

Воздействие парными противоположными статическими силами (по 1 кН) на шпиндель и деталь (рис. 4. а) привело к их отклонениям по X на 6,3504 и –2,178 мкм соответственно (жесткость на шпинделе приемлема – 157 Н/мкм). Бетонно-ледяной КМ показал стабильность и жесткость (0,25992 мкм на ледяном СК). Проблема податливости локализована в регионе собственно шпиндельного узла станка). МКЭ-оценка показала, что лед и полимербетон в пакете работают монолитно.

Заключение.

1. Предложена система многослойного охватывающего усиления станка разнородными конвертами (*конверт-матрешка*).

2. Под контролем системы термостабилизации станка порции льда в конверт-матрешке уместны и как температурные стабилизаторы (при температуре плавления льда), и как элементы жесткости.

3. МКЭ-моделирование показало, что упругость льда достаточна для работы в составе конверт-матрешки. Наружная поддержка станка бетонно-ледяным пакетом обеспечивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lopez de Lacalle L.N., Lamikiz A., Machine Tools for High Performance Machining, London: Springer, 2009.

2. Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L., The finite element method, Butterworth-Heinemann. Vol. 1: Basis, Oxford, 2000.

3. Довнар С.С., Колесников Л.А., Яцкевич О.К., Авсиевич А.М., Шашко А.Е. Повышение статической жесткости несущей системы 5-осевого станка с ЧПУ. – «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки»: тезисы докл. 36-ой междунауч.-техн. конф. (Минск, 7 апреля 2022 г.). – Минск: Бизнесофсет. –2022. – с. 28–31. <https://rep.bntu.by/handle/data/111440>

4. Довнар С.С., Авсиевич А.М., Яцкевич О.К., Колесников Л.А., Яворский А.В. Динамический МКЭ-анализ усиления бетоном несущей системы 5-осевого токарно-фрезерного станка. – Минск – Шанхай – Чанчунь: стратегия прорывного сотрудничества: сборник материалов научно-практической конференции (Минск, 21 апреля 2022 г.) / Минск : Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 110–113. ISBN 978-985-583-755-9. <https://rep.bntu.by/handle/data/111591>

УДК 621.762.8

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИНФИЛЬТРИРОВАННЫЕ МЕДНЫМИ СПЛАВАМИ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА, СТРУКТУРА, ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА COMPOSITE IRON-BASED MATERIALS INFILTRATED WITH COPPER ALLOYS, STRUCTURE, TRIBOTECHNICAL PROPERTIES

Зверко А.А., ассистент,
Дьячкова Л.Н., д-р техн.наук, профессор,
Белорусский национальный технический университет, Минск, msfbntu306@gmail.com
Zverko A.A., assistant, Dyachkova L.N., PhD, professor, Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния состава на триботехнические свойства инфильтрированных медью стальных каркасов. Состав каркаса

на основе железа, его пористость и режимы получения оказывают существенное влияние на морфологию структуры и свойства инфильтрированных материалов. Увеличение содержания меди в псевдосплаве повышает его триботехнические свойства, а повышение содержания углерода в стальном каркасе обеспечивает большую износостойкость и предельное давление схватывания.

Ключевые слова: композиционные инфильтрированные медными сплавами материалы на основе железа, структура, триботехнические свойства.

Abstract. The results of studying the influence of the composition on the tribotechnical properties of copper-infiltrated steel frameworks are presented. It is shown that the composition of the iron-based framework, its porosity, and production modes have a significant effect on the morphology of the structure and properties of infiltrated materials. An increase in the copper content in the pseudo-alloy leads to an increase in the tribological properties of both pseudo-alloys obtained by pressing and sintering and infiltration, and an increase in the carbon content in the steel frame provides greater wear resistance and ultimate setting pressure.

Key words: iron-based composite materials infiltrated with copper alloys, structure, tribological properties

Введение. Основными узлами, определяющими срок службы машин и механизмов, являются узлы трения, долговечность которых определяется характеристиками антифрикционных материалов подшипников скольжения [1, 2]. Основным материалом узлов трения является литая бронза, однако уровень их триботехнических свойств не удовлетворяет требованиям условий эксплуатации современной техники. Необходимы новые антифрикционные материалы, обладающие повышенными функциональными характеристиками. Неограниченными перспективами для работы в условиях трения обладают композиционные материалы, состоящие из компонентов с различающимися физико-химическими свойствами, так называемые псевдосплавы [3, 4]. Наиболее широкое применение в промышленности нашли псевдосплавы сталь – медный сплав. Метод инфильтрации позволяет изготавливать изделия, получение которых другими методами либо невозможно, либо нерационально [5, 6].

Важным в технологии получения композиционных материалов методом инфильтрации является механическая совместимость компонентов, т. е. соответствие упругих характеристик и коэффициентов термического расширения всех фаз материала.

Важную роль в формировании свойств композиционных спеченных материалов, полученных методом инфильтрации, играет характер пористости каркаса. При пропитке жидким металлом могут заполниться только открытые и тупиковые поры.

