

М.П. Кравченко, аспір.

В.М. Ночвай, к.т.н., доц.

Л.Г. Полонський, д.т.н., проф.

А.Й. Щехорський, к.ф.-м.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

Ю.Е. Рижов, с.н.с.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКУ НА ОБРОБКУ ВИРОБІВ
З ГАЗОТЕРМІЧНИМ ПОКРИТТЯМ ПГ-12Н-01 ТОВЩИНОЮ
0,6–2,4 мм ЗА КРИТЕРІЄМ ШОРСТКОСТІ**

Зроблено спробу за допомогою методів математичної статистики визначити розміщення прошарку з найліпшим показником якості (критерій шорсткості R_a) у товщі покриття та його величину.

Вступ. Постановка проблеми. Процеси нанесення покриттів достатньо вивчені і успішно застосовуються, але використання газотермічних покриттів (ГТП) стримується тим, що обґрунтованих рекомендацій і методик щодо формування їх оптимальної товщини з урахуванням якості поверхневого шару після кінцевої механічної обробки напрацьовано недостатньо. Адже далеко не завжди з отриманням необхідного розміру можна отримати і необхідні експлуатаційні параметри робочої поверхні [1]. Іншими словами, під час кінцевої обробки у випадку призначення різних припусків ми отримуємо різну шорсткість, і, очевидно, мікротвердість, зносостійкість тощо обробленої поверхні.

Дослідження стосовно вибору припуску на кінцеву обробку покриття, зняття якого дозволяло б отримати необхідні якісні характеристики поверхні – ту ж шорсткість, – практично відсутні у технічній літературі. Як правило, його визначення здійснюється на основі суб'єктивних міркувань, без урахування зміни експлуатаційних характеристик робочих поверхонь в залежності від того, в якому фактично прошарку покриття вони формуються при механічній обробці. На ці випадки існують тільки орієнтовні, неперевірені дослідно рекомендації, що базуються на практиці роботи окремих спеціалістів або підприємств. Не враховано такий стан речей навіть у [2].

Вивчення технологій нанесення ГТП та їх кінцевої механічної обробки продовжує залишатись актуальним завданням. Це обумовлено

обмеженістю обґрунтованих методик з ефективного використання їх товщини та відсутністю рекомендацій з визначення оптимальної глибини попередньої механічної обробки під напилення покриттів (припуску на остаточну механічну обробку).

Останнє особливо важливе для економії дорогих і дефіцитних напилюваних матеріалів та утворення на поверхні деталі після обробки шару з потрібними експлуатаційними характеристиками. Визначення глибини розташування прошарку покриття з кращими показниками якості поверхні (за параметрами шорсткості R_a , мікротвердості H_{μ} , зносостійкості тощо) – і, як наслідок, такої величини припуску на механічну обробку покриттів, яка б забезпечила необхідні характеристики робочої поверхні, – є важливою науково-технічною проблемою, вирішення якої дозволить забезпечити економію матеріалів при отриманні бажаних властивостей виробів із покриттями.

При значеннях припуску на кінцеву механічну обробку ГТП, менших за певну величину, фізико-механічні та експлуатаційні показники робочої поверхні будуть гіршими за максимально можливі; коли ж значення припуску на кінцеву обробку виявляються більшими сумарної величини дефектного і якісного прошарків покриття – фізико-механічні характеристики і експлуатаційні параметри обробленої поверхні також будуть нижче максимально можливих, крім того, збільшаться витрати матеріалу, енерговитрати і час обробки.

