

В. І. Савуляк, д. т. н., проф.; А. А. Лічман

ПОЛІПШЕННЯ СТРУКТУРИ НАПЛАВЛЕНИХ ПОКРИТТІВ ВІБРОУДАРНОЮ ОБРОБКОЮ

У роботі проведено аналіз можливості покращення структури нанесених наплавленням покриттів шляхом поєднання віброударної обробки з температурним впливом. Мінімізацію енергетичних витрат та економічність технології запропоновано забезпечити за рахунок використання тепла, що виділяється в процесі нанесення покриття від зварювальної дуги. Аналіз відомих виконаних досліджень та результатів попередніх робіт співавтора статті дозволяє стверджувати про перспективність дослідження в науковому та прикладному аспектах для забезпечення якості деталей машин і конструкцій.

Ключові слова: покриття, наплавлення, структура, віброударна ультразвукова обробка, принцип Шарпі, зносостійкість.

Вступ. Економічність, доступність та універсальність – ось основні критерії, які характеризують дрібносерійне та одиничне виробництва. Однак собівартість готової продукції таких підприємств у разі дорожча порівняно з масовим виробництвом. Вартість універсального технологічного обладнання в разі перевищує вартість вузькоспеціалізованого. Кількість технологічних операцій, відсутність конвеєрних чи потокових ліній також досить суттєво впливає на ціноутворення. Однак попит на ринку змінюється з року в рік і адаптувати масове виробництво до нових умов стає все важче, а універсальність дрібносерійних підприємств дозволяє їм провести переобладнання набагато швидше, тому розробка нових універсальних методів виробництва або об'єднання існуючих та створення на їх основі гібридних методів обробки деталей у наш час є досить актуальними.

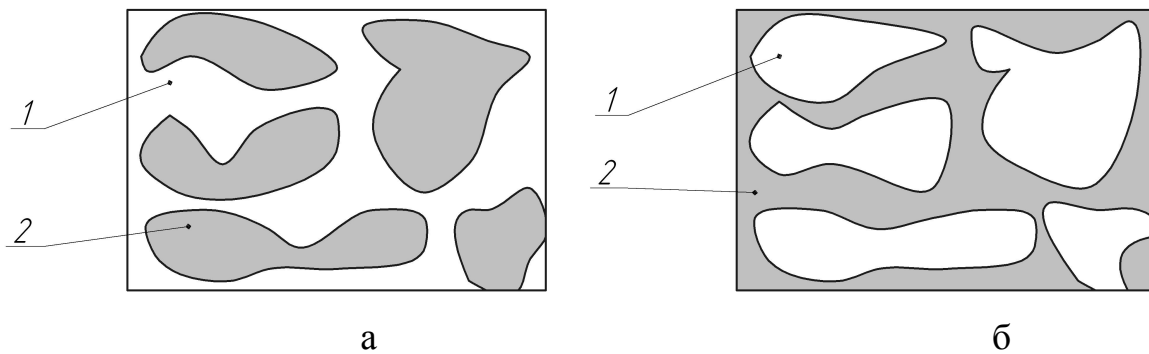
Мета роботи – аналіз можливості покращення структури нанесених наплавленням покриттів шляхом поєднання віброударної обробки з температурним впливом.

Результати досліджень та їх обговорення. Основними складниками довговічності деталей є матеріали, з яких вони виготовлені, та методи їхньої обробки. Використання дорогих легованих марок сталей, які мають необхідні технічні характеристики, частково дозволяє розв'язати цю проблему, але вартість цих матеріалів ставить під сумнів доцільність їхнього використання. Оскільки необхідні властивості цих сплавів не використовують у повному об'ємі деталі, а лише в поверхневих шарах, то більшість високоміцного легованого матеріалу деталі логічно замінити на менш затратний матеріал – вуглецеві сталі – із їхнім подальшим поверхневим зміцненням. Такі методи поверхневого зміцнення, як цементація та азотування є досить тривалими процесами та мають значні технологічні обмеження. Використання традиційних методів поверхневого пластичного деформування (зокрема обробка тиском і віброударна обробка) не завжди дає бажані результати, і зазвичай їх недостатньо для забезпечення необхідної міцності поверхневого шару. Термічні методи зміцнення (гартування, відпал, старіння та ін.) є перспективними, але мають конструктивні обмеження за розмірами обладнання. Також такі методи зміцнення не використовують для низьковуглецевих сталей.

Використання вуглецевих сталей із подальшим нанесенням на робочі поверхні деталей композиційних матеріалів дозволяє значно зменшити витрати на матеріали та отримати необхідну зносостійкість і міцність, а додаткова обробка тиском забезпечить дрібнодисперсну структуру отриманого покриття.

Однак слід зазначити, що зносостійкість та конструктивна міцність матеріалів, у яких реалізовано композиційний принцип зміцнення твердими включеннями (карбідами, боридами, силіцидами та ін.), суттєво залежать від структурного стану [1, 2]. Композиційні матеріали, у яких реалізовано структурний принцип Шарпі, мають кращий опір до зношування тертям і втомну міцність.

