

УДК 621.923

А.П. Гавриш, д.т.н., проф.
О.А. Гавриш, д.т.н., проф.
П.О. Киричок, д.т.н., проф.
Т.А. Роїк, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЮ ОЧИСНО-ЗМІЦНЮЮЧОЮ ОБРОБКОЮ ДЕТАЛЕЙ

Розглянуто питання забезпечення якості термомеханічною обробкою поверхні матеріалів сталевими щітками з гнучкими робочими елементами у процесі обробки та призначення раціональних режимів різання, характеристики інструмента та технологічних факторів.

Вступ. Однією з фінішних операцій технологічного процесу виготовлення машин і приладів є нанесення лакофарбових покриттів, що надає готовій продукції привабливого товарного вигляду і відповідає безперервно зростаючим вимогам споживача.

Для підвищення зчіплюваності фарби з основою матеріалу виконують операції з очищення поверхонь деталей від слідів корозії, бруду, подряпин і припалів.

Високу якість очищення забезпечують методи термомеханічного очищення (ТМО) виробів дисковими сталевими щітками (ДСЩ), з допомогою яких формується необхідна якість поверхонь (шорсткість, глибина і степінь наклепу, величина і знак залишкових напружень) [1, 2].

Мета та задачі 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 (сталевий 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 сталевого ворсу 0,01–0,25 мм вивчено недостатньо. У більшості випадків обробка виконувалась з використанням ворсу \varnothing 0,5–1,2 мм. Досліджень же якості поверхонь і, зокрема, вивчення особливостей процесу ПОЗО ТМО з надтонким сталевим ворсом (\varnothing 0,01–0,25) взагалі немає.

Це приводить на практиці до появи найрізноманітніших технологічних процесів, які, у більшості своїй, є далеко не оптимальними і найчастіше розв'язують поточні технічні задачі, що виникають під час виготовлення у виробництві різних за призначенням деталей.

Крім того, в літературі відсутні хоч 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 у відповідності до програм робіт, затверджених Постановою Кабінету Міністрів України № 1180-0020 від 28.07.2000 р.

Кінцевою метою досліджень є отримання рекомендацій щодо очищення деталей ДСЦ з забезпеченням мінімального наклепу.

Результати досліджень. У ряді технічних публікацій детально розглянуто механізм виникнення мікроелектричних розрядів і вплив його на формування шорсткості поверхні і 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 у певній мірі 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. Актуальними є також дослідження впливу режимних факторів термомеханічної обробки на параметри наклепу та розробка технологічних рекомендацій для виробництва.

Дослідження миттєвих контактних температур у зоні оброблення

виконувалось за допомогою попередньо протарованих розімкнених хромель-алюмелевих термопар у відповідності до методики, наведеної у роботі [14].

Слід звернути увагу на те, що, згідно з сучасним уявленням, 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 ріжуче лезо, яким і є поодинокий сталевий дріт дискової щітки, втискується у матеріал деталі, і на поверхні оброблення утворюються канавки у напрямку руху сталевий щітки.

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

Тоді число 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' – число 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 діаметра ворсу; при $\varnothing 0,10$ мм, відстань – $l_\phi = 0,04$ мм, а для $\varnothing 0,05$ мм – $l_\phi = 0,03$ мм.

З урахуванням цього були виконані дослідження складових сил різання при обробці площинних поверхонь дисковою сталевий щіткою

з застосуванням термомеханічного ефекту. Експериментальні дані наведені у табл. 1.

Таблиця 1

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

Глибина натягу t, мм	Оброблюваний матеріал					
	Сталь 38ХНЗМФА			Сталь 42ХЗНЗСМФРУ		
	$P_z,$ Н/см	$P_y,$ Н/см	P_y/P_z	$P_z,$ Н/см	$P_y,$ 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 глибина натягу нормальна і тангенційна складові сили різання закономірно зростають. Це може бути пояснено як зростанням навантаження, що перепадає на поодинокий різальний ворс, так і збільшенням кількості ворсу у зоні контакту дискової сталеві щітки з виробом.

