# *Наука — виробництву*

УДК 621.787

## ВПЛИВ МЕХАНОУЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ НА ОПІР КОРОЗІЙНОМУ РОЗТРІСКУВАННЮ ДЕТАЛЕЙ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

***Ю.Д.Петрина, А.В.Швадчак, І.М.Стоцький, С.Й.Тараєвський***

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024,*
*e-mail: public@nung.edu.ua*

*Изучено влияние механоультразвуковой и токарной обработок на формирование белых шаров в изделиях нефтегазовой промышленности, а также их сопротивление коррозионному растрескиванию. Показано, что белые слои, полученные исследуемыми методами обработки, повышают сопротивление стали коррозионному растрескиванию. Однако эффект от этого воздействия зависит от структуры стали, старения и обработки холодом белых слоев.*

*The influence of mechanical ultra sound and lathe treatments are studied on forming of white surfaces in the wares of oil and gas industry, and also their resistance to the corrosive cracking. It is shown, that the white layers got the explored methods of treatment promote resistance of steel to corrosive cracking. However effect this influence depends on the structure of steel, senescence and treatment by the cold of white layers.*

Успішний розвиток машинобудування, нафтогазової, хімічної та інших галузей промисловості суттєво залежить від підвищення надійності та довговічності деталей машин, що працюють в умовах одночасної дії механічних напружень і корозійних середовищ [1]. До найбільш небезпечних видів корозійних механічних пошкоджень належить корозійне розтріснування, яке відбувається без помітної макропластичної деформації металу. Корозійних втрат при цьому майже немає або вони дуже незначні. У зв'язку з цим актуального значення набуває дослідження роботоздатності деталей у цих середовищах і вивчення причин, що викликають руйнування, а також пошук нових ефективних шляхів підвищення опору металів руйнуванню за одночасної дії середовищ і механічних напружень.

Довговічність деталей суттєво, особливо в робочих середовищах, залежить від видів обробки поверхні, їх поєднання та послідовності. Досліди останніх років засвідчують, що, змінюючи температурно-силові умови під час механічної обробки, можна в бажаному напрямку змінювати структурно-напружений стан металу [2]. За відповідного поєднання температур і тисків процесів обробки можна отримати специфічні структури, так звані білі шари, які ефективно підвищують довговічність деталей.

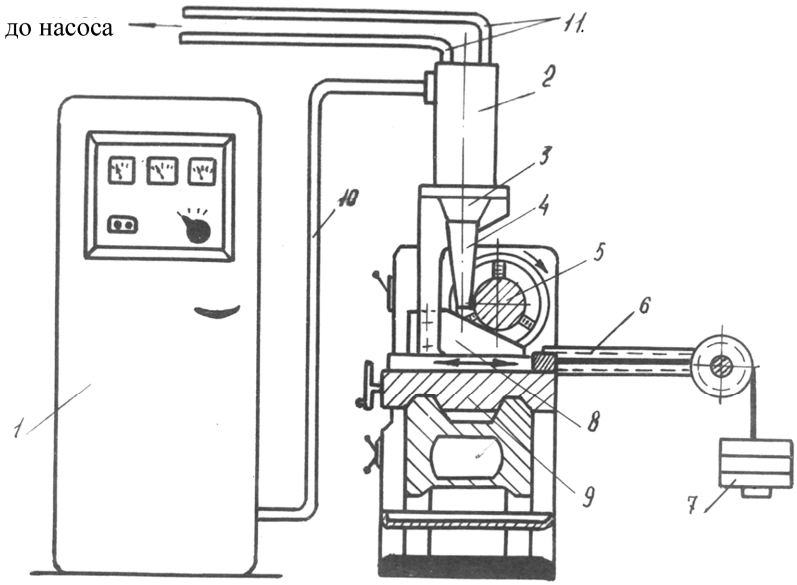
Одним з найперспективніших методів створення таких структур є механоультразвукова обробка. Однак її вплив на формування білих шарів вивчений ще недостатньо. Перші роботи стосуваються здебільшого циклічної міцності деталей, оброблених на білий шар [3]. Що стосується корозійного розтріскування таких деталей, то це питання вивчене явно недостатньо, особливо в нафтогазовій промисловості.

Тому метою роботи є вивчення впливу механоультразвукової обробки на опір сталей корозійному розтріскуванню.

До цього виду руйнування схильні загартовані та низьковідпущені сталі. У деяких корозійних середовищах розтріскування сталі значною мірою зумовлене наводнюванням металу, що викликає так звану водневу статичну втому [4]. Найбільш повно процес корозійного розтріскування металів і сплавів пояснює корозійно-електрохімічна теорія [5].