На рис. 1 представлена схема мікроструктури композиційного матеріалу, який складається з двох складників: м'якої, але удароміцної фази 1 і твердої зносостійкої, але більш крихкої фази (або структурного складника) 2.



1 – м'яка пластична фаза; 2 – тверда зносостійка фаза
Рис. 1. Схема складників компонентів композиційного матеріалу

Випадок, коли принцип Шарпі реалізується, показано на рис.1, а. Кристали твердої, але зносостійкої фази 2 оточені в'язкою матрицею 1 і не контактують між собою. Таке розташування є оптимальним, і в цьому випадку позитивні властивості складників використовуються повною мірою, а негативні – нівелюються: тверда фаза 2 протидіє деформаціям і зносу, а м'яка удароміцна фаза 1 утримує від викришування частинки фази 2, а також протидіє розповсюдженню мікротріщин, що утворюються у структурі твердої фази 2.

Протилежний випадок (рис. 1, б) ілюструє негативне поєднання властивостей фаз 1 та 2. Частки м'якої фази 1 ізольовані одна від одної суцільною сіткою крихкої фази 2, яка є ідеальним провідником для розповсюдження мікротріщин. Під впливом зовнішніх навантажень мікротріщини переростають у неперервну тріщину, що призводить до руйнування деталі.

Структура, показана на рис. 2, ілюструє випадок, коли принцип Шарпі не реалізується: В евтектичному нелегованому білому чавуні структура ледебуриту зазвичай складається з циліндричних прутків аустеніту, який перетворюється під час охолодження в перліт або ферит. Хоча кількість такого аустеніту досягає близько 50% (а в доевтектичних чавунах вона ще вища), його пластичні властивості не можуть бути реалізовані повною мірою через те, що ці прутки ізольовані один від одного суцільною матрицею з ледебуритного цементиту.

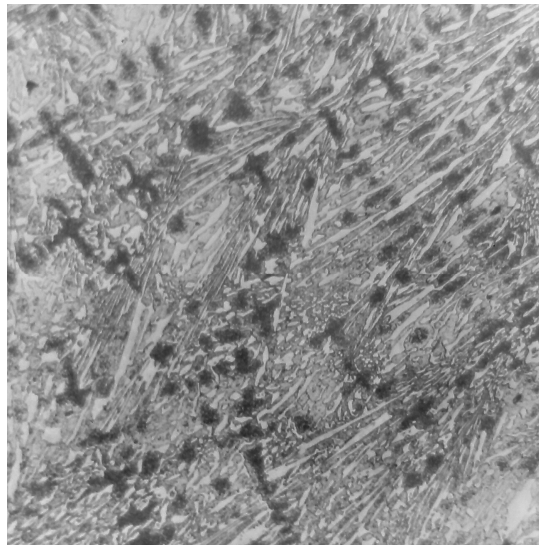


Рис. 2. Чавун з ледебуритною матрицею

Така структура не може бути виправлена жодною термічною обробкою, але додавання легувальних елементів, таких як Ti, V, Cr та ін. дозволяє отримати глобулярну структуру домішок, оточених феритною матрицею (рис. 3). Тріщини, що виникають у крихких домішках під впливом внутрішніх напружень, далі не розповсюджуються, а висока пластичність і зварюваність фериту сприяють їхньому самозаліковуванню.

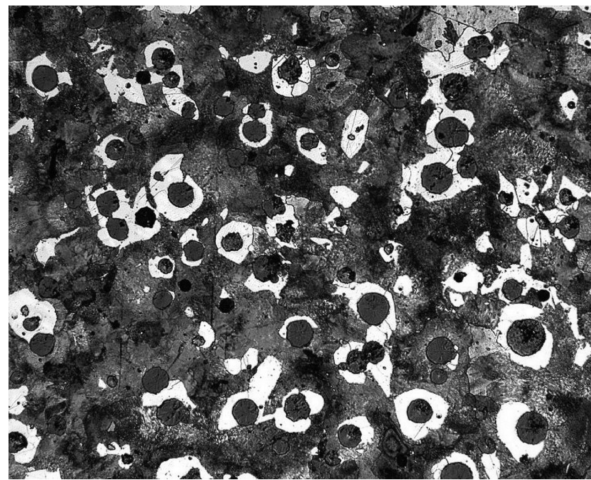


Рис. 3. Структура сплаву за принципом Шарпі

Але, як показує практика попередніх досліджень [3], для отримання необхідних характеристик одного легування недостатньо. Використання легування разом із пластичною деформацією дає позитивні результати й повною мірою забезпечує якісно та кількісно кращі характеристики високовуглецевих сплавів. За допомогою пластичної деформації можна один і той самий сплав інвертувати зі структури, яка не відповідає принципу Шарпі (рис. 1, б), у структуру, яка повністю відповідає такому принципу рис. 1, а.

Високі результати можна отримати завдяки використанню комбінованих методів локального нагрівання поверхневого шару з одночасною ультразвуковою обробкою підігрітого шару (рис. 4).

