

Розрахункове значення коефіцієнта усадки $k_y = 0,63$; експериментально визначений коефіцієнт втрат тиску на вході в литвеву щілину $N = 10,5; 13,0; 15,0$ при висоті щілини відповідно $b = 2,0; 1,5; 1,0$ мм.

Розрахункові та експериментальні значення товщин плівок відрізняються не більше ніж на 14 %, що дає можливість зробити висновок про адекватність математичної моделі лиття плівки.

1. Циборовский Я. Основы процессов химической технологии. – Л., 1967. 2. Пляновский А.Н., Рамм В.М., Каган С. 3. Процессы и аппараты химической технологии. – М., 1967. 3. Пальчевский Б.А. Исследование процесса литья пленок для получения покрытий электронных приборов // Электронная техника. Сер. 7. – 1975. – Вып. 4.

УДК 621.9.048.6

Я.М. Кусий, О.Р. Баранецька*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування

*кафедра нарисної геометрії та графіки

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІЦНЮВАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ДОВГОМІРНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

© Кусий Я.М., Баранецька О.Р., 2002

У статті досліджено вплив технологічних параметрів методу ВВЗО стосовно довгомірних циліндричних деталей із конструкційних матеріалів. Наведено методику досліджень, принципові схеми зміцнювального інструмента з електромагнітним приводом та обладнання для реалізації методу ВВЗО. Проаналізовано математичні та графічні залежності впливу технологічних параметрів методу ВВЗО стосовно фізичних параметрів якості довгомірних циліндричних деталей із конструкційних матеріалів.

The influence of technological parameters of a vibratory-centrifugal strengthening treatment (VCST) for hardening of long-sized cylindrical details, which are manufactured of constructional materials, is explored in this article. The procedure of research examinations, principle diagrams of the hardening instrument with an electromagnetic drive and mechanisms for embodying a vibratory-centrifugal strengthening treatment is suggested. The mathematical equations and pictorial diagrams of technological parameter's influence of a method VCST for physical properties quality of long-sized cylindrical details, which are manufactured of constructional materials, are analysed.

Успішне вирішення одного із основних завдань народного господарства, загалом, та машинобудування, зокрема, забезпечення експлуатаційних характеристик довгомірних деталей форми тіл обертання технологічними методами, тісно пов'язане із вдосконаленням технології виготовлення цих виробів та управлінням показниками якості оброблюваних поверхонь, зокрема

на фінішних операціях, що в результаті визначає експлуатаційний ресурс довгомірних циліндричних деталей (ДЦД) та вузлів машин, до складу яких вони входять.

Сутність проблеми забезпечення експлуатаційних характеристик ДЦД, які належать до нежорстких деталей, полягає в тому, що відсутні ґрунтовні теоретичні та експериментальні дослідження щодо забезпечення надійності та підвищення довговічності довгомірних стрижневих виробів. Це ускладнює впровадження ДЦД у практику машинобудівного виробництва. Крім того, забезпечення оптимальних фізичних показників якості, які відіграють домінуючу роль у формуванні експлуатаційних характеристик поверхневого шару ДЦД, затруднено через відсутність чітких критеріїв їх оцінки та рекомендацій стосовно вибору технологічних параметрів фінішних чи викінчувально-зміцнювальних операцій.

У Національному університеті “Львівська політехніка” розроблено метод вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення (ВВЗО), спроектовано та виготовлено реалізуюче його технологічне обладнання, яке здатне, на нашу думку, ефективно вирішити проблему технологічного забезпечення фізичних параметрів якості ДЦД, зокрема, при обробленні внутрішніх циліндричних поверхонь ДЦД.

Довговічність та надійність деталей машин значною мірою залежать від матеріалу та його фізико-механічних характеристик, які впливають на експлуатаційні властивості як виробу, загалом, так і його поверхневого шару, зокрема [1]. Матеріалами для виготовлення довгомірних циліндричних деталей служать як сталі (вуглецеві, низько- та високолеговані), так і кольорові метали (алюміній, мідь, титан та сплави на їх основі).

Переважну більшість ДЦД виготовляють із різних марок сталей. Кольорові метали та сплави на їх основі застосовують в основному для виготовлення різновидів трубчастих виробів.

