

П. Г. Матюха, д-р техн. наук, А. В. Бурдин, Донецк, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИМИТИРОВАННОЙ СИЛЫ ПОДЖИМА КОМБИНИРОВАННОГО ОБРАЗЦА К РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА ПРИ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ

В статті запропоновано метод аналітичного розрахунку лімітованої сили підтиску комбінованого зразка «сталь – твердий сплав» до різучої поверхні круга при плоскому врзному шліфуванні за пружною схемою.

В статье предложен метод аналитического расчета лимитирующей силы поджима комбинированного образца «сталь – твердый сплав» к рабочей поверхности круга при плоском врезном шлифовании по упругой схеме.

P. G. MATYUHA, A. V. BURDIN

DEFINITION OF LIMITED HOLD-DOWN PRESSURE OF THE COMBINED SAMPLE TO THE CUTTING SURFACE OF THE WHEEL AT INFEED GRINDING UNDER THE ELASTIC SCHEME

In article the method of analytical calculation of limiting radial force the complex workpiece «steel – hardmettal» to working surface of the circle is offered at flat infeed mode grinding under the elastic scheme.

При плоском врезном шлифовании по упругой схеме к режимам обработки, влияющим на выходные показатели процесса, относятся: отношение скорости круга к скорости комбинированного образца, а также сила поджима образца к рабочей поверхности круга (РПК). Отношение скоростей круга и образца с учетом геометрических параметров поверхности РПК определяет параметры шероховатости обработанной поверхности, а сила поджима образца к РПК – условия работы круга и физико-механические свойства обработанной поверхности. В связи с этим, значение силы поджима образца к РПК может быть ограничено температурой окисления алмазов, механической прочностью алмазных зерен и температурой обработанной поверхности.

Как показал анализ литературы, сила поджима образца к РПК назначается на основе априорной информации [1, 2], а сведения об аналитическом определении силы поджима комбинированных образцов к РПК в литературе отсутствуют.

Цель работы: разработка методики аналитического расчета лимитированной силы поджима комбинированного образца «конструкционная сталь – твердый сплав» к РПК при плоском врезном шлифовании по упругой схеме.

Лимитированной силой поджима образца к РПК является сила поджима, удовлетворяющая технологическим ограничениям по температуре окисления алмазов, механической прочности алмазных зерен и температуре на обработанной поверхности.

При врезном шлифовании по упругой схеме комбинированного образца «конструкционная сталь – твердый сплав» (рис.), соединенных припоем, значение ограничивающих сил поджима к РПК определяется по зависимостям

$$P_{n\text{ок}} = P_{y\text{тс ок}} + P_{y\text{ст}}, \quad (1)$$

$$P_{n\text{мл}} = P_{y\text{тс мл}} + P_{y\text{ст}}, \quad (2)$$

$$P_{n\text{пл}} = P_{y\text{тс пл}} + P_{y\text{ст}}, \quad (3)$$

где $P_{y\text{тс ок}}$, $P_{y\text{тс мл}}$, $P_{y\text{тс пл}}$ – соответственно, предельные радиальные силы резания на твердом сплаве, ограниченные температурой окисления алмазов, механической прочностью алмазных зерен, температурой плавления припоя, Н; $P_{y\text{ст}}$ – радиальная сила резания, возникающая при шлифовании стальной части образца на одинаковых с твердым сплавом режимах, Н.

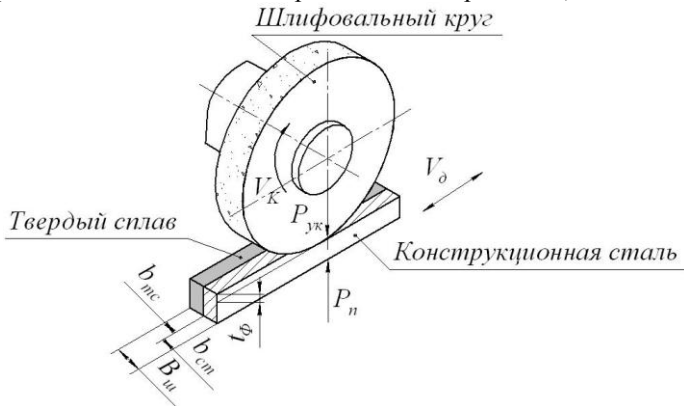


Рисунок – Схема плоского шлифования комбинированного образца

Аналитический расчет силы поджима образца к РПК, ограниченной температурой окисления алмазов, выполним по ранее полученным нами формулам, с учетом того, что ограничивающая радиальная сила резания возникает на твердосплавной компоненте комбинированного образца. Радиальная составляющая силы резания на твердосплавной части образца, ограниченная температурой окисления алмазов, определяется по формуле [3]

$$P_{y\text{тс ок}} = \frac{1}{k_{ш}} \left(\frac{[T_{ок} - 293] (\lambda_1 + 2,25\lambda_{тс} A^* \sqrt{F_0}) \pi z_p d^2}{4,52 A^* \delta \sqrt{\omega_1 V_k L}} \right), \quad (4)$$