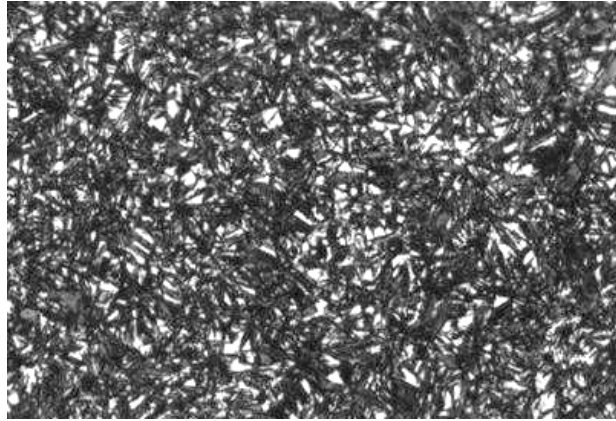


Рис. 4. Дрібнозерниста структура сталі

У дослідженнях [4] теоретично доведено та практично підтверджено значне покращення мікроструктури поверхневого шару сталі 12ХМФ за рахунок подрібнення зерен карбідів хрому: у вихідному стані їхній розмір складав ≈ 350 нм, а після комбінованої обробки (лазерне опромінення + ультразвукова обробка) утворилась ультрадисперсна структура з розмірами зерна ≈ 80 нм, границі якої заблоковані великою кількістю вторинних дисперсних карбідів із розмірами ≈ 20 нм. Також ці дослідження показали, що під час використання описаних вище видів зміцнення окремо результат подрібнення зерен майже удвічі менший.

Подібні дослідження щодо зварювального шва проводив А. І. Пашенко [5]. Результати досліджень показали, що обробка зварного шва поверхневою деформацією дозволяє покращити його міцність і витривалість.

Із вищенаведених досліджень можна зробити висновок: один і той самий хімічний склад сталі залежно від методів її обробки дозволяє отримати структуру металу, що може відповідати принципам Шарпі або ж не відповідати.

Однак вартість ультразвукового та лазерного обладнання суттєво обмежує можливості малих підприємств. Тому, виходячи з позитивного досвіду поєднання методів теплової та вібраційної поверхневої обробки [4], актуальним є питання розробки таких методів, у яких віброударна обробка поверхонь поєднується із традиційними та доступними методами нанесення покриття, зокрема напилюванням та наплавленням. Також слід зазначити, що нанесення покриття на нелеговану вуглецеву сталь суттєво зменшує витрати на матеріал заготовки, а сучасні методи напилювання дозволяють отримувати покриття необхідного хімічного складу та товщини. Аналіз віброударно обробленого гарячого наплавленого металу показав:

1. Пластична деформація гарячого металу знімає напруження розтягу, що виникають під час термічного впливу.
2. Забезпечується утворення поверхні з наклепом та зменшується пористість наплавленого металу.
3. Забезпечується більш рівномірне формування товщини нанесеного шару.
4. Забезпечується відділення шлаку й кірки, завдяки чому покращується якість подальшого накладання наплавних валків під час радіального наплавлення робочих поверхонь циліндричних деталей.

Висновок

1. Використання вуглецевих конструкційних сталей у якості основи заготовки з подальшим нанесенням на поверхню зносостійкого шару забезпечує низьку собівартість елементів конструкції, а комбінація цього методу зміцнення із вібраційними методами поверхневого зміцнення дозволяє отримувати покриття з інвертованою дрібнозернистою структурою.

2. Методи поєднання ультразвукової обробки разом зі зміцненням шляхом лазерного опромінення досліджені ґрунтовно, проте методи проковування з меншими частотами й більшою енергією удару наплавленого металу досліджені не повною мірою й потребують додаткових досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жуков А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунок / А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов. – М. : Машиностроение, 1984. – 104 с.
2. Savulyak V. I. The Structure of the cementite phase in the constructional alloys on the Fe-C base / V. I. Savulyak, A. A. Zhukov, T. F. Arkhipova // Journal "Modeling and Optimization in the Machines Bulding Field". Romanian Academy. – 1999. – V. 5. – P. 5 – 8.
3. Савуляк В. І. Підвищення зносостійкості циліндро-поршневих пар гідромашин шляхом використання високовуглецевих сплавів заліза з інвертованою структурою / В. І. Савуляк // Проблеми техніки. – 2003. – № 1. – С. 146 – 153.
4. Джемелівський В. В. Комбіноване лазерно-ультразвукове поверхнєве зміцнення деталей і можливості його використання при виробництві та ремонті обладнання / В. В. Джемелівський, Д. А. Лесик // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). ПолтНТУ. – 2014. – № 3 (42). – С. 61 – 69.
5. А. с. 111494 СССР. МКИ 21 Н 30/10. Способ проковки сварных соединений / А. И. Пашенко. – №8319/576122 ; заявл. 17.12.55 ; опубл. 1955.

Савуляк Валерій Іванович – д. т. н., професор, завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості.

Лічман Артем Анатолійович – магістрант кафедри технології підвищення зносостійкості. Вінницький національний технічний університет.