ТЕПЛОФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ТВЕРДІННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 28, 2020, № 4 (323), xx-xx

<https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.064>

УДК 621.74.074:621.795

Є.А. Марковський, д-р техн. наук, проф.

О.П. Шатрава, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: shatrava@ptima.kiev.ua

І.В. Олексенко, наук. співр., e-mail: svsv@ptima.kiev.ua

О.А. Пелікан, наук. співр., e-mail: otmlp@ptima.kiev.ua

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

Структура та властивості антифрикційних сплавів Fe-Cu-S після лазерної обробки

Об'єктом досліджень визначено найбільш перспективні антифрикційні сплави – сірі чавуни, леговані міддю та сіркою. Відзначається, що використання міді в якості легуючого елемента в кількостях, що перевищують її розчинність у залізі, дозволяє отримувати в чавуні перліто-феритну структуру з включеннями мідної ϵ -фази. У статті представлено результати низки досліджень впливу лазерного термічного опромінення на структуру і властивості визначених антифрикційних сплавів. Встановлено, що в результаті лазерної обробки відбувається істотне збільшення концентрації легуючих легкоплавких елементів у поверхневому шарі зразків в зоні лазерного впливу залежно від часу дії лазерного випромінювання. Структурно-фазовий аналіз зони лазерної обробки, який наведено у статті, виявив суттєвий і позитивний вплив лазерного опромінення на утворення та розподіл фаз. Визначено, що починаючи зі швидкості обробки $V = 1,7$ мм/с, на поверхні зразків спостерігається яскраво виражена (товщиною 80–120 мкм) зона загартування досліджуваних сплавів. В роботі наведено дані, які свідчать про те, що в переважній більшості випадків в зоні лазерного впливу спостерігається істотне (до 1600 кг/мм²) збільшення мікротвердості основних структурно-фазових складових дослідних сплавів. Представлено аналіз результатів випробування на зношування отриманих зразків, який показав, що при зменшенні часу опромінення інтенсивність їх зношування знижується, що пов'язано зі збільшенням мікротвердості основних фаз на поверхні в зоні обробки. Також зазначається позитивний вплив лазерної обробки на підвищення зносостійкості досліджуваних експериментальних зразків і пар тертя у цілому та прогнозується перспективність використання даного методу обробки для підвищення триботехнічних властивостей сплавів на основі заліза, легованих міддю та сіркою.

Ключові слова: лазерне зміцнення, антифрикційні сплави, комплексні сульфідні, рентгеноспектральний аналіз, включення міді, триботехнічні властивості.

Останнім часом в Україні і світі збільшилася кількість досліджень з розробки нових зносостійких сплавів, застосування яких дозволить суттєво скоротити використання традиційних кольорових металів, а також зменшити застосування мастильних матеріалів, які важко піддаються утилізації і становлять постійну загрозу навколишньому середовищу.

Існуючі літературні дані різних авторів [1–4] присвячено питанням формування низьколегованих зносостійких сплавів на основі заліза, термодинамічним розрахункам утворення хімічних та інтерметалідних фаз, що дозволяють зробити висновок про актуальну необхідність отримання антифрикційних сплавів для різних деталей, що працюють в екстремальних умовах.

Найбільш перспективними, на наш погляд, антифрикційними сплавами є сірі чавуни, леговані міддю

та сіркою. Використання міді в якості легуючого елемента в кількостях, що перевищують її розчинність у залізі, дозволяє отримувати в чавуні перліто-феритну структуру сплаву з включеннями мідної ϵ -фази. Додаткове легування даного сплаву сіркою призводить до виникнення в його структурі компактних включень комплексних сульфідів в результаті взаємодії атомів сірки з міддю та залізом в литому металі, які відповідають сполуці $55\text{Cu}25\text{Fe}20\text{S}$.

Матеріали такого типу мають високі експлуатаційні властивості, проте часто вони потребують додаткової термічної обробки з метою підвищення їх експлуатаційних властивостей. Багатьма дослідниками [5–11] доведено, що термічне зміцнення поверхні сплавів лазерним випромінюванням дозволяє істотно підвищити фізико-механічні характеристики оброблюваних

матеріалів. Перевагами лазерного зміцнення є: можливість регулювання товщини і властивостей зміцненого шару з мінімальними термічними напруженнями, можливість обробки тонкостінних і важкодоступних ділянок практично на будь-яких заготовках або готових деталях як фінішної обробки [12–13].

