

# **МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА ПРОЦЕСИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ**

УДК 622.24.05

**Ю. Петрина, докт.техн.наук; Р. Яким; А. Швадчак**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНОУЛЬТРАЗВУКОВОЇ ЗМІЦНЮЮЧОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НАСОСІВ ТА КОМПРЕСОРІВ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

*Встановлені емпіричні залежності, що описують вплив зміни швидкості обертання заготовки і поперечної подачі інструменту на шорсткість, поверхневу мікротвердість і глибину зміцненого шару при механоультразвуковій обробці. Встановлені оптимальні параметри здійснення зміцнюючої механоультразвукової обробки деталей компресорів і насосів нафтогазової промисловості, що працюють в корозійно-втомних умовах.*

Низькі показники технологічності окремих деталей компресорів та насосів нафтогазової промисловості (штоки, колінчасті вали, штанги та ін) зумовлюють використання ефективних, комбінованих методів зміцнюючої обробки. Однією з перспективних комбінованих обробок є поєднання механічної обробки (точіння, пластична деформація, шліфування) з накладанням ультразвукових коливань [1]. Накладання коливань ультразвукової частоти при обробці тиском чи різанням сприяє руйнуванню міжкристалічних зв'язків, що призводить до виникнення мікро і макротріщин в шарі, який обробляється, і сприяє їх розклинюванню, інтенсифікуючи процес обробки. Між характеристиками технологічного процесу виготовлення деталей машин і параметрами процесу втрати їх працездатного стану встановлений зв'язок [2]. Інтенсивність зношення на окремих ділянках поверхні залежить від їх вихідної мікротвердості, мікро та макрогеометрії, структури та напруженого стану поверхневих шарів, які формуються у процесі обробки деталей. Беручи до уваги також те, що формування технологічної спадковості при фрикційній обробці суттєво залежить від її режимів, технологічного середовища, яке використовується, матеріалу, що зміцнюється [3], то існує актуальна проблема вивчення впливу параметрів механоультразвукової обробки на фізико-механічні, геометричні характеристики зміцнених сталевих деталей машин. У вирішенні цієї проблеми суттєвий вклад внесли такі вчені, як Бабей Ю.І., Северденко В.П., Арушанов В.Л., Гурей І.В., Марков Л.І, Єрмаков Ю.М., Калічак Т.Н. та ін.

При дослідженнях впливу зусиль при імпульсному зміцненні на поверхневу твердість, мікрогеометрію поверхні [4] встановлено оптимальні параметри технологічного середовища для отримання високих експлуатаційних характеристик деталей.

В [5] вказано, що при обробці поверхневим пластичним деформуванням з накладанням ультразвукових коливань на інструмент можна забезпечити шорсткість поверхні до  $R_a = 0,16$  мкм. При обробці деталей, що пройшли наплавлення легованим флюсом АН-348А з частотою 22 кГц, швидкості руху інструмента 0,7-0,8 м/с, подачі 0,02 мм/рад і 2-3 проходах, отримували зміцнений шар товщиною 0,3-0,4 мм, та спостерігали підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей. Так, границя витривалості колінчатих валів двигунів СМД-14 підвищувалася на 122%, В-206 на 75%.

Після ультразвукової зміцнюючої обробки, описаної в [6], отримували шорсткість до  $R_a = 0,33$  мкм, мікротвердість біля 7940 МПа.

В [3, 7, 8, 9] вказано, що використання малих подач  $S < 0,05$  мм/об викликає погіршення якості оброблюваної деталі, а також спричинює зношування інструмента через збільшення часу контакту з деталлю і високими локальними температурами в зоні впливу. При великих подачах  $S > 0,1$  мм/об ефективність ультразвукового вигладжування знижується. Оптимальна швидкість вигладжування лежить в межах 30-150 м/хв.