При термомеханічній обробці з використанням менших діаметрів сталевих ворсу (наприклад, $\varnothing 0,05$ мм) суттєво знижуються 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 поодинокий 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) виходить, що при очищенні навантаження, яке припадає на один різальний ворс (P_z), зростає інтенсивно до глибини 0,012 мм.

Таблиця 2

Розрахункове навантаження на поодинокий ворс при термомеханічному обробленні площинних поверхонь дисковими сталевими щітками.
 Режими оброблення: швидкість $V = 20$ м/с, діаметр ворсу $0,10$ мм, повздовжня подача $S = 5$ м/хв., сила струму $I = 50$ А

Глибина натягу t , мм	Довжина дуги контакту L_b , мм	Оброблюваний матеріал					
		Сталь 38ХНЗМФА			Сталь 42ХЗНЗСМФРУ		
		t	P_z, H	P_y, H	t	P_z, H	P_y, 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

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) веде 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_{z3} і P_{y3} 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.

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

Степінь після зміцнення в результаті дії силового поля залежить від температури нагріву 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 численні 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.

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

Аналіз наведених у таблиці даних дозволяє зробити вельми 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].

Також необхідно звернути увагу на те, що з ускладненням лігатури сталей і, зокрема, з ростом вмісту 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 механічній зачистці поверхонь сталевими щітками і 120–520 °С при термомеханічному обробленні. Стабільні результати по якості поверхні забезпечує обробка щітками з мінімальним діаметром ворсу (~0,01 мм). З урахуванням отриманих даних було виконано комплексне дослідження залишкових напружень при обробці високолегованих сталей. Роботи проводились у

відповідності до методики, наведеної у роботі [20].

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

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

Розподіл залишкових напружень при термомеханічній очисно-зміцнюючій обробці сталевими дисковими щітками з гнучкими робочими елементами показує, що максимальна величина і глибина залягання напружень стиску приблизно рівні їх значенням при термомеханічній очисно-зміцнюючій обробці сталевими щітками з діаметром ворсу ~0,01 мм.

Зменшення діаметра сталевго ворсу щіток дещо зменшує глибину залягання залишкових напружень стиску.

Узагальнення експериментів дозволяє зробити висновок, що операція очистки 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 питомних сил різання і миттєвих контактних температур) було виконано згідно з методикою, наведеною у роботі [16]. Дослідження проведені з допомогою металографічного і рентгеноструктурного аналізів, а також методом високочастотного зондування.

Вимірювались ширина лінії рентгенограм у перерізах (111) і (311) – $B_{(111)}$ мм і $B_{(311)}$ мм, спотворення Π роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$, розміри блоків

мозаїки DA° , мікротвердість H_q кг/мм², степінь наклепу $K = \frac{H_g}{H_{ET}}$

(H_{ET} – мікротвердість відпаленого зразка), а також глибина наклепу h .

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

Таблиця 4

Залежність параметрів наклепу від швидкості обертання сталевієї цїтки

Швид- кість цїтки V , м/с	Параметри наклепу							
	Сталь 38ХНЗМФА				Сталь 42ХЗНЗСМФРУ			
	Шири- на лінії $V(зн)$, мм	Напру- ження II роду $\Delta a/a10^{-4}$	Розмір блоків, D, A°	Мікро- твердість Hq , кг/мм ²	Шири- на лінії, $V(зн)$, мм	Напру- ження II роду $\Delta a/a10^{-4}$	Розмір блоків, D, A°	Мікро- твердість Hq , 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 5

Залежність параметрів наклепу від глибини різання (величини натягу сталевієї цїтки)

