

TiC/C з регульованим вмістом вуглецю, який змінюється від 42 до 70 ат. %. Показано, що при вмісті вуглецю в межах 42-54 ат. % покриття складається з нанорозмірних кристалів TiC, впроваджених в аморфну матрицю вуглецю. Розмір зерна TiC зменшується від 5,3 - 10,2 до 2,9-4,3 нм із збільшенням вмісту вуглецю в покритті від 42 до 54 ат. %.

Визначено вплив карбідних підшарів на властивості покриття. Зокрема, при використанні підшару WC-6Co, нанесеного на зразок зі сталі 40X методом детонаційного напилення, у випадку покриття nc-TiC/a-C товщиною 2,8 – 3,1 мкм була отримана найвища твердість 38 ГПа при модулі пружності 45 ГПа.

Осадження покриття CNx проводилося на зразки зі сталі 08X18H10T і титану VT1-0. Для збільшення товщини покриття CNx на основу наносили підшар Ti і перехідний шар TiCN. Досліджено вплив на структуру покриття тиску газу (p) суміші Ar/N₂ та об'ємної концентрації в азоті C, температури основи (T_{осн.}), напруги зміщення U_{зм.}. Встановлено, що структура покриття являє собою аморфну розпорядковану графітоподібну структуру з sp³, sp² - і sp¹ – електронними зв'язками вуглецю. Найбільш впорядкована структура спостерігається у покриттях CNx, осаджених на зразки із титану при p = 0,35 Па, C = 40 %, T_{осн.} = 130 °C, U_{зм.Ti} = -300 В, U_{зм.TiCN} = -1000 В, U_{зм.CNx} = 0 В. Механічні випробування показали, що покриття CNx, отримані при цих умовах осаджування, мали найбільші величини твердості H = 15 ГПа, наведеної твердості H/E* = 0,131, пружного відновлення W_e = 87,3 %.

УДК 621.791.92

Пулька Ч.В., докт. техн. наук, професор,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль,
Макаренко Н.О., докт. техн. наук, професор,
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ,
Підгурський М.І., докт. техн. наук, професор,
Сенчишин В.С., канд. техн. наук,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль,
Viktor.Synchshyn@i.ua

ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЇ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАПЛАВЛЕННІ

У сільському господарстві в якості робочих органів ґрунтообробних машин застосовують тонкі плоскі деталі, які в процесі експлуатації взаємодіють з ґрунтом та рослинами. Така взаємодія призводить до їх зношування, а також до втрати різальних властивостей. Тому, при виготовленні такого типу деталей здійснюють зміцнення їх робочих поверхонь різними методами. Найбільш ефективними є методи наплавлення різними зносостійкими матеріалами, а також застосування віброоброблення наплавлених поверхонь. Це здійснюється з метою підвищення експлуатаційних властивостей та процесу самогострювання в процесі роботи, оскільки основний метал забезпечує міцнісні характеристики робочого органу, а плакуючий (наплавлений) – різальні властивості.

У роботі [1] описано способи наплавлення які широко застосовуються при зміцненні робочих органів деталей ґрунтообробних машин. Згідно проведеного аналізу, одним із найбільш ефективних способів є індукційне наплавлення порошкоподібними твердими сплавами.

Існуючі на даний час методи підвищення зносостійкості наплавлювальних сплавів передбачають наявність у структурі великої кількості твердої фази, а саме: карбідів, боридів, силіцидів, силікокарбоборидів, інтерметалідів і інших. При цьому розміри надлишкових зміцнюючих фаз знаходяться у діапазоні від 180 мкм до 40 мкм, і в подрібненому вигляді за рахунок легування модифікаторами близько 30-20 мкм [2].

Відомі методи модифікування сплавів рідкоземельними металами типу церій, ітрій і інші, які дозволяють подрібнити структуру металу, проте і цей ефект при використанні в гетерогенних зносостійких сплавах з великим змістом твердої фази не завжди дає позитивний ефект. Враховуючи той факт, що кількість зміцнюючої фази в гетерогенних сплавах досягає 80%, при агрегатній твердості 65-68 HRC, і діапазоні мікротвердості від 10 до 30 ГПа, стає очевидним, що ці матеріали мають підвищену крихкість, та за наявності навіть незначних ударних локальних навантажень можливі сколювання мікрооб'ємів металу з поверхні і зниження зносостійкості. Тому легування чи модифікування як метод зміни та подрібнення структурно-фазового стану наплавлених сплавів практично себе вичерпав. Головним чином це пов'язано з тим, що одночасно високу зносостійкість та підвищену технологічність твердих наплавлювальних гетерогенних сплавів можливо отримати тільки за умов ультрадисперсного подрібнення надлишкових вкраплень карбідів, боридів та інших твердих хімічних сполук до розмірів 0,5-0,005 мкм [2].

Як показано в працях [3, 4] дія ультразвуку призводить до наступних змін структури: зменшення середньої величини зерна, усунення стовпчастої структури і утворення рівноважного зерна, підвищення однорідності зливка, зменшення міри розвитку ліквідаційних процесів, більш рівномірного розподілу неметалічних включень у всьому об'ємі зливка. Таким чином, проблема розробки технології та алгоритму ультрадисперсного подрібнення є актуальною на даний час, а використання ультразвукових технологій дозволить підвищити однорідність структури разом з подрібненням структури наплавленого металу, що забезпечить підвищені міцнісні характеристики і високу зносостійкість сплаву.

