

## ВПЛИВ КОЛИВАНЬ ЗАГОТОВКИ ВЗДОВЖ ОСІ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ СТАЛІ Р6М5Ф3

**Матюха П.Г., Габітов В.В.**  
(ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

### Вступ

Використання алмазних кругів при обробці інструментальних сталей і сплавів обумовлено унікальними фізичними, механічними, термічними і хімічними властивостями алмазних зерен, які набагато перебільшують властивості звичайних абразивних матеріалів, завдяки чому забезпечується висока продуктивність і краща якість обробки.

Собівартість обробки залежить від продуктивності і витрат алмазів, тому особливий інтерес представляє дослідження зміни продуктивності у часі, а також витрати алмазів при шліфуванні.

Міцна металева зв'язка створює умови ефективного використання різального потенціалу алмазних зерен шліфувальних кругів [1]. Однак при алмазному шліфуванні кругами на металевій зв'язці інструментальних сталей круги швидко втрачають різальну здатність протягом перших хвилин роботи. Пояснюється це тим, що дрібна стружка, що утворюється в зоні різання заповнює мікрорельєф контактних площадок на зернах, а більш велика розташовується в межзереному просторі і схоплюється зі зв'язкою. При повторних контактах круга з заготовкою процес засалювання все більш інтенсифікується і через деякий час продукти засалювання являють собою суцільну масу. Усунути ефект засалювання можна електрофізикохімічними діями на круг [2].

Постійне відновлення робочої поверхні круга (РПК) і тим самим підтримку його різальної здатності, можна забезпечити використанням зв'язок зменшеної міцності [1]. Такі зв'язки дозволяють реалізувати ефект самозаточування алмазних кругів. Однак їхнє використання приводить до збільшених витрат алмазних зерен і, як наслідок, збільшення собівартості шліфувальних операцій.

Також продуктивність оброблення при шліфуванні залежить від умов контактування зерен з оброблюваною поверхнею, обумовлених формою одиничних зрізів і їх параметрами - товщиною зрізу, довжиною дуги контакту з заготовкою, а також кількістю зерен, що беруть участь у процесі шліфування.

Змінити форму одиничних зрізів можна за допомогою надання шліфувальному кругу або заготовці коливального руху в напрямку паралельному осі обертання круга. Відомі конструкції пристроїв, які реалізують схему шліфування з накладенням вібрації на шліфувальний круг [3, 4]. Відмічається позитивний ефект коливань на продуктивність шліфування та якість обробленої поверхні [5]. Однак наявні в технічній літературі дані про вплив коливань зони різання вздовж осі шліфувального круга не розкривають механізму появи такого ефекту.

Метою роботи є дослідження процесу шліфування ванадієвої інструментальної сталі Р6М5Ф3 кругом з синтетичних алмазів марки АС6 для перевірки можливості росту продуктивності шліфування за рахунок накладення коливань на заготовку.

### Основна частина

При шліфуванні видалення оброблюваного матеріалу виконується одиничними зрізами. Отже, від об'єму одиничного зрізу та кількості зерен, що їх утворюють, залежить продуктивність оброблення  $V_m$  в цілому [6]:

$$V_M = z_p \cdot V_3, \quad (1)$$

де  $z_p$  – кількість зерен, які приймають участь в видаленні матеріалу за одиницю часу, шт/хв;

$V_3$  – об'єм зрізу, який видаляється одним зерном, мм<sup>3</sup>.

Виходячи з формули (1), продуктивність шліфування може бути збільшена за рахунок підвищення відношення швидкості шліфувального круга  $V_k$  до швидкості оброблюваної деталі  $V_d$ , яке сприяє збільшенню кількості робочих зерен  $z_p$  без зміни об'єму одиночного зрізу, а також за рахунок збільшення об'єму одиночного зрізу. Збільшити об'єм одиночного зрізу можливо за рахунок збільшення товщини або довжини зрізу, а також за рахунок видалення матеріалу зрізами сегментоподібної форми замість комоподібної.

