

УДК 621.923

О.А. Гавриш, к.т.н., с.н.с.*Державне підприємство “Науково-технічний центр артилерійсько-стрілецького озброєння України”***П.О. Киричок, д.т.н., проф.***Національний технічний університет України „КПІ”*

ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ПРИ НАДТОНКОМУ ТЕРМОМЕХАНІЧНОМУ ОЧИЩЕННІ ДЕТАЛЕЙ СТАЛЕВИМИ ЩІТКАМИ

Робота присвячена питанням вивчення якості поверхонь деталей при надтонкій термомеханічній обробці деталей сталевими щітками з гнучкими робочими елементами. Досліджено вплив технологічних факторів оброблення на миттєві контактні температури, складові сил різання, параметри шорсткості, глибину і ступінь наклепу, величину напружень II-го роду і розмір блоків мозаїки.

У машинобудівних галузях промисловості розповсюдженим є поверхневе очисно-зміцнююче оброблення деталей дисковими сталевими щітками з застосуванням термомеханічного ефекту [1, 2]. Такий метод оброблення використовується як фінішна операція технологічного процесу виготовлення машин і приладів перед фарбуванням продукції з метою надання їй привабливого зовнішнього вигляду і відповідно розширення товарного ринку для задоволення безперервно зростаючого попиту споживачів.

Термомеханічне оброблення поверхонь забезпечує високоякісне очищення від слідів корозії, відпалу, пригарів, подряпин, загуслих шарів мастил після вживання мастильно-охолоджуючих в процесі обробки технологічних рідин і залишків старої фарби.

Мета і завдання дослідження

Суттю термомеханічної очистки є поєднання у єдине ціле двох одночасно діючих процесів: механічної очистки тонким сталевим ворсом щітки і поверхневої руйнації тонких шарів бруду внаслідок дії мікроелектричних розрядів, які виникають між деталлю і поодиноким сталевим ворсом щітки. Мікроелектричний розряд виникає як результат підключення однієї фази електричного струму до оброблюваної деталі, а другої фази – до інструмента (сталеві щітки) [3]. Поєднання цих двох процесів значно підвищує продуктивність оброблення, що і стало чинником широкого розповсюдження тонкої термомеханічної очистки деталей.

На жаль незважаючи на достатню розповсюдженість у виробництві процесів поверхневої очисно-зміцнюючої обробки (ПОЗО) із застосуванням ефекту термомеханічного оброблення (ТМО) і наявність значної кількості публікацій у цій галузі [1–10], питання надтонкої ПОЗО з використанням сталевих щіток з діаметром сталевих ворсу 0,01–0,25 мм вивчено недостатньо. У більшості випадків обробка виконувалась з використанням ворсу $\varnothing 0,5\text{--}1,2$ мм. Досліджень же якості поверхонь, і зокрема вивчення особливостей процесу ПОЗО ТМО з надтонким сталевим ворсом ($\varnothing 0,01\text{--}0,25$), взагалі немає.

Це призводить на практиці до появи найрізноманітніших технологічних процесів, які здебільшого є далеко не оптимальними і найчастіше вирішують поточні технічні завдання, що виникають під час виготовлення у виробництві різних за призначенням деталей.

Крім того, в літературі відсутні будь-які відомості про очистку деталей з високолегованих сталей 38ХНЗМФА, 42ХЗСМФРУ, 35СХН2М і 30Н4МФД, які використовуються для виготовлення деталей військової техніки.

Тому дослідження технологічних процесів надтонкого поверхневого очищення деталей з високолегованих сталей є актуальним питанням, що має як наукове, так і практичне значення.

Дослідження у цьому напрямку виконувались згідно з Державним оборонним замовленням за тематикою поверхневого зміщення деталей артилерійських систем відповідно до програмами робіт, затверджених Постановою Кабінету Міністрів України №1180–0020 від 28.07.2000 р.

