

УДК 621.762

Влияние ультрадисперсных добавок интерметаллидов на структуру, механические и триботехнические свойства спеченной оловянистой бронзы

Л.Н. Дьячкова, А.И. Лецко

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

Поступила в редакцию 08.02.2024.

После доработки 15.06.2024.

Принята к публикации 18.06.2024.

Представлены результаты исследования влияния введения порошков интерметаллических соединений различного состава, полученных СВС с предварительной механоактивацией, на структуру, механические и триботехнические свойства спеченной бронзы. Установлено, что введение 0,2—0,5 мас. % алюминидов никеля и титана, как однофазных, так и двухфазных, приводит к повышению плотности и прочности спеченной бронзы, максимальная прочность достигается при введении 0,2 мас. % алюминидов. Зависимость твердости спеченной бронзы от количества и состава интерметаллида отличается от зависимости прочности, при введении однофазных интерметаллидов твердость возрастает с увеличением содержания добавки, а двухфазных — снижается. Показано, что введение алюминидов обеспечивает измельчение структуры бронзы при спекании, а при содержании добавки 1 мас. % — и увеличение количества эвтектоида ($\alpha+\delta$). Введение алюминидов положительно влияет и на триботехнические свойства спеченной бронзы. При введении 0,5 мас. % двухфазного алюминида никеля и 0,2 мас. % однофазного алюминида титана предельное давление схватывания и износостойкость повышается в 2,8 раза и 3,5 раза соответственно. Добавка 0,5 мас. % однофазных алюминидов никеля, титана и железа позволяет снизить коэффициент трения до 0,009—0,011, а двухфазного алюминида железа — до 0,005. Наиболее эффективно повышает триботехнические свойства спеченной бронзы введение алюминидов железа, так предельное давление схватывания повышается до 10 МПа, износостойкость — практически в 10 раз. Алюминиды способствуют уменьшению рельефности поверхности трения при азгезионном износе спеченной бронзы и образованию микролакун, являющихся дополнительными резервуарами для смазки. Наиболее сглаженная поверхность трения и большее содержание микролакун наблюдается в образцах из порошковой бронзы с добавкой однофазного алюминида железа.

Ключевые слова: спеченная бронза, интерметаллиды, плотность, структура, коэффициент трения, износостойкость, поверхности износа.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-199-209

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, А.И. Лецко.
Влияние ультрадисперсных добавок интерметаллидов на структуру, механические и триботехнические свойства спеченной оловянистой бронзы.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 3. — С. 199—209.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-199-209

For citation:

L.N. Dyachkova and A.I. Letsko.
[Influence of Ultrafine Additives of Intermetallides of on the Structure, Mechanical and Tribotechnical Properties of Sintered Tin Bronze].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 3, pp. 199—209 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-199-209

Influence of Ultrafine Additives of Intermetallides of on the Structure, Mechanical and Tribotechnical Properties of Sintered Tin Bronze

L.N. Dyachkova and A.I. Letsko

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

Received 08.02.2024.

Revised 15.06.2024.

Accepted 18.06.2024.

Abstract

The results of a study of the influence of the introduction of powders of intermetallic compounds of various compositions obtained by SHS with preliminary mechanical activation on the structure, mechanical and tribological properties of sintered bronze are presented. It was found that the introduction of 0.2—0.5 wt. % of nickel and titanium aluminides, both single-phase and two-phase, leads to an increase in the density and strength of sintered bronze; maximum strength is achieved with the introduction of 0.2 wt. % aluminides. The dependence of the hardness of powder bronze on the amount and composition of the intermetallic compound differs from the dependence of strength; with the introduction of single-phase intermetallic compounds, the hardness increases with increasing additive content, and with two-phase intermetallic compounds it decreases. It has been shown that the introduction of aluminides ensures a refinement of the structure of the bronze during sintering, and at an additive content of 1 wt. % — and an increase in the amount of eutectoid ($\alpha+\delta$). The introduction of aluminides also has a positive effect on the tribological properties of sintered bronze. With the introduction of 0.5 wt. % two-phase nickel aluminide and 0.2 wt. % single-phase titanium aluminide, the seizure pressure and wear resistance increase by 2.8 times and 3.5 times, respectively. Additive 0.5 wt. % of single-phase nickel, titanium and iron aluminides allows reducing the friction coefficient to 0.009—0.011, and two-phase iron aluminide to 0.005. The introduction of iron aluminides most effectively increases the tribological properties of sintered bronze, so the seizure pressure increases to 10 MPa, wear resistance — almost 10 times. Aluminides help reduce the relief of the friction surface during adhesive wear of sintered bronze and the formation of microlacunae, which are additional reservoirs for lubrication. The most smooth friction surface and a higher content of microlacunae are observed in samples made of powder bronze with the addition of single-phase iron aluminide.

