

УДК 621.762

## Структура и свойства антифрикционных псевдосплавов порошковая сталь – медный сплав, инфильтрированных материалами различного состава

Л.Н. Дьячкова

Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа,  
ул. Платонова, 41, г. Минск 220005, Беларусь

Поступила в редакцию 03.05.2023.

После доработки 25.07.2023.

Принята к публикации 10.08.2023.

Исследованы структура и свойства антифрикционных псевдосплавов порошковая сталь – медный сплав, инфильтрированных материалами различного состава, показано, что механические и триботехнические свойства определяются как составом и структурой стального каркаса, так и, в большой степени, составом и структурой инфильтрата. Установлено, что предельное содержание свинца в инфильтрате, обеспечивающее отсутствие его наплывов на поверхности образца и большой (10—15 %) остаточной пористости, не должно превышать 3 %. Применение для инфильтрации смеси порошков меди и легирующих добавок более технологично, чем распылённых порошков бронз. Показано, что износостойкость псевдосплавов с каркасом из хромистой стали в меньшей степени зависит от состава инфильтрата, так как основной вклад в сопротивление износу вносит твёрдый стальной каркас. Введение в инфильтрат 3—5 % ультрадисперсных порошков оксида алюминия приводит к увеличению предельного давления схватывания на 1,2 МПа и износостойкости на 20—30 % за счёт измельчения структуры медного сплава и торможения дислокаций, возникающих при деформации в процессе трения. Показано, что в процессе изнашивания псевдосплавов в поверхностном слое происходит измельчение структуры, образование мартенсита в каркасе, соответственно, повышение микротвёрдости на 720—760 МПа.

**Ключевые слова:** псевдосплав, стальной каркас, плотность, инфильтрат, медный сплав, структура, механические свойства, износостойкость.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-4-301-309

**Адрес для переписки:**

Л.Н. Дьячкова  
Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа,  
ул. Платонова, 41, г. Минск 220005, Беларусь  
e-mail: dyachkova@tut.by

**Address for correspondence:**

L.N. Dyachkova  
Powder Metallurgy Institute named after Academician O.V. Roman  
Platonov str., 41, Minsk 220005, Belarus  
e-mail: dyachkova@tut.by

**Для цитирования:**

Л.Н. Дьячкова  
Структура и свойства антифрикционных псевдосплавов порошковая сталь – медный сплав, инфильтрированных материалами различного состава.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 4. – С. 301–309.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-4-301-309

**For citation:**

L.N. Dyachkova  
[Structure and Properties of Antifriction Pseudo-Alloys of the Powder Steel – Copper Alloy, Infiltrated with Materials of Various Compositions].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 4, pp. 301–309 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-4-301-309

# Structure and Properties of Antifriction Pseudo-Alloys of the Powder Steel – Copper Alloy, Infiltrated with Materials of Various Compositions

L.N. Dyachkova

*Powder Metallurgy Institute named after Academician O.V. Roman,  
Platonov str., 41, Minsk 220005, Belarus*

*Received 03.05.2023.*

*Revised 25.07.2023.*

*Accepted 10.08.2023.*

## Abstract

The structure and properties of powder steel – copper alloy antifriction pseudo-alloys infiltrated with materials of various compositions are studied, it is shown that mechanical and tribological properties are determined both by the composition and structure of the steel skeleton and, to a large extent, by the composition and structure of the infiltrate. It has been established that the limiting content of lead in the infiltrate, which ensures the absence of lead deposits on the sample surface and a large (10—15 %) residual porosity, should not exceed 3 %. The use of a mixture of copper powders and alloying additives for infiltration is more technologically advanced than atomized bronze powders. It is shown that the wear resistance of pseudo-alloys with a chromium steel skeleton depends to a lesser extent on the composition of the infiltrate, since the main contribution to wear resistance is made by a hard steel skeleton. The introduction of 3—5 % ultrafine aluminum oxide powders into the infiltrate leads to an increase in the seizure pressure by 1.2 MPa and wear resistance by 20—30 % due to the refinement of the copper alloy structure and the deceleration of dislocations that arise in the process of deformation during friction. It is shown that during the wear of pseudo-alloys in the surface layer the structure is refined, martensite is formed in the skeleton, and, accordingly, the microhardness increases by 720—760 MPa.