Досліди проводили на сталі 40Х, яка широко застосовується для виготовлення деталей нафтогазового обладнання (клапанів бурових насосів, штанг і т.п.).

Шліфування зразків після термічної обробки для одержання заданих розмірів проводили на круглошліфувальному верстаті моделі 3Б12 кругом ЭВ25СМ1К за сильного охолодження водною емульсією на режимах: швидкість обертання кругу $V_{кр} = 39{,}5 м/с$, швидкість обер-




*1 – генератор; 2 – магнітострикторі; 3 – концентратор; 4 – знімний концентратор; 5 – зразок; 6 – кронштейн; 7 – вантаж; 8 – пристрій для кріплення магнітострикторa; 9 – супорт верстата; 10 – струмопровідний кабель; 11 – шланг водяного охолодження.*

**Рисунок 1 — Блок-схема установки для механоультразвукової коробки**

тання виробу (деталі) $V_д = 31 м/хв$, поздовжнє подавання $S_{пд} = 0{,}2 м/хв$, поперечне подавання $S_п = 0{,}006 мм/дв.хід$.

Для одержання білих шарів точінням використовували токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62, прохідний різець, оснащений пластинкою з металокерамічного сплаву ТЗОК4 з від'ємним переднім кутом $\gamma = -45^\circ$, радіусом при вершині $r = 1 мм$ і заднім кутом $\alpha = 7^\circ$. Режими точіння: швидкість різання $V = 78{,}5 м/хв$ $(n = 1250 хв^{-1})$, подавання $S = 0{,}8 мм/об$ і глибина різання $t = 0{,}75 мм$.

Механоультразвукову обробку зразків для одержання білих шарів проводили на установці (рис. 1), що складалася з генератора ультразвукових коливань 1, магнітострикційного перетворювача ультразвукових коливань 2, закріпленого на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62 за допомогою пристрою 8, концентратора ультразвукових коливань3 і знімного концентратора 4 з припаяною частинкою з металокерамічного сплаву ТЗО4. Зразок 5 кріпили в центрах токарно-гвинторізного верстата. На супорті 9 установлювали магнітостриктор з концентратом, який примикався до зразка за допомогою вільно висячого вантажу 7; магнітостриктору надавали рух подавання. Одночасно з цим концентратору подавали ультразвукові коливання частотою 20кГц. Режими обробки: швидкість обертання зразка $n = 630 об/хв$, подавання $S = 0{,}11 хв/об$, навантаження на зразок $P = 1000 Н$, припуск на обробку 0,02мм. Загальний вигляд зображено на рис. 2.

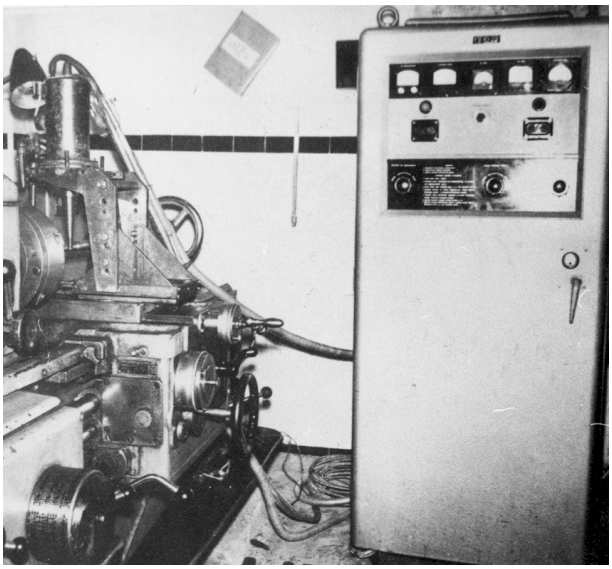
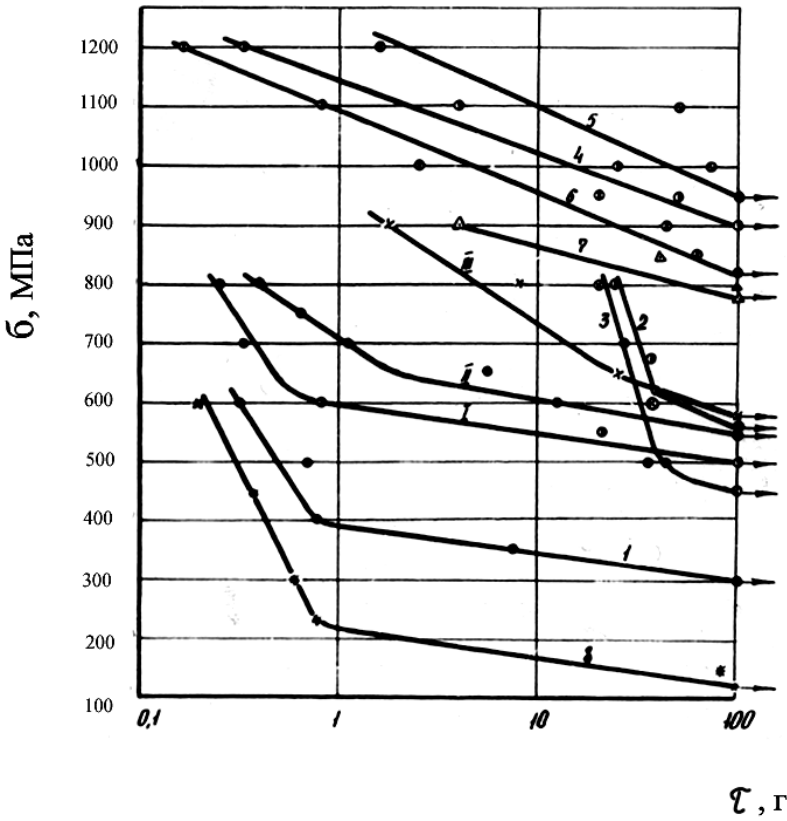


