

5. Лебедев В.М., Корнышева И.С. Перспективы производства и расширение применения алюминиевых отливок в авиационно-космической технике. 2001, ВИАМ/2001-203480, 9 с.
6. Муравьев В.И. Особенности получения качественных отливок из высокопрочного алюминиевого сплава АМ4,5Кд (ВАЛ10) / В.И. Муравьев, В.И. Якимов, М.А. Заплетин, А.И. Евстигнеев, Ри Хосен // Литейщик России. – 2003. – № 1. – С. 9-14.
7. Шеметев Г.Ф. Алюминиевые сплавы: составы, свойства, применение. Учебн. пособ. по курсу «Производство отливок из сплавов цветных металлов». Часть I (Электронный ресурс). Санкт-Петербург, 2012. 150 с.
8. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.
9. Дубоделов В.И. Роль электромагнитных воздействий в процессах получения сплава типа ВАЛ10, не содержащего кадмий. Сообщение 1 / В.И. Дубоделов, В.Н. Фиксен, А.В. Яценко, Н.А. Слажнев, Ю.П. Скоробагатько, М.С. Горюк // Процессы литья. – 2013. – № 6. – С. 48-55.
10. Огородов Д.В., Трапезников А.В., Попов Д.А., Пентюхин С.И. Развитие литейных алюминиевых сплавов в ВИАМ // Труды ВИАМ. – 2017. – № 2 (50). – С. 107 – 114.

УДК 669.141.246:620.178.16

**В. Г. Новицький¹, В. А. Локтіонов-Ремізовський¹, В. Л. Лахненко¹,
В. В. Тихонович², І. В. Олексенко¹, Н. В. Кир'якова¹**

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

²Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ

e-mail: v_novytskyy@ukr.net

ЗНОШУВАННЯ ЛИТИХ ЗАЕВТЕКТОЇДНИХ СТАЛЕЙ З МАТРИЧНИМ МАСТИЛОМ В УМОВАХ СУХОГО ТЕРТЯ

Підвищення надійності та довговічності машин та механізмів безпосередньо пов'язане з підвищенням трибологічних характеристик вузлів тертя. Це можна досягти за рахунок підвищення зносостійкості матеріалів пари тертя та застосування більш досконалих композицій мастильних матеріалів. Для поліпшення службових характеристик рідких та пластичних мастил часто застосовують графіт та/або мідь, які у вигляді

високодисперсного порошку вводяться в мастило. Це досягається за рахунок розподілу матеріалів, що контактують тонкою плівкою графіту, яка має шарувату будову та/або м'якою плакуючою плівкою міді [1–5]. У той же час, деталі вузлів тертя часто працюють в умовах, коли використання рідких масел та пластичних мастил неможливе. Для цих умов характерна наявність високого вакууму, високих та наднизьких температур, газових та агресивних середовищ тощо. У цьому випадку для зменшення зношення застосовують тверді мастила: дисульфід молібдену, фторопласт, графіт, золото, срібло, мідь, індій і т.д., які тонким шаром наносять на поверхні, що труться.

Перевагою твердих мастил, у порівнянні з мастилами звичайних типів є те, що вони надзвичайно стабільні у важких умовах експлуатації. Однак, вимога підвищення потужності, що передається через вузли тертя, викликає необхідність використання також сплавів з твердим мастилом, яке безпосередньо розташовується в матриці сплаву - матричне мастило [6]. Поєднання декількох компонентів з фізико-механічними властивостями, що різко розрізняються, дозволяє створювати композиції з низкою унікальних і дуже важливих для техніки властивостей: високою теплопровідністю, самозмащуваністю при терті, високою демпфуючою здатністю і т.д. [7, 8]. Найбільші переваги з погляду сприйняття навантаження та реалізації механізму самозмащування показують макрогетерогенні псевдосплави [9, 10, 11]. Залежно від умов зовнішнього тертя в таких матеріалах на ділянках твердої складової формуються плівки з пластичного матеріалу, що екранують, утворені або за рахунок різниці коефіцієнтів термічного розширення антифрикційної і твердої складових при нагріванні пари тертя, або в результаті механічного намазування. До таких сплавів можна віднести заевтектоїдні сталі, які містять в матриці включення графіту або графіту і високомідисті включення ϵ - фази. У заевтектоїдній сталі з 1,2% вуглецю вміст міді складає (0; 12,1; 28,3%) відповідно. При цьому структура сталей у литому стані була (П+Ф+А+Г), (П+Ф+А+Г+ ϵ) та (П+Ф+А+Г+ ϵ) відповідно.