Зокрема в масовому та серійному виробництвах автотракторного та сільськогосподарського машинобудування більше 85 % ДЦД типу “втулка” виготовляють із безшовних труб із коефіцієнтом використання матеріалу $k_M = 0,6 \div 0,75$, а з прокату – менше 10 % ($k_M = 0,3 \div 0,5$). У той же час, гільзи силових циліндрів виготовляють із сталених безшовних труб із різним ступенем точності у такому відсотковому співвідношенні: 26 % – гарячекатані ($k_M \leq 0,6$), холодно-тягнуті – 59 % ($k_M = 0,6 \div 0,7$), прецизійні – 15 % ($k_M = 0,7 \div 0,8$). Литво та кування використовують для представників класу “пустотілі циліндри” складної конфігурації. Більшість трубчастих виробів типу “втулка”, що використовують у автотракторному та сільськогосподарському машинобудуванні, виготовляють із вуглецевих сталей марок 10÷45 (77 %), низьколегованих сталей марок 15X÷40X (19,5 %) і лише 3,5 % із високолегованих сталей та кольорових металів. Більше 96 % ДЦД типу “гільза” виготовляють із сталей марок 20, 35, 45, 40X.

У роботі досліджувався вплив технологічних параметрів процесу ВВЗО із застосуванням електромагнітного зміцнювального пристрою з пружними системами стосовно забезпечення фізичних параметрів якості ДЦД із конструкційних сталей.

Методика проведення експериментальних досліджень.

Вибір зміцнювального інструмента, зразків, матеріалів, основного та допоміжного обладнання для реалізації процесу ВВЗО

Зважаючи на поставлені задачі досліджень, спроектовані зміцнювальні пристрої для оброблення внутрішніх та зовнішніх поверхонь ДЦД [2]. Принципова схема спеціального однопривідного електромагнітного вібраційно-відцентрового зміцнювального пристрою з пружними системами зображена на рис. 1. Лабораторний однопривідний електромагнітний вібраційний пристрій з пружними системами МТ-1, який призначений для викінчувального

оброблювання внутрішніх поверхонь ДЦД, складається із двох пружно-коливних систем, що містять складники електромагнітного приводу (якір 2 та статор 3 із трьома рівномірно розташованими по колу котушками електромагнітів 4), диски-сепаратори 5, 6 із деформуючими тілами 7 та спільний елемент – основу 1. Елементи пружно-коливних систем з'єднані між собою пружними стрижнями – торсіонами 8, 9 за допомогою відповідних посадок та різевих елементів. Зміцнювальний інструмент базується на оброблюваній внутрішній поверхні ДЦД 11 за допомогою напрямних гумових роликів 10. При подачі напруги на котушки електромагнітів 4 статора 3 за рахунок сили електромагнітного притягання якір 2 притягується по чергово до кожного з них. Коливні рухи статора та якоря відбуваються у протифазі. Диски-сепаратори 5, 6, що приєднані до статора та якоря, починають здійснювати коливально-обкатні рухи, які супроводжуються ударами по внутрішній поверхні оброблювальної деталі виступаючими деформуючими тілами 7. В кожен проміжок часу контактування деталі з ударними зміцнювачами відбувається з ударом при контакті через незначну кількість кульок, розташованих вздовж твірних оброблювальної поверхні деталі, що призводить до розвитку великих контактних напружень у матеріалі оброблюваної деталі в місцях контакту, внаслідок чого відбувається наклеп поверхневого шару матеріалу деталі і відбувається процес зміцнення.

