.
5. Крагельский И. В., Михин Н. В. Узлы трения машин : Справочник. М. : Машиностроение, 1984. 280 с.
6. Бодуен Ф. П., Тейбор Д. Трение и смазка машин. М. : Машиностроение, 1969. 543 с.
7. Бобарикин Ю. Л., Шишков С. В. Способ изготовления полосового антифрикционного металлофторопластового материала // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2011. № 3 (46).
8. Технические данные. Подшипники скольжения. [Электронный ресурс] JNB/SWPB// ООО «НДБ тех». Режим доступа: <http://ndbteh.by/classific/81-razemnyye-podshipniki.html>. – Дата доступа: 21.04.2015.
9. Подшипники скольжения. Втулки свертные: Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 3547-4-2006. – Дата введения: 24.06.2006. – М.: Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 344, 2006.
10. Материалы антифрикционные порошковые на основе меди. Марки: ГОСТ 26719-85. – Дата введения: 01.01.1987. Дата актуализации: 06.04.2015. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 6 с.
11. Белявин К. Е., Белый А. Н. Технология получения композиционного антифрикционного материала методом прокатки // Современ. методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научных трудов. В 3 кн. Кн.3. Обработка металлов давлением / редколлегия: С.А.Астапчик (гл.ред.) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2013. С.6-13.
12. Белявин К. Е., Белый А. Н., Дьячкова Л. Н., Леванцевич М. А. К вопросу о получении композиционного двухслойного антифрикционного материала // Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Мн. ФТИ НАН Беларуси. 2014. С.38 – 44.
13. Дьячкова Л. Н., Красняков И. И. Исследование особенностей структуры и физико-механических свойств двухслойных инфильтрированных материалов на основе железа Порошковая металлургия. Минск. 1996. № 19. С. 24-27.
14. Белявин К. Е., Белый А. Н., Абрамов А. А. Компьютерное моделирование процесса получения порошковых антифрикционных материалов. БНТУ. 2014.
15. Исаевич Л. А., Иванницкий С. В. Расчет радиуса изгиба полосы при обжатии в валках // Литье и металлургия. Минск. 2003. № 3. с. 128-130.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Томило Вячеслав Анатольевич, заведующий кафедрой «Машины и технология обработки металлов давлением», Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Я. Коласа, 24, учебный корпус 7), доктор техн. наук, профессор, mitomd@bntu.by

Белый Алексей Николаевич, старший преподаватель кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением», Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Я. Коласа, 24, учебный корпус 7), anbely@bntu.by

Заявленный вклад авторов:

Томило В.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Белый А.Н. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article**PRODUCTION OF THIN-WALL COMPOSITE ANTI-FRICTION BUSHINGS USING THE LONGITUDINAL ROLLING METHOD WITH ROLL SPEED MISMATCH****Tomilo Vyacheslav A.,
Bely Aliaksey N.**

Belarusian National Technical University

*for correspondence: anbely@bntu.by

**Article info**

Submitted:

17 February 2022

Approved after reviewing:

30 March 2022

Accepted for publication:

29 April 2022

Keywords: Coating,
deformation, longitudinal rolling
with roll speed mismatch, two-
layer composite antifriction
material, longitudinal bending**Abstract.**

The article analyzes the current state of theoretical and experimental research aimed at developing new metal-based composite antifriction materials and creating a technology for forming a thin (1–1.5 mm) porous antifriction coating on the working surface of tribotechnical products. The conditions for obtaining thin-walled composite anti-friction bushings, a feature of which is the use of the method of longitudinal rolling with a mismatch in the speed of the rolls, as a method of forming the final physical-mechanical and tribotechnical properties of the products obtained, are studied.

For citation: Tomilo V.A., Bely A.N. Production of thin-wall composite anti-friction bushings using the longitudinal rolling method with roll speed mismatch. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 2(150):12-18. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-2-12-18