где $k_{ш}$ – коэффициент шлифования твердого сплава алмазным кругом; $T_{ок}$ – температура окисления алмазного зерна, °К; L – длина дуги контакта зерна с обрабатываемой поверхностью, мм; V_k – скорость круга, м/с; d – диаметр основания цилиндрической модели зерна, мм; $\lambda_{ка}$ – коэффициент теплопроводности алмаза, Вт/(м·°С); $\lambda_{тс}$ – коэффициент теплопроводности твердого сплава.

ва, Вт/м·град; ω_a – коэффициент температуропроводности алмаза, м²/с; δ – коэффициент неравномерности нагрузки на зерне; $z_{p\ mc}$ – количество режущих зерен на площадке контакта круга с твердосплавной частью образца, шт; F_0 – безразмерное время контакта зерна с кругом, представленное с помощью критерия Фурье; A^* – безразмерная функция температуры на алмазе.

Длина дуги контакта шлифовального круга с образцом равна

$$L = \sqrt{D_k t_\phi},$$

где D_k – диаметр шлифовального круга, мм; t_ϕ – глубина шлифования, мм.

Диаметр цилиндрической модели зерна определяется через диаметр шаровой модели, по условию равенства объёмов цилиндрической и шаровой моделей зерна [3], мкм,

$$d = \sqrt[3]{\frac{2}{3}} d_{cp}.$$

Диаметр шаровой модели зерна d_{cp} , мкм, [4]

$$d_{cp} = \frac{6090}{\sqrt[3]{N_z}},$$

где N_z – среднее количество зерен в одном карате, шт.

Количество одновременно работающих зерен $z_{p\ mc}$, на твердосплавной части образца, шт,

$$z_{p\ mc} = \frac{L b_{mc}}{S_{zn}^2} F(a_z),$$

где b_{TC} – ширина шлифования твердого сплава, мм.

Расстояние между зёрнами на поверхности круга, мм,

$$S_{zn} = S_{zp} K_1.$$

Расстояние между зёрнами в сечении алмазоносного слоя плоскостью, мм,

$$S_{zp} = \frac{10}{\sqrt[3]{\frac{4,4KN_z}{100}}},$$

где K – относительная концентрация алмазов в алмазоносном слое, %; K_1 – коэффициент, учитывающий критическую величину закрепления зерна в связке алмазоносного слоя.

Вероятность попадания вершины зерна в интервал, равный толщине среза, определяется значением функции распределения Вейбулла, описывающей разновысотность вершин зерен.

$$F(a_z) = 1 - \exp\left(-\frac{a_z^m}{X_0}\right),$$

где X_0 , m – параметры распределения Вейбулла.

Толщина единичного среза a_z , мкм,

$$a_z = a_{z \max} + R_z k_{cp},$$

где R_z – параметр шероховатости на поверхности резания, мкм; k_{cp} – коэффициент, учитывающий влияние марки твердого сплава на параметр шероховатости поверхности резания при обработке твердого сплава [3].

Максимальная толщина среза $a_{z \max}$, мкм,

$$a_{z \max} = R_\kappa - \sqrt{\left(\frac{V_\delta l_{\phiок}}{60V_\kappa}\right)^2 + R_\kappa^2 - 2 \frac{V_\delta l_{\phiок} R_\kappa}{60V_\kappa} \sqrt{2 \frac{t_\phi 10^{-3}}{R_\kappa}}},$$

где $l_{\phiок}$ – фактическое окружное расстояние между двумя контактирующими зернами, мм; R_κ – радиус шлифовального круга, мм; V_δ – скорость детали, м/мин.

