

УДК 621.923

Бурдин А.В., Матюха П.Г.  
ДонНТУ, г.Донецк, Україна

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПОДЖИМА ОБРАЗЦА К РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА, ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ СТАЛЕЙ ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ

### *Введение*

Плоское врезное шлифование нашло широкое применение на операциях затачивания плоских ножей оборудования легкой промышленности [1, 2, 3]. Наибольшее распространение получили ножи с корпусом из конструкционных сталей (сталь 10, сталь 20, сталь 45), а режущая часть из легированных сталей марок 9ХФ, 65Г, 60С2 или быстрорежущей стали Р6М5, отличающихся физико-механическими свойствами, что необходимо учитывать при назначении режимов шлифования. Сведения о режимах затачивания рабочей части ножей из указанных марок в литературе отсутствуют. В работе [4] предложена методика определения режимов шлифования с использованием обобщенных параметров обработки, одним из которых является сила упругого поджима заготовки к режущей поверхности круга (РПК), позволяющая стабилизировать показатели качества обработанной поверхности.

### *Цель работы*

Целью работы является определение силы поджима образцов из сталей Р6М5, 60С2 к РПК, ограниченной температурой фазово-структурных превращений в поверхностном слое образцов.

### *Основная часть*

При плоском врезном шлифовании в зоне резания образуется тепловой источник, поток от которого распределяется между заготовкой, инструментом и стружкой. Поток, направленный в поверхность образца, может вызвать фазово-структурные превращения в его поверхностном слое. Для предотвращения этого используют упругую схему шлифования (рис.1), при которой величину силы поджима образца к РПК рассчитывают исходя из отсутствия фазово-структурных превращений в поверхностном слое.

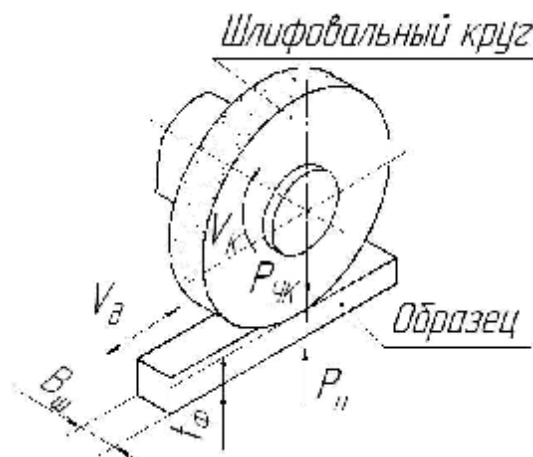


Рис. 1. – Схема плоского врезного шлифования по упругой схеме.

Определение силы поджима образца к РПК, ограниченной температурой начала фазово-структурных превращений в поверхностном слое при шлифовании по упругой схеме решим в следующем порядке.

Сила поджима образца к РПК равна радиальной силе резания, возникающей при шлифовании на заданных режимах и может быть определена по следующей формуле [5]

$$P_n = P_{ук} = \left( \frac{\sqrt{1 + M^2} a_z \sin \omega}{\sin \beta} + \kappa_3 M l_3 \right) S_x z_p \left( C - \frac{4a\alpha V_\kappa \sqrt{H} \alpha_\epsilon}{\sqrt{\pi} \lambda V_\delta S} P_{зк} \right). \quad (1)$$

Здесь  $M$  – соотношение нормальных и касательных напряжений вдоль условной плоскости сдвига;  $\beta$  – угол сдвига, рад;  $a_z$  – толщина единичного среза, мкм;  $\omega$  – угол действия, рад;  $C$ ,  $\alpha$  – коэффициенты модификации МакГрегора-Фишера;  $\kappa_3$  – коэффициент контактирования задней поверхности зерна по поверхности заготовки;  $\mu$  – коэффициент трения между зерном и заготовкой;  $S_x$  – ширина среза единичным зерном, мм;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·град;  $l_3$  – величина контактной площадки на зерне, мкм;  $z_p$  – количество одновременно работающих зерен, шт;  $S$  – площадь зоны контакта заготовки с кругом, мм<sup>2</sup>;  $V_\delta$  – скорость детали, м/с;  $V_\kappa$  – скорость круга, м/с;  $H$  – безразмерная полуширина источника тепла;  $a$  – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, м<sup>2</sup>/с;  $\alpha_\epsilon$  – коэффициент ввода теплоты в заготовку;  $P_{зк}$  – тангенциальная составляющая силы резания, Н.

