

УДК [621.791.92+621.9.011]:658.5

В. І. Савуляк, д-р. техн. наук, проф.; **Ж. П. Дусанюк, канд. техн. наук, доц.;**
О. П. Шиліна, канд. техн. наук, доц.; **Ю. О. Слободянюк, студ.**

ВИТРАТИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ ЯК КРИТЕРІЙ ВИБОРУ СПОСОБУ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

Показано, що витрати на оплату електроенергії є одним із основних критеріїв вибору способу нанесення покриття для відновлення деталі. Запропоновані підходи до визначення витрат на оплату електроенергії в комплексному технологічному процесі відновлення деталей з нанесенням покриття та подальшою механічною обробкою.

Вступ та постановка задачі

Експлуатація машин супроводжується процесами зношування деталей, наслідком яких є зниження експлуатаційних показників. Для виготовлення нових деталей необхідно використати матеріал, виготовити з нього заготовку одним із методів (лиття, пластичне деформування тощо) з подальшою механічною обробкою. Така сукупність технологічних процесів вимагає значних витрат, серед яких переважають витрати на електроенергію. Значно скоротити технологічний ланцюг можна на основі відновлення зношених деталей машин.

Задачею дослідження є порівняльний аналіз способів відновлення, які забезпечують нанесення необхідних шарів металу у відповідності з проектними розрахунками розмірів і на основі цих даних побудови технологічних процесів механічної обробки після відновлення, визначення витрат матеріалу, витрат на оплату електроенергії, що дозволяє зробити висновки про доцільність способу відновлення.

Основна частина

У виробничих умовах розроблені та реалізовані десятки різних способів відновлення деталей [1, 2]. Вибір найприйнятнішого способу полягає в технічному, економічному та організаційному аналізі вимог до відновлення деталей з урахуванням умов їх роботи, виробничої програми, оснащеності підприємств, забезпеченості матеріалами та енергією. Проте, найраціональнішим способом відновлення деталі буде той, який гарантуватиме найбільший ресурс роботи відремонтованої деталі за найменших витрат. Однією із найважливіших статей затрат, що входить у собівартість відновлення, є витрати на енергетичні джерела, разом з тим і на електроенергію.

Витрати на оплату силової електроенергії, що витрачається на виконання операцій механічної обробки, можна визначити за формулою [3]

$$E = S_K \frac{N_B \eta_n T_0}{60 \eta_M \eta} \quad (1)$$

де S_K – ціна 1 кВт·год силової електроенергії, грн; N_B – встановлена потужність обладнання, кВт; η_n – коефіцієнт завантаження електродвигунів обладнання за потужністю (в залежності від режиму роботи $\eta_n = 0,5 \dots 0,9$); T_0 – основний час виконання операції механічної обробки, хв; η_M – коефіцієнт, що враховує втрати в мережі ($\eta_M = 0,96$); η – коефіцієнт корисної дії двигунів ($\eta = 0,9 \dots 0,95$).

Витрати на оплату електроенергії для нанесення покриття можна визначити за формулою [1]

$$E = S_K \frac{IU \eta T_0}{1000} \quad (2)$$

де S_K – ціна 1 кВт·год силової електроенергії, грн; I – сила струму, А; U – напруга, В; η – ККД процесу нанесення покриття; T_0 – основний час нанесення покриття, хв.

Витрати на оплату електроенергії, що витрачається на виконання операцій відновлення та подальшої механічної обробки залежать від основного часу виконання операцій. Основний час виконання кожної із операцій залежить від способу відновлення чи обробки, обладнання, структури операцій (кількості виконуваних переходів та робочих ходів) та визначається за відповідними формулами [1, 4].

Кількість ступенів (переходів), що виконуються під час механічної обробки після нанесення покриття, залежать від точності розміру, який має бути забезпечений на останньому переході, а також величини шару металу (припуску), нанесеного на відновлювану поверхню. Допуск розміру, що отримують під час виконання операцій нанесення покриття дає можливість визначити необхідну кількість ступенів подальшої механічної обробки за величиною загального уточнення ϵ [3].

