

УДК: 621.74.046:669.058

**А. С. Затуловский, В. А. Щерецкий, В. А. Лакеев,
А. В. Косинская**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПЛАКИРУЮЩИМ СЛОЕМ ИЗ МЕДНОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИТА

Исследованы переходные слои биметаллических материалов систем сталь – латунь, сталь – латунный композит. Изучены перераспределение химических элементов на границе взаимодействия слоев, ширина и твердость зоны консолидации. Показано влияние гетерогенной структуры композита на процессы растворно-диффузионного взаимодействия в зоне соединения слоев

Ключевые слова: биметаллы, сталь, латунь, композит, зона консолидации, диффузия.

Досліджено перехідні шари биметалевих матеріалів систем сталь – латунь, сталь – латунний композит. Вивчено перерозподіл хімічних елементів на границі взаємодії шарів, ширина і твердість зони консолідації. Показано вплив гетерогенної структури композиту на процеси розчинно-дифузійної взаємодії в зоні з'єднання шарів.

Ключові слова: біметали, сталь, латунь, композит, зона консолідації, дифузія.

Transition zones of bimetallic materials of steel – brass, steel – brass composite systems were studied. There were investigated redistribution of chemical elements on the interface between metallic layers, width and hardness of the consolidation zone. Effect of the composite's heterogeneous structure on the processes of dissolving-diffusion interaction in the joining zone of the layers is shown.

Keywords: bimetals, steel, brass, composite, joining, diffusion.

Одним из эффективных направлений создания новых материалов с заданными эксплуатационными характеристиками при одновременной существенной экономии дефицитных цветных и других металлов и сплавов является разработка биметаллических композиционных отливок. В биметаллическом материале сочетаются эксплуатационные свойства, которые невозможно получить в отдельных составляющих компонентов композита: например, высокой прочности с повышенной антифрикционностью и другими заданными специальными или технологическими свойствами. Определяющими факторами получения качественных биметаллических отливок являются смачивание и растекание матричного рас-

Новые литые материалы

плава по поверхности твердых компонентов, физико-химическое взаимодействие компонентов, растворно-диффузионные процессы на межфазных границах, обеспечивающие прочное сцепление слоев и фаз в макрогетерогенном композите. Температурно-кинетические режимы нагрева, охлаждения и затвердевания литых заготовок при печной наплавке должны обеспечивать получение оптимальной микроструктуры слоев, стабильность свойств компонентов и минимум литейных дефектов в готовом изделии. Данная работа посвящена жидкофазной консолидации (печной сварке) компонентов антифрикционного биметалла для производства триботехнических изделий, состоящих из стальной основы и плакирующего макрогетерогенного композита антифрикционного назначения [1-4]. Процессы получения изделий из биметаллов с помощью литейных технологий, или твердожидкого совмещения компонентов, в рассматриваемом варианте зависят от взаимодействия твердой основы (стали) с жидким гетерофазным плакирующим медно-матричным сплавом, содержащим стальные гранулы. В результате этого взаимодействия происходит сцепление (схватывание) материалов, то есть образование между слоями металлической растворно-диффузионной связи.

В работе изучены особенности строения границ сцепления слоев биметаллов на основе стали с плакирующим слоем из монометалла (латунь) и из композита – ЛКМ на основе латунной матрицы (рис. 1).

