

УДК 621.9.048.6

Я.М. Кусий

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДОВГОВІМІРНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

© Кусий Я.М., 2003

Досліджено вплив технологічних параметрів методу вібраційно-відцентрового зміцнення (ВВЗ) на фізико-механічні параметри якості поверхневих шарів довговимірних циліндричних деталей із легованих сталей. Описано методику досліджень, наведено принципи схеми зміцнювального інструмента з електромагнітним приводом та обладнання для реалізації методу ВВЗ. Проаналізовано емпіричні та графічні залежності впливу технологічних параметрів методу ВВЗ стосовно фізико-механічних параметрів якості поверхні довговимірних циліндричних деталей із легованих матеріалів.

In this article the influence of technological parameters of a vibrational-centrifugal hardening's (VCH) method of long-sized cylindrical details on physics-mechanical parameters of **doped** steels surface's quality is explored. The procedure of researches is described. The 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 VCH for physics-mechanical properties quality of long-sized cylindrical details, which are manufactured of **doped** steels, are analysed.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Відсутність ефективних фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій технологічних процесів виготовлення металевих довговимірних циліндричних деталей (МДЦД), які поширені у різних галузях народного господарства, служить перепоною для проектування прогресивних і енергоощадних технологій. Крім того, недостатньо досліджено та висвітлено у науково-технічній літературі вплив технологічних параметрів методів оброблення МДЦД на фізико-механічні параметри якості поверхні, які відіграють домінуючу роль у формуванні як структурно-напруженого стану та градієнта залишкових напружень, так і в підвищенні довговічності й забезпеченні надійності МДЦД. Відсутні рекомендації стосовно вибору режимів оброблення та значень основних технологічних параметрів при проектуванні віброзміцнювальних операцій, які на сучасному етапі розвитку технології виготовлення металевих довговимірних циліндричних деталей слід вважати прогресивними і продуктивними.

Формування пріоритетного напрямку у сучасному машинобудуванні – поверхневе зміцнення та нанесення зміцнювальних захисних покриттів на деталі машин, різальні та формотвірні інструменти, технологічне спорядження – сприяє появі нових методів викінчувального оброблення. Важлива роль у прискореному розвитку поверхневого зміцнення належить державним програмам розвитку машинобудування України. Проте, тези концепції

“Програми прискореного розвитку галузей машинобудування” (Міннауки України, НАН України) не достатньою мірою відображають актуальність та пріоритетність технологій поверхневого зміцнення. Проекти державних програм розвитку машинобудування України не визначають проблему зміцнювального оброблювання одним із головних пріоритетів, чим вже тепер закладають відставання України від світового рівня, постійну залежність від зарубіжної продукції, постійний дефіцит матеріалів, інструментів та енергоносіїв [74].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми

Аналіз робіт Ю.Г. Шнейдера, Ю.Г. Проскурякова, П.І. Ящеріцина, П.А. Чепи та інших науковців свідчить, що відомий на сьогодні арсенал вікінчувально-зміцнювальних технологічних операцій МДЦД і обладнання для його реалізації недостатньо ефективні. Дослідження, проведені на основі класифікацій МДЦД та матеріалів, з яких вони виготовлені, характеристик технологій і обладнання для забезпечення основних параметрів якості поверхні та виробничого досвіду підприємств, дозволяють зробити висновок, що найперспективнішими щодо покращання експлуатаційних характеристик довговимірних стрижневих виробів серед відомих вікінчувально-зміцнювальних операцій є методи оброблення поверхневим пластичним деформуванням (ППД).

Посеред групи методів ППД заслуговують на увагу, з огляду ефективності застосування, методи вікінчувально-зміцнювального оброблення, що базуються на використанні вібрацій. Зусиллями вітчизняних та іноземних спеціалістів була розроблена ціла низка вібраційних методів зміцнювального оброблення, які дозволили підвищити продуктивність праці та сформувати РМР поверхні. Проте, як показує аналіз розвитку теоретико-експериментальних досліджень і досвід промислового використання вібрацій для вікінчувально-зміцнювальних операцій, енергія деформування у практично всіх вібраційних методах оброблення обмежена масою та прискоренням руху окремо взятого оброблювального тіла – сталеві кульки чи ролика, що не завжди забезпечує оптимальні значення експлуатаційних показників. Крім цього, вібраційне оброблення, як і майже всі методи групи динамічного деформування ППД, малоефективне для зміцнення внутрішніх поверхонь довговимірних трубчастих виробів та одночасного оброблення внутрішніх та зовнішніх поверхонь довговимірних стрижневих виробів.

