

**Андрущенко М.І.,
Осіпов М.Ю.,
Куликовський Р.А.,
Капустян О.Є.,
Акритова Т.О.**
Запорізький національний технічний
університет,
м. Запоріжжя, Україна
E-mail: mosipov61@ukr.net

**ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ
КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ КОЛІНО-
ВАЖІЛЬНИХ ПРЕСІВ.
ЧАСТИНА 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС
ТА СПЕЦІАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ
ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ**

УДК 621.791.927.5:669.15

Порівняльний аналіз способів відновлення зношених робочих елементів валів показав, що оптимальним варіантом відновлення поверхонь шатунної шийки та посадочних місць є широкошарове наплавлення холоднокатаною стрічкою під флюсом, а заварку шпонкових пазів доцільно проводити дротом суцільного перетину в захисних газах. Обґрунтовані параметри режимів відновлення зношених робочих елементів валу. Основні із них: напруга дуги 30 - 32 В, струм дуги 650 ± 20 А, швидкість наплавлення 0,5 см/с.

Запропоноване спеціальне устаткування на якому можна наплавляти шатунну шийку і посадкові місця. Розроблено маршрут технологічного процесу.

Техніко - економічні розрахунки показали, що при відновленні і зміцненні навіть одного валу економічний ефект може досягати сотень тисяч гривень.

Ключові слова: колінчастий вал, коліно-важільний прес, шатунна шийка, шпонковий паз, знос, режими наплавлення.

Вступ

У першій частині даної роботи [1] представлені результати аналізу умов зношування колінчастого валу і сформульовані вимоги, які до нього пред'являються. Показано, що поверхня шатунної шийки працює в умовах багатоциклового втомного зношування. Із - за нерівномірності питомого тиску на поверхню шийки в межах одного циклу пресування величина зносу по її периметру не однакова і змінюється в межах 0,4-2,0 мм. Посадкові місця під підшипники кочення і маточина зубчастої шестерні зношуються в результаті фреттинг-корозії, на що вказує наявність дрібних продуктів зношування (оксидів) на посадочних місцях. При досягненні критичної величини зносу може виникати проковзування поверхонь валу і підшипників, що може призвести до утворення задирів. Шпонковий паз зношується в результаті фреттинг-корозії і пластичного деформування його бічних поверхонь. В якості матеріалу для відновлення поверхні шатунної шийки обрано сталь 40Г2Ф, а для посадочних місць і шпонкових пазів – метал типу 35СГ. В той же час структура наплавленого металу, його властивості, геометричні характеристики наплавленого шару залежать не тільки від типу металу, а і від виду електродного матеріалу (дріт, стрічка та ін.), режимів та техніки наплавлення, тому виникла необхідність подальших розробок.

Мета роботи

Метою другої частини роботи було вибір способів, режимів і техніки відновлення колінчастих валів, які б забезпечували необхідну структуру і властивості наплавленого шару і крім того, по продуктивності і технологічності відповідали б особливостям конструкції деталі і вимогам виробництва. Крім того однією з задач було проектування спеціального обладнання і вибір маршруту технологічного процесу.

Вибір та обґрунтування способів відновлення колінчастих валів

Розглядаючи високопродуктивні способи наплавлення в захисних газах і під флюсом, враховуючи, що при наплавленні відкритою дугою: відбувається розбрикування електрода, що плавиться, гірше якість поверхні, вище швидкість охолодження наплавленого валика, що збільшує ймовірність утворення холодних тріщин. Тому варіант наплавлення відкритою дугою в подальшому не розглядали.

Найбільшого поширення набуло наплавлення під флюсом одним дротяним електродом [2]. Цей метод характеризується простотою реалізації і стабільністю процесу. Однак, для цього способу характерні велика глибина проплавлення – вища питома витрата електродного матеріалу та електроенергії, недостатня продуктивність способу. Більш висока продуктивність досягається при багатоелектродному наплавленні дротами [3, 4] і широкошаровому наплавленні стрічковим електродом [4, 5, 6]. В першому випадку забезпечується висока продуктивність процесу, зниження питомого тепловкладення та деяке зменшення глибини проплавлення. Але при цьому складніше забезпечити загальну стабільність процесу,

виникає необхідність проектування та використання механізмів подачі, більш складних ніж при одноелектродному наплавленні, вартість дроту вище, ніж стрічки. Другий спосіб, крім переваг характерних для багатоелектродного способу, дозволяє отримати мінімально можливу долю участі основного металу в наплавленому (4 - 6 %) [7].

У зв'язку з вищевикладеним, був обраний спосіб широкошарового наплавлення стрічкою під флюсом. При цьому, з огляду на невисокий рівень легування наплавленого металу, з трьох можливих видів стрічок (суцільного перетину, порошкова, керамічна) слід віддати перевагу холоднокатаній стрічці суцільного перетину, яка при порівняно невисокій вартості забезпечує більш високу однорідність наплавленого металу.

Потенційні можливості обраного способу і матеріалів можуть бути забезпечені тільки за умови вибору найбільш прийнятних режимів наплавлення. При цьому очевидно, що обґрунтований вибір параметрів процесу і розробка технології можливі тільки на основі досить повних уявлень про сутність і особливості цього способу, вплив режимів на стабільність процесу і властивості наплавленого металу. Найбільш ґрунтовні дослідження способу наплавлення стрічкою під флюсом проведені в Приазовському державному технічному університеті. Значна увага цьому способу була приділена в роботах Запорізького національного технічного університету (ЗНТУ). Тому при виборі режимів наплавлення спіралі в основному на роботи цих навчальних закладів.

