

УДК 621.914

О.М. Пилипенко, д.т.н., проф.

А.М. Пономаренко, к.т.н., доц.

Черкаський державний технологічний університет

**ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА АВТОМОБІЛЯ МОДЕЛІ
ВАЗ-2109 МЕТОДОМ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЮВАННЯ
ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ
(Повідомлення № 1)**

Створена багатофакторна модель технологічного процесу отримання зносостійкого покриття на основі самофлюсуючого порошку. Модель дозволяє встановити безпосередній зв'язок між енергетичними параметрами роботи плазмотрона та якістю нанесеного покриття.

Постановка проблеми. Відновлення автодеталей є одним із основних методів підвищення ефективності авторемонтного виробництва. Якість відновлення деталей в значній мірі залежить від відповідності застосування того чи іншого способу усунення дефектів об'єктам ремонту. Сучасне авторемонтне виробництво нараховує багато різних способів відновлення автодеталей, які забезпечують їх надійну роботу протягом встановлених межремонтних термінів служби автомобілів [1].

Проте одним із головних недоліків цих способів є створення на автодеталі покриття з відносно низьким терміном дії. Зокрема, це стосується газотермічного способу – електродугової металізації [2].

Альтернативним вирішенням цієї проблеми є спосіб плазмового напилювання зносостійких покриттів на зношені частини автодеталей. На відміну від електродугової металізації, він є більш ефективним, зокрема для відновлювання колінчастих валів автомобілів. Це пояснюється використанням високоентальпійного газу, якісним проплавленням часток напилювання і високою силою адгезійного та когезійного зчеплення покриття з матеріалом основи.

Метою даної роботи було створення багатофакторної моделі технологічного процесу отримання зносостійкого покриття на зношеній частині колінчастого вала автомобіля ВАЗ-2109.

Автори, спираючись на роботи вітчизняних, російських та японських вчених (Ю.А. Харламова, В.В. Кудінова, А.Хасуй), поставили за мету вдосконалити технологію відновлення зношених частин колінчастого вала автомобіля ВАЗ-2109 для вітчизняного обладнання шляхом оптимізації робочих параметрів процесу плазмового напилювання.

Основна частина. Загальновідомо, що основними частинами зношування у колінчастому валу є корінні та шатунні шийки відповідно. В процесі роботи двигуна автомобіля протягом певного терміну його експлуатації нерівномірно зменшується діаметр корінних та шатунних шийок (в результаті активного абразивного зношування, що викликається періодичним тертям дрібних часток металу по зовнішній поверхні шийок).

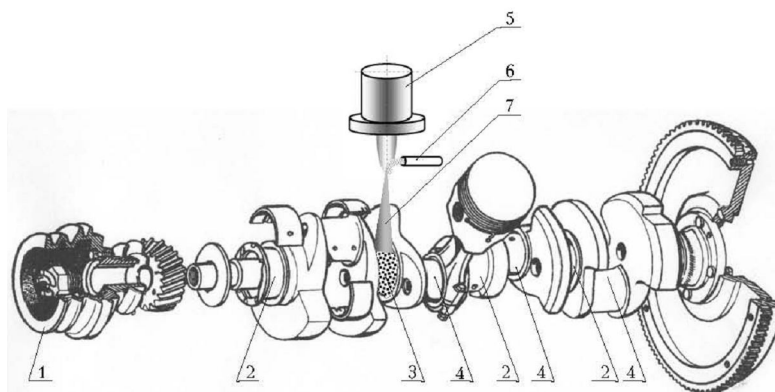


Рис. 1. Схема процесу повітряно-плазмового напилювання зносостійкого покриття на корінну шийку колінчастого вала двигуна автомобіля ВАЗ-2109:

*1 – корпус колінчастого вала; 2, 4 – корінні й шатунні шийки відповідно;
3 – зносостійке покриття; 5 – плазмотрон марки ПМ-2; 6 – ежектор подачі порошкового матеріалу; 7 – плазмовий струмінь*

Як матеріал для напилювання (для відновлення зовнішньої поверхні шийок) був вибраний самофлюсуючий порошок на нікелевій основі марки ПГ-СР4 [3]. Схема процесу напилювання зносостійкого покриття, яка була реалізована на установці плазмового напилювання ОПН-11, наведена на рисунку 1.

