

вої більш твердої фази. Мартенсит, який утворюється в результаті тертя, характеризується підвищеною міцністю у порівнянні з мартенситом, отриманим в результаті термообробки. Кристали мартенситу деформації значно тонші та орієнтовані перпендикулярно до напрямку тертя, що позитивно позначається на здатності опору зовнішньому впливу абразиву.

Таким чином можна зробити висновок, що найбільш ефективним механізмом само зміцнення поверхні тертя в процесі безударного абразивного зношування є перетворення метастабільного аустеніту в мартенсит деформації.

Афтанділянц Є.Г.

(НУБіП, м. Київ)

ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ХІМІЧНИЙ СКЛАД ПОВЕРХНІ РУЙНУВАННЯ ЧАВУНУ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ

E-mail: aftyev@yahoo.com

Чавун з кулястим графітом є відомим конструкційним матеріалом, який широко застосовується в машинобудуванні для виготовлення виливків. Він успішно замінює ковкий і сірий чавун, а також вуглецеву сталь в деталях, що працюють в умовах теплових ударів, термовтомлюваності (при максимальних температурах циклу до 400...600 °С), негативних температур (до -100 °С), помірно агресивних газових і рідких середовищ (кислотних, сольових, лужних), високих тисків і значущих динамічних навантажень.

Низька, в порівнянні з ковким чавуном і сталлю, схильність до усадкових дефектів, при високій рідкотекучості, дозволяють виготовляти з чавуну з кулястим графітом високоякісні виливки з мінімальною товщиною стінок від 2,5 до 3 мм.

Недоліком чавунів з кулястим графітом є схильність до крихкого руйнування, що суттєво обмежує їх застосування в техніці. Особливе місце в розвитку крихкого стану чавунів займає фосфор. Негативна дія фосфору пов'язана з тим, що він сприяє ліквідації карбідоутворювальних елементів, розвитку відпускнуї крихкості та підвищенню порогу хладноламкості, зниженню ударної в'язкості та відносного по-

довження, збільшенню схильності сплавів до утворення кристалізаційних тріщин, зменшенню опору деформуванню, зношуванню та корозії.

Для зниження схильності до крихкого руйнування та підвищення механічних і таких спеціальних властивостей, як руйнування при нормальних, підвищених і від'ємних температурах, втомлюваність, тепло- та окалиностійкість, стійкість до корозії чавуни легують нікелем і молібденом.

В роботі досліджували вплив молібдену і збільшення кількості нікелю з 0,75 до 3,64 мас. частки % на структуру і хімічний склад поверхні руйнування чавунів з кулястим графітом і закономірності зміни вмісту елементів при переході від поверхні руйнування до об'ємів, що розташовані в матриці чавунів, з метою прогнозування їх впливу на властивості чавунів.

Дослідження проводили на Оже-спектрометрі «Jamp-10S» (Японія). Поверхню руйнування одержували шляхом руйнування зразка довжиною 12 мм, діаметром 2,9 мм, з кільцевим надрізом в середині глибиною 1,45 мм, в камері спектрометра при кімнатній температурі і вакуумі $10^{-7} \dots 10^{-8}$ Па.

Структуру поверхні руйнування досліджували в камері спектрометра шляхом растрової електронної мікроскопії, а хімічний склад поверхні шляхом аналізу Оже-спектрів. Методика заснована на реєстрації Оже-електронів, що збуджуються на поверхні зразка електронним зондом і дозволяє визначати хімічний склад поверхні діаметром від 0,05 до 0,1 мкм при глибині аналізу від 0,3 до 2,0 нм. Реєструються всі елементи періодичної системи, крім водню і гелію, при вмісті їх вище 0,1 ат. %.

Для отримання інформації про розподіл елементів в матриці на відстані до 0,1...0,2 мкм від поверхні руйнування, в камері проводили травлення поверхні іонами аргону протягом 1 та 2 хвилин. Швидкість травлення становила від 0,5 до 5,0 нм/хв. Після кожного травлення проводили Оже-спектроскопію і визначали хімічний склад протравленої поверхні.

Хімічний склад вихідного (1) та легованого молібденом і додатково нікелем (2) чавуну з кулястим графітом наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад вихідного (1) та легованого молібденом і додатково нікелем (2) чавуну з кулястим графітом (мас. частка %)

№ зразка	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
1	3,47	3,42	1,44	0,089	0,68	0	0,75	0,33	0,88
2	3,47	3,45	1,30	0,072	0,62	0,29	3,64	0,29	0,88

Мікроструктура поверхні руйнування вихідного (а, в, д) та легованого молібденом і додатково нікелем (б, г, е) зразків чавунів з кулястим графітом, а також кулястий графіт на поверхні руйнування, місця від графітових частинок в матриці, ділянки внутрізеренного і міжзеренного руйнування матриці наведені на рис. 1.

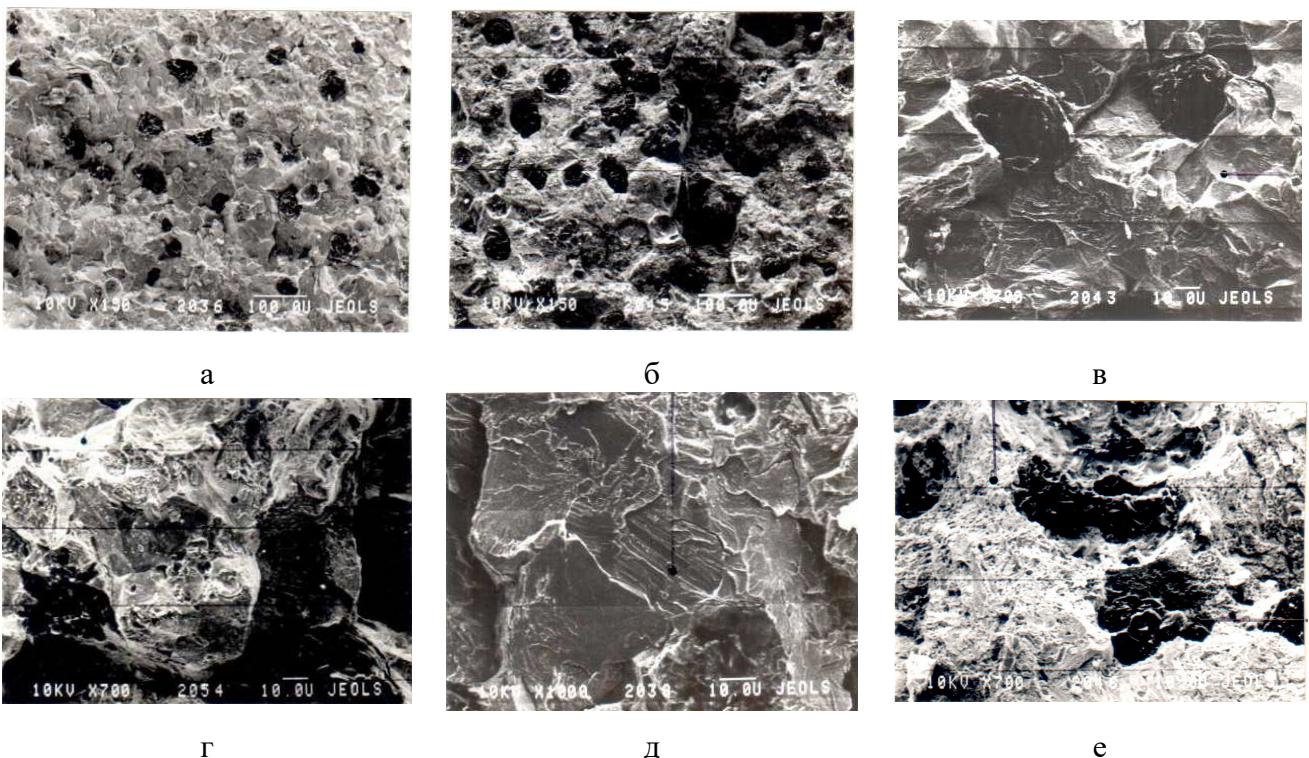


Рис. 1. Мікроструктура поверхні руйнування вихідних (а, в, д) та легованих молібденом і додатково нікелем (б, г, е) зразків чавунів з кулястим графітом (а, б), ділянки міжзеренного (в, г) і внутрізеренного крихкого (д) і в'язкого (е) руйнування матриці. Маркер ● показує місце Оже-аналізу

Аналіз розмірів і розташування графітових кульок на поверхні руйнування показує, що в чавуні, не легованому молібденом і додатково нікелем (1 зразок, рис. 1, а) довжина та ширина вкраплень графіту коливається, відповідно, від 21 до

77 мкм та від 17 до 52 мкм, при середньому розмірі 46 і 32 мкм. Коефіцієнт форми змінюється від 1,1 до 2,2 (середнє значення – 1,5), а відстань між графітовими кульками – від 14 до 165 мкм (середня відстань – 75 мкм).