Характер плавлення стрічки залежить від поведінки дуги на її торці [5, 6]. Процес плавлення визначає продуктивність розплавлення електродного матеріалу, характер переносу крапель в зварювальну ванну, глибину і рівномірність проплавлення основного металу, фізико-хімічні процеси, що протікають при взаємодії крапель електродного металу з флюсом.

Характер проплавлення основного металу визначає ступінь перемішування основного металу з наплавленим. Збільшення частки основного металу в наплавленому шарі знижує ефективність дії легуючих елементів електродного матеріалу. Параметри режиму, рід і полярність струму істотно впливають на перехід вуглецю з основного металу в наплавлений [5].

Основними критеріями оптимальності технологічного процесу є стійкість процесу наплавлення, геометричні характеристики наплавленого валика і структура металу після охолодження. Застосування оптимальних режимів, що сприяють отриманню наплавленого шару заданих розмірів і забезпечують мінімальний припуск на подальшу механічну обробку наплавленої поверхні, дозволяє економно витратити електродний матеріал і електроенергію, забезпечуючи високу продуктивність процесу наплавлення.

Більшість параметрів процесу наплавлення взаємопов'язані. Так, наприклад, струм і напруга в значній мірі залежать від ширини і товщини стрічки. Розміри стрічки залежать в свою чергу від допустимої довжини зварювальної ванни, яка пов'язана з діаметром деталі, що наплавляється. У літературі немає строгих, категоричних рекомендацій по послідовності вибору параметрів технологічного процесу при широкошаровому наплавленні і універсальних методах розрахунку режимів наплавлення. Якщо наводяться аналітичні залежності, то при цьому обумовлюється, що дані формули слід застосовувати тільки для певних режимів наплавлення, або інших параметрів процесу. Більш наочними є графічні залежності і номограми.

При наплавленні електродною стрічкою під флюсом частка основного металу в наплавленому γ визначається відношенням площі проплавлення основного металу, до площі всього перерізу шва, що включає і площу перетину наплавленої частини валика (рис. 1).

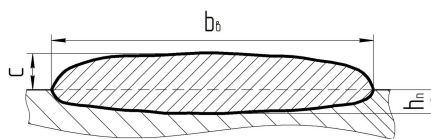


Рис. 1 – Геометричні характеристики наплавленого валика:

b_0 – ширина валика;

C – висота валика;

h_n – глибина проплавлення

При широкошаровому наплавленні циліндричних деталей ширина стрічки може перевищувати 100 мм [5]. Однак при ширині більше 70 мм помітно зростає шкідливий вплив магнітного дуття і без застосування спеціальних пристроїв практично неможливо забезпечити якісне формування наплавленого шару. Крім небезпеки магнітного дуття неправильний вибір ширини стрічки та інших параметрів може привести до стікання наплавленого металу. Процес стікання залежить від довжини зварювальної ванни, яку можна регулювати зміною ширини стрічки, потужності дуги і швидкості наплавлення. За даними [6] допустима довжина ванни прямо корелює з діаметром деталі і для діаметру 250 мм досягає 40 мм.

Тобто з одного боку ширина стрічки обмежена діаметром деталі, з іншого зі зменшенням ширини стрічки відбувається небажане збільшення глибини проплавлення (рис. 2).

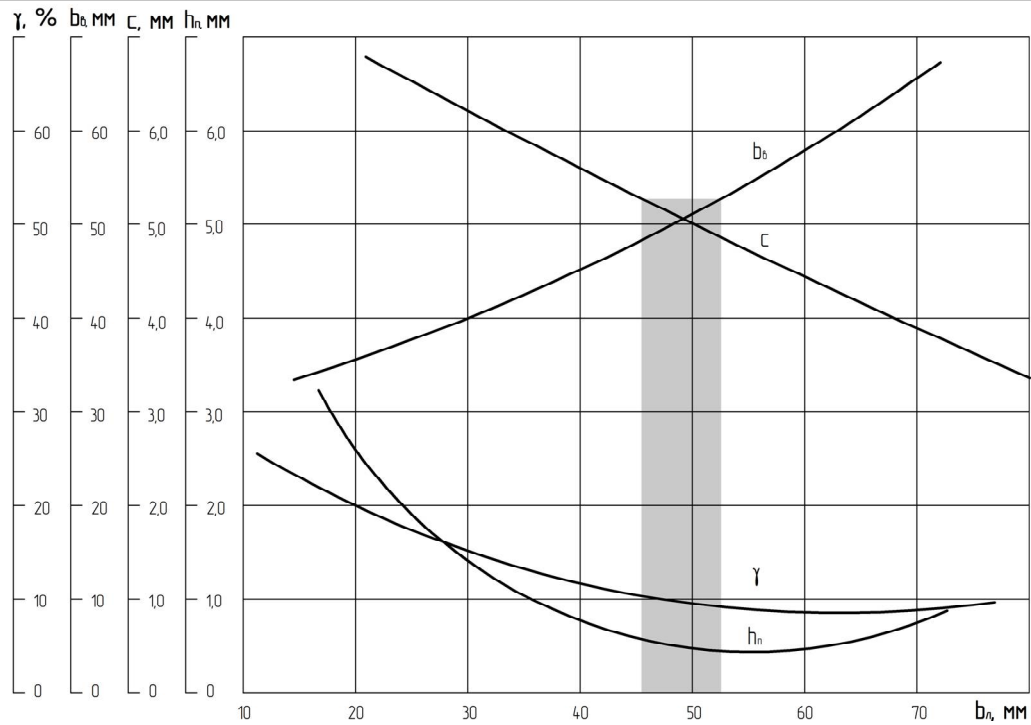


Рис. 2 – Залежність параметрів наплавленого валика від ширини стрічки

Виходячи з даних рис. 2 слід обрати ширину стрічки 50 мм.