Фактическое окружное расстояние между контактирующими зернами определяется по формуле

$$l_{\phiок} = S_{зр} K_1 K_c K_\delta.$$

Значение коэффициента K_c , учитывающего разновысотное положение зерен определяется через вероятность попадания вершин зерен в интервал равный глубине шлифования, выраженной значением функции распределения Вейбулла

$$K_c = \frac{1}{\sqrt{F(t_\phi)}},$$

$$F(t_\phi) = 1 - \exp\left(-\frac{t_\phi^m}{X_0}\right),$$

где X_0 , m – параметры разновысотности вершин зерен, описываемых распределением Вейбулла.

Кинематический коэффициент K_δ , учитывающий влияние режимов шлифования на окружное расстояние между зёрнами

$$K_\delta = \alpha_\delta + \beta_\delta \frac{60V_\kappa}{V_\delta},$$

где α_δ , β_δ – параметры уравнения регрессии.

Величина A^* определяется по формуле, [3]

$$A^* = A_1 - \frac{8\lambda_\kappa F_0}{\ln \frac{4h}{d} \lambda_1 + 8\lambda_\kappa F_0} A_{cp}. \quad (5)$$

Здесь: A_1 – безразмерная функция учитывающая температуру рабочего торца зерна; A_{cp} – безразмерная функция, учитывающая среднюю температуру рабочего и не рабочего торца зерна; h – высота цилиндрической модели

зерна ($d=h$), мм; λ_{κ} – коэффициентом теплопроводности алмазосносного слоя шлифовального круга, Вт/(м·°К);

Коэффициент теплопроводности алмазосносного слоя шлифовального круга, Вт/(м·°К), рассчитывается по формуле

$$\lambda_{\kappa} = \lambda_{\kappa a}^{0,01 Y_a} \cdot \lambda_{\kappa o}^{0,01 Y_o} \cdot \lambda_{\kappa m}^{0,01 Y_m},$$

где Y_a, Y_o, Y_m – процентное содержание алмаза, олова, меди в алмазосносном слое; $\lambda_{\kappa a}, \lambda_{\kappa o}, \lambda_{\kappa m}$ – коэффициенты теплопроводности алмаза, олова и меди.

Безразмерное время шлифования определим следующим образом, [3]

$$F_0 = \frac{\omega_1 L}{V_{\kappa} d^2}.$$

При $F_0 > 10$

$$A_1 = 0,977 + 0,718 F_0^{0,602},$$

$$A_{cp} = 1,041 F_0^{0,5}.$$

При $F_0 \leq 10$

$$A_1 = 1,033 + 0,576 F_0^{0,719},$$

$$A_{cp} = 1,075 F_0^{0,502}.$$

Радиальную силу резания при шлифовании твердого сплава, ограниченную механической прочностью алмазных зерен, определим по зависимости

$$P_{ytc.m} = \frac{z_{разр} P_{\kappa}}{\sqrt{1 + k_{ш}^2}}, \quad (6)$$

где $z_{разр}$ – количество зерен, находящихся в слое РПК, когда наиболее вероятна их поломка, шт; P_p – разрушающая сила на единичном зерне, рассматриваемой зернистости, Н.

Количество зерен, которые разрушатся при шлифовании на заданных режимах, определится по формуле

$$z_{разр} = \frac{L b_{mc}}{S_{3n}^2} \cdot \left[F\left(a_{zmax} + \frac{R_z}{2}\right) - F\left(a_{znp}\right) \right], \quad (7)$$

где $F(a_{zmax} + R_z/2)$ – значение вероятности попадания вершин зерен в интервал равный толщины среза ($a_{zmax} + R_z/2$); $F(a_{znp})$ – значение вероятности попадания вершин зерен в интервал a_{znp} , при которой разрушение не происходит.

Предельную радиальную силу резания на твердом сплаве, ограниченную температурой плавления припоя, определим с учетом того, что температура на поверхности твердосплавной части образца равна температуре на поверхности припоя, а поверхности соприкосновения компонентов образца являются адиабатическими, что вносит погрешность не более 0,06 % [5],

$$P_{y_{mc\ nл}} = \frac{[T_{nл} - 293] \lambda_{mc} V_{\delta} L b_{mc} \sqrt{\pi} 10^{-6}}{4 a_{mc} 60 V_{\kappa} \sqrt{H_{mc}} \alpha_{\theta mc} k_{и mc}}, \quad (8)$$

где $T_{nл}$ – допустимая температура на поверхности твердосплавной части образца, равная температуре плавления припоя, °K; H_{mc} – безразмерная полуширина источника тепла; a_{mc} – коэффициент температуропроводности твердого сплава, м²/с; $\alpha_{\theta mc}$ – безразмерный коэффициент ввода тепла в образец.