Нами в роботі [7] були отримані формули, які дозволяють визначити довжину зрізу:

$$L = R_k \sqrt{B} \cdot \left\{ \varphi_0 + \frac{1}{2B} \cdot \left[ \pm \frac{V_d}{30V_k} \sin \varphi_0 + \frac{A_k^2 \pi^2 f^2}{25 \cdot 10^4 V_k^2} \cdot \left( \frac{1}{2} \varphi_0 + \frac{125V_k}{\pi R_k} \sin \frac{\pi R_k}{250V_k} \varphi_0 \right) \right] \right\}, \quad (2)$$

де  $B = 1 + \left( \frac{V_d}{60V_k} \right)^2$ ;

$R_k$  – радіус шліфувального круга, мм;

$V_d$  – швидкість деталі, м/хв;

$V_k$  – швидкість шліфувального круга, м/с;

$f$  і  $A_k$  – відповідно частота, Гц, і амплітуда, мм, коливань заготовки вздовж осі круга;

$\varphi_0$  – кут контакту зерна з заготовкою, град.

Використовуючи формулу довжини зрізу (2), була отримана формула для визначення умов появи ефекту від накладення осьових коливань [7]:

$$K_{\varphi} = \frac{L \cdot f}{1000 \cdot V_k} \geq 0,25. \quad (3)$$

Причому, чим більше значення відносини (3), тим більше збільшення об'єму одиночного зрізу за рахунок збільшення довжини траєкторії зерна в оброблюваному матеріалі.

Для визначення впливу коливань вздовж осі круга на продуктивність оброблення ванадієвої сталі Р6М5Ф3 при шліфуванні кругом АС6 100/80 4 М2-01 були проведені експерименти. Шліфування виконували за пружною схемою на плоскошліфувальному верстаті ЗГ71, модернізованому для електроерозійної правки шліфувального круга. Режими оброблення: швидкість круга  $V_k = 35$  м/с, поздовжня швидкість деталі  $V_d = 6$  м/хв, сила підтискування зразка до РПК 80 Н. При шліфуванні з осьовими коливаннями частота коливань дорівнювала 50 Гц, амплітуда 3 мкм. Робоче середовище 0,3%-вий водний розчин кальцінованої соди. Перед експериментом круг правили на чавунному електроді електроерозійним способом з підведенням електричного струму в зону шліфування використанням блоку електроживлення моделі ІГТ-35. Електричні режими правки складала: напруга холостого ходу  $U_{xx} = 60$  В, середній струм  $I_{сер} = 8 \div 10$  А. Механічні режими правки: швидкість круга  $V_k = 35$  м/с, швидкість стола  $V_{cm} = 6$  м/хв, по-

перечна подача  $S_n = 4$  мм/хід, глибина різання  $t = 2$  мкм. Під час правки забезпечувалося повне оновлення робочої поверхні круга.

Пружна схема оброблення використовувалась з огляду на те, що вона забезпечує найбільшу стабільність якості обробленої поверхні, стабілізацію динамічних і теплових явищ, що супроводжують процес різання. Перевагою шліфування по пружній схемі є наявність сильного кореляційного зв'язку стану РПК з її різальною спроможністю.

Виходячи з викладеного, був спроектований пристрій для реалізації шліфування по пружній схемі з накладенням вібрацій на заготовку (рис. 1). Пристрій складається з корпусу 1, всередині якого розташований повзун 2 з можливістю переміщення в напрямку РПК. На повзуні 2 закріплені рухомі полозки 3 які мають можливість переміщення вздовж осі шліфувального круга. На рухомій частині полозків закріплений оброблюваний зразок 4. На корпусі 1 закріплене джерело коливаний 5 (вібраційний гідросупорт), який з'єднується з рухомою частиною полозків 3 за допомогою гнучкої смуги 6, максимальна жорсткість якої співпадає з напрямком осі шліфувального круга 11. Важіль 7, один кінець якого контактує з повзуном 2, а протилежний кінець з закріпленим вантажем 8, служить для притискування зразка до РПК під час робочого ходу та відведення РПК від зразка в кінці робочого ходу за рахунок контактування ролика 9 з поверхнею копіра 10.

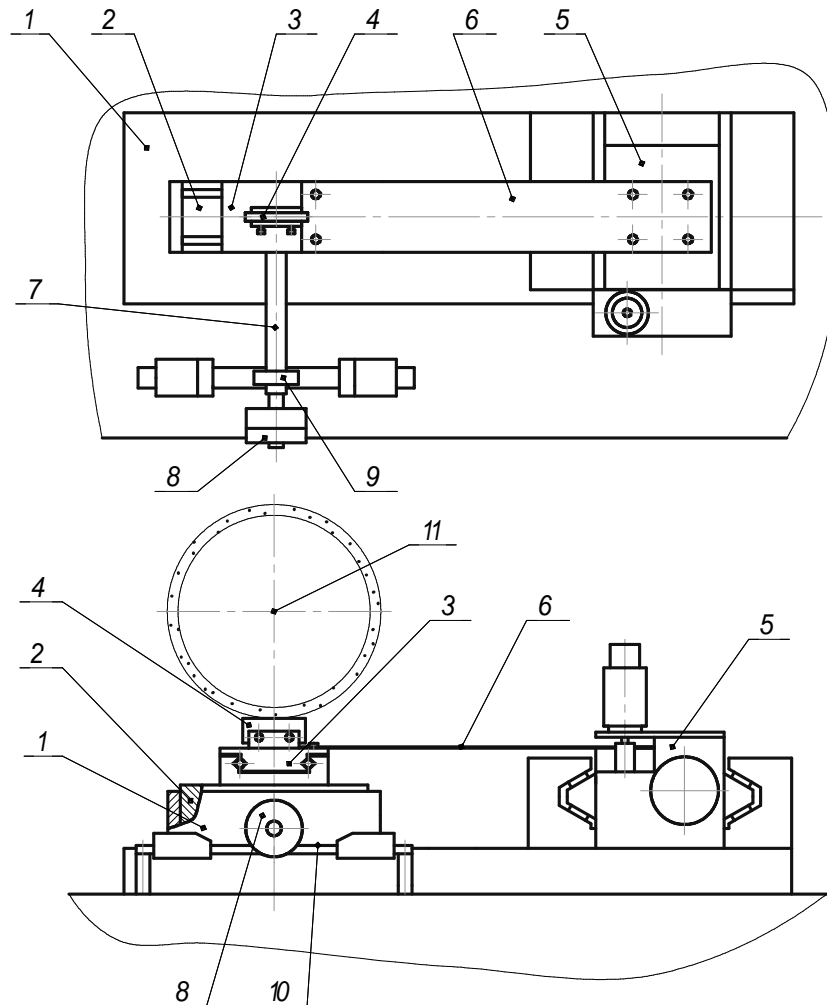


Рис. 1. Пристрій для шліфування за пружною схемою з накладенням вібрацій на заготовку

Джерелом коливань є вібраційний гідросупорт, частота вібрацій якого задається частотою обертання двигуна постійного струму, а амплітуда коливального руху регулюється профілем кулачка.

Загальний вигляд пристрою для шліфування за пружною схемою з накладенням коливань на заготовку показаний на рис. 2.



Рис. 2. Загальний вигляд пристрою для шліфування за пружною схемою з накладенням вібрацій на заготовку

З використанням даних експериментів були побудовані графіки залежностей продуктивності оброблення  $V_M$  від часу шліфування  $\tau$  (рис. 3, а, б), а також знайдені рівняння регресії, які описують ці залежності. Довірчі інтервали визначені з урахуванням рекомендацій, наведених в джерелі [8].

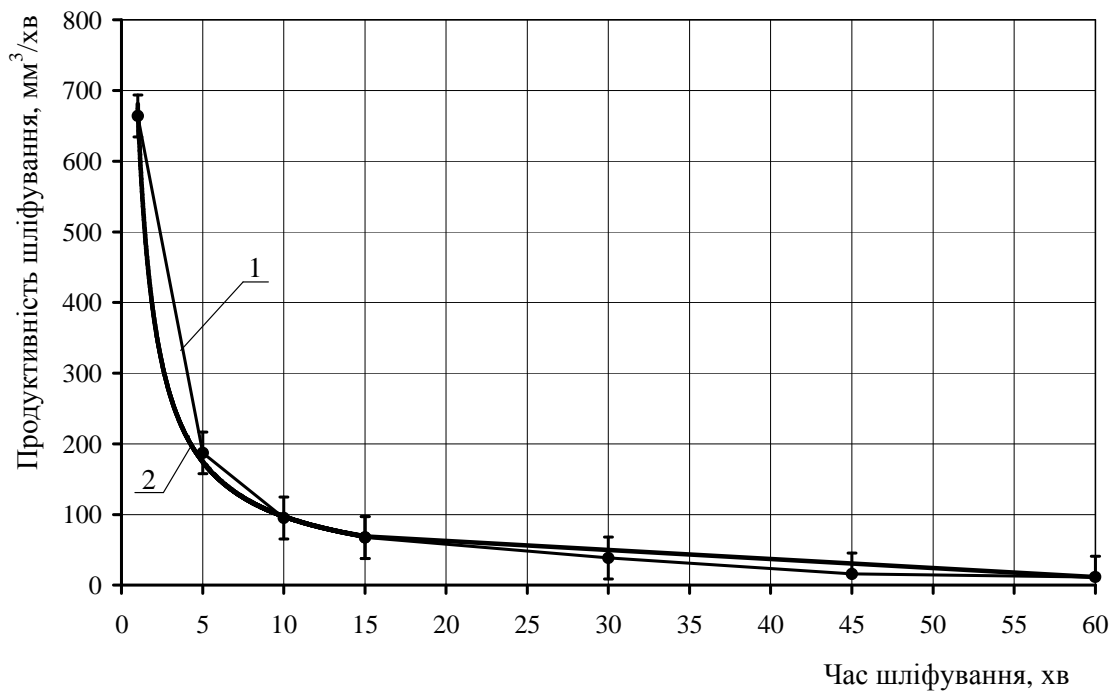
Рівняння регресії мають вигляд:

- при шліфуванні без накладення осьових вібрацій на заготовку:

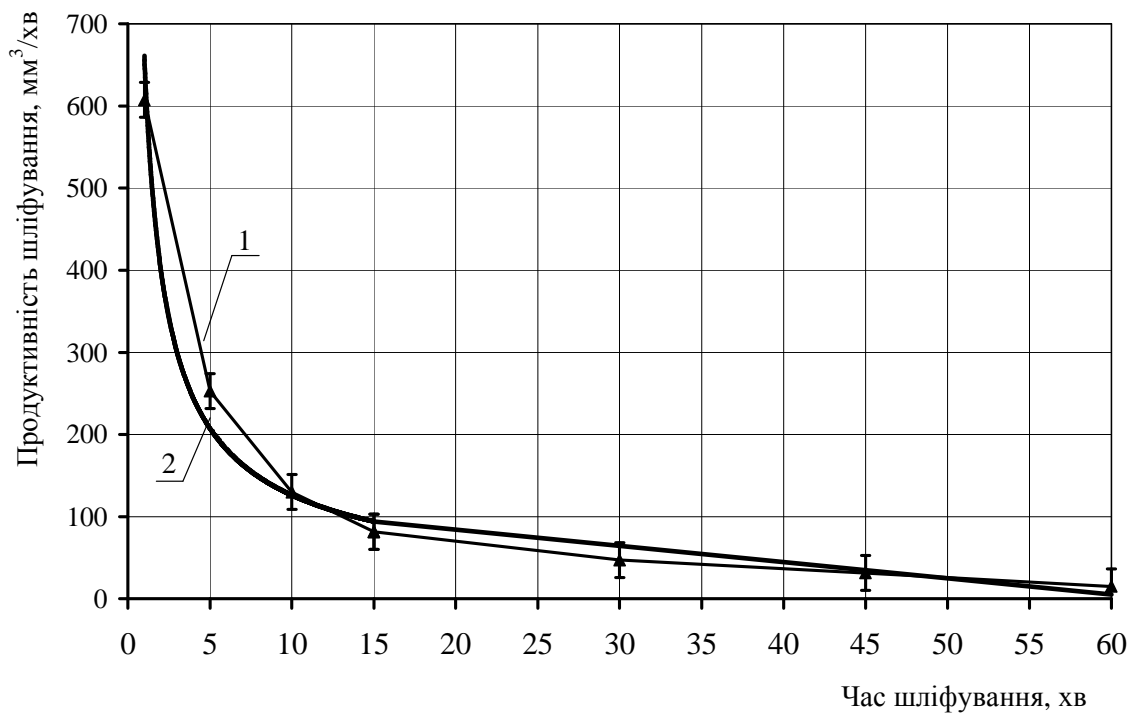
$$\begin{cases} V_M = 680,88 \cdot \tau^{-0,85}, & \text{при } 0 < \tau \leq 15 \text{ хв}; \\ V_M = -1,275 \cdot \tau + 88, & \text{при } 15 \leq \tau \leq 60 \text{ хв}; \end{cases} \quad (4)$$

- при шліфуванні з накладенням осьових вібрацій на заготовку:

$$\begin{cases} V_M = 661,15 \cdot \tau^{-0,72}, & \text{при } 0 < \tau \leq 15 \text{ хв}; \\ V_M = -1,98 \cdot \tau + 123,64, & \text{при } 15 \leq \tau \leq 60 \text{ хв}; \end{cases} \quad (5)$$



а

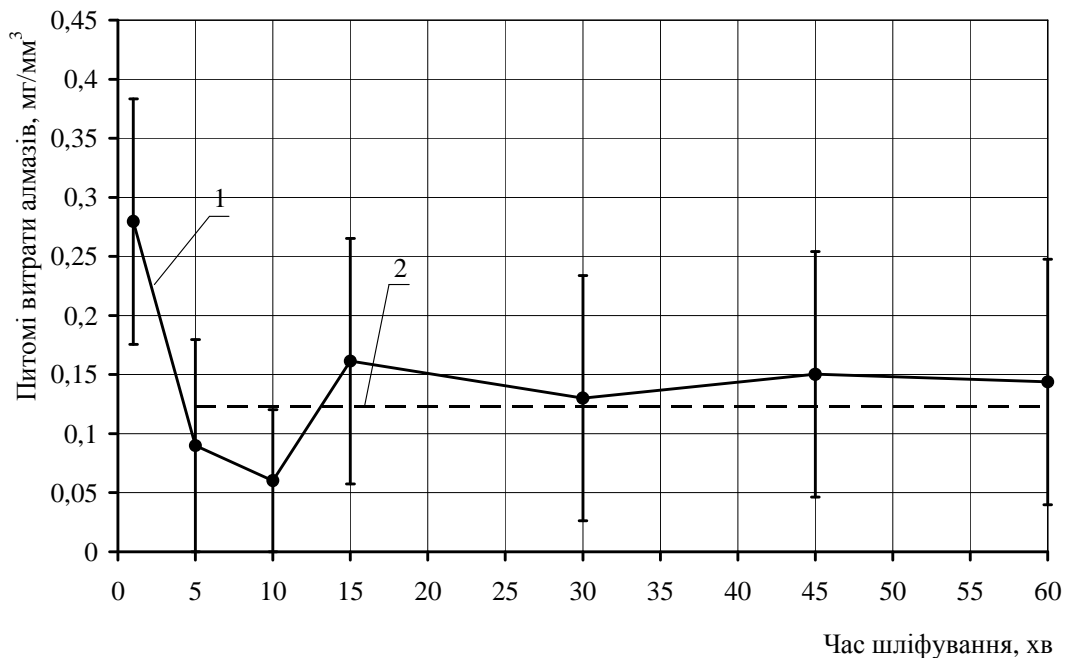


б

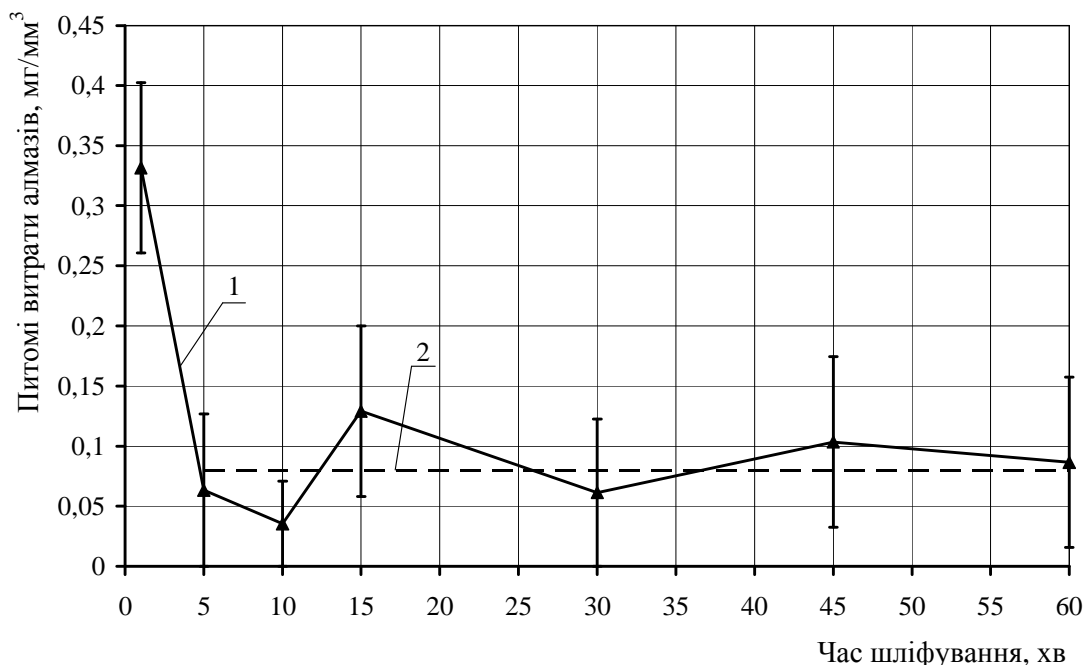
Рис. 3. Продуктивність багатопрхідного шліфування сталі Р6М5Ф3 за пружною схемою без вібрацій заготовки (а) та з накладенням вібрацій (б):  
 1 – за експериментальними даними;  
 2 – за рівнянням регресії

Проведені дослідження показали, що шліфування з накладенням осьових коливань забезпечує підвищення продуктивності оброблення порівняно з шліфуванням без коливань в період від 10 до 60 хвилин в середньому на 50 %. Враховуючи те, що під час

експерименту частота коливань дорівнювала 50 Гц,  $V_k = 35$  м/с,  $L = 1,58$  мм,  $K_{ef} = 1,13 \cdot 10^{-3}$  [7] підвищення продуктивності відбувається за рахунок видалення матеріалу зі збільшенням доли сегментоподібних зрізів та зміни характеру засалювання контактних площадок на зернах, а не за рахунок збільшення об'єму одиночного зрізу внаслідок збільшення дуги контакту.



а



б

Рис. 4. Питомі витрати алмазів при шліфуванні сталі Р6М5Ф3 за пружною схемою без вібрацій заготовки (а) та з накладенням вібрацій (б): 1 – за експериментальними даними; 2 – середня величина питомих витрат

При виконанні експерименту паралельно з вимірами кількості зшліфованого матеріалу проводилось вимірювання об'єму витраченого алмазовмісного шару за відомими методиками [6], за величиною якого розраховували питомі витрати алмазів (рис. 4 а, б).

Як видно з наведених графіків, питомі витрати алмазів можна оцінити їх середньою величиною, які для шліфування без вібрацій складають  $0,12 \text{ мг/мм}^3$ , при шліфуванні з вібраціями –  $0,08 \text{ мг/мм}^3$  і в подальшому будуть використовуватися для визначення собівартості шліфувальної операції.

### Висновки

1. Встановлено, що шліфування з накладенням осьових коливань забезпечує підвищення продуктивності оброблення порівняно зі шліфуванням без коливань в період 10 – 60 хвилин на 50 % за рахунок видалення матеріалу переважно сегментоподібними зрізами, а також меншою інтенсивністю засалювання контактних площадок на зернах.

2. В період 5–60 хвилин шліфування питомі витрати алмазів можна оцінити їх середньою величиною, яка для шліфування з вібраціями є меншою на 34 %.

**Список літератури:** 1. Работоспособность алмазных кругов/ М.Ф.Семко, М.Д.Узунян, Ю.А.Сизый, М.С.Пивоваров. – К.: Техніка, 1983. – 95 с. 2. Гринев А.А. Обоснование режимов алмазного шлифования ванадиевых быстрорежущих сталей с управлением параметрами рабочей поверхности круга в условиях большой площади контакта: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Донецк, 1995. – 209 с. 3. Патент России на изобретение С1 МКИ №2164852 В24В5/00, 7/00, 45/00. Устройство для абразивной обработки/ Степанов Ю.С., Афанасьев Б.И., Самойлов Н.Н., Жилин Г.П., Ушаков А.И. 4. Патент России на изобретение С1 МКИ №2188117 В24В45/00. Устройство для крепления шлифовального круга/ Степанов Ю.С., Афанасьев Б.И., Бородин В.В. 5. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник /Под. ред. А.Н.Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с. 6. Полтавец В.В. Обоснование режимов шлифования труднообрабатываемых материалов при электроэрозионном воздействии на рабочую поверхность круга: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Донецк, 2001. – 337 с. 7. Матюха П.Г., Габитов В.В., Полтавец В.В. Длина дуги контакта единичного зерна с заготовкой при плоском шлифовании с осевыми колебаниями круга/ Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 4 (124). – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – 128 с. 8. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1965. – 130 с.

### ВПЛИВ КОЛИВАНЬ ЗАГОТОВКИ ВЗДОВЖ ОСІ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ СТАЛІ Р6М5Ф3

Матюха П.Г., Габітов В.В.

Встановлено, що при алмазному шліфуванні сталі Р6М5Ф3 накладення коливань на заготовку вздовж осі шліфувального круга збільшує продуктивність обробки на 50 % та зменшує питомі витрати алмазів на 34 %. Зростання продуктивності обумовлено видаленням матеріалу переважно сегментоподібними зрізами, а також меншою інтенсивністю засалювання контактних площадок на зернах.

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЗАГОТОВКИ ВДОЛЬ ОСИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА  
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ СТАЛИ Р6М5Ф3

Матюха П.Г., Габитов В.В.

Установлено, что при алмазном шлифовании стали Р6М5Ф3 наложение колебаний на заготовку вдоль оси шлифовального круга увеличивает производительность обработки на 50 % и уменьшает удельный расход алмазов на 34 %. Увеличение производительности обусловлено удалением материала преимущественно сегментобразными срезами, а также меньшей интенсивностью засаливания контактных площадок на зернах.

INFLUENCE OF THE FLUCTUATIONS OF WORKPIECE ALONG AXIS  
OF GRINDING WHEEL ON THE CAPACITY OF MACHINING  
OF STEEL P5M5Ф3

Matjuha P.G., Gabitov V.V.

It is established that at diamond grinding of steel P6M5Ф3 fluctuations of workpiece along axis of grinding wheel increase the capacity of machining on 50 % and decrease specific expense of diamonds on 34 %. The extend of capacity is justify on the basis of material removal in the most by segment microchips and more smaller intensity of greasing of contact areas on grains.

*Рецензент: д.т.н., проф. Гусев В.В.*