Аналіз останніх досліджень. Результати досліджень та рекомендації з цього питання, наведені у публікаціях [3–8], охоплюють лише проблему розмірної обробки покриттів. Аналіз цих робіт дозволяє певною мірою узагальнити значення рекомендованих товщин покриттів і величин припусків на їхню кінцеву обробку з точки зору отримання необхідних розмірів. Наприклад, у [3] мінімальний односторонній припуск Z_{min} при обробці покриттів будь-якої товщини рекомендується приймати у межах 0,4 мм. В цій же роботі рекомендується товщину напилюваного шару робити більшою на 0,2...0,3 мм за номінальний розмір деталі, але при цьому не пов'язується товщина покриття з глибиною залягання у ній якісного прошарку. Тобто, властивості прошарків покриття не враховуються при розрахунку припуску. У [9] наведено таблицю, в якій подаються товщини зносостійких покриттів та припуски на їх механічну обробку. Згідно з нею, при діаметрі вала до 50 мм товщина покриття, виходячи з умов міцності, після обробки повинна бути $\geq 0,5$ мм, припуск на обробку також рекомендується у межах 0,5 мм. Як бачимо, при товщині покриття у межах 1 мм практично 50 % напиленого покриття

знімається під час кінцевої обробки. Очевидно, що при виконанні цих рекомендацій має місце нераціональне і неекономне витрачання дорогих напилюваних матеріалів (1 кг порошку системи *Ni-Cr-B-Si* коштує ~ 270 грн.).

Значним досягненням матеріалознавства є створення різальних інструментів з полікристалічними надтвердими матеріалами (ПНТМ), що дозволяють здійснювати кінцеву обробку ГТП за один прохід. І це також вносить певну специфіку у процеси точіння покриттів.

Існуючі методи розрахунку припусків на обробку покриттів спрямовані, перш за все, на отримання розмірів деталі і не враховують фізико-механічних характеристик обробленої поверхні. Ці параметри будуть найкращими у випадку визначення припусків на механічну обробку покриттів як за критеріями розмірних ланцюгів, так і за зміною фізико-механічних характеристик поверхневого шару по глибині.

Мета роботи полягає у дослідженні шорсткості оброблених поверхонь ГТП на різних глибинах по їх товщині та визначенні припуску на обробку покриттів з урахуванням глибини попередньої обробки основи під покриття і товщини покриття.

Викладення основного матеріалу. Нами були проведені експерименти з обробки зразків із покриттям ПГ-12Н-01 (ТУ 48–4206–158–82 ВАТ „Торезтвердосплав” м. Торез Донецької обл.) у діапазоні товщин 0,6–2,4 мм (досліди проводились на зразках із товщинами покриттів: 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 мм). Аналіз статистичних даних показника шорсткості в залежності від глибини обробки здійснювався в комп’ютерній системі Mathcad Pro. Детермінована природа показника „глибина обробки h ” і покрокове представлення його статистичних даних дозволяє скласти програму обробки статистичних даних показника „шорсткість R_a обробленої поверхні” (табл. 1), що має стохастичний характер, на основі теорії часових рядів.

Таблиця 1

Експериментальні дані шорсткості оброблених поверхонь зразка з покриттям ПГ-12Н-01 товщиною 0,6 мм

Порядковий номер обробленої поверхні	Глибина розташування обробленої поверхні l_2 , мм	R_a , мкм	Порядковий номер обробленої поверхні	Глибина розташування обробленої поверхні l_2 , мм	R_a , мкм
1	2	3	4	5	6
1	0,00	1,62	13	0,33	0,90
2	0,05	1,23	14	0,35	0,82
3	0,08	1,15	15	0,38	0,99
4	0,10	0,68	16	0,40	1,32
5	0,12	0,65	17	0,43	1,35
6	0,15	0,32	18	0,45	1,70
7	0,18	0,39	19	0,48	1,66
8	0,20	0,62	20	0,50	1,65
9	0,23	0,57	21	0,53	1,65
10	0,25	0,58	22	0,55	1,60
11	0,28	0,51	23	0,52	1,99
12	0,30	0,80	24	0,60	2,15

Побудова моделі часового ряду, як відомо, проводиться за наступними етапами:

1. Графічне представлення і опис поведінки часового ряду.
2. Виділення і усунення низько або високочастотних складових (фільтрація) процесу.
3. Виділення складових часового ряду: тренда, сезонних і циклічних складових.
4. Побудова (підбір) математичної моделі для опису випадкової складової і перевірка її адекватності.
5. Дослідження випадкової складової часового ряду.
6. Прогнозування.