Коэффициент ввода теплоты в твердосплавную часть образца $\alpha_{\theta mc}$

$$\alpha_{\theta mc} = \frac{1}{\left(1,25 \frac{\lambda_{\kappa}}{\lambda_{mc}} \sqrt{\frac{a_{mc}}{21 \cdot 10^{-6} V_{\kappa}}} \right) + 1}.$$

Расчет составляющих силы резания при плоском врезном шлифовании стальной части комбинированного образца периферией круга на одинаковых с твердым сплавом режимах, выполним по методике, изложенной в работе [4].

При этом, тангенциальная составляющая силы резания на круге определяется по формуле

$$P_{z\kappa} = \frac{\left(\frac{\sqrt{1+M^2} a_z \cos \omega}{\sin \beta} + \kappa_3 M \mu l_3 \right) b_{cm} z_{p\ cm} C}{1 + \left(\frac{\sqrt{1+M^2} a_z \cos \omega}{\sin \beta} + \kappa_3 M \mu l_3 \right) b_{cm} z_{p\ cm} \frac{4 a_{cm} \alpha_{V\kappa} \sqrt{H_{cm}} \alpha_{\theta cm}}{\sqrt{\pi} \lambda_{cm} V_{\delta} S_{cm}}}, \quad (9)$$

а радиальная составляющая – по формуле

$$P_{y_{cm}} = \left(\frac{\sqrt{1+M^2} a_z \sin \omega}{\sin \beta} + \kappa_3 M l_3 \right) b_{cm} z_{p\ cm} \left(C - \frac{4 a_{cm} \alpha_{V\kappa} \sqrt{H_{cm}} \alpha_{\theta cm}}{\sqrt{\pi} \lambda_{cm} V_{\delta} S_{cm}} P_{z\kappa} \right). \quad (10)$$

Здесь M – соотношение нормальных и касательных напряжений вдоль условной плоскости сдвига; β – угол сдвига, рад; a_z – толщина единичного среза, мкм; ω – угол действия, рад; C , α – коэффициенты модификации Мак-Грегора-Фишера; κ_3 – коэффициент контактирования задней поверхности зерна по поверхности заготовки; μ – коэффициент трения между зерном и заготовкой (алмаз по стали); b_{cm} – ширина шлифования стальной части образца, мм; λ_{cm} – коэффициент теплопроводности стали, Вт/м·град; l_3 – величина контактной площадки на зерне, мкм; $z_{p\ cm}$ – количество одновременно работающих, на стальной части образца, зерен, шт; S_{cm} – площадь зоны контакта стальной части образца с кругом, мм²; H_{cm} – безразмерная полуширина источника тепла; a_{cm} – коэффициент температуропроводности стали, м²/с; $\alpha_{\theta cm}$ – безразмерный коэффициент ввода теплоты в стальную часть образца.

Расчет величин, входящих в формулы (9, 10) выполняются по следующим зависимостям [4]:

– соотношение нормальных и касательных напряжений вдоль условной плоскости сдвига M

$$M = 1 + 2 \left(\frac{\pi}{4} - \beta \right);$$

– угол сдвига β , рад

$$\beta = \arctg \left(\frac{\cos \gamma}{K_L - \sin \gamma} \right),$$

где K_L – коэффициент усадки стружки;

– передний угол зерна, рад

$$\gamma = -\arcsin \left(1 - \frac{2a_z}{d_{cp}} \right);$$

– толщина единичного среза a_z , мкм,

$$a_z = a_{z \max} + \frac{R_z}{2},$$

где R_z – параметр шероховатости на поверхности резания, мкм;

составляющие формулы (10) находятся по ранее приведенным зависимостям,

– количество одновременно работающих зерен $z_{p \text{ см}}$ на стальной части образца, шт,

$$z_{p \text{ см}} = \frac{L \cdot b_{cm} \cdot K_k}{S_{3n}^2} \cdot F(t_\phi);$$

– угол действия ω , рад,

$$\omega = \arctg M - \beta;$$

– площадь зоны контакта стальной части образца с кругом S , мм², с учетом размерности в системе СИ

$$S_{cm} = b_{cm} \sqrt{D_k t_\phi} 10^{-3};$$

– величина контактной площадки на зерне l_3 , мкм

$$l_3 = 0,22 d_{cp} T^{0,047},$$

где T – время шлифования после правки круга, мин;