Дослідження на зносостійкість проводили за схемою вал (контртіло) - вкладиш (дослідний зразок) при швидкості ковзання 1 м/с та питомому навантаженні 5 МПа. Робоча поверхня зразка висотою 25 мм була квадратом розмірами 10x10 мм. Відношення площі зразка до площі контртіла (коефіцієнт перекриття) $k \approx 0,08$. Контртіло виготовляли із сталі 20X13, що має твердість 38 – 40 HRC. Випробування проводили за умов сухого (на повітрі) тертя. Зразки до і після випробувань зважували на аналітичних терезах і визначали інтенсивність зношування - відношення втрати маси зразка до шляху тертя. Результати випробувань наведено на рис. 1.

Вивчали структуру на оптичному мікроскопі EPIQUANT. Визначали хімічний склад робочих поверхонь зразка та контртіла до і після тертя за допомогою електронного скануючого мікроскопа з мікроаналізатором.

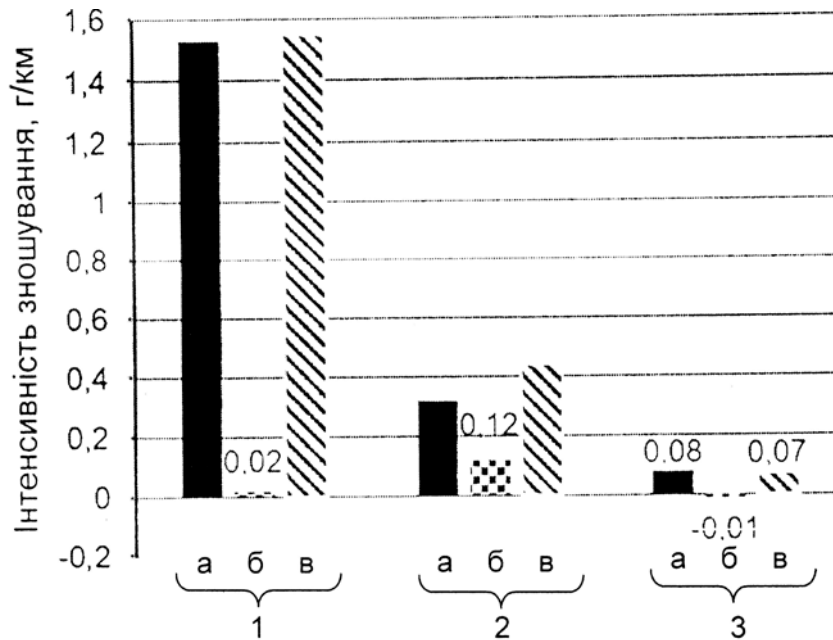


Рис. 1 – Інтенсивність зношування в умовах сухого тертя литих заевтектоїдних сталей 1 (0% Cu), 2 (12,1% Cu), 3 (28,3% Cu); а – зразок, б – контртіло, в – сумарна інтенсивність зношування

Випробування сталей за умов сухого тертя показали, що у литому стані найменша інтенсивність зношування відзначається у сталей, у матриці (П+Ф+А+Г) яких крім графіту містяться високомідисті включення ϵ – фази. Ці включення відіграють додаткову роль твердого мастила, що істотно зменшує інтенсивність зношування зразка, а при максимальному вмісті міді сталі зношування контртіла не спостерігається. Сумарна інтенсивність зношування зразка (3) + контртіла в 20 разів менша, ніж сумарна інтенсивність зношування зразка (1) + контртіла. В даному випадку плакуюча дія міді + графіт справила сильніший вплив, ніж графіт. Перерозподіл міді на поверхні зразка та контртіла до та після випробування в умовах сухого тертя показано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Масова частка міді (у %) на поверхні зразка і контртіла до та після випробувань

№ пари	1*		2*		3*	
	зразок	контртіло	зразок	контртіло	зразок	контртіло
вихідний	0	0	12,1	0	28,3	0
після тертя	0	0	9,7	1,45	22,8	3,1

*Визначити вміст вуглецю на поверхнях зразків та контртіл до та після тертя не дозволили технічні можливості мікроаналізатора. Враховуючи локальний характер визначення хімічного складу за допомогою мікроаналізатора, хімічний склад поверхні визначався з поверхні відповідної поверхні контакту зразка з контртілом.