За даними [10], для сталі 45 при режимі зміцнення  $P=500$  Н,  $S=0,07$  мм/об,  $V=25$  м/хв ступінь наклепу сягає 144%, а глибина наклепу – 0,5 мм. Проте не вказано, яку шорсткість поверхні отримували та як зміцнення вплинуло на експлуатаційні характеристики деталей.

При механоімпульсній обробці довгомірних деталей типу штоків, штанг, автори [11] отримували поверхні з твердістю 56-62HRC та шорсткістю до  $R_a = 1$  мкм.

Незважаючи на технологічну доцільність та економічність використання механоультразвукового методу, зміцнення є проблематичним [12]. Це зумовлено тим, що дослідження присвячені встановленню оптимальних технологічних параметрів обробки, експлуатаційних характеристик зміцнених деталей, носять вузько практичний характер і не розкривають повної картини впливу досліджуваного методу зміцнення на довговічність деталей машин. Щодо деталей компресорів та насосів нафтогазової промисловості, то такі дослідження практично знаходяться на початковій стадії.

Оскільки вибір режимів зміцнення здійснюється в залежності від конкретних умов і технічних вимог до деталей та їх матеріалу, рекомендації щодо вибору режимів ультразвукової обробки є суперечливими. Враховуючи також те, що для деталей, які працюють в умовах втомного навантаження, визначальним параметром є шорсткість поверхні, а при корозійних – фізико-механічні властивості матеріалу [13], то виникає суперечність у встановленні оптимальних показників поверхні деталей компресорів і насосів нафтогазової промисловості, що працюють в умовах корозійно-втомних впливів. Тому була поставлена задача встановити вплив технологічних параметрів механоультразвукової зміцнюючої обробки на шорсткість та мікротвердість поверхні і глибину зміцненого шару при обробці сталі, з якої виготовляють деталі для компресорів та насосів нафтогазової промисловості.

Для проведення досліджень було вибрано сталь 40Х ГОСТ 4543-71, оскільки вона широко використовується для виготовлення відповідальних деталей насосів та компресорів нафтогазової промисловості (штоки, колінчасті вали, деталі клапанів штанги та ін.).

Механоультразвукову обробку зразків проводили на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62, використовуючи магнетострикційний перетворювач ультразвукових коливань відповідно до рекомендацій [7]. Джерелом ультразвукових коливань був генератор УЗГ10-22.

Найважливішими параметрами механоультразвукової обробки є радіус сфери наконечника, статична сила  $P_{ст}$ , амплітуда коливань і подача інструмента. Тому використовуючи вище приведені дані та рекомендації [3], ми призначали частоту ультразвукових коливань – 20 кГц, а також такі параметри обробки: швидкість обертання зразка змінювали в межах від 330 до 720 об/хв, подачу в межах від 0,01 до 0,24 хв/об, навантаження на вірець  $P=1000$  Н, припуск на обробку 0,02 мм. В якості технологічного середовища, за рекомендаціями [4, 8], було вибрано оливу И-20.

Шорсткість поверхні перевіряли за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 згідно з методикою, описаною в [14]. Заміри поверхневої мікротвердості здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3. Глибину поверхневого зміцненого шару визначали згідно з методикою, описаною в [15].

При плануванні експериментів, а також обробці отриманих даних використовували методи математичної статистики та теорії планування експерименту [16] з використанням програмних продуктів Mathcad та електронних таблиць Excel.

Для здійснення оптимізації досліджуваних параметрів технологічного процесу використовували теорію оптимізації та прийняття рішень [17, 18].