Зі збільшенням товщини стрічки глибина проплавлення і частка участі основного металу підвищується (рис. 3) [5]. Тому бажано використовувати стрічки мінімальної товщини. Однак, з іншого боку, стрічки малої товщини легко деформуються, можуть відхилитися при наплавленні від заданого положення навіть під тиском шару флюсу. Тому, базуючись на відомих даних [5], а також виходячи з результатів досліджень, проведених в ЗНТУ, слід призначити товщину стрічки 0,5 мм. Таким чином перетин стрічки складе 25 мм^2 .

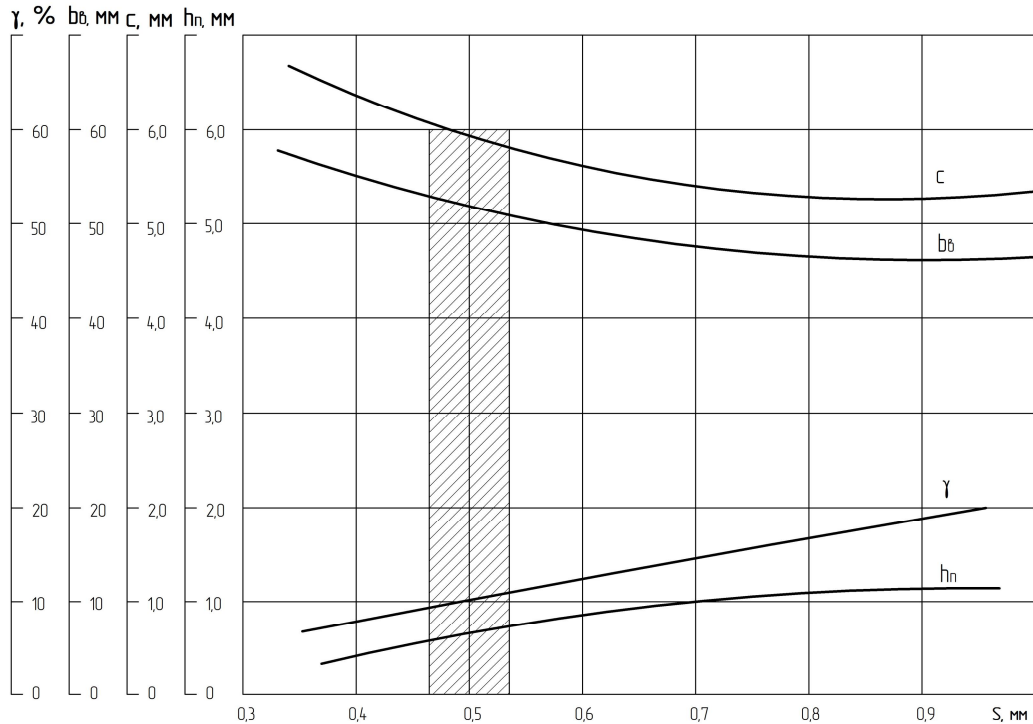


Рис. 3 – Залежність параметрів наплавленого валика від товщини стрічки

Крім геометричних параметрів стрічки, суттєвий вплив на якість наплавлених валиків і їх геометричні характеристики мають напруга і струм дуги (рис. 4, 5) [5, 6]. В той же час напруга мало впливає на продуктивність розплавлення електрода і глибину проплавлення основного металу.

