

расслоения жидкой фазы, которые формируются в направлении железоуглеродистого сплава с меньшим содержанием углерода. Используя этот механизм, непосредственно из жидкой медной фазы возможно формировать высокомодульные и интерметаллидные соединения жаростойких металлов 4 и 5 групп (Ti, W, Cr, Mo, Mn), в том числе карбиды.

Предложенный метод предусматривает то, что дисперсные композиционные фазы будут формироваться в форме, в которой одна стенка одновременно является первым слоем биметалла, а вторая является источником диффузионной фазы и удаляется механически после термической обработки. Таким образом, стадии синтеза композиционной структуры и консолидация слоев биметалла объединяются в одну.

Литература:

1. 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.

2. Затуловский А.С., Тракшинский Б.Р. Технично-економические предпосылки эффективного применения износостойкого металлокомпозита вместо антифрикционных бронз / *Материалы III Международной научно-практической конференции «Литье – 2007»*, Запорожье: Торгово-промышленная палата. – 2007. – С. 72-75.

**Затуловский А.С., Щерецкий В.А.**  
**(ФТИМС НАН Украины, г. Киев)**

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННЫХ  
БИМЕТАЛЛОВ С ПЛАКИРУЮЩИМ СЛОЕМ ИЗ ЛИТОГО  
КОМПОЗИТА И МЕДНОГО СПЛАВА**

E-mail: shcheretskyi@nas.gov.ua

Функциональные и конструкционные свойства многослойных материалов определяются природой составляющих металлов, соотношением толщин и взаимным расположением слоев, прочностью их соединения, поэтому изучение физико-механических свойств многослойных материалов имеет важное значение для разработки новых слоистых композитных материалов, выбора рациональных условий их эксплуатации. В настоящей работе впервые изучены механические свойства экономнолегированных антифрикционных биметаллов «сталь + композит (ЛКМ)», «сталь + медный сплав» в зависимости от параметров армирования в сравнении с известными мономатериалами типа антифрикционных бронз, латуней.

Механические испытания биметаллических антифрикционных материалов «сталь + ЛКМ», «сталь + медный сплав» и мономатериалов проводили по стандартным методикам, на стандартном испытательном оборудовании, что позволило получить достоверные данные, пригодные для сравнения. Образцы биметаллических материалов изготавливались стандартных размеров 10x10x45 мм. Механические испытания проводили на маятниковом копре при заданных нагрузках 6,8 и 13,2 кгс. Образцы биметалла подвергались удару со стороны основы – стали или плакирующего слоя. В качестве плакирующего композиционного материала применялся литой композит (ЛКМ), состоящий из латуни и стальной дроби. Дробь использовали круглую диаметром 0,6...1,2 мм и колотую. Для сравнения были изготовлены образцы из ЛКМ и латуни марки ЛС59-1.

В биметаллических образцах при ударе по образцу биметалла «сталь + ЛКМ» со стороны стали (нагрузка 6,8 кгс) работа разрушения или относительная ударная вязкость составила 30...52 Дж/см<sup>2</sup>, а при ударе со стороны плакирующего слоя (композита) нагрузка 6,8 кгс оказалась недостаточной для разрушения образца. При увеличении почти в 2 раза нагрузки, до 13,2 кгс, относительная ударная вязкость возросла до 70...80 Дж/см<sup>2</sup>.

Такая же закономерность установлена в случае применения для армирования колотой дроби. Для сравнения: ударная вязкость монообразца из ЛКМ составила 0,5, а из латуни 2,0 Дж/см<sup>2</sup>, т.е. существенно ниже, чем у биметалла. С целью определения уровня механических характеристик биметалла «сталь + ЛКМ» в зависимости от соотношений толщин основного (стального) и плакирующего (антифрикционного) слоя проведен комплекс механических испытаний различных вариантов биметалла. Как указывалось выше, ресурс подшипника скольжения зависит от ряда факторов: конструкции подшипников, используемых материалов, условий и режимов эксплуатации и др. В общем виде схема традиционного подшипника скольжения представляет собой сопряжение двух цилиндрических тел, радиусы которых мало отличаются. Исходя из положений, приведенных в работе [1] и др. источниках, а также собственного практического опыта определили следующие физико-механические характеристики: прочность на сжатие и ударную вязкость. Эти характеристики ответственны за прочность и долговечность антифрикционной втулки при статических и динамических ударных нагрузках, которые возникают в практике работы высоконагруженных трибоузлов.

В табл. 1 представлены результаты испытаний на сжатие образцов из слоистых биметаллов «сталь + ЛКМ», «сталь + бронза» и отдельных компонентов, составляющих материалов.

Таблица 1 – Результаты испытания на сжатие ( $\sigma_{сж}$ , МПа)

Значения полученных данных	Бронза типа А9Ж4	ЛКМ (бронза + стальная дробь)	Вариант биметалла «сталь+плакирующий слой»			
			сталь + <sup>1</sup> / <sub>4</sub> бронза	сталь + <sup>1</sup> / <sub>2</sub> бронза	сталь + <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ЛКМ	сталь + <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ЛКМ
Min-max	450...580	756...788	593...706,5	431...535,4	756...976	546...860
Среднее	513	774	638	484	866	700

Как видно из табл. 1, прочность на сжатие  $\sigma_{сж}$  слоистых биметаллов «сталь + ЛКМ» характеризуется более высокой (в 1,5...1,7 раз), чем бронза. Из полученных данных следует, что для обоих типов слоистых композитов преимущество имеют варианты с меньшей толщиной плакирующего антифрикционного слоя (1/4 от общей толщины образца). Причем, как правило, слоистый биметалл «сталь + ЛКМ» имеет более высокие значения минимальных показателей характеристики  $\sigma_{сж}$ . До разрушения сжатием биметаллы прогнозируемо имеют большую степень деформации, чем «мономатериал» (бронза и дискретноупрочненный композит ЛКМ), что, вероятно, определяет их большую стойкость и стабильность при нагружении в процессе эксплуатации.

Как показали исследования, ударная вязкость антифрикционного биметалла «сталь + ЛКМ» равна или приближается к уровню данной характеристики прочной углеродистой стали (основного слоя биметалла), т.е. слоистый биметалл «сталь + ЛКМ» имеет ударную вязкость в 3...4 раза выше, чем мономатериал ЛКМ на основе бронзы, армированный стальными гранулами и существенно более высокую, чем у биметалла «сталь + бронза», и тем более выше монобронзы.

Базой для линейной механики разрушения биметаллов послужила концепция Гриффитса [2]. В изделиях из технических металлов и сплавов трещины имеются еще до начала нагружения. В любом случае склонность к хрупкому разрушению определяется, в первую очередь, сопротивлением развитию трещины, а не ее зарождению. Вязкость разрушения используется как количественный критерий сопротивления материалов распространению в нем трещины и как критерий конструктивной прочности. Эти положения положены в основу создания новых материалов конструкционного класса, разработанных ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины – многослойных квазимонолитных сталей [3] и нового экономнолегированного антифрикционного материала (ЛКМ), разработанного ФТИМС НАН Украины [4].

В плакующому шарі біметалла із дискретноармированих литих макронеоднородних композиційних матеріалів (ЛКМ) типу «мідний сплав (матриця) + сталеві гранули (дискретний наповнювач)» в якості перешкоди для розвитку тріщин служать високомодульні сталеві армируючі гранули. Тріщина зароджується в менш надійному, пластичному матричному мідному сплаві і локалізується і зупиняється в своєму розвитку високонадійною сталеві армиуючою гранулою (включенням, частинкою), що сприяє збільшенню надійності ЛКМ на стиснення порівняно з монометаллом. В разі біметалла типу «сталь + ЛКМ» уповільненню розвитку тріщин буде сприяти також виникнення в об'єкті деталі меж розділу основного і плакуючого шарів.

#### **Висновки.**

Шаруватий біметалічний підшипниковий матеріал, що складається з сталеві підкладки і плакуючого антифрикційного композиційного шару (мідний сплав + сталеві гранули) має ударну в'язкість в 2...3 рази вищу, ніж серійні кольорові антифрикційні сплави і моно-ЛКМ, за даною характеристикою наближається до вуглецистих сталей.

Ударну в'язкість і конструкційну надійність можна збільшити за рахунок розміщення плакуючого шару на робочій контактній поверхні «втулка – вал».

Найбільшу перспективу і ефективність виробу із антифрикційного економнолегірованого біметалла «сталь + ЛКМ» мають для застосування в високонавантажених підшипниках ковзання, що випробовують при експлуатації ударну навантаження.

Надійшли результати представлених результатів підтверджені багаторічною практикою промислового застосування нового матеріалу в Україні і В'єтнамі для виготовлення підшипників ковзання і інших трибодеталей важконавантажених вузлів тертя металургічного, енергетичного, кузнечно-пресового, підіймаю-транспортного і др. обладнання, що працює в екстремальних умовах підвищених навантажень, температур, абразивного зношування [5].

#### Література:

1. Справочник по триботехніці. Під заг. ред. М. Хебди ім. Чичинадзе, т.1.-М.: Машинобудування, 2006. – 336 с.
2. Золотаревський В.С. Механічні випробування і властивості металів. – М.: Металургіздат, 1974. – 304 с.
3. Патон Б.Е., Медовар Б.И. і др. Многослойная сталь в сварных конструкциях. – Київ: Наук. думка. 1984. – 288 с.
4. Затуловський С.С. і др. Литі композиційні матеріали. – Київ: Техніка, 1990. – 240 с.
5. Найдек В.Л., Затуловський А.С., Затуловський С.С. Литі антифрикційні композити: В кн. 50 років в АН України. – Київ: «Процеси лиття», 2008. – С.349-378.

**Затуловський А.С., Лакєєв В.А., Щерецький В.О.**

**(ФТІМС НАН України, м. Київ)**

## **ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ РЕЦИКЛІНГУ КОМПОЗИТІВ В ЯКОСТІ АРМУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

E-mail: kompozit@ptima.kiev.ua

Для вузлів механізмів, що працюють в умовах підвищених навантажень і температур, розроблені литі композиційні матеріали, армувальними елементами яких є відходи композитів мідь-сталевий дріб, що забезпечує покращення експлуатаційних характеристик деталей, зокрема антифрикційних властивостей. [1, 2] Вказані композиційні