**Keywords:** pseudo-alloy, steel skeleton, density, infiltrate, copper alloy, structure, mechanical properties, wear resistance.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-4-301-309

---

### Адрес для переписки:

Л.Н. Дьячкова  
Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа,  
ул. Платонова, 41, г. Минск 220005, Беларусь  
e-mail: dyachkova@tut.by

### Address for correspondence:

L.N. Dyachkova  
Powder Metallurgy Institute named after Academician O.V. Roman  
Platonov str., 41, Minsk 220005, Belarus  
e-mail: dyachkova@tut.by

### Для цитирования:

Л.Н. Дьячкова  
Структура и свойства антифрикционных псевдосплавов  
порошковая сталь – медный сплав, инфильтрованных  
материалами различного состава.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 4. – С. 301–309.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-4-301-309

### For citation:

L.N. Dyachkova  
[Structure and Properties of Antifriction Pseudo-Alloys of the Powder  
Steel – Copper Alloy, Infiltrated with Materials of Various  
Compositions].  
*Trenie i Iznos.*  
2023, vol. 44, no. 4, pp. 301–309 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-4-301-309

## Список использованных источников

1. **James W.B. and West G.T.** Prediction sintering practices // Powder Metal Technologies and Applications. ASM Handbook, ASM International / Eds Lee P.W., Trudel Y., Iacocca R. et al. — 1998 (7), 1872—1935
2. **Тучинский Л.И.** Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. — М.: Металлургия. — 1986
3. **Батаев А.А., Батаев В.А.** Композиционные материалы: строение, получение, применение. — М.: Университетская книга; Логос. — 2006
4. **Klar E., Berry D.F., and Samal P.K.** Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Response of Copper Infiltrated Steels // Int. J. Powder Metall. — 1995 (31), no. 4, 317—324
5. **Kichigin V.I., Perel'man O.M., Rabinovich A.I., Bezmaternykh N.V., and Koshcheev O.P.** Determination of the Corrosion Rate of Powder Materials by Electrochemical Methods // Protect. Metal. Phys. Chem. Surf. — 2011, no. 47, 921—925
6. **Дьячкова Л.Н., Витязь П.А., Леонов А.Н., Дечко М.М.** Закономерности высокотемпературной инфильтрации при получении антифрикционных материалов системы железо—медь // ДАН НАН Б. — 2012 (56), № 4, 103—110
7. **Sanderow H. and Rivest P.** Mechanical Properties of Copper Infiltrated Low Alloy Steels Using Wrought Wire Infiltrant, <http://www.ultra-infiltrant.com/ Ultra%20Infiltrated%20Low%20Alloy%20Steels.pdf>. — 2014, November 12
8. **Дьячкова Л.Н., Витязь П.А.** Закономерности формирования структуры псевдосплавов системы порошковая сталь—медный сплав, получаемых инфильтрацией // ДАН НАН Б. — 2012 (56), № 5, 106—114
9. **Материал для пропитки порошковых сталей:** патент BY № 3370 от 26.08.1996
10. **Материал для пропитки порошковых углеродистых сталей:** патент BY № 3371 от 26.08.1996
11. **Lee P.W., Trudel Y., Iacocca R. et al.** Warm Compaction // Powder Metal Technologies and Applications. ASM Handbook, ASM International. — 1998 (7), 1271—1324
12. **Износостойкий композиционный материал на основе порошковой стали:** пат. RU 2033463 от 20.04.1995.
13. **Infiltrated Sintered Articles:** pat. US 4710223, 01.12.1987.
14. **Fang X., Liu J., Wang X., Li S., and Zheng L.** Study on Improving «Self-Sharpening» Capacity of W—Cu—Zn Alloy by the Pressureless Infiltration Method // Materials Science Engineering. — 2014 (A 607), 454—459
15. **Zhu Y., Wang S., Chen H., Li W., and Chen Z.** Fabrication and Characterization of 3-D  $C_f/ZrC$  Composites by Low-Temperature Liquid Metal Infiltration // Composites: B. — 2014 (56), 756—761
16. **Колачев Б.А., Ливанов В.А.** Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. — М.: Металлургия. — 1981
17. **Польцер Г., Майснер Ф.** Основы трения и изнашивания. — М.: Машиностроение. — 1984
18. **Ряховский А.М.** К расчету интенсивности изнашивания конструкционных материалов при упругопластическом фрикционно-контактном взаимодействии // Трение и износ. — 1990 (11), № 1, 42—48
19. **Громаковский Д.Г.** Кинетическая модель изнашивания // Российский симпозиум по трибологии: Самара. — 1993 (1), 4—7
20. **Зозуля В.Д.** Эксплуатационные свойства порошковых подшипников. — Киев: Наукова думка. — 1989
21. **Feldshtein E.E. and Dyachkova L.N.** Wear Minimization for Highly Loaded Iron-Based MMCs Due to the Formation of Spongy-Capillary Texture on the Friction Surface // Wear. — 2020 (444-445), 203161