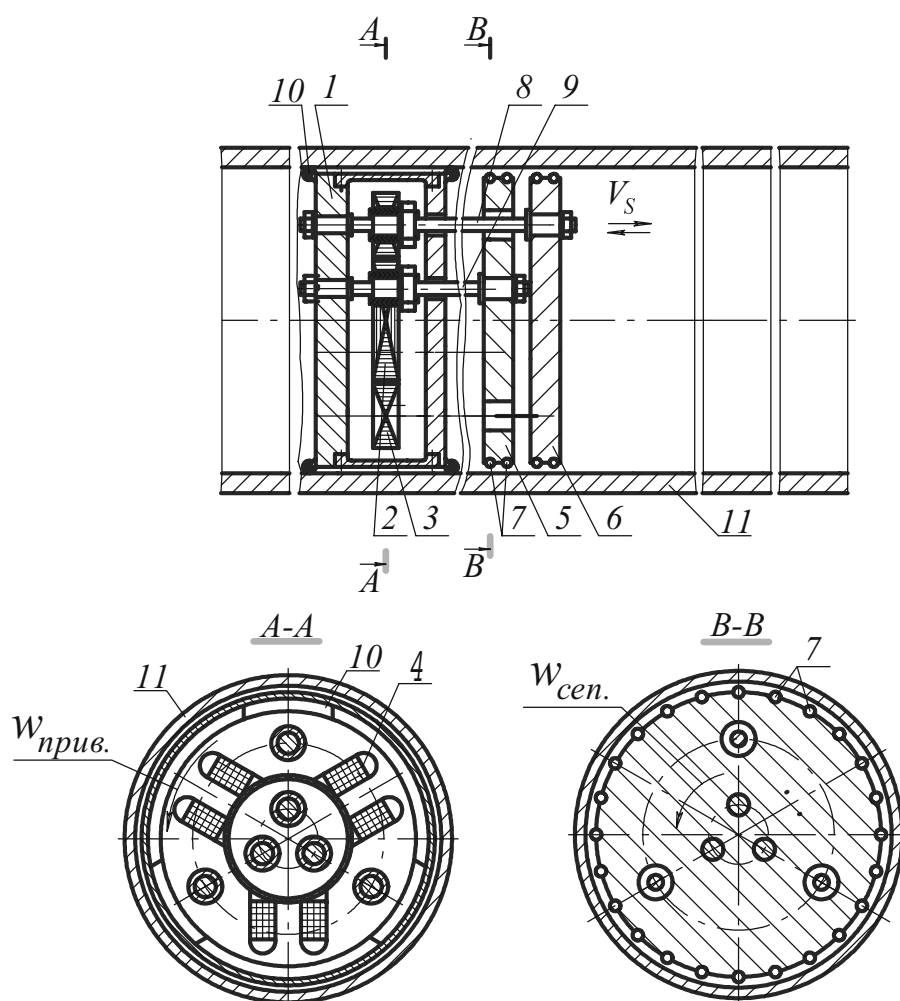


Рис. 1. Принципова схема лабораторного однопривідного електромагнітного вібраційного пристрою з пружними системами МТ-1

Експериментальні дослідження з визначення фізичних параметрів якості проводили на кільцевих експериментальних зразках (ЕЗ) із сталі 45 ГОСТ 1050-74, з яких вирізали фрагменти та готували за стандартною методикою шліфи для подальших вимірювань параметрів зміцнення.

Для проведення експериментальних досліджень стосовно визначення фізичних параметрів якості поверхні було розроблено устаткування (рис. 2), для якої використали столи вертикально-фрезерного верстата мод.6Р12 та горизонтально-фрезерного верстата мод.6Н81. Фрагменти ДЦД 6, 7 із приєднаним до них експериментальним зразком 8 за допомогою призм 2, 3, 4, 5 та відповідних приєднувальних елементів закріплювали до столу 1 горизонтально-фрезерного верстата. Зміцнювальний інструмент на напрямних роликах 19 основи 13 базується на внутрішній циліндричній поверхні ДЦД фрагмента 12, який закріплений на призмах 10, 11 до столу 9 вертикально-фрезерного верстата. За допомогою руху поздовжньої подачі стола 1 в автоматичному чи ручному режимі зміцнювальний пристрій розміщують у фрагменті 7 так, щоб диски-сепаратори 16, 17 знаходилися перед ЕЗ 8. При подачі живлення на котушки електромагнітів між складниками електромагнітного приводу (СЕР) (на принциповій схемі не показано) виникає електромагнітне поле, СЕР здійснюють кругові плоско-паралельні коливання, які за допомогою пружної системи на торсіонах 14, 15 передаються робочим органам інструмента – дискам-сепараторам 16, 17 із деформуючими тілами 18. При забезпеченні необхідної амплітуди коливань диски-сепаратори починають виконувати коливально-обкатні рухи, що супроводжуються поверхневим пластичним деформуванням матеріалу фрагменту 7 та його нагартуванням. За рахунок подачі стола диски-сепаратори 16, 17 вступають в контакт із оброблювальною поверхнею ЕЗ 8 і здійснюють його оброблення. Можливі схеми оброблення ЕЗ (одним сепаратором, комбіноване, одно-, багатопрхідне тощо) визначається поставленим завданням експериментальних досліджень та матрицями планування експериментів.

Вибір методів та факторів математичного планування експериментів

Для комплексного вивчення основних технологічних факторів на фізичні параметри якості ДЦД (мікротвердість, глибина зміцненого шару та ступінь нагартування) та побудови математичних моделей у вигляді поліноміальних залежностей параметрів оптимізації від параметрів варіювання доцільно використати метод факторного планування із використанням плану виду 2^k , де k – кількість факторів варіювання [3, 4]. Формування фізичних параметрів якості ДЦД, які відіграють домінуючу роль у підвищенні довговічності та забезпеченні надійності, відбувається внаслідок впливу основних технологічних параметрів (ОТП) процесу ВВЗО: приведеної жорсткості ділянок пружних систем ЕЗП $c_{\text{прив.}}$ (у цьому випадку приведена жорсткість дорівнює добутку жорсткості ділянки пружної системи між складником електромагнітного приводу та виконавчим органом пристрою $c_{\text{ПРИВ.+ВИК.ОРГ.}}$ на співвідношення їх мас $m_{\text{ПРИВ.}}$ та $m_{\text{ВИК.ОРГ.}}$:

$$c_{\text{прив.}} = c_{\text{ПРИВ.+ВИК.ОРГ.}} \cdot \frac{m_{\text{ПРИВ.}}}{m_{\text{ВИК.ОРГ.}}}, \text{ маси робочого органа ЕЗП } m_{\text{роб.орг.}}, \text{ швидкості подачі}$$