Мабуть лише метод вібраційно-відцентрового зміцнення (ВВЗ), розроблений у Національному університеті “Львівська політехніка” проф. І.С. Афтаназівим, із відомих методів вібраційного оброблення дозволяє вирішити поставлені завдання. Проте використання дебалансних зміцнювальних пристроїв, що працюють за методом ВВЗ [1], враховуючи значні енерговитрати, виявилось не завжди економічно вигідним. Цей фактор, а також відсутність ґрунтовних теоретичних і експериментальних досліджень стосовно перспективних вібраційних зміцнювальних пристроїв із електромагнітним приводом, налагоджених на енергоощадний білярезонансний режим оброблення, заважають широкому промислового використанню обладнання, що працює за методом ВВЗ, для вікінчувально-зміцнювальних операцій ТП виготовлення МДЦД.

Постановка завдання статті

Завдання статті полягає у дослідженні на підставі проведених експериментальних досліджень впливу основних технологічних параметрів методу ВВЗ при використанні електромагнітних зміцнювальних пристроїв із пружними системами на фізико-механічні

параметри поверхневих шарів деталей із легованих сталей, зокрема із сталі 40ХН2МА ГОСТ 4543-71; побудові емпіричних залежностей, які дозволяли б прогнозувати значення фізико-механічних параметрів якості поверхні МДЦД (мікротвердості, товщини зміцненого шару та ступеня зміцнення) при вибраних інтервалах зміни основних технологічних факторів методу ВВЗ.

Методика проведення експериментальних досліджень

Вибір зміцнювального інструмента, зразків, матеріалів, основного та допоміжного обладнання для реалізації методу ВВЗ. Враховуючи поставлені завдання досліджень, спроектовані зміцнювальні пристрої з електромагнітним приводом та пружними системами для оброблення внутрішніх та зовнішніх поверхонь МДЦД [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, який призначений для викінчувального оброблення внутрішніх поверхонь МДЦД, містить дві пружно-коливні системи, до складу яких входять якорь 2 та статор 3 із трьома рівномірно розташованими по колу котушками електромагнітів 4 електромагнітного приводу, диски-сепаратори 5, 6 із деформівними тілами 7 (в даному випадку у вигляді сталевих загартованих кульок) та спільний елемент – основа 1. Між собою елементи пружно-коливних систем з'єднані пружними стрижнями – торсіонами 8, 9. Зміцнювальний пристрій базується на оброблюваній внутрішній поверхні МДЦД 11 за допомогою напрямних гумових роликів 10. При подачі

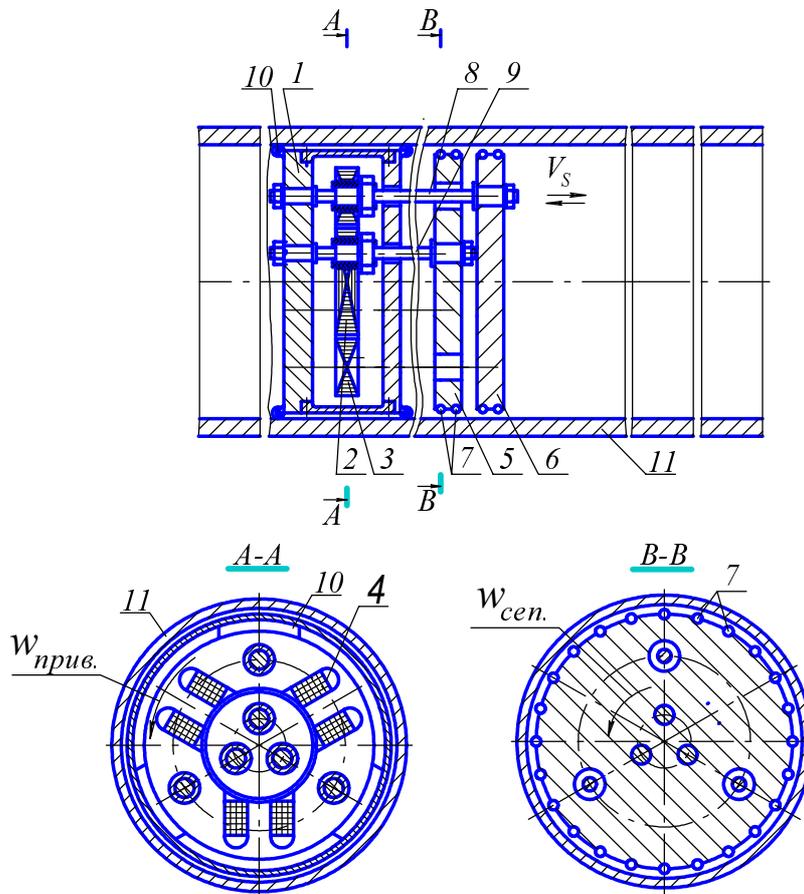


Рис. 1. Принципова схема лабораторного однопривідного електромагнітного вібраційного пристрою з пружними системами