В результаті досліджень впливу зміни швидкості обертання заготовки і поперечної подачі інструмента на шорсткість, поверхневу мікротвердість на глибину зміцненого шару при механоультразвуковій обробці, було проведено двофакторний експеримент в 14 точках та з чотирма повторами в кожній. Середні значення отриманих результатів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Середні значення шорсткості, поверхневої мікротвердості та глибини зміцненого шару

<i>N</i>	<i>v</i> , об/хв	<i>s</i> , хв/об	<i>R<sub>a</sub></i> , мкм	<i>H<sub>μ</sub></i> , МПа	<i>h</i> , мм
1	330	0,01	2,11	2500	0,05
2	360	0,02	1,69	4200	0,12
3	490	0,03	1,31	5500	0,18
4	420	0,04	0,99	6400	0,22
5	450	0,05	0,74	7000	0,24
6	480	0,06	0,47	7500	0,25
7	510	0,7	0,34	7700	0,26
8	540	0,8	0,2	7600	0,27
9	570	0,9	0,16	7400	0,28
10	600	0,1	0,17	6900	0,29
11	630	0,11	0,18	6400	0,3
12	660	0,12	0,32	5400	0,31
13	690	0,13	0,59	4600	0,32
14	720	0,14	1,12	3600	0,33

В результаті математичної обробки результатів експерименту були встановлені залежності, що описують вплив зміни швидкості обертання заготовки і поперечної подачі інструменту, які характеризують параметри *N*-ного виду обробки, на: шорсткість поверхні (рис. 1)

$$R_a = 0,0313 \cdot N^2 - 0,5652 \cdot N + 2,7112; \tag{1}$$

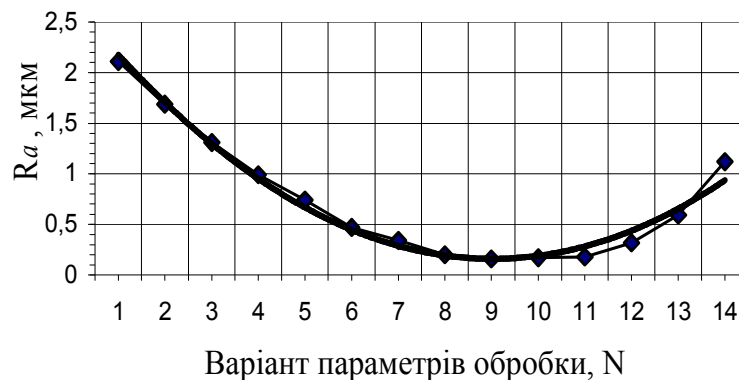


Рис. 1. Вплив зміни параметрів обробки на шорсткість поверхні

поверхневу мікротвердість (рис. 2)

$$H_{\mu} = -109,27 \cdot N^2 + 1676,2 \cdot N + 1257,7; \tag{2}$$

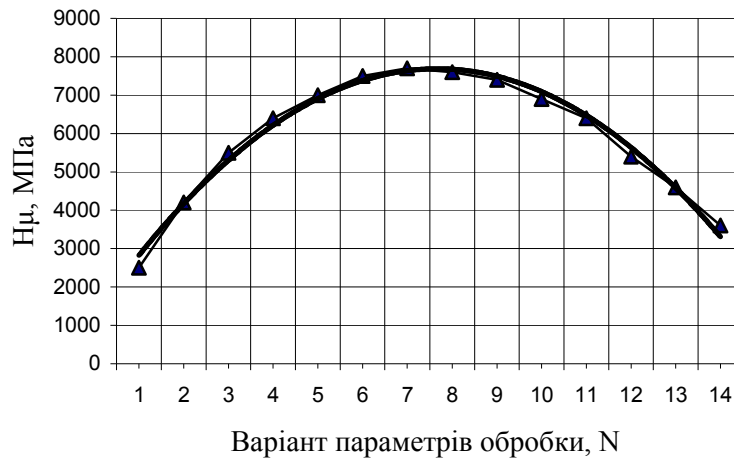


Рис. 2. Вплив зміни параметрів обробки на поверхневу мікротвердість

глибину зміцненого шару (рис. 3)