Глибина різання, t , мм	Параметри наклепу					
	Сталь 40X		Сталь 38ХНЗМФА		Сталь 42ХЗНЗСМФРУ	
	Напру- ження II роду $\Delta a/a10^{-4}$	Мікро- твердість Hq , кг/мм ²	Напру- ження II роду $\Delta a/a10^{-4}$	Мікро- твердість Hq , кг/мм ²	Напру- ження II роду $\Delta a/a10^{-4}$	Мікро- твердість Hq , 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 6

Залежність параметрів наклепу від повздовжньої подачі щітки

Подача, S, мм/хв.	Параметри наклепу					
	Сталь 40Х		Сталь 38ХНЗМФА		Сталь 42ХЗНЗСМФРУ	
	Напруження II роду $\Delta a/a10^{-4}$	Мікротвердість H_q , кг/мм ²	Напруження II роду $\Delta a/a10^{-4}$	Мікротвердість H_q , кг/мм ²	Напруження II роду $\Delta a/a10^{-4}$	Мікротвердість H_q , 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 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 H_q , кг/мм	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Мікротвердість H_q , кг/мм ²	Ширина лінії $V_{(311)}$, мм	Мікротвердість H_q , кг/мм ²
50		155	54,9	170	56,0	180
70	55,1	153	55,1	169	54,7	175
100	56,2 57,6	150	58,3	163	54,2	171
Еталон	26	145	25	140	28	165

Таблиця 8

Залежність параметрів наклепу від діаметра ворсу сталевोї щітки

Діаметр ворсу, мм	Параметри наклепу								
	Сталь 40Х			Сталь 38ХНЗМФА			Сталь 42ХЗНЗСМФРУ		
	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість $Hq, \text{кг/мм}^2$	Ємкість $Ср, \text{мкф}$	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість $Hq, \text{кг/мм}^2$	Ємкість $Ср, \text{мкф}$	Напруження II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Мікротвердість $Hq, \text{кг/мм}^2$	Ємкість $Ср, \text{мкф}$
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 9

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

Стравлено, мкм	Параметри наклепу									
	Сталь 38ХНЗМФА					Сталь 42ХЗНЗСМФРУ				
	$V_{(311)}, \text{мм}$	$Ср, \text{мкф}$	$Hq, \text{кг/мм}^2$	$D, \text{А}^\circ$	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$V_{(311)}, \text{мм}$	$Ср, \text{мкф}$	$Hq, \text{кг/мм}^2$	$D, \text{А}^\circ$	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$
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	12Д

Аналіз табл. 4–9 показує, що на параметри наклепу суттєво впливає швидкість обертання сталеві щітки. Збільшення швидкості веде 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 веде до зростання миттєвих контактних температур у зоні оброблення (див. табл. 3). Але силова дія, яка веде 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 степінь зміцнення поверхні (наклеп), так і глибина його розповсюдження.

Аналіз також показує, що на глибині 15 мкм параметри наклепу практично 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 сталевих ворсів (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 .

Дослідження параметрів шорсткості R_a 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 інструменту

№ з/п	Швидкість руху інструмента v , м/с	Параметри шорсткості R_a 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; діаметр сталевго ворсу – 0,05–0,10 мм

Таблиця 11

Залежність шорсткості поверхонь деталей від повздовжньої подачі комбінованого інструменту

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

Швидкість інструмента – 10 м/с; глибина натягу – 0,05–0,10 мм; сила струму – 50 А; діаметр сталевго ворсу – 0,05–0,10 мм.

Аналіз наведених даних показує, що при ТМО параметр шорсткості R_a залежить від режимних факторів оброблення. Для всіх марок високолегованих сталей показник R_a суттєво зростає з підвищенням швидкості обертання сталевих щіток v , повздовжній подачі S , глибини натягу (різання) t , сили струму I та діаметра

сталевого ворсу щітки. Найбільший вплив на параметр R_a має швидкість різання v та діаметр сталевого ворсу щітки.

