
НОВЫЕ ЛИТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК: 620.1:684.45:669.112.2

Затуловский А. С. д-р техн. наук, зав. отделом, e-mail: kompozit@ptima.kiev.ua

Щерецкий В. А. канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: shcheretskyi@nas.gov.ua

Лакеев В. А. гл. технолог, e-mail: makeev61@ukr.net

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

КОМПОЗИЦИОННЫЙ АНТИФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ С МАТРИЦЕЙ ИЗ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ КОМПОНЕНТОВ, АРМИРОВАННЫЙ ЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

В работе показан существующий ресурс повышения износостойкости композиционных материалов системы бронза – сталь за счет применения матричных сплавов, в структуре которых формируются фазы твердой смазки путем расслоения расплавов вследствие монотектической реакции. Показано снижение на 30–40 % интенсивности износа композита на основе БрС30 в сравнении с матрицей из меди марки М1.

Ключевые слова: композит, железоуглеродистые сплавы, монотектическая реакция, износостойкость.

У роботі показано наявний ресурс підвищення зносостійкості композиційних матеріалів системи бронза – сталь за рахунок застосування матричних сплавів, у структурі яких формуються фази твердого мастила шляхом розшарування розплавів внаслідок монотектичної реакції. Показано зниження на 30–40 % інтенсивності зносу композита, виготовленого на основі БрС30, у порівнянні з матрицею з міді марки М1.

Ключові слова: композит, залізовуглецеві сплави, монотектична реакція, зносостійкість.

The investigation shows the real existing resource for increasing the wear resistance of the composite materials of the bronze-steel system due to usage of matrix alloys with structure containing solid lubrication phases which are formed by melts stratification as result of a monotectic reaction. There is 30–40 % decrease of the wear rate shown for a composite based on БрС30 (Cu30%Pb alloy) compared to composite with a copper matrix (M1).

Keywords: composite, iron-carbon alloys, monotectic reaction, wearproof.

Повышенные требования к уровню триботехнических свойств материалов, соответственно экстремальным условиям эксплуатации многих видов деталей, сегодня невозможно реализовать за счет использования лишь серийных сплавов и традиционных методов их обработки: легирования, модифицирования, термообработки и т. п. Необходимость и актуальность создания и внедрения в промышленность новых антифрикционных металлокомпозитов очевидна. Композиционные материалы имеют гетерофазную структуру, состоящую из двух или более, практически не растворимых (или мало растворимых) друг в друге компонентов

с различными физико-механическими свойствами, находящихся в оптимальном количественном и геометрическом расположении. К первой группе антифрикционных композиционных материалов относят материалы, у которых в пластичной мягкой матрице распределены более твердые структурные составляющие в виде изолированных друг от друга включений (гранул, частиц). Такие композиты по своему строению отвечают принципу Шарпи, который был сформулирован еще в XIX в. и долгое время использовался как основное правило конструирования антифрикционных материалов [1]. Однако в дальнейшем были созданы эффективные трибоматериалы, не отвечающие этому принципу [2]. Такие сплавы-композиции имеют гетерофазную структуру, состоящую из твердой матрицы и более мягких включений (фаз). Данные фазы могут выделяться спонтанно в процессе кристаллизации расплава в результате снижения растворимости одного из компонентов или фиксации гетерогенного расплава при существовании у этого сплава области несмешиваемости компонентов в жидком состоянии [2, 3].

Среди многочисленных сочетаний бинарных систем с несмешивающимися компонентами особое внимание привлекает к себе система Cu–Pb. Легкоплавкие, пластичные элементы наряду с прочной основой, отличающейся, кроме того, высокой теплопроводностью, создают основу для реализации принципа Шарпи для антифрикционных сплавов, работающих в режиме трения скольжения. Не менее важно, что тугоплавкая основа в этих сплавах может быть существенно упрочнена за счет рационального легирования и термообработки, а необходимые свойства легкоплавких элементов сохраняются на исходном уровне [4].

Диаграмма Cu–Pb имеет область несмешиваемости в жидком состоянии и монотектическую точку при температуре 954 °С, 36 %мас. свинца (рис. 1) [5].

