

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.01:621.762:621.89:669.71:669.3

М. Г. АСКЕРОВ

## ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОЙ БРОНЗЫ

Выполнены исследования влияния твердых включений - порошков нержавеющей стали, стеллита, ферроборхрома и ультрадисперсного углеродного конденсата и дополнительной технологической обработки на механические свойства материалов на основе оловянистой бронзы БрО10. Показано, что наличие твердых включений в сочетании с технологической обработкой существенно повышает свойства пористой бронзы. Установлено, что наиболее высокие значения прочности достигаются при содержании включений 30 %.

**Ключевые слова:** твердые включения, оловянистая бронза, композиционный материал, механические свойства, технологический цикл.

**Введение.** В настоящее время в ряде отраслей промышленности и ответственных узлах вращательного и колебательного движения используются литые подшипники, которые успешно работают без смазки при высоких нагрузках [1, 2]. Однако такие материалы имеют ряд недостатков – быстро изнашиваются при высоких скоростях скольжения, содержат в своем составе дорогостоящие компоненты, отличаются неравномерностью сил трения и износа во времени. Кроме того, традиционные технологии производства известных материалов не позволяют изготавливать из них детали с требуемым уровнем механических свойств для ряда конкретных узлов трения машин и механизмов, в частности для узлов полиграфического оборудования, летательных аппаратов, автомобилей [3, 4]. Поскольку потребности современной техники постоянно диктуют необходимость повышения эксплуатационных свойств подшипниковых материалов, на первый план выдвигается задача разработки материалов с более высокими физико-механическими характеристиками [5–8].

Особенностями эксплуатации вышеуказанной техники в широком диапазоне скоростей и нагрузок является повышенный коэффициент трения и износ при использовании подшипников на стальной и сталелатунной основах, что является следствием недостаточного уровня их физико-механических характеристик [9, 10].

Эти обстоятельства, послужили основанием для проведения исследований по повышению конструкционной прочности композиционных подшипниковых материалов путем оптимизации количества твердых включений, введенных в пористый бронзовый каркас, в сочетании с дополнительной технологической обработкой таких материалов.

**Цель работы.** Целью работы является исследование влияния твердых включений в сочетании с дополнительной технологической обработкой на физико-механические свойства пористой бронзы БрО10, как основы новых подшипниковых материалов для тяжело нагруженных узлов трения.

**Методика экспериментов по получению материалов.** В данной работе в качестве основы материала применялась порошковая оловянистая бронза БрО10. В качестве твердых включений использованы порошки нержавеющей стали X18H15, стеллита (Пр-

ВЗК), ФБХ6-6-2 (ферроборхром), УДУК (ультрадисперсный углеродный конденсат). Композиционные материалы изготавливали методами порошковой металлургии. Наряду с введением твердых включений в работе применялись другие способы упрочнения материала, а именно, использовали дополнительную технологическую обработку, заключающуюся в повторном прессовании и спекании. Прочностные испытания материалов выполнялись по стандартным методикам.

**Обсуждение результатов экспериментов по упрочнению пористой бронзы.** Результаты исследований прочности при сжатии бронзы, упрочненной указанными наполнителями, представлены на рис. 1.

Видно, что наиболее высокой прочностью обладает бронза, содержащая порошки нержавеющей стали X18H15 и стеллита. При этом обнаружено, что изменение содержания твердых включений от 0 до 50% не оказывает существенное влияние на прочность при сжатии бронзы. Это можно объяснить отсутствием взаимодействия твердых включений с матрицей материала, что обуславливает наличие границ раздела между фазами с невысокой прочностью взаимной связи. Наличие таких границ нивелирует аддитивный эффект упрочнения матрицы, который можно было бы ожидать при введении более прочной фазы.



Рис. 1 – Влияние содержания различных включений на прочность при сжатии бронзы БрО10: о – X18H15; □ – Пр-ВЗК; × – ФБХ6-6-2; Δ – УДУК

На рис. 2 представлені результати дослідження твердості бронзи, що містить порошок нержавіючої сталі X18H15.