Полігон показника R_a для зразка з покриттям товщиною 0,6 мм представлений на рисунку 1. У комп'ютерній системі Mathcad Pro у таблицях „Шорсткість (R_a)” вводяться рівні показників шорсткості (порядок ковзної середньої показника вибираємо – 3) (на рис. 1 – по осі абсцис відкладено значення глибини обробки зразка з товщиною покриття 0,6 мм; по осі ординат – значення R_a пошарово оброблених поверхонь).

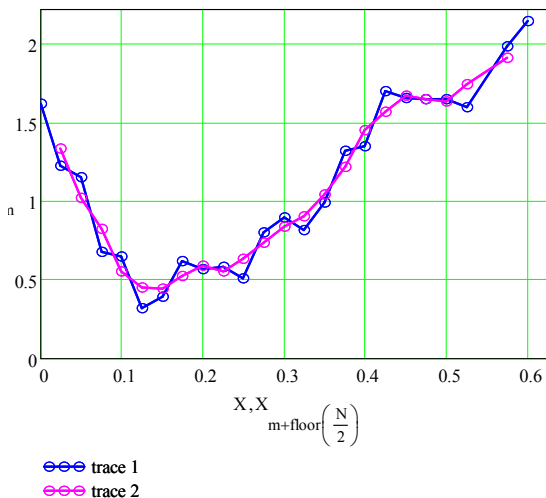


Рис. 1 Полігон показника R_a для зразка з товщиною покриття 0,6 мм (trace 1 – графічне представлення статистичних даних шорсткості; trace 2 – графічне представлення значень шорсткості за ковзною середньою 3-го порядку)

Графічний аналіз показника R_a вказує на його коливність. Тому виникла необхідність усунення коливних складових (фільтрації) процесу методом ковзної середньої третього порядку (рис. 1 – це trace 2). Застосування ковзної середньої третього порядку звужує базу вихідних статистичних даних на дві статистичних одиниці – відкидається перша і остання. Це не обмежує загальності досліджуваного процесу, тому що основним його завданням є орієнтація на мінімальну шорсткість, адже на графіку (рис. 1) значення глибини обробки за мінімальної шорсткості знаходиться далеко від значень глибини, що відповідають початковому та останньому їх значенню.

Зміст наступного етапу аналізу полягає у виділенні у ньому такої складової як тренд. Тренд $f(x)$ знаходиться як лінійна комбінація елементарних функцій $f(x, \beta) = \beta_1 + \beta_2 \cdot f_1(x) + \dots + \beta_n \cdot f_{n-1}(x)$. У комп'ютерній системі Mathcad Pro він представляється як вектор-функція, в якості компонент якої заносяться функції $f_i(x) (i = 1, \dots, n-1)$. Аналітичний вигляд тренду був знайдений шляхом підбору (імітації) кривої апроксимації, яка задовольняє всім критеріям трендової моделі і в системі Mathcad Pro має наступний вигляд:

$f(x) := (1xx^{1,2})$ (математично – як комбінація елементарних функцій: $f(x, \beta) = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 x^{1,2}$). Крива апроксимації, отримана на основі методу найменших квадратів, має наступне рівняння: $r(x) = 1,3276 - 28,0862x + 31,1060x^{1,2}$ (рис. 2).