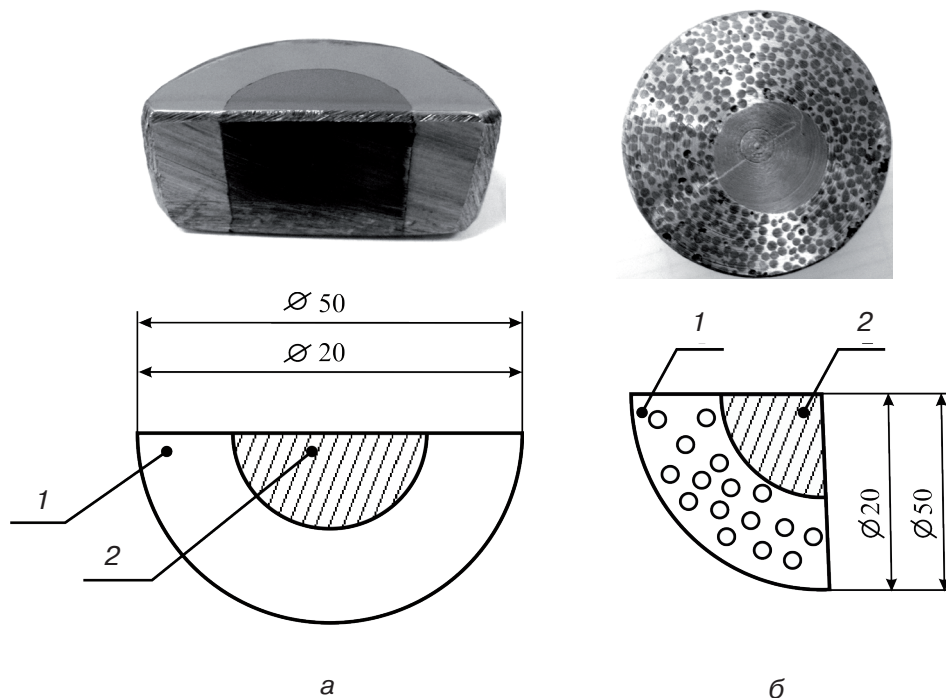


Рис. 1. Фотография и схема образцов биметаллов: сталь – латунь (а), сталь – ЛКМ (б): 1 – плакирующий металл; 2 – стальной стержень

В полость графитовой формы устанавливали по центру стальной стержень диаметром 20 мм, поверхность которого предварительно была механически очищена и обезжирена. Форму со стержнем поместили в печь, нагрели до 1000 °С и выдержали при этой температуре 20 мин (образец № 1). Во втором варианте пространство, образовавшееся между стержнем и формой, заполнили стальной дробью диаметром 1,0 - 1,5 мм, которую предварительно очистили, обезжирили и покрыли бурой и флюсом. Форму со стержнем и дробью также нагрели в печи до 1000 °С и выдержали 20 мин (образец № 2). Последующие технологические приемы были аналогичны-

ми. Нагретую форму извлекали из печи, сверху устанавливали латунную бобышку, в сборе помещали в печь и нагревали до 1050 °С. Выдержка при этой температуре составляла 1 ч. Расплавившаяся латунь заполняла пространство между стержнем и стенками формы (образец №1) или поры между дробинками пористой насадки (образец № 2). После извлечения из печи формы с полученным биметаллом сталь – латунь и сталь – ЛКМ охлаждались на воздухе до комнатной температуры. Таким образом, образовавшиеся биметаллы были сформированы в идентичных условиях технологического процесса. Особенности сцепления слоев литого биметалла связаны со свойствами плакирующих сплавов, определяющих характер и величину остаточных напряжений, возникающих при твердожидкой консолидации.

Исследования показали, что переходной слой в результате взаимодействия химических элементов сплавов имеет повышенную твердость независимо от того, из какого сплава выполнен плакирующий слой. На рис. 2 видно, что рядом с переходным слоем со стороны стали и со стороны плакирующих слоев располагаются области, имеющие более низкие значения микротвердости, чем слои основы.

Металлографическим анализом было установлено, что рядом с переходным слоем в стали и в медном сплаве (латуни и матрице ЛКМ) имеются зоны взаимодействия металлов. Ширина их в разных образцах отличается. Например, в стальном стержне образца 1 ширина зоны взаимодействия составляет 25-30 мкм, в образце 2–125 мкм. Варьирует ширина зоны взаимодействия и в плакирующем цветном сплаве. В латуни изменение структуры выражается в том, что происходит уменьшение количества α -фазы, на микрошлифах кристаллическая структура как бы теряет четкость своих границ (рис. 3).