$$h = 0,1025 \cdot \ln N + 0,06; \quad (3)$$

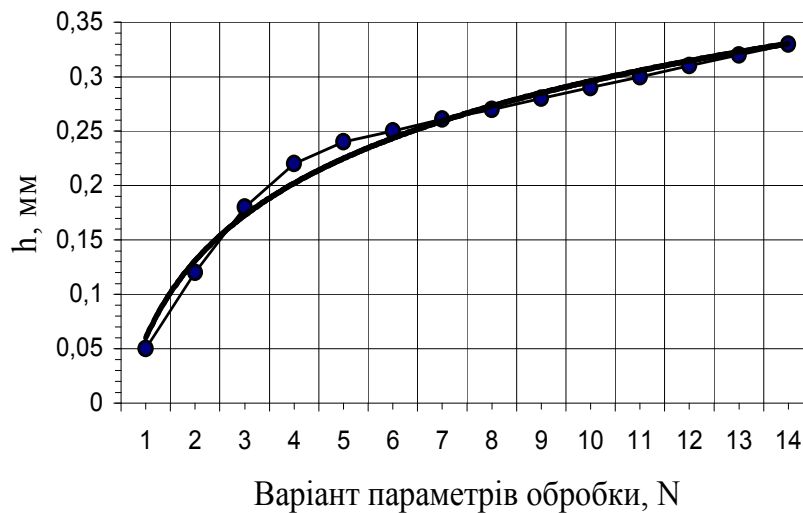


Рис. 3. Вплив зміни параметрів обробки на глибину зміцненого шару

З отриманих залежностей видно, що при збільшенні параметрів швидкості обертання заготовки та поперечної подачі відбуваються неоднакові зміни характеристик технологічної спадковості. Шорсткість спадає і, досягнувши  $R_a=0,16$  мкм, зростає за квадратичною залежністю. Поверхнева мікротвердість плавно зростає до 7700 МПа, а потім спадає також за квадратичною залежністю. Глибина зміцненого шару плавно зростає за експоненційною залежністю.

Вибір технологічного варіанту в даному випадку пов'язаний з вирішенням задачі прийняття оптимального рішення, виходячи з наявних якісних характеристик зміцнення.

Прийняття рішення є вибір одного з деякої множини варіантів, що розглядаються  $E_i \in E$ . Ми здійснювали вибір технологічного варіанту зі скінченного числа варіантів  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_i, \dots, E_N$  (табл. 2).

Матриця кодованих значень множини варіантів досліджуваного процесу обробки

$N$	$lg R_a$	$lg H_\mu$	$lg h$	$E_i$
1	0,324	3,384	-1,301	2,407
2	0,228	3,623	-0,921	2,93
3	0,117	3,74	-0,745	3,112
4	-0,004	3,806	-0,658	3,144
5	-0,132	3,845	-0,62	3,093
6	-0,328	3,875	-0,602	2,945
7	-0,469	3,887	-0,585	2,833
8	-0,699	3,881	-0,569	2,613
9	-0,796	3,869	-0,553	2,52
10	-0,824	3,839	-0,538	2,477
11	-0,745	3,806	-0,523	2,538
12	-0,495	3,732	-0,509	2,728
13	-0,229	3,663	-0,495	2,939
14	0,049	3,556	-0,482	3,123

Кожним варіантом  $E_i$  однозначно визначається деякий результат  $e_i$ . Результати мають кількісну оцінку, і для простоти ці оцінки ототожнювали з відповідними результатами, позначали їх одним і тим самим символом  $e_i$ .

Задачею є пошук найкращого значення результату, тобто знаходження

$$\max_i e_i. \tag{4}$$

Необхідно зазначити, що оцінки  $e_i$  характеризують такі величини, як стійкість зміцнених деталей до корозійних, втомних, корозійно-механічних впливів.