V_s , величини натягу “і” (різниці між реальною амплітудою коливань та максимальною амплітудою коливань, яку можна досягти на межі неробочого ходу та перехідного режимів оброблення), кількості проходів n . Взаємний вплив основних технологічних параметрів

(ОТП) ВВЗО на фізичні параметри ДЦД через складність теоретичного прогнозування оброблення доцільно досліджувати експериментально. Кодове позначення та рівні варіювання факторів наведено у табл. 1.

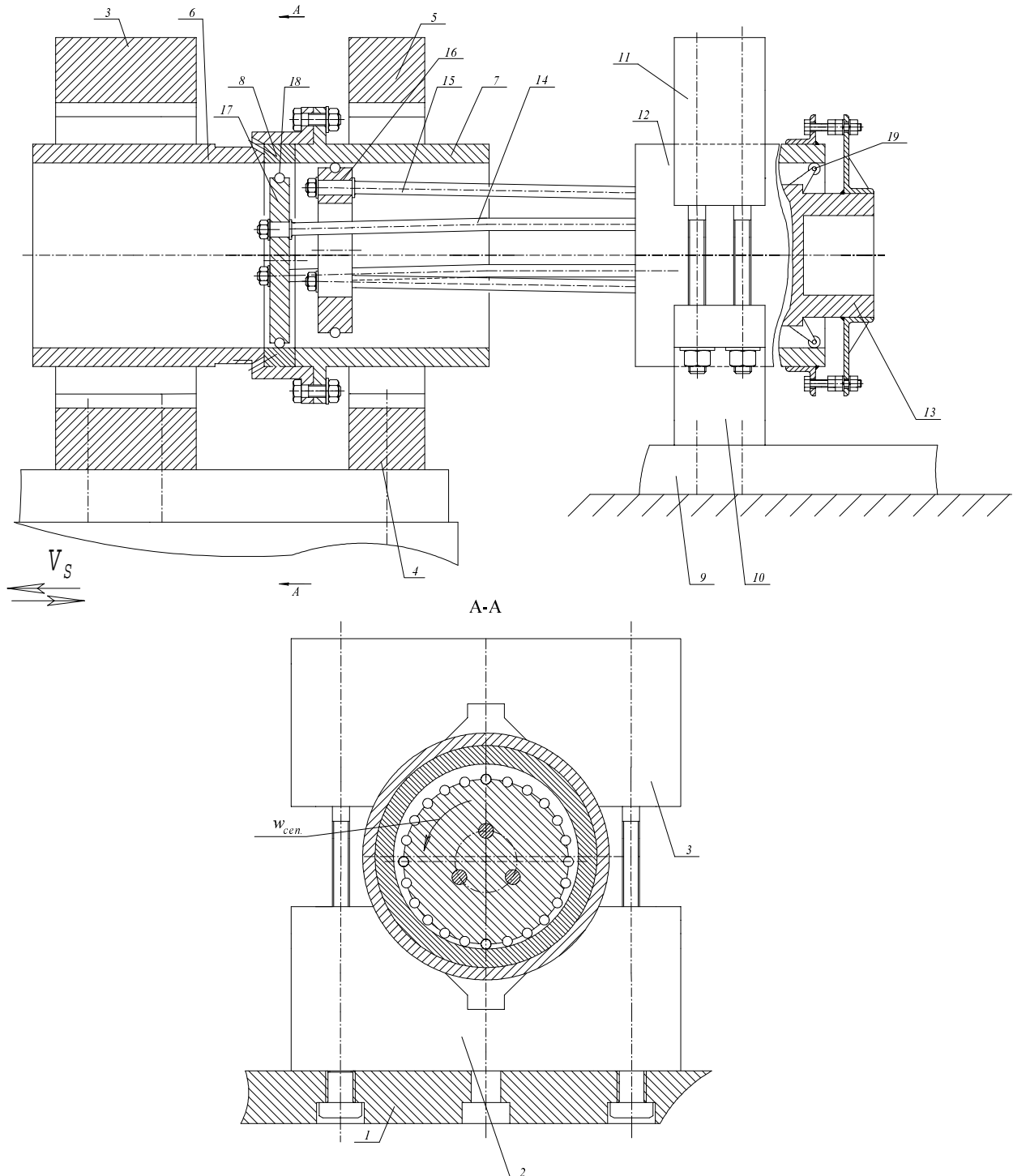


Рис. 2. Принципова схема устави для дослідження впливу основних технологічних параметрів процесу ВВЗО стосовно фізичних параметрів якості ДЦД