Результати дослідження

У ряді технічних публікацій детально розглянуто механізм виникнення мікроелектричних розрядів і вплив його на формування шорсткості поверхні та залишкових напружень [10–12].

Відомо, що мікроелектричні розряди супроводжуються виникненням у зоні поверхневого контакту сталеві щітки з оброблюваною деталлю значних за величиною температур [13]. Але якщо певною мірою висвітлено питання формування шорсткості поверхні, то залишається майже

недослідженим питання про зв'язок температурних параметрів оброблення з величиною і знаком залишкових напружень. Зовсім не досліджено процес утворення наклепу, його параметрів і глибини розповсюдження у поверхневому шарі деталі, що оброблюється. Актуальним є також дослідження впливу режимних факторів термомеханічної обробки на параметри шорсткості поверхні і наклепу та розробка технологічних рекомендацій для виробництва.

Дослідження миттєвих контактних температур у зоні оброблення виконувалось за допомогою попередньо протарованих розімкнених хромель-алюмелевих термопар відповідно до методики, наведеної у роботі [14].

Слід звернути увагу на те, що згідно з сучасними уявленнями сили різання при обробці металів є джерелом виникнення високих температур у зоні різання і залишкових пластичних деформацій у поверхневих шарах виробу. Сили різання залежать від міцнісних характеристик металу, що оброблюється, і режимів різання. Причому для виникнення стружки різальне лезо, яким і є поодинокий сталевий дріт дискової щітки, втискується у матеріал деталі, на поверхні оброблення утворюються канавки у напрямку руху сталевій щітки.

Згідно з різними дослідженнями процесу мікрорізання встановлено, що при малих глибинах впровадження поодинокого сталевого ворсу відбувається пластичне деформування без зняття стружки – витискування матеріалу по сторонам риски від проходження ворсу; лише при глибині впровадження 0,06–0,1 мкм починається процес утворення стружки попереду різального сталевго ворсу. Оскільки різальні сталеві ворси у дисковій щітці знаходяться на значній відстані від одного і для пружнопластичних матеріалів діаграми розтягу при однакових повторних навантаженнях співпадають з діаграмою розвантажування, то напружений стан металу можливо розглядати як результат силової дії поодинокого ворсу. Наклеп (зміцнення) поверхневого шару є результатом дії нормальної складової сили різання. Тому ступінь наклепу приблизно може бути охарактеризований величиною нормальної складової сили різання, що перепадає на поодинокий ворс.

Тоді кількість різальних елементів m на площі контакту дискової щітки з виробом $F = L_k B$ дорівнює:

$$m = Fm' = \frac{L_k B}{l_\phi^2},$$

де B – ширина оброблення, мм; L_k – довжина дуги контакту, мм (для обробки площинних поверхонь – $L_k = D \cdot t$); l_ϕ – фактична відстань між поодинокими ворсами; m' – кількість різальних ворсів, що випадають на одиницю площі дискової щітки; D – діаметр щітки, мм; t – глибина натягу щітки (глибина різання) мм.

Відстань між поодинокими ворсами l_ϕ може бути встановлена експериментально. Вона залежить від конструкції щітки і діаметру ворсу; при $\varnothing 0,10$ мм, відстань – $l_\phi \cong 0,04$ мм, а для $\varnothing 0,05$ мм – $l_\phi \cong 0,03$ мм.

З урахуванням цього були виконані дослідження складових сил різання при обробці площинних поверхонь дисковою сталеву щіткою із застосуванням термомеханічного ефекту. Експериментальні дані наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Потомні сили різання при обробці дисковою щіткою площинної поверхні з діаметром сталевго ворсу $\varnothing 0,10$ мм, швидкості щітки $V = 20$ м/с, позадвожній подачі $S = 5$ м/хв, силі струму – 50 А