напруги на котушки електромагнітів 4 статора 3 за рахунок сили електромагнітного притягання якір 2 притягується по чергово до кожного з них. За рахунок протифазних коливань статора та якоря диски-сепаратори 5, 6, що приєднані до них, починають здійснювати коливально-обкатні рухи, які супроводжуються низкою ударів по внутрішній поверхні оброблюваної деталі виступаючими деформівними тілами 7. у кожен проміжок часу контактування деталі з ударними зміцнювачами відбувається з ударом при контакті через незначну кількість кульок, розташованих вздовж твірних оброблюваної поверхні деталі, що призводить до розвитку великих контактних напружень у матеріалі оброблюваної деталі в місцях контакту, внаслідок чого відбувається зміцнення поверхневого шару матеріалу деталі.

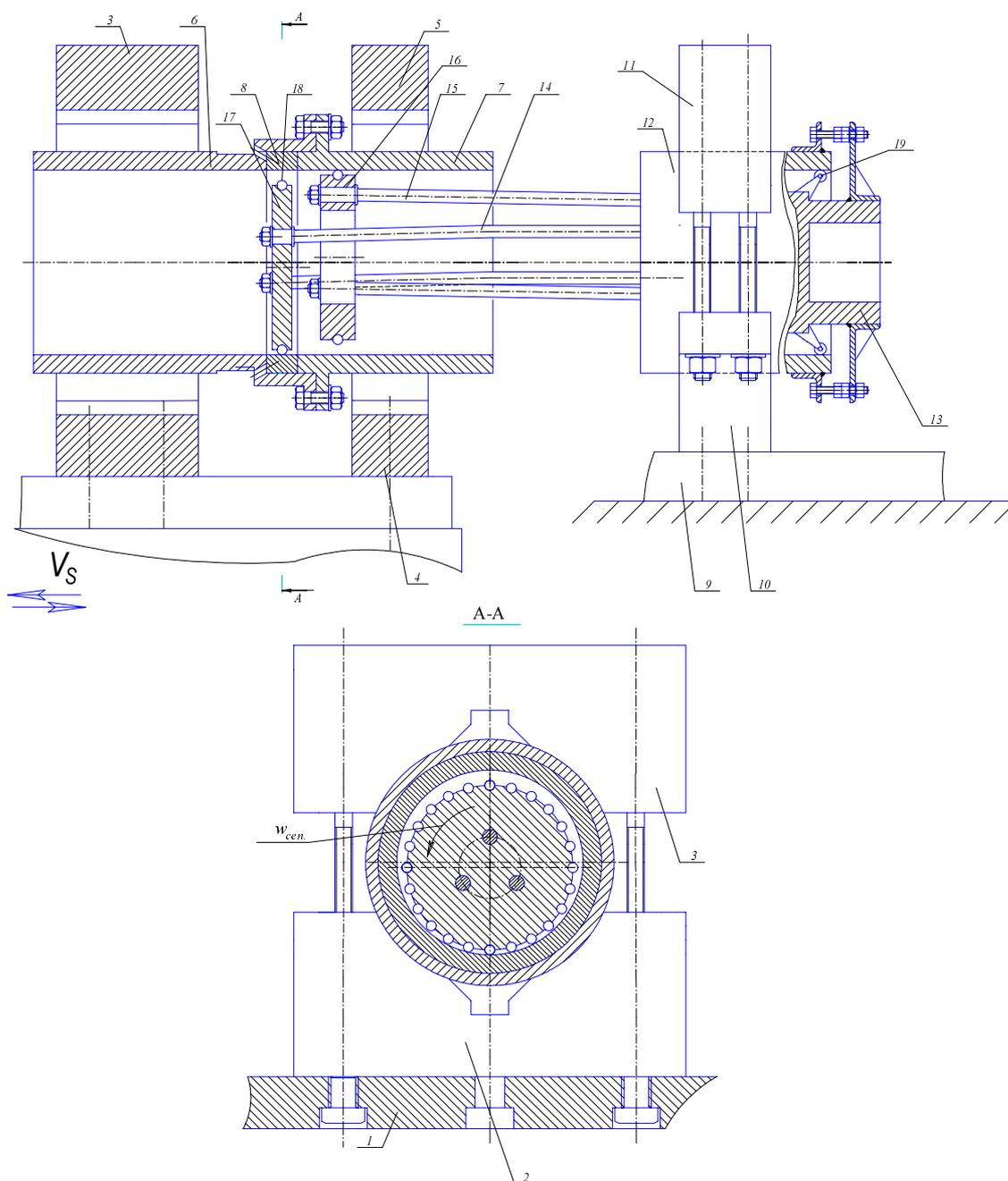


Рис. 2. Принципова схема устатку для дослідження впливу основних технологічних параметрів методу ВВЗ стосовно фізико-механічних параметрів якості поверхні МДЦД

Експериментальні дослідження стосовно визначення фізико-механічних параметрів якості поверхні проводили на кільцевих експериментальних зразках із сталі 40ХН2МА ГОСТ 4543-71, з яких вирізали фрагменти та готували за стандартною методикою шліфи для подальших вимірювань параметрів зміцнення.

Для проведення експериментальних досліджень стосовно визначення фізичних параметрів якості поверхневих шарів оброблених методом ВВЗ виробів розроблено відповідне устаткування (рис. 2), для якого використали столи вертикально-фрезерного верстата мод. 6Р12 та горизонтально-фрезерного верстата мод. 6Н81. Фрагменти МДЦД 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 пристрій на напрямних роликах 19 основи 13 базується на внутрішній циліндричній поверхні МДЦД фрагмента 12, який закріплений на призмах 10, 11 до столу 9 вертикально-фрезерного верстата. За допомогою руху поздовжньої подачі столу 1 в автоматичному чи ручному режимі зміцнювальний пристрій розміщують у фрагменті 7 так, щоб диски-сепаратори 16, 17 знаходилися перед експериментальним зразком 8. При подачі живлення на котушки електромагнітів між складниками електромагнітного приводу (на принциповій схемі не показано) виникає електромагнітне поле, якір і статор здійснюють кругові плоско-паралельні коливання, які за допомогою пружної системи на торсіонах 14, 