Оптимізація режиму напилювання зносостійкого покриття проводилась з використанням методу планування Бокса–Уілсона [4].

Критерієм оптимізації було обрано максимальне значення сили адгезійного зчеплення покриття з матеріалом основи σ_a . Визначення σ_a проводилось з використанням методики [5], спеціально розробленої для визначення σ_a плазмових покриттів на тілах обертання (у тому числі й на шийках колінчастих валів). Матриця планування 1/2 повнофакторного експерименту наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту плазмового напилювання захисного металокерамічного композиційного покриття

Номер досліджу	Фактори				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	+	+	+	+	+
2	-	-	+	+	+
3	-	+	-	-	-
4	+	-	-	-	-
5	-	+	-	+	+
6	+	-	-	+	+
7	+	+	+	-	-
8	-	-	+	-	-
9	-	+	+	+	-
10	+	-	+	+	-
11	+	+	-	-	+
12	-	-	-	-	+
13	-	+	+	-	+
14	+	-	+	-	+
15	+	+	-	+	-
16	-	-	-	+	-

Рівні факторів експерименту наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Рівні факторів експерименту

Фактори	Кодоване значення факторів	Інтервал варіювання	Рівні факторів		
			верхній +1	основний 0	нижній -1
Сила струму струги I, А	X_1	15	220	205	190
Напруга дуги U, В	X_2	10	200	190	180
Витрата плазмотворюючого газу $G_{ПГ} \cdot 10^{-4}$, кг·с ⁻¹	X_3	2,15	8,6	10,75	12,9
Витрата матеріалу напилювання $G_{ПОР} \cdot 10^{-4}$, кг·с ⁻¹	X_4	1	3	2	1
Дистанція напилювання $L_{ДН}$, м	X_5	0,02	0,15	0,13	0,11

Для знаходження оптимальних параметрів процесу плазмового напилювання було використано математичну модель у вигляді нелінійного рівняння регресії квадратичної форми для 5-ти факторів експерименту:

$$Y(b) = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ij} X_i X_j + \sum b_{ii} X_i^2, \tag{1}$$

де Y_b – параметр оптимізації ($Y_b = \sigma_a$); $b_0, b_i, b_j, b_{ij}, b_{ii}$ – коефіцієнти рівняння регресії.

З використанням рівняння (1) було розраховано коефіцієнти рівняння регресії (у кодованому масштабі):

$$\begin{aligned} b_0 &= 2,871; & b_{14} &= -0,211; \\ b_{11} &= 0,667; & b_{15} &= 0,426; \\ b_{22} &= 0,334; & b_{23} &= 0,034; \\ b_{33} &= 0,167; & b_{24} &= 0,789; \\ b_4 &= 0,112; & b_{25} &= -0,145; \\ b_5 &= 0,389; & b_{34} &= 0,083; \\ b_{12} &= -0,125; & b_{35} &= 0,182; \\ b_{13} &= -0,378; & b_{45} &= -0,782. \end{aligned}$$

Табличне значення критерію Фішера при 16 основних дослідках та рівні значимості (0,05) дорівнює 2,05. Не значимими виявилися коефіцієнти $b_1, b_2, b_3, b_{44}, b_{55}$.

Математична модель, яка визначає характер залежності сили адгезійного зчеплення зносостійкого покриття з матеріалом основи від п'яти прийнятих факторів, має вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_a &= 2,871 + 0,667 \cdot X_1^2 + 0,334 \cdot X_2^2 + 0,167 \cdot X_3^2 + 0,112 \cdot X_4 + 0,389 \cdot X_5 - 0,125 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ &- 0,378 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,211 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,426 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,034 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,789 \cdot X_2 \cdot X_4 - \\ &- 0,145 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,083 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,182 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0,782 \cdot X_4 \cdot X_5, \end{aligned} \quad (2)$$

Матриця ранжирування має такий вигляд (табл. 3).