Глибина натягу t , мм	Оброблюєий матеріал					
	Сталь 38ХНЗМФА			Сталь 42ХЗНЗСМФРУ		
	$P_z, \text{Н/см}$	$P_y, \text{Н/см}$	P_y/P_z	$P_z, \text{Н/см}$	$P_y, \text{Н/см}$	P_y/P_z
0,01	35	65	1,86	25	20	0,8
0,02	65	112	1,86	35	40	1,14
0,05	100	185	1,85	70	80	1,14
0,10	130	240	1,85	90	95	1,06
0,20	195	370	1,90	145	160	1,10

Аналіз показує, що зі збільшенням глибини натягу нормальна і тангенційна складові сили різання закономірно зростають. Це може бути пояснено як зростанням навантаження, що

припадає на поодинокій різальний ворс, так і збільшенням кількості ворсу в зоні контакту дискової сталеві щітки з виробом.

При термомеханічній обробці з використанням менших діаметрів сталевих ворсу (наприклад $\varnothing 0,05$ мм) суттєво знижується величини тангенційної і нормальної складових сил різання. Це пояснюється більшою пружністю тоншого сталевих ворсу і фактичним зменшенням глибини натягу (різання).

Безумовно цікавим є розрахунок навантаження на поодинокій ворс. Було прийнято, що у процесі стужкоутворення бере участь у середньому 0,1 всіх сталевих ворсів, що знаходяться на периферії щітки, тобто:

$$m = \frac{0,1L_k B}{l_\phi^2}$$

З експериментальних даних (табл. 2) випливає, що при очищенні навантаження, яке припадає на один різальний ворс ($P_{z(\phi)}$) зростає інтенсивно до глибини $\sim 0,012$ мм.

При подальшому зростанні глибини натягу щітки величина розрахункового навантаження змінюється незначно, тому подальше збільшення сил різання пов'язане в основному тільки зі зростанням кількості "різальних" ворсин у зоні контакту сталеві щітки з виробом.

Слід підкреслити, що застосування інструментів з меншим діаметром ворсу ($\sim 0,01-0,05$ мм) призводить до зменшення ступеня залежності питомих навантажень від глибини натягу (різання).

При поверхневій очисно-зміцнюючій обробці поверхонь щітками з діаметром ворсу $\varnothing 0,01-0,02$ мм значення P_{z_s} і P_{y_s} приблизно у 20-25 разів менші ніж при обробці щітками з діаметром ворсу 0,05-0,10 мм. Таким значним зменшенням нормальної складової сили різання поодиноким ворсом і пояснюється в основному зниження ступеня зміцнення поверхневого шару.

Таблиця 2

Розрахункове навантаження на поодинокій ворс при термомеханічному обробленні площинних поверхонь дисковими сталевими щітками (режими обробки: швидкість - $V = 20$ м/с, діаметр ворсу - $\varnothing 0,10$ мм, повздовжня подача - $S = 5$ м/хв, сила струму - $I = 50$ А)

Глибина натягу t , мм	Довжина дуги контакту L_k , мм	Оброблюваний матеріал					
		Сталь 38ХНЗМФЛ			Сталь 42ХЗНЗСМФРУ		
		m	$P_{z(\phi)}, H$	$P_{y(\phi)}, H$	m	$P_{z(\phi)}, H$	$P_{y(\phi)}, H$
0,01	0,77	11	3,2	6,0	12	3,5	6,1
0,02	1,10	16	4,0	7,5	18	4,2	7,7
0,03	1,50	24	4,2	7,7	25	4,3	7,8
0,05	1,90	30	4,3	8,0	32	4,5	8,0
0,10	2,50	40	4,8	9,3	43	4,9	9,5

Для забезпечення мінімального рівня наклепаної зони велике значення має співвідношення процесів зміцнення і відпочинку [15].

Ступінь зміцнення в результаті дії силового поля залежить від температури нагрівання і часу теплової дії. Таким чином, підвищення температури у зоні шліфування призначенням відповідних режимів обробки сприяє зменшенню наклепу.