Рівні варіювання факторів при дослідженні їх впливу на фізичні параметри якості ДЦД із конструкційних матеріалів

№ з/п	Характеристика фактора	Кодове позначення	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			Верхній	Нижній	
1	Приведена жорсткість ділянок пружних систем $c_{\text{прив.і}}$, Н/м	X_1	$3.317 \cdot 10^5$	$7.471 \cdot 10^5$	$4.154 \cdot 10^5$
2	Маса робочого органу зміцнювального пристрою $m_{\text{роб.орг.і}}$, кг	X_2	1.8	3.0	1.2
3	Швидкість подачі V_S , мм/хв	X_3	35	135	100

Вплив технологічних параметрів ВВЗО при використанні електромагнітних зміцнювальних пристроїв (ЕЗП) з пружними системами на формування фізичних параметрів якості ДЦД із конструкційних сталей.

При обробленні зразків із сталі 45 ГОСТ 1050-74 електромагнітним вібраційно-відцентровим зміцнювальним пристроєм контролювали фізичні параметри якості ЕЗ ДЦЦ: максимальне значення мікротвердості H_{μ} , товщину зміцненого поверхневого шару a та ступінь нагартування ϵ при різних умовах оброблення. ОТП при обробленні ЕЗ із сталі 45 ГОСТ 1050-74 прийнято: приведену жорсткість ділянок пружних систем ($c_{\text{прив.}}$), масу робочого органу зміцнювального інструмента ($m_{\text{роб.орг.}}$) та швидкість подачі (V_S). Інші фактори стабілізовані: амплітуда коливань виконавчого органу зміцнювального пристрою $A = 1,0$ мм; натяг $i = 0,25$ мм; кількість проходів $n = 1$. Межі зміни факторів, вибрані на підставі рекомендацій літературних джерел та пробних проходів під час оброблення ВВЗО, наведено у табл. 1. Матриці планування повних багатофакторних експериментів 2^3 та виміряні значення зазначених фізичних параметрів якості ДЦД наведено у табл. 2.

Оброблення результатів експериментальних досліджень проводили згідно з методикою [3, 4]. Математичні залежності у кодованих змінних для визначення фізичних параметрів якості при обробленні ВВЗО за допомогою ЕЗП з пружними системами після перевірки однорідності дисперсій відтворюваності у дослідах за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів регресій за допомогою критерію Стьюдента та адекватності математичних моделей при використанні критерію Фішера матимуть вигляд

$$Y_{H_{\mu}} = 2157.917 + 45.833 \cdot X_1 + 29.792 \cdot X_2 - 51.875 \cdot X_3 + 20.208 \cdot X_1 \cdot X_2 - 19.375 \cdot X_1 \cdot X_3 - 30.833 \cdot X_2 \cdot X_3 - 31.667 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

$$Y_a = 0.1388 + 0.0408 \cdot X_1 - 0.0492 \cdot X_3 - 0.0113 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.0183 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

$$Y_{\epsilon} = 13.574 + 2.4123 \cdot X_1 + 1.5685 \cdot X_2 - 2.7302 \cdot X_3 + 1.063 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1.019 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1.623 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1.6665 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3)$$

Таблиця 2

Матриця планування багатфакторного експерименту 2³
та експериментальні значення фізичних параметрів якості: Π_{Σ} , a , ε