Таблиця 3

Матриця ранжирування дослідів із визначення сили адгезійного зчеплення покриття з матеріалом основи

Номер дослідів	Ранг матриці (значення σ_a)
1	29
2	22
3	20
4	25
5	22
6	24
7	31
8	22
9	27
10	30
11	33
12	18
13	29
14	35
15	30
16	22

Під час проведення дослідів № 14 (при відповідному режимі напилюванні – табл. 1, 2) було отримано покриття з найбільшим значенням сили адгезійного зчеплення.

Оптимізація функції $Y = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ проводилась із використанням методу крутого сходження [6] (табл. 4).

Коефіцієнти рівняння регресії (2) відповідають вибраним режимам процесу повітряно-плазмового нанесення зносостійкого покриття згідно з матрицею планування чисельного експерименту.

Таблиця 4

Оптимальні технологічні параметри технологічного процесу нанесення зносостійкого покриття на основі порошку ПГ-СР4 на корінну шийку колінчастого вала автомобіля ВАЗ-2109

I, А	U, В	$G_{ПГ} \cdot 10^{-4}, \text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$	$G_{ПОР} \cdot 10^{-4}, \text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$	$L_{ДН}, \text{м}$	$\sigma_a, \text{МПа}$
205	195	10,75	3	0,12	35

Враховуючи точність геометричних розмірів корінних і шатунних шийок колінчастого вала (7 квалітет) та чистоту поверхні ($R_a 0,40$), необхідно після напилення здійснювати механічну обробку жорстким лезовим і абразивним інструментами. Це є традиційним варіантом вирішення задачі забезпечення якості поверхневого шару покриття. Але високий термосиловий режим процесів різання збільшує рівень структурної пошкоджуваності напиленого самофлюсівного матеріалу, що може призвести до його руйнування при експлуатації колінчастого вала.

З метою стабілізації гетерогенної структури покриття і навіть часткового зменшення рівня пошкоджуваності здійснювалось комбіноване різання різцем, оснащеним різальною непереточуваною киборитовою пластинкою, з такими геометричними параметрами: $\gamma = -10^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi_2 = 50^\circ$, $\lambda = 0^\circ$. При цьому на елементи технологічної системи накладались примусові ультразвукові (УЗ) коливання з частотою 20 кГц і амплітудою 10 мкм (рис. 2).

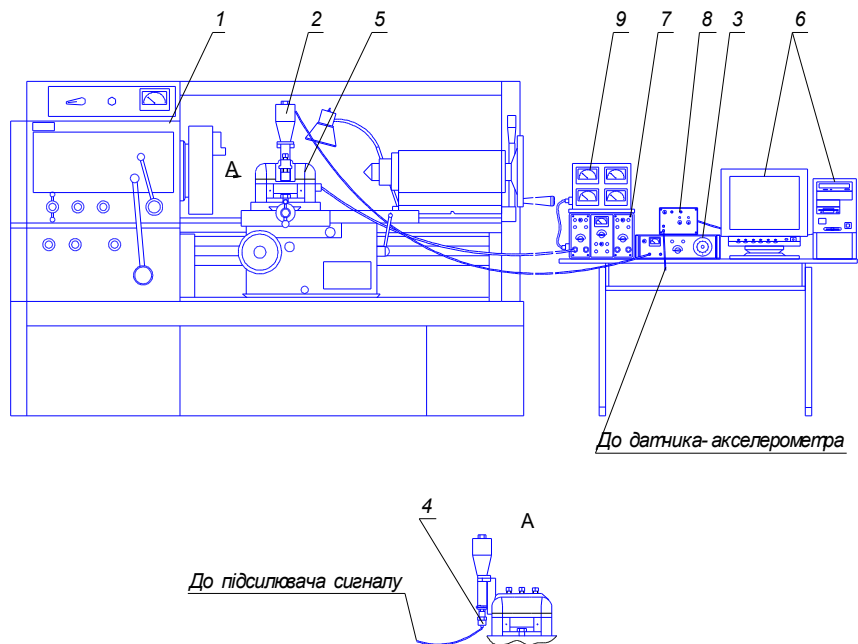


Рис. 2. Загальна компоновка дослідницької установки:

- 1 – верстат; 2 – магніостриктор; 3 – генератор імпульсів;
4 – різець; 5 – динамометр; 6 – комп'ютер; 7 – тензометричний підсилювач;
8 – підсилювач імпульсів; 9 – щит приладів

В процесі комбінованого різання відбувається зміна переднього кута різця і, як наслідок, періодично змінюється коефіцієнт зіступання стружки, фактична швидкість різання, поперечний перетин стружки. Крім того, через дислокаційне поглинання енергії УЗ-коливань (дислокації осердя частинок і міжчастинкової зони) рівень структурної пошкоженості матеріалу покриття знижується і він набуває більшої пластичності. Інтенсифікація руху дислокацій дозволяє знизити зусилля деформування елементної стружки, а ударна дія різця знижує рівень залишкових напружень і перерозподіляє їх більш рівномірно по об'єму підрізцевої зони.

Для автоматизації процесу комбінованого різання була розроблена автоматизована система експериментальних досліджень (АСЕД) на базі комп'ютера Pentium 150 з процесором Intel-Pentium CPU at MHz з синхронною частотою обробки інформації 150 МГц (рис. 3).

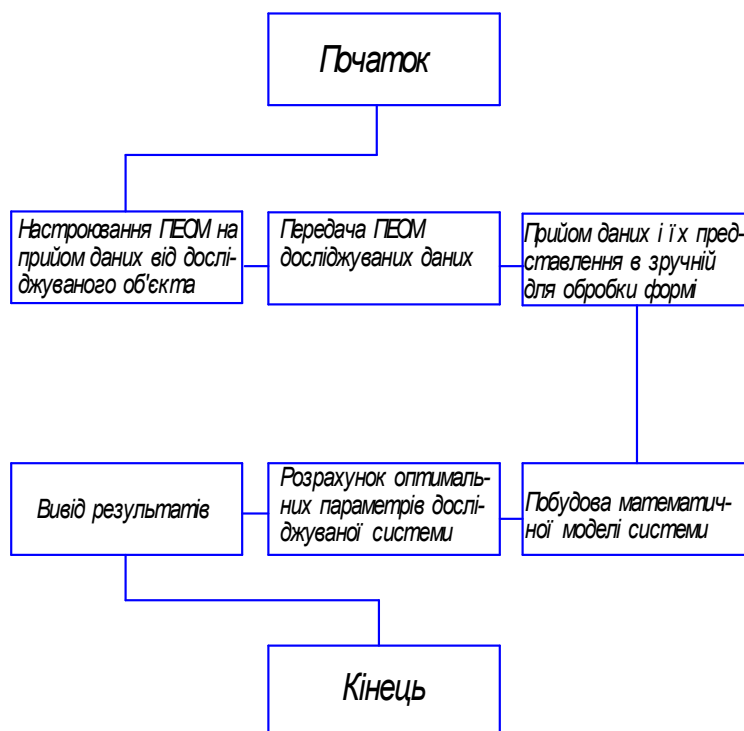


Рис. 3. Блок-схема загального алгоритму функціонування АСЕД

Після настроювання ЕОМ на режим прийому даних про досліджувану систему різання покриттів спрацьовує апаратна частина АСЕД (магнітостриктор, датчики-акселерометри, робочі органи верстату). Після представлення сигналів у вигляді, зручному для обробки, вони передаються обробляючому й аналізуючому пристроям ПЕОМ. На цьому етапі спрацьовує програмна частина комплексу АСЕД, яка реалізує математичний бік дослідження, проводить оптимізацію методом кругого сходження Бокса–Уілсона і видає результати дослідження згідно зі схемою зі зворотним зв'язком, що показана на рисунку 4.