15 передаються робочим органам інструмента – дискам-сепараторам 16, 17 із деформівними тілами 18. При забезпеченні необхідної амплітуди коливань диски-сепаратори починають виконувати коливально-обкатні рухи, що супроводжуються поверхневим пластичним деформуванням матеріалу фрагмента 7 та його зміцненням. За рахунок подачі столу диски-сепаратори 16, 17 вступають в контакт із оброблюваною поверхнею експериментального зразка 8 і здійснюють його оброблення. Можливі схеми оброблення експериментальних зразків МДЦД (одним сепаратором, комбіноване, одно-, багатопрхідне тощо) визначаються поставленим завданням експериментальних досліджень та матрицями планування експериментів.

Вибір методів та факторів математичного планування експериментів

Для комплексного вивчення основних технологічних факторів на фізико-механічні параметри якості поверхневих шарів МДЦД (мікротвердість, глибина зміцненого шару та ступінь зміцнення) та побудови математичних моделей у вигляді поліноміальних залежностей параметрів оптимізації від параметрів варіювання доцільно використати метод факторного планування із використанням плану вигляду 2^k , де k – кількість факторів варіювання [3, 4]. Формування фізико-механічних параметрів якості поверхні МДЦД, які мають домінантне значення у підвищенні довговічності та забезпеченні надійності оброблених виробів, відбувається внаслідок впливу основних технологічних параметрів процесу ВВЗ: швидкості подачі V_s , зведеної жорсткості ділянок пружних систем електромагнітного зміцнювального пристрою $c_{звед.}$ (у даному випадку зведена жорсткість дорівнює добутку жорсткості ділянки пружної системи між складником електромагнітного приводу та виконавчим органом пристрою $c_{ПРИВ.+ВИК.ОРГ.}$ на співвідношення їх мас $m_{ПРИВ.}$ та $m_{ВИК.ОРГ.}$: $c_{звед.} = c_{ПРИВ.+ВИК.ОРГ.} \cdot \frac{m_{ПРИВ.}}{m_{ВИК.ОРГ.}}$), кількості проходів n , маси

робочого органа віброзміцнювача $m_{2(4)}$ та сили струму на котушках, електромагнітів, що визначає зусилля притягання складників електромагнітного приводу I. Взаємний вплив основних технологічних параметрів ВВЗ на фізико-механічні параметри МДЦД через складність теоретичного прогнозування процесів оброблення доцільно досліджувати експериментально. Кодове позначення та рівні варіювання факторів наведено у таблиці.

