

УДК 621.923

УТВОРЕННЯ НАКЛЕПУ ПРИ ПОВЕРХНЕВІЙ ОЧИСНО-ЗМІЦНЮЮЧІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ СТАЛЕВИМИ ЩІТКАМИ

© О. А. Гавриш, д.т.н., с.н.с., ДП НТЦ АСО, Київ, Україна

Статья посвящена вопросам изучения качества поверхностных слоев материалов при обработке инструментами с гибкими рабочими элементами в зависимости от режимов резания, характеристики инструмента и технологических факторов.

Исследовано влияние технологических параметров термомеханической обработки стальными щетками на уровень формирования поверхностных остаточных напряжений.

The work is devoted questions of the increase quality surface layer materials by tools with flexible business elements in processing of rational choice cutting regime, characteristics tool and technology factors. The investigation of influence the technological parameters of thermal mechanical treatment process by steel brushes for formation of surface layers' internal stresses.

Постановка проблеми

У сучасному машинобудуванні заключною фазою виготовлення деталей і машин є нанесення на оброблені поверхні лакофарбових покриттів, для чого ці поверхні повинні бути надійно очищені від корозії, окалини, пригарів, а у випадку ремонту машин — від попередніх шарів фарби.

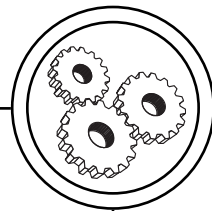
З цією метою у промисловості широке розповсюдження отримали різні методи поверхневої оздоблювально-зміцнюючої обробки (ПОЗО) [1]. Серед них найбільш часто використовується машинна обробка сталевими щітками, а також термомеханічна обробка (ТМО) з використанням сталевих щіток, що містять у своєму складі як гнучкі, так і жорсткі робочі елементи [2].

Відомо, що для підвищення коефіцієнту зчеплення фарби з основою металу (після його очистки) поверхневий шар повинен мати відповідну якість, а саме, шорст-

кість поверхні по параметру Ra — у межах 0,150—0,200 мкм, залишкові напруження стиску — у межах 10—20 кг/мм², мінімальний наклеп, що розповсюджується на глибину не більше 10—15 мкм.

На жаль, не дивлячись на значну кількість публікацій з питань ПОЗО ТМО [3-7], досліджень параметрів наклепу при тонкій очисно-зміцнюючій обробці сталевими щітками у літературних джерелах майже нема. Це обумовило появу у виробництві різних за характеристиками процесів ПОЗО, які у більшості своїй є далеко не оптимальними і найчастіше призначені для забезпечення окремих, хоча нерідко і складних, інженерно-технічних задач.

Тому всебічне дослідження параметрів наклепу поверхневих шарів металу при ПОЗО дисковими сталевими щітками є актуальним питанням, вирішення якого має не тільки наукове, але і, що не менш важливе, практичне значення.



Дослідження закономірності утворення наклепу

Дослідження у цьому напрямку виконувалось у рамках науково-дослідної роботи «Розробка технології і обладнання для об'ємного зміцнення виробів методом термо-механічної обробки» (Державні науково-технічні програми 04.43, 04.04 ДКНТ та Міннауки України за 1994—97 рр.).

Нижче наведені деякі результати експериментальних робіт по вивченню закономірностей утворення наклепу при механічній очистці дисковими сталевими щітками площинних поверхонь деталей.

Дослідження виконувались на технологічних зразках сталей 40Х, 38ХНЗМФА і 42ХЗНЗСМФРУ. Обробка площинних поверхонь зразків виконувалась на прецизійному плоско-шліфувальному верстаті FF-350 «Abawerk» (ФРГ), при цьому зразки розміщувались у вікнах сепаратору і кріпились на електромагнітній плиті верстату. На шпінделі верстату кріпились дискові сталеві щітки.

При використанні термомеханічного ефекту застосовувався пристрій, який дозволяв підключати одну фазу електричного струму до оброблюємої деталі, а другу — до інструменту (дискової сталеві щітки).

Режими оброблення були вибрані виходячи з загальних уявлень про процес різання і відомих положень, про те, що робота з тонкими (так би мовити легкими) режимами різання гарантує утворення мінімального наклепу [8].

З урахуванням зазначеного застосовувались такі технологічні режими: швидкість обертання дискової сталеві щітки — 10—30 м/с, повздовжня подача — 2—10 мм/хв, глибина різання (натяг щітки) —

0,05—0,15 мм, для випадку термо-механічного оброблення сила струму коливалась у межах 50—100 А при частотах струму 50—70 Гц.

