

УДК 621.923:621.793

В.В. Бурикін, гол. технолог

Відкрите акціонерне товариство "Більшовик", м. Київ

### ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НАПИЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ, ОБРОБЛЕНИХ ПЕЛЮСТКОВИМИ КРУГАМИ

*Наведені результати дослідження геометричних параметрів поверхні напилених покриттів після пелюсткового полірування. Показана перспективність використання пелюсткових кругів з алмазних стрічок.*

В даній час для відновлення зношених робочих поверхонь деталей машин широко використовують плазмові покриття зі сплавів на основі заліза чи нікелю. Відмінною рисою будови плазмових покриттів є пористість і неоднорідність їх структури; у ній знаходяться оксиди, нітриди й інші хімічні сполуки, що мають високу твердість. Твердість покриттів складає 40–60 HRC.

Як наслідок специфічної будови напиленого шару – одержання поверхонь високої чистоти при обробці таких матеріалів пов'язане з певними труднощами. Існуюча проблема ускладнюється тим, що знижена теплопровідність покриттів при їх шліфуванні часто призводить до утворення припків і мікротріщин, викликаючи відшаровування покриттів від підкладки. Всі ці питання знайшли своє відображення в програмі "Зварювання та споріднені технології" Міністерства освіти й науки України.

Потрібно зазначити, що відомі праці багатьох дослідників пов'язані з пошуком ефективних технологічних процесів бездефектної обробки напилених поверхонь з метою зниження теплонапруження в зоні різання і отримання високої якості поверхневого шару. Так, у працях [1–3] опубліковані дослідження геометричних параметрів поверхневого шару, отриманих після різноманітних методів фінішної обробки. В результаті цих експериментів були визначені комплексні показники якості поверхні деталей машин. Однак процеси довідного шліфування, стрічкового полірування та інші, що використовуються у промисловості, не завжди ефективні через швидку втрату різальної спроможності інструмента.

В праці [4] здійснена спроба оптимізації режимів магнітно-абразивного полірування зносостійкого покриття та доведено вплив технологічних факторів на шорсткість поверхні. Недоліком цієї технології є складність виробничого устаткування та нестабільне отримання геометричних параметрів поверхні деталі.

Великі можливості для одержання необхідних характеристик поверхневого шару деталей закладені в процесах обробки пелюстковими кругами [5]. Зміна конструктивних параметрів розташування кріплення пелюсток призводить до зниження шорсткості обробленої поверхні при підвищенні стійкості інструмента.

Метою цієї роботи була оцінка можливостей процесу пелюсткового шліфування із забезпечення геометричних параметрів шорсткості напиленого поверхневого шару плазмових покриттів.

Зразки з напиленими плазмовими покриттями зі сплавів ПР-15Х12Ф6Д, ПН85Ю15 і ПГСП-4 попередньо обробляли на верстаті моделі ЗБ12 алмазними кругами на органічному зв'язуванні з алмазами АС2 зернистістю 160/125, що забезпечують параметр шорсткості поверхні Ra 1,25–1,35. Для фінішної обробки використовували пелюсткові круги плоскопаралельної форми 1А1 200×75×20 без та із застосуванням мастильно-охолоджувального технологічного середовища (МОТС).

Результати досліджень (рис. 1) показали, що застосування інструмента з радіальним розташуванням пелюсток при обробці плазмових покриттів не завжди дозволяє одержати шорсткість  $Ra < 0,2$ . Тому для здійснення фінішної обробки напилених покриттів був розроблений інструмент, що поєднав переваги шліфувальної стрічки і пелюсткового круга з радіально розташованими пелюстками. Запропонована конструкція круга з корпусом для комбінованого кріплення пелюсток при кутах нахилу  $\alpha = 30\text{--}60^\circ$  дозволяє знижувати параметр шорсткості поверхні з плазмовими покриттями до  $Ra 0,10\text{--}0,05$  і відносну витрату алмазів у 1,2–1,3 рази порівняно з витратою алмазів при обробці інструментом з радіальним кріпленням пелюсток. Проведені дослідження процесу полірування плазмових покриттів цими кругами дозволили встановити залежність шорсткості поверхні Ra від деформації  $\delta$  пелюсткового круга, його швидкості  $v_k$ , подовжньої подачі  $S_{\text{п}}$ , колової швидкості деталі  $v_d$  і часу обробки  $\tau$ . Це дало можливість розробити обґрунтовані рекомендації з вибору інструмента й умов обробки.

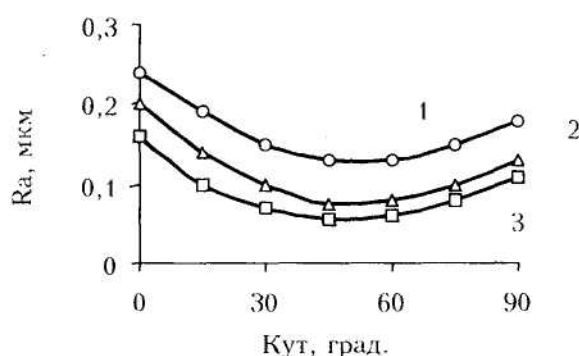


Рис. 1. Залежність шорсткості поверхні від кута нахилу пелюсток до радіальної площини при поліруванні різних покриттів:

1 — ПР-15Х12Ф6Д; 2 — ПН85Ю15; 3 — ПГСР-4, при  $\delta = 1,2$  мм;  $\tau = 60$  с;  $S_{II} = 1,0$  м/хв;  $v_K = 27$  м/с;  $v_D = 0,5$  м/с; МОТС — 1%-ий содовий розчин

Істотну роль у зниженні шорсткості обробленої поверхні відіграє швидкість круга (рис. 2). З її збільшенням  $v_K = 15\text{--}35$  м/с шорсткість Ra зменшується, тому що зростає кількість алмазних зерен, що здійснювали знімання матеріалу за одиницю часу, що призводить до зменшення перетину зрізу. Завдяки цьому зменшується навантаження на кожне зерно. При подальшому збільшенні швидкості круга більше 45 м/с, через дію відцентрових сил, умови різання погіршуються і шорсткість обробленої поверхні збільшується. Найменша висота мікронерівностей Ra 0,14–0,16 відповідає значенням  $v_K = 27\text{--}35$  м/с. Незначний вплив на показники мікрогеометрії поверхні робить окружна швидкість деталі. З підвищенням цього параметра від 10 до 50 м/хв значення Ra практично трохи збільшується, тому що процес обробки пелюстковим кругом відбувається з постійним зусиллям, при цьому навантаження на алмазне зерно не змінюється.

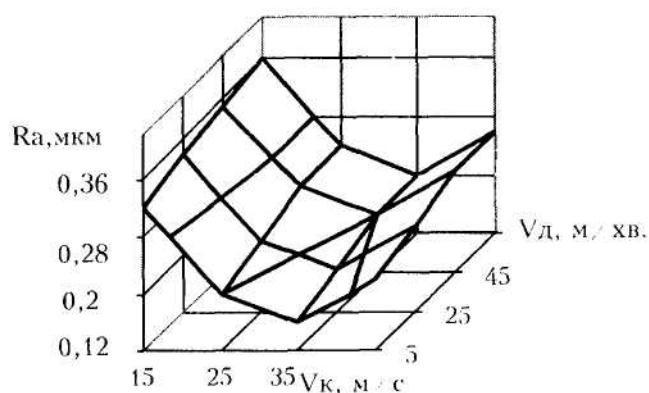


Рис. 2. Залежність шорсткості поверхні покриття ПН85Ю15 від швидкостей круга і деталі при  $\delta = 1,0$  мм;  $\tau = 30$  с;  $S_{II} = 1,0$  м/хв

На рис. 3 наведена залежність шорсткості Ra полірованої поверхні від деформації круга  $\delta$  у радіальному напрямку і подовжній подачі  $S_{II}$ . Зі зміною  $\delta = 0,6\text{--}1,2$  мм значення Ra зменшується. Найбільше зменшення Ra 0,13–0,15 спостерігається при  $\delta = 1,0\text{--}1,3$  мм. Це пояснюється більш інтенсивним зростанням кількості контактних зерен ніж зусилля, що притискає пелюстки. Це призводить до зменшення товщини шару, що зрізується одним зерном. При зміні  $\delta > 1,3$  мм надмірно збільшується навантаження на пелюстку, а це сприяє збільшенню теплонапруженості процесу полірування і руйнуванню частини зерен. Спостерігаються ознаки катастрофічної зношуваності робочих частин пелюсток круга, що призводить до зниження якості обробленої поверхні. Незначне зниження Ra має місце при зменшенні подовжньої подачі від 2,0 до 0,5 м/хв. Це пояснюється тими ж причинами, що і при зміні швидкості деталі.

Знімання напиленого матеріалу проводиться в межах дефектної ділянки поверхні деталі, що сформувалась на попередній обробці. Інтенсивність процесу формування геометричних параметрів поверхні відбувається в перший період часу ( $\tau < 15\text{--}30$  с), коли спостерігається значне зниження висоти нерівностей, після чого тривалість полірування не справляє великого

впливу на Ra (рис. 4). Тривалість полірування залежить від пористості (П %) напиленого покриття. При малій пористості необхідна якість поверхні досягається значно швидше.

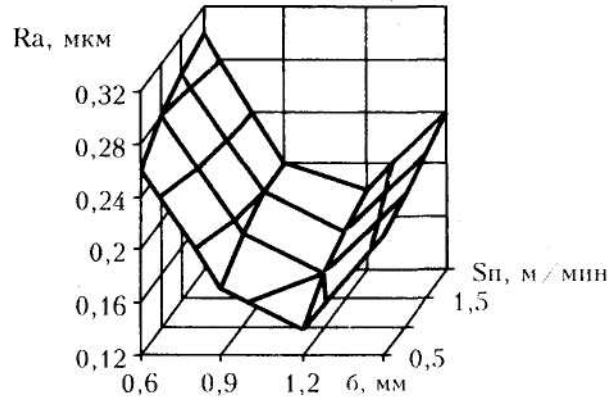


Рис. 3. Залежність шорсткості поверхні покриття ПН85Ю15 від деформації круга і подовжньої подачі при  $\tau = 30$  с;  $v_k = 27$  м/с;  $v_d = 0,5$  м/с

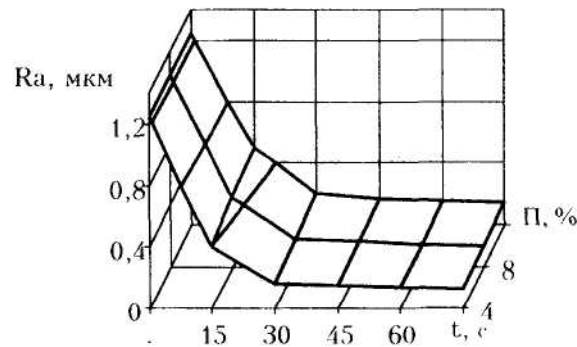


Рис. 4. Залежність шорсткості поверхні покриття ПН85Ю15 від часу полірування і пористості напиленого матеріалу при  $\delta = 1,0$  мм;  $v_k = 27$  м/с;  $v_d = 0,5$  м/с;  $S_{II} = 1,0$  м/хв

Дослідження показали, що застосування технологічного середовища різних складів:

- 1)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (1 %) +  $\text{NaN}$  (0,25 %) +  $\text{H}_2\text{O}$  (98,75 %);
- 2) емульсол ИГЛ 205 (5 %-ний розчин в  $\text{H}_2\text{O}$ );
- 3) мастило індустріальне 20 при обробці плазмових покриттів целюстковим кругом сприяє зниженню шорсткості поверхні приблизно в 1,2–1,5 рази (рис. 5).

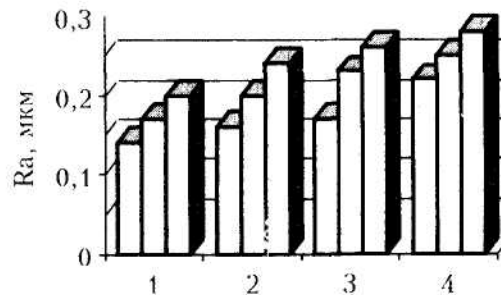


Рис. 5. Залежність шорсткості поверхні від виду МОТС:  
 1 –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (1 %) +  $\text{NaN}$  (0,25 %) +  $\text{H}_2\text{O}$  (98,75 %);  
 2 – емульсол ИГЛ 205; 3 – мастило I-20;  
 4 – без МОТС при  $v_k = 27$  м/с;  $\delta = 1,0$  мм;  $S_{II} = 1,0$  м/хв;  $v_d = 0,5$  м/с;  
 $\tau = 30$  с; а – ПГСП-4; б – ПН85Ю15; в – ПР-15Х12Ф6Д

Це пояснюється тим, що, хоча могутній повітряний потік, створюваний кругом, перешкоджає проникненню МОТС у зону обробки, невелика частина рідини, за рахунок змазувальної, змиваючої і прохолоджуючої дії, все ж таки бере участь у процесі полірування. Водяний розчин МОТС, з великою теплоемністю і теплопровідністю має кращу охолоджуючу дію порівнянно з мастилом. При алмазному поліруванні з емульсією чи мастилом шорсткість обробленої поверхні вища. Тому для пелюсткового полірування найбільш придатні водяні розчини МОТС.

Порівняно з режимами полірування характеристики алмазних пелюсток круга (зернистість, відносна концентрація, зв'язування) і твердість оброблюваного напиленого матеріалу справляють на параметр шорсткості поверхні деталей набагато менший вплив. З рис. 6 видно, що зі збільшенням зернистості (З) пелюсток від АСМ 40/28 до АС2 80/63 шорсткість поверхні  $R_a$  підвищується, що особливо помітно при концентрації (К) алмазів 50 %. Це пояснюється зменшенням кількості зерен на робочій поверхні пелюстки. Змінна концентрація справляє менший вплив на мікрорельєф поверхні ніж зернистість. Збільшення концентрації від 50 до 125 % призводить до збільшення кількості активних зерен пелюстки на площі контакту, викликаючи зниження оптимального навантаження на кожне алмазне зерно і зменшення глибини впровадження його в оброблювану поверхню. Шорсткість поверхні знижується до  $R_a$  0,14.

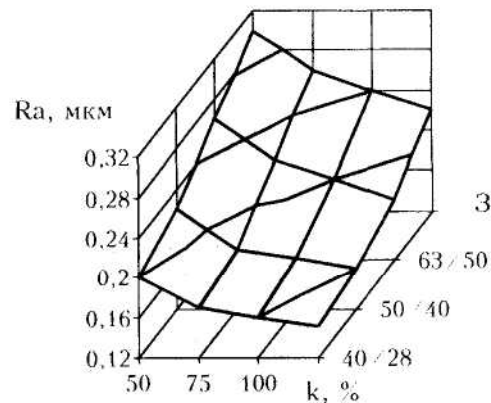


Рис. 6. Залежність шорсткості поверхні покриття ПН85Ю15 від відносної концентрації і зернистості алмазів круга при  $\delta = 1,0$  мм;  $\tau = 30$  с:

$$S_{II} = 1,0 \text{ м/хв}; v_k = 27 \text{ м/с}; v_d = 0,5 \text{ м/с}$$

З підвищенням пружності зв'язки пелюсток від 3 МПа (зв'язка ВЗ-10) до 15 МПа (зв'язка ВЗ-06) висота мікронерівностей зростає завдяки зменшенню кількості активних зерен і площі контакту інструмента з оброблюваною поверхнею (рис. 7). Внаслідок малої продуктивності та підвищеного зношування пелюстки на зв'язках ВЗ-10 і ВЗ-09 застосовувати недоцільно.

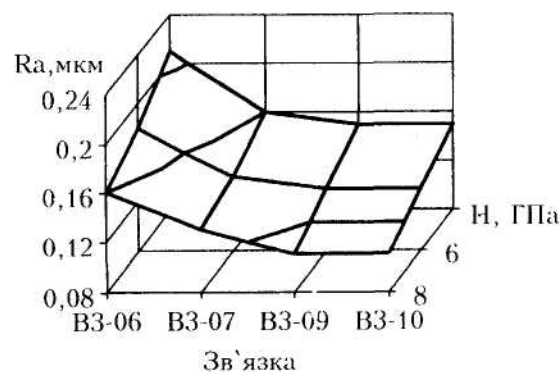


Рис. 7. Залежність шорсткості поверхні покриття ПН85Ю15 від мікротвердості оброблюваного матеріалу й еластичності зв'язування круга при  $\delta = 1,0$  мм:

$$\tau = 30 \text{ с}; S_{II} = 1,0 \text{ м/хв}; v_k = 27 \text{ м/с}; v_d = 0,5 \text{ м/с}$$

Твердість плазмових покриттів коливається в інтервалі  $H_u = 4-10$  ГПа. В процесі полірування деталей пелюстковими кругами з похилим розташуванням різальних елементів, що виникають від ударів, ум'ятини на поверхні мають менші розміри. При обробці плазмових покриттів ПР-15Х12Ф6Д і ПН85Ю15 шорсткість їх поверхні  $Ra$  0,12–0,16, що свідчить про малій ступінь впливу твердості оброблюваного матеріалу на формування геометричних параметрів.

В результаті однофакторних експериментів встановлений ступінь впливу окремих технологічних факторів на шорсткість поверхні, а також їх рівні й інтервали варіювання при подальшій постановці планованого експерименту. Як незалежні змінні обрані такі технологічні фактори:  $v_k$ ;  $v_d$ ;  $\delta$ ;  $S_n$ ;  $\tau$ . В результаті реалізації плану експерименту отримані такі рівняння регресії умов обробки на параметри шорсткості поверхні:

$$Ra = 0,585 - 0,0045v_k - 0,2\delta; \quad (1)$$

$$Rz = 1,83 - 0,014v_k - 0,64\delta; \quad (2)$$

$$R_p = 3,99 - 0,025v_k - 1,85\delta + 0,16S_n; \quad (3)$$

$$R_{max} = 3,635 - 0,025v_k - 1,6\delta + 0,13S_n; \quad (4)$$

$$S_m = 1,737v_k + 51,85\delta + 0,315\tau - 30,69; \quad (5)$$

$$t_p = 47,01 + 0,512v_k + 13,0\delta. \quad (6)$$

З аналізу рівнянь регресії випливає, що найбільший вплив на параметри шорсткості поверхні справляють  $v_k$  і  $\delta$ . Зі збільшенням цих параметрів шорсткість поверхні поліпшується, однак факторами, що обмежують їх величину вище оптимальних значень, є зростання теплонапруженості процесу полірування, що призводить до передчасного зношування інструмента і погіршення якості обробки. Швидкість деталі в досліджуваному діапазоні значного впливу на мікрогеометрію не має. Тому її варто вибирати з урахуванням забезпечення необхідної стійкості інструмента і, можливо, більшої продуктивності процесу. Видно, що вплив на інші параметри шорсткості роблять  $\tau$  і  $S_n$ . Експериментами встановлено, що варіювання технологічних факторів при обробці плазмових покриттів пелюстковим кругом з алмазних стрічок забезпечує такі параметри шорсткості поверхні:  $Ra$  0,05–0,2;  $Rz$  0,4–0,8;  $R_p$  0,8–1,5;  $R_{max}$  1,5–3,0;  $S_m$  60–150;  $t_p$  50–80 %.

Таким чином, технологічний процес полірування пелюстковими кругами з алмазних стрічок напилених деталей машин забезпечує у більшості випадків необхідні геометричні параметри поверхні, що обумовлює перспективність його використання в машинобудуванні.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Анельчик Д.Е., Сазонов П.П., Мироненко С.В. Механизм дефектообразования в поверхностном слое деталей с покрытием при шлифовании // Сверхтвердые материалы. – 1993. – № 4. – С. 46–51.
2. Харченко В.С. Технологическое обеспечение износостойкости деталей машин нанесением многослойных покрытий // Трение и износ. – 1997. – Т.18. – № 3. – С. 331–338.
3. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
4. Магнитно-абразивное полирование износостойких покрытий / Л.М. Кожуро, М.Л. Хейфец, В.С. Точило, А.А. Садюкович // Прогрессивные технологии в машиностроении: Мат. наук.-техн. Семинара. 21–23 мая 2002 г. – Запорожье. – Киев: АТМ України, 2002. – С. 40–42.
5. Гдалевич А.И. Финишная обработка лепестковыми кругами. – М.: Машиностроение, 1990. – 112 с.

БУРИКІН Віталій Віталійович – головний технолог відкритого акціонерного товариства “Більшовик”, м. Київ.

Наукові інтереси:

– технологічне забезпечення якості деталей з покриттям.

Тел.: 430-85-00.

E-mail: [atmu@ism.kiev.ua](mailto:atmu@ism.kiev.ua)