

М.П. Кравченко, аспір.  
Л.Г. Полонський, д.т.н., проф.  
Житомирський державний технологічний університет

### ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКУ НА ТОЧІННЯ ВИРОБІВ ІЗ ГАЗОТЕРМІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ

*Представлено спосіб призначення припуску на точіння виробів із газотермічним покриттям, що реалізується через пошук розташування в товщі покриття більш якісного шару за критеріями шорсткості, мікротвердості, зносостійкості та сили різання.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Оскільки напилені газотермічні покриття (ГТП) є гетерогенними, то розподіл критеріїв якості (шорсткість, твердість, пористість тощо) по їх глибині має нелінійний характер. Загально визнано, що покриття за товщиною складаються з трьох ділянок, що різняться між собою значеннями фізико-механічних властивостей. Досліджено, що, наприклад, шорсткість  $R_a$  оброблених поверхонь різняться залежно від глибини їх розташування в товщі покриття (оброблених шляхом зняття різних припусків). З цього випливає, що такий розподіл властивостей, а, отже, і критеріїв якості, необхідно враховувати при формуванні поверхневого шару обробкою різанням.

**Аналіз робіт у даному напрямку.** Процеси нанесення покриттів достатньо вивчено й успішно застосовуються, але використання 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 визначені експлуатаційні параметри робочої поверхні [1]. Іншими словами, під час кінцевої обробки у разі призначення різних припусків ми отримуємо різну шорсткість, і, очевидно, мікротвердість, зносостійкість тощо обробленої поверхні.

Практично відсутні дослідження стосовно вибору припуску на кінцеву обробку покриття. Як правило, його визначення здійснюються на основі суб'єктивних міркувань, без урахування зміни експлуатаційних характеристик робочих поверхонь залежно 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 і в [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 із 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  $H_c$ , 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 покриттів при отриманні бажаних властивостей виробів із покриттями.

Існуючі методи розрахунку припусків на обробку покриттів спрямовані, перш за все, на отримання розмірів деталі і не враховують фізико-механічні характеристики 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 з глибиною.

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 – фізико-механічні характеристики і експлуатаційні параметри обробленої поверхні також будуть нижче максимально можливих, крім того, збільшаться матеріало- та енерговитрати і час обробки.

Результати досліджень та рекомендації з цього питання, наведено 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 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, половина товщини напиленого покриття знімається під час кінцевої обробки. Очевидно, що при виконанні цих рекомендацій відбувається нераціональне і неекономне витрачання дорогих напилюваних матеріалів (1 кг порошку системи *Ni-Cr-B-Si* коштує ~270 грн.).

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

Вибору припуску на обробку інструментами з ПНТМ із врахуванням твердості покриття присвячена праця [10]. На жаль, застосування розрахункової формули у цьому випадку не завжди виправдовує себе, оскільки твердість покриттів [11] розсіяна у широкому діапазоні, а вимірювання цього показника якості (особливо, тонких покриттів) дає значну похибку внаслідок пористості ГТП. Тому доцільніше визначати припуск за зміною мікротвердості.

Така неоднозначність підходів до вибору припуску на обробку покриттів різної товщини вимагає подальших досліджень щодо підбору оптимального співвідношення між товщиною покриття і припуском, а також глибини попередньої обробки основи під покриття, з метою забезпечення найліпших експлуатаційних показників оброблених поверхонь деталей машин.

**Мета роботи** полягає у дослідженні властивостей ГТП на різних глибинах по їх товщині (критеріїв якості робочих поверхонь, розташованих на різних глибинах у товщі покриття) і визначенні припуску на обробку покриттів із урахуванням співвідношення глибини попередньої обробки під покриття, товщини покриття і припуску на обробку.

**Зв'язок роботи з науковими дослідженнями.** Робота пов'язана з виконанням НДР Житомирського державного технологічного університету "Розробка теоретичних основ вибору робочої товщини напилених газотермічних покриттів із самофлюсівних порошоків системи *Ni-Cr-B-Si*" (№ державної реєстрації 0111U001776).

**Основний матеріал.** На рисунку 1 наведено фрагмент газополуменевого напиленого покриття, з якого видно розподіл його на три зони. В зоні А знаходиться прошарок, в якому частки напилюваного матеріалу мають понижений механічний і хімічний зв'язок, тому що при напиленні поверхня і вже сформований шар покриття недостатньо розігріваються.

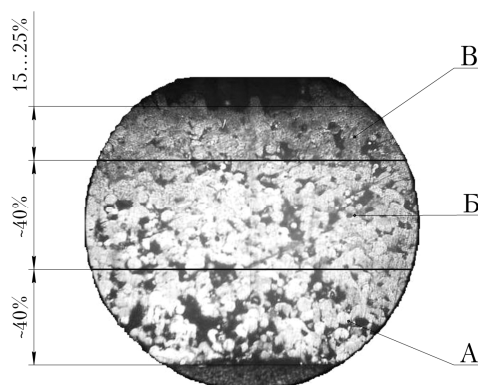


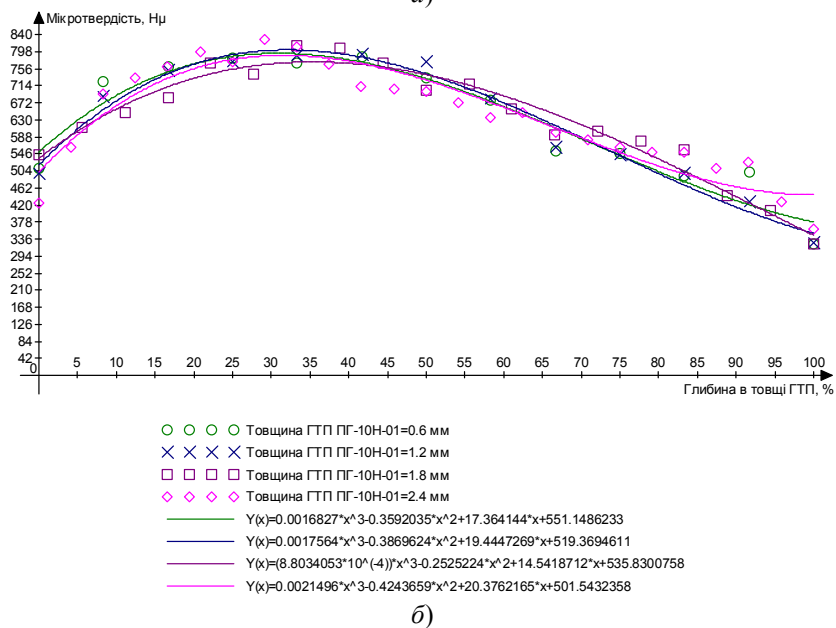
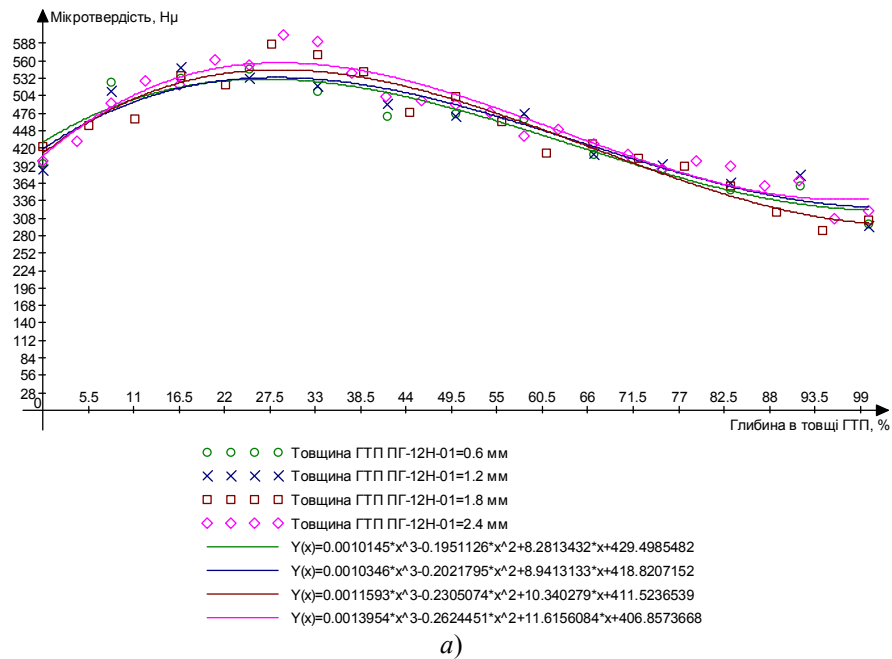
Рис. 1. Мікроструктура газополуменевого напиленого покриття з самофлюсівного порошку ПГ-12Н-01 товщиною 2 мм (х63)

Середній прошарок (зона Б) характерний достатньо щільною структурою, великою когезією і, відповідно, зносостійкістю, твердістю та ін. Для формування такого покриття, міцного з'єднання часток в ньому сприятливим є те, що попередньо сформований шар має достатній запас теплової енергії для утворення між напилюваними і напиленими частками міцного хімічного зв'язку (енергія достатня для подолання атомами напилюваного порошку енергетичних бар'єрів спокою [12]), що забезпечує щільніше "прилягання" та зменшення пористості, порівняно з зоною А.

В зоні В частки між собою також з'єднані міцно, але цей прошарок, що займає, як видно з рисунку 1, ~20 % товщини покриття, неякісний, тому що окисли, флюс та інші вкраплення, що спливають на поверхню, знаходяться саме у ньому.

Для визначення якості поверхневого шару і розподілу властивостей газополумєневих покриттів (ПГ-12Н-01, ПГ-10Н-01, ПГ-СР4) проведено дослідження мікротвердості  $H_{\mu}$  по глибині ГТП у діапазоні товщин від 0,6 мм до 2,4 мм. Вимірювання проводились на прямих шліфах, затиснутих у струбцинах, із використанням мікротвердоміра ПМТ-3. Зареєстровані значення заносились до таблиці, за ними будувались відповідні

графіки. Дані, згідно з рисунком 1 і графіком (рис. 2), дозволяють бачити зміну властивостей покриттів як кількісно, так і якісно.



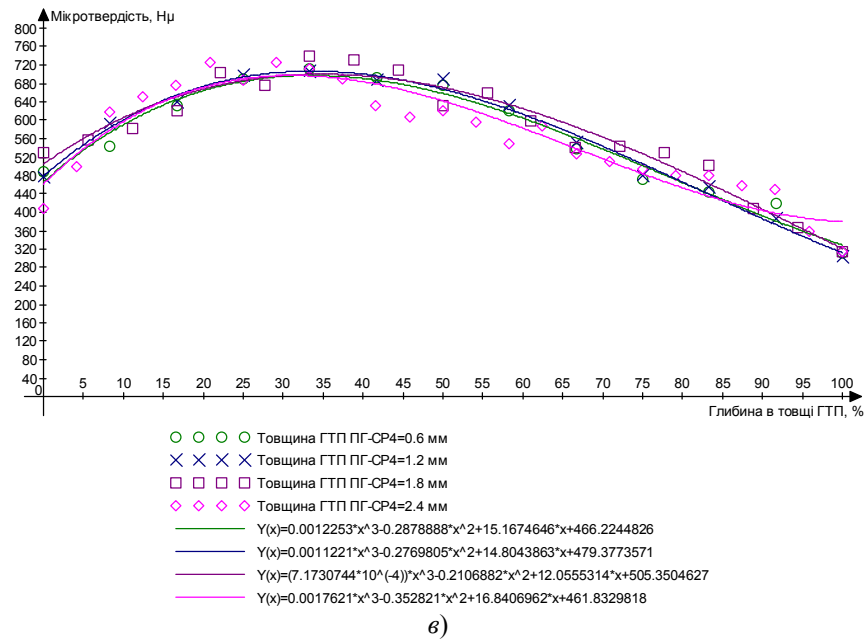


Рис. 2. Розподіл мікротвердості по товщині покриттів (а – ПГ-12Н-01; б – ПГ-10Н-01; в – ПГ-СР4)

З наведених графіків видно, що якісна зона в товщі ГТП знаходиться у межах 20–60 %. Відповідно до отриманих результатів, визначення  $H_{\mu}$  поверхонь, розташованих на різних глибинах у товщі покриття, можна рекомендувати такі схеми розташування прошарку на знос  $t_{п.з.}$  згідно з обраним припуском  $Z$  ( $h_{п.}$  – загальна товщина покриття) (рис. 3).

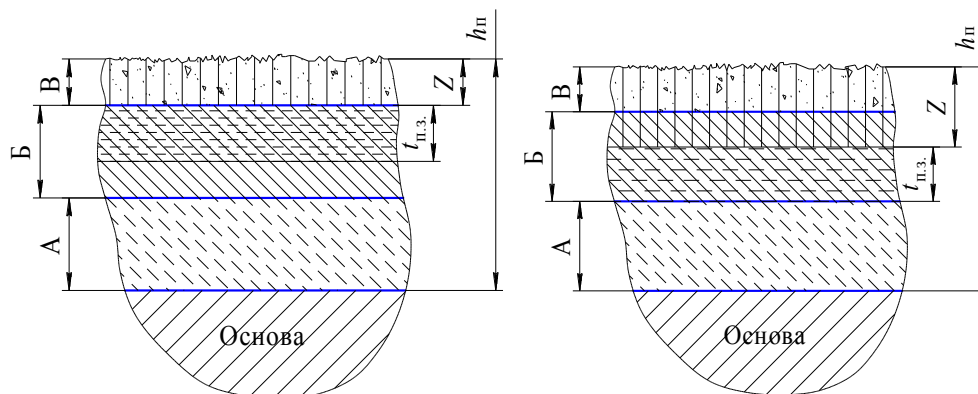


Рис. 3. Схеми можливих варіантів розташування припуску на обробку та прошарку, на знос покриттів системи Ni-Cr-B-Si

Для забезпечення достатнього терміну експлуатації виробу потрібно, щоб  $t_{п.з.}$  не виходив за межі якісної зони. З метою економії напилюваних матеріалів необхідно мінімізувати товщину ГТП, намагаючись досягти такого співвідношення між глибиною попередньої обробки під покриття, товщиною покриття і припуском на обробку, щоб  $B = t_{п.з.}$ .

Для мінімізації  $h_{п.}$  доцільним є поліпшення частини дефектного прошарку В (зменшення пористості та збільшення твердості, що можна досягти в результаті зміцнення приповерхневого шару шляхом вибору раціональних параметрів обробки). Як показують попередні експерименти, таким чином ми покращуємо структуру неякісної зони В на глибину близько 0,05 мм.

Однією з перепон, що заважає використовувати для визначення припуску на обробку покриттів розрахунково-аналітичний метод, є відсутність у довідковій технічній літературі значень глибини дефектних поверхневих прошарків ( $R_z + h$ ). Результати проведених досліджень параметрів якості оброблених поверхонь, розташованих на різних глибинах у товщі покриттів, дозволили табелювати ( $R_z + h$ ) для ГТП системи Ni-Cr-B-Si у діапазоні товщин 0,6...2,4 мм (табл. 1).

Таблиця 1

Глибина дефектного поверхневого прошарку ( $R_z + h$ ) покриттів системи Ni-Cr-B-Si  
(обробка за критерієм  $H_v$ )

Покриття	Твердість, $HRC_e$	Діапазон товщин покриття, мм				
		0,6–1,0	1,0–1,4	1,4–1,8	1,8–2,2	2,2–2,4
		$(R_z + h)$ , мкм				
ПГ-12Н-01	35...40	100...140	150...200	210...260	270...320	330...360
ПГ-10Н-01	56...62	110...160	170...230	240...300	310...370	380...410
ПГ-СР4	55	110...180	190...260	270...330	340...410	420...450

**Висновок.** Як показують результати досліджень мікротвердості робочих поверхонь ГТП системи Ni-Cr-B-Si товщиною 0,6...2,4 мм, оброблених на різних глибинах у товщі покриття, припуск на їхню обробку необхідно призначати у межах 15–25 % товщини покриття від поверхні, обов'язково враховуючи при цьому розташування прошарку на допустимий знос і співствляючи його величину з товщиною покриття та межами розташування якісного прошарку (зона Б, рис. 1) по глибині.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Клименко С.А. Структура напыленных покрытий и шероховатость обработанной поверхности / С.А. Клименко, Ю.А. Мельничук // Инженерия поверхности и реновация изделий : мат. 2-й Междунар. науч.-тех. 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 / Е.Л. Воловик. – М. : Колос, 1981. – 351 с.
4. Обробка деталей при відновленні і зміцненні : навч. посіб. / Ю.О. Харламов, С.А. Клименко, М.А. Будаг'яни, Л.Г. Полонський. – Луганськ : Вид-во СУНУ ім. В.Даля, 2007. – 500с.
5. Газотермическое напыление покрытий : сб. руководящих технических материалов. – К. : ИЭС им. Е.О. Патона, 1990. – 175 с.
6. Харламов Ю.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: уч. пособие / Ю.А. Харламов, Н.А. Будагьяни. – Луганськ : Изд-во ВУНУ им. В.Даля, 2003. – В 2-х т. – Т. 2. – 480 с.
7. Искольдский И.И. Наплавочные боридные твердые сплавы / И.И. Искольдский. – М. : Машиностроение, 1965. – 71 с.
8. Харламов Ю.А. Оценка технологических процессов получения газотермических покрытий / Ю.А. Харламов, Нгуен Ван Чанг. // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в промышленности : мат. конф. (4–6 сентября 1996 г., г. Одесса). – К. : Об-во “Знание” Украины, 1996. – 158 с. – С. 108–109.
9. Вольперт Г.Д. Покрытие распыленным металлом (металлизация)/ Г.Д. Вольперт. – М. : Промстройиздат, 1957. – 268 с.
10. Патент України № 5507. МПК: В 23 В 1/00. Спосіб визначення сумарного припуску чорного та чистового проходів / Е.В. Рижов, С.А. Клименко, Л.Г. Полонський та ін. – 18.12.94. – Бюл. № 7–1.
11. Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – К. : Наук. думка, 1987. – 544 с.
12. Кудинов В.В. Плазменные покрытия / В.В. Кудинов. – М. : Металлургия, 1978. – 120 с.

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

Наукові інтереси:

– обробка різанням напиленних ГТП, технологічні процеси точіння ГТП.

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

Наукові інтереси:

– механічна обробка газотермічних покриттів.

Подано 24.12.2010