3. *Локтіонов-Ремізовський В. А., Шипицин С. Я., Новицький В. Г. та інші.* Ефективність впливу легування міддю на зношування заевтектоїдних сталей. Металознавство та обробка металів, 2022, № 4, С. 30-39.

4. *Гуляев А. П.* Металловедение. 5-е. изд.М. Металлургия. 1977, 647 с.

5. Диаграммы состояния двойных металлических систем ред. Лякишева Н. П., Машиностроение, 1996-2000 г.

УДК 669.35.15.017: 621.891

В. А. Локтіонов - Ремізовський, Н. В. Кир'якова, О. А. Щерецький, В. Г. Новицький

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

elenalokti@ukr.net

ФОРМУВАННЯ МІДНОЇ ФАЗИ «ТВЕРДЕ МАСТИЛО» У СТРУКТУРІ ЛИВАРНИХ ЗАЕВТЕКТОЇДНИХ СТАЛЕЙ

Напрямок досліджень з питання синтезу ливарних зносостійких сплавів зі структурною компонентою «тверде мастило» актуальні з точки зору екологічної безпеки та і як самостійний науковий напрямок матеріалознавства, в частині литих природних композитів.

Опубліковані результати досліджень впливу легування міддю сірих чавунів, хромистих сталей та заевтектоїдних сталей, показали велику ефективність зменшення зношування сплавів у 2-5 разів, за умов сухого тертя ковзанням [1, 2, 3]. Дослідники однаково пояснюють наявність такого ефекту формуванням в структурі сплавів зерен мідної фази, яка використовуючи енергію зовнішнього тертя, змінює свій агрегатний стан від твердого на рідину та переводить режим тертя від сухого до граничного. Хоча, судячи з результатів досліджень, ефект зменшення зношування сірих чавунів досягається при вмісті міді 5%, а аналогічне зменшення зношування сталей досягається при

вмісті міді більше 10-12%. Вигляд структури сплавів, в частині виду зерен мідної фази, має велику подібність (рис. 1).

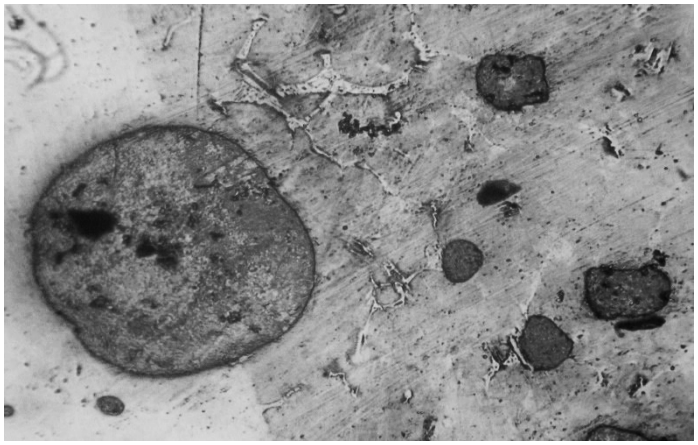

Рис. 1 - Структура сталі з 1,18%С та 28,3%Cu у литому стані, х1000.

Зерна мідної фази в структурі дослідних чавунів та сталей мають округлу, досить часто сферичну форму та розташовані по досліджуваній площині металографічного шліфу неоднорідно. Дослідники не привели даних о зміні морфологічних ознак зерен мідної фази після термічного оброблення сплавів.

Очевидно, що мідна фаза може виконати функцію мастила в зоні тертя лише за умови її нагріву до температури високої пластифікації, а найкраще до температури плавлення. Для визначення умов трансформації мідної фази в зоні тертя необхідні дані побудови потрійної системи Fe-C-Cu. Існують публікації результатів досліджень бінарних систем Fe-C, Fe-Cu та Cu-C [4,5], детальних публікацій потрійної системи Fe-C-Cu не виявили.

У бінарних системах Fe-C, Fe-Cu та Cu-C відсутні хімічні сполуки (інтерметаліди), за винятком наявного карбіду Fe_3C, що дозволяє прогнозувати відсутність інших сполук у потрійній системі Fe-C-Cu. У бінарній системі Fe-Cu, у діапазоні температур 1094÷1400 ^{0}C та при концентрації міді вище 8% за масою, існує двофазна область $\gamma+\varepsilon$ (рідина). В даній області наявні первинні кристали γ-заліза у оточенні рідини розплаву міді з домішками заліза. Вказана область має тенденцію до розширення з пониженням температури. Вміст міді, за яким мідна фаза існує у стані рідини, складає 8,5% за температури 1094 ^{0}C. Нижче температури 1094 ^{0}C розплав міді кристалізується у вигляді первинних зерен ε-фази.

Досліджено сплави із вмістом вуглецю у діапазоні до 2,0% та міді до 28%. Умови експерименту наблизили до умов практичного застосування результатів. Сплави виплавили у тиглі із основною футеровкою. Шихтою слугували лом сталі 20 (ДСТУ 8938:2019), чавун СЧ150 (ДСТУ 8833:2019) та лом міді електротехнічної (дріт). Для

виготовлення зразків застосовували суху піщану форму. Хімічний склад сплавів визначали стандартними методами аналітичної хімії та методом спектрального аналізу. Структуру дослідили на оптичному та скануючому мікроскопах. Критичні температури визначили на приладі STA 449F1 фірми «NETZSCH». Баланс вмісту міді в сплаві та у мідній фазі, в залежності від її кількості, визначили за правилом відрізків.