Діаметр сталеві ворсу дискових щіток змінювався у межах $\varnothing 0,010$ — $\varnothing 0,10$ мм шляхом заміни заздалегідь підготовлених блоків гнучких робочих елементів.

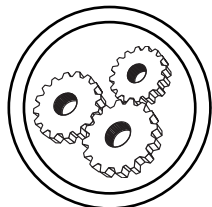
Вимірювання параметрів наклепу відбувалось за допомогою металографічного і рентгеноструктурного аналізів, а також методом високочастотного електромагнітного зондування.

При металографічних дослідженнях визначалась мікротвердість H_q з допомогою приладу ПМТ-3.

Рентгеноструктурні дослідження наклепу виконувались на іонізаційній установці УРС-50И у Fe-опроміюванні.

Вимірювалась напівширина ліній (111) та (311), і по уширенню цих ліній розраховувались характеристики тонкої структури: спотворення II роду ($\Delta a/a$) і розміри блоків D [9]. У деяких випадках знімалися рентгенограми зразків.

Виміри резонансної ємності C_p відносно еталону (зразка, що не оброблявся), встановленої на дефектоскопі Д-3 [10], дозволяли оцінити якісні показники поверхневого шару. Дефектоскоп має можливість досліджувати зовнішні шари феромагнітних деталей на різних глибинах проникнення вихрових струмів у деталь. В процесі експериментів використовувався датчик типу накладної котушки при робочій частоті $4 \cdot 10^6$ Гц. Величина ємності, яка необхідна для настройки контуру в резонанс, залежить від зміни індуктивності L датчика і визначається властивостями зовнішнього шару деталі. Чим менша глибина наклепу h , тим більша індуктивність датчика і тим мен-



ша величина резонансної ємності C_p (у відносних одиницях $C_p \sim 1/h$).

Глибина наклепаного шару визначалась послідовним пошаровим травленням (електрополіровкою) з кроком ~ 1 мкм.

Для електрополіровки застосовувався електроліт зі складом: фосфорна кислота — 85 %, хромовий ангідрид — 15 %.

Режим електрополіровки (після попередніх численних дослідів) був визначений таким: температура електроліту — 80 °С, щільність струму 1,7 А/см², відстань між катодом і зразком —

вертикальна, час травлення — 15 сек.

Результати досліджень наведені у таблицях 1—6.

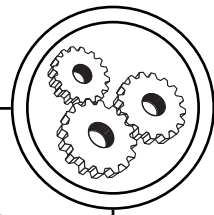
Аналіз таблиць дозволяє дійти до деяких висновків. Перш за все, суттєвий вплив на параметри наклепу має швидкість обертання сталеві щітки. Збільшення швидкості веде до зростання наклепу. Мабуть, це пояснюється зростанням силової дії на мікроблоки зрізаємої поодиноким сталевим ворсом стружки внаслідок збільшення складової сили різання P_z . У той же час збільшення швидкості

Таблиця 1
Залежність параметрів наклепу від швидкості обертання сталеві щітки

Швидкість щітки V, м/с	Параметри наклепу							
	Сталь 38ХНЗМФА				Сталь 42ХНЗСМФРУ			
	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Розмір блоків, Д, А ⁰	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Розмір блоків, Д, А ⁰	Мікротвердість Нq, кг/мм ²
10	54,9	13,0	1830	170	56,0	13,3	1860	180
15	57,3	13,3	1370	180	61,2	15	1320	190
20	61,1	17	1050	320	65,3	18	910	310
30	68,2	19	600	340	70,4	20	590	350
Еталон	25,0	—	1950	140	28	—	2010	165

Таблиця 2
Залежність параметрів наклепу від глибини різання (величини натягу сталеві щітки)

Глибина різання, t, мм	Параметри наклепу					
	Сталь 40Х		Сталь 38ХНЗМФА		Сталь 42ХНЗСМФРУ	
	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість Нq, кг/мм ²
0,05	14,1	155	13,3	150	13,7	175
0,10	15,0	210	16,1	215	17,4	295
0,15	18,5	290	19,1	280	21,1	320
Еталон	—	145	—	140	—	165