У роботі [5] розроблено алгоритм та реалізовано аналітично-імітаційну модель, що дозволяє прогнозувати структуру наплавленого металу під дією ультразвукових коливань. Аналіз розробленої моделі дозволив встановити, що зміна кількості і діаметру зерен відбувається найбільш інтенсивно в початковий момент кристалізації, а за рахунок варіювання технологічних параметрів коливання середній діаметр подрібнених структурно-фазових складових може змінюватись у діапазоні 0,25-0,005 мкм.

У даний час не існує однозначної думки про вплив вібрації на процес кристалізації розплаву. З аналізу літературних джерел [6-7] випливає, що вібраційна обробка розплаву призводить до інтенсивного зародження нових кристалів. При цьому розглядають два основних механізми динамічного зародження кристалів під дією вібрації. У першому випадку – в рідині протікає процес спонтанного зародження кристалів, зумовленого переохолодженням. У другому випадку – під дією вібрації різко зростає число кристалів у твердіючій рідині за рахунок подрібнення вже існуючих кристалів.

З метою підвищення ефективності застосування способу індукційного наплавлення запропоновано застосування механічної вібрації в процесі наплавлення [8]

З усіх теорій, що розглядають процес спонтанного зародження кристалів під дією вібрації, для низькочастотної вібрації можна виділити теорію, представлену в роботах В.М. Говоркова і К.Н. Шабаліна [9]. Відповідно до цієї теорії при динамічному впливі вібрації на розплав, зародки внаслідок більшої щільності в порівнянні з рідким металом отримують відмінні від нього прискорення і повинні бути вибиті з тих місць, де вони виникли. Інерційне зміщення зародків супроводжується руйнуванням бар'єрів, які з'являються при їх виникненні. Виділяють два типи бар'єрів: перший, тепловий бар'єр, утворюється за рахунок виділення теплоти кристалізації при формуванні зародку; другий, концентраційний бар'єр, утворюється за рахунок домішок і компонентів, які не увійшли до решітки зародку. При вібрації зародки вириваються з бар'єрів, що перешкоджають їхньому росту, і потрапляють в ділянки з вихідною температурою, що дозволяє їм зберегтися і рости до стійких розмірів. Зростання цього може відбуватися як в результаті молекулярного

нарощування поверхневих шарів, так, можливо, і при зіткненні і зрощуванні подібних первинних утворень один з одним.

На основі розробленої аналітично-математичної моделі та проведених експериментальних досліджень [8, 10] показано, що застосування вібрації в процесі індукційного наплавлення призводить до подрібнення структурних складових наплавленого металу та підвищення зносостійкості в 1,5 рази.

Список посилань

1. Сенчишин В.С. Современные методы наплавки рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных сельскохозяйственных машин (обзор) / В.С. Сенчишин, Ч.В. Пулька // Автоматическая сварка. 2012. – №9. – С. 48–54.
2. Попов С.М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні / С.Н. Попов, Д.А. Антонюк, В.В. Нетребко // Навчальний посібник. – Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2010. – 368 с.
3. Гуревич Я.Б. Влияние ультразвука на структуру и свойства стали / Я.Б. Гуревич, В.И. Леонтьев, И.И. Теумин // Сталь. – 1966. – №9.
4. Розенберг Л.Д. Физические основы ультразвуковой технологии / Под ред. проф. Л.Д. Розенберга. – М., 1970 – 685 с.
5. Попов С.Н. Модель росту центрів кристалізації при ультразвуковому подрібненні зміцнюючої фази твердих наплавлених сплавів / С.Н. Попов // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – №38(1011). – С.15-21.
6. Сутырин Г.В. О влиянии вибрации низкой частоты на скорость зарождения центров кристаллизации / Г.В. Сутырин // Известия АН СССР. Металлы. – 1977. – № 4. – С. 108–110.
7. Термодинамический анализ условий зарождения и роста кристаллов при виброобработке // Черная металлургия. – 1989. – №9. – С. 27.
8. Пулька Ч.В. Влияние вибраций детали в процессе наплавки на структуру и свойства металла / Ч.В. Пулька, О.М. Шаблій, В.С. Сенчишин та ін. // Автоматическая сварка. – 2012. – № 1. – С. 27–29.
9. Говорков В.М., Шебалин К.Н. Влияние вибрации на затвердевание металлов / В.М. Говорков, К.Н. Шебалин. ЖТФ. – 1954, т. 24. – вып. 2, – С. 41–48.
10. Сенчишин В.С. Расчет размеров структурных составляющих наплавленного индукционным способом металла с наложением механической вибрации / В.С. Сенчишин, Ч.В. Пулька // Автоматическая сварка. – 2015. – №8. – С. 34–37.

УДК 621.793.620.172

Смирнов І.В., докт. техн. наук, професор

Лопата О.В., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ,
smirnovkpi@gmail.com,

Зіньковський А.П., член-кор. НАН України, докт. техн. наук, професор

Лопата Л.А. канд. техн. наук, доцент

Кобзарь В.Л., аспірант

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ, beryuza@ukr.net

АДГЕЗІЙНА МІЦНІСТЬ ТА ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В ПОКРИТТЯХ, ОТРИМАННИХ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

Вступ. Покриття, отримані електроконтактним методом, на відміну від більшості покриттів, характеризуються товщинами 3мм і більше при хорошій адгезійній міцності [1]. Напруження в покритті можуть бути як наслідком технології їх нанесення (залишкові напруження), так і виникати в результаті експлуатаційного навантаження [2]. З аналізу роботи [3] випливає, що найбільш виражена форма прояву залишкових напружень - це залежність міцності зчеплення ($\tau_{зч}$) від товщини покриття (h). Як правило, залишкові