



Рис. 1. Распределение химических элементов по линии сканирования в микроструктуре чугуна 230X21Г7Д2 после нормализации 1150 °С

Чейлях О.П.¹, Чейлях Я.О.¹, Шимізу К.², Келін О.О.¹
 (¹ДВНЗ «ПДТУ», м. Маріуполь, Україна; ²Муроранський інститут технологій, м. Муроран, Японія)

**ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ НА ФАЗОВИЙ СКЛАД,
 МЕСТАСТАБІЛЬНІСТЬ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ
 ЗНОСОСТІЙКИХ Fe-Cr-Mn-C ЧАВУНІВ**

E-mail: aleksandr.cheylyakh@gmail.com

Проблема підвищення зносостійкості багатьох деталей машин залишається актуальною. Її вирішення найбільш перспективно за рахунок створення метастабільних станів аустенітних фаз у зносостійких сплавах з використанням деформаційних мартенситних перетворень при зношуванні (ДМПЗ) та динамічного деформаційного старіння (ДДС), що забезпечує ефекти самозміцнення, самоадаптації, саморелаксації мікронапружень безпосередньо в процесі випробувань та експлуатації.

Метою роботи є підвищення зносостійкості легованих чавунів системи Fe-Cr-Mn-C з різним вмістом вуглецю за рахунок оптимізації фазово-структурного складу та метастабільності параметрами гартування.

Досліджувалися чавуни 90X23Г6С2Ф і 230X21Г7Д2 з близьким вмістом хрому та марганцю, але з різним вмістом вуглецю (0,9 і 2,3% С, відповідно), та додатковим легуванням ванадієм (0,25% V) та міддю (1,55% Cu) в литому стані, та після гартування з різних температур від 950 до 1150 °С з охолодженням на повітрі. Після гартування проводився відпуск при 250 °С, 1 година для зменшення внутрішніх напружень.

Мікроструктура чавунів у литому стані складається з дендритів первинного аустеніту, продуктів його розпаду і евтектичних аустенітно-карбідних колоній. При цьому вміст карбідних фаз у чавуні 230X231Г7Д2 значно вище, ніж у чавуні 90X23Г6С2Ф, що пояснюється великим вмістом вуглецю. Після гартування з температури 950 °С мікроструктура чавунів диспергується внаслідок процесів перекристалізації, виділення дисперсних вторинних карбідів хрому $(Cr,Fe)_{23}C_6$ і розпаду дендритів первинного аустеніту з утворенням мартенситу. При цьому твердість чавунів зростає: сплаву 90X23Г6С2Ф з HRC 29 до HRC 36, а чавуну 230X231Г7Д2 з HRC 50 до HRC 63.

При подальшому підвищенні температури загартування до 1150 °С процес виділення вторинних карбідів конкурує з їх розчиненням в аустеніті, про що свідчить підвищення мікротвердості останнього: в 90X23Г6С2Ф з 380 HV (в литому стані) до 537 HV (гартування 1150 °С), в 230X231Г7Д2 з 586 HV до 657 HV, відповідно. Зі збільшенням температури нагрівання з 950 °С до 1150 °С вміст мартенситу гартування зменшується, а аустеніту, навпаки, збільшується: у сплаві 90X23Г6С2Ф з 48% до 84%, в чавуні 230X231Г7Д2 з 49% до 90%.

Комплексні випробування зносостійкості в умовах абразивного зношування кварцовим піском, а також в умовах ударно-абразивного зношування в середовищі литого чавунного дроби показали, що температура гартування неоднозначно впливає на опір зносу досліджених сплавів. В залежності від температури гартування в досліджених межах, відносна зносостійкість змінюється екстремально (табл. 1).

Таблиця 1. Властивості чавунів

| Марка сплаву | $T_{\text{гарт.}}, ^\circ\text{C}$ | HRC | ε_a | $\Delta M_a, \%$ | $\varepsilon_{y.a.}$ | $\Delta M_{y.a.}, \%$ |
|--------------|------------------------------------|------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| 90X23Г6С2Ф | Литий | 29 | 1,36 | 22 | 2,6 | 9 |
| | 950 | 36 | 1,42 | 26 | 5,3 | 17 |
| | 1050 | 37 | 1,3 | 23 | 4,6 | 15 |
| | 1150 | 35 | 1,4 | 17 | 3,4 | 10 |
| 230X21Г7Д2 | Литий | 50 | 3,1 | 14 | 9,7 | 3 |
| | 950 | 63 | 4,0 | 24 | 9,8 | 15 |
| | 1050 | 56,5 | 3,5 | 31 | 14,2 | 19 |
| | 1150 | 37,5 | 1,7 | 4 | 4,0 | 7 |

Максимум відносної абразивної зносостійкості (ε_a) для обох сплавів отримано при температурі гартування 950 °С, що співпадає з найбільшою твердістю та найбільшим приростом мартенситу деформації (ΔM_a) внаслідок $\gamma_{\text{зал.}} \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ (див. табл. 1). Максимум відносної ударно-абразивної зносостійкості ($\varepsilon_{y.a.}$) для сплаву 90X23Г6С2Ф також відповідає температурі гартування 950 °С та найбільшому $\Delta M_{y.a.} = 17\%$. Для чавуну 230X21Г7Д2 максимум $\varepsilon_{y.a.}$ отримано після гартування з температури 1050 °С, та відповідає найбільшому приросту мартенситу гартування $\Delta M_{y.a.} = 19\%$ (але це не відповідає мак-

симальній твердості, див. табл. 1). Ця невідповідність та максимальна зносостійкість сплавів пояснюється вирішальним внеском $\gamma_{\text{зал.}} \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ у формуванні опору зношуванню, оскільки мартенсит деформації, що отримується в тонкому поверхневому шарі зразків при зношуванні, відрізняється від мартенситу гартування більш високими твердістю, величиною мікростворень.

До того ж, на ДМПЗ і супровідні процеси структуроутворення витрачається значна частка зовнішньої механічної енергії, яка підводиться до зразка при випробуваннях, та менша частка залишається на зародження тріщин та руйнування металу.

Порівняння опору зношуванню досліджених сплавів показує, що чавун 230X21Г7Д2 має в 2,5...3 рази більшу зносостійкість, ніж сплав 90X23Г6С2Ф у кожному з варіантів умов випробувань на зношування. Це пояснюється більш високим вмістом вуглецю, що обумовлює з одного боку більший зміст карбідних фаз, з другого – більш високий рівень зміцнення метастабільного аустеніту, та як результат більшого зміцнення мартенситу деформації, що отримується внаслідок розвитку $\gamma_{\text{зал.}} \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ та ДДС.

Таким чином, для умов експлуатації, пов'язаних із абразивним та ударно-абразивним характером зношування деталей можуть бути рекомендовані економнолеговані чавуни, які досліджені в даній роботі. При цьому для абразивного характеру роботи необхідно проводити гартування таких сплавів з температури 950 °С, а для ударно-абразивних умов експлуатації – гартування з температури 1050 °С. Достатньо високий вміст хрому в досліджених сплавах (21...23%) дозволяє розглядати нові чавуни як перспективний матеріал для складних умов експлуатації, пов'язаних не тільки з абразивним та ударно-абразивним зношуванням, але і з корозійним характером впливу експлуатаційного середовища, оскільки хром у такій концентрації підвищує корозійну та жаростійкість.

Чейлях Я.О.¹, Чейлях О.П.¹, Шимізу К.², Голюк К.В.¹
(¹ДВНЗ «ПДТУ», м. Маріуполь, Україна; ²Муроранський інститут технологій, м. Муроран, Японія)

**АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СТРУКТУРІ
НАПЛАВЛЕНОГО ЗНОСОСТІЙКОГО Fe-Cr-Mn МЕТАЛУ З
МЕТАСТАБІЛЬНИМ АУСТЕНІТОМ**

E-mail: aleksandr.cheylyakh@gmail.com

Вирішення проблеми підвищення зносостійкості та довговічності багатьох видів деталей машин та обладнання, що відновлюються наплавленням, пов'язано з ефективним розумінням та використанням фазово-структурних переваг зносостійких наплавлених сталей з метастабільним аустенітом.

Зразки розробленого та дослідженого наплавленого електродуговим способом Fe-Cr-Mn металу марок 12X13Г12САФ і 40X13Г12САФ з метастабільним аустенітом піддавали відпуску при температурах 500, 600 і 700 °С з