Рівні варіювання факторів при дослідженні їх впливу на фізико-механічні параметри якості поверхні МДЦД із сталі 40ХН2МА

№ з/п	Характеристика фактора	Кодове позначення	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			верхній	нижній	
1	Швидкість подачі V_S , мм/хв	X_1	35	135	100
2	Зведена жорсткість ділянок пружних систем $c_{звед.}$, Н/м	X_2	$3.317 \cdot 10^5$	$7.471 \cdot 10^5$	$4.154 \cdot 10^5$
3	Кількість проходів n	X_3	1	3	2
4	Маса робочого органу зміцнювального пристрою $m_{2(4)}$, кг	X_4	1.8	3.0	1.2
5	Сила струму I , А	X_5	0.75	1.25	0.5

Вплив технологічних параметрів ВВЗ при використанні електромагнітних зміцнювальних пристроїв із пружними системами на формування фізико-механічних параметрів якості поверхні МДЦД із легованих сталей.

При обробленні зразків із сталі 40ХН2МА ГОСТ 4543-71 електромагнітним вібраційно-відцентровим зміцнювальним пристроєм контролювали фізико-механічні параметри якості поверхні експериментальних зразків МДЦД: максимальне значення мікротвердості H_{μ} , товщину зміцненого поверхневого шару a та ступінь зміцнення ϵ при різних умовах оброблення. Для зменшення трудомісткості роботи експериментальні дослідження виконано згідно з планами матриць дробового факторного експерименту 2^{5-2} . Межі зміни факторів вибрані на підставі рекомендацій літературних джерел та пробних проходів під час оброблення ВВЗ, наведено у таблиці.

Оброблення результатів експериментальних досліджень проведено згідно з методикою [3, 4]. Математичні залежності у кодованих змінних для визначення фізико-механічних параметрів якості поверхні при обробленні ВВЗ за допомогою електромагнітного зміцнювача з пружними системами після перевірки однорідності дисперсій відтворюваності у дослідах за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів регресій за допомогою критерію Стюдента та адекватності математичних моделей при використанні критерію Фішера матимуть вигляд

$$Y_{H_{\mu}} = 7.892 - 0.0316 \cdot X_1 + 0.0101 \cdot X_2 + 0.0334 \cdot X_3 + \\ + 0.0167 \cdot X_4 + 0.0145 \cdot X_5 - 0.0132 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.0223 \cdot X_1 \cdot X_5 \quad (1)$$

$$Y_a = -1.6475 - 0.2315 \cdot X_1 + 0.2503 \cdot X_2 + 0.3619 \cdot X_3 + \\ + 0.0849 \cdot X_4 + 0.1496 \cdot X_5 - 0.0997 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.0649 \cdot X_1 \cdot X_5 \quad (2)$$

$$Y_{\varepsilon} = 3.0107 - 0.2207 \cdot X_1 + 0.2253 \cdot X_3 + 0.1495 \cdot X_4 + \\ + 0.1268 \cdot X_5 - 0.1105 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.1572 \cdot X_1 \cdot X_5 \quad (3)$$

На підставі аналізу результатів дисперсійного аналізу, за величиною та знаком коефіцієнтів регресії із математичних залежностей (1)-(3) можна зробити такі висновки:

– найбільший вплив на параметр мікротвердості H_{μ} обробленої поверхні МДЦД із сталі 40ХН2МА має кількість проходів (фактор X_3), швидкість подачі (фактор X_1) та взаємодія факторів X_1 та X_5 , потім маса робочого органа зміцнювального пристрою (фактор X_4), величина сили струму на котушках електромагнітів (фактор X_5) і взаємодія X_1X_2 . Найменш вагомий вплив на параметр мікротвердості H_{μ} обробленої поверхні МДЦД із сталі 40ХН2МА має зведена жорсткість ділянок пружних систем (фактор X_2). Збільшення кількості проходів n , маси робочого органа зміцнювального пристрою $m_{2(4)}$, значення сили струму на котушках електромагнітів I і зведеної жорсткості пружних систем $c_{звед.}$ спричиняє збільшення величини $\ln(H_{\mu})$, а збільшення швидкості осьової подачі V_S сприяє зменшенню $\ln(H_{\mu})$. Величина $\ln(H_{\mu})$ буде зменшуватися, якщо фактори X_1 , X_2 знаходяться одночасно на верхніх або нижніх рівнях і збільшуватися при одночасному розташуванні на граничних рівнях варіювання факторів X_1 та X_5 ;