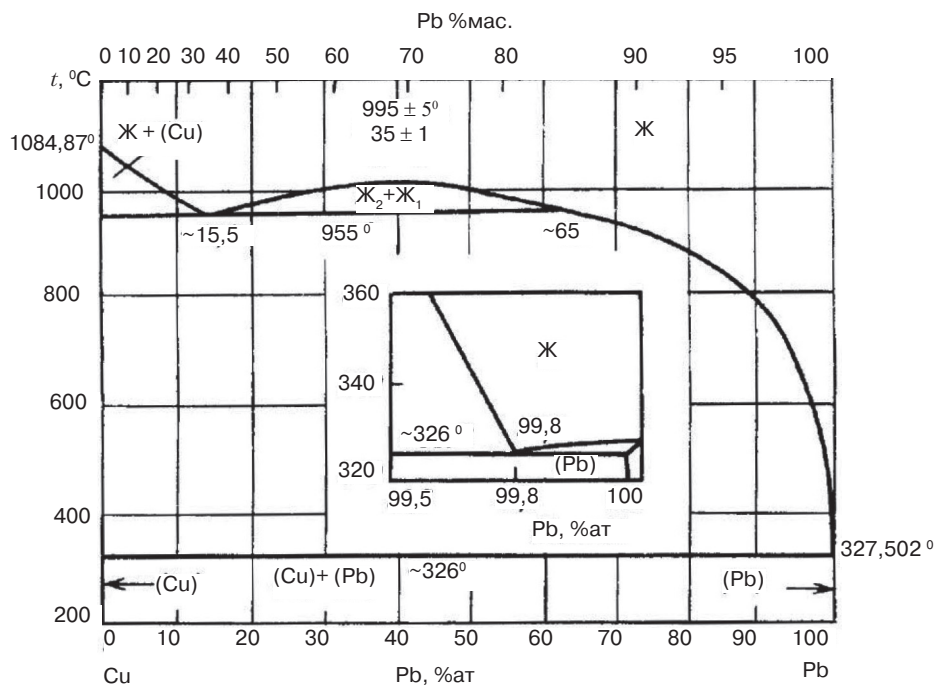


Рис. 1. Диаграмма состояния медь–свинец

При температуре 954 °С в ходе монотектической реакции из жидкости, содержащей 36 % свинца, выделяются новые кристаллы меди и она резко обогащается свинцом (до 87 %). В ходе этой реакции обогащенная свинцом жидкость разделяется выпадающими кристаллами на очень небольшие объемы и поэтому не образует сплошных прослоек. При дальнейшем охлаждении жидкость в этих микрообъемах выделяет дополнительно медь как твердую фазу и окончательно затвердевает при температуре 326 °С, достигнув по составу почти чистого свинца (99,95 %) [4].

С целью повышения триботехнических характеристик материала применили армирование дискретными стальными гранулами. Образцы получали методом самопроизвольной изотермической пропитки, то есть предварительно уложенные в графитовую форму и подогретые до температуры равной $1,1-1,3 T_{\text{ликв}}$ матричного сплава армирующие элементы помещались в термическую печь вместе с шихтовой насадкой (BrC30), уложенной в литниковую чашу. После чего при температуре ~ 1100 °C происходила пропитка гранул жидким расплавом [6].

При эксплуатации триботехнических деталей из композиционных материалов важное значение имеет период прирабатываемости, так как именно в этот период вступают во взаимодействие шероховатости вала с неровностями поверхности подшипника скольжения. С целью улучшения прирабатываемости, снижения коэффициента трения и уменьшения износа в качестве матричного материала была выбрана свинцовистая бронза BrC30, структура которой соответствует монотектической реакции для несмешивающихся жидкостей.

Микроструктура свинцовистой бронзы представляет собой твердую основу меди с вкрапленными в нее мелкими частицами свинца. Ее микроструктура отлична от большинства антифрикционных бронз, где в мягкую основу вкраплены твердые частицы (рис. 2). Свинец в свинцовистой бронзе и композите выполняет роль твердого смазочного материала и защищает шейку вала от прямого контакта с выступающими неровностями поверхности антифрикционной втулки. В начальный период трибоконтакта – период приработки, это особенно важно. В результате дифференцированного изнашивания мягкой пластической матрицы и твердой дискретной армирующей фазы происходит приработка к надлежащей форме рабочей поверхности втулки относительно вала, выравнивание распределения нагрузок.

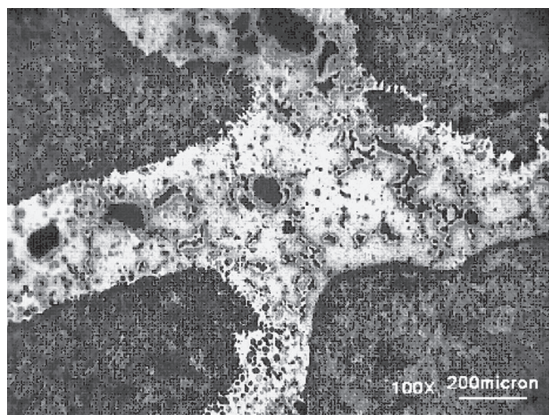


Рис. 2. Микроструктура композиционного материала системы бронза BrC30–сталь

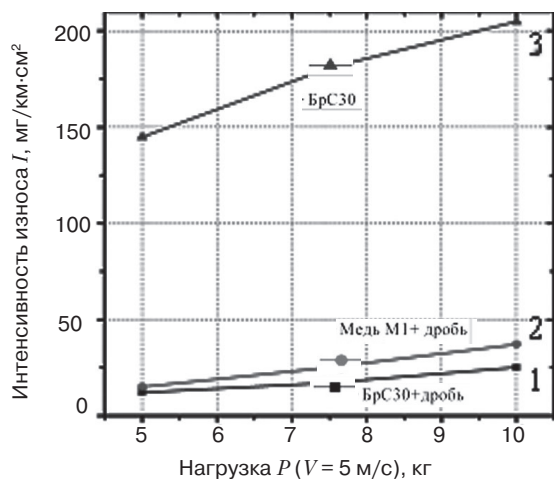


Рис. 3. Зависимость величины износа триботехнических материалов от нагрузки: 1– композиционный материал: бронза BrC30 (матрица) – стальная дробь (армирующие элементы); 2– композиционный материал: медь М1 (матрица) – стальная дробь (армирующие элементы); 3– бронза BrC30

после вступления в контакт неровностей антифрикционной втулки и вала повышается температура всей системы и на поверхность трения выдавливается порция пластичного и мягкого свинца, который вместе с медным сплавом образует стабильную разделительную поверхность между валом и антифрикционной втулкой. Стальные армирующие элементы эффективно противостоят нагрузкам, возникающим при эксплуатации в трибоузлах, что подтверждается триботехническими испытаниями нового композиционного материала в сравнении с мономатериалом (BrC30) и композиционным материалом с матрицей из меди М1 (рис. 3).

В результате триботехнических испытаний в режиме сухого трения установлено, что композиционные

материалы значительно превосходят по износостойкости бронзу БрС30. Композит с матрицей из свинцовистой бронзы имеет износостойкость выше на 30–40 %, чем композит с матрицей из меди М1. Это подтверждает перспективность внедрения разработанного экономнолегированного литого композиционного материала для подшипников скольжения, работающих в тяжелых условиях эксплуатации.



Список литературы

1. Буше Н. А., Копытько В. В. Совместимость трущихся поверхностей. – М.: Наука, 1981. – 128 с.
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1989. – 322 с.
3. Затуловський А. С. Формування градієнтних структур і трибовластивостей ЛКМ системи «мідь – сталь» // *Металознавство та обробка металів*. – 2006. – № 2. – С. 49–56.
4. Авраамов Ю. С., Шляпин А. Д. Сплавы на основе систем с ограниченной растворимостью в жидком состоянии (Теория, технология, структура и свойства). – М.: Интерконтакт наука, 2002. – 362 с.
5. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа / Под ред. Банных О. А., Будберг П. Б., Алисова С. П. и др. – М.: Metallurgiya, 1986. – 440 с.
6. Затуловский А. С., Романенко Ю. Н., Затуловский С. С. Исследование теплофизических и кинетических особенностей формирования макрорегерогенного металлокомпозита системы «медный сплав – сталь» в условиях твердо-жидкого совмещения // *Процессы литья*. – 2007. – № 4. – С. 47–51.



References

1. Bushe, N. A., Kopyt'ko, V. V. (1981) *Sovmestimost truschihysya poverhnostey [Compatibility of rubbing surfaces]*. Moscow: Nauka, 128 p. [in Russian].
2. Garkunov, D. N. (1989) *Tribotehnika [Tribotechnics]*. Moscow: Mashinostroenie, pp. 322. [in Russian].
3. Zatulovskiy, A. S. (2006) *Formuvannya gradientnikh struktur i tribovlastivostey LKM systemi «Cu – Steel» [Formation of gradient structures and triple properties of LKM system «copper-steel»]*. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv*, no. 2, pp. 49–56. [in Ukrainian].
4. Avraamov, Yu. S., Shlyapin, A. D. (2002) *Splavy na osnove sistem s ogranichennoy rastvorimostyu v zhidkom sostoyanii: (Teoriya, tehnologiya, struktura i svoystva) [Alloys based on systems with limited solubility in the liquid state (Theory, technology, structure and properties)]*. Moscow: Interkontakt nauka, 362 p. [in Russian].
5. Bannykh, O. A., Budberg, P. B., Alisova, S. P. et al. (1986) *Diagrammy sostoyaniya dvoynykh i mnogokomponentnykh sistem na osnove zheleza [Diagrams of the state of binary and multicomponent systems based on iron]*. Moscow: Metallurgiya, 440 p. [in Russian].
6. Zatulovskiy, A. S., Romanenko, Yu. N., Zatulovskiy, S. S. (2007) *Issledovanie teplofizicheskikh i kineticheskikh osobennostey formirovaniya makroheterogenogo metallokompozita sistemy «mednyiy splav – stal» v usloviyah tverdo-zhidkogo sovmescheniya [Investigation of thermophysical and kinetic features of formation of a macroheterogeneous metal composite of the «copper alloy-steel» system under solid-liquid alignment conditions]*. *Protsessy litya*, no.4, pp. 47–51 [in Russian].

Поступила 24.05.2017