Для встановлення оптимальних режимів термомеханічної поверхневої очистки були проведені числені експерименти з дослідження миттєвих контактних температур у зоні контакту сталеві щітки з поверхнею оброблення. Дослідження теплових параметрів процесу виконувались згідно з методикою, наведеною у роботі [14].

Деякі результати досліджень наведені у табл. 3.

Аналіз наведених у таблиці даних дозволяє зробити дуже важливі для практики висновки: оздоблювально-зміцнюючу обробку поверхонь деталей слід виконувати з найбільш можливою швидкістю, тому що це сприяє зростанню миттєвих контактних температур у зоні обробки, що, в свою чергу, сприяє зниженню зміцнення поверхневих шарів за рахунок явища відпочинку металу [16]. Крім того, покращується шорсткість поверхні внаслідок згладжування гострих вершин мікронерівностей під дією термоелектричних розрядів термомеханічної обробки [17].

Таблиця 3

Миттєві контактні температури при оздоблювально-зміцнюючій термомеханічній обробці сталей

Марка сталі	Глибина різання, мм	Температури °С при швидкості щітки, м/с		
		10	15	25
40Х	0,005	120	150	350
38ХНЗМФА	0,005	145	210	450
42ХЗНЗСМФРУ	0,005	165	235	520

Також необхідно звернути увагу на те, що з ускладненням лігатури сталей і, зокрема, зі зростанням змісту хрому (з 1,2–1,5 % у сталі 38ХНЗМФА до 3–3,5 % у сталі 42ХЗНЗСМФРУ) і особливо, появою у складі останньої ванадію і бору, погіршуються параметри оброблюваності металу, побічним підтвердженням чого є значне зростання температур у зоні обробки (до 450–520 °С).

Певно це пояснюється ускладненням утворення мікрорізу з поверхні деталі лезом сталевого ворсу щітки, а також погіршенням показників динамічної міцності при швидкостях деформування 10–25 м/с. Як відомо, характер таких змін – вельми суттєвий [18, 19].

Таким чином, поверхнева очисно-зміцнююча обробка деталей супроводжується виникненням у зоні обробки миттєвих контактних температур на рівні 150–450 °С при механічному зачищенні поверхонь сталевими щітками і 120–520 °С – при термомеханічному обробленні. Стабільні результати з якості поверхні забезпечує обробка щітками з мінімальним діаметром ворсу (~ Ø 0,01 мм). З урахуванням отриманих даних було виконано комплексне дослідження залишкових напружень при обробці високолегованих сталей. Роботи проводились відповідно до методики, наведеної у роботі [20].

Дослідження показали, що глибина залягання максимальних значень розтягу не перевищує 5–8 мкм.

При подальшому зменшенні діаметру ворсу (при зберіганні швидкостей обробки у межах 25–30 м/с) значення складової сили різання P_y зменшується, при цьому робота пластичної деформації одиничного сталевого ворсу зменшується і знижується величина залишкових напружень стиску. Застосування оздоблювальних сталевих щіток, у склад яких входять гнучкі робочі елементи, сприяє вирівнюванню значень товщини одиничного зрізу аз і також обумовлює зменшення значень максимальних залишкових напружень стиску (~ на 25–30 %) і глибини їх залягання порівняно з їх значеннями, отриманими при обробці тих же матеріалів щітками з жорсткими робочими елементами.

Це можливо визначити за графіком, наведеним на рис. 1.