Оскільки розглядувана множина  $E_0$  оптимальних варіантів складається з тих варіантів  $E_{i0}$ , які належать множині  $E$  всіх варіантів і оцінка  $e_{i0}$  яких максимальна серед всіх оцінок  $e_i$ , то вибір оптимального варіанту здійснюється за допомогою критерію [18]

$$E_0 = \left\{ E_{i0} \mid E_{i0} \in E \wedge e_{i0} = \max_i e_i \right\}. \tag{5}$$

Вибір оптимального варіанту у відповідності до критерію (5) не є однозначним, оскільки максимальний результат (4) може досягатися в множині всіх результатів багатократно. Необхідність вибирати одне з декількох однаково добрих рішень не створює додаткових труднощів. Оскільки в досліджуваних залежностях мінімуми і максимуми дають протилежні оцінки (рис. 1, 2) то, згідно з [18],

$$e_{ir} = \min_j e_{ij} + \max_j e_{ij}, \tag{6}$$

максимальну оцінку можна знайти в мінімізованих значеннях  $E_N$  (рис.4).

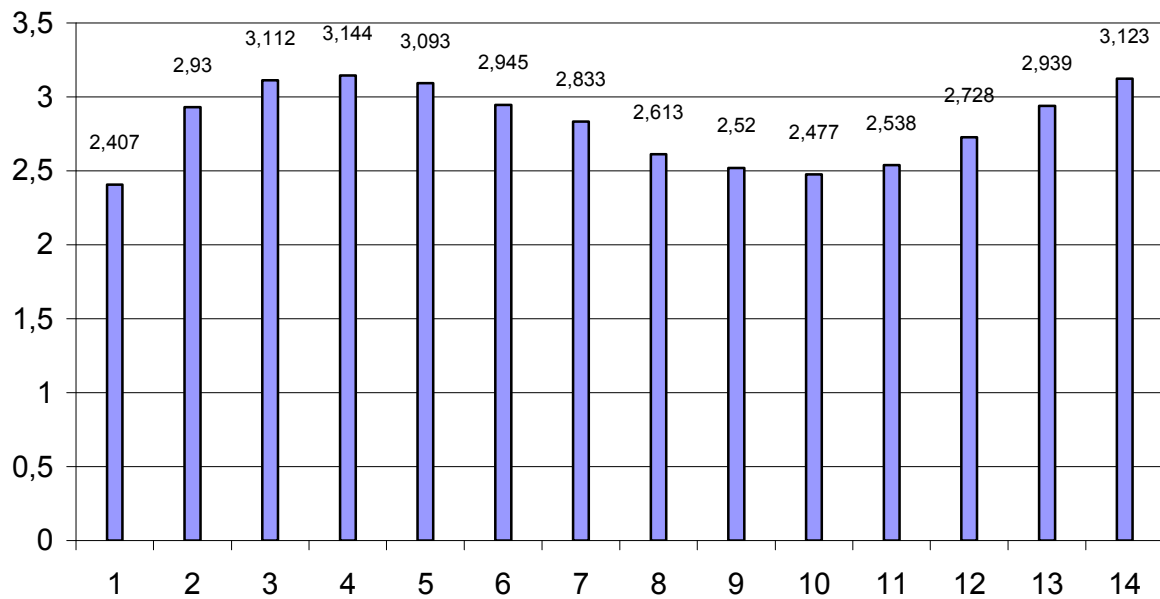


Рис. 4. Мінімізовані оцінки множини варіантів параметрів обробки

Оскільки критерієм оптимізації є якісні та кількісні параметри технологічної спадковості, то необхідно зазначити, що параметри варіанту № 1 не забезпечують необхідних якостей зміцнених деталей. Практичне значення мають варіанти параметрів за № 9, 10, 11.

Виходячи з сучасних уявлень про домінуючий вплив технологічної спадковості на експлуатаційні властивості деталей машин [2, 13] та результатів досліджень, можна сформулювати рекомендації для використання параметрів механоімпульсної обробки для зміцнення деталей компресорів та насосів нафтогазової промисловості.