REFERENCES

1. Fedorchenko I.M., Pugin L.I. Kompozitsionnyye spechennyye antifriktsionnyye materialy [Composite sintered antifriction materials]. Kiev: Naukova Dumka; 1980. (rus)
2. Sorokin G.M. Problemy tekhnicheskogo obnovleniya razlichnykh otras-ley mashinostroyeniya [Problems of technical renewal of various branches of mechanical engineering]. *Friction and wear*. 2001; 22(3):349-353. (rus)
3. Chichinadze A.V., Berliner E.M., Brown E.D. Treniye, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika) [Friction, wear and lubrication (tribology and tribotechnics)] M.: Mashinostroenie; 2003. (rus)
4. Garkunov D.N. Tribotekhnika. Konstruirovaniye, izgotovleniye i eks-pluatatsiya mashin [Tribotechnics. Design, manufacture and operation of machines]. M.: MSHA; 2002. (rus)
5. Kragelsky I.V., Mikhin N.V. Uzly treniya mashin [Friction units of machines: Reference book]. M.: Mashinostroenie, 1984. - 280 p. (rus)
6. Bowdsen, F.P. Treniye i smazka mashin [Friction and lubrication of machines] / F.P. Bowdsen, D. Tabor. - M.: Mashinostroenie; 1969. (rus)
7. Bobarikin Yu.L., Shishkov S.V. Sposob izgotovleniya polosovogo antifriktsionnogo metalloftoroplastovogo materiala [Method for manufacturing strip antifriction metal-fluoroplastic material]. *Bulletin of the Gomel State Technical University*. 2011; 3(46). (rus)
8. Tekhnicheskkiye dannyye. Podshipniki skol'zheniya. [Technical data. Plain bearings]. [Electronic resource] JNB / SWPB // NDB tech LLC. Access mode: <http://ndbteh.by/classific/81-razemnye-podshipniki.html>. – Date of access: 04/21/2015. (rus)
9. Podshipniki skol'zheniya. Vtulki svertnyye [Plain bearings. Rolled bushings]: Interstate standard GOST ISO 3547-4-2006. – Date of introduction: 06/24/2006. - M.: Interstate technical committee for standardization MTK 344, 2006. (rus)

10. Materialy antifriktsionnyye poroshkovyye na osnove medi. [Antifriction powder materials based on copper]. Marks: GOST 26719-85. – Date of introduction: 01/01/1987. Date of update: 04/06/2015. - M.: Publishing house of standards, 1986. - 6 p. (rus)

11. Belyavin K.E., Tekhnologiya polucheniya kompozitsionnogo antifriktsionno-go materiala metodom prokatki [Technology for obtaining a composite antifriction material by rolling]. *Modern. Methods and technologies for the creation and processing of materials: Sat. scientific works. In 3 books. Book 3. Processing of metals by pressure / editorial board: S.A.Astapchik (editor-in-chief) [and others].* Minsk: FTI NAS of Belarus; 2013. (rus)

12. Belyavin K.E., Bely A.N., Dyachkova L.N., Levantsevich M.A. K voprosu o poluchenii kompozitsionnogo dvukhsloynnogo an-tifriktsionnogo materiala [On the issue of obtaining a composite two-layer anti-friction material]. *Modern methods and technologies for the creation and processing of materials. Mn. FTI NAS of Belarus.* 2014. (rus)

13. Dyachkova L.N., Krasnyakov I.I. Issledovaniye osobennostey struktury i fiziko-mekhanicheskikh svoystv dvukhsloynnykh infil'trirovannykh materialov na osnove zheleza [Investigation of structural features and physical and mechanical properties of two-layer infiltrated materials based on iron] *Powder metallurgy.* Minsk. 1996; 19:24-27.

14. Belyavin K.E., Bely A.N., Abramov A.A. Komp'yuternoye modelirovaniye protsessa polucheniya porosh-kovykh antifriktsionnykh materialov [Computer simulation of the process of obtaining powder antifriction materials]. BNTU; 2014. (rus)

15. Isaevich L.A., Ivanitsky S.V. Raschet radiusa izgiba polosy pri obzhatii v valkakh [Calculation of the bending radius of a strip during compression in rolls]. *Casting and metallurgy.* Minsk; 2003; 3:128-130. (rus)

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Vyacheslav A. Tomilo, Head of the Department of Machinery and Technology of Metal Forming, Belarusian National Technical University (267 st. Moscow, Brest, 224017, Belarus), Dr. Sc. in Engineering, Professor, mitomd@bntu.by

Aliaksey N. Bely, Senior Lecturer of the Department of Machinery and Technology of Metal Forming, Belarusian National Technical University (267 st. Moscow, Brest, 224017, Belarus), anbely@bntu.by

Contribution of the authors:

Vyacheslav A. Tomilo – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

Aliaksey N. Bely – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