Визначається кількість робочих ходів K під час виконання переходу

$$K = \frac{Z}{Z_i}, \tag{3}$$

де Z — припуск, що необхідно зняти, виконуючи цей перехід механічної обробки, мм; Z_i — припуск, що знімається під час виконання одного робочого ходу, мм. Величина припуску на механічну обробку поверхні розраховується за відомими формулами [3, 5].

На рис. 1 показана деталь (колінчастий вал гідравлічного насоса), для якої проведені дослідження енерговитрат на виконання операцій нанесення покриття різними способами та подальшу механічну обробку. Відновленню підлягають 3 корінних шийки, які зношуються під час роботи гідронасоса.

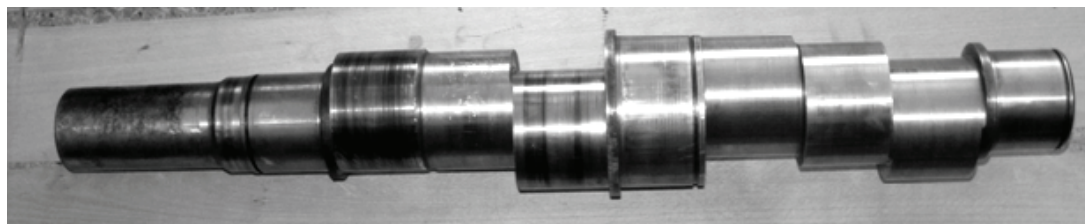


Рис. 1. Колінчастий вал гідронасоса

Розглянуто такі можливі способи нанесення покриття поверхонь корінних шийок, які забезпечують необхідну якість поверхневого шару:

- плазово-дугове напилювання;
- електродугове наплавлювання в середовищі вуглекислого газу;
- електродугове наплавлювання під шаром флюсу;
- електродугове наплавлювання порошковим дротом.

Для розрахунку кількості ступенів механічної обробки та величини припусків необхідні дані про значення граничних відхилень розміру досліджуваної корінної шийки колінчастого вала $T_{заг}$ для різних способів нанесення покриття та величина мікронерівностей R_z . Величини $T_{заг}$ та R_z для вибраних способів нанесення покриття визначені експериментальними дослідженнями за методикою, запропонованою авторами. Встановлено, що для кожного способу нанесення покриття величини $T_{заг}$ та R_z різні. Результати досліджень показані в табл. 1.

Дані щодо величини дефектного шару $T_{деф}$ для вказаних способів нанесення покриття взяті згідно з [6].

Таблиця 1

Значення $T_{заг}$, R_z , $T_{деф}$ для способів нанесення покриття

Спосіб нанесення покриття	$T_{заг}$, мкм	R_z , мкм	$T_{деф}$, мкм
Плазово-дугове напилювання	190...300	25...100	20...50
Електродугове наплавлювання в середовищі вуглекислого газу	1600...2400	160...320	400...800
Електродугове наплавлювання під шаром флюсу	1200...4000	90...120	250...350
Електродугове наплавлювання порошковим дротом	2000...2400	100...120	200...300

Величини допусків проміжних розмірів T_i та висота мікронерівностей R_{zi} під час виконання операцій механічної обробки взяті згідно з [7]. На основі одержаних результатів для кожного із способів нанесення покриття проведено розрахунок припусків для найменших та найбільших значень складових припуску $T_{зар}$, R_z , $T_{деф}$ з урахуванням просторових відхилень відновлюваної поверхні. Для зручності аналізу та проведення подальших досліджень дані зведено до середнього значення припуску, величини яких для різних способів нанесення покриття показані на рис. 2.