Після легування чавуну молібденом і додатково нікелем (2 зразок, рис. 1, б) довжина та ширина вкраплень графіту змінюється, відповідно, від 23 до 181 мкм та від 17 до 116 мкм (середній розмір – 69 і 45 мкм). Значення коефіцієнту форми коливаються від 1,0 до 4,5 (середнє значення – 1,6), а відстань між графітовими кульками – від 9 до 83 мкм (середня відстань – 42 мкм).

Порівняння розміру та розподілу графітових вкраплень на поверхні руйнування зразків показує, що при легуванні молібденом і додатково нікелем спостерігається збільшення розмірів графітових вкраплень на 41...49% та коефіцієнту форми на 8%, при цьому середня відстань між графітовими кульками зменшується на 43%.

Аналіз механізму руйнування показує, що спостерігається як внутризеренне (рис. 1, д, е), так і крихке міжзеренне (рис. 1, в, г) руйнування чавунів. Для вихідного чавуну характерно крихке внутризеренне руйнування сколом (рис. 1, д), а для легованих молібденом і додатково нікелем – в'язке шляхом відриву (рис. 1, е).

Оже-спектроскопія поверхні руйнування чавунів показала, що залежно від місця аналізу, на поверхні можуть бути такі елементи, як O, C, P, N, Cu, Ni, Si, Mg.

Аналіз хімічного складу поверхні після руйнування показує, що в місцях матриці вихідного чавуну (1 зразок), де були розташовані графітові кульки, вміст кисню складає 10,7 ат. %; фосфору – 5,1 ат. %; азоту – 0,5 ат. %; міді – 3,6 ат. %; нікелю – 1,4 ат. %; кремнію – 0,7 ат. %; магнію – 6,6 ат. %. При легуванні чавуну молібденом і додатково нікелем (2 зразок) вміст кисню, нікелю і кремнію, в аналогічних місцях, збільшується, відповідно, на 15%, 7% і 14%, а фосфору, азоту, міді та магнію зменшується, відповідно, на 45%, 20%, 56% і 82%.

На поверхні графітових кульок вихідного чавуну спостерігаються кисень і фосфор, відповідно, у кількості 1,2 і 1,05 ат. %. При легуванні чавуну молібденом і додатково нікелем вміст кисню на поверхні графітових кульок зменшується до 0,2 ат. %, а фосфору збільшується до 5,4 ат. %.

Дослідження розподілу домішок в приповерхневих шарах зруйнованих зразків показало, що вміст таких елементів, як кисень, фосфор і азот зменшується зі збільшенням часу травлення, тобто відстані від поверхні руйнування. Це дає можливість прогнозувати збільшення роботи руйнування матриці (КСУ) в 6...12 разів.

Легування молібденом і додатково нікелем знижує термодинамічну активність фосфору, що утворює умови для його більш однорідного розподілу. Дослідження кореляції між зміною активності елементів, внаслідок легування чавуну молібденом і додатково нікелем, і їх вмістом на поверхні руйнування та в матриці виконували у місцях розташування графітових кульок та крихкого міжзеренного руйнування.

Кореляційний аналіз показав, що між зміною термодинамічної активності елементів і їх вмістом на поверхні руйнування і в приповерхневих шарах, з імовірністю 95% і коефіцієнтами кореляції від 0,783 до 0,931, існує достовірний прямий кореляційний зв'язок.

Результати виконаних експериментів показують, що руйнування чавунів з кулястим графітом відбувається по межах розподілу графітових кульок з матрицею, а руйнування матриці відбувається, як за механізмом міжзеренного сколу, так і внутризеренно. При легуванні молібденом і додатково нікелем механізм внутризеренного руйнування матриці змінюється з крихкого для вихідного чавуну на в'язкий для легованого молібденом і додатково нікелем.

Встановлено, що на поверхні руйнування чавунів, залежно від місця аналізу, присутні такі елементи, як O, C, P, N, Cu, Ni, Si, Mg.

При легуванні чавуну молібденом і додатково нікелем вміст фосфору в місцях матриці чавуну, де були розташовані графітові кульки зменшується на 40...45%.