

Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Терехін В.О., Мирошніченко Г.О.

(УДУНТ, м. Дніпро)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИТИХ КУЛЬ

E-mail: ivanovalitvo@gmail.com

Нині найбільш поширеними методами виготовлення подрібнювальних куль є: прокатування, кування, лиття в піщану форму, кокільне лиття та ін.

Технологічний процес виготовлення подрібнювальних куль складається з багатьох технологічних операцій, кожна з яких може зробити вирішальний вплив на їх якість і експлуатаційні властивості.

Лиття куль в ливарну форму має невелику вартість, проте для підвищення їх міцності необхідно вводити дорогі легувальні хімічні елементи. До того ж при масовому виробництві виливків такого типу необхідно використовувати формувальні лінії, бажано автоматичні.

З метою пошуку оптимального технологічного рішення провели дослідження впливу модифікування, температури вибивання виливків з форм, швидкості охолодження після вибивання на мікроструктуру чавуну і властивості виливків двох дослідних партій серійного та дослідного складу.

Планування експерименту виконували за допомогою повного факторного експерименту, реалізованого за допомогою комп'ютерної програми STATGRAPHICS plus. Досліджували вплив технологічних параметрів виготовлення виливків, таких як: наявність в сплаві рідкісноземельних металів (РЗМ) – "RZM", температура вилівка при вибиванні з форми – "Temperature", середовище, що охолоджує, після вибивання (повітря або пісок) – "Environment" і температура цього середовища – "Environmental temperature" на параметри оптимізації: об'ємну твердість – параметр "Hardness" і ударостійкість – параметр "Hit".

Для проведення оптимізації були обрані два показника:

– ударостійкість (кількість ударів вантажу масою 1200 Н з висоти 500 мм до руйнування вилівка);

– об'ємна твердість (визначення за формулою: $T_{06} = 0,330H_{\Pi} + 0,248H_{35} + 0,178H_{30} + 0,119H_{25} + 0,072H_{20} + 0,037H_{15} + 0,014H_{10} + 0,002H_5$, де H_{Π} , H_{35} , H_{30} , H_{25} , H_{20} , H_{15} , H_{10} , H_5 – значення твердості HRC на поверхні та на відстанях 35, 30, 25, 20, 15, 10 і 5 мм від центру кулі).

Отримані результати аналізу даних – таблиці дисперсійного аналізу, Парето-карти на параметри, оцінки поверхонь відгуку або відхилення ефектів від нормального розподілу, показали, що статистично значущими були:

- для параметра «об'ємна твердість» – наявність в сплаві РЗМ;
- для параметра «ударостійкість» – наявність в сплаві РЗМ; температура вибивання; комбінація наявності РЗМ і температури вибивання; комбінація наявності РЗМ і довкілля, в якому відбувається охолодження.

Окрім експериментів, передбачених планом, додатково дослідили процес з вибивання виливків при температурі 950 °С, додаткове середовище, що охолоджує, після вибивання – вода і комбінації цих параметрів з розробленими згідно з планом експерименту.

Додаткові дослідження не враховувалися в ПФЕ, оскільки показали незадовільні результати, тому що значення ударостійкості і об'ємної твердості, отримані при вибиванні виливків з температурою 950 °С мали мінімальні значення, а охолодження у воду призвело до критично низьких значень ударостійкості для усіх комбінацій параметрів.

Металографічний аналіз матеріалу литих куль показав, що у поверхневому шарі (до 5 мм від литої поверхні), охолоджених на повітрі, модифікування РЗМ сприяло кристалізації чавунів за метастабільною системою, за цього графітних вкраплень у структурі не було. Карбідна фаза в модифікованих чавунах була тоншою, площа вкраплень балу Цп 2000, дендрити аустеніту мали виражену спрямованість, ледебуриту також було менше, ділянки ледебуриту були орієнтовані переважно уздовж дендритів і мали менші розміри. Перліт був тоншої будови Пд. 0,3...Пд. 0,5, вміст цементиту – балу Ц 40. У немодифікованих чавунів, з такими самими умовами кристалізації, окрім відміченого вище, спостерігалася поява графітних вкраплень. Зниження температури вибивання немодифікованих ви-

ливків призводило до збільшення кількості графітних вкраплень. У поверхневому шарі литих куль, охолоджених у воді, кристалізація модифікованих і не модифікованих чавунів проходила по метастабільній системі. Матриця чавунів мала усю гамму продуктів евтектоїдного розпаду аустеніту – від мартенситу, бейніту до трооститу і пластинчастого перліту дисперсністю Пд. 0,5...Пд. 1,0. У поверхневому шарі литих куль, охолоджених у піску, для модифікованих і не модифікованих чавунів, відмінностей в мікроструктурі не було виявлено.

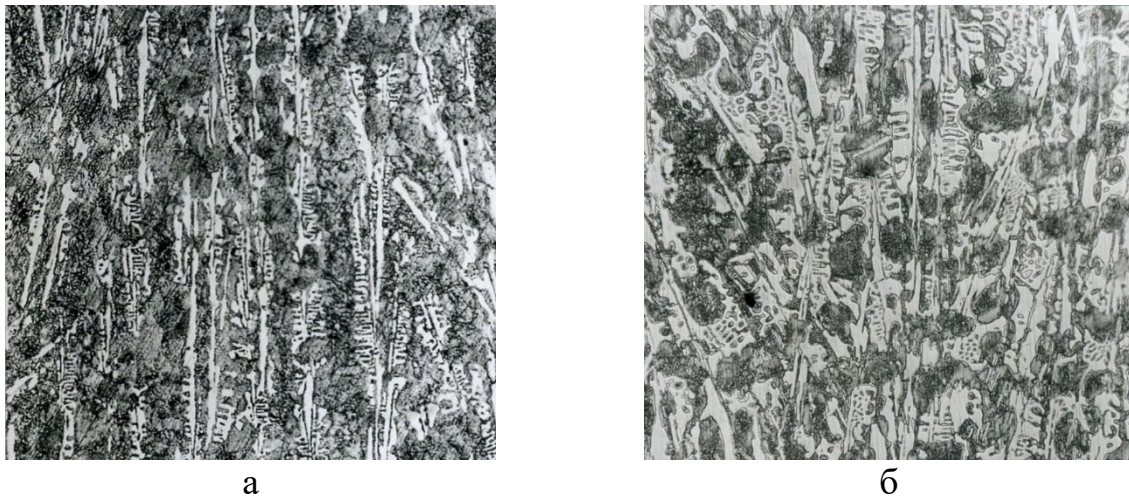


Рис.1. Мікроструктура чавуну дослідних (а) та серійних куль (б); травлено ніталем; 150^x

За рахунок комплексного показника якості D (узагальненої функції бажаності) було встановлено оптимальну технологія: 1– обробка розплавів комплексним модифікатором на основі РЗМ, що сприяло підвищенню ударостійкості у 2 рази, об'ємної твердості на 3%; 2 – вибивання виливків з ливарних форм при температурі 650...800 °С; 3 – охолодження вибитих виливків на повітрі.