

## ЗНОСОСТІЙКІ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВІ ПОКРИТТЯ З МАРТЕНСИТНО - АУСТЕНІТНОЮ СТРУКТУРОЮ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Проведені дослідження процесів структуроутворення зносостійких високовуглецевих покриттів з мартенситно - аустенітною структурою. За рахунок контрольованого тепловідведення можливо керувати структуроутворенням наплавленого високовуглецевого покриття, його фізико-механічними властивостями, та зносостійкістю.*

**Ключові слова:** структура, вуглецеві наноматеріали, зносостійкість.

### *Abstract*

*The researches of processes of structuring of wear-resistant high-carbon coatings with martensite-austenitic structure have been carried out. Due to the controlled heat transfer, it is possible to control the structure formation of the high-carbon coating, its physical and mechanical properties, and wear resistance.*

**Keywords:** structure, carbon nanomaterials, wear resistance.

### Вступ

На параметри зносостійкості при абразивному зношуванні впливає початкова твердість та співвідношення структурних складових: мартенситу, аустеніту та кількості карбідної фази. Наплавлені матеріали, структура яких складається з перліту з невеликою кількістю карбідної фази, та матеріали з аустенітною або мартенситною структурами мають невисоку зносостійкість при абразивному зношуванні. Високу зносостійкість мають матеріали в яких кількість мартенситу складає 70...80%, а аустеніту - 30...20% та присутня невелика кількість карбідної фази (цементит, ледебурит) [1].

На структуру та фізико-механічні характеристики нанесеного високовуглецевого зносостійкого покриття значно впливає температурне поле, що формується під час наплавлення та безперервно змінюється у часі та просторі. Проте найбільш значні зміни структури покриття відбуваються на ділянках температурного поля, які розташовані в зоні плавлення та поблизу неї [2-4].

Високу зносостійкість в процесі сухого тертя показують залізовуглецеві сплави з мартенситно - аустенітною структурою. Великі потоки енергії в трибоконтакті сприяють протіканню структурних перетворень у отриманій метастабільній системі. Ці перетворення роблять трибосистему адаптивною до умов роботи, що позитивно впливає на поглинання та розсіювання енергії процесу тертя. Частка енергії, що йде на диспергування поверхні тертя, зменшується, а зносостійкість збільшується. Позитивний вплив чинять також нові утворені поверхневі структури та наклеп аустеніту.

### Результати дослідження

В процесі наплавлення високовуглецевих покриттів, отриманих з застосуванням вуглецевих наноматеріалів, структура покриття залежить від швидкості охолодження та величини теплового потоку, що вводиться в деталь через зварювальну дугу. Покриття з мартенситно - аустенітною структурою можна отримати шляхом зменшення швидкості охолодження зварювальної ванни та наплавленого металу. Такому режиму відповідає час знаходження зварювальної ванни в рідкому стані 5 сек. Швидкість кристалізації наплавленого валка складає при цьому 800...600 °C/c, а швидкість охолодження в інтервалі температур 1000...500 °C складає біля 350 °C/c, а інтервалі температур 500...50 °C складає 70 °C/c. За рахунок таких режимів отримуємо мартенситно-аустенітні структури покриття.

Накладемо криву охолодження на термодинамічну діаграму та прослідкуємо структурні перетворення отриманого покриття (див. рис. 4.4).

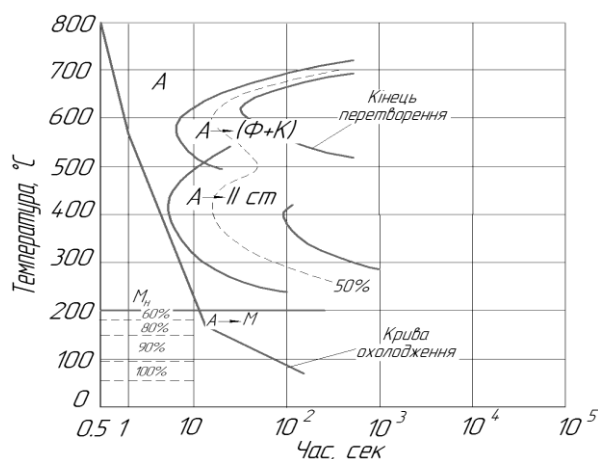


Рисунок 4.4 – Термокінетична діаграма та крива охолодження наплавленого покриття ( $t_p = 5$  с)