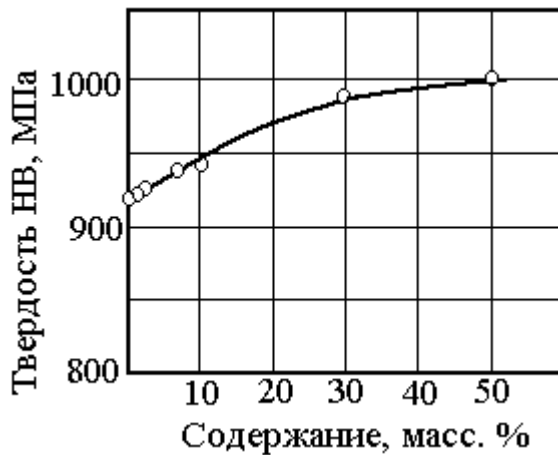


Рис. 2 – Вплив вмісту нержавіючої сталі X18H15 на твердість бронзи БрО10

В отличие от предыдущих результатов определения прочности при сжатии твердость бронзы с увеличением содержания нержавеющей стали X18H15 повышается. Это обусловлено изменением схемы течения материала при определении твердости. При внедрении индентора деформируемые слои материала встречают сопротивление течению, как по глубине, так и на периферийных участках очага деформации. При испытании материала на сжатие напряженные слои деформируются в направлении перпендикулярном направлению приложения нагрузки практически не встречая сопротивления. Такая схема деформации обусловлена геометрической формой образцов с отношением высоты к диаметру равным 1,5. При значительном уменьшении отношения высоты к диаметру схема деформирования при сжатии приближается к схеме деформирования при определении твердости.

На рис. 3, 4 представлены результаты исследований, из которых следует, что прочность материала резко снижается с увеличением содержания включений.

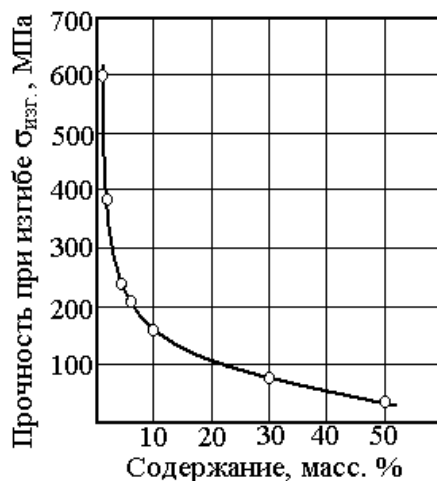


Рис. 3 – Вплив вмісту включень нержавіючої сталі X18H15 на міцність при вигині бронзи БрО10

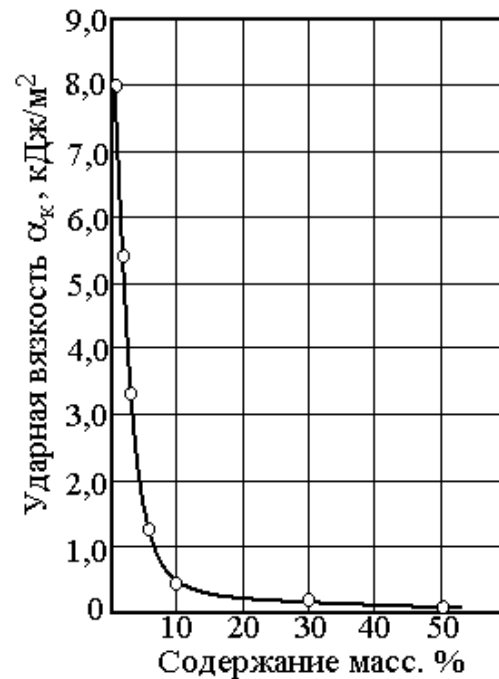


Рис. 4 – Вплив вмісту нержавіючої сталі X18H15 на ударну в'язкість бронзи

При этом наблюдается почти полная аналогия результатов исследований как прочности при изгибе, так и ударной вязкости. Такое поведение материала при испытании обусловлено идентичной схемой деформирования при определении прочности при изгибе и ударной вязкости и принципиальными отличиями данных видов испытаний от испытаний прочности при сжатии и твердости. В отличие от испытаний на прочность при сжатии и твердость, где деформированные слои материала испытывают в основном напряжения сжатия, деформируются в направлении приложения нагрузки и в перпендикулярном ему направлении, при испытании на прочность при изгибе и ударную вязкость материал в очаге деформации испытывает растягивающие напряжения отрыва, что приводит к возникновению трещин.

При этой схеме испытаний состояние межфазных границ приобретает принципиально более важное значение, чем при схеме испытания на сжатие материала. Анализ результатов этих исследований показывает, что по границам раздела включений и матрицы материала не происходит заметного межфазового взаимодействия, и границы раздела, по сути, являются слабым звеном и источником зарождения трещин.