– найбільший вплив на товщину зміцненого шару a обробленої поверхні МДЦД із сталі 40ХН2МА має кількість проходів (фактор X_3), зведена жорсткість ділянок пружних систем (фактор X_2) і швидкість подачі (фактор X_1), потім величина сили струму на котушках електромагнітів (фактор X_5). Вплив маси робочого органа зміцнювального пристрою (фактор X_4), взаємодій X_1X_2 і X_1X_5 на товщину зміцненого шару a є менш вагомими. Із збільшенням швидкості осьової подачі V_S електромагнітного зміцнювача величина $\ln(a)$ зменшується, а збільшення кількості проходів n , зведеної жорсткості пружних систем $c_{звед.}$, значення сили струму на котушках електромагнітів I і маси робочого органа зміцнювального пристрою $m_{2(4)}$ зумовлює збільшення $\ln(a)$, причому товщина зміцненого шару a залежить переважно від n , $c_{звед.}$ та V_S . Величина $\ln(a)$ буде збільшуватися при одночасному розташуванні на граничних рівнях варіювання факторів X_1 та X_5 і зменшуватися, якщо фактори X_1 та X_2 знаходяться одночасно на верхніх або нижніх рівнях;

– найбільший вплив на ступінь зміцнення ε обробленої поверхні МДЦД із сталі 40ХН2МА має кількість проходів (фактор X_3), швидкість подачі (фактор X_1) та взаємодія факторів X_1 та X_5 , потім маса робочого органа зміцнювального пристрою (фактор X_4), величина сили струму на котушках електромагнітів (фактор X_5) і взаємодія X_1X_2 . Найменш вагомий вплив на ступінь зміцнення ε обробленої поверхні МДЦД із сталі 40ХН2МА має зведена жорсткість ділянок пружних систем (фактор X_2). Збільшення кількості проходів n , маси робочого органа зміцнювального пристрою $m_{2(4)}$, значення сили струму на котушках електромагнітів I і зведеної жорсткості пружних систем $c_{звед.}$

викликає збільшення величини $\ln(\epsilon)$, а збільшення швидкості осьової подачі V_S сприяє зменшенню $\ln(\epsilon)$. Величина $\ln(\epsilon)$ буде зменшуватися, якщо фактори X_1 , X_2 знаходяться одночасно на верхніх або нижніх рівнях і збільшуватися при одночасному розташуванні на граничних рівнях варіювання факторів X_1 та X_5 .

Математичні залежності для визначення фізико-механічних параметрів якості поверхні при обробленні ВВЗ за допомогою електромагнітного віброзміцнювача з пружними системами із врахуванням лише значимих коефіцієнтів регресій як функції основних технологічних параметрів та їх взаємодій мають вигляд

$$H_{\mu} = e^{4.9865} \cdot (V_S)^{0.5893-0.0482 \cdot \ln(c_{звезд.})+0.1293 \cdot \ln(I)} \cdot (c_{звезд.})^{0.2286} \times \\ \times (n)^{0.0608} \cdot (m_{2(4)})^{0.0654} \cdot (I)^{-0.4902} \quad (4)$$

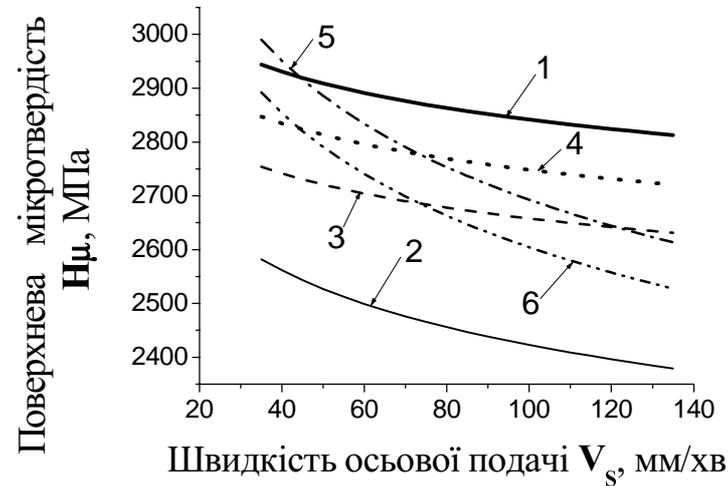
$$a = e^{-29.146} \cdot (V_S)^{4.4416-0.3638 \cdot \ln(c_{звезд.})+0.3763 \cdot \ln(I)} \cdot (c_{звезд.})^{2.1554} \times \\ \times (n)^{0.6586} \cdot (m_{2(4)})^{0.3323} \cdot (I)^{-1.0063} \quad (5)$$