Отже, для деталей, які працюють в умовах корозійного впливу, оптимальними будуть параметри 9 варіанту обробки, оскільки ним забезпечуються найкраще поєднання показників мікротвердості та шорсткості поверхні. Для деталей, що працюють під дією втомних навантажень, оптимальними є параметри № 10, оскільки забезпечують найкращі показники шорсткості поверхні. Для деталей, що піддаються корозійно-втомному навантаженню, оптимальними будуть параметри 11 варіанту обробки, оскільки краще поєднують фізико-механічні характеристики та високі показники товщини зміцненого шару.

В подальшому актуальним є проведення досліджень в напрямку виявлення впливу на формування внутрішніх напружень в зміцнених шарах при механоімпульсному зміцненні для виділених варіантів параметрів обробки, а також стійкості зміцнених деталей до гідро-, газо-, ударно-абразивного зношення.

*The empirical dependences which describe the influence of the speed revolution of detail and the diametrical feed-motion of tool on hardness, surface microsolidity and the strengthened layer depth following the mechanical-ultrasonic machining are determined. The optimum parameters of the mechanical-ultrasonic machining performing directed at strengthen of the compressors and pumps parts of the oil-gas industry which work under the conditions of the corrosive-fatiguing influence are fixed.*

## Література

1. Ермаков Ю.М. Состояние и тенденции развития комбинированных способов механической обработки // Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Серия 6-3. Технология металлообрабатывающего производства. Обз. инф. Вып 1. –М.: ВНИИТЭМР, 1985. -48 с.
2. Ящерицын П.И., Скорынин Ю.В. Технологическая и эксплуатационная наследственность и ее влияние на долговечность машин. –Мн.: Наука и техника, 1978, -120 с.
3. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. –К.: Наукова думка, 1988. –240 с.

4. Бабей Ю.И., Швец В.В., Гурей И.В., Капарова Л.А. Исследование параметров импульсного упрочнения плоских деталей // Физико-химическая механика материалов. –1989. –№1. –С.108-110.
5. Ультразвуковая упрочняюще чистовая обработка коленчатых валов. –Челябинск: Центральный научный технический институт. –1974. –№ 457-17. –4 с.
6. Арушанов В.Л. Ультразвуковая упрочняющая чистовая обработка деталей // Машины и нефтяное оборудование. –1979. –№5. –С.29-30
7. Марков Л.И. Ультразвуковая обработка материалов. –М.: Машиностроение, 1980. -237 с.
8. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2х томах. Т.1. Обработка материалов с применением инструмента / Под ред. В.П.Смоленцева. –М.: Высшая школа, 1983. –247 с.
9. Муханов И.И. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом. –М.: Машиностроение, 1978. -44 с.
10. Муханов И.И., Голубев Ю.М., Филимоненко В.Н. Ультразвуковое упрочнение стальных деталей машин // Сборник докладов научно-технической конференции по машиностроению. –Новосибирское НТО: Машпром. –1964. –Ч.І. –С.35-39.
11. Каличак Т.Н., Кырылиев В.И., Фенчин С.В. Механоимпульсное упрочнение длинномерных деталей типа штоков гидроцилиндров // Физико-химическая механика материалов. –1989. –№1. –С.106-108.
12. Северденко В.П., Клубович В.В., Степаненко А.В. Обработка металлов давлением с ультразвуком. – Минск: Наука и техника, 1973. -288 с.
13. Бабей Ю.И., Сопрунюк Н.Г. Защита стали от коррозионно-механического разрушения. –К.: Техніка, 1981. -126 с.
14. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. –К.: Наукова думка, 1984. -272 с.
15. Упрочнение стали механической обработкой / Под ред. Г.В.Карпенко. –К.: Наукова думка, 1966. - 204 с.
16. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. –К.: Техніка, 1975. -168 с.
17. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении. –М.: Машиностроение, 1982. - 176 с.
18. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: пер. с нем. –М.: Мир, 1990. -208 с.

*Одержано 15.04.2005 р.*