– ширина единичных срезов, мм,

$$S_x = \frac{S_{3n}^2}{l_\phi F(t_\phi) K_k};$$

– безразмерная полуширина источника тепла H_{cm} на стальной части образца

$$H_{cm} = \frac{0,5 V_\delta L}{60 \cdot 1000 \cdot 2 a_{cm}};$$

– коэффициент ввода теплоты в стальную часть образца $\alpha_{в ст}$

$$\alpha_{в ст} = \frac{1}{\left(1,25 \frac{\lambda_{к}}{\lambda_{ст}} \sqrt{\frac{a_{ст}}{21 \cdot 10^{-6} V_{к}}}\right) + 1}$$

Рассчитаем лимитированную силу поджима комбинированного образца «сталь 45 – ВК8» к РПК при плоском врезном шлифовании кругом 1А1 250x76x15x5 АС6 100/80-4 М2-01, воспользовавшись формулам (1) – (10) и исходными данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для определения технологической силы поджима комбинированного образца к РПК.

Наименование параметра	Числовое значение
l	2
$b_{СТ}$ – Ширина стальной части комбинированного образца, мм.	7
$b_{ТС}$ – Ширина твердосплавной части образца, мм.	7
$D_{к}$ – Диаметр круга, мм.	250
$V_{к}$ – Скорость круга, м/с.	35
V_{θ} – Скорость стола, м/мин.	6
$t_{ф}$ – Глубина резания, мм.	0,015
T – Время шлифования, мин.	1
K – Относительная концентрация алмазов, %.	100
Параметры распределения разноразмерности*, сформированные после электроэрозионной правки и описываемые законом Вейбулла: m / X_0 .	1,69 / 262
Параметры уравнения регрессии для расчета K_{θ} : $\alpha_{\theta} / \beta_{\theta}$	14,32 / 0,112
N_z – Число зерен в одном карате, шт.	100000
$K_{к}$ – Коэффициент контактирования, учитывающий длительность шлифования.	0,44
K_l – Коэффициент для расчета расстояния между зернами на РПК.	2,46
$\alpha_{СТ}$ – Коэффициент температуропроводности стали 45, м/с.	$0,08 \cdot 10^{-4}$
$\lambda_{СТ}$ – Коэффициент теплопроводности стали 45, Вт/м·град.	40,2
$\alpha_{ТС}$ – коэффициент температуропроводности твердого сплава ВК8, м ² /с.	$0,246 \cdot 10^{-4}$
$\lambda_{ТС}$ – коэффициент теплопроводности твердого сплава ВК8, Вт/м·град	54,4
ω_a – Коэффициент температуропроводности алмаза, м ² /с.	$0,83 \cdot 10^{-4}$
$\lambda_{ка}$ – Коэффициент теплопроводности алмаза, Вт/м·град.	520
$\lambda_{км}$ – коэффициент теплопроводности меди, Вт/м·град.	361
$\lambda_{ко}$ – коэффициент теплопроводности олова, Вт/м·град.	67
Y_m – Объемная доля меди, %.	57,7
Y_o – Объемная доля олова, %.	17,3

<i>I</i>	2
Y_a – Содержание алмазов в, %.	25
δ – Коэффициент неравномерности нагрузки на зерне.	1,5
k_{cp} – коэффициент, учитывающий влияние марки твердого сплава на параметр шероховатости.	0,94 [3]
k_z – Коэффициент, учитывающий закон распределения нормальных напряжений на площадке износа.	1
K_L – Коэффициент усадки стружки при шлифовании стали.	1,35
Параметры для определения величины касательных напряжений стали 45, C (Па) и α (Па/°К).	$C=380 \cdot 10^6$ $\alpha=54 \cdot 10^3$
μ – Коэффициент трения (алмаз по стали).	0,2
$T_{ок}$ – температура начала окисления алмазов марки АС6, °К	823 [3]
$T_{пл}$ – температура начала плавления припоя марки Л63 [6], °К	1173
$k_{ш}$ – коэффициент шлифования для твердого сплава ВК8	0,35 [3]
P_p – Разрушающая нагрузка для зерна, зернистости 100/80, Н	31,9
$a_{зш}$ – Предельная толщина среза для зернистости 100/80, мкм.	0,462

* Примечание: влияние времени обработки на параметры распределения разновысотности и длину контактных площадок в процессе шлифования для обоих компонентов, определяются по зависимостям, найденным для шлифования твердого сплава ВК8, как имеющей большую твердость по сравнению со сталью 45.