Keywords: sintered bronze, intermetallic compounds, density, structure, friction coefficient, wear resistance, wear surfaces.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-199-209

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
Bauman Moscow State Technical University,
2-nd Baumanskaya, 7, Moscow 105005, Russia
e-mail: dyachkova@tut.by

Для цитирования:

Л.Н. Дьячкова, А.И. Лецко.
Влияние ультрадисперсных добавок интерметаллидов на
структуру, механические и триботехнические свойства спеченной
оловянистой бронзы.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 3. — С. 199—209.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-199-209

For citation:

L.N. Dyachkova and A.I. Letsko.
[Influence of Ultrafine Additives of Intermetallides of on the Structure,
Mechanical and Tribotechnical Properties of Sintered Tin Bronze].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 3, pp. 199—209 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-199-209

Список использованных источников

1. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. — М.: Университетская книга; Логос. — 2006
2. Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д. [и др.]. Порошковая металлургия, материалы, технология, свойства, области применения. Справочник. — Киев: Наукова думка. — 1985
3. Витязь П.А., Жорник В.И. [и др.]. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками. — Минск: Беларуская наука. — 2011
4. Sadykov F.A., Barykin N.P., and Aslanyan I.R. Wear of Copper and Its Alloys with Submicrocrystalline Structure // *Wear*. — 1999 (225-229), 649—655
5. Barlak Marek. Kompozyt ceramika Al_2O_3 -STOP Ni-Fe-Cr do taczania ceramiki z metalami // *Kompozyty*. — 2001, № 1, 12—15
6. Ai-min Li, Kangning Sun, and Jiangiang Bi. Mechanical Properties and Microstructure of Fe – Al/ Al_2O_3 Composite with Cr, Mo и Ti // *Trans. Non-ferrous Metals Soc. China*. — 2003 (13), no. 4, 860—863
7. Tjong S.C. Slip Wear of a Composite with a Matrix of Stainless Steel Reinforced with TiB_2 Particulates // *Mater. Letters*. — 1999 (41), no. 4, 153—158
8. Дьячкова Л.Н., Талако Т.Л. Исследование влияния добавок механоактивированных порошков оксидов на структуру и свойства порошкового материала на основе железа // *Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка: Материалы Междунар. симпозиума, Минск, 25-27.03.2009*. — Минск. — 2009 (2), 65—70
9. Дьячкова Л.Н., Лецко И.Н. Влияние дисперсных добавок боридов хрома на структуру и свойства порошковой углеродистой стали // *Порошковая металлургия*. — Минск. — 2007, № 30, 67—70
10. Карапетян Г.Х., Акопов Н.Л., Карапетян Ф.Х. Износостойкие порошковые материалы с интерметаллидным упрочнением. I. Беспористые материалы антифрикционного назначения // *Порошковая металлургия*. — 1987, № 4, 75—79
11. Корчагин М.А., Григорьева Т.Ф., Баринава А.Л., Ляхов Н.З. Твердофазный режим самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // *Доклады РАН*. — 2000 (372), № 1, 40—42
12. Merzhanov A.G. The Chemistry of Self-Propagating High-Temperature Synthesis // *J. Mater. Chem*. — 2004, no. 14, 1779—1786
13. Григорьева Т.Ф., Корчагин М.А., Баринава А.Л., Ляхов Н.З. Влияние механохимической активации на концентрационные границы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // *Доклады РАН*. — 1999 (369), № 3, 345—347
14. Bernard F. and Gaffet E. Mechanical Alloying in SHS Research // *Int. Journ. SHS*. — 2001, no. 2, 109—131
15. Григорьева Т.В., Баранова А.П., Ляхов Н.З. Механохимический синтез интерметаллических соединений // *Успехи химии*. — 2001, № 1, 54—71
16. Лецко А.И., Ильющенко А.Ф., Хина Б.Б. [и др.]. Особенности механоактивации реакционной шихты для синтеза алюминидов железа // *Порошковая металлургия*. — Минск. — 2005, № 28, 100—113
17. Лякошев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник. В 3-х т. — М.: Машиностроение. — 1996 (1)
18. 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. Bataev A.A., Bataev V.A. Compozicionnye materialy: stroenie, poluchenie, primenenie. — M.: Universitetskaya kniga; Logos. — 2006 (in Russian)
2. Fedorchenko I.M., Francevich I.N., Radomyselskiy I.D. [at al.]. Poroshkovaja metalurgija, materialy, tehnologija, svoistva, oblasti primenenija. Spravochnik. — Kiev: Naukova dumka. — 1985 (in Ukraine)
3. Vityaz' P.A, Zornik V.I. [at al.]. Modificirovanie materialov i pokrytij nanorazmernymialmazosoderzashimi dobavkami. — Minsk: Belarusskaja nauka. — 2011 (in Russian)
4. Sadykov F.A., Barykin N.P., and Aslanyan I.R. Wear of Copper and Its Alloys with Submicrocrystalline Structure // *Wear*. — 1999 (225-229), 649—655
5. Barlak Marek. Kompozyt ceramika Al_2O_3 -STOP Ni-Fe-Cr do taczania ceramiki z metalami // *Kompozyty*. — 2001, № 1, 12—15
6. Ai-min Li, Kangning Sun, and Jiangiang Bi. Mechanical Properties and Microstructure of Fe – Al/ Al_2O_3 Composite with Cr, Mo и Ti // *Trans. Non-ferrous Metals Soc. China*. — 2003 (13), no. 4, 860—863
7. Tjong S.C. Slip Wear of a Composite with a Matrix of Stainless Steel Reinforced with TiB_2 Particulates // *Mater. Letters*. — 1999 (41), no. 4, 153—158
8. D'yachkova L.N., Talako T.L. Issledovanie vlijanija dobavok mehanoaktivirovannyh poroshkov oksidov na strukturu i svojstva poroshkovogo materiala na osnove zeleza // *Inzenerija poverhnosti. Noveye poroshkovye kompozicionnye materialy. Svarka: Materialy Mezdunar. simpoziuma, Minsk, 25-27.03.2009*. — Minsk. — 2009 (2), 65—70 (in Russian)
9. D'yachkova L.N., Letcko I.N. Vlijanie dispersnyh dobavok boridov hroma na strukturu i svojstva poroshkovej uglevodistoj stali // — Minsk. — 2007, № 30, 67—70 (in Russian)
10. Karapetian G.H., Akopov N.L., Karapetian F.H. Iznosostoikie poroshkovye materialy c intermetal-

