

ВПЛИВ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ Fe-Cr-Mn ЗНОСОСТІЙКОГО ЧАВУНУ З МЕТАСТАБІЛЬНИМ АУСТЕНИТОМ

к.т.н. Чейлях Я.О.¹, д.т.н., проф. Чейлях О.П.²

¹ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча»

²ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

alex_edu@epage.ru

Встановлені закономірності дестабілізації аустеніту за рахунок виділення карбідів в залежності від температури нормалізації та відпуску, що забезпечує оптимальну мартенситно-аустенітно-карбідну структуру та активізацію деформаційного мартенситного перетворення для підвищення зносостійкості чавуну ЧХ14Г6СТ

Підвищення зносостійкості багатьох матеріалів, в т.ч. зносостійких білих чавунів є актуальним завданням сучасного матеріалознавства. У більшості дотеперішніх підходів підвищення їх абразивної зносостійкості зазвичай пов'язували з отриманням найбільшої вихідної твердості [1], що досягається формуванням мартенситної структури металевої основи і спеціальних карбідів. При цьому далеко не завжди враховується можливість отримання метастабільних станів і реалізації фазових перетворень в процесі зношування. В роботах [2-6] вказується на позитивну роль аустеніту, присутнього поряд з мартенситом і карбідами, а підвищення зносостійкості пов'язують з протіканням в поверхневому шарі в процесі зношування структурних і фазових перетворень (дифузійних і мартенситних $\gamma \leftrightarrow \alpha'$ виділення надлишкових фаз і ін.). Тим часом, питання і механізми дестабілізації аустеніту литого стану з точки зору регулювання кінетики цих перетворень залишаються недостатньо вивченими.

Метою цієї роботи є вивчення особливостей дестабілізації аустеніту для активізації деформаційного мартенситного перетворення і підвищення зносостійкості Fe-Cr-Mn білого чавуну.

Матеріалом дослідження був чавун марки ЧХ14Г6СТ з аустенітної металевою основою [7]. Чавун виплавляли у дуговій електропечі ДСП-3 з основною футеровкою в ПрАТ «ММК імені Ілліча» методом сплавлення шихтових матеріалів без окислення. Зразки (проби) для досліджень розміром 15×15×130 мм відлили разом з футеровочними плитами агломераційних машин.

Для досліджень використовувалися металографічний, рентгеноструктурний, магнітометричний методи, вимірювання твердості по Роквеллу, мікротвердості. Із метою комплексного вивчення властивостей розробленого чавуну були проведено випробування на зношування в різних умовах: абразивного (в середовищі електрокорунду), ударно-абразивного (в середовищі чавунної литої дробу), тертя ковзання метал-метал (установка МІ-1М) згідно методик роботи [8]. Зразки чавуну ЧХ14Г6СТ піддавалися нормалізації при температурах 880, 920, 1050 °С (охолодження на повітрі), відпуску при температурі 250 °С (після нормалізації 880 °С - відпуск при 580 °С). Для порівняння використовувалися зразки чавуну в литому стані і після відпуску 250 °С. Мікроструктура чавуну в литому стані переважно вона складається з дендритів первинного аустеніту (рис. 1 а), які ймовірно частково розпадаються при сповільненому охолодженні виливків і евтектичних колоній (А + К) (Cr₇C₃).

Мікроструктура чавуну ЧХ14Г6Т після різних режимів термічної обробки наведена на рисунку 1 б - д. Після відпуску 250 °С в зернах первинного аустеніту з'являються темні області, що свідчить про початок дестабілізації аустеніту та появи ознак початку відділення метастабільних карбідів (рис. 1 б). Після нормалізації при температурі 880 °С і високого відпуску при 580 °С структура складається з продуктів розпаду зерен первинного аустеніту,

евтектики ($A+K_1+K_2$) і первинних карбідів (рис. 1 в). При температурі 900...920 °С формується найбільш сприятлива мартенситно-аустенітно-карбідна структура (М-А-К), яка містить 15...20 % $A_{\text{зал}}$. У цьому випадку утворюється досить насичений вуглецем і легуючими елементами мартенсит. У зернах первинного аустеніту виділяються високодисперсні вторинні карбіди $(Cr, Fe)_{23}C_6$, які армують мартенсит. Паралельно відбувається часткове розчинення евтектичних і первинних карбідів.

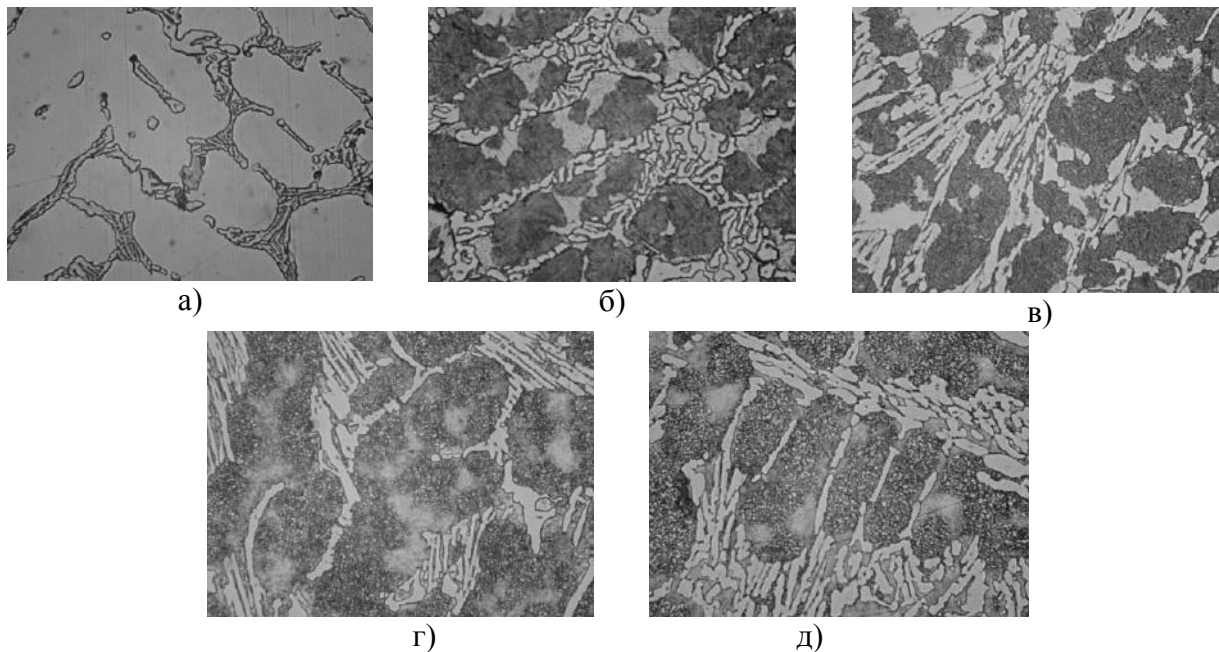


Рис. 1. Мікроструктура чавуну ЧХ14Г6Т: а) литої стан; б) відпуск 250 °С (без нормалізації); після нормалізації при температурах: в) 880 °С (відпуск 580 °С); г) 920 °С; д) 1050 °С (відпуск 250 °С); $\times 1000$

У результаті цього збільшується насичення аустеніту вуглецем, хромом, марганцем, точка M_n його знижується, що призводить до підвищення вмісту залишкового аустеніту. Тому області залишкового аустеніту розташовуються переважно навколо частинок карбідів, в центрі колишніх зерен первинного аустеніту виявляється суміш безструктурного мартенситу і вторинних карбідів, області первинного аустеніту який не розпався (рис 1 г).

З метою розширення можливості регулювання ступеня метастабільності аустеніту в чавунах з переважно аустенітної структурою, представляло інтерес дослідити питання розпаду первинного і евтектичного аустеніту при нагріванні. З цією метою досліджувалися процеси при температурах нагріву 920 і 1050 °С з різними витримками від 20 до 60 хв. і наступному охолодженні на повітрі. Магнітометричні і металографічні дослідження показали, що при нагріванні до 920 ... 1050 °С з первинного аустеніту (A_1) і евтектичного аустеніту (A_e) (розташованого в междендрітних ділянках евтектичних колоній) виділяються карбіди $Cr_{23}C_6$, при цьому A_1 і A_e дестабілізуються, що викликає підвищення $t_{\text{н}}$. M_n вище кімнатної температури.

Зі збільшенням температури нагріву с 920 до 1050 °С ступінь дестабілізації A_1 зростає: $t_{\text{н}}$ (розпаду аустеніту по реакції $A \rightarrow (\alpha' + Cr_{23}C_6)$ -суміш збільшується з 567 до 781 °С. (Рис. 2). При цьому мікровердність суміші $\alpha' + Cr_{23}C_6$ знижується з 8680 МПа до 7580 МПа (табл.), а зниження мікротвердості A_1 з 6280 МПа до 5840 МПа пояснюється його збіднінням по вуглецю і хрому. Збільшення часу витримки при кожній температурі нагріву неоднозначно впливає на стан $t_{\text{н}}$. Так збільшення витримки при 920 °С з 20 до 60 хв. ступінь дестабілізації аустеніту також збільшується: $t_{\text{н}}$ підвищується з 567 до 737 °С (рис. 2), що пояснюється інтенсифікацією виділення карбідів $Cr_{23}C_6$. Зі збільшенням часу

витримки при 1050 °С з 20 до 60 хв. виявляється зворотна картина – дестабілізація A_1 змінюється стабілізацією, про що свідчить зниження кр. т. A_1 з 781 до 700 °С (рис. 2).

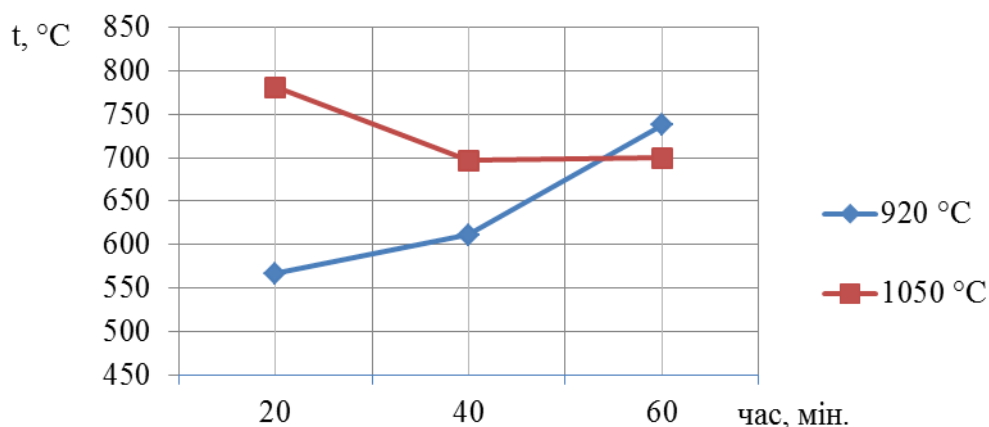


Рис. 2. Вплив температури нагрівання та часу витримки на критичну температуру початку розпаду аустеніту при безперервному охолодженні на повітрі (A_r) чавуну ЧХ14Г6СТ

Таблиця

**Мікротвердість структурних складових чавуну ЧХ14Г6Т
після різних режимів термічної обробки**

Режим термічної обробки	HV, МПа		
	(Мартенсит + карбіди)	Аустеніт	Эвтектика
Литий	—	4460	5125
Відпуск 250 °С	8360	6700	8410
Нормалізація 920 °С + відпуск 250 °С	8680	6280	8190
Нормалізація 1050 °С + відпуск 250 °С	7580	5840	9380
Нормалізація 880 °С + відпуск 580 °С	7465	6110	8190

За фото структур видно, що карбіди $Cr_{23}C_6$ виділяються як в зернах A_1 так і A_e (рис. 1 в, г, д). При нагріванні 1050 °С в порівнянні з витримками при 820 і 920 °С в колишніх зернах A_1 утворюються світлі ділянки (рис. 1 г і д), які можуть свідчити про початок розчинення частинок карбідів $Cr_{23}C_6$ які попередньо виділилися.

Твердість чавуну у литому стані та після відпуску при 250 °С найнижча HRC37...42. Після нормалізації 880 °С і високого відпуску при 580 °С через великий вміст аустеніту твердість так само не має високих значень HRC48. Нормалізація при 900...920 °С збільшує твердість чавуну до HRC54. Це пояснюється розпадом первинного аустеніту і виникненням з нього мартенсито-карбідної суміші. Зі збільшенням температури нормалізації до 1050 °С твердість чавуну незначно збільшується до HRC55,5. Це пояснюється тим, що відбувається розпад первинного аустеніту, більш ефективно виділяються карбіди, це збіднює аустеніт і робить більш повним його перетворення в мартенсит.

Ударна в'язкість в залежності від температури нагріву змінюється протилежно зміни твердості: максимальна - 1,55 Дж/см² у литому стані, що відповідає переважно аустенітній структурі металевої основи; мінімальна – 0,35 Дж/см², після нормалізації та відпуску при 580 °С, коли формується переважно мартенситно-карбідна структура.

Встановлено, що в процесі випробувань на зношування в робочому поверхневому шарі протікає $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ. Ступінь його розвитку і кількість α' -мартенситу деформації, який утворюється, визначаються його кінетикою і залежать від вихідного фазового складу (після обробок) і ступеня метастабільності аустеніту. Вона може регулюватися режимами термообробок [6, 8].

Слід зазначити, що отримання максимальної зносостійкості не відповідає найбільшій вихідній твердості. У більшості випадків не спостерігається прямої залежності між зносостійкістю і твердістю чавунів. Це обумовлено значним внеском $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ в підвищенні зносостійкості чавунів з метастабільною структурою.

Температура гартування неоднозначно впливає на зносостійкість дослідженого чавуну. При випробуваннях в умовах сухого тертя ковзання (метал по металу) зносостійкість збільшується при температурах нормалізації 920 °C і 1020 °C відповідно до $\epsilon_T=3,8$ і $\epsilon_T=3,6$ (рис. 3). При цих температурах формується найбільш сприятлива структура - мартенсито-аустеніто-карбідна суміш в якій мартенсит досить насичений вуглецем і легуючими елементами. Так само збільшення зносостійкості відбувається за рахунок виділення високодисперсних вторинних карбідів $(Cr, Fe)_{23}C_6$, які армують мартенсит і залишковий аустеніт.

Після нормалізації при 880 °C і відпуску при 580 °C зносостійкість досягає максимуму $\epsilon_T=4,8$ ймовірно за рахунок розвитку $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ. Схожа залежність зміни зносостійкості спостерігається і в умовах абразивного зношування в середовищі електрокорунду. У цьому випадку максимальне значення $\epsilon_a=4,56$ досягається після нормалізації при 1020 °C (рис. 3).

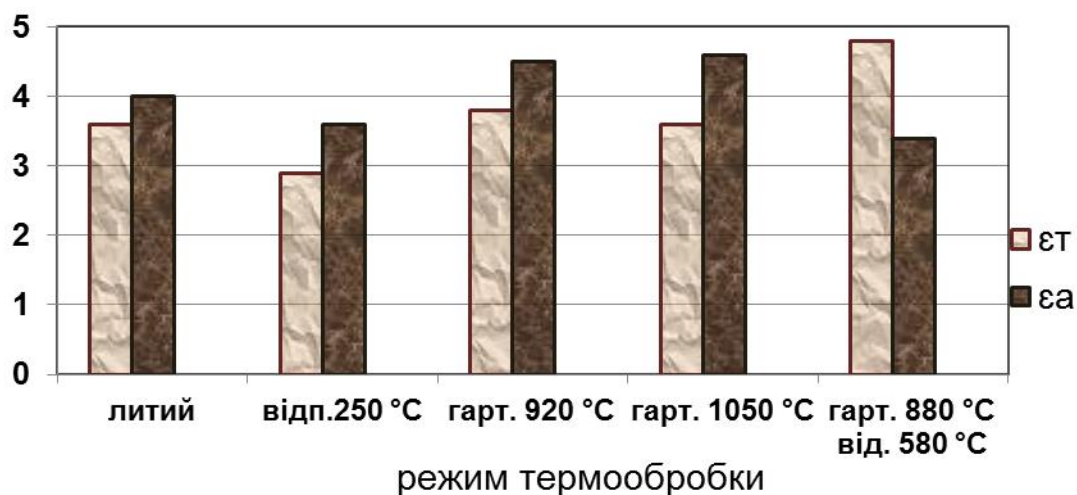


Рис. 3. Відносна зносостійкість при зношуванні тертям ковзання (метал по металу) (ϵ_m) та абразивному (ϵ_a) чавуну ЧХ14Г6Т після різних режимів термообработки

В інших умовах зношування – ударно-абразивного картина впливу температури нагріву по нормалізацію відрізняється від розглянутого вище. З підвищенням температури нагріву чавуну ЧХ143Г6СТ в інтервалі 880...1050 °C ударно-абразивна зносостійкість змінюється екстремально. Відносна ударно-абразивна зносостійкість змінюється від $\epsilon_{y,a}=9,5$ у литому стані до максимуму $\epsilon_{y,a}=46,1$ після нормалізації при 920 °C (рис. 4). Це можна пояснити з одного боку, формуванням більш твердих спеціальних карбідів хрому $Cr_{23}C_6$, з іншого боку - збільшенням вмісту метастабільного аустеніту в металевій основі, який потім, в процесі ударно - абразивного впливу в поверхневому шарі зазнає фазові перетворення, які пов'язані з утворенням твердих фаз і викликають самотвердіння.

Фазові перетворення в поверхневому шарі, які протікають під ударно-абразивним впливом дробу, викликають ефекти самотвердіння та підвищення зносостійкості чавунів безпосередньо в процесі випробувань. Слід зазначити, що $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ що розвивається супроводжується релаксацією мікрона пруг в перенапружених областях [6], що також є фактором підвищення працездатності метастабільного матеріалу. Надійно встановлено [9, 6, 8], що на розвиток $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ витрачається значна кількість механічної енергії (абразиву, контр-тіла) при зношуванні, внаслідок чого менша частина її залишається на утворення мікротріщин та зруйнування поверхні зразків чавуну. Тому $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ використовується як

ефективний механізм перерозподілу механічної енергії, що підводиться до матеріалу, на складові енергетичного балансу в користь фазових перетворень [8].

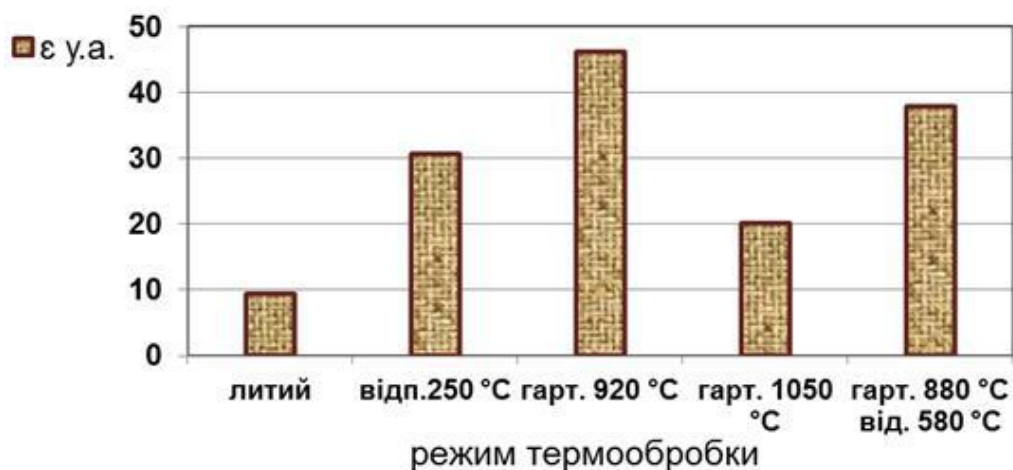


Рис. 4. Відносна ударно-абразивна зносостійкість чавуну ЧХ14Г6ТЛ після різних режимів термообробки

За результатами проведених досліджень проведено опитно-промислові випробування, скореговане режим термообробки захисних плит жолоба агломашин аглофабрики ПрАТ «ММК імені Ілліча», які виробляються з розробленого та впровадженого у виробництво чавуну ЧХ14Г6Т [7].

ВИСНОВКИ

1. З підвищенням температури нормалізації 880...1050 °C в початку виникає дестабілізація аустеніту (920 °C) в структурі чавуну ЧХ14Г6СТ, яка змінюється початком стабілізації при 1050 °C.

2. Оптимальними температурами нормалізації для підвищення зносостійкості чавуну в різних умовах зношування є: тертя-ковзання – 880 °C; абразивного – 1050 °C; ударно-абразивного – 950 °C, що відповідає оптимальному фазовому складу мартенсит-аустеніт-карбиди і ступеню метастабільності аустеніту для реалізації деформаційного мартенситного перетворення при зношуванні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гарбер М.Е. Отливки из белых износостойких чугунов.- М.: Машиностроение, 1972.-112 с.
2. Чугун: Справочник / Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова.- М.: Металлургия, 1991.-576 с.
3. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. - М.: Металлургия, 1972. - 176 с.
4. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. - М.: Металлургия, 1976. – 287 с.
5. Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. - М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.
6. Малинов Л.С., Малинов В.Л. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки. – Мариуполь: Рената, 2009. – 568 с.
7. Зносостійкий чавун: пат. 64843 (Україна), МКИ С22С 37/06, 37/10 / О.П. Чейлях, Я.О. Чейлях, В.В. Кліманчук, П.М. Кирильченко, Є.І. Фомицький, Ю.А. Бодров.- заявл. 19.11.2001, опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.
8. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. – Мариуполь: ПГТУ, 2009. – 483 с.
9. Попов В.С., Брыков Н.Н., Дмитриченко Н.С. Износостойкость пресс-форм огнеупорного производства. - М.: Металлургия, 1971. – 157 с.