Для определения лимитированной силы поджима комбинированного образца к РПК по формулам (1) – (10) была составлена программа на ПЭВМ в среде Mathcad. Результаты расчета радиальных сил резания компонент комбинированного образца при различных ограничивающих факторах, приведены в табл.2.

Таблица 2 – Радиальные силы резания на компонентах образца и сила поджима комбинированного образца «конструкционная сталь – твердый сплав» к РПК ($V_k=35$ м/с, $V_d=6$ м/мин, $t_{\phi}=0,015$ мм, 1А1 250x76x15x5 АС6 100/80-М2-01, 1-я минута шлифования) для различных технологических ограничений.

Технологическое ограничение	Радиальная сила резания при шлифовании твердосплавной части $P_{y_{мс}}$, Н	Радиальная сила резания при шлифовании стальной части $P_{y_{см}}$, Н	Сила поджима образца к РПК P_n , Н
Температура окисления алмазов	41,6	22,8	64,4
Механическая прочность алмазных зерен	239		261,8
Температура плавления припоя	108,8		131,6

Как видно из таблицы, сила поджима комбинированного образца к РПК, удовлетворяющая всем технологическим ограничениям, является сила поджима, ограниченная температурой окисления алмазных зерен на РПК, которая и является лимитированной.

Выводы

1. Разработана методика аналитического расчета лимитированной силы поджима комбинированного образца к РПК.

2. При шлифовании комбинированного образца «конструкционная сталь – твердый сплав» кругом 1А1 250x76x15x5 АС6 100/80-4 М2-01 на приведенных выше режимах, лимитированная сила поджима образца к РПК равна 64,4 Н и ограничена температурой окисления алмаза.

Список литературы: 1.М.Ф.Семко, М.Д.Узунян, и др. Работоспособность алмазных кругов. – К.: Техника, 1983 – 95с. 2.М.Д.Узунян Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов. – Харьков: НТУ «ХП» 2003. – 359с. 3.П.Г.Матюха Определение силы поджима образца к кругу, ограниченной температурой графитизации алмазных зерен / П.Г.Матюха, В.Б.Стрелков // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 71. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – с.41–46. 4.П.Г.Матюха Вископродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – 222 с. 5.П.Г. Матюха. Определение усилия поджима комбинированного образца „конструкционная сталь – твердый сплав” к рабочей по-верхности круга при шлифовании по упругой схеме / П.Г.Матюха, В.В.Габитов, и др // Надежность инструмента и оп-тимизация технологических сис-тем. Сборник научных трудов: Краматорск, вып. №21, 2007.- с. 52-56. 6. Справочник паяльщика / В.Е.Хряпин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981 – 348 с.

Поступила в редколлегию 16.05.2011

Bibliography (transliterated): 1.M.F.Semko, M.D.Uzunjan, i dr. Rabotosposobnost' almaznyh krugov. – K.: Tehnika, 1983 – 95s. 2.M.D.Uzunjan Almazno-iskrovoe shlifovanie tverdyh splavov. – Harkiv: NTU «HP» 2003. – 359s. 3.P.G.Matjuha Opredelenie sily podzhima obrazca k krugu, ogranichennoj temperaturoj grafitizacii almaznyh zeren / P.G.Matjuha, V.B.Strelkov // Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu. Serija: Mashinobuduvannja i mashinoznavstvo. Vip. 71. – Donec'k: DonNTU, 2004. – s.41–46. 4.P.G.Matjuha Visikoproduktivne shlifuvannja vanadiєvih shtampovih ta instrumental'nih stalej. – Donec'k: DVNZ «DonNTU», 2008. – 222 s. 5.P.G Matjuha. Opredelenie usilija podzhima kombinirovannogo obrazca „konstrukcionnaja stal' – tverdyj splav” k raboczej po-verhnosti kruga pri shlifovanii po uprugoj sheme / P.G.Matjuha, V.V.Gabitov, i dr // Nadezhnost' instrumenta i op-timizacija tehnologicheskikh sis-tem. Sbornik nauchnyh trudov: Kramatorsk, vyp. №21, 2007.- s. 52-56. 6. Spravochnik pajal'wika / V.E.Hrjapin. – 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroe-nie, 1981 – 348 s.