Основная часть. В работе исследовали взаимосвязь состава и триботехнических свойств антифрикционных инфильтрированных медными сплавами каркасов из порошковых сталей.

Сравнительные испытания триботехнических свойств выявили преимущества псевдосплавов, полученных инфильтрацией, по сравнению с псевдосплавами, полученными традиционными методами порошковой металлургии, и компактной бронзой, особенно по предельному давлению схватывания и коэффициенту трения при больших давлениях (рис. 1). Это объясняется структурой и теплофизическими свойствами материала. В псевдосплавах, полученных прессованием и спеканием, несмотря на высокое содержание меди, теплопроводность невысокая, так как остаточная пористость составляет 10–15 % (рис. 2, а). Микроструктура псевдосплава, полученного инфильтрацией, более однородная, медная фаза расположена равномерно как по границам частиц, так и по границам зерен, что существенно повышает теплопроводность материала (рис. 2, б). Увеличение содержания меди приводит к повышению триботехнических свойств, как псевдосплавов, получаемых прессованием и спеканием (таблица 1), так и инфильтра-

цией. Так, увеличение содержания меди с 3 до 20 % обеспечивает повышение давления схватывания и износостойкость в 1,5–1,7 раза, однако даже при 20 % меди свойства ниже, чем у псевдосплавов, полученных инфильтрацией (таблица 2). Повышение содержание углерода в стальном каркасе псевдосплавов, практически не влияя на величину коэффициента трения, увеличивает предельно допустимое давление схватывания с 1,9 МПа при 0,5 % графита до 2,6 МПа при 1 % графита и до 3 МПа при содержании графита 2 % (рис. 3).

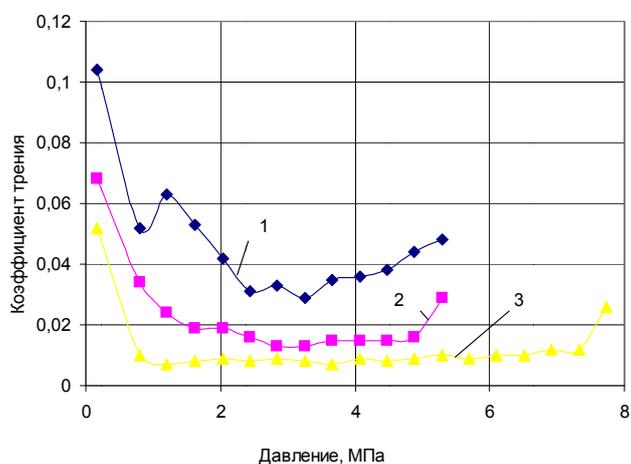


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения различных антифрикционных материалов: 1 – компактная бронза БрО10; 2 – псевдосплав ЖГр1Д15О5, полученный прессованием и спеканием; 3 – псевдосплав ЖГр1Д15О5, полученный инфильтрацией каркаса из стали ПК80 оловянной бронзой

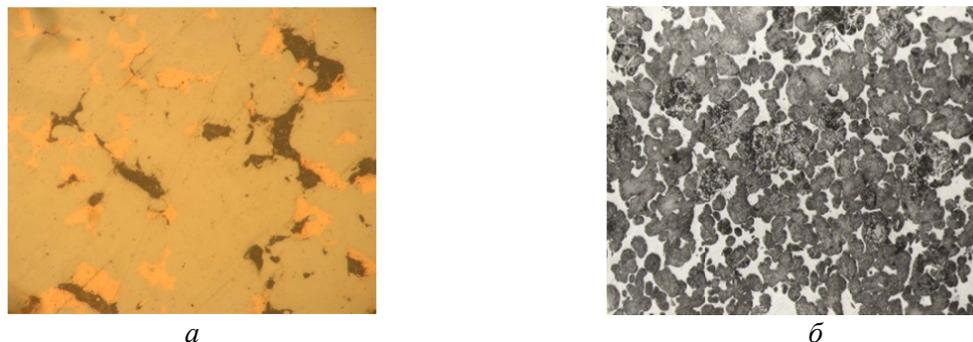


Рис. 2. Микроструктура псевдосплавов ПК80Д25, полученного различным способом. Х350: а – прессование и спекание, не травлено; б – инфильтрация, травлено

Таблица 1 – Влияние содержания меди на интенсивность изнашивания и давление схватывания псевдосплавов, получаемого прессованием и спеканием

Состав материала	Давление схватывания, МПа	Интенсивность изнашивания, мкм/км ($P = 2,8$ МПа, $V = 4$ м/с)
Fe + 1 % Гр	1,3	0,997
Fe + 2 % Гр	1,8	0,92
Fe + 2 % Гр + 3 % Cu	2,1	0,89
Fe + 2 % Гр + 20 % Cu	3,3	0,59