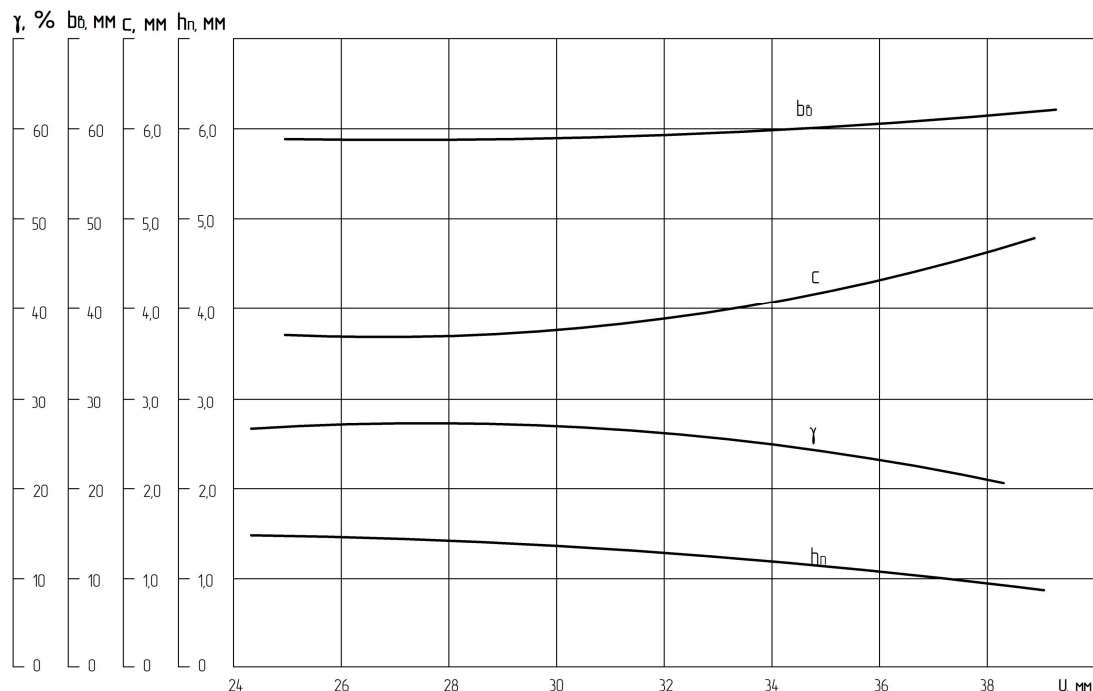


Рис. 4 – Вплив напруги дуги на параметри наплавленого валика

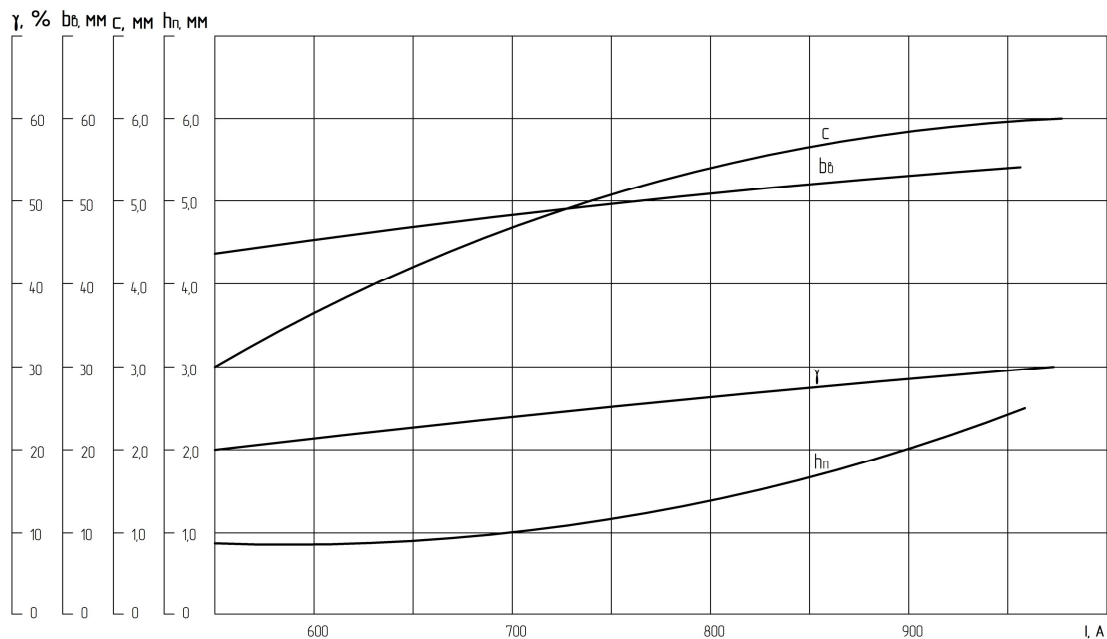


Рис. 5 – Вплив величини зварювального струму на параметри наплавленого валика

Занадто низька напруга ускладнює запалювання дуги, вона стає нестійкою, ширина валика значно зменшується. При великих коливаннях напруги дуги валик по ширині звужується, його товщина стає мінливою по довжині, а поверхня горбистою [5, 8]. Підвищена напруга в поєднанні з високою швидкістю наплавлення призводить до утворення грубої і нерівномірної поверхні наплавлення, а подальше підвищення напруги – до витікання зварювальної ванни зі шлакової оболонки. Зі збільшенням напруги зростає витрата флюсу, збільшується обсяг шлакової ванни, що ускладнює її утримання при наплавленні циліндричних деталей [5]. Узагальнюючи вищесказане і дотримуючись рекомендацій робіт [5, 9] для товщини стрічки 0,5 мм вибираємо напругу в межах 30 - 32 В.

Зі збільшенням зварювального струму глибина проплавлення зростає, незважаючи на те, що товщина рідкого прошарку збільшується. Останнє пояснюється наявністю механічного впливу дуги на ванну рідкого металу, який зростає пропорційно квадрату струму. Якщо зварювальний струм малий, то утворюється вузький валик з нерівними краями і непроварами, дуга горить нестійко і гасне, а стрічка, замикаючись на виробі, нагрівається і рветься при виході зі струмопідводних губок. Якщо ж струм перевищує оптимальне значення, то його збільшення погіршується формування валика [5]. При великому струмі і швидкості наплавлення відбувається «набігання» шлаку попереду електродної стрічки.

Мінімально допустимі (критичні) значення струму залежать від ширини стрічки. Відповідно до цього для стрічки шириною 50 мм $I_{кр} = 530 - 540$ А (рис. 6, а). З іншого боку, за даними [5], критерієм відповідності зварювального струму заданому електроду є лінійна щільність струму, яка виражається відношенням струму до товщини стрічки. Відповідно до цього оптимальна лінійна щільність струму для обраної стрічки (0,5 мм) становить 14 А/мм (рис. 6, б). Звідси випливає, що наплавлення стрічкою товщиною 0,5 мм необхідно вести при загальному струмі 700 А. При таких значеннях товщини стрічки і величини струму ще не проявляється магнітне дуття. У той же час в роботі [5] зазначено, що висока якість наплавленого металу можлива і на інших струмах, декілька більше або менше оптимальних. Обираємо величину сили струму проміжною між мінімально та максимально допустимими 600 - 650 А.

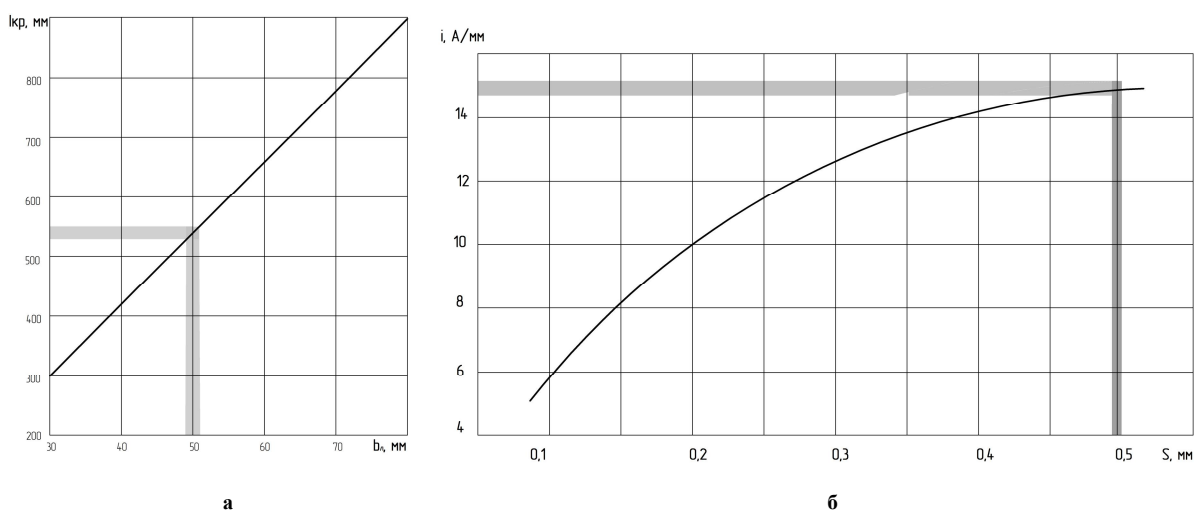


Рис. 6 – Залежність критичної величини струму (а) та оптимальної лінійної щільності струму (б) від ширини стрічки

При наплавленні стрічкою можна використовувати як постійний, так і змінний струм. Однак за даними [5] при змінному струмі дуга горить нестабільно, спостерігається розбрикування металу, утворюються подрізи, товщина наплавленого шару стає нерівномірною по ширині валика. Наплавлення на постійному струмі має низку переваг і при однаковій продуктивності є більш вигідним. Однак при сильному магнітному дутті переваги зварювання на постійному струмі зникають. Тому, якщо є можливість управляти магнітним дуттям, або уникнути його, то краще вести наплавлення на постійному струмі. Вплив полярності струму при наплавленні електродною стрічкою залежить від його величини. Численні дослідження по вивченню впливу полярності струму при наплавленні електродною стрічкою показали [5], що при струмі до 650 - 700 А полярність струму на глибину проплавлення не впливає, проте в разі застосування зворотної полярності забезпечується висока стабільності горіння дуги і кращий зовнішній вигляд наплавленого металу, а схильність до утворення пор в наплавленому металі значно знижується; при великих струмах – навпаки. Тому при наплавленні колінчастих валів на порівняно невеликих струмах для зменшення глибини проплавлення, наплавлення необхідно вести на зворотної полярності.

Швидкість наплавлення має найбільший вплив на глибину проплавлення і перемішування основного металу з наплавленим (рис. 7). З її зростанням збільшується глибина проплавлення, зменшується ширина і товщина наплавленого валика, частка участі основного металу в наплавленому різко зростає [5]. З іншого боку при малих швидкостях наплавлення, між торцем електрода і наплавленою поверхнею утворюється значна кількість рідкого металу. Швидкість наплавлення залежить від зварювального струму, розмірів стрічки, марки електродного матеріалу, складу флюсу, форми виробу і т.д. Згідно з рис. 7 оптимальна швидкість складає 0,35 - 0,40 см/с. При цьому величина струму складе 680 - 700 А (рис. 8). Відповідно до рекомендацій [5] для стрічки шириною 50 мм максимальна критична швидкість наплавлення, при якій валик ще зберігає суцільність, але його висота стає нерівномірною, становить 0,5 см/с. Таким чином, приймаємо величину струму 650 ± 20 А.