Уравнение (1) предложено для расчета составляющих силы резания в зависимости от режимов шлифования и параметров РПК. Вторая скобка этого уравнения описывает величину напряжений сдвига с помощью модификации МакГрегора-Фишера. Причем, выражение

$$\frac{4aV_\kappa \sqrt{H} \alpha_\epsilon}{\sqrt{\pi} \lambda V_\delta S} P_{зк}$$

представляет собой формулу, описывающую максимальную температуру на обработанной поверхности, обусловленную заданными режимами обработки. После подстановки значения плотности теплового потока [6], а также задавшись значением максимальной температуры обработанной поверхности, исходя из отсутствия фазово-структурных превращений, определим допустимое значение силы поджима образца к РПК.

Учитывая, что максимальная температура обработанной поверхности образца находится по формуле [6]

$$T_{\max} = \frac{2qa}{\pi \lambda V_\delta} \sqrt{2\pi \cdot 2H}, \quad (2)$$

где  $q$  – плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>, а плотность теплового потока [6] –

$$q = \frac{\alpha_B P_{зк} V_\kappa}{S}, \quad (3)$$

где  $S$  – площадь поверхности контакта образца с РПК, мм<sup>2</sup>, после подстановки (3) в (2), получим

$$T_{\max} = \frac{2a}{\pi \lambda V_\delta} \sqrt{2\pi \cdot 2H} \cdot \frac{\alpha_B P_{зк} V_\kappa}{S}. \quad (4)$$

Задаввшись температурой  $T_{\max}$  равной температуре начала фазово-структурных превращений, что соответствует температуре точки АСЗ, т.е.  $T_{\max} = T_{АСЗ}$ , после решения (4) относительно  $P_{зк}$ , найдем допустимое значение тангенциальной составляющей [ $P_{зк}$ ] силы резания

$$[P_{zk}] = \frac{T_{AC3} \lambda V_d S \sqrt{\pi}}{4aV_{\kappa} \sqrt{H\alpha_g}}. \quad (5)$$

После подстановки (5) в (1) формула для определения допустимой силы поджима образца к РПК примет вид

$$[P_n] = \left( \frac{\sqrt{1 + M^2} a_z \sin \omega}{\sin \beta} + \kappa_3 M l_3 \right) S_x z_p (C - \alpha \cdot T_{AC3}). \quad (6)$$

Расчет величин, входящих в формулу (6), выполним по следующим зависимостям [5].

Соотношение нормальных и касательных напряжений вдоль условной плоскости сдвига  $M$

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

Угол сдвига  $\beta$ , рад,

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

где  $K_L$  – коэффициент усадки стружки.

Форму зерна математической модели РПК примем в виде призмы, а передний угол, рад, определим по формуле

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

где  $d_{cp}$  – диаметр шаровой модели зерна в матрице алмазонасного слоя, мкм.

Толщина единичного среза  $a_z$ , мкм,

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

где  $R_z$  – параметр шероховатости на поверхности резания, мкм.

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

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

где  $R_{\kappa}$  – радиус шлифовального круга, мм;  $t_{\phi}$  – фактическая глубина резания, мкм; расстояние между двумя контактирующими зёрнами  $l_{\phi}$ , мм.

Расстояние между контактирующими зёрнами определяется по формуле

$$l_{\phi} = S_{zp} K_l K_c K_d.$$

Здесь  $K_l = 2,46$  – коэффициент, учитывающий влияние критической величины закрепления зерна в связке алмазонасного слоя на расстояние между зёрнами на РПК. Значение коэффициента  $K_c$ , учитывающего разновысотное положение зёрен определяется по следующей формуле

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

Значение функции распределения Вейбулла

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

где  $X_0$ ,  $m$  – параметры распределения Вейбулла.

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

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

где  $\alpha_{\delta}, \beta_{\delta}$  – параметры регрессии.

Расстояние между зернами в сечении алмазоносного слоя плоскостью, мм,

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

где  $K$  – относительная концентрация алмазов, %.

Расстояние между зернами на поверхности круга, мм,

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

Диаметр шаровой модели зерна  $d_{cp}$ , мкм [7]

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

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

Количество одновременно работающих зерен  $z_p$ , шт,

$$z_p = \frac{LbK_{\kappa}}{S_{zn}^2} F(t_{\phi}),$$

где  $b$  – ширина шлифования, мм;  $K_{\kappa}$  – коэффициент контактирования, учитывающий влияние режимов шлифования на количество работающих зерен;  $L$  – длина дуги контакта образца со шлифовальным кругом, мм.