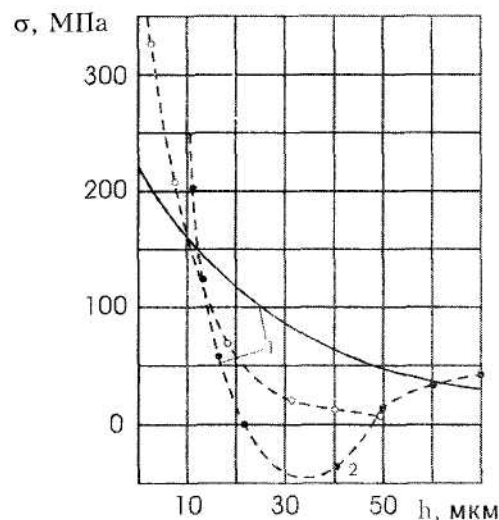


Рис. 1. Розподіл залишкових напружень за глибиною поверхневого шару сталі 38ХНЗМФА при термомеханічній очисно-зміцнюючій обробці: 1 – обробка сталевими щітками з діаметром ворсу 0,10 мм; 2 – обробка сталевими щітками з діаметром ворсу 0,05 мм; 3 – обробка сталевими щітками з діаметром ворсу 0,010 мм

Розподіл залишкових напружень при термомеханічній очисно-зміцнюючій обробці сталевими дисковими щітками з гнучкими робочими елементами показано на рис. 2. Для порівняння наведені залишкові напруження у поверхневому шарі після очистки сталевими щітками з жорсткими робочими елементами і діаметром ворсу $\sim 0,10$ мм.

Аналіз експериментів показує, що максимальна величина і глибина залягання напружень стиску приблизно дорівнюють їх значенням при термомеханічній очисно-зміцнюючій обробці сталевими щітками з діаметром ворсу $\sim 0,10$ мм.

Зменшення діаметру сталевих ворсу щіток дещо зменшує глибину залягання залишкових напружень стиску.

Узагальнення експериментів за залишковими напруженнями дозволяє зробити висновок про те, що операція очищення поверхонь деталей є зміцнюючою операцією, а її введення для обробки виробів з різних марок легованих сталей виправдано з точки зору забезпечення необхідних рівнів коефіцієнта зчеплення зачищеної поверхні з шаром лакофарбового покриття, що наноситься на оброблену поверхню на фінішних операціях технологічного процесу виготовлення виробів.

Вивчення закономірностей утворення наклепу (з урахуванням висновків, отриманих при дослідженні питомих сил різання і миттєвих контактних температур) було виконано згідно методикою наведеною у роботі [16]. Дослідження проведені за допомогою металографічного і рентгеноструктурного аналізів, а також методом високочастотного зондування.

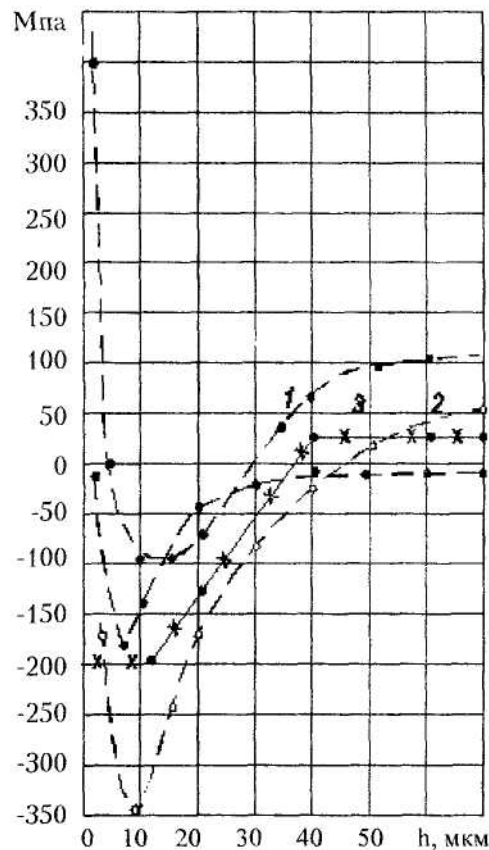


Рис. 2. Розподіл залишкових напружень за глибиною поверхневого шару після термомеханічної обробки сталі 38ХН3МФА: 1 – обробка сталевими щітками з жорсткими робочими елементами з діаметром ворсу 0,010 мм; 2 – обробка сталевими щітками з діаметром ворсу 0,05 мм; 3 – обробка сталевими щітками з діаметром ворсу 0,10 мм; xxx – розрахункові значення