Как отмечалось выше, в работе использовали дополнительную технологическую обработку, заключающуюся в повторном прессовании и спекании. Для краткости суммарную операцию прессования и спекания решено назвать технологическим циклом (т. ц.). Для выяснения влияния дополнительной технологической обработки на прочностные характеристики материалов спеченные образцы бронзы с различным содержанием включений подвергали дополнительно неоднократному прессованию и спеканию. Однократное дополнительное прессование образцов соответствовало значению 1,5-го технологического цикла. Последующее дополнительное спекание образцов соответствовало значению 2,0-го технологического

цикла (т. ц.) и так далее. На рис. 5 представлены результаты исследования прочности при сжатии бронзы с различным содержанием нержавеющей стали X18H15 в зависимости от количества технологических циклов.

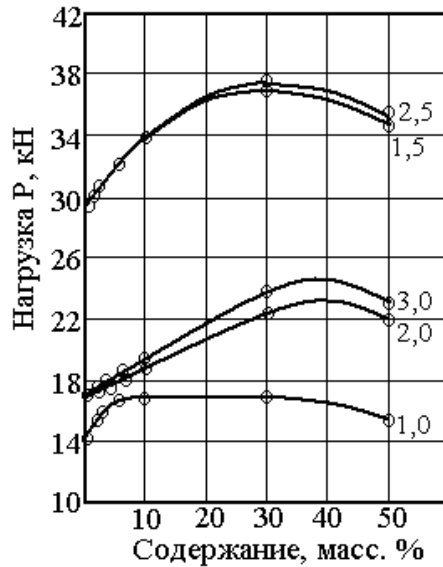


Рис. 5 – Влияние содержания нержавеющей стали и количества циклов технологической обработки на прочность при сжатии бронзы БрО10

Анализ результатов исследований показывает, что дополнительное прессование и спекание приводит к существенному увеличению прочности при сжатии. Причем наиболее значительное увеличение прочности наблюдается при технологической обработке, заканчивающейся операцией прессования (1,5 и 2,5 т. ц.), последующее спекание снижает прочность до некоторых промежуточных значений, лежащих выше значений прочности образцов, подвергнутых первому технологическому циклу.

Двукратная дополнительная технологическая обработка не приводит к существенному изменению результатов в сравнении с однократной технологической обработкой.

Существенное повышение прочности при 1,5 и 2,5 т. ц. обусловлено уплотнением материала, снижением пористости, внедрением материала матрицы в микронеровности включений, что затрудняет процесс течения материала. Последующее спекание наряду с углублением диффузионных процессов приводит к снятию внутренних напряжений и к некоторому разрыхлению материала, вызванному, по-видимому, процессами расширения при нагреве и малой усадки при охлаждении. Выявлено, что если при обычной однократной технологической обработке (1,0 т. ц.) содержание включений не влияет на прочность материала, то при последующей технологической обработке прослеживается зависимость прочности от содержания включений, причем наиболее высокое значение прочности имеет место при содержании включений 30 %.

**Выводы.** При выполнении исследований выявлено, что существенное повышение прочности пористой бронзы БрО10 с введенными твердыми включе-

ниями при многоциклового дополнительной технологической обработке обусловлено уплотнением материала, снижением пористости, внедрением материала матрицы в микронеровности включений, причем наиболее высокое значение прочности имеет место при содержании включений 30 %.

Дальнейшие исследования будут направлены на установление закономерностей формирования антифрикционных свойств композиционных материалов на основе пористой бронзы БрО10 в зависимости от количества введенных упрочняющих включений в сочетании с дополнительной технологической обработкой.