Длина дуги контакта образца со шлифовальным кругом  $L$ , мм, определим по формуле

$$L = \sqrt{2R_{\kappa}t_{\phi}} 10^{-3},$$

угол действия  $\omega$ , рад, -

$$\omega = \arctg(M) - \beta.$$

Площадь зоны контакта заготовки с кругом  $S$ , мм<sup>2</sup>,

$$S = b\sqrt{2R_{\kappa}t_{\phi}} 10^{-3}.$$

Величина контактной площадки на зерне  $l_3$ , мкм,

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

где  $T$  – время шлифования после правки круга, мин.

Ширина единичных срезов, мм, определяется по формуле

$$S_x = \frac{S_{zn}^2}{l_{\phi} F(t_{\phi}) K_{\kappa}}, \text{ если } S_x < b_c,$$

$$\text{иначе } S_x = b_c.$$

В приведенных формулах  $b_c$  – ширина единичного среза, определяемая по ширине модели зерна в виде конуса с округленной вершиной, по известным зависимостям [8].

$$b_c = 2 \cdot \left( \sqrt{2\rho a_z^2 - a_z^2} + (t_{\phi} - a_z) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right),$$

если  $t_{\phi} \geq \rho(1 - \sin \frac{\varepsilon}{2})$ .

Если неравенство не выполняется, то

$$b_c = 2 \cdot \left( \sqrt{2 \cdot \rho \cdot t_{\phi} - t_{\phi}^2} \right).$$

**Основные результаты и выводы**

Для расчета сил поджима образцов из быстрорежущей и легированной сталей к РПК, исключаяющей фазово-структурных превращений в поверхностном слое по вышеизложенной методике разработана программа на ПЭВМ в среде MathCad. Исходные данные для расчета приведены в табл.1.

Расчет сил поджима образцов к РПК выполним на 1 мм ширины образцов, что в дальнейшем позволит определить силу поджима для любой ширины образца. Результаты расчета сил поджима образцов к РПК на 1 мм ширины образцов приведены в табл.2

Таблица 1

Исходные данные для расчета сил поджима образцов из сталей Р6М5, 60С2 к РПК, ограниченных температурой фазово-структурных превращений при шлифовании кругом 1А1 250x76x15x5 АС6 100/80-4 М2-01.

Наименование параметра	Марки сталей	
	Р6М5	60С2
1	2	3
$b$ – Ширина шлифования, мм.	1	
$R_k$ – Радиус круга, мм.	125	
$V_k$ – Скорость круга, м/с.	35	
$V_d$ – Скорость детали, м/с.	0,1	
$t_{\phi}$ – Глубина резания, мкм.	15	
$T$ – Время шлифования, мин.	1	
$K$ – Относительная концентрация алмазов в алмазоносном слое круга, %.	100	
Параметры распределения разновысотности, сформированные после электроэрозионной правки и описываемые законом Вейбулла: $m$ $X_0$ .	1,69 262	1,69 262
Параметры уравнения регрессии для расчета $K_d$ : $\alpha_d$ $\beta_d$	14,32 0,112	14,32 0,112
$N_z$ – Число зерен в одном карате, зернистости 100/80, шт.	100000	
$K_k$ – Коэффициент контактирования, учитывающий влияние режимов обработки на количество контактирующих зерен.	0,44	
$K_l$ – коэффициент, учитывающий влияние критической величины закрепления зерна в связке алмазоносного слоя на расстояние между зернами на РПК.	2,46	
$k_s$ – Коэффициент, учитывающий закон распределения нормальных напряжений на площадке износа.	1	
$K_L$ – Коэффициент усадки стружки при шлифовании.	1,35	
Свободный член и коэффициент уравнения Макгрегора-Фишера, описывающего влияние температурно-скоростных факторов на величину напряжений сдвига, $C$ (МПа) и $\alpha$ (МПа/°К).	$C=723$ $\alpha=0,255$	$C=1015$ $\alpha=0,332$
$\mu$ – Коэффициент трения алмаза по стали.	0,2	
Критическая температура фазово-структурных превращений $T_{AC3}$ , °К.	1153	1093

Таблиця 2

Силы поджима образцов из сталей Р6М5, 60С2 к РПК приходящиеся на 1 мм ширины образца, ограниченные температурой фазово-структурных превращений в поверхностном слое при шлифовании кругом 1А1 250х76х15х5 АС6 100/80-4 М2-01, на режимах:  $V_k = 35$  м/с,  $V_d = 0,1$  м/с,  $t_{\phi} = 0,015$  мм.

Марка стали	$P_n$ , Н/мм
Р6М5	4,23
60С2	5,35

Полученные силы поджима образца к РПК на 1 мм его ширины обеспечивают расчет силы поджима при любой ширине образца и будут использованы для определения режимов затачивания ножей состоящих из режущей части и корпуса.

**Литература:** 1. Шепелев А.А. Технология шлифования и заточки дисковых пил и плоских ножей / А.А. Шепелев, А.Е. Дуброва // Оборудование и инструмент для профессионалов №05(40) 2003, с.32-36. 2. Шепелев А.А., Лавриненко В.И. Технологии высокопроизводительной алмазно-абразивной обработки режущих инструментов из твердых сплавов, инструментальных сталей и керамик // Вісник інженерної академії України.– 2001.– №3, Ч.1.– С.17–20. 3. Шепелев А.А., Лавриненко В.И., Черных В.П. Эффективные процессы шлифования инструментов кругами из СТМ // Инструмент.– С.–Петербург, 1997.– №7.– С. 20–21. 4. Матюха П.Г. Обобщенные режимы процесса шлифования, обеспечивающие стабильные показатели качества / П.Г. Матюха, В.В. Полтавец // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.7(166). – Донецьк: ДонНТУ, 2010. с.39 – 45. 5. Матюха П.Г. Вископродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – 222с. 6. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управлении качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167с. 7. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента. Бакуль В.Н., Захаренко И.П., Кункин Я.А., Мильштейн М.З. Под об. редакцией. Бакуль В.Н.: Техніка, – 1971. – 208с. 8. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319с.

Рецензент: **Гузенко В.С.**, к.т.н., проф., ДГМА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПОДЖИМА ОБРАЗЦА К РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА, ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ СТАЛЕЙ ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ

Бурдин А.В., Матюха П.Г.

В статье были определены силы поджима образца к режущей поверхности круга, ограниченной температурой фазово-структурных превращений в поверхностном слое обработанной поверхности при шлифовании сталей по упругой схеме. Полученные силы поджима образца позволяют, произвести расчет силы поджима при любой ширине образца, и могут быть использованы для определения режимов затачивания ножей, состоящих из режущей части и корпуса.

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ПІДТИСКУ ЗРАЗКА ДО РІЖУЧОЇ ПОВЕРХНІ КОЛА, ЩО ОБМЕЖЕНА ТЕМПЕРАТУРОЮ ФАЗОВО-СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ШЛІФУВАННІ СТАЛЕЙ ЗА ПРУЖНОЮ СХЕМОЮ

Бурдін А.В., Матюха П.Г.

У статті були визначені сили підтиску зразка до ріжучої поверхні кола, що обмежена температурою фазово-структурних перетворень у поверхневому шарі оброблених поверхонь при шліфуванні сталей за пружною схемою. Отримані сили підтиску зразка дозволяють, зробити розрахунок сили підтиску при будь-якій ширині зразка, і можуть бути використані для визначення режимів заточування ножів, що складаються з ріжучої частини і корпусу.

DETERMINATION OF POWER TO SAMPLE PURSING CUTTING SURFACE OF THE DISK BOUNDED BY THE TEMPERATURE OF PHASE-STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN THE SURFACE TREATED SURFACES FOR GRINDING OF STEEL ELASTICCHART

Burdin A.V., Matyukha P.G.

In the article was determined radial force by the alloy steel and high speed steel grinding on conditions that absence of phase-structural conversions in surface of working steels. The obtained force compressing the sample allow to calculate forces pursing at any sample width, and can be used to determine the modes of sharpening knives, consisting of the cutting part and the housing.

**Ключевые слова:** сила поджима образца, шлифование, режущая поверхность круга, температура фазово-структурных превращений, упругая схема.

**Ключові слова:** сила підтиску зразка, шліфування, ріжуча поверхня кола, температура фазово-структурних перетворень, пружна схема.

**Key words:** force compressing the sample, grinding, cutting the surface of the circle, the temperature of the phase-structural transformations, elastic scheme.