## References

1. **James W.B. and West G.T.** Prediction sintering practices // Powder Metal Technologies and Applications. ASM Handbook, ASM International / Eds Lee P.W., Trudel Y., Iacocca R. et al. — 1998 (7), 1872—1935
2. **Tuchinskij L.I.** Kompozicionnye materialy, poluchaemye metodom propitki. — M.: Metallurgiya. — 1986 (in Russian)
3. **Bataev A.A., Bataev V.A.** Kompozicionnye materialy: stroenie, poluchenie, primenenie. — M.: Universitetskaya kniga; Logos. — 2006 (in Russian)
4. **Klar E., Berry D.F., and Samal P.K.** Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Response of Copper Infiltrated Steels // Int. J. Powder Metall. — 1995 (31), no. 4, 317—324
5. **Kichigin V.I., Perel'man O.M., Rabinovich A.I., Bezmaternykh N.V., and Koshcheev O.P.** Determination of the Corrosion Rate of Powder Materials by Electrochemical Methods // Protect. Metal. Phys. Chem. Surf. — 2011, no. 47, 921—925
6. **D'yachkova L.N., Vityaz' P.A., Leonov A.N., Dechko M.M.** Zakonomernosti vysokotemperaturnoj infil'tracii pri poluchenii antifrikcionnyh materialov sistemy zhelezo — med' // DAN NAN B. — 2012 (56), № 4, 103—110 (in Russian)
7. **Sanderow H. and Rivest P.** Mechanical Properties of Copper Infiltrated Low Alloy Steels Using Wrought Wire Infiltrant, <http://www.ultra-infiltrant.com/ Ultra%20Infiltrated%20Low%20Alloy%20Steels.pdf>. — 2014, November 12
8. **D'yachkova L.N., Vityaz' P.A.** Zakonomernosti formirovaniya struktury psevdosplavov sistemy poroshkovaya stal'—mednyj spлав, poluchaemyh infil'traciej // DAN NAN B. — 2012 (56), № 5, 106—114 (in Russian)
9. **Material dlya propitki poroshkovyh stalej:** patent BY № 3370 от 26.08.1996 (in Russian)

10. **Material dlya propitki poroshkovyh uglerodistyh stalej:** patent BY № 3371 ot 26.08.1996 (in Russian)
11. **Lee P.W., Trudel Y., Iacocca R. et al.** Warm Compaction // Powder Metal Technologies and Applications. ASM Handbook, ASM International. — 1998 (7), 1271—1324
12. **Iznosostojkij kompozicionnyj material na osnove poroshkovoj stali:** pat. RU 2033463 ot 20.04.1995 (in Russian)
13. **Infiltrated Sintered Articles:** pat. US 4710223, 01.12.1987
14. **Fang X., Liu J., Wang X., Li S., and Zheng L.** Study on Improving «Self-Sharpening» Capacity of W–Cu–Zn Alloy by the Pressureless Infiltration Method // Materials Science Engineering. — 2014 (A 607), 454—459
15. **Zhu Y., Wang S., Chen H., Li W., and Chen Z.** Fabrication and Characterization of 3-D  $C_f/ZrC$  Composites by Low-Temperature Liquid Metal Infiltration // Composites: B. — 2014 (56), 756—761
16. **Kolachev B.A., Livanov V.A.** Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnyh metallov i splavov. — M.: Metallurgiya. — 1981 (in Russian)
17. **Pol'cer G., Majssner F.** Osnovy treniya i iznashivaniya. — M.: Mashinostroenie. — 1984 (in Russian)
18. **Ryakhovskii A.M.** Calculation of Wear Intensity of Construction Materials under Elastoplastic Friction-Contact Interaction // Journal of Friction and Wear. — 1990 (11), no. 1, 34—39
19. **Gromakovskij D.G.** Kineticheskaya model' iznashivaniya // Rossijskij simpozium po tribologii: Samara. — 1993 (1), 4—7 (in Russian)
20. **Zozulya V.D.** Ekspluatacionnye svoystva poroshkovyh podshipnikov. — Kiev: Naukova dumka. — 1989 (in Russian)
21. **Feldshtein E.E. and Dyachkova L.N.** Wear Minimization for Highly Loaded Iron-Based MMCs Due to the Formation of Spongy-Capillary Texture on the Friction Surface // Wear. — 2020 (444-445), 203161

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
Full text of articles can be purchased from the editorial office.  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)