Вимірювались ширина лінії рентгенограм у перерізах (111) і (311) – $V_{(111)}$ мм і $V_{(311)}$ мм, спотворення II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$, розміри блоків мозаїки DA° , мікротвердість Hq кг/мм², ступінь наклепу $K = \frac{H_g}{H_{ET}}$ (H_{ET} – мікротвердість відпаленого зразку), а також глибина наклепу h .

Деякі експериментальні дані дослідження параметрів наклепу і впливу на них режимних факторів оброблення наведені у таблицях 4–9.

Аналіз таблиць 4–9 показує, що на параметри наклепу суттєво впливає швидкість обертання сталеві щітки. Збільшення швидкості призводить до зростання наклепу. Це, безумовно, пояснюється зростанням силової дії на мікроблоки стружки, що зрізаються поодиноким сталевим ворсом, внаслідок збільшення складової сили різання P_z . У той же час збільшення швидкості призводить до зростання миттєвих контактних температур у зоні оброблення (табл. 3). Але силова дія, яка призводить до утворення наклепу, переважає фактор відпочинку металу від дії теплового джерела. Слід ще раз наголосити на тому, 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 також показує, що на глибині 15 мкм параметри наклепу майже дорівнюють їх значенням безпосередньо після обробки (табл. 9).

Слід звернути увагу і на те, що серед режимних факторів обробки (окрім 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. 4–9). Але вплив цих факторів менший ніж швидкість обертання сталеві щітки.

Суттєво впливає на параметри наклепу діаметр сталевого ворсу (табл. 8). Зростання діаметра ворсу обумовлює збільшення абсолютно усіх параметрів наклепу. Це також може бути пояснено збільшенням перерізу елементів мікростружки, що знімаються поодиноким сталевим ворсом дискової щітки, і, як наслідок, відповідним зростанням складової сили різання P_z .

Таблиця 4

Залежність параметрів наклепу від швидкості обертання сталеві щітки

Швидкість щітки V , м/с	Параметри наклепу							
	Сталь 38ХНЗМФА				Сталь 42ХЗНЗСМФРУ			
	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Розмір блоків, D , Λ°	Мікротвердість H_q , кг/мм ²	Ширина лінії, $V_{(311)}$, мм	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Розмір блоків, D , Λ°	Мікротвердість H_q , 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 5

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 H_q , кг/мм ²	Напруження II роду, $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість H_q , кг/мм ²	Напруження II роду, $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість H_q , 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 6

Залежність параметрів наклепу від повздожньої подачі щітки

Подача, S, мм/хв	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
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 7

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	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 8

Залежність параметрів наклепу від діаметру ворсу сталеві щітки

Діаметр ворсу, мм	Параметри наклепу								
	Сталь 40Х			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 9

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 42ХЗНЗСМФРУ				
	$V_{(311)}$, мм	Ср, мкф	Нq, кг/мм ²	Д, А°	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$V_{(311)}$, мм	Ср, мкф	Нq, кг/мм ²	Д, А°	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$
Після очистки (вихідні дані)	61,1	59,1	345	1050	16,9	65,3	59,2	355	910	18,0
5	60	56,3	320	870	14,5	57,7	58,7	345	830	15,1
10	51,7	53,1	310	650	13,3	47,6	47,6	325	710	14,7
15	18,1	48,0	200	470	10,6	19,0	45,3	315	510	12,1

Дослідження параметрів шорсткості Ra поверхонь при тонкій ПОЗО ТМО виконувались на зразках зі сталей 38ХНЗМФА, 42ХЗНЗСМФРУ, 35СХН2М, 30Н4МФД, отриманих електрошлаковим переплавом. Деякі основні результати наведені в табл. 10–12.