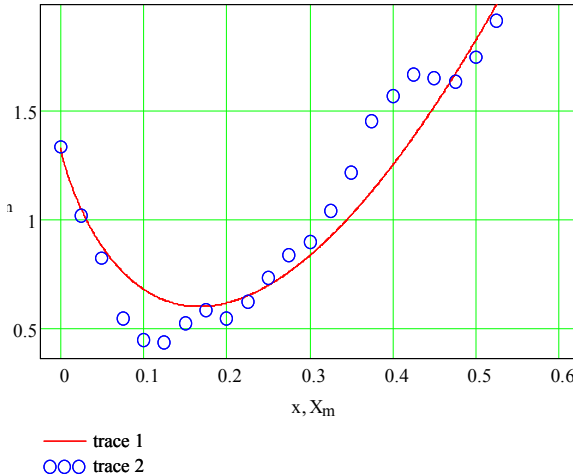


Рис. 2. Графічне зображення моделі (trace 1 – графічне представлення статистичних даних шорсткості; trace 2 – графічне представлення значень шорсткості за ковзною середньою 3-го порядку)

На основі комп'ютерної програми, складеної авторами в середовищі Mathcad Pro, отримані наступні результати трендового моделювання залежності показника шорсткості від глибини обробки в діапазоні 0–0,6 мм:

1. Коефіцієнт асиметрії – 0,4309. Коефіцієнт ексцесу – 0,9718.
2. Рівень значущості моделі (%) – 0.
3. Рівні значущості коефіцієнтів (%) – $(2,4213 \times 10^{-5}; 2,7795 \times 10^{-4}; 1,2593 \times 10^{-4})$.
4. Коефіцієнт детермінації – 0,9743.
5. Автокореляція присутня (не може бути усунута) – результат поліпшився.
6. Статистика Дарбіна-Уотсуна до перетворення інформації – 0,3731.
7. Статистика Дарбіна-Уотсуна після перетворення інформації – 0,9521.

8. Розрахункові (середні) значення коефіцієнтів моделі після перетворення інформації, якщо вона виявиться доцільною:

$$\beta = (1,3276 - 28,0862 + 31,1060) \cdot$$

9. Середня мінімальна глибина обробки – 0,1667 мкм.

10. Середнє мінімальне значення $R_a = 0,6028$ мкм.

11. Довірчий інтервал мінімальної шорсткості – (0,3204; 0,8853).

12. Інтервал глибини мінімальної шорсткості – (0,0486; 0,3144).

Кожен пункт отриманих результатів пояснюється наступним чином:

1. Коефіцієнт асиметрії і ексцесу характеризують близький до нормального закону розподілу закон розподілу R_a , а також залишків лінійної моделі регресії, що задається рівнянням:

$$y_i = \beta_1 + \beta_2 \cdot x_i + \beta_3 x_i^{1,2} + u_i, \quad (1)$$

де u_i – випадкова складова не ідентифікована з показником глибини, $i = 1, \dots, 24$.

Якщо обидва коефіцієнти не перевищують 1,5, то закон розподілу вказаних показників асимптотично близький (наприклад, закон розподілу Стьюдента) до нормального закону розподілу. Правило „1,5” дозволяє проводити статистичні оцінки невідомих параметрів лінійної моделі регресії.

2. Неперевищення рівня значимості моделі 5 % дає можливість стверджувати, що в 95 % (або з гарантією 95 %) всіх вибірок має місце залежність (1), тобто, що така залежність статистично істотна.

3. Як відомо, однією із вимог лінійної моделі регресії, рівняння якої задається формулою (1), є рівність нулю математичного сподівання залишків моделі, тобто, $M_{u_i} = 0$. Ця вимога забезпечується меншими за 5 % рівняннями значущості розрахункових коефіцієнтів моделі.

4. Коефіцієнт детермінації визначає степінь підгонки кривої апроксимації до статистичних даних величини R_a . Нормативне його значення повинно становити не менше 0,95.

5. Автокореляція в рівнях показника R_a має негативний вплив на побудову довірчих інтервалів невідомих параметрів моделі, вони можуть бути як надто широкими, так і надто вузькими стосовно істинного їх діапазону. За діагностикою статистики Дарбіна-Уотсона автокореляція першого порядку в рівнях показника R_a присутня. Усунути, за удосконаленням методом Кочрена-Орката, автокореляцію повністю неможливо, але можливо істотно зменшити її вплив (поліпшити результати) шляхом методу Ейткена (перетворення

вихідної інформації). Якщо таке перетворення інформації виявиться доцільним, то розрахункові коефіцієнти моделі можуть бути уточнені.

6. Оскільки статистика Дарбіна-Уотсона після перетворення інформації виявилася ближчою до її ідеального значення (а це 2), то створена програма дозволяє поліпшити модель, при цьому перерахувавши значення коефіцієнтів моделі. Таким чином, рівняння моделі регресії матиме наступний вигляд:

$$y_s = 1,3276 - 28,0862x_s + 31,106x_s^{1,2}.$$

7. Крива апроксимації за своєю природою є опуклою функцією, тому існує значення показника глибини обробки, за якого шорсткість приймає найменше значення. Оптимальне значення показника глибини обробки знаходиться як точка, в якій похідна функції $f(x, \beta)$ рівна нулю. В нашому випадку $x = 0,1667$.

10. Середня мінімальна шорсткість, що відповідає $x = 0,1667$, становить $R_a = 0,6028$ мкм.

11. Істинна мінімальна шорсткість (найменше значення генеральної сукупності, з якої робилась вибірка) невідоме, тому воно підлягає статистичній оцінці – побудові 99 % прогнозного довірчого інтервалу, в даному випадку він має вигляд (0,3204; 0,8853).

12. В часових рядах прогнозні значення результуючої змінної знаходяться для значень часу, що слідують за аналізованим періодом. У даному випадку трендова модель виступає як багатофакторна (зі штучними факторами x і x^2) лінійна модель регресії, тому і прогнозні значення результуючої змінної можна знаходити за правилом багатофакторної (у даному випадку – двофакторної) моделі.

Нижня границя (0,3204) довірчого прогнозного інтервалу знаходиться нижче сподіваного значення R_a (0,6028 мкм) і тому не береться до розгляду. Верхня границя (0,8853) довірчого інтервалу, в силу опуклості кривої апроксимації, відповідають два значення (абсциси точок перетину кривої апроксимації з прямою $y = 0,8853$). Ці два значення ($R_a = 0,0486$ мкм і $R_a = 0,3144$ мкм) знаходяться наближено (із заданою точністю) за ітераційними методами (градієнтними методами), які в комп'ютерній системі Mathcad Pro здійснюються за допомогою ключових слів Given і Find. Таким чином отримано інтервал (0,0486; 0,3144) (інтервал глибини обробки поверхонь з мінімальною шорсткістю), який з імовірністю 0,99 покриває значення показника глибини обробки, що відповідає істинному мінімальному значенню R_a .

Зауважимо, що найближче сподіване значення R_a до його істинного мінімального значення може бути знайдено як значення

кривій апроксимації в середній точці (0,1815) інтервалу глибини обробки поверхонь з мінімальною шорсткістю (0,0486; 0,3144).

Модель залежності R_a від глибини обробки побудована за експериментальними даними і в діапазонах товщин покриття 1,2; 1,8; 2,4 (табл. 2–4).

Таблиця 2

Експериментальні дані шорсткості оброблених поверхонь зразка з покриттям ПГ-12Н-01 товщиною 1,2 мм

Порядковий номер обробленої поверхні	Глибина розташування обробленої поверхні h , мм	R_a , мкм	Порядковий номер обробленої поверхні	Глибина розташування обробленої поверхні h , мм	R_a , мкм
1	2	3	4	5	6
1	0,00	2,32	13	0,60	0,64
2	0,05	1,97	14	0,65	1,01
3	0,01	2,15	15	0,70	1,23
4	0,15	1,86	16	0,75	1,16
5	0,20	1,62	17	0,80	1,10
6	0,25	1,14	18	0,85	1,15
7	0,30	0,87	19	0,90	1,21
8	0,35	0,80	20	0,95	1,29
9	0,40	0,73	21	1,00	1,15
10	0,45	0,99	22	1,05	1,55
11	0,50	0,96	23	1,10	1,89
12	0,55	0,98	24	1,20	2,18

Таблиця 3

Експериментальні дані шорсткості оброблених поверхонь зразка з покриттям ПГ-12Н-01 товщиною 1,8 мм

Порядковий номер обробленої поверхні	Глибина розташування обробленої поверхні h , мм	R_a , мкм	Порядковий номер обробленої поверхні	Глибина розташування обробленої поверхні h , мм	R_a , мкм
1	2	3	4	5	6
1	0,0	2,44	11	1,0	1,12
2	0,1	2,06	12	1,1	1,07

3	0,2	1,74	13	1,2	1,14
4	0,3	1,15	14	1,3	1,09
5	0,4	0,97	15	1,4	1,43
6	0,5	0,62	16	1,5	1,39
7	0,6	0,72	17	1,6	1,56
8	0,7	0,86	18	1,7	1,83
9	0,8	0,68	19	1,8	2,04
10	0,9	0,92			

Таблиця 4

Експериментальні дані шорсткості оброблених поверхонь зразка з покриттям ПГ-12Н-01 товщиною 2,4 мм

Порядковий номер обробленої поверхні	Глибина розташування обробленої поверхні h , мм	R_a , мкм	Порядковий номер обробленої поверхні	Глибина розташування обробленої поверхні h , мм	R_a , мкм
1	2	3	4	5	6
1	0,0	2,24	13	1,2	1,06
2	0,1	2,16	14	1,3	1,21
3	0,2	1,63	15	1,4	1,18
4	0,3	1,25	16	1,5	1,19
5	0,4	0,91	17	1,6	1,23
6	0,5	0,82	18	1,7	1,45
7	0,6	0,73	19	1,8	1,56
8	0,7	0,58	20	1,9	1,88
9	0,8	0,79	21	2,0	1,79
10	0,9	0,86	22	2,1	1,91
11	1,0	0,99	23	2,2	2,14
12	1,1	1,15	24	2,3	2,38
			25	2,4	2,49

Рівняння кривої апроксимації залежності R_a від глибини обробки лишається незмінним. Підтвердженням цьому слугують дані розрахунків моделювання, наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Дані розрахунків моделювання

Показник	Діапазони глибин обробки зразків		
	покриття товщиною 1,2 мм	покриття товщиною 1,8 мм	покриття товщиною 2,4 мм
	0–1,2	0–1,8	0–2,4
1	2	3	4

Продовження табл. 5

1	2	3	4
Коефіцієнт асиметрії та ексцесу	0,1806; 0,7745	0,1704; 0,6736	0,5395; 0,5423
Рівень значущості моделі (%)	$1,1471 \times 10^{-11}$	$1,6998 \times 10^{-11}$	$3,6637 \times 10^{-15}$
Рівень значущості коефіцієнтів (%)	$(1,3355 \times 10^{-10};$ $1,0114 \times 10^{-5};$ $1,1976 \times 10^{-5})$	$(1,8016 \times 10^{-9};$ $9,9586 \times 10^{-7};$ $1,0016 \times 10^{-6})$	$(5,8467 \times 10^{-9};$ $1,7957 \times 10^{-6};$ $1,1344 \times 10^{-6})$
Коефіцієнт детермінації	0,9295	0,9728	0,9640
Автокореляція	присутня (не може бути усунута) – результат поліпшився	присутня (не може бути усунута) – результат поліпшився	відсутня (усунута)
Статистика Дарбіна–Уотсона до перетворення інформації	0,8447	0,5229	0,5088
Статистика Дарбіна–Уотсона після перетворення інформації	1,0934	1,1588	1,6995
Розрахункові (середні) значення коефіцієнтів моделі	(2,2119; -16,2750; 15,6807)	(2,0631; -1,0632; 9,9710)	(1,6521; -7,6266; 6,6136)

після перетворення інформації, якщо вона виявиться доцільною			
--	--	--	--

Закінчення табл. 5

1	2	3	4
Середня мінімальна глибина, мм	0,4840	0,6850	0,8195
Середня мінімальна шорсткість, мкм	0,8989	0,7967	0,6105
Довірчий інтервал мінімальної шорсткості	(0,5373; 1,2605)	(0,5489; 1,0445)	(0,3310; 0,8899)
Інтервал глибин обробки поверхонь з мінімальною шорсткістю, мкм	(0,1887; 0,8396)	(0,3260; 1,1042)	(0,3252; 1,4131)

Висновки. На основі здійсненого дослідження можна стверджувати, що при обробці виробів із покриттями з самофлюсівного порошку ПГ-12Н-01 (система *Ni-Cr-B-S*) у діапазоні товщин 0,6–2,4 мм (найчастіше вживані товщини на практиці [5]) робочі поверхні з мінімальним значенням R_a у покриттях товщиною 0,6 мм і 1,2–2,4 мм будуть на різних глибинах. У першому випадку – у межах глибин обробки 0,0486–0,3144 мм, у другому випадку – 0,3260–0,8396 мм. Умови формування покриттів (насамперед, теплообмін між частками порошку і основою) значно відрізняються, що підтверджується існуванням спільного довірчого інтервалу (спільного про шарку покриття з найменшою шорсткістю) лише для товщин 1,2–2,4 мм.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Клименко С.А., Мельничук Ю.А. Структура напыленных покрытий и шероховатость обработанной поверхности // Инженерия поверхности и реновация изделий: Матер. 2-й Междунар. науч.-технич. конф. (28–30 мая 2002 г., г. Ялта). – К. : АТМ України, 2002. – 259 с. – С. 68–70.
2. Руководящие технические материалы. Нанесение покрытий из порошков методом газопламенного напыления. Типовой технологический процесс. РТМ ИЭС–7–90 // Газотермическое

- напыление покрытий : сб. руководящих технических материалов. – К. : ИЭС им. Е.О. Патона, 1990. – 175 с. – С. 115–150.
3. *Воловик Е.Л.* Справочник по восстановлению деталей – М. : Колос, 1981. – 351 с.
 4. Обробка деталей при відновленні і зміцненні : навч. посібник / *Ю.О. Харламов, С.А. Клименко, М.А. Будаг'янци, Л.Г. Полонський.* – Луганськ : Вид-во СУНУ імені Володимира Даля, 2007. – 500 с.
 5. Газотермическое напыление покрытий : сб. руководящих технических материалов. – К. : ИЭС им. Е.О. Патона, 1990. – 175 с.
 6. *Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А.* Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин : учебное пособие. – Луганськ : Изд-во ВУНУ им. В.Даля, 2003. – В 2-х т. – Т. 2. – 480 с.
 7. *Искольдский И.И.* Наплавочные боридные твердые сплавы. – М. : Машиностроение, 1965. – 71 с.
 8. *Харламов Ю.А., Нгуен Ван Чанг.* Оценка технологических процессов получения газотермических покрытий // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в промышленности : матер. конф. (4–6 сентября 1996 г., г. Одесса). – К. : Об-во „Знання” України, 1996. – 158 с. – С. 108–109.
 9. *Вольперт Г.Д.* Покрытие распыленным металлом (металлизация). – М. : Промстройиздат, 1957. – 268 с.

КРАВЧЕНКО Максим Павлович – аспірант кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– обробка покриттів різанням, теоретичні питання визначення припусків на обробку.

НОЧВАЙ Володимир Матвійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– умови формування газотермічних покриттів.

ПОЛОНСЬКИЙ Леонід Григорович – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– механічна обробка газотермічних покриттів.

ЩЕХОРСЬКИЙ Анатолій Йосипович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри менеджменту Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– обробка статистичних даних, теорія імовірності.

РИЖОВ Юрій Едуардович – старший науковий співробітник відділу № 18 Інституту надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування.

Подано 15.06.2011