За рахунок невеликої швидкості охолодження з температур кристалізації до 200 °С основною структурною складовою покриття є аустеніт. При температурі 200°C та нижче дифузійні процеси повністю подавляються і утворення структури, яка складається із фериту і цементиту, стає неможливою. У цьому випадку протікає бездифузійне перетворення аустеніту в структуру загартованої сталі, що називається мартенситом (Нц 960), а частина аустеніту залишається (рис. 4.5) [5]. Кількість мартенситу складає приблизно 80%.

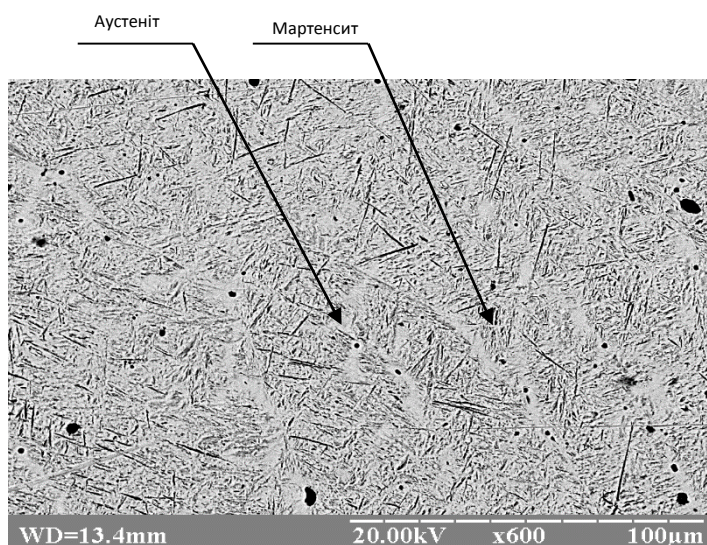


Рисунок 4.5 – Мікроструктура наплавленого високовуглецевого покриття при  $t_p = 5$  секунд

Зменшення часу існування зварювальної ванни в рідкому стані до 3 секунд, швидкість кристалізації та швидкість охолодження наплавленого валка збільшуються. В інтервалі температур 1700-1000 °С швидкість кристалізації складе 1050....700 °С/с. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000-500 °С складає 400 °С/с, а в інтервалі температур 500-50 °С складає 90 °С/с. Структурні перетворення отриманого високовуглецевого покриття подібні до перетворень, що відбуваються при часі існування зварювальної ванни в рідкому стані 5 сек (див. рис. 4.4). Відмінність спостерігається в тому, що розміри пластини мартенситу збільшились (рис. 4.6). Такі покриття відповідають високовуглецевим сталям (кількість вуглецю від 1 до 2,14%).

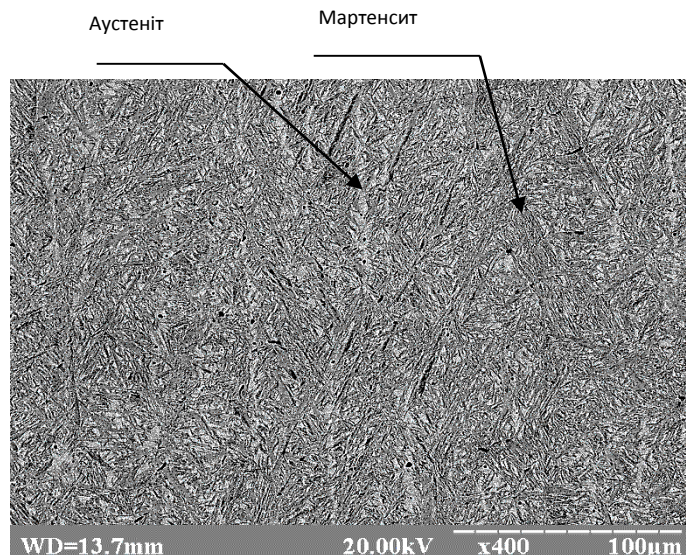


Рисунок 4.6 – Мікроструктури наплавленого високовуглецевого покриття при  $t_p = 3$  секунди