Таблиця 3

Залежність параметрів наклепу від повздовжньої подачі щітки

Подача, S, мм/хв	Параметри наклепу					
	Сталь 40Х		Сталь 38ХНЗМФА		Сталь 42ХЗНЗСМФРУ	
	Напру- ження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікро- твердість Hq, кг/мм ²	Напру- ження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікро- твердість Hq, кг/мм ²	Напру- ження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікро- твердість Hq, кг/мм ²
2	13,3	160	13,5	165	14,1	170
5	14,2	165	14,3	170	15,0	180
10	15,7	170	16,1	180	17,4	210
15	18,4	175	19,1	205	20,1	240
Еталон	—	145	—	140	—	165

Таблиця 4

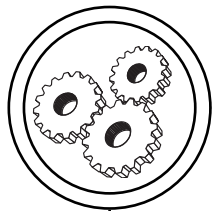
Залежність параметрів наклепу від сили струму при термомеханічному обробленні сталевими щітками

Сила струму, А	Параметри наклепу					
	Сталь 40Х		Сталь 38ХНЗМФА		Сталь 42ХЗНЗСМФРУ	
	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Мікро- твердість Hq, кг/мм ²	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Мікро- твердість Hq, кг/мм ²	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Мікро- твердість Hq, кг/мм ²
50	55,1	155	54,9	170	56,0	180
70	56,2	153	55,1	169	54,7	175
100	57,6	150	58,3	163	54,2	171s
Еталон	26	145	25	140	28	165

Таблиця 5

Залежність параметрів наклепу від діаметру ворсу сталеві щітки

Діаметр ворсу, мм	Параметри наклепу								
	Сталь 40Х			Сталь 38ХНЗМФА			Сталь 42ХЗНЗСМФРУ		
	Напру- ження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікро- твер- дість Hq, кг/мм ²	Єм- кість Ср, мкф	Напру- ження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікро- твер- дість Hq, кг/мм ²	Єм- кість Ср, мкф	Мікро- твер- дість Hq, кг/мм ²	Напру- ження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Єм- кість Ср, мкф
0,01	11,7	159	58,0	11,4	165	57,3	12,1	170	58,1
0,05	12,5	170	59,1	12,3	169	59,2	13,8	175	60,3
0,10	16,1	177	61,8	15,0	185	62,1	16,9	191	63,0
Еталон	—	145	—	—	140	—	—	165	—



Таблиця 6

Залежність параметрів наклепу від глибини травлення
(обробка з режимами $V = 20$ м/с, $S = 5$ мм/хв, $t = 0,10$ мм,
 $I = 50$ А, діаметр ворсу — $\varnothing 0,10$ мм)

Стравлено, мкм	Параметри наклепу									
	Сталь 38ХНЗМФА					Сталь 42ХНЗСМФРУ				
	$V_{(311)}$, мм	Ср, мкф	Hq, кг/мм ²	Д, А ⁰	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$V_{(311)}$, мм	Ср, мкф	Hq, кг/мм ²	Д, А ⁰	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$
Після очистки (вихідні дані)	61,1	59,1	180	1050	16,9	65,3	59,2	190	910	18,0
5	60	56,3	165	870	14,5	57,7	58,7	180	830	15,1
10	51,7	53,1	155	650	13,3	47,6	47,6	171	710	14,7
15	18,1	48,0	149	470	10,6	19,0	45,3	167	510	12,1

веде до зростання миттєвих контактних температур у зоні оброблення [11, 12]. Але силова дія, яка веде до утворення наклепу, переважає фактор відпочинку металу під дією теплового джерела. Слід одночасно відмітити, що при обробці одночасно відбувається два тісно пов'язаних один з одним процеси: зміцнення поверхневого шару під дією силового поля і відпочинок внаслідок впливу теплового поля. Результуючі параметри визначають кінцевий результат — остаточні значення наклепу.

Від того, який з факторів на даний момент переважає, залежить як степінь зміцнення поверхні (наклеп), так і глибина його розповсюдження. Аналіз показує, що вже на глибині 15 мкм параметри наклепу практично дорівнюють їх значенням безпосередньо після обробки (табл. 6).

По друге, слід звернути увагу на те, що серед режимних факторів обробки (окрім параметру швидкості V) деякий вплив на параметри наклепу мають і інші режимні фактори, а саме, повздовжня подача

S , глибина різання t і сила електричного струму I (табл. 2—4). Але вплив цих факторів — менший, ніж швидкість обертання сталеві щітки.