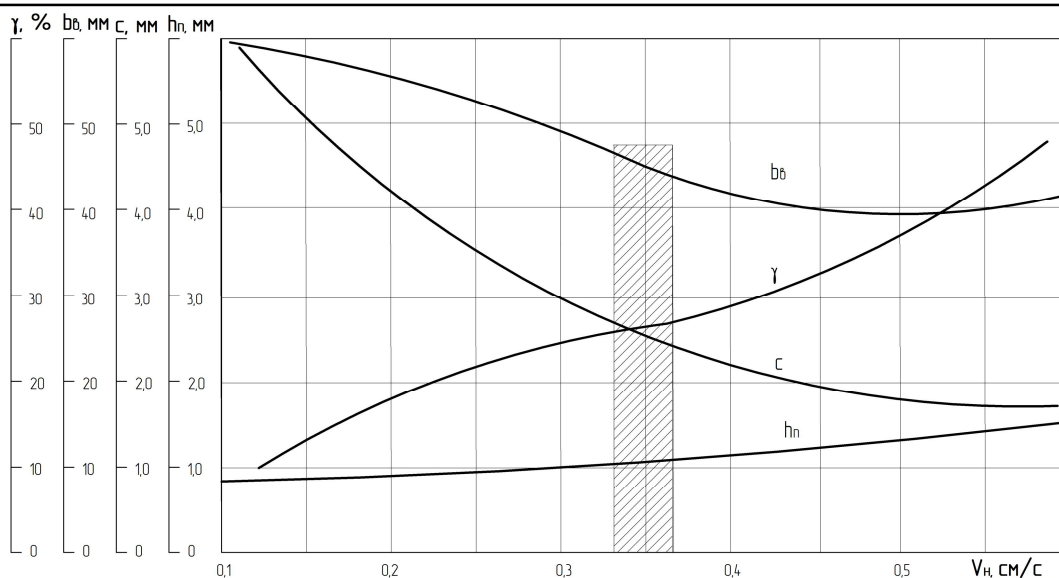


Рис. 7 – Залежність параметрів наплавленого валика від швидкості наплавлення

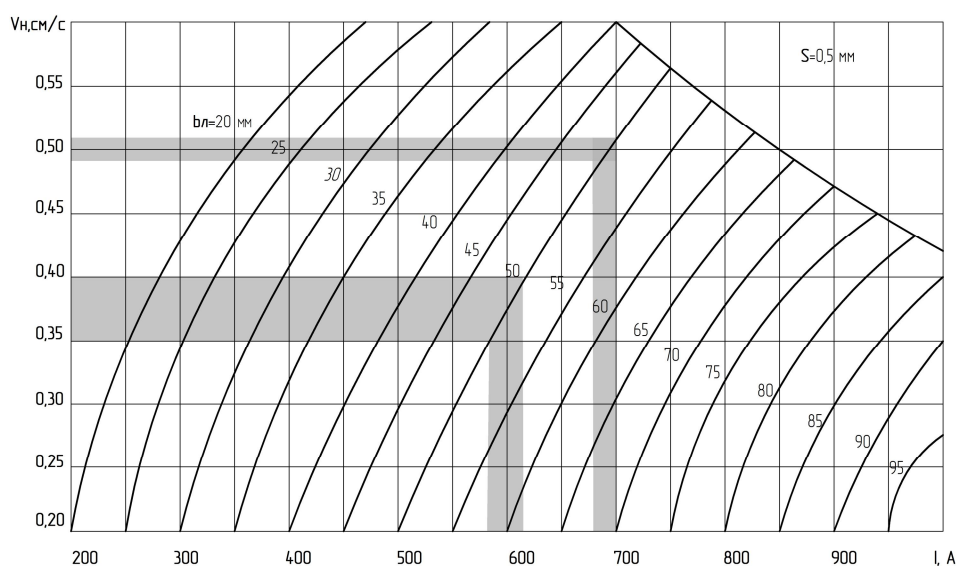


Рис. 8 – Номограма оптимальних режимів наплавлення

Виліт електрода визначає рівень попереднього підігріву стрічки. Незначний виліт призводить до слабкого підігріву стрічки і сприяє збільшенню глибини проплавлення. Виліт електрода повинен бути більшим насипної висоти флюсу. Збільшення вильоту більше 30 мм призводить до зменшення глибини провару і зростання продуктивності розплавлення. Якщо ж виліт електрода надмірно великий, то дуга стає нестійкою і з'являється небезпека виникнення пористості в наплавленому металі [6]. Збільшення вильоту вище рекомендованого для даних товщин стрічок призводить до нерівномірності розплавлення стрічки по ширині і порушення стабільності процесу. В наплавлених валиках з'являються пропуски, кількість яких збільшується з підвищенням швидкості наплавлення. При цьому вільний кінець електрода через перегрів втрачає жорсткість, стає м'яким і відгинається при наплавленні під дією опору флюсу. Зварювальна ванна може оголюватися і наплавлений метал стає неякісним. Загин електрода може спричинити за собою обрив дуги і припинення процесу наплавлення. Відповідно до рекомендацій [6], виліт електрода вибираємо в межах 30 - 40 мм.

Таким чином, на основі аналізу літературних даних про вплив параметрів процесу наплавлення стрічковим електродом на його стабільність і характеристики наплавленого шару, обрано спосіб, матеріали та режими наплавлення шийок колінчастих валів.

Технологічний процес відновлення робочих поверхонь валу заключається в наступному. Вал закріплюється в обертачі (рис. 9). При обертанні вала зі швидкістю наплавлення проводиться місцевий підігрів поверхні, яка наплавляється до температури $330\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8]. Заплавлення шпонкових пазів напівавтоматом А-765 дротом 35СГ необхідно вести при наступних параметрах режиму (табл.) [10].

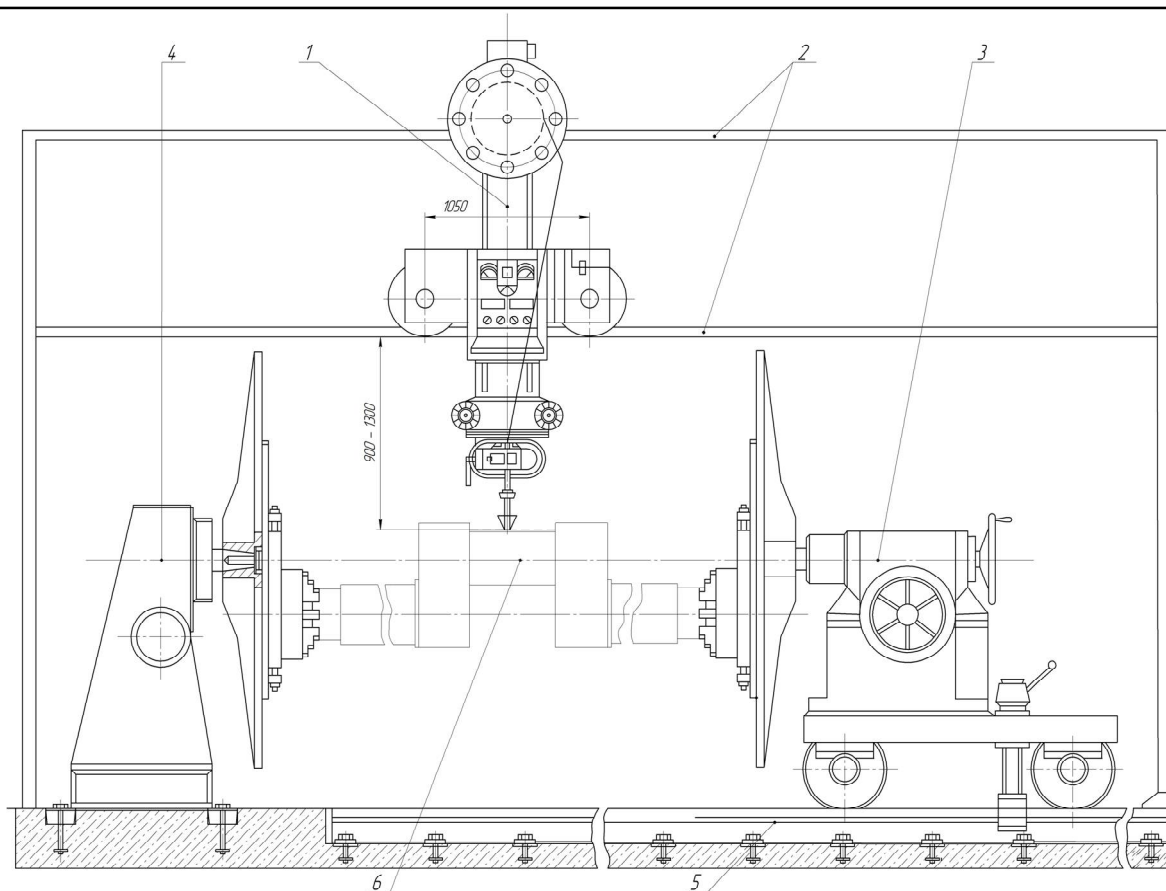


Рис. 9 – Установка для наплавлення:

- 1 – автомат для наплавлення;
- 2 – напрямні;
- 3 – задня бабка;
- 4 – передня ведуча бабка;
- 5 – рейковий шлях;
- 6 – колінчастий вал

Таблиця

Рекомендовані режими відновлення [10]

Параметр	Значення параметру	
	наплавлення шийки та посадкових місць	заплавлення шпонкових пазів
Електрод, мм	стрічка 0,5 × 50	дріт Ø 2
Величина струму, А	650 ± 20	200 - 250
Напруга дуги, В	30 - 32	28 - 32
Швидкість наплавлення, см/с	0,5	-
Виліт електроду, мм	35 - 40	40 - 60
Зсув із zenіту, мм	20 - 30	-
Шаг наплавлення, мм	10	-
Витрата газу л/ хв	-	15 - 16
Рід струму, полярність	постійний, зворотна	постійний, зворотна

Техніко - економічні розрахунки показали, що при відновленні і зміцненні навіть одного валу економічний ефект може досягати десятків тисяч гривень.

Висновки

Порівняльний аналіз способів відновлення зношених робочих елементів валу показав, що оптимальним варіантом відновлення поверхонь шатунної шийки та посадочних місць є широкошарове наплавлення холоднокатаною стрічкою під флюсом, а заварку шпонкових пазів доцільно проводити дротом суцільного перетину в захисних газах.

Запропоноване устаткування для наплавлення на якому після нескладного налагодження можна наплавляти як шатунною шийку, так і посадкові місця.

Обрані основні параметри режимів наплавлення шийки й посадкових місць: напруга дуги – 30 - 32 В, струм дуги 650 ± 20 А, швидкість наплавлення 0,5 см/с.

Література

1. Андрущенко М.І. Проектування технології відновлення та зміцнення колінчастих валів коліно-важільних пресів. Частина 1. Аналіз схеми, умов роботи, характеру і механізмів зношування робочих поверхонь валів, вибір матеріалів [Текст] / М.І. Андрущенко, М.Ю. Осіпов, Р.А. Куликовський, О.С. Капустян, Т.О. Акритова // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2017. – № 4. – С. 33-38.

2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавением / Под ред. Патона Б.Е. – М.: Машиностроение, 1974. – 789 с.

3. Меликов В.В. Многоэлектродная наплавка [Текст] / В.В. Меликов. – М.: Машиностроение, 1988. – 170 с.

4. Рябцев, И.А. Высокопроизводительная широкослойная наплавка электродными проволоками и лентами [Текст] / И.А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2005. – № 6. – С. 36-41.

5. Кравцов, Т.Г. Электродуговая наплавка электродной лентой [Текст] / Т.Г. Кравцов. – М.: Машиностроение, 1978. – 168 с.