№ п/п	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	Експериментальні значення максимальної мікротвердості Π_{Σ} , МПа						Експериментальні значення товщини зміщеного шару a , мм						Експериментальні значення ступеня наклепування ε , %															
								$\hat{Y}_{\Pi_{\Sigma}=\Pi_{\Sigma}}$						$\hat{Y}_{\Pi_{\Sigma}=\Pi_{\Sigma}}$						$\hat{Y}_{\varepsilon=\varepsilon}$															
								№ експериментального зразка						№ експериментального зразка						№ експериментального зразка															
								1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6										
1	-	-	-	+	+	+	-	2120	2080	2085	2340	2165	2125	2125	2125	2125	2165	2125	2125	2165	2125	0.18	0.14	0.16	0.12	0.17	0.11	0.88	11.58	9.47	9.74	17.89	13.95	11.84	74.47
2	+	-	-	-	-	+	+	2235	2190	2085	2195	2125	2165	2125	2165	2125	2165	2125	2165	2125	2165	0.24	0.20	0.21	0.23	0.23	0.16	1.27	17.63	15.26	9.74	15.53	11.84	12.89	82.89
3	-	+	-	-	+	-	+	2085	2185	2225	2135	2125	2165	2125	2165	2125	2165	2125	2165	2125	2165	0.16	0.12	0.14	0.13	0.11	0.09	0.75	9.74	15.00	17.11	12.37	11.84	13.95	80.01
4	+	+	-	+	-	-	-	2360	2430	2420	2410	2325	2380	2380	2380	2380	2380	2380	2380	2380	2380	0.31	0.30	0.28	0.26	0.28	0.18	1.91	24.21	27.89	27.37	26.84	22.37	25.26	153.94
5	-	-	+	+	-	-	+	2085	1985	2105	2065	2065	2110	2110	2110	2110	2110	2110	2110	2110	2110	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.26	9.74	4.47	10.79	8.68	8.68	11.05	53.41
6	+	-	+	-	+	-	-	2115	2065	2185	2145	2165	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	0.14	0.18	0.14	0.15	0.12	0.09	0.82	11.32	8.68	15.00	12.89	13.95	15.53	77.37
7	-	+	+	-	-	+	-	2145	2025	2035	2165	2065	2105	2105	2105	2105	2105	2105	2105	2105	2105	0.08	0.09	0.10	0.06	0.08	0.05	0.46	12.89	6.58	7.11	13.95	8.68	10.79	60.00
8	+	+	+	+	+	+	+	2160	2130	2120	2210	2085	2115	2115	2115	2115	2115	2115	2115	2115	2115	0.14	0.12	0.09	0.08	0.10	0.08	0.91	13.68	12.11	11.58	11.05	9.74	11.32	69.48

На підставі аналізу результатів дисперсійного аналізу, оцінки частки варіації відклику, зумовленої розглядуваним фактором чи взаємодією, та математичних залежностей (1)–(3) можна зробити такі висновки:

– найбільший вплив на параметр мікротвердості H_c обробленої поверхні ДЦД має швидкість подачі (фактор X_3), потім приведена жорсткість ділянок пружних систем (фактор X_1), взаємодії X_2X_3 , $X_1X_2X_3$ та маса виконавчого органа зміцнювального пристрою (фактор X_2) (відповідно у відсотках 25,9; 20,22; 9,65; 9,15 та 8,54 %). Вплив взаємодій X_1X_2 та X_1X_3 є менш вагомими (відповідно 3,93 та 3,61 %);

– найбільший вплив на товщину зміцненого шару a обробленої поверхні ДЦД має швидкість подачі (фактор X_3), потім приведена жорсткість ділянок пружних систем (фактор X_1), та впливи взаємодій ($X_1X_2X_3$, X_1X_3), що становить (відповідно у відсотках 46,1; 31,79; 6,41 та 2,41 %). Вплив маси виконавчого органа зміцнювального пристрою (фактор X_2) та взаємодій X_2X_3 , X_1X_2 є несуттєвими (відповідно 0,33; 0,4 та 0,03 %);

– найбільший вплив на ступінь нагартування ε обробленої поверхні ДЦД має швидкість подачі (фактор X_3), потім приведена жорсткість ділянок пружних систем (фактор X_1), вплив взаємодій $X_1X_2X_3$, X_2X_3 та маса робочого органа зміцнювального пристрою (фактор X_2), (відповідно у відсотках 31,09; 24,27; 11,58; 10,98 та 10,26 %). Вплив взаємодій X_1X_2 , X_1X_3 є менш вагомим – відповідно 4,71 та 4,33 %.

Математичні залежності для фізичних параметрів якості при обробленні ВВЗО за допомогою ЕЗП з пружними системами із врахуванням лише значимих коефіцієнтів регресій як функції ОТП та їх взаємодій мають вигляд