В результате исследований, проведенных методом микрорентгеноспектрально-го анализа, было установлено, что в указанных областях компонентов биметаллов происходит встречная диффузия элементов сплавов стали и латуни (плакирующего слоя) или латунной матрицы ЛКМ (рис. 4, а, б). Установили, что из медного сплава в металл стального стержня диффундирует медь, цинк, олово. Из стали стержня в металл плакировки зафиксирована диффузия железа и марганца. Обогащение зон взаимодействия перечисленными элементами приводит к изменению структуры латуни, матричного сплава ЛКМ и снижению их микротвердости.

По результатам проведенных исследований образцов биметаллов можно сделать следующие выводы.

- В случае использования в качестве плакирующего слоя ЛКМ в сравнении с монолатунью возрастает ширина переходного слоя, а также зон взаимодействия металлов, располагающихся в стали стержня и в плакировке. Это косвенно свидетельствует о различной интенсивности растворно-диффузионного взаимодействия стали с матричным сплавом ЛКМ в сравнении с монолатунью, что создает более плотный контакт сплавляемых в биметалл компонентов. В то же время, на границе соединения стального стержня с латунью образовалась микротрещина, имеющая различную, изменяющуюся ширину.

- Установлено более плавное изменение химического состава слоев в результате встречной диффузии элементов (железа, меди, цинка, кремния, марганца, олова) при переходе сталь – зона взаимодействия – ЛКМ по сравнению с переходом сталь – зона взаимодействия – латунь и, как следствие, более плавное изменение структуры слоев, что подтверждают данные микрорентгеноспектрального анализа и изменения микротвердости фаз по указанным линиям переходов от стали к плакирующим слоям.

- Наличие на границе плотного соединения материалов сталь + латунь и образование трещины по всей длине границы сталь + латунь обусловлено возникновением напряжений растяжения на границе в результате взаимодействия слоев разнородных металлов биметалла в процессе твердожидкофазного совмещения материалов,