На рисунку 2 представлено розташування лінії М – $М_1$, як межі існування рідини ε- фази, лінії чотирифазної евтектоїдної реакції γ↔α+к+ε та проекції поверхні розділу однофазної (γ) та трифазної (γ+к+ε) областей системи Fe-Cu-C у куту заліза. Проекція поверхні побудована ізолініями (конодами) температур. Наявність проекції поверхні дозволяє будувати політермічні перерізи, із заданим відношенням міді до вуглецю, та визначати, при заданому вмісті вуглецю, вміст міді, вище якого в структурі сталі будуть формуватись первинні зерна мідної фази (рис. 3).

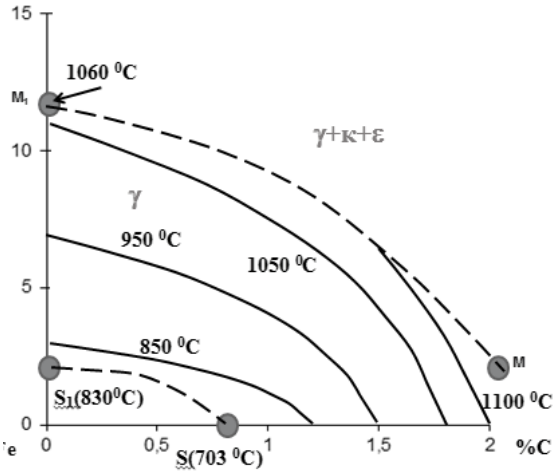

Рис. 2 – Проекція поверхні розділу однофазної (γ) та трифазної (γ+к+ε) областей системи Fe-Cu-C у куту заліза

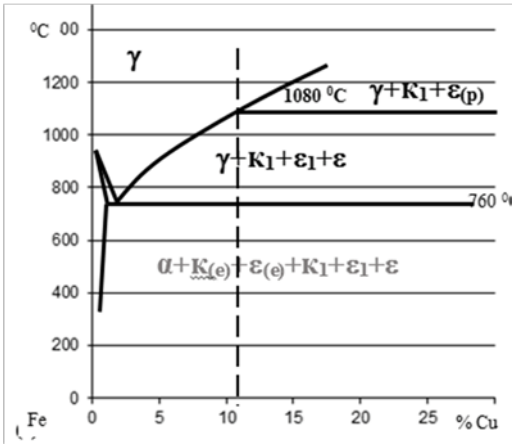

Рис. 3 - Політермічний переріз системи Fe-Cu-C по лінії Fe-(Cu+C) (схема)

Підвищення вмісту вуглецю у твердому розчині заліза зменшує вміст міді у твердому розчині, вище якого, ε- фаза формується у вигляді первинних кристалів. Це пояснює наявність первинних зерен мідної фази у сірих чавунах вже при вмісті міді в чавуні на рівні 3-5%. Для формування первинних зерен у хромистій сталі (вміст вуглецю 1,2%) та у заевтектоїдних сталях (вміст вуглецю до 1,5%), вміст міді у сплаві повинен перевищити 8-10%. Мідна фаза може виконувати функцію мастила за умови, коли режим тертя (тиск та швидкість) будуть формувати температуру на поверхні тертя та у приповерхневому шарі не нижче 1100 ^{0}C. За цих умов, первинні зерна мідної фази стануть рідиною

(третім тілом), поміж робочих поверхонь пари тертя. Режим тертя перейде від сухого до граничного, без додавання у зону тертя традиційного олійного мастила.

Список літератури

1. *Марковский Е. А*., *Олексенко И. В., Гаврилюк В. П., Качко Н. А. Грибов Н. Н.* Процессы диффузии и массопереноса при внешнем трении сплавов Сч+Cu+S // Процессы литья. 2006, № 3. С. 70-74.

2. *Новицкий В. Г. , Гаврилюк В. П., Лахненко В. Л. и др.* Влияние углерода и меди на структуру литых сплавов системы Fe-Cr-Cu-C и их трибологические характеристики в условиях трения скольжения // Трение и износ. 2015, т. 36, №1, С. 70-80.

3. *Локтіонов - Ремізовський В. А., Шипицин С. Я., Новицький В. Г. та інші.* Ефективність впливу легування міддю на зношування заевтектоїдних сталей. Металознавство та обробка металів, - 2022, 4, - С. 30-39.

4. *Гуляев А. П.* Металловедение. 5-е. изд. М. Металлургия. 1977, 647 с.

5. Диаграммы состояния двойных металлических систем ред. Лякишева Н. П., Машиностроение, 1996-2000 г.

УДК 621.742

Р. В. Лютий, М. В. Тишковець, Д. В. Люта

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

ФОСФОСУЛЬФАТНИЙ ЗВ’ЯЗУВАЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ

Ливарне виробництво є основою сучасного машинобудування та багатьох інших промислових галузей. Підвищення якості і конкурентноздатності литих деталей неможливо без технічного прогресу в розробленні формувальних матеріалів та підвищенні властивостей формувальних і стрижневих сумішей. З наукової та практичної точки зору актуальним є розроблення нових і удосконалення відомих зв’язувальних компонентів (ЗК) [1, 2]. В останні роки знову підвищився інтерес до фосфатних матеріалів, вивчення яких почалося ще в середині ХХ ст.

Основою переважної більшості фосфатних ЗК є алюміній [3, 4]. Однак процеси приготування цих ЗК тривалі та багатоопераційні, що підвищує їх вартість і знижує стабільність. У ливарному виробництві, де обсяги використання матеріалів дуже значні,