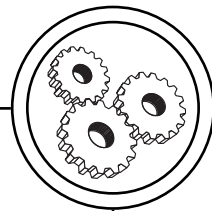
Суттєво впливає на параметри наклепу діаметр сталевих ворсу щітки (табл. 5). Зростання діаметра ворсу обумовлює збільшення абсолютно усіх параметрів наклепу. Мабуть, це може бути пояснено також збільшенням перерізу елементів мікростружки, що знімаються поодиноким сталевим ворсом дискової щітки і, як наслідок, відповідним зростанням складової сили різання P_z .

Ці висновки тісно корелюються з результатами досліджень залишкових напружень у поверхневих шарах оброблених деталей [13].

Висновки

Узагальнюючи результати експериментального вивчення параметрів наклепу після поверхневого очисно-зміцнюючого оброблення поверхонь деталей необхідно зробити такі висновки:

1. Обробку деталей слід виконувати з режимами, які забезпечують



виникнення мінімальних параметрів наклепу, а саме — швидкості обертання сталевго ворсу щітки V у межах 10—25 м/с, повздовжній подачі — 2—10 мм/хв, глибині різання — 0,05—0,10 мм, силі струму — 50 А, діаметрі сталевго ворсу щітки — $\varnothing 0,05$ —0,10 мм.

2. Виконання отриманих рекомендацій по режимам очищення деталей гарантує, що наклеп по

глибині обробленої поверхні не буде перевищувати 10—15 мкм.

3. Отримані результати вивчення наклепу тісно корельовані з результатами робіт по дослідженню миттєвих контактних температур у зоні оброблення і залишкових напружень поверхневого шару, що підтверджує єдність фізичних явищ, які відбуваються у поверхневих шарах деталі.

1. Гавриш О. А. Поверхнева очисно-зміцнююча обробка деталей // Зб.: «Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» (Машиностроение). — 2002. — № 43. — С. 174—175. 2. Гавриш О. А., Комнацький О. Л., Киричок П. О. Нові конструкції інструменту для поверхневої оздоблювально-зміцнюючої обробки деталей у машинобудуванні // Зб.: «Мир техники и технологий». — Харків: Промінь, 2003. — № 1. — С. 56—58. 3. Пуховский Е. С., Гавриш А. П., Грищенко Е. Ю. Обработка высокопрочных материалов. — Київ: Техніка, 1983. — 134 с. 4. Кравченко В. Н., Литвиняк Я. Н., Перепичка Е. В. Исследование процесса обработки поверхностей вращающимися металлическими щетками // Сб.: «Оптимизация производственных процессов и технический контроль в машиностроении» (Вестник Львовского политехн. ин-та), 1983. — 43 с. 5. Кургузов Ю. И., Папшев Д. Д. Технологическое обеспечение качества поверхности при упрочнении механическими щетками // Вестник машиностроения. — 1986. — № 4. — С. 54—56. 6. Папшев Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. — М.: Машиностроение, 1978. — 152 с. 7. Суслов А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. — М.: Машиностроение, 1987. — 207 с. 8. Гавриш А. П., Солдатенко Л. А. Наклеп поверхностного слоя при шлифовании магнитомягких материалов кругами из кубонита // Зб.: «Высокие технологии в машиностроении» (Труды Харьковского государственного политехнического института). — Харків, 1998. — С. 69—70. 9. Качанов Н. Н., Маркин Л. И. Рентгеноструктурный анализ. — М.: Машиностроение, 1990. — 318 с. 10. Ярошек А. Д. Исследование внешних слоев деталей методом вихревых токов // Заводская лаборатория. — 1990. — № 11. — С. 8—12. 11. Гавриш А. П., Киричок П. О., Гавриш О. А. Експериментальне дослідження миттєвих контактних температур при очисно-зміцнюючій обробці поверхонь деталей дисковими сталевими щітками // Зб.: «Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету»: КДТУ, 2003. — № 1. — С. 18—24. 12. Киричок П. А., Гавриш О. А., Гавриш А. П. Экспериментальное исследование тепловых явлений при очистно-упрочняющей обработке поверхностей деталей // Зб.: «Мир техники и технологий». — Харків: Промінь, 2003. — № 4. — С. 48—52; (Машиностроение). — 2003. — № 44. — С. 18—24. 13. Гавриш О. А. Остаточные напряжения очистно-упрочняющей обработки в поверхностных слоях деталей // Зб.: «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала»: вид-во Українського інформац. Центру, 2003. — С. 54—58.