Метод лазерної обробки поверхонь даних металевих сплавів слід розглядати як додаткову фінішну технологічну операцію для підвищення триботехнічних властивостей деталей зі сплавів на основі заліза, легованих Cu і S, що мають в структурі самостійну сульфідну фазу [14].

Методика експериментальних досліджень.

Об'єктом досліджень був обраний сплав С4CuS, модифікований добавкою мікропорошку ZrO_2 масовою часткою 0,1 %. Хімічний склад дослідного сплаву був наступним (в мас. част. %): 2,8 С; 1,04 Si; 0,10 Р; 0,63 S; 0,18 Mn; 8,00 Cu; 0,02 Zr; решта Fe.

Тертьову торцеву поверхню зразків зі сплаву С4CuS в литому стані обробляли лазерним променем по кільцю, що практично забезпечувало обробку 75–80 % площі тертя. Поверхні зразків обробляли лазерним випромінюванням зі змінною швидкістю переміщення поверхні зразка, в результаті чого змінювався час впливу на оброблювану поверхню від максимального до мінімального за обраними режимами обробки.

Для лазерної обробки застосовувався безперервний CO_2 -лазер (на базі технологічного комплексу «Комета-2» з номінальною потужністю 1 кВт) з оплавленням поверхні. Обробка здійснювалася без покриття в середовищі захисного газу (Ar). Теплове джерело (рис. 1) густиною потужності $W_p = 5 \times 10^8$ Вт/м² переміщувалося зі швидкістю V від 0,8 до 2,1 мм/с, діаметр плями фокусування становив $d_n = 1,5$ мм. При цьому на зразку спостерігали зону лазерної дії (ЗЛД), що включає в себе зону оплавлення (ЗО) і зону термічного впливу (ЗТВ).

Рис. 1. Схема лазерної обробки: h – глибина зони лазерного впливу (ЗЛВ); b – ширина зони впливу; ЗО – зона оплавлення; ЗТВ – зона термічного впливу

Вивчення структури зразків проводили на оптичному мікроскопі «EPIQUANT», хімічний склад структурних складових литого композиту (ЛК) визначали за допомогою скануючого електронного мікроскопа з мікроаналізатором РЕММА-102.

Випробування зразків на тертя і зношування проводили за схемою вал (контртіло) – вкладиш (дослідний зразок). Відношення площі зразка до площі контртіла (коефіцієнт перекриття) $k \approx 0,08$. Контртіло виготовляли із загартованої сталі 5 (HRC 47). Швидкість ковзання становила 1 м/с, питоме навантаження – 5 МПа.

Рис. 2. Вихідна структура сплаву С4CuS + ZrO_2

Рис. 3. Структура оплавленого фрагмента сплаву С4CuS + ZrO_2 ($V = 0,8$ мм/с)

Рис. 4. Мікротвердість зон обробки С4CuS + ZrO_2 лазерним променем по перерізу від поверхні зразка ($V = 0,8$ мм/с)

Рис. 5. Структура оплавленого фрагмента сплаву $C4CuS + ZrO_2$ ($V = 1,1$ мм/с)

Рис. 7. Структура оплавленого фрагмента сплаву $C4CuS + ZrO_2$ ($V = 1,3$ мм/с)

Зразки до і після випробувань зважували і визначали інтенсивність зношування, яка являла собою відношення втрати маси зразка (кг) до площі тертя (см²).

Результати та обговорення. Вихідна структура литого сплаву $C4CuS + ZrO_2$ (рис. 2) являє собою половинчастий чавун, що складається з сорбітно-трооститної матриці і первинних карбідів, компактних сульфідних включень, середній розмір яких складає 30 мкм і в більшості випадків мають оторочку з ϵ -Cu фази, а також окремі включення мідної фази кулястої форми розмірами до 50 мкм. Раніше проведені дослідження [2–4] експериментальних сплавів $C4CuS + ZrO_2$ показали наступні показники твердості фаз: матриця – 370, карбід – 850, ϵ -Cu фаза – 105, сульфід 165 HV (кг/мм²), твердість сплаву – 450 HB.

На рис. 3 наведено структуру оплавленої зони на поверхні сплаву $C4CuS + ZrO_2$ по режиму $V = 0,8$ мм/с. Структура даного зразка характерна тим, що на поверхні зони оплавлення утворився наплав мідної фази, нижче якого розташована зона розплавленого і закристалізованого сплаву дисперсної структури. Розмір структурних фаз становить 1–5 мкм.