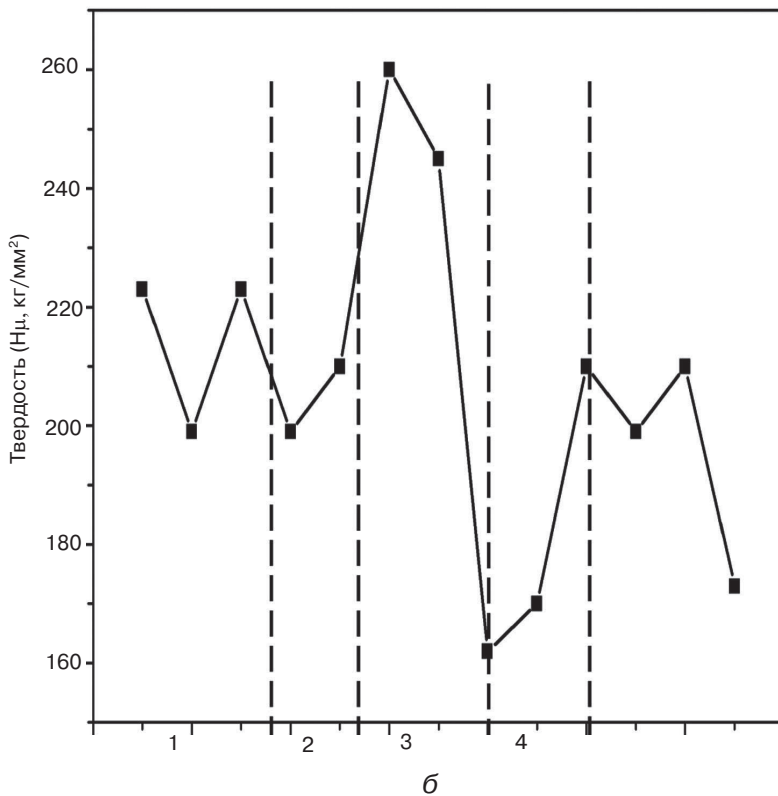
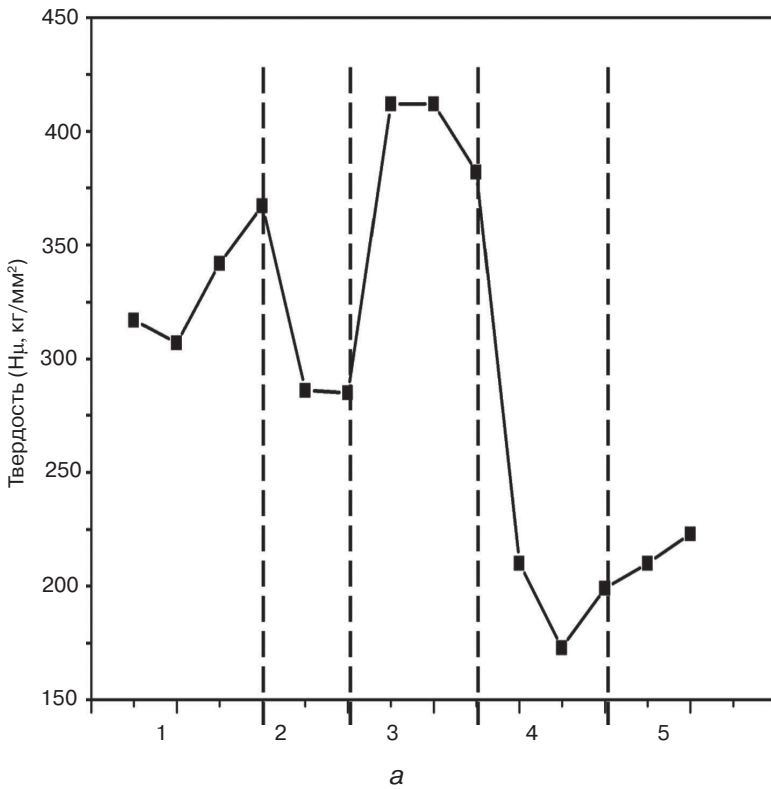
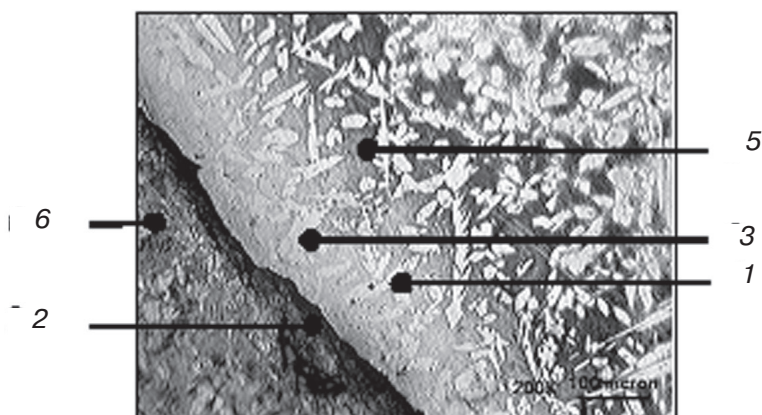