Сигнал, що отримується від динамометра УДМ-100 підсилюється в блоці підсилювального каскаду і з аналогової форми перетворюється у цифрову. Тому на виході цього блока формується 16-ти бітний код, який подається на шину даних ПЕОМ.

Інший основний підмодуль інтерфейсної частини, маючи сформований 16-бітний код, здійснює передачу коду або процесору ПЕОМ, або безпосередньо в його ОЗУ шляхом обміну по перериванню. Цей тип обміну для даної АСЕД (у порівнянні з синхронним, асинхронним і прямим доступом до пам'яті) є більш доцільним.

Задачею програмної частини АСЕД є прийом даних, що отримуються за допомогою апаратної частини, реалізація математичного апарата і вивід результатів. Отже загальну задачу можна розділити на дві підзадачі: підзадача вводу–виводу і підзадача обробки інформації. Перша підзадача є стандартною, а друга реалізує сукупність математичних розрахунків, результатом яких є визначення оптимальних режимів.

Реалізація програмної частини АСЕД здійснюється на мові програмування JAVA, що дозволяє розмішувати програми на WEB-сторінках глобальної комп'ютерної мережі Інтернет. Загальний словесний алгоритм функціонування АСЕД (рис. 3) можна представити так. Спочатку відбувається настроювання ПЕОМ на режим приймання даних від досліджуваної системи. Потім досліджувана система починає функціонувати і необхідні для дослідження дані вводяться у ПЕОМ. На наступному етапі починає роботу драйвер, що обслуговує апаратну частину системи. Драйвер записує отримані дані (миттєві напруження, що знімаються з УДМ-100 з частотою дискретизації 100 kHz) у файл, який потім обробляється за допомогою програмного пакета Inter Link (1.0). Результатом обробки є дійсні значення напружень. Потім перетворені дані обробляються за допомогою програмних засобів, що написані на мові програмування Pascal, будується математична модель процесу і за визначеними правилами розраховуються регресійні коефіцієнти математичної моделі. Після отримання результатів роботи першої частини програмного продукту ініціюється робота JAVA-програми, яка здійснює розрахунок оптимальних параметрів і видає остаточний результат досліджень.

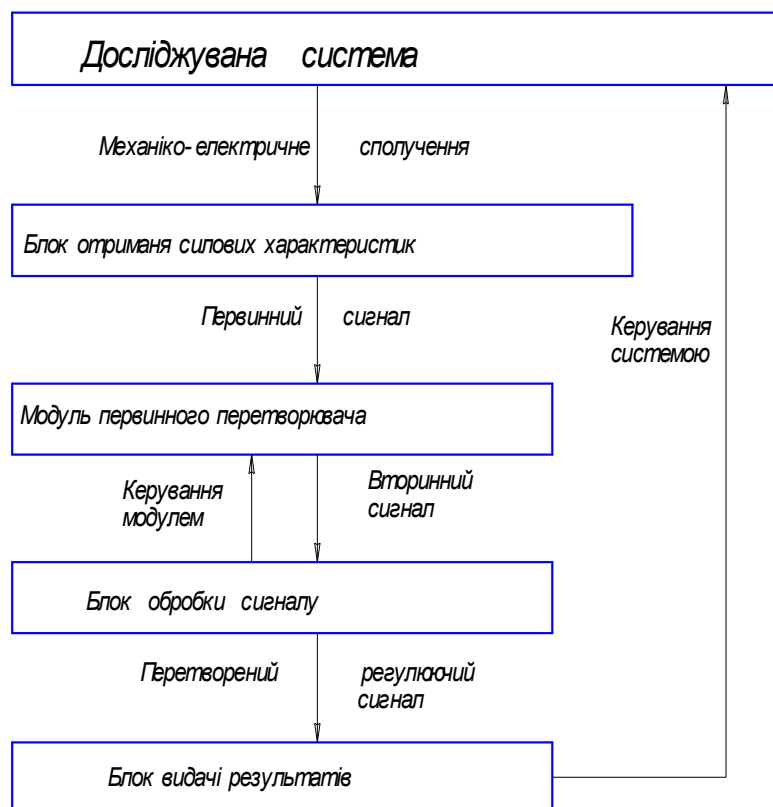


Рис. 4. Схема функціонування комплексу АСЕД

Висновки. На основі виконаної роботи можна зробити такі висновки:

1. Методом теорії планування експерименту була проведена оптимізація технологічного процесу нанесення зносостійкого покриття на нікелевій основі, де як критерій оптимізації було взяте максимальна значення сили адгезійного зчеплення зносостійкого покриття з матеріалом основи.