**Рисунок 2 — Загальний вигляд установки для механоультразвукової обробки**

Дослідження засвідчили, що білий шар, одержаний токарною та механоультразвуковою обробкою на загартованій і низьковідпущеній сталі 40Х, значно підвищує її опір корозійному розтріскуванню в 20% розчині $H_2SO_4$ (рис. 3). Так, наприклад, опір корозійному розтріскуванню зразків з білим шаром збільшується після токарної обробки в три рази, а після механоультразвукової в 1,8 рази відносно шліфованих зразків без білого шару. Це пояснюється позитивними фізико-механічними і електрохімічними властивостями білого шару та, зокрема, залишковими напруженнями стискання (1000-1500 МПа). Відомо [4], що залишкові напруження стискання позитивно впливають на стійкість сталі до корозійного розтріскування.




*1 – шліфування безпосередньо після термообробки (зразки без білого шару); 2 – білий шар, одержаний механоультразвуковою обробкою; 3 – білий шар, одержаний механоультразвуковою обробкою + холод; 4 – білий шар, одержаний точінням; 5 - білий шар, одержаний точінням + штучне старіння; 6 – білий шар, одержаний точінням + холод(-196°С); 7 – білий шар, одержаний точінням + холод (-276°С); 8 – білий шар, одержаний механоультразвуковою обробкою + шліфування; I – білий шар, одержаний механоультразвуковою обробкою, режим 2*; II - білий шар, одержаний механоультразвуковою обробкою, режим 2* + штучне старіння; III - білий шар, одержаний механоультразвуковою обробкою, режим 2* + природне старіння.*

*) режим 2: $n = 1250 хв^{-1}$; $S = 0{,}14 мм / об$ ; $t = 0{,}15 мм$ ; $P = 600 Н$ .

**Рисунок 3 – Криві корозійного розтріскування загартованої та низько відпущеної сталі 40Х з білим шаром**

Корозійне розтріскування в кислих електролітах проходить у результаті наводнювання металу, а попереднє дослідження з вивчення водневої оклюзії білих шарів засвідчує, що вони суттєво знижують оклюзію водню в метал. Необхідно відзначити, що хоч залишкові напруження стискання в білих шарах приблизно однакові, але зразки з білим шаром, одержані механоультразвуковою обробкою, мають нижчу стійкість проти корозійного розтріскування, ніж зразки з білим шаром, одержані механічною обробкою (точінням). Пояснення цьому факту дають дані вимірювання водневої оклюзії, які показують більшу оклюзивну здатність з водню в білих шарах, одержаних механоультразвуковою обробкою (табл. 1), що призводить до більшого наводнення зразків у процесі випробувань на корозійне розтріскування.

Для з'ясування впливу ультразвукових коливань не тільки на утворення білого шару, але й на основну структуру зразків, були проведені спеціальні дослідження. Зразки з білим шаром, одержані механоультразвуковою обробкою, шліфували на глибину, що в 10 разів перевищує товщину білого шару (500 мкм), після чого випробовували на корозійне розтріскування. З'ясувалося, що така глибока шліфовка не усунула попереднього впливу ультразвукових коливань на опір сталі корозійному розтріскуванню. Умовна межа корозійної втоми знизилася порівняно з вихідними зразками (шліфування безпосередньо після термообробки) на 60% (рис. 3, крива 8). Це свідчить про те, що дія ультразвукових коливань на загартовані сталі призводить до погіршення їх фізико-механічних властивостей. Зішліфування шару, що в 30 разів перевищувала товщину білого шару, одержаного на сталі 40Х точінням, знизила умовну межу статичної корозійної втоми тільки до рівня зразків, шліфованих безпосередньо після термообробки (тобто без білого шару) [6].