$$\begin{aligned} H_c = & 2482.217 - 1.047 \cdot 10^{-3} \cdot c_{\text{прив.}} - 183.468 \cdot m_{\text{роб.орг.}} - 4.145 \cdot V_S + \\ & + 5.942 \cdot 10^{-4} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot m_{\text{роб.орг.}} + 1.033 \cdot 10^{-5} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot V_S + \\ & + 1.713 \cdot m_{\text{роб.орг.}} \cdot V_S - 5.082 \cdot 10^{-6} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot m_{\text{роб.орг.}} \cdot V_S \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} a = & 3.899 \cdot 10^{-1} - 3.102 \cdot 10^{-7} \cdot c_{\text{прив.}} - 1.347 \cdot 10^{-1} \cdot m_{\text{роб.орг.}} - 4.2001 \cdot 10^{-3} \cdot V_S + \\ & + 2.496 \cdot 10^{-7} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot m_{\text{роб.орг.}} + 5.961 \cdot 10^{-9} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot V_S + \\ & + 1.584 \cdot 10^{-3} \cdot m_{\text{роб.орг.}} \cdot V_S - 2.937 \cdot 10^{-9} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot m_{\text{роб.орг.}} \cdot V_S \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon = & 30.6392 - 5.5092 \cdot 10^{-5} \cdot c_{\text{прив.}} - 9.6532 \cdot m_{\text{роб.орг.}} - 0.2183 \cdot V_S + \\ & + 3.1267 \cdot 10^{-5} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot m_{\text{роб.орг.}} + 5.4388 \cdot 10^{-7} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot V_S + \\ & + 0.0902 \cdot m_{\text{роб.орг.}} \cdot V_S - 2.675 \cdot 10^{-7} \cdot c_{\text{прив.}} \cdot m_{\text{роб.орг.}} \cdot V_S \end{aligned} \quad (6)$$

На підставі формул (4)–(6) можна побудувати низку графічних залежностей впливу ОТП процесу ВВЗО на фізичні параметри якості (мікротвердість, товщину зміцненого шару та ступінь нагартування) при використанні зміцнювальних пристроїв з електромагнітним приводом. На рис. 3, 4 показані найважливіші для нас графічні залежності впливу V_S на мікротвердість та товщину зміцненого шару при сталих значеннях $c_{\text{прив.}}$ та $m_{\text{роб.орг.}}$.

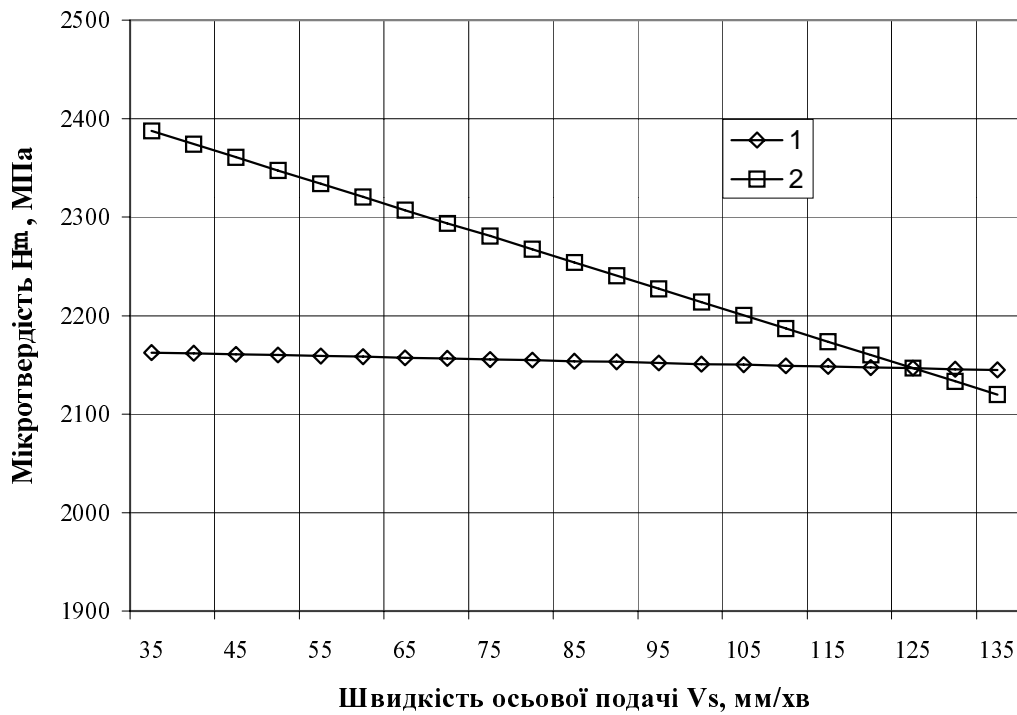


Рис. 3. Графік залежності максимальної мікротвердості H_{μ} обробленого поверхневого шару ДЦД від швидкості осьової подачі V_s

зміцнювального пристрою:

$$1 - c_{\text{прив.}} = 7.471 \cdot 10^5 \text{ Н/м}, m_{\text{роб.орг.}} = 1.8 \text{ кг};$$

$$2 - c_{\text{прив.}} = 7.471 \cdot 10^5 \text{ Н/м}, m_{\text{роб.орг.}} = 3.0 \text{ кг}$$

