

УДК 669.35.14.017: 621.891

**В. А. Локтіонов - Ремізовський, Н. В. Кир'якова, О. А. Щерецький,
М. М. Грібов**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

elenalokti@ukr.net

ВПЛИВ МІДІ НА ОСОБЛИВОСТІ ЕВТЕКТОЇДНОЇ РЕАКЦІЇ У СТРУКТУРІ ЗАЕВТЕКТОЇДНИХ СТАЛЕЙ

Застосування олійних мастил у вузлах тертя призводить до утворення великої кількості відпрацьованих мастил. Витрати на переробку і утилізацію відпрацьованих мастил досягають великих розмірів. Значна кількість мастил просочується назовні, при роботі з ними, та спричиняє невідповідну шкоду навколишньому середовищу. Вимога скорочення застосування олійних мастил у вузлах тертя обумовлює актуальність досліджень синтезу ливарних зносостійких сплавів зі структурою, яка включає фазу «тверде мастило». Розробка таких ливарних сплавів дозволить якщо і не виключити, то зменшити використання олійних мастил.

Дослідження Є. Марковського показали, що легування міддю сірих чавунів, на рівні 4 ÷ 5% формує в структурі чавунів фазу «тверде мастило» на основі міді [1]. Інші дослідники показали, що легування міддю ливарної хромистої сталі та заевтектоїдних сталей також формує в структурі сталей фазу «тверде мастило» на основі міді [2, 3]. У дослідженнях увага акцентувалась на ефективності легування міддю ливарних сплавів з точки зору підвищення їх зносостійкості. Зафіксовано підвищення зносостійкості ливарних чавунів та сталей, за умов сухого тертя ковзанням, у 2 - 5 разів. Автори не акцентували увагу на питаннях особливостей структуроутворення мідної фази «тверде мастило». Призначення режимів термічної обробки ливарних сплавів проводять з урахуванням критичних температур структурних та фазових перетворень у сплаві.

Мета роботи - побудувати діаграму стану потрійної системи Fe-C-Cu у куту вмісту вуглецю до рівня вуглецю у заевтектоїдних сталях (2,0%) та вмісту міді до заліза, у діапазоні 28% за масою.

У бінарних системах Fe-C, Fe-Cu наявні двофазні евтектоїдні реакції $\gamma \leftrightarrow \alpha + \kappa$ та $\gamma \leftrightarrow \alpha + \varepsilon$ відповідають даним [4, 5]. Відсутність хімічних сполук (інтерметалідів) у бінарних системах Fe-C, Fe-Cu та Cu-C, за винятком карбіду Fe₃C, дозволяє прогнозувати

відсутність інших сполук у потрійній системі Fe-C-Cu. Наявність двофазних евтектоїдних реакцій у бінарних системах дозволяє прогнозувати наявність чотирифазної евтектоїдної реакції в системі Fe-C-Cu у куту заліза.

Дослідили 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 досліджували на оптичному та скануючому мікроскопах. Критичні температури визначили на приладі STA 449F1 фірми «NETZSCH».

На рисунку 1 наведено топографічну проекцію поверхні чотирифазної евтектоїдної реакції $\gamma \leftrightarrow \alpha + \kappa + \varepsilon$ у куту заліза трикомпонентної системи Fe-C-Cu. Лінія S - S₁ є лінією чотирифазної евтектоїдної реакції $\gamma \leftrightarrow \alpha + \kappa + \varepsilon$. Температура евтектоїдної реакції у точках евтектоїду монотонно підвищується від температури 703 °С, у бінарній системі Fe-C (вміст вуглецю 0,8%) до 830 °С, у системі Fe-Cu (вміст міді 4,2%).