Визначення водневої оклюзії з білим шаром, одержаним механічною та механоультразвуковою обробкою, підтверджує висновок про

те, що ультразвукові коливання погіршують фізико-механічні властивості загартованої сталі. Так, наприклад, оклюзія водню в сталі з білим шаром після механічної обробки досягла 7,8 см$^3$/100г, а після механоультразвукової – 12,6 см$^3$/100г (табл. 1).

щує на 4-5 %, а холод знижує на приблизно 8% опір корозійному розтріскуванню.

**Таблиця 1 – Воднева оклюзія сталі 40Х з білим шаром (см$^3$/100г)**

| № з/п | Вид обробки | Гартування +відпуск 180°С | | Гартування+відпуск 550°С |
|---|---|---|---|---|
| | | Точіння | Механоультразвукова обробка | Механоультразвукова обробка |
| 1 | Шліфування після термообробки | 26,8 | 26,7 | 14,0 |
| 2 | Білий шар | 7,8 | 12,6 | 7,5 |
| 3 | Білий шар + старіння | 7,0 | 12,0 | 6,5 |
| 4 | Білий шар + холод | 8,5 | 13,3 | 7,9 |
| 5 | Білий шар + шліфування | - | 17,8 | - |

Штучне старіння білого шару призводить до підвищення опору сталі корозійному розтріскуванню. Так, штучно зістарений білий шар, одержаний точінням і механоультразвуковою обробкою на сталі 40Х, підвищує стійкість проти корозійного розтріскування порівняно з білим шаром без додаткової термообробки на 5% (рис. 3, крива 5, II). Природне старіння білого шару (за кімнатної температури протягом трьох місяців), одержаного механоультразвуковою обробкою, призвело до ще більшого підвищення опору сталі корозійному розтріскуванню (рис. 3, крива III). У нашому випадку це підвищення досягло 18% порівняно з білим шаром без додаткової термообробки. Тут виникають більш сприятливі фізико-механічні властивості металу, ніж під час штучного старіння (виділення більш дрібнодисперсних карбідів).

Обробка холодом білих шарів, одержаних токарною і механоультразвуковою обробками, призводить до зниження опору сталі корозійному розтріскуванню порівняно з білим шаром без обробки холодом. Так, у випадку токарної обробки, це зниження досягло 10%, а за механоультразвукової – 22% (рис. 3, криві 6, 3).

Відзначимо, що зниження температури під час обробки холодом до –267°С призводить до ще більшого зниження досліджуваної характеристики – до 13% (білий шар, одержаний точінням, рис. 3, крива 7).

**Висновки**

1. Встановлено, що механоультразвукову обробку доцільно застосовувати, головним чином, для зміцнення сталей, термооброблених на низьку та середню міцність, у той час як токарну обробку – для загартованих і низько відпущених сталей.

2. Білі шари знижують оклюзивну здатність сталі за воднем у 2-3 рази.

3. Старіння та обробка холодом білих шарів, одержаних токарною та механоультразвуковою обробками призводять до несуттєвої зміни довговічності сталі як у повітрі, так і в корозійному середовищі. У той же час старіння підви-

***Література***

1. Романив О.Н., Никифорчин Г.Н. Механика коррозионного разрушения конструкционных сплавов. – М.: Металлургия, 1986. – 294 с.

2. Гурей І.В.,Плахтій Л.В., Сеничак В.М. Вплив вмісту вуглецю в сталях на товщину зміцненого шару при фрикційному зміцненні // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ . – 1999. – №36 (том 4). – С.186-192.

3. Бабей Ю.И., Стоцкий И.М. Влияние механоультразвуковой обработки на циклическую прочность деталей // Состояние и перспективы промышленного освоения вибрационной обработки. – Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1974. – С. 157-160.

4. Карпенко Г.В. Прочность стали в коррозионной среде. – М.: Машгиз, 1963. – 188 с.

5. Карпенко Г.В., Василенко И.И. Коррозионное растрескивание сталей. – К.: Техніка, 1971. – 191 с.

6. Влияние вторичных структур, возникающих при механической обработке закалённой стали на её сопротивление коррозионному растрескиванию / М.Г.Хитаришвили, Ю.И.Бабей, И.И.Василенко, Г.В.Карпенко // Физико-химическая механика материалов. – 1968. – №3. – С.306-311.