**Список литературы:** 1. Роїк, Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації: Монографія. [Текст] / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. – К.: НТУУ „КПІ”, 2007.–404 с. 2. Федорченко, И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы: Монография. [Текст] / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина. – К.: Наукова думка, 1980. – 404 с. 3. Зозуля, В. Д. Эксплуатационные свойства порошковых подшипников: Монография. [Текст] / В. Д. Зозуля. – К.: Наукова думка, 1989. – 288 с. 4. Гавриш, А. П. Нові технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації: Монографія. [Текст] / А. П. Гавриш, О. О. Мельник, Т. А. Роїк, М. Г. Аскеров, О. А. Гавриш. – К.: НТУУ „КПІ”, 2012.– 196 с. 5. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник [Текст] / [под ред. И. Д. Радомысльского]. – К.: Наукова думка, 1985. – 624 с. 6. Киричок, П. О. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин: Монографія. [Текст] / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віщук. – К.: НТУУ КПІ, 2015.– 428 с. 7. Роїк, Т. А. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні: Монографія. [Текст] / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, О. А. Гавриш. – К.: ЕКМО, 2010.– 212 с. 8. Роїк, Т. А. Прогресивні методи упрочнення і відновлення деталей циліндро-поршневої групи: Монографія. [Текст] / Т. А. Роїк, Д. Б. Глушкова, В. А. Бельї, Л. Л. Костина. – Харьков: ХНАДУ, 2014.–216 с. 9. Роїк, Т. А. Антифрикційні матеріали для вузлів тертя високошвидкісного поліграфічного обладнання [Текст] / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш, О. А. Гавриш // Технологія і техніка друкарства. – 2007.–№1–2.–С. 65–73. 10. Roik, T. Physical Mechanical And Tribotechnical Properties Of New Composite Bearings For Printing Equipment [Text] / T. Roik, A. Gavrish, P. Kyrychok, Yu. Vitsuk, M. Askerov // Journal of Science of the Gen. Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, Wrocław, Poland.– №2 (172). – 2014.–P. 141–149.

**Bibliography (transliterated):**1. Roik, T. A., Kyrychok, P. O., Gavrish, A. P. (2007). Composite bearing materials for increased operating conditions, Monograph. Kyiv. NTUU "KPI", 404. 2. Fedorchenko, I. M., Puhyna, L. I. (1980). Composite sintered antifriction materials, Monograph. Kyiv. Naukova Dumka, 404. 3. Zozulya, V. D. (1989). Operational properties of powder bearings, Monograph. Kyiv. Naukova Dumka, 288. 4. Gavrish, A. P., Melnik, O. O., Roik, T. A., Askerov, M. G., Gavrish, O. A. (2012). New technologies of finishing processing of composite bearings for hard operating conditions, Monograph. Kyiv. NTUU "KPI", 196. 5. Powder metallurgy. Materials, technologies, properties, fields of application: Manual (1985). Edited by I. D. Radomyselsky. Kyiv. Naukova Dumka, 624. 6. Kyrychok, P. O., Roik, T. A., Gavrish, A. P., Shevchuk, A. V., Vitsuk, Yu. Yu. (2015). New composite materials of friction parts for printing machines. Monograph. Kyiv. NTUU "KPI", 428. 7. Roik, T. A., Gavrish, A. P., Gavrish, O. A. (2010). Modern systems technologies of blanking production in machinebuilding, Monograph. Kyiv. NTUU "KPI", 212. 8. Roik, T. A., Glushkova, D. B., Belyi, V. A., Kostina, L. L. (2014). Progressive methods of hardening and restoration of cylinder-piston group's parts Monograph. Kharkov. HNADU, 216. 9. Roik, T. A., Kyrychok, P. O., Gavrish, A. P., Gavrish, O. A. (2007). Antifriction materials for friction units of high-speed printing equipment. Technology and Technique of Printing, №1 - 2, 65 - 73. 10. Roik, T., Gavrish, A., Kyrychok, P., Vitsuk, Yu., Askerov, M. (2014). Physical Mechanical And Tribotechnical Properties Of New Composite Bearings For Printing Equipment. Journal of Science of the Gen. Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, Wrocław, Poland, №2 (172), 141–149.

Поступила (received) 26.05.2015

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Аскеров Мукафат Гебат оглы** – кандидат технічних наук, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної Академії наук України, старший науковий співробітник відділу диспергування матеріалів і пластичної деформації прокаткою; тел.: 067-262-57-27; e-mail: [mukafat\\_ask@mail.ru](mailto:mukafat_ask@mail.ru).

**Аскеров Мукафат Гебат оглы** – кандидат технических наук, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича Национальной Академии наук Украины, старший научный сотрудник отдела диспергирования материалов и пластической деформации прокаткой; тел.: 067-262-57-27; e-mail: [mukafat\\_ask@mail.ru](mailto:mukafat_ask@mail.ru).

**Askerov Mukafat Geibat ogli** – Candidate Of Technical Sciences (Ph.D.), Institute for Problems of Material Science behalf I.M. Frantsevich of the National Academy of Science of Ukraine, Senior Researcher of the department of dispersing materials and plastic deformation by rolling; tel.: 067-262-57-27; e-mail: [mukafat\\_ask@mail.ru](mailto:mukafat_ask@mail.ru).