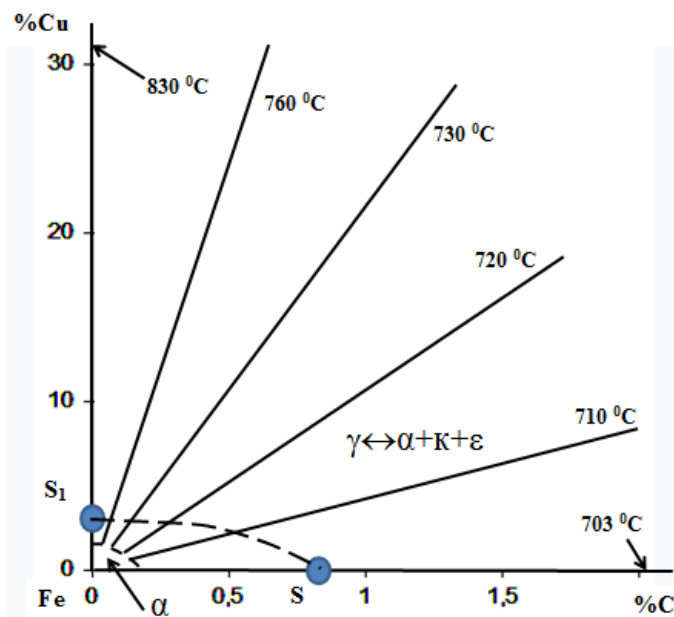


Рис. 1 - Топографічна проекція поверхні чотирифазної евтектоїдної реакції $\gamma \leftrightarrow \alpha + \kappa + \varepsilon$ у куту заліза трикомпонентної системи Fe-C-Cu, S - S₁ - лінія трифазної евтектоїдної реакції $\gamma \leftrightarrow \alpha + \kappa + \varepsilon$; 723 °С... 850 °С - ізолінії температур поверхні чотирифазної евтектоїдної реакції $\gamma \leftrightarrow \alpha + \kappa + \varepsilon$

Зменшення температури евтектоїдних реакцій у дослідних бінарних сплавах Fe-C та Fe-Cu, у порівнянні із даними наукових публікацій, обумовлено використанням у

даному експерименті, у якості шихти, промислових матеріалів сталі 20 та чавуну СЧ150. Поверхня чотирифазної евтектоїдної реакції підіймається від лінії евтектоїдної реакції у бінарній системі Fe-C до лінії евтектоїдної реакції у бінарній системі Fe-Cu.

На рисунку 2 наведено схему типового політермічного перерізу потрійної системи Fe-C-Cu у куту заліза. Діаграми Fe-C, в області вмісту вуглецю до 2,1% за масою, діаграми Fe-Cu та політермічний переріз потрійної системи Fe-C-Cu мають подібний між собою вигляд.

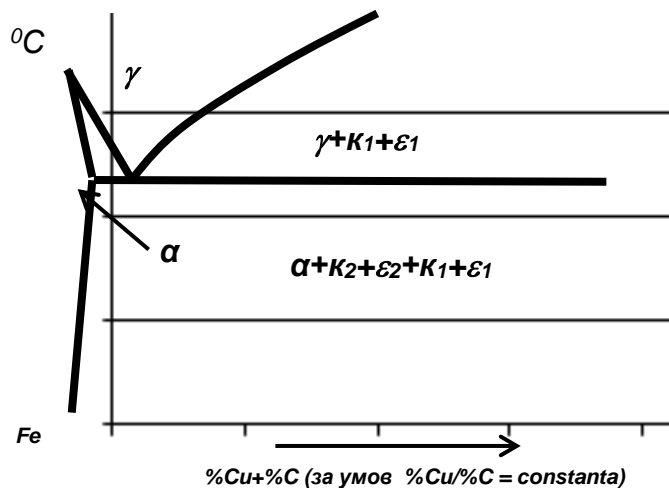
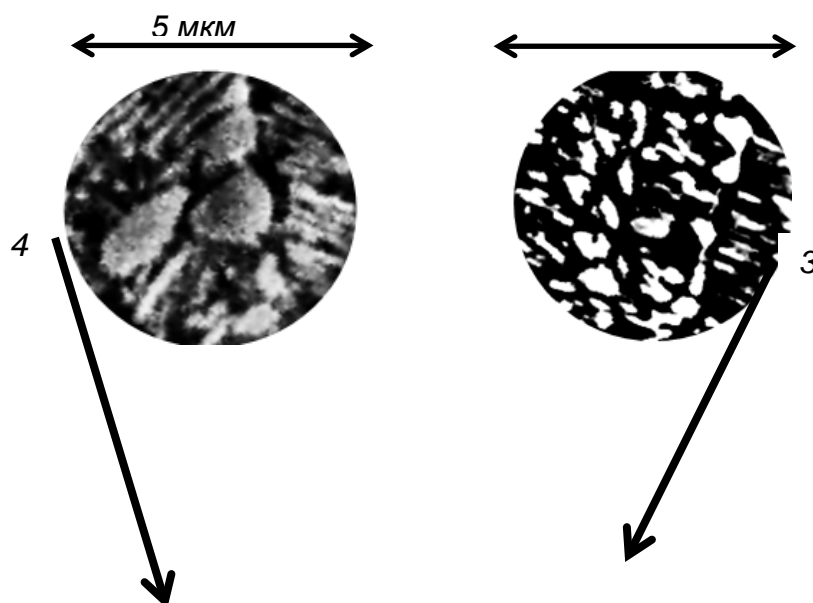


Рис. 2 - Схема політермічного перерізу систем Fe-Cu-C по лінії Fe - (%Cu/%C=const)..

На рисунку 3 наведено структуру сплаву Fe+1,3%C+7,9%Cu у стані після низькотемпературного відпуску.