Зменшення часу існування зварювальної ванни в рідкому стані до 2 секунд та за рахунок ще більш швидкого охолодження наплавленого валка утворюється градієнтне покриття, яке складається з двох шарів. Швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700...1000 °C дорівнює 1400...1300 °C/c. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000...500 °C дорівнює 450 °C/c, а в інтервалі температур 500-50 °C дорівнює 95 °C/c. Розглянемо структурні перетворення отриманого високовуглецевого покриття, наклавши криву охолодження на термокінетичну діаграму (рис. 4.7). За рахунок великої швидкості охолодження з температур кристалізації до 200 °C основною структурною складовою покриття є аустеніт. При температурі 200°C та нижче відбувається утворення високовуглецевого пластинчастого мартенситу з переохолодженого аустеніту (Нц 960), а частина аустеніту залишається (рис. 4.8). За рахунок більш повільного охолодження у верхньому шарі покриття концентрація мартенситу буде складати біля 40 – 50% (рис. 4.8). Це корелює з даними, наведеними в роботі [5], що кількість залишкового аустеніту тим більша, чим нижчі температури початку та кінця мартенситного перетворення, а також чим більший вміст в аустеніті вуглецю та легувальних елементів. В нашому випадку кількість аустеніту складає 50-60%.

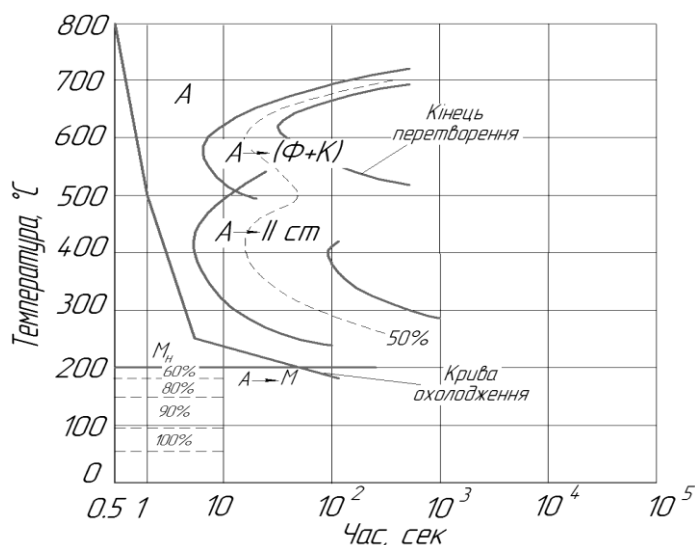


Рисунок 4.7 – Термокінетична діаграма та крива охолодження наплавленого покриття ( $t_p = 2$  с)

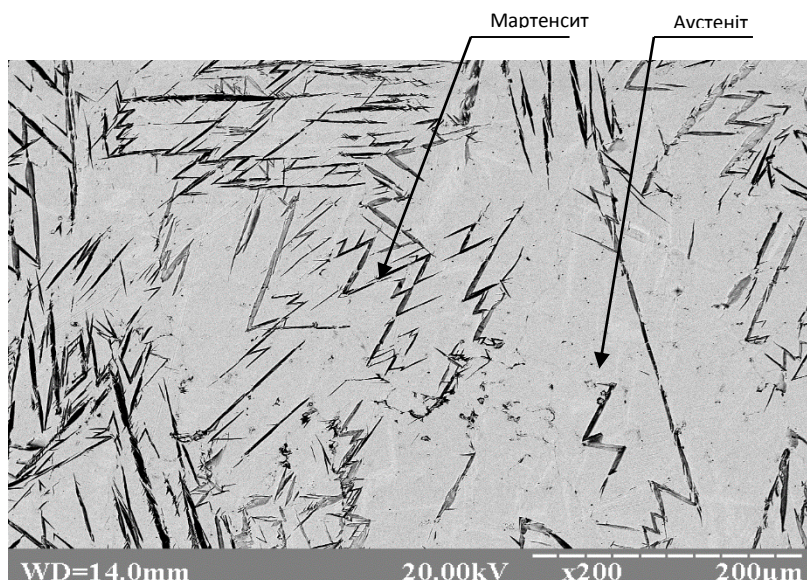


Рисунок 4.8 – Мікроструктура верхнього шару наплавленого високовуглецевого покриття при  $t_p=2$  секунди