2. Аналіз отриманих результатів показав, що максимальне значення σ_a забезпечувалося завдяки розрахованим оптимальним значенням технологічних параметрів процесу плазмового напилювання (яке було отримане при режимі: $I = 190$ А, $U = 200$ В, $G_{ПГ} = 10,75 \cdot 10^{-4}$ кг·с $^{-1}$, $G_{ПОР} = 3 \cdot 10^{-3}$ кг·с $^{-1}$, $L_{СЕ} = 0,12$ м).

3. Розробка спеціальної установки й автоматизованої системи експериментальних досліджень сил різання покриття ПГ-СР4 комбінованим методом киборитовим різцем дозволила оптимізувати режими різання і за постійних значеннях амплітуди та частоти примусових коливань ($A = 10$ мкм, $f = 20$ кГц) визначити екстремум досліджуваної функції при $t = 18$ мм; $S = 0,07$ мм/об.; $V = 0,9$ м/с. (Матриця планування і програмний продукт детально представлені у повідомленні 2).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Харламов Ю.А., Будагянц Н.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Луганск: Изд-во Восточно-укр. национ. ун-та им. В.Даля, 2003. – 389 с.
2. Орлов В.И. Газотермическое напыление коррозионностойких и износостойких материалов. – Л.: ЛДНТП, 1986. – 142 с.
3. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. – К.: Техника, 1986. – 222 с.
4. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971. – 389 с.
5. Пономаренко А.М. Оптимізація технології нанесення захисних плазмових покриттів на труби пароперегрівачів: Дис...к.т.н: 05.03.06. – Черкаси, 2004. – 188 с.
6. Румишский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 195 с.

ПИЛИПЕНКО Олександр Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Автомобілі та технології їх експлуатації” Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- покращення експлуатаційних характеристик автомобілів;
- технологія механічної обробки важкооброблюваних матеріалів.

ПОНОМАРЕНКО Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри “Автомобілі та технології їх експлуатації” Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- розробка технологій відновлювання і покращення експлуатаційних характеристик автодеталей методами газотермічного та іонно-плазмового напилювання.

Подано 10.01.2006

УДК 621.914

Восстановление коленчатого вала автомобиля модели ВАЗ-2109 методом воздушно-плазменного напыления износостойкого покрытия / Пилипенко О.М., Пономаренко А.М.

Создана многофакторная модель технологического процесса получения износостойкого покрытия на основе самофлюсующего порошка. Модель позволяет установить непосредственную связь между энергетическим параметрами работы плазмотрона и качеством нанесенного покрытия.

УДК 621.914

Renewal of a crankshaft of automobile of VAZ-2109 model by the method of air-plasma spraying of wear resistance covering / Pylypenko O.M., Ponomarenko A.M.

The multifactor model of the technological process of wear resistance covering obtaining on the base of self-flux powder is created. The model allows to determine direct relation betwin power parameters of plasma generators, work and the quality of applied covering.

Пилипенко О.М., Пономаренко А.М. Відновлення колінчастого вала автомобіля моделі ВАЗ-2109 методом плазмового напилювання зносостійкого покриття

Пилипенко О.М., Пономаренко А.М. Восстановление коленчатого вала автомобиля модели ВАЗ-2109 методом воздушно-плазменного напыления износостойкого покрытия

Pylypenko O.M., Ponomarenko A.M. Renewal of a crankshaft of automobile of VAZ-2109 model by the method of air-plasma spraying of wear resistance covering