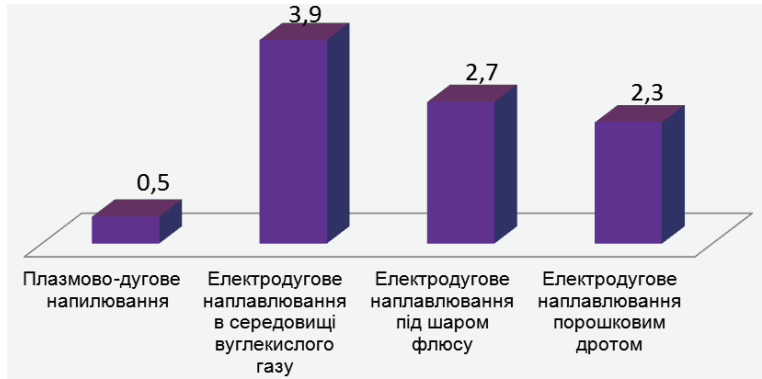


Рис. 2. Порівняння середніх припусків для різних способів нанесення покриття, мм

Саме від кількості ступенів механічної обробки та величини припуску залежить і час механічної обробки після нанесення покриття. Залежність основного часу механічної обробки від способу нанесення покриття показана на рис. 3.

Основний час нанесення покриттів показаний на рис. 4.

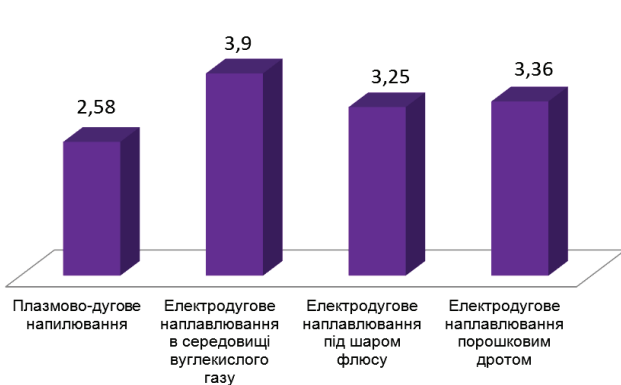


Рис. 3. Основний час операцій механічної обробки після нанесення покриття, хв

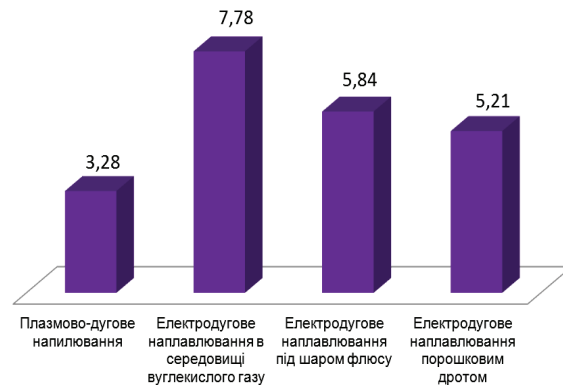


Рис. 4. Основний час нанесення покриття, хв

Аналіз даних на рис. 4 дозволяє зробити висновок про вплив на величину основного часу способу нанесення покриття.

Механічна обробка після нанесення покриття вимагає використання металорізального обладнання відповідної потужності та витрат електроенергії, оплата якої залежить від основного часу виконання переходів та операцій. Виконання операцій точіння виконується на верстаті потужністю 7,5 кВт, а виконання операцій шліфування — на верстаті потужністю 15,2 кВт. Енерговитрати механічної обробки після нанесення покриття показані на рис. 5 у відсотковому співвідношенні.



Рис. 5. Витрати на оплату електроенергії для виконання механічної обробки після нанесення покриття, %

Плазмово-дугове напилювання виконувалося на плазмовій установці потужністю 30 кВт, а всі варіанти електродугового наплавлювання на установці потужністю 10 кВт. Залежність енерговитрат на нанесення покриття від способу нанесення покриття показана на рис. 6.