Утворення мідної фази на поверхні оплавленого об'єму пов'язане з тим, що в структурі металу знаходилися включення ϵ -Cu фази (див. рис. 2).

На рис. 4 наведено дані мікротвердості по глибині мідного шару і переходу від мідного шару до зони оплавлення сплаву. Слід зазначити, що твердість

Рис. 6. Мікротвердість зон обробки $C4CuS + ZrO_2$ лазерним променем по перерізу від поверхні зразка ($V = 1,1$ мм/с)

Рис. 8. Мікротвердість зон обробки $C4CuS + ZrO_2$ лазерним променем по перерізу від поверхні зразка ($V = 1,3$ мм/с)

мідного шару падає по глибині від 180 до 80 кг/мм². У той же час, оплавлений шар сплаву, що знаходиться під мідним шаром, має високу твердість – твердість гартівних структур з рідкого стану металу, а саме 600–800 кг/мм². Досить високу твердість має шар оплавленого металу без наявності міді, мінімальна твердість якого ~ 500 кг/мм².

Структура зони оплавлення по режиму $V = 1,1$ мм/с представлена на рис. 5 і характерна тим, що крім оплавлення і твердіння під впливом променя лазера відбулося часткове розпилювання (видалення) металу з поверхні оброблюваної ділянки зразка. Розміри оплавленої зони по ширині приблизно такі ж, як і в попередньому зразку і складають ~ 1 мкм, в той же час товщина шару менше – 250 мкм. Приблизно посередині оплавленої зони (рис. 6) спостерігається область з високою твердістю (до 1400 кг/мм²).

Подальше зниження часу лазерної обробки (обробка $V = 1,3$ мм/с) показує ті ж структурні ефекти, що і при обробці по режиму $V = 1,1$ мм/с. На поверхні зразка спостерігається лункоподібна ділянка оплавлення (рис. 7), однак розміри як по ширині, так і по глибині зменшуються: відповідно 600 і 200 мкм. На рис. 8 наведено результати вимірювання мікротвердості по глибині обробленої лазером ділянки поверхні. Тут, як і в попередньому випадку, є пік твердості (~ 1600 кг/мм²), проте його положення по відношенню до попереднього зразка зсунуто до поверхні.

Рис. 9. Структура оплавленого фрагмента сплаву $C4CuS + ZrO_2$ ($V = 1,7$ мм/с)

Рис. 11. Структура оплавленого фрагмента сплаву $C4CuS + ZrO_2$ ($V = 2,1$ мм/с)

На рис. 9 представлено структуру зони обробки лазером зразка по режиму $V = 1,7$ мм/с. У цьому випадку проявляється ефект відсутності досить чіткої границі переходу від оплавленої і закристалізованої зони металу. Дрібнодисперсна частина оплавленого металу розташована над шаром рекристалізованого матеріалу типу загартованого сплаву з високим нагріванням $900\text{--}1000$ °С. Ця структурна особливість обробленого лазерним променем шару металу знижує твердість по всіх точках по глибині шарів з фіксацією максимальної твердості до 950 кг/мм² (рис. 10).

Обробка сплаву $C4CuS + ZrO_2$ по режиму $V = 2,1$ мм/с є по суті поверхневим гартуванням. Ширина шару залишається досить великою, а товщина в середньому – 150 мкм. Відсутня границя шару гартування, але є перехідний шар товщиною до $20\text{--}30$ мкм (рис. 11). На рис. 12 представлено дані щодо мікротвердості загартованого шару по глибині, з яких випливає, що максимум твердості 1150 кг/мм² спостерігається у поверхні шару, а на певній глибині (~ 90 мкм) – зона мінімальної твердості (600 кг/мм²), що пов'язано з відпуском шару гартування за рахунок тепла (нагрівання) зразка.

Мікротвердість матриці, карбідів і сульфідів сплаву $C4CuS + ZrO_2$ по 4–5 вимірах свідчать про складний вплив загального нагріву і охолодження циліндричних зразків при торцевій обробці поверхні сплаву.

Для визначення особливостей структуроутворення в сплав $C4CuS + ZrO_2$ під впливом лазерного про-

Рис. 10. Мікротвердість зон обробки $C4CuS + ZrO_2$ лазерним променем по перерізу від поверхні зразка ($V = 1,7$ мм/с)

Рис. 12. Мікротвердість зон обробки $C4CuS + ZrO_2$ ($V = 2,1$ мм/с)

меня було проведено мікрорентгеноспектральний аналіз розподілу у фрагментах оплавлення таких елементів, як мідь і сірка, які визначають утворення самостійної фази – сульфідів.