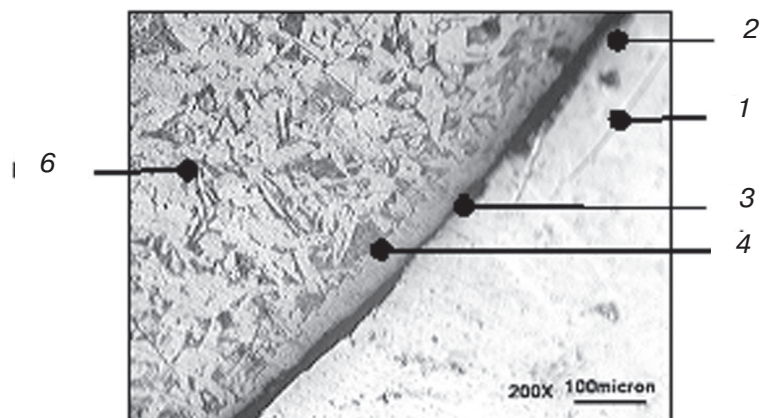
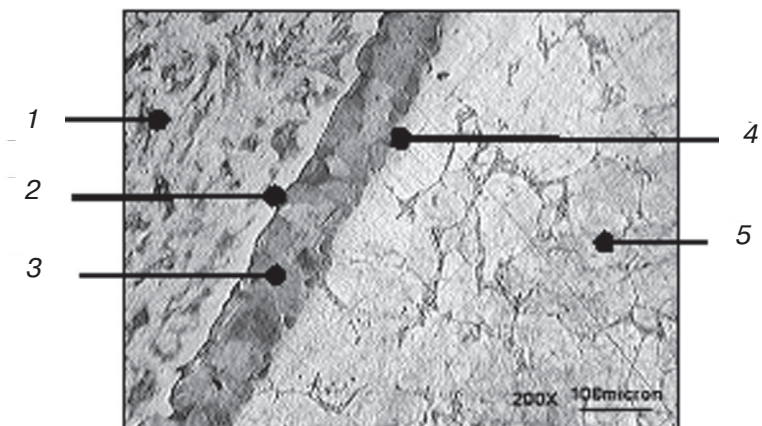