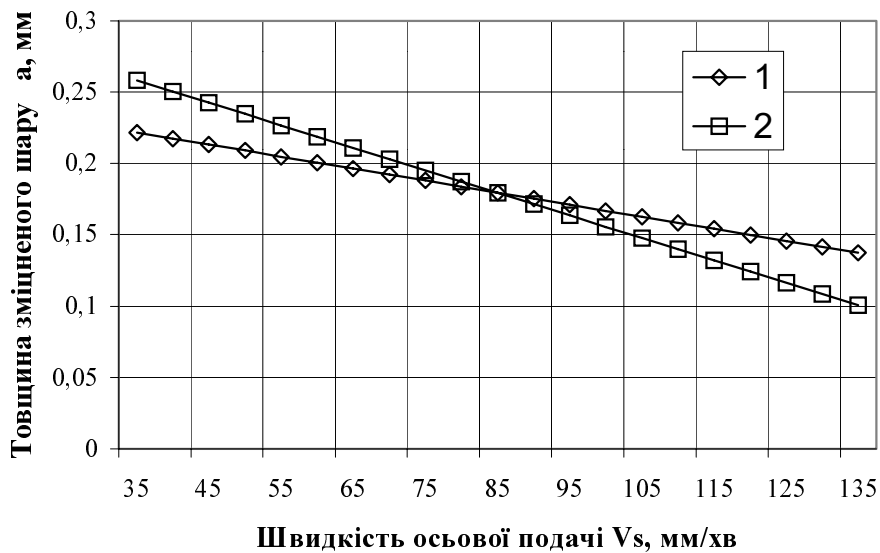


Рис. 4. Графік залежності товщини зміцненого шару a ДЦД від швидкості осьової подачі V_s зміцнювального пристрою:

$$1 - c_{\text{прив.}} = 7.471 \cdot 10^5 \text{ Н/м}, m_{\text{роб.орг.}} = 1.8 \text{ кг};$$

$$2 - c_{\text{прив.}} = 7.471 \cdot 10^5 \text{ Н/м}, m_{\text{роб.орг.}} = 3.0 \text{ кг}$$

На підставі аналізу результатів експериментальних досліджень (табл. 2), рівнянь регресій (4)–(6) та графічних залежностей (рис. 3, 4) можна зробити такі висновки. За необхідності максимального підвищення зносостійкості та втомної міцності ДЦД із конструкційних матеріалів, зокрема із сталі 45 (забезпечення максимальних значень H_{μ} , a та ε), оброблення методом ВВЗО при використанні електромагнітних зміцнювальних пристроїв з пружними системами слід проводити при таких оптимальних ОТП: $c_{\text{прив.}} = 7,471 \cdot 10^5$ Н/м, $m_{\text{роб.орг.}} = 3,0$ кг, $V_S = 35$ мм/хв. При необхідності забезпечення максимальної продуктивності праці на зміцнювальній технологічній операції, зберігаючи при цьому покращання експлуатаційних характеристик ДЦД, оброблення потрібно проводити при таких оптимальних технологічних параметрах: $c_{\text{прив.}} = 7,471 \cdot 10^5$ Н/м, $m_{\text{роб.орг.}} = 1,8$ кг, $V_S = 135$ мм/хв.

1. Журавлев В.Н., Николаева О.И. *Машиностроительные стали: Справочник*. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., 1981. – 391 с. 2. Афтаназів І.С., Кусий Я.М. *Пристрій з електромагнітним приводом для зміцнення поверхонь довгомірних циліндричних деталей // машинознавство*. – Львів, 1999. – № 12. – С. 33–36. 3. Рыжов Э.В., Горленко О.А. *Математические методы в технологических исследованиях*. – К., 1990. – 184 с. 4. Пляскин И.И. *Оптимизация технических решений в машиностроении*. – М., 1982. – 173 с.

УДК 621.003 : 621.391 : 621.787

Я.М. Литвиняк, Г.Р. Крохмальна*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування,
*кафедра прикладної математики

ІТЕРАЦІЙНИЙ АЛГОРИТМ ОТРИМАННЯ ЕМПІРИЧНИХ СТЕПЕНЕВИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ В ТЕОРІЇ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

© Литвиняк Я.М., Крохмальна Г.Р., 2002

Запропонована методика синтезу багатофакторних степеневих математичних моделей, отримуваних за результатами обробки емпіричних даних, визначених із застосуванням теорії планування експериментів, що полягає в ітераційному уточненні впливу окремих факторів процесу на досліджуваний технологічний параметр.

The technique of synthesis of multifactor degree mathematical models of empirical dates, received by results of processing, with application of the theory of planning of experiment is offered which consists of iterative clarification of influence of the separate factors of process on a researched technological parameter.

Практичне застосування результатів експериментальних досліджень, незважаючи на широке застосування обчислювальної техніки, вимагає оперування адекватними математичними моделями порівняно простої форми. Традиційно в технологічних розрахунках з обробки