

К. П. ЛЕЩЕНКО, здобувач, Д. Ю. КРАВЦОВА, канд. фіз.-мат. наук, ст. викладач,
У. І. ЗЮГАН, асистентка
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЛАЗЕРНИМ ПЛАВЛЕННЯМ

Сталь є найважливішим інструментальним і конструкційним матеріалом для всіх галузей промисловості. Сучасними технологіями виготовлення сталевих деталей складної конфігурації є селективне лазерне плавлення (SLM) та лазерне плавлення в порошковому шарі (LPBF). В роботі проаналізовано дослідження впливу ТО на механічні властивості таких сталей.

У роботі [1] автори досліджували мартенситно-старіючу сталь 18Ni-300 (SLM). Зразки піддавали ТО на твердий розчин (ТОТР – 840 °С, 2 г, вода) та старінню за температур 200 °С, 490 °С і 650 °С з витримкою 2, 4, 6 годин. Зразки до ТО мали межу текучості (MT) і межу міцності на розрив (ММР) 928 МПа і 1016 МПа відповідно. Після ТОТР міцність була найменша – ММ (609 МПа) і ММР (903 МПа), що викликано збільшенням розміру зерна та зняттям напружень. Проте були підвищення ММ (1775 МПа) та ММР (1820 МПа) зразків після старіння (490 °С, 2 г), при чому збільшення витримки за цієї температури мало впливає на показники. Підвищення міцності викликано утворенням інтерметалічних включень (Ni₃Ti, Ni₃Mo), які зміцнюють мартенситну матрицю. Виявлено, що недостаріння (200 °С) та перестаріння (650 °С) мало впливають на покращення ММ і ММР. Зразок досяг максимального значення твердості 543 НВ після ТОТР при 840 °С протягом 2 годин і старінні при 490 °С протягом 2 годин.

У вихідному зразку основною фазою є мартенсит, також спостерігається невелика кількість аустеніту. Після ТОТР фаза аустеніту повністю трансформувалася в рейковий мартенсит, тоді як фаза аустеніту утворилася знову після старіння через реверсію мартенситу в аустеніт.

У другому дослідженні [2] автори проводили відпал аустенітної сталі 316L (SLM) при температурах 300 °С, 600 °С, 1000 °С, 1100 °С і 1400 °С протягом 6 годин. Виявлено, що відпал не впливає на фазоутворення та кристалографічну орієнтацію – в зразках утворюється лише однофазний аустеніт. Складна зерниста мікроструктура та дрібні субзерна спостерігаються при відпалі до 600 °С. Така структура сприяє підвищенню міцності та пластичності зразків. Зерна стають більш рівномірними та більшими зі збільшенням температури. Міцність зразків знижується від 1020 МПа до 550 МПа з підвищенням температури внаслідок укрупнення мікроструктури. Результати показують, що оптимальне поєднання міцності та пластичності для сталі 316L досягнуто під час ТОТР, тому додаткова ТО не покращує характеристики матеріалу, оскільки зниження міцності не компенсується відповідним збільшенням пластичної деформації.

У третій роботі [3] автори досліджували вплив старіння за температур 400 °С, 450 °С, 500 °С, 550 °С і 600 °С на мартенситно-старіючу сталь M789 (LPBF). При температурах 450 °С та 500 °С з витримкою 2 години досягнуто максимальних значень твердості (51,86 / 50,59 HRC) і ММР (1954 / 1893 МПа). Але старіння при 500 °С дає найбільший відсоток інтерметалічних включень Ni₃(Ti, Al) без слідів реверсивного аустеніту. Інтерметалічні включення покращують зміцнюваність сталі, обмежують рух дислокацій, а наявність хрому підвищує корозійну стійкість, що також покращує прогартованість. Після ТО в структурі не виявлено залишкового аустеніту, кількість вторинних фаз, таких як M₃C, M₂₃C₆, майже незначна. Твердість і міцність термічно обробленої сталі M789 значно покращилися, порівняно з початковим станом.

Як бачимо, ТО сталей, виготовлених технологіями лазерного плавлення, відрізняється від традиційних методів. Такі високоміцні матеріали застосовуються в авіаційній, аерокосмічній, прецизійній техніці, тому наразі є актуальною тема визначення оптимальних параметрів їх обробки для отримання необхідних механічних властивостей виготовлених деталей.

Список літератури

1. Effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of maraging steel by selective laser melting / [Yuchao Bai, Di Wang, Yongqiang Yang, та ін.]. // Materials Science and Engineering A. – 2019. – №760. – С. 105–117.
2. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of 316L steel synthesized by selective laser melting / O.Salman, C. Gammer, A. Chaubey, J. Eckert. // Materials Science & Engineering A. – 2019. – №748.
3. The effect of heat treatments on mechanical properties of M789 steel fabricated by laser powder bed fusion / [Yuan Tian, Robert Palad, Lu Jiang та ін.]. // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – №885 – 161033.