На рис. 13 наведено зміни вмісту зазначених елементів в умовному масштабі. Для випадку оплавлення значного обсягу сплаву $C4CuS + ZrO_2$ з утворенням наплаву з міді (див. рис. 3) визначено, що в даному місці проходження лазерного променя в приповерхневому шарі зразка була достатня концентрація як самостійних включень ϵ -Cu фази, так і значних за розміром мідних оторочок при сульфідних включеннях.

Дослідження зносостійкості пар тертя з легованими чавунами в умовах граничного тертя (рис. 14) показали, що час лазерної обробки (швидкість переміщення зразка) істотно впливає як на зміну твердості зони лазерної дії, так і на інтенсивність її зношування.

Аналіз отриманих даних показав, що при зміні швидкості переміщення зразка (часу опромінення) спостерігається кілька характерних тенденцій. Зі зменшенням часу опромінення зразків інтенсивність їх зношування знижується. Це пояснюється збільшенням мікротвердості основних фаз в зоні обробки (рис. 4, 6, 8, 10, 12). Однак для досліджуваних контртіл тертя спостерігається зворотна тенденція – зі збільшенням твердості зразків інтенсивність зношування контртіла зростає. Причому інтенсивність цього зростання іс-

Рис. 13. Розподіл міді та сірки по мідному наплаву і зоні переходу оплавленого фрагмента до матричного від поверхні

тотно вища, ніж інтенсивність зниження зносу зразків. Це призводить до значно більшого зношування пар тертя залежно від режимів обробки.

Виходячи з результатів розподілу основних структурних складових досліджуваного сплаву по глибині зони лазерного впливу (рис. 13), а також структурно-фазового аналізу (рис. 3, 5, 7, 9, 11), можна зробити висновок про те, що при лазерній обробці в зоні лазерного впливу ближче до поверхні спостерігається підвищений вміст міді.

Це підвищення, безсумнівно, сприятливо впливає на умови тертя в парі, особливо при сухому терті. Також логічно припустити, що при більшому часі опромінення температура на поверхні зразка вище, що сприяє міграції легкоплавких (Cu) елементів на поверхню зразка під час лазерної обробки. Цьому процесу також сприяє підвищений час знаходження вихідних структур сплаву в нагрітому стані.

Рис. 14. Інтенсивність зношування пар тертя сплаву С4CuS після лазерної обробки і сталі марки Ст5 загартованої: 1 – знос сплаву С4CuS після лазерної обробки; 2 – знос контртіла із сталі марки Ст5_{зарт}; 3 – сумарний знос пари тертя. I – V = 0,8; II – V = 1,1; III – V = 1,3; IV – V = 1,7; V – V = 2,1 (мм/с)

Висновки

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити однозначний висновок про істотний і позитивний вплив лазерного опромінення на властивості досліджуваних сплавів.

Виходячи з результатів досліджень видно, що в переважній більшості випадків у зоні лазерного впливу спостерігається істотне (до 1600 кг/мм²) збільшення мікротвердості основних структурних складових дослідних сплавів.

Дослідження впливу режимів лазерної обробки дозволило визначити оптимальні значення наступних величин: густина потужності лазерного випромінювання – $W_p = 5 \times 10^8$ Вт/м², діаметр плями фокусування – $d_p = 1,5$ мм, швидкість переміщення зразка – $V = 1,1$ мм/с.

Результати випробувань на зношування дослідних сплавів дозволяють зробити висновок про перспективність застосування сплавів на основі заліза з додаванням Cu і S як ефективних заміників дорогих зносостійких сплавів на основі міді.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гаврилюк В.П., Марковский Е.А., Тихонович В.И. Трибология литейных сплавов. Киев: ФТИМС НАН Украины, 2007. 428 с.
2. Марковский Е.А., Олексенко И.В., Гаврилюк В.П., Ильченко В.Д., Панасенко Д.Д. Влияние термоциклической обработки на структуру и износостойкость серого чугуна, легированного медью и серой. *Процессы литья*. 2002. № 2. С. 10–15.
3. Олексенко И.В., Марковский Е.А., Гаврилюк В.П., Качко Н.А. Износостойкость чугунов, легированных медью и серой: Тез. докл. *Литейное производство на рубеже столетий*. Киев: ФТИМС НАН Украины, 2003. С. 61–63.
4. Марковский Е.А., Олексенко И.В., Гаврилюк В.П., Качко И.В. Триботехнические свойства сплавов системы С4+Cu+S при трении скольжения. *Металл и литье Украины*. 2006. № 6. С. 7–11.