УДК 544.6:678

**В. З. БАРСУКОВ, І. В. СЕНИК, Б. М. САВЧЕНКО, Ю. В. ШПАК, Д. Р. ДРАГАН**

### ГНУЧКІ ЕЛЕКТРОПРОВІДНІ ПЛІВКИ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ І ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Розроблено методи формування гнучких електропровідних шарів з різними вуглецевими наповнювачами та частинками металів. Полімерну основу готували шляхом розведення порошку ПВХ в пластифікаторі. Результати вимірювань опору композиційних плівок показали, що він сильно залежить від природи вуглецевих наповнювачів, а також від їх концентрації. Також дослідженнями встановлено, що модифікація вуглецевої тканини за допомогою деяких наночастинок металів може збільшити її провідність. Така модифікація може бути забезпечена шляхом послідовного просочування звичайної вуглецевої тканини розчинами, що містять деякі частинки нано-металів.

**Ключові слова:** електропровідні шари, гнучкі струмоприймачі, вуглецева тканина з нано-частинками металів.

**Вступ.** Сонячні батареї - один з основних інструментів отримання альтернативної, в даному випадку - сонячної енергії. Добре відомі сонячні елементи працюють на принципі фотовольтаїки - коли енергія фотонів Сонця безпосередньо перетворюється в електричну. Сонячні системи такого типу встановлюються на дахах приватних будинків, є основою сонячних електростанцій, літають в космос - в якості енергетичних установок космічних станцій та супутників. Існують й інші способи отримання сонячної енергії, засновані на принципі збору та акумуляції теплової енергії сонячних променів, яка витрачається на підігрів води та приміщень - як це робить сонячний колектор; для подальшого перетворення тепла, отриманого від Сонця, все в ту ж електрику цей принцип покладено, зокрема, в основу роботи так званих «сонячних веж» - теплових сонячних електростанцій.

Полімерні структури для оптико-електронних пристроїв, таких як органічні світлодіоди та органічні фотоелектричні діоди, а також компоненти до них, як правило, складаються з послідовних діелектричних шарів, нанесених на скляні або пластикові основи. Світлові хвилі, проходячи через багатошарову структуру, можуть викликати різні цікаві оптичні явища, які фактично і визначають ефективність пристрою.

Сучасні оптичні пристрої потребують гнучких і добре електропровідних основ в якості струмопідводу, що забезпечило б зменшення їх масових і об'ємних габаритів, зумовило б їх більшу мобільність, доступність та відкрило б нові сфери їх застосування. Це особливо актуально для органічних сонячних елементів (ОСЕ), деяких фотоелектричних (ФЕ), фотокаталітичних (ФК) і фотоелектрохімічних (ФЕХ) пристроїв [1-4].

Фізико-хімічні властивості полімерних плівок сильно залежать [5] від складу плівки та способів їх підготовки/формування. Процес формування синте-

тичного полімеру відбувається за допомогою хімічного зв'язку від багатьох сотень до тисяч мономерних молекул і в результаті цього утворюється макромолекули. В роботі представлено простий та не дорогий спосіб формування таких полімерних основ, які могли б бути використані в якості гнучких та електропровідних шарів фото- та оптоелектроніки.

**Ціль роботи.** Ціллю роботи являється дослідження впливу струмопровідних наповнювачів для ПВХ-пластизолів на електричні характеристики плівок та розробка способу модифікації графітових тканин з метою формування гнучких електропровідних шарів для фотоелектричних та фотоелектрохімічних пристроїв.

**Експериментальна частина формування гнучких електропровідних шарів.** Нами були синтезовано та вивчено широкий спектр композиційних матеріалів для забезпечення достатньо високої електропровідності, механічної та хімічної стабільності, які здатні до утворення адгезійно-зчеплених зв'язків з додатковими фоточутливими, каталітично-активними та іншими функціональними шарами в багатошарових фотоелектричних пристроях. Для цієї мети було визначено дві наступні групи композиційних матеріалів:

**Група 1.** ПВХ композити, наповнені різними вуглецевими наповнювачами (графіт, термічно розширений графіт, ацетиленова сажа, графітизована сажа). Концентрація наповнювача зазвичай коливалася в діапазоні від 5 до 20 %.

**Група 2.** Вуглецева тканина: стандартна та модифікована деякими наночастинами металів, їхніх оксидів та інших сполук (наприклад, Fe, Ni, Cu, Ag, CuI, ZnO і т. д.).

© В. З. Барсуков, І. В. Сеник, Б. М. Савченко, Ю. В. Шпак, Д. Р. Драган. 2015