$$\epsilon = e^{-18.796} \cdot (V_S)^{4.992-0.4032 \cdot \ln(c_{звезд.})+0.9115 \cdot \ln(I)} \cdot (c_{звезд.})^{1.7056} \cdot (n)^{0.41} \cdot (m_{2(4)})^{0.571} \cdot (I)^{-3.36} \quad (6)$$

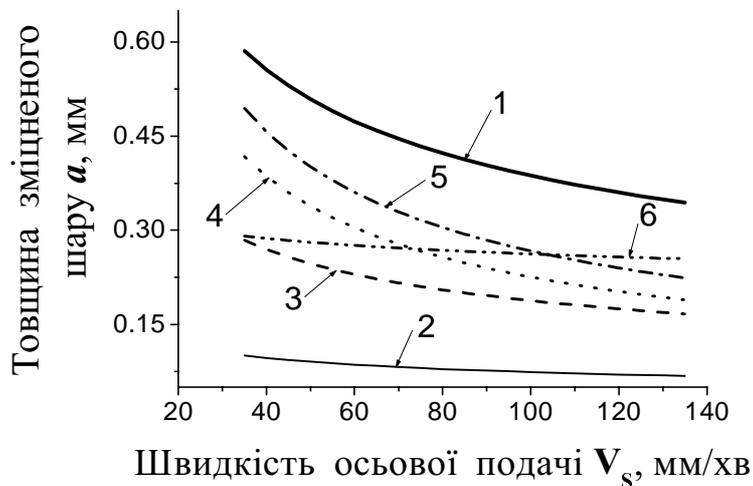
На підставі формул (4) – (6) можна побудувати низку графічних залежностей впливу основних технологічних параметрів методу ВВЗ на фізико-механічні параметри якості поверхні (мікротвердість, товщину зміцненого шару та ступінь зміцнення) при використанні зміцнювальних пристроїв з електромагнітним приводом. На рис. 3, 4 показано найважливіші для нас графічні залежності впливу V_S на мікротвердість та товщину зміцненого шару при сталих значеннях $c_{звезд.}$, n , $m_{роб.орг.}$ та I .

Аналіз результатів експериментальних досліджень та рівнянь регресій (4)-(6) і графічних залежностей (рис. 3, 4) дозволяє зробити такі висновки. За необхідності максимального підвищення зносостійкості МДЦД із легованих сталей, зокрема зі сталі 40ХН2МА ГОСТ 4543-71, що досягається при забезпеченні у поверхневому шарі виробів максимальних значень H_{μ} та ϵ , оброблення методом ВВЗ при використанні електромагнітних зміцнювальних пристроїв із пружними системами слід проводити при таких оптимальних технологічних параметрах: $V_S = 35$ мм/хв, $c_{звезд.} = 7.471 \cdot 10^5$ Н/м, $n = 3$ проходи; $m_{2(4)} = 3.0$ кг, $I = 0.75$ А. За необхідності максимального підвищення втомної міцності, тобто при забезпеченні у поверхневому шарі МДЦД максимальних значень товщини зміцненого шару a , необхідно рекомендувати для оброблення методом ВВЗ при використанні електромагнітного віброзміцнювача з пружними системами такі оптимальні технологічні параметри: $V_S = 35$ мм/хв, $c_{звезд.} = 7.471 \cdot 10^5$ Н/м, $n = 3$ проходи; $m_{2(4)} = 3.0$ кг, $I = 1.25$ А. За необхідності забезпечення максимальної продуктивності праці на зміцнювальній технологічній операції, зберігаючи при цьому покращання експлуатаційних характеристик МДЦД (підвищення H_{μ} , a та ϵ), при трьох робочих проходах зміцнювача з пружними системами оброблення потрібно проводити при таких оптимальних технологічних параметрах: $V_S = 135$ мм/хв, $c_{звезд.} = 7.471 \cdot 10^5$ Н/м, $m_{2(4)} = 3.0$ кг, $I = 1.25$ А. При однопрохідному обробленні МДЦД зміцнювальним пристроєм із пружними системами максимальна продуктивність праці на зміцнювальній технологічній операції при

забезпеченні бажаних фізико-механічних параметрів якості поверхневого шару матеріалу досягається при таких технологічних параметрах: $V_S = 135$ мм/хв, $c_{звед.} = 7.471 \cdot 10^5$ Н/м, $m_{2(4)} = 3.0$ кг, $I = 1.25$ А.