Рис. 2. Изменение микротвердости компонентов биметаллов сталь – ЛКМ (образец 2) (а) и сталь – латунь (образец 1) (б): 1 – сталь стержня; 2 – зона взаимодействия в стали; 3 – переходной слой; 4 – зона взаимодействия в плакирующем слое; 5 – матрица (образец 2) и латунь (образец 1)



a



б

Рис. 3. Микроструктуры границы соединения биметалла сталь – латунь (а): 1– латунь; 2 – трещина на границе соединения металлов; 3 – переходной слой; 4 – зона взаимодействия в стали; 5 – зона взаимодействия в латуни; 6 – стальной стержень; сталь – ЛКМ (б): 1 – стальной стержень; 2 – зона взаимодействия в стали; 3 – переходной слой; 4 – зона взаимодействия в матрице ЛКМ; 5 – матрица ЛКМ

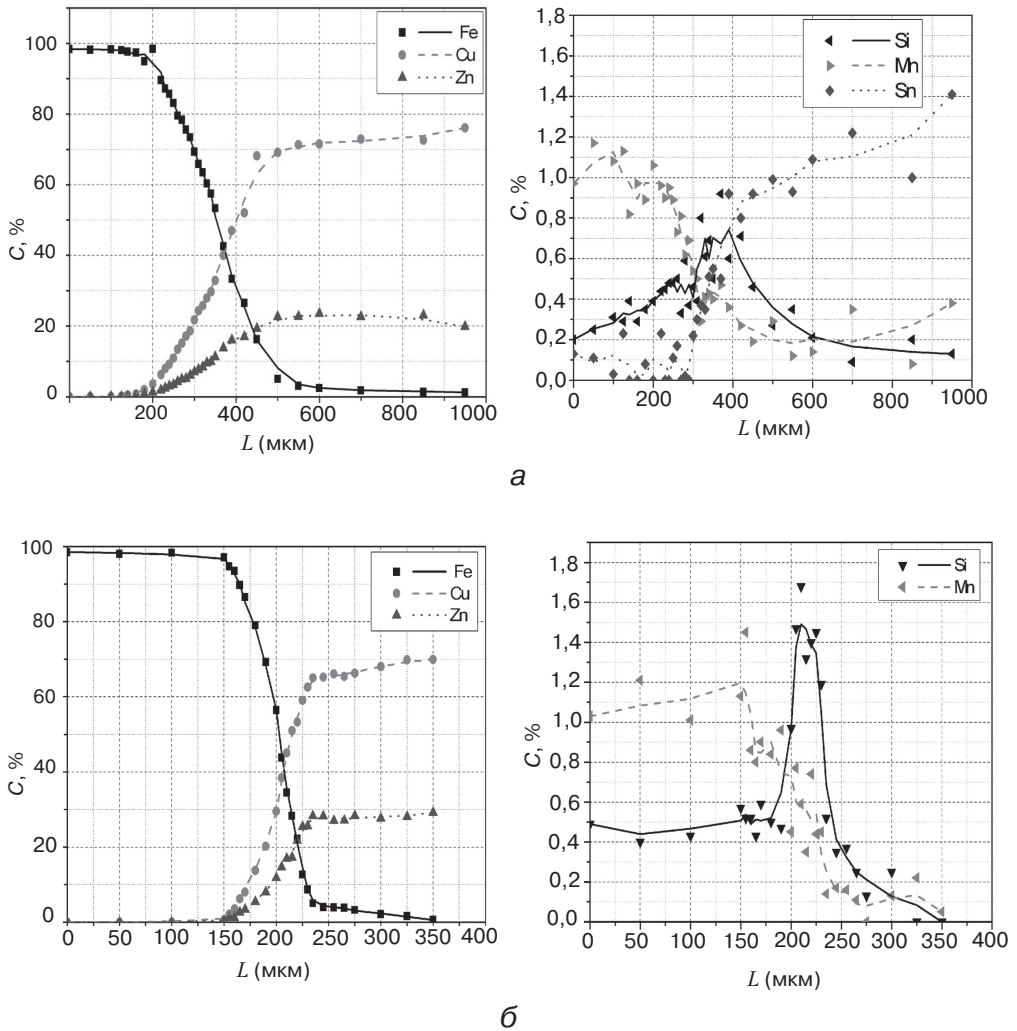


Рис. 4. Распределение элементов в переходном слое стали и латуни биметаллов сталь – ЛКМ (а) и сталь – латунь (б)

а также тем, что уровень остаточных напряжений в пограничных слоях биметалла сталь + ЛКМ существенно ниже, чем на границе сталь + латунь (вследствие разницы КЛТР: $\alpha_{\text{латуни}} > \alpha_{\text{ЛКМ}}$) и рассредоточения напряжений в гетерофазном ЛКМ медный сплав + стальные гранулы.



Список литературы

1. Чепурко М. И., Остренко В. Я., Когадеев А. А. Производство биметаллических труб и прутков. – М.: Металлургия, 1986. – 240 с.
2. Затуловский А. С., Тракшинский Б. Р., Затуловский С. С. Освоение антифрикционных композитов – решение проблемы увеличения ресурса работы оборудования // Металл и литье Украины. – 2004. – № 1-2. – С. 21-26.
3. Затуловский А. С., Тракшинский Б. Р. Технично-экономические предпосылки эффективного

применения износостойкого металлокомпозиата вместо антифрик-ционных бронз //Материалы III Международной научно-практической конференции «Литье – 2007», Запорожье: Торгово-промышленная палата. – 2007. – С. 72-75.

4. *Затуловский С. С., Кезик В. Я., Иванова Р. К.* Литые композиционные материалы. – К.: Техника, 1990. – 240 с.



References

1. *Chepurko M. I., Ostrenko V. Ya., Kogadeev A. A.* (1986) *Proizvodstvo bimetallicheskih trub i prutkov [Manufacture of bimetallic pipes and rods]*. Moscow: Metallurgiya, 240 p. [in Russian].
2. *Zatulovskiy A. S., Trakshinskiy B. R., Zatulovskiy S. S.* (2004) *Osvoenie antifriktsionnykh kompozitov – reshenie problemy uvelicheniya resursa raboty oborudovaniya [The development of antifric-tion composites is a solution to the problem of increasing the life of equipment]*. Metall i lite Ukrainy, no. 12, pp. 21-26. [in Russian].
3. *Zatulovskiy A. S., Trakshinskiy B. R.* (2007) *Tehnikoekonomicheskie predposylki effektivnogo primeneniya iznosostoykogo metallokompozita vmesto antifriktsionnykh bronz [Technoeconomic preconditions for the effective use of wear-resistant metal composite instead of antifric-tion bronzes]*. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoprakticheskoy konferentsii «Lite–2007». Zaporozhe: Torgovo-promyshlennaya palata, pp. 72-75. [in Russian].
4. *Zatulovskiy S. S., Kezik V. Ya., Ivanova R. K.* (1990) *Litye kompozitsionnye materialy [Cast compos-ite materials]*. K.: Tehnika, 240 p. [in Russian].

Поступила 04.04.2017

**К сведению читателей
и подписчиков!
Телефон редакции
журнала "Процессы литья"
(044) 424-04-10**