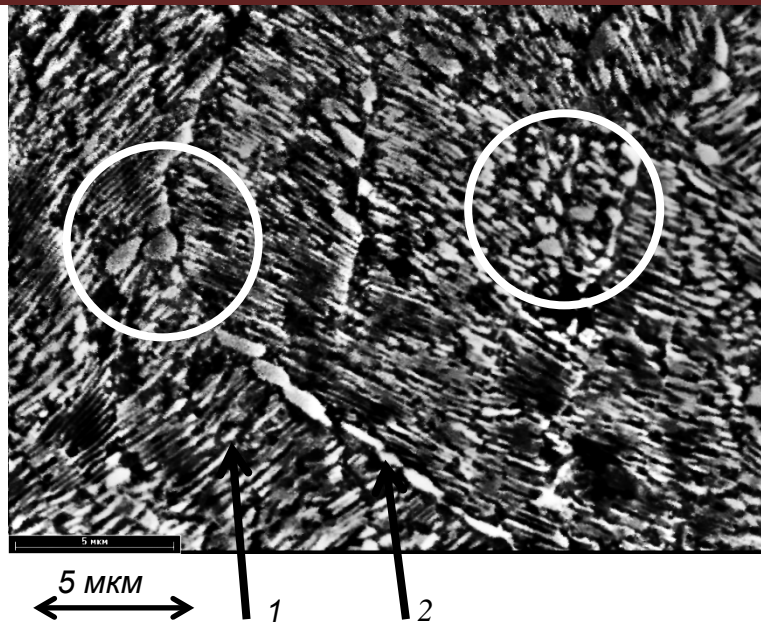


Рис. 3 - Мікроструктура сплаву Fe+1,3%C+8,0%Cu, 1 - трифазний перліт; 2 – вторинний цементит (κ_1) по межах первинних зерен аустеніту; 3 – мідна фаза (ϵ_2) у складі трифазного перліту; 4 – вторинні виділення мідної фази (ϵ_1) по межах аустенітних зерен

Структура сплаву представлена первинними зернами аустеніту, який після охолодження нижче температури евтектоїдної реакції перетворився у перліт з включеннями дисперсної мідної ϵ -фази. Слід відмітити високий ступінь диспергування структури перліту. Товщина пластин цементиту менше 1 мкм. Мідна ϵ -фаза представлена вкрапленнями округлої форми розміром не більше 2 мкм. Наявні виділення вторинного цементиту та вторинної мідної ϵ -фази навколо меж первинних зерен аустеніту. Це характерно для структури заевтектоїдних сталей, за умов повільного охолодження від температур аустенітного стану структури до температур нижче температур евтектоїдного розпаду. Вторинна мідна ϵ -фаза виділялась за таким же механізмом. Побудова структури сплавів підтверджує наявність чотирифазної евтектоїдної реакції у потрійній системі Fe-C-Cu у куту заліза.

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., и др. Влияние углерода и меди на структуру литых сплавов системы Fe-Cr-Cu-C // 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 заєвтектоїдних 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 ЗА- ЕВТЕКТОЇДНИХ 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 заєвтектоїдних 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).

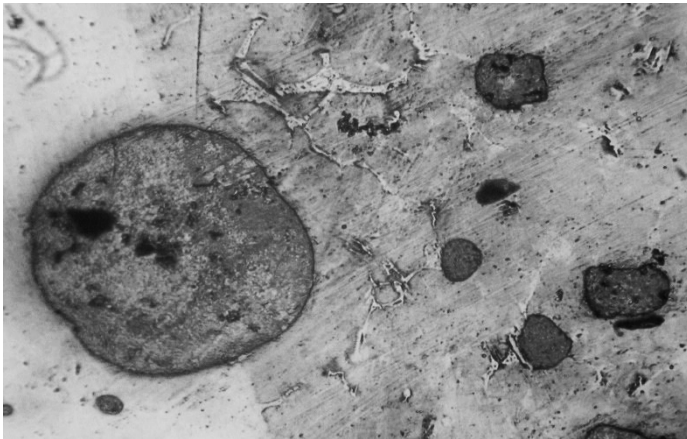


Рис. 1 - Структура сталі з 1,18%С та 28,3%Cu у литому стані, x1000.

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 потрібної системи Fe-C-Cu. Існують публікації результатів досліджень бінарних систем Fe-C, Fe-Cu та Cu-C [4,5], детальних публікацій потрібної 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 потрібній системі Fe-C-Cu. У бінарній системі Fe-Cu, у діапазоні температур $1094 \div 1400$ °C та при концентрації міді вище 8% за масою, існує двофазна область $\gamma + \epsilon$ (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 °C. Нижче температури 1094 °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