а



б

Рис. 3. Результати експериментальних досліджень впливу швидкості осьової подачі V_S змцнювача при обробленні деталей із сталі 40ХН2МА на зміну товщини змцненого шару a (а) та поверхневої мікротвердості H_c (б) (основні технологічні параметри при обробленні сталі 40ХН2МА: 1 – $c_{звед.} = 7.471 \cdot 10^5$ Н/м, $n = 3$ проходи; $m_{2(4)} = 3.0$ кг, $I = 1.25$ А;

2 – $c_{звед.} = 3.317 \cdot 10^5$ Н/м, $n = 1$ прохід; $m_{2(4)} = 1.8$ кг, $I = 0.75$ А; 3 – $c_{звед.} = 7.471 \cdot 10^5$ Н/м,

$n = 1$ прохід; $m_{2(4)} = 3.0$ кг, $I = 1.25$ А; 4 – $c_{звед.} = 7.471 \cdot 10^5$ Н/м, $n = 3$ проходи;

$m_{2(4)} = 1.8$ кг, $I = 1.25$ А; 5 – $c_{звед.} = 7.471 \cdot 10^5$ Н/м, $n = 3$ проходи; $m_{2(4)} = 3.0$ кг, $I = 0.75$ А; 6

– $c_{звед.} = 3.317 \cdot 10^5$ Н/м, $n = 3$ проходи; $m_{2(4)} = 3.0$ кг, $I = 0.75$ А)

Загальні висновки та перспективи подальших досліджень

Вплив технологічних параметрів методу ВВЗ та конструктивних розмірів зміцнювальних пристроїв із електромагнітним приводом і пружною системою на показники якості зміцнення поверхневих шарів МДЦД є неоднозначним, що підтверджують, одержані із застосуванням теорії планування багатофакторного експерименту, емпіричні залежності. На підставі проведеного дробового факторного експерименту при зміцненні деталей із легованих сталей встановлено, що для товщини зміцненого шару a визначальним є вплив кількості проходів n , зведеної жорсткості ділянок пружних систем $c_{звед.}$, швидкості осьової подачі V_S ; поверхнева мікротвердість H_c та ступінь зміцнення ϵ регламентуються, в основному, кількістю проходів n , швидкістю осьового переміщення зміцнювального інструмента V_S і взаємодією швидкості подачі V_S (фактор X_1) та величини сили струму на котушках електромагнітів I (фактор X_5).

Отримані емпіричні залежності (4) – (6) дозволяють прогнозувати значення фізико-механічних показників якості поверхні МДЦД із легованих сталей, зокрема із сталі 40ХН2МА ГОСТ 4543-71, залежно від технологічних параметрів методу ВВЗ у межах інтервалів їх зміни. Проведення подальших досліджень у цьому напрямку, зокрема постановка повного факторного експерименту плану 2^5 та розширення діапазону зміни технологічних параметрів, сприятиме уточненню емпіричних залежностей (4) – (6) із врахуванням значимості усіх факторів.

1. Афтаназів І.С. Використання вібрацій для зміцнення деталей // *Вибрації в техніці та технологіях*. – 1995. – № 1(2). – С. 27 – 34. 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.: Наук. думка, 1990. – 184 с. 4. Пляскин И.И. *Оптимизация технических решений в машиностроении*. – М.: Машиностроение, 1982 – 173 с.

УДК 621.01:621-868

О.С. Ланець

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації та комплексної механізації машинобудівної промисловості

ДИНАМІКА ТРИМАСОВОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ПЛОЩАДКИ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОНУ

© Ланець О.С., 2003

Складено математичну модель та наведені амплітудно-частотні характеристики тримасової вібраційної площадки з електромагнітним приводом для ущільнення бетону.

In the article the mathematical model and peak-frequency descriptions of three-mass vibration ground with the electromagnetic cause for the compression of concrete are pointed.

Вступ

Розвиток промисловості висуває перед конструкторами та науковцями нові завдання, вирішення яких уже неможливе без детального динамічного аналізу проєктованих