5. Григорянц А.Г., Сафонов А.Н. Методы поверхностной лазерной обработки. М.: Высшая школа, 1987. 191 с.
6. Коваленко В.С., Котляров В.П. Справочник по технологии лазерной обработки. К.: Техніка, 1985. 167 с.
7. Bingxu Wang, Yuming Pan, Yu Liu, Gary C. Barber, Feng Qiu, Ming Hua. Wear behavior of composite strengthened gray cast iron by austempering and laser hardening treatment. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Vol. 9. Iss. 2. P. 2037–2043. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.036>
8. Югов В.И., Афанасьева Л.Е., Барабанова И.А., Раткевич Г.В. Упрочнение конструкционной стали с помощью многоканального CO₂ лазера. *Письма о материалах*. 2017. Т. 7. № 1. С. 8–11. DOI: <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2017-1-8-11>
9. Tarasiuk W., Gordienko A.I., Wolocko A.T., Piwnik J., Szczucka-Lasota B. The tribological properties of laser hardened steel 42CrMo4. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2015. Vol. 60. Iss. 4. P. 2939–2943. DOI: 10.1515/amm-2015-0469
10. Rodziňák D., Čerňan J., Zahradníček R. Effect of laser hardening on the properties of PM steels. *Acta Metallurgica Slovaca*. 2013. Vol. 19. No. 4. P. 282–291. DOI: <http://dx.doi.org/10.12776/ams.v19i4.142>
11. Hwang, H.-T., Song, H.-S., Kim, J.-D., Song, M.-K., Kim, Y.-K. Surface treatment in edge position of spheroidal cast iron for mold materials by using high power diode laser. *Korean Journal of Materials Research*. 2009. No. 19 (9). P. 457–461.
12. Новицький В.Г., Гаврилюк В.П., Панасенко Д.Д., Шатрава А.П. Свойства литых гетерогенных Fe-Cr-Cu-C – сплавов после лазерной обработки. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2012. № 9. 2012. С. 15–23.
13. Лихошва В.П., Пелікан О.А., Діюк Л.М., Шатрава О.П. Технології відновлення зношених робочих органів дробильно-розмелювальних машин. Зб. наук. статей за результатами виконання програми України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин», ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2012. С. 533–537.
14. Марковский Е.А., Олексенко И.В., Шатрава А.П. Лазерная обработка как дополнительный метод повышения триботехнических свойств сплавов на основе чугунов, легированных Cu и S. *Металл и литье Украины*. 2017. № 8–10. С. 78–83.