Таблиця 10

Залежність шорсткості поверхонь деталей від швидкості обертання комбінованого інструмента

№ з/п	Швидкість руху інструмента v, м/с	Параметри шорсткості Ra, мкм			
		Матеріал			
		38ХНЗМФА	42ХЗНЗСМФРУ	35СХН2М	30Н4МФД
1	10	0,542	0,561	0,535	0,537
2	15	0,613	0,623	0,601	0,612
3	20	0,687	0,693	0,653	0,667
4	25	0,752	0,782	0,724	0,735
5	30	0,811	0,845	0,799	0,786

Швидкість інструмента – 2–10 м/с

Глибина натягу – 0,05–0,10 мм

Сила струму – 50 А

Діаметри сталевих ворсу – 0,05–0,1 мм

Таблиця 11

Залежність шорсткості поверхонь деталей від повздовжньої подачі комбінованого інструмента

№ з/п	Повздовжня подача S, м/хв.	Параметри шорсткості Ra, мкм			
		Матеріал			
		38ХНЗМФА	42ХЗНЗСМФРУ	35СХН2М	30Н4МФД
1	2	0,545	0,565	0,540	0,547
2	5	0,610	0,625	0,631	0,645
3	10	0,710	0,730	0,740	0,753

Швидкість інструмента – 10 м/с

Глибина натягу – 0,05–0,10 мм

Сила струму – 50 А

Діаметри сталевих ворсу – 0,05–0,1 мм

Таблиця 12

Залежність шорсткості деталей від швидкості обертання комбінованого інструмента

№ з/п	Діаметр ворсу Ø, мм	Параметри шорсткості Ra, мкм			
		Матеріал			
		38ХНЗМФА	42ХЗНЗСМФРУ	35СХН2М	30Н4МФД
1	0,01	0,545	0,562	0,575	0,580
2	0,03	0,587	0,595	0,610	0,625
3	0,05	0,620	0,640	0,680	0,690
4	0,10	0,680	0,715	0,790	0,810
5	0,25	0,910	0,930	0,945	0,950

Швидкість інструмента – 15 м/с

Повздовжня подача – 2 м/хв

Глибина натягу – 0,07 мм

Сила струму – 50 А

Аналіз наведених даних показує, що при ТМО параметр шорсткості Ra залежить від режимних факторів оброблення. Для всіх марок високолегованих сталей, показник Ra суттєво зростає з підвищенням швидкості обертання сталевих щіток v, повздовжньої подачі S, глибини натягу (різання) t, сили струму I та діаметра сталевих ворсу щітки. Найбільший вплив на параметр Ra має швидкість різання v та діаметр сталевих ворсу щітки.

Це пояснюється зростанням перерізу a_z мікростружки, що знімається з поверхні оброблення поодиноким ворсом, а також зростанням у зоні різання миттєвих контактних температур

внаслідок збільшення впливу мікроелектричних розрядів, які утворюються на кінцях сталевго ворсу інструмента.

Звертає на себе увагу та обставина, що з появою у складі лігатур сплавів ванадію у всіх випадках помічено деяке зниження параметру шорсткості поверхні оброблення Ra. Це може бути пояснено тільки тим, що ці сплави мають децю кращі показники оброблюваності методами механічної обробки різанням, що відповідно покращує умови стружкоутворення, сприяє зменшенню питомих сил різання у зоні контакту сталевго ворсу з деталлю, що забезпечує, так би мовити, більш плавну і легку обробку поверхні.

Висновки

1. Обробку деталей необхідно виконувати з режимами, які забезпечують виникнення мінімальних параметрів наклепу, шорсткості поверхні та залишкових напружень у поверхневих шарах деталей, а саме – швидкості обертання сталевго щітки V у межах 10–25 м/с, повздовжній подачі – 2–10 м/хв, глибини різання – 0,05–0,10 мм, силі струму – 50 А, діаметрі сталевго ворсу – \varnothing 0,05–0,10 мм.