Таблиця 12

Залежність шорсткості поверхонь деталей від швидкості обертання комбінованого інструменту

№ з/п	Діаметр ворсу, \varnothing , мм	Параметри шорсткості R_a , 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.; сила струму – 50 А; глибина натягу – 0,07 мм.

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 сталевого ворсу інструмента.

Звертає увагу на себе та обставина, що з появою у складі лігатур сплавів ванадію у всіх випадках відмічено деяке зниження параметра шорсткості поверхні оброблення R_a . Це може бути пояснено тільки тим, що ці сплави мають дещо кращі показники оброблюваності методами механічної обробки різанням, що відповідно покращує умови стружкоутворення, сприяє зменшенню питомих сил різання у зоні контакту сталевого 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 і залишкових напружень у поверхневих шарах деталей, а саме – швидкості обертання сталеві щітки v у межах 10–25 м/с, повздовжній подачі – 2–10 м/хв., глибині різання – \varnothing 0,05–0,10 мм, силі струму – 50 А, діаметрі сталевого ворсу – \varnothing 0,05–0,10 мм.

2. Виконання отриманих рекомендацій по режимах 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 "Киевский политехнический институт" / Машиностроение. – 2002. – № 43. – С. 97–102.
2. *Гавриш О.А., Компацький О.П., Киричок П.О.* Нові конструкції інструмента для поверхневої оздоблювально-зміцнюючої обробки деталей у машинобудуванні // Мир техніки и технологий. – Харків: Промінь, 2003. – № 1. – С. 56–58.
3. *Гавриш О.А.* Теоретичні основи процесу термомеханічного оброблення інструментами з гнучкими робочими елементами // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – Житомир, 2002. – № 23. – С. 79–87.
4. *Пуховский Е.С., Гавриш А.Л., Грищенко Е.Ю.* Обработка высокопрочных материалов. – Київ: Техніка, 1983. – 134 с.
5. *Афтаназів І.С., Киричок П.О., Мельничук П.П.* Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. – Житомир: ЖДТУ, 2001. – 516 с.
6. *Гавриш А.П., Киричок П.О., Підберезний М.Л.* 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. *Патшев 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., Погодін 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. – Л.:

- 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. – Харків: Промінь, 2003. – № 5. – 56–58 с.
 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-змцнюючій обробці сталевими щітками // Резание и инструмент в технологических системах. – Харків, 2003. – № 1. – 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. техн. ун-та). – Вып. 1. – 2003. – С. 42–50.
 18. *Соколов Л.Д.* Влияние скорости на сопротивление металлов пластической деформации // Журнал техн. физики. – 1946. – № 16. – Вып. 4. – С. 32–42.
 19. *Соколов Л.Д.* Исследование зависимости сопротивления пластическому деформированию металлов и аморфных тел от скорости деформации и температуры опыта // Журнал техн. физики. – 1947. – № 17. – Вып. 5. – С. 23–32.
 20. *Гавриш О.А.* Остаточные напряжения очистно-упрочняющей обработки в поверхностных слоях деталей // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала. – К.: Изд. Укр. информ. центра, 2003. – С. 54–58.

ГАВРИШ Анатолій Павлович – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

- фінішна обробка матеріалів;
- автоматизація технологічних процесів.

ГАВРИШ Олег Анатолійович – доктор технічних наук, професор кафедри міжнародної економіки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

- фінішні методи термомеханічною очисно-зміцнюючою обробкою деталей;
- економічні потреби впровадження нових технологій у виробництво.

КИРИЧОК Петро Олексійович – доктор технічних наук, професор, директор видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

- фінішна обробка матеріалів;
- технологічні методи обробки деталей.

РОЇК Тетяна Анатоліївна – доктор технічних наук, професор кафедри фізики металів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

- впровадження нових технологій у виробництво;
- матеріалознавство;
- технологія машинобудування.

Подано 08.08.2007