- lidnym uprochneniem. I. Besporistye materialy anti-frikcionnogo naznachenija // Poroshkovaja metallurgija. — 1987, № 4, 75—79 (in Russian)
11. **Korchagin M.A., Barinova A.L., Ljahov N.Z.** Tverdogaznyj rezim samorasprostranijushegosja vysokotemperaturnogo sinteza // Doklady RAN. — 2000 (372), № 1, 40—42 (in Russian)
 12. **Merzhanov A.G.** The Chemistry of Self-Propagating High-Temperature Synthesis // J. Mater. Chem. — 2004, no. 14, 1779—1786
 13. **Grigor'eva T.F., Korchagin M.A., Barinova A.L., Ljahov N.Z.** Vlijanie mehanohimicheskoj aktivacii na koncentracionnye granicy samorasprostranijushigosia vysokotemperaturnogo sinteza // Doklady RAN. — 1999 (369), № 3, 345—347 (in Russian)
 14. **Bernard F. and Gaffet E.** Mechanical Alloying in SHS Research // Int. Journ. SHS. — 2001, no. 2, 109—131
 15. **Grigor'eva T.F., Baranova A.P., Ljahov N.Z.** Mehanohimicheskij sintez intermetallicheskih soedinenij // Uspehi himii. — 2001, № 1, 54—71 (in Russian)
 16. **Lecko A.I., П'ushenko A.F., Hina B.B. [et al.].** Osobennosti mehanoaktivacii reakcionnoj shihty dlja sinteza aluminidov zeleza // Poroshkovaja metallurgija. — Minsk. — 2005, № 28, 100—113 (in Russian)
 17. **Liakoshev N.P.** Diagrammy sostojanija dvoynyh metallicheskih system: Spravochnik. V 3-h t. — M.: Mashinostroenie. — 1996 (1) (in Russian)
 18. **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