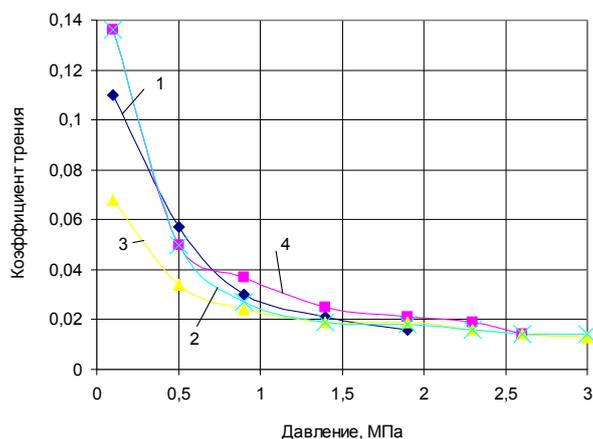


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения псевдосплавов порошковая углеродистая сталь – медь от удельной нагрузки.
 1 – 0,5 % графита; 2 – 1 % графита; 3 – 1,5 % графита; 4 – 2 % графита

Износостойкость псевдосплавов, полученного инфильтрацией, зависит как от содержания меди и ее морфологии, так и состава и твердости каркаса (таблица 2). Износостойкость псевдосплавов с каркасом из высокоуглеродистой стали большей плотности незначительно выше. Для повышения триботехнических свойств псевдосплавов в железную основу вводят твердые смазки, такие, как свинец, дисульфид молибдена и др. Добавки твердых смазок существенно снижают коэффициент трения псевдосплавов на основе углеродистых сталей и повышают предельно допустимое давление схватывания (рис. 4).

Таблица 2 – Зависимость износостойкости псевдосплавов, полученного инфильтрацией, от содержания углерода в каркасе и содержания и морфологии медной фазы ($P = 5$ МПа, $V = 6$ м/с)

Время изнашивания, ч	Интенсивность изнашивания, мкм/км						
	0,5	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,0
Содержание графита, %	0,5	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,0
Исходная относительная плотность, %	75	85	85	85	85	75	85
Состояние каркаса	спеч.	спеч.	неспеч.	спеч.	спеч.	спеч.	спеч.
2	0,87	1,85	0,69	0,463	0,347	0,23	0
5	0,805	1,02	0,648	0,37	0,278	0,185	0,185
10	0,506	0,602	0,463	0,255	0,278	0,185	0,139

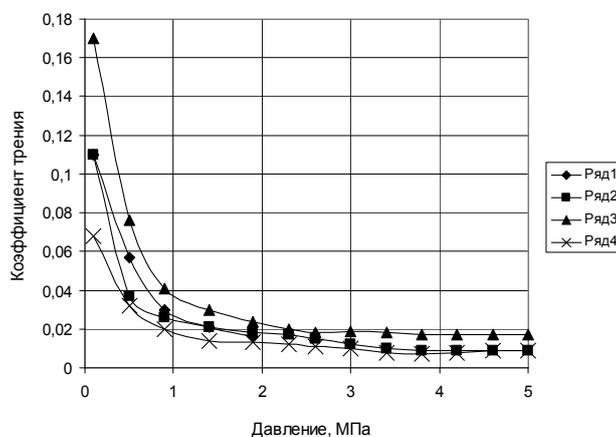


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения псевдосплавов порошковая низкоуглеродистая (0,5 % графита) сталь с добавками твердых смазок – медь от удельной нагрузки:
 1 – без добавки; 2 – 0,5 % дисульфида молибдена; 3 – 0,8 % серы; 4 – 5 % свинца

Заключение. Исследовано влияние состава на триботехнические свойства инфильтрированных медью стальных каркасов. Показано, что псевдосплавы, получаемые инфильтрацией пористых каркасов на основе железа медным сплавом, имеют более высокие механические и триботехнические свойства, чем получаемые прессованием и спеканием. Увеличение содержания меди с 3 до 20 % обеспечивает повышение предельного давления схватывания и износостойкость в 1,5–1,7 раза, а повышение содержания углерода в стальном каркасе псевдосплавов, практически не влияя на величину коэффициента трения, увеличивает предельно допустимое давление схватывания. Введение в стальной каркас твердых смазок существенно снижают коэффициент трения псевдосплавов на основе углеродистых сталей и повышают предельно допустимое давление схватывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин, Г. М. Проблемы технического обновления различных отраслей машиностроения / Г.М. Сорокин // Трение и износ. – 2001. – Т. 22. – № 3. – С. 322–331.
2. Гаркунов, Д.Н. Триботехника. Конструирование, изготовление и эксплуатация машин / Д.Н. Гаркунов. – М.: МСХА, 2002. – 626 с.
3. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – М.: Университетская книга; Логос, 2006. – 400 с.
4. Федорченко, И.М. Порошковая металлургия, материалы, технология, свойства, области применения. Справочник / И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1985. – 624 с.
5. Краснобаев, А.Г. Конструирование структуры композиционных материалов на основе железа с заданными функциональными свойствами: дис... канд. техн. наук: 05.02.01 / А.Г. Краснобаев. – Ростов-на-Дону, 2005. – 198 с.
6. Панин, В.Е. Новые материалы и технологии. Конструирование новых материалов и упрочняющих технологий / В.Е. Панин, В.А. Клименов, С.Г. Псахье. – Новосибирск: Наука, 1993. – 153 с.