Рис. 6. Витрати на оплату електроенергії на нанесення покриття в залежності від способу нанесення покриття, %

На основі порівняльного аналізу чотирьох дугових способів нанесення покриття: плазмове напилювання, наплавлювання в середовищі вуглекислого газу, наплавлювання під шаром флюсу та наплавлювання порошковим дротом на прикладі відновлення трьох корінних шийок колінчастого валу виявлено, що найменші припуски на механічну обробку забезпечує плазмове напилювання. Це забезпечується найменшими значеннями мікронерівностей напиленої поверхні, глибини дефектного шару та мінімальним розсіюванням допуску розмірів при нанесенні покриття. Найбільші припуски вимагаються при електродуговому наплавленні в середовищі вуглекислого газу. Основний час суттєво залежить від коливань величини припуску, що наноситься на відновлювану поверхню, що визначає кількість робочих ходів на виконання операцій механічної обробки. У разі електродугового наплавлення в середовищі вуглекислого газу розрахований припуск становить близько 3,9 мм та перевищує майже у 8 разів припуск у разі плазмово-дугового напилювання (0,5 мм); час механічної обробки при електродуговому наплавленні в середовищі вуглекислого газу становить 3,9 хв і перевищує час при плазмово-дуговому напилюванні майже в 1,5 рази (2,58 хв). Основний час нанесення покриття найбільший при електродуговому наплавлюванні в середовищі вуглекислого газу 7,78 хв, а найменший при плазмово-дуговому напилюванні 3,28 хв.

Найбільші енерговитрати механічної обробки після нанесення покриття при електродуговому наплавленні в середовищі вуглекислого газу, найменші енерговитрати на механічну обробку складають для плазмово-дугового напилювання – на 31 % менше.

Дослідження показали, що найбільші енерговитрати спостерігаються у разі плазмово-дугового напилювання, що зумовлюється найбільшою величиною основного часу нанесення покриття. Найменші витрати електроенергії будуть у разі електродугового наплавлення порошковим дротом, що на 47 % менше від плазмово-дугового напилювання.

Висновки

1. На величину витрат на оплату електроенергії в процесі відновлення деталей впливає основний час, який залежить від вибраного способу відновлення та структури технологічного процесу подальшої механічної обробки.

2. Структура технологічного процесу механічної обробки після нанесення покриття залежить від точності розмірів, що забезпечує спосіб нанесення покриття та точності виконаного розміру.

3. На етапі проектування з метою вибору оптимального способу відновлення пропонується розраховувати витрати на електроенергію з урахуванням основного часу, використаної поту-

жності та вартості 1 кВт·год електроенергії.

4. З використанням запропонованих підходів на прикладі колінчастого валу гідронасоса показано, що найраціональнішим за величиною витрат на електроенергію на процес відновлення колінчастого валу є електродугове наплавлення порошковим дротом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Корж В. М. Нанесення покриття / [В. М. Корж, В. Д. Кузнецов, Ю. С. Борисов, К. А. Ющенко]. — К. : Арістей, 2005. — 2004 с.
2. Кузнецов В. Д. Технологія та устаткування наплавлення : навч. пос. / [В. Д. Кузнецов, А. І. Гедрович, А. Б. Жидков, К. В. Воронков]. — Луганськ : вид-во Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. — 253 с.
3. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів в машинобудуванні / П. О. Руденко. — К. : Вища шк., 1993. — 414 с.
4. Мельничук П. П. Технологія машинобудування : підруч. // [П. П. Мельничук, А. І. Боровик, П. А. Лінчевський, Ю. В. Петраков]. — Житомир : ЖДТУ, 2005. — 884 с.
5. Савуляк В. І. Визначення складових припуску на механічну обробку отворів у заготовках з наплавленням функціональним покриттям / [В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, О. В. Шаповалова, В. Й. Шенфельд] // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. — Краматорськ. — 2011. — № 1 (22). — С. 148—150.
6. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів : у 3 кн. Кн. 3 : Ремонт автотранспортних засобів : підруч. / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. — К. : Вища шк., 1994. — 599 с.
7. Горбачевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. — М. : ООО ИД «Альянс», 2007. — 256 с.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості

Стаття надійшла до редакції 23.03.12

Рекомендована до друку 23.04.12

Савуляк Валерій Іванович — завідувач кафедри, **Дусанюк Жанна Павлівна** — доцент, **Шиліна Олена Павлівна** — доцент.

Кафедра технології підвищення зносостійкості;

Слободянюк Юлія Олегівна — студентка Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця