

УДК 621.923

О.А. Гавриш, д.т.н., с.н.с.

Національний технічний університет України "КПІ"

ВПЛИВ НА ПАРАМЕТРИ НАКЛЕПУ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОЧИСНО-ЗМІЦНЮЮЧОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Робота присвячена питанням вивчення якості поверхонь деталей при тонкій термомеханічній обробці деталей сталевими щітками з гнучкими робочими елементами. Досліджено вплив технологічних факторів оброблення на глибину і ступінь наклепу, величину напружень II-го роду і розмір блоків мозаїки.

Вступ. 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 коефіцієнта зчеплення фарби з основою металу (після його очистки) поверхневий шар повинен мати відповідну якість, а саме шорсткість поверхні за параметра 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.

Постановка задачі і мета дослідження. У науково-технічній літературі є достатньо інформації про якість поверхні при ПОЗО. Але, на жаль, незважаючи на значну кількість публікацій з питань ПОЗО ТМО [3–7], дослідженнями інтегральних параметрів наклепу практично ніхто не займався. Більшість наукових робіт присвячено питанням досліджень силового чи температурного полів у зоні оброблення, залишковим напруженням чи шорсткості поверхні. Комплексного дослідження, яке б об'єднало результати всіх окремих частин проблеми воедино, немає. Це обумовило появу у виробництві різних за характеристиками процесів ПОЗО, які здебільшого є далеко

не оптимальними і найчастіше призначені для забезпечення окремих, хоча нерідко і складних, інженерно-технічних задач.

Тому всебічне дослідження інтегральних характеристик наклепу в загальній сукупності дії різних технологічних параметрів є актуальним питанням, вирішення якого має не тільки наукове, але, що не менш важливо, практичне призначення.

Саме цьому присвячена дана стаття, метою якої є вивчення параметрів наклепу при ПОЗО ТМО.

Дослідження цього питання виконувалось у рамках науково-дослідної роботи “Розробка технології і обладнання для об’ємного зміцнення виробів методом термомеханічної обробки” (Державні науково-технічні програми 05.43, 04.04 ДКНТ та Мін. науки України за 1994–1997 рр).

На жаль досліджень параметрів наклепу при тонкій очисно-зміцнюючій обробці сталевими щітками у літературних джерелах майже нема.

Методика досліджень. Нижче наведені деякі результати експериментальних робіт з вивчення 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” (ФРН), при цьому зразки розміщувались у вікнах сепаратору і кріпились на електромагнітній плиті верстата. На шпинделі верстата кріпились дискові сталеві щітки.

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

Режими оброблення були вибрані, виходячи із 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 вищезазначеного застосовувались такі технологічні режими: швидкість обертання дискової сталеві щітки – 10–30 м/с, повздовжня подача – 2–10 мм/хв., глибина різання (натягання щітки) – 0,05–0,15 мм, для випадку термомеханічного оброблення сила струму коливалась у межах 50–100 А при частотах струму 50–70 Гц.

Діаметр сталевго 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 Нq з допомогою приладу ПМТ-3.

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

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

Вимірювання резонансної ємкості 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 деталей. У процесі експериментів використовувався датчик типу накладної катушки при робочій частоті $4 \cdot 10^6$ Гц. Величина ємкості, 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 менша величина резонансної ємкості 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 експериментів

Результати досліджень наведені у таблицях 1–6.

Таблиця 1

*Залежність параметрів наклепу
від швидкості обертання сталевго щітки*

Швид-	Параметри наклепу	
	Сталь 38ХНЗМФА	Сталь 42ХЗНЗСМФРУ

кість щітки V, м/с	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Розмір блоків, Д, А°	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Ширина лінії, $V_{(311)}$, мм	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Розмір блоків, Д, А°	Мікротвердість Нq, кг/мм ²
10	54,9	13,0	1830	340	56,0	13,3	1860	350
15	57,3	13,3	1370	370	61,2	15	1320	360
20	61,1	17	1050	410	65,3	18	910	400
30	68,2	19	600	420	70,4	20	590	425
Еталон	25,0	–	1950	300	28	–	2010	315

Таблиця 2

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

Глибина різання, t, мм	Параметри наклепу					
	Сталь 40Х		Сталь 38ХНЗМФА		Сталь 42ХЗНЗСМФРУ	
	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	220	13,3	320	13,7	337
0,10	15,0	240	16,1	330	17,4	390
0,15	18,5	370	19,1	350	21,1	410
Еталон	–	217	–	300	–	315

Таблиця 3

Залежність параметрів наклепу від повздожньої подачі щітки

Подача, S, мм/хв.	Параметри наклепу					
	Сталь 40X		Сталь 38ХНЗМФА		Сталь 42ХЗНЗСМФРУ	
	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
2	13,3	225	13,5	325	14,1	340
5	14,2	245	14,3	340	15,0	360
10	15,7	255	16,1	360	17,4	315
15	18,4	270	19,1	370	20,1	390
Еталон	–	217	–	300	–	315

Таблиця 4

Залежність параметрів наклепу від сили струму при термомеханічному обробленні сталевими щітками

Сила струму, A	Параметри наклепу					
	Сталь 40X		Сталь 38ХНЗМФА		Сталь 42ХЗНЗСМФРУ	
	Ширина лінії V ₍₃₁₁₎ , мм	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Ширина лінії V ₍₃₁₁₎ , мм	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Ширина лінії V ₍₃₁₁₎ , мм	Мікротвердість Нq, кг/мм ²
50	55,1	225	54,9	345	56,0	355
70	56,2	219	55,1	380	54,7	345
100	57,6	218	58,3	315	54,2	320
Еталон	26	217	25	300	28	315

Таблиця 5

Залежність параметрів наклепу від діаметру ворсу сталеві щітки

Діаметр ворсу, мм	Параметри наклепу								
	Сталь 40X			Сталь 38ХНЗМФА			Сталь 42ХЗНЗСМФРУ		
	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Ємкість Ср, мкф	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Ємкість Ср, мкф	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість Нq, кг/мм ²	Ємкість Ср, мкф
0,01	11,7	228	58,0	11,4	300	57,3	12,1	320	58,1
0,05	12,5	234	59,1	12,3	338	59,2	13,8	335	60,3
0,10	16,1	245	61,8	15,0	355	62,1	16,9	360	63,0
Еталон	–	217	–	–	300	–	–	315	–

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	H_f , кг/мм ²	Δ , А°	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$V_{(311)}$, мм	Ср, мкф	H_f , кг/мм ²	Δ , А°	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$
Після очистки (вихідні дані)	61,1	59,1	330	1050	16,9	65,3	59,2	360	910	18,0
5	60	56,3	300	870	14,5	57,7	58,7	330	830	15,1
10	51,7	53,1	295	650	13,3	47,6	47,6	320	710	14,7
15	18,1	48,0	232	470	10,6	19,0	45,3	315	510	12,1

Аналіз таблиць дозволяє дійти до деяких висновків. Перш за все, суттєвий вплив на параметри наклепу має швидкість обертання сталеві щітки. Збільшення швидкості призводить до зростання наклепу. Мабуть це пояснюється зростанням силової дії на мікроблоки зрізуваної поодиноким сталевим ворсом стружки внаслідок збільшення складової сили різання P_z . У той же час збільшення швидкості призводить до зростання миттєвих контактних температур у зоні оброблення [11, 12]. Але силова дія, яка призводить до утворення наклепу, переважає фактор відпочинку металу під дією теплового джерела. Слід одночасно зазначити, 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 ступінь зміцнення поверхні (наклеп), так і глибина його розповсюдження. Аналіз показує, що вже на глибині 15 мкм параметри наклепу майже 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 й 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 сталеві 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 щодо 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 сталевого 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 сталевого ворсу щітки – \varnothing 0,05–0,10 мм.

2. Виконання отриманих рекомендацій за режимами 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 з дослідження миттєвих контактних температур у зоні оброблення і залишкових напружень поверхневого шару, що підтверджує єдність фізичних явищ, які відбуваються у поверхневих шарах деталі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Гавриш О.А.* Поверхнева очисно-зміцнююча обробка деталей // Вестник национального технического университета Украины “КПИ” / Машиностроение. № 43. – 2002. – С. 97–102.
2. *Гавриш О.А., Комнацький О.Л., Киричок П.О.* Нові конструкції інструменту для поверхневої оздоблювально-зміцнюючої обробки деталей у машинобудуванні // Мир техники и технологий. Х.: Промінь. – № 1. – 2003. – С. 18–23.
3. *Пуховский Е.С., Гавриш А.П., Грищенко Е.Ю.* Обработка высокопрочных материалов. – Киев: Техніка, 1983. – 134 с.
4. *Кравченко В.Н., Литвиняк Я.Н., Перепичка Е.В.* Исследование процесса обработки поверхностей вращающимися металлическими щетками // Оптимизация производственных процессов и технический контроль в машиностроении: Вестник Львовского политехн. ин-та. – 1983. – 43 с.
5. *Кургузов Ю.И., Патшев Д.Д.* Технологическое обеспечение качества поверхности при упрочнении механическими щетками // Вестник машиностроения. – № 4. – 1986. – С. 54–56.

6. *Папиев 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 // Высокие технологии в машиностроении: Труды Харьковского государственного политехнического института, Харьков. – 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. – № 11, 1990. – 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 // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету – № 1. 2003. – С. 18–24.
12. *Гавриш О.А.* Фазово-структурні перетворення у поверхневих шарах деталей при оздоблювальній – зміцнюючій термомеханічній обробці сталевими щітками // Наукові праці Одеського національного морського інституту – № 3. – 2003. – С. 12–21.
13. *Гавриш О.А.* Остаточные напряжения очистно-упрочняющей обработки в поверхностных слоях деталей // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала: вид. Українського інформац. Центру. – 2003. – С. 20–27.

ГАВРИШ Олег Анатолійович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник декана факультету менеджменту та маркетингу Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- фінішні методи оздоблювальної обробки матеріалів;
- економічні потреби впровадження нових технологій у виробництво.

Подано 25.02.06