

УДК 621.923:621.90.17

С.М. Братан д-р техн. наук, Ю.К. Новоселов д-р техн. наук,
Н.Н. Столяров, Севастополь, Україна

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ЗА ПЕРИОД ЕГО СТОЙКОСТИ

Стаття присвячена розробці залежностей, які дозволяють прогнозувати зміну числа та розподілу зерен по глибині інструменту за період його стійкості. Наведені результати експериментальних досліджень з оцінки адекватності запропонованих моделей.

Статья посвящена разработке зависимостей, позволяющих прогнозировать изменение числа и распределение зерен по глубине инструмента за период его стойкости. Приведены результаты экспериментальных исследований по оценке адекватности предложенных моделей.

The article proposes model of the variation of the number and distribution of the grains in the abrasive tool. Also there are the results of experimental studies for checking the adequacy of the proposed models.

Рабочая поверхность абразивного инструмента при системном анализе может рассматриваться как совокупность базовых участков, объединенных в единую конструкцию. Ее моделирование сводится к формализации параметров состояния базовых участков и формы инструмента.

Описание базового участка рабочей поверхности абразивного инструмента предусматривает определение геометрических размеров, числа и распределения режущих кромок. Существующие методики позволяют оценивать эти параметры по характеристике круга и режиму его правки. Экспериментальные исследования свидетельствуют о значительном изменении формы, числа, распределения кромок за период стойкости инструмента [1].

Изменение формы режущих кромок связано с их износом и разрушением. Выполненными ранее исследованиями установлено, что в плоскости, перпендикулярной вектору скорости резания, в процессе работы инструмента увеличивается радиус закругления при вершине зерна, в плоскости, параллельной - на вершине появляется площадка износа.

На основании вышеизложенного, целью данной статьи является разработка зависимостей, позволяющих прогнозировать изменение числа и распределение зерен по глубине инструмента за период его стойкости.

Текущий радиус-вектор $R_s(\varphi, \tau)$ точек контура зерна при отсутствии

микросколов вычисляется по его исходному значению $R_3(\varphi, 0)$ и величине износа $