Надійшла 05.08.2020

REFERENCES

1. Havrylyuk, V.P., Markovskiy, E.A., Tikhonovich, V.I. (2007). Tribology of cast alloys. Kyiv: PTIMA NAS of Ukraine, 428 p. [in Russian].
2. Markovskiy, E.A., Oleksenko, I.V., Havrylyuk, V.P., Il'chenko, V.D., Panasenko, D.D. (2002). The influence of thermal cycling on the structure and wear resistance of gray cast iron alloyed with copper and sulfur. *Casting processes*, no. 2, pp. 10–15 [in Russian].
3. Oleksenko, I.V., Markovskiy, E.A., Havrylyuk, V.P., Kachko, N.A. (2003). Wear resistance of cast iron alloyed with copper and sulfur: Abstracts. Liteinoe proizvodstvo na rybezhe stoletiy. Kyiv: PTIMA NAS of Ukraine, pp. 61–63 [in Russian].
4. Markovskiy, E.A., Oleksenko, I.V., Havrylyuk, V.P., Kachko, N.A. (2006). Tribological properties of alloys of the system Cu+Cu+S during sliding friction. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 6, pp. 7–11 [in Russian].
5. Grigoriant, A.G., Saphonov, A.N. (1987). Surface Laser Methods. Moscow: Vysshiaia shkola, 191 p. [in Russian].
6. Kovalenko, V.S., Kotl'jarov, V.P. (1985). Laser Technology Reference. Kyiv: Tekhnika, 167 p. [in Russian].
7. Bingxu Wang, Yuming Pan, Yu Liu, Gary C. Barber, Feng Qiu, Ming Hua (2020). Wear behavior of composite strengthened gray cast iron by austempering and laser hardening treatment. *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, iss. 2, pp. 2037–2043, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.036>
8. Yugov, V.I., Afanasieva, L.E., Barabanova, I.A., Ratkevich, H.V. (2017). Hardening of structural steel by a multichannel CO₂ laser. *Lett. Mater.*, vol. 7, no. 1, pp. 8–11 [in Russian].
9. Tarasiuk, W., Gordienko, A.I., Wolocko, A.T., Piwnik, J., Szczucka-Lasota, B. (2015). The tribological properties of laser hardened steel 42CrMo4. *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 60, iss. 4, pp. 2939–2943, doi: 10.1515/amm-2015-0469
10. Rodziňák, D., Čerňan, J., Zahradníček, R. (2013). Effect of laser hardening on the properties of PM steels. *Acta Metallurgica Slovaca*, vol. 19, no. 4. pp. 282–291, doi: <http://dx.doi.org/10.12776/ams.v19i4.142>
11. Hwang, H.-T., Song, H.-S., Kim, J.-D., Song, M.-K., Kim, Y.-K. (2009). Surface treatment in edge position of spheroidal cast iron for mold materials by using high power diode laser. *Korean Journal of Materials Research*, no. 19 (9), pp. 457–461.
12. Novitskiy, V.G., Havrylyuk, V.P., Panasenko, D.D., Shatrava, A.P. (2012). Properties of cast heterogeneous Fe-Cr-Cu-C – alloys after laser treatment. *Metallavedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, no. 9, pp. 15–23 [in Russian].
13. Likhoshva, V.P., Pelikan, O.A., Diyuk, L.M., Shatrava, A.P. (2012). Technologies for restoration of worn working bodies of crushing and grinding machines. Zb. nauk. statei za rezul'tatamy vykonannya programy Ukrainy "Problemy resursu i bezpeky ekspluatatsii konstrukttsii, sporud ta mashyn", IEZ im. Ye.O. Patona, pp. 533–537 [in Ukrainian].
14. Markovskiy, E.A., Oleksenko, I.V., Shatrava, A.P. (2017). Laser treatment as an additional method to increase the tribotechnical properties of alloys based on cast irons alloyed with Cu and S. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 8–10, pp. 78–83 [in Russian].

Received 05.08.2020

Summary**Ye.A. Markovskiy**, Dr. Sci. (Engin.), Professor**O.P. Shatrava**, PhD (Engin.), Senior Researcher,

e-mail: shatrava@ptima.kiev.ua

I.V. Oleksenko, Senior Researcher, e-mail: svsv@ptima.kiev.ua**O.A. Pelikan**, Senior Researcher, e-mail: otmlp@ptima.kiev.ua*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)***Structure and properties of antifriction Fe-Cu-S alloys after laser treatment**

The object of research is the most promising antifriction alloys – gray cast iron, alloyed with copper and sulfur. It is noted that the use of copper as an alloying element in quantities exceeding its solubility in iron, allows to obtain in cast iron perlite-ferrite structure with inclusions of copper ε -phase. The article presents the results of a number of studies of laser thermal irradiation on the structure and properties of certain antifriction alloys. It is established that as a result of laser processing there is a significant increase in the concentration of alloying fusible elements in the surface layer of the samples in the area of laser exposure depending on the time of action of laser radiation. Structural phase analysis of the laser treatment zone, presented in the article, revealed a significant and positive effect of laser irradiation on the formation and distribution of phases. It was determined that starting from the processing speed $V = 1.7$ mm/s, a pronounced (80–120 mkm) hardening zone of the investigated alloys is observed on the surface of the samples. The paper presents data that indicate that in the vast majority of cases in the laser zone there is a significant (up to 1600 kg/mm²) increase in the microhardness of the main structural phase components of the experimental alloys. An analysis of the results of the wear test of the obtained samples is presented, which showed that with decreasing irradiation time, the intensity of their wear decreases, which is associated with an increase in the microhardness of the main phases on the surface in the treatment area. The positive effect of laser treatment on increasing the wear resistance of the studied experimental samples and friction pairs in general is also noted and the prospects of using this method of processing to improve the tribotechnical properties of iron-alloyed alloys of copper and sulfur are predicted.

Keywords*Laser hardening, antifriction alloys, complex sulfides, x-ray spectral analysis, copper inclusion, tribotechnical properties.*