6. Лаврик, В.П. Влияние теплофизических свойств расплава ленточного электрода на характер проплавления металла при широкослойной наплавке [Текст] / В.П. Лаврик, Л.К. Лещинский // Сварочное производство. – 1985. – №3. – С. 34-35.

7. Чигарев, В. В. Особенности широкослойной наплавки [Электронный ресурс] / В. В. Чигарев, А. Г. Белик // Современные проблемы сварки и родственных технологий, совершенствование подготовки кадров : тез. докл. IV всеукр. конф. : посвящ. 70-летию кафедры «Оборудование и технология сварочного пр-ва» и 45-летию сварочного фак. Приазов. гос. техн. ун-та (Мариуполь, 15-16 сент. 2016 г.). – Мариуполь, 2016. – С. 46.

8. Гулаков, С.В. Наплавка под флюсом ленточным электродом / С.В. Гулаков, В.Н. Матвиенко, Б.И. Носовский. – Мариуполь.: ПГТУ, 2006. – 137 с.

9. Кравцов, Т.Г. Схема питания сварочной дуги и выбор оптимальных режимов широкослойной наплавки ленточным электродом [Текст] / Т.Г. Кравцов, В.П. Кузнецов // Сварочное производство. – 1974. – № 1. – С. 44-45.

10. Шоршоров, М. Х. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке [Текст] / М.Х. Шоршоров, В.В. Белов – М.: Наука, 1972. – 220 с.

Поступила в редакцію 21.02.2018

Andrushchenko M.I., Ph.D., Osipov M.Y., Ph.D., Kulikovskiy R.A., Ph.D., Kapustian O.YE., Magda E.S. Akrytova T.O. **Designing of the technology of restoration and strengthening of the crankshaft knee-lever presses. Part 2: Technological process and special equipment for restoration of crankshaft.**

A comparative analysis of the methods for restoring worn shaft working elements has shown that the best option for restoring the surfaces of the crankpin and seats is a wide-layer surfacing with a cold rolled strip under the flux, and it is advisable to weld the keyways with a wire of continuous cross section in shielding gases. The parameters of recovery regimes for worn shaft working elements are substantiated. The main ones are: the arc voltage is 30-32 V, the arc current is 650 ± 20 A, the deposition rate is 0.5 cm/s.

A special equipment is proposed on which it is possible to weld a crank neck and seating places. A technological process route is developed.

The technical and economic calculations have shown that when restoring and strengthening even one shaft, the economic effect can reach hundreds of thousands of hryvnias.

Key words: crankshaft, knee-lever press, crank cervix, key groove, wear, modes of surfacing.

References

1. Andrushhenko M.I. Proektuvannja tehnologii vidnovlennja ta zmecnennja kolinchastih valiv kolino-vazhel'nih presiv. Chastina 1. Analiz shemi, umov roboti, harakteru i mehanizmiv znoshuvannja robochih poverhon' valiv, vibir materialiv [Tekst]. M.I. Andrushhenko, M.Ju. Osipov, R.A. Kulikovskij, O.C. Kapustjan, T.O. Akritova. Problemi tribologii (Problems of Tribology). 2017. №4. S. 33-38.
2. Tehnologija jelektricheskoy svarki metallov i splavov plavlenim. Pod red. Patona B.E. M. Mashinostroenie, 1974. 789 s.
3. Melikov V.V. Mnogojelektrodnaja naplavka [Tekst]. V.V. Melikov. M. Mashinostroenie, 1988. 170 s.
4. Rjabcev, I.A. Vysokoproizvoditel'naja shirokoslojnaja naplavka jelektrodnymi provolokami i lentami [Tekst]. I.A. Rjabcev. Avtomaticheskaja svarka. 2005. №6. S. 36-41.
5. Kravcov, T.G. Jelektrodugovaja naplavka jelektrodnoj lentoj [Tekst]. T.G. Kravcov. M. Mashinostroenie, 1978. 168 s.
6. Lavrik, V.P. Vlijanie teplofizicheskikh svojstv rasplava lentochного jelektroda na harakter proplavlenija metalla pri shirokoslojnoj naplavke [Tekst]. V.P. Lavrik, L.K. Leshhinskij. Svarochnoe proizvodstvo. 1985. №3. S. 34-35.
7. Chigarev, V. V. Osobennosti shirokoslojnoj naplavki [Jelektronnyj resurs]. V. V. Chigarev, A. G. Belik. Sovremennye problemy svarki i rodstvennyh tehnologij, sovershenstvovanie podgotovki kadrov : tez. dokl. IV vseukr. konf. : posvjashh. 70-letiju kafedry «Oborudovanie i tehnologija svarochnogo pr-va» i 45-letiju svarochnogo fak. Priazov. gos. tehn. un-ta (Mariupol', 15-16 sent. 2016 g.). Mariupol', 2016. S. 46.
8. Gulakov, S.V. Naplavka pod fljusom lentochnym jelektrodom. S.V. Gulakov, V.N. Matvienko, B.I. Nosovkij. Mariupol'. PGU, 2006. 137 s.
9. Kravcov, T.G. Shema pitanija svarochnoj dugi i vybor optimal'nyh rezhimov shirokoslojnoj naplavki lentochnym jelektrodom [Tekst]. T.G. Kravcov, V.P. Kuznecov. Svarochnoe proizvodstvo. 1974. № 1. S. 44-45.
10. Shorshorov, M. H. Fazovye prevrashhenija i izmenenija svojstv stali pri svarke [Tekst]. M. H. Shorshorov, V.V. Belov. M. Nauka, 1972. 220 s.