В нижньому шарі отриманого покриття (рис. 4.9), концентрація залишкового аустеніту значно менша. Це пояснюється збільшенням швидкості кристалізації та охолодження металу за рахунок відведення тепла в метал заготовки. Внаслідок цього аустеніт, при даних швидкостях охолодження, встигає перетворитися в мартенсит.

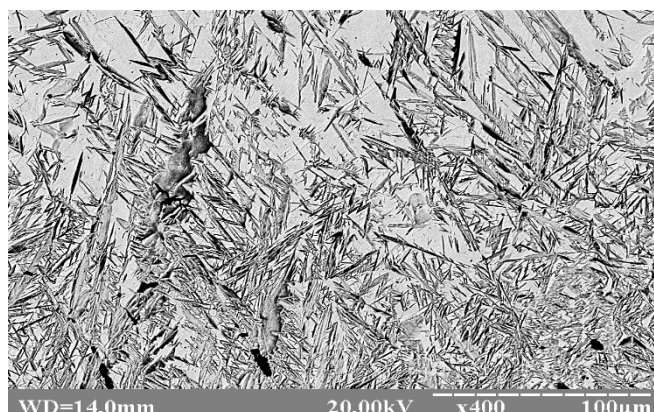


Рисунок 4.9 – Мікроструктура нижнього шару наплавленого високовуглецевого покриття при  $t_p=2$  секунди

### Висновки

За рахунок контрольованого тепловідведення можливо керувати структуроутворенням наплавленого високовуглецевого покриття, його фізико-механічними властивостями, та зносостійкістю.

При регулюванні швидкості наплавлення від 26 до 11 м/год (рідка зварювальна ванна існує від 0,8 до 5 с.) спостерігаються зміни швидкості кристалізації та охолодження наплавленого металу. Швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700...1500°C – від 2000°C/c до 800°C/c, в інтервалі температур 1500...1000°C – від 1800°C/c до 600°C/c. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000...500°C змінюється від 730°C/c до 350°C/c, а в інтервалі температур 500...50°C – від 120°C/c до 70°C/c.

В залежності від режимів наплавлення структури зразків, зносостійких високовуглецевих покриттів, змінюються в широких межах. При швидкості наплавлення 11 м/год (час існування рідкої

зварювальної ванни 5 с) відбувається утворення високовуглецевого пластинчатого мартенситу та невеликої кількості залишкового аустеніту. Такі покриття добре працюють в умовах сухого тертя.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Popov S. N. Adequacy analysis of methods of forecasting the abrasive stability steels and alloys / S. N. Popov // Problems of Tribology. – 2005. – №2. – С.95–102.
2. Фролов В. В. Теория сварочных процессов / В. В. Фролов. – М.: Высш. шк., 1988. – 559с.
3. Махненко В. И. Тепловые процессы при механизированной наплавке деталей типа круговых цилиндров / В. И. Махненко, Т. Г. Кравцов, – Киев: Наукова думка, 1976. – 160 с.
4. Савуляк В. І. Температурні поля та деформації під час відновлення деталей транспортної техніки / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2009. – №11(141). С.48–52.
5. Savulyak V. I. Molten metal phase duration effect on the structure and hardness of high-carbon fused coating / V. I. Savulyak, V. Y. Shenfeld, O. V. Postupailo, A. B. Yanchenko // TEHNOMUS «New Technologies and Products in Machines Manufacturing Technologies» journal / Romania, 2013 – №20 – s.29–33. Виноградов В. Н. Абразивное изнашивание / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. – М.: машиностроение, 1990. – 224 с.

*Шенфельд Валерій Йосипович* — канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: leravntu@gmail.com

**Shenfeld Valery Y.** - candidate. Sc., assistant professor of branch machine building, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: leravntu@gmail.com