2. Виконання отриманих рекомендацій за режимами очищення деталей гарантує задану якість поверхні оброблення і, що особливо важливо, глибина наклепу не перевищує 10–15 мкм.

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 інструмента для поверхневої оздоблювально-зміцнюючої обробки деталей у машинобудуванні // Мир техники и технологий. – № 1. – Харків: Промінь. – 2003. – С. 56–58.
3. Гавриш О.А. Теоретичні основи процесу термомеханічного оброблення інструментами з гнучкими робочими елементами // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – № 23. – 2002. – С. 79–87.
4. Пуховский Е.С., Гавриш А.П., Грищенко Е.Ю. Обработка высокопрочных материалов. – Киев: Техника, 1983. – 134 с.
5. Афтаназів І.С., Киричок П.О., Мельничук П.П. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. – Житомир: Житомирський інженерно-технологічний інститут, 2001. – 516 с.
6. Гавриш А.П., Киричок П.О., Підберезний М.П. Зміцнення металевих поверхонь деталей машин та механізмів. – Київ: Наукова думка, 1995. – 176 с.
7. Киричок П.О. Зміцнюючо-оздоблювальна обробка у машинобудуванні. – Київ: Знання, 1990. – 46 с.
8. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
9. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.
10. Куліченко А.Я. Термомеханічна поверхнева очисно-зміцнююча обробка металу. – Львів: Кобзар. – 1997. – 216 с.
11. Броун М.Я., Погоди́н Г.И. Термическая теория электросварочной дуги. – М.: Машгиз, 1951. – 124 с.
12. Головин Г.Ф. Остаточные напряжения, прочность и деформация при поверхностной закалке токами высокой частоты. – Ленинград: Машиностроение, 1973. – 144 с.
13. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
14. Киричок П.А., Гавриш О.А., Гавриш А.П. Экспериментальное исследование тепловых явлений при очистно-упрочняющей обработке поверхностей деталей // Мир техники и технологии. – № 4. – Харків: Промінь, 2003. – С. 56–58.
15. 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). – Харків, 1998 – С. 69–70.

16. Гавриш А.П., Киричок П.О., Гавриш О.А. Дослідження параметрів наклепу поверхневих шарів деталей при очисно-зміцнюючій обробці сталевими щітками // Резание и инструмент в технологических системах. – № 1. – Харків: Національн. технічн. Університет, 2003. – С. 99–107.
17. Гавриш О.А. Експериментальне дослідження впливу технологічних параметрів процесу на шорсткість поверхні при термомеханічному обробленні сталевими щітками // Прогрессивные технологии и системы машиностроения (Сборн. научн. труд. Донецк. национ. технич. ун-та). – Вып. 1. – 2003. – С. 42–50.
18. Соколов Л.Д. Влияние скорости на сопротивление металлов пластической деформации. // Журнал техн. физики. – № 16. – Вып. 4. – 1946. – С. 32–42.
19. Соколов Л.Д. Исследование зависимости сопротивления пластическому деформированию металлов и аморфных тел от скорости деформации и температуры опыта // Журнал технической физики. – № 17. – Вып. 5. – 1947. – С. 23–32.
20. Гавриш О.А. Остаточные напряжения очистно-упрочняющей обработки в поверхностных слоях деталей // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала. – Киев: Укр. информ. центр. – 2003. – С. 20–27.

ГАВРИШ Олег Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного і проектно-конструкторського бюро Державного підприємства „Науково-технічний центр артилерійсько-стрілецького озброєння України”.

Наукові інтереси:

– фінішні процеси обробки деталей у машинобудуванні.

КИРИЧОК Петро Олексійович – доктор технічних наук, професор, декан поліграфічного факультету Національного технічного університету України „КПІ”.

Наукові інтереси:

– оздоблювально-зміцнююча обробка матеріалів.

Щодано 12.08.2003