Одержані дані, наведені в таблиці 1, показують, що в процесі тертя відбувається масоперенесення міді із зразка на контртіло, яке оберігає поверхні, що контактують від надмірного зношування. Одержані результати узгоджуються з результатами роботи [12], де показано, що присутність плакуючого шару на одній або обох поверхнях, які труться, впливає на дисипацію енергії тертя і мінімізує можливість переходу до термомеханічного зношення.

Список літератури

1. *Майорова Л.А.* Твердые неорганические вещества в качестве высокотемпературных смазок. – М.: Наука, 1971. – 95 с.
2. *Новицкий В.Г., Гаврилюк В.П., Панасенко Д.Д., Кальчук Н.А., Хоружий В.Я.* Влияние смазочного материала и термической обработки на формирование приповерхностных слоев и износостойкость стали 40X при трении скольжения // Трение и износ. – 2002. – Т. 23. – № 2. – С. 201-206.
3. *Балабанов В.И.* Безразборное восстановление подвижных соединений машин и механизмов нанесением на них покрытий из цветных металлов. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2001. – № 7. – С. 215 – 217.
4. *Novytskyy V.G.* Wear rate and formation of near-surface structure of special steel under boundary friction //The Annals of University “Dunarea de Jos” of Galati, Fasciele VIII, Tribology, 2005, Rumania. – P. 74–78.
5. *Тарасов С.Ю., Беляев С.А., Лернер М.И.* Износостойкость конструкционной стали в смазочной среде, содержащей нанопорошки металлов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – № 12. – С. 31 – 36.
6. *Woydt M.* Materials-based concepts for an oil-free engine. // New direction in Tribology. Plenary and Invited Papers from the First World Tribology Congress, 8 – 12 September 1997, London, UK. – P. 459-469.
7. *Белый В.А.* Проблемы создания композитных материалов и управления их фрикционными свойствами // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – №3. – С. 389 – 395.
8. *Буше Н.А., Мудренко Г.А., Марисова Т.Ф.* Композиционные материалы с мягкой металлической составляющей // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – №3. – С.

9. Анциферов В.Н., Черепанова Т.Г. Металлокерамические сложнолегированные сплавы на железной основе с повышенными антифрикционными и механическими свойствами // Физ.-хим. механика материалов. – 1970. – Т. 6. – №3. – С. 54 – 59.

10. Федорченко И.М., Баранов Н.Г., Бритун В.Ф. // Исследование механизма трения макрогетерогенных композитных материалов. – Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – № 4. – С. 603 – 609.

11. Федорченко И.М., Баранов Н.Г., Бритун В.Ф. // Механизм формирования поверхностных пленок при трении без смазки композитных материалов. – Трение и износ. – 1984. – Т. 5. – № 3. – С. 424 – 431.

12. Rănea C. Wear maps for thin layers //The annals of University “Dunărea de Jos” of Galati, Fascicle VIII, Tribology. – 2003, 117–122.

УДК 621.74

О. В. Ноговіцин, І. Р. Баранов, В. П. Школярєнко, С. В. Пригунов

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

E-mail: alexey.nogovitsyn@gmail.com

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ШВИДКОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ РОЗПЛАВУ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПРИ ЛИТТІ-ПРОКАТЦІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Алюмінієві сплави та металопрокат на їх основі є основними конструкційними матеріалами в авіаційній, аерокосмічній, автомобілебудівній та харчових галузях. В Україні успішно використовується в авіабудуванні високоміцні алюмінієві сплави системи Al-Zn-Mg-Cu, що зміцнюються термічною обробкою і сплави середньої та підвищеної міцності системи Al-Mg-Cu. Вони виконують функцію основного конструкційного матеріалу для обшивки і внутрішніх силових елементів планера літака (фюзеляж, крило, тощо). Основна промислова технологія, яка застосовується для отримання листового прокату зі сплавів на основі алюмінію, полягає в отриманні зливка (заготовки) та його подальшої механічної та термічної обробки. Традиційні технології одержання виробів з алюмінієвих сплавів методами лиття або прокатування заготовок не забезпечують високих функціональних властивостей прокату. Відтак, дослідження технологій, зокрема валкового лиття-прокатування, є актуальною задачею.

Для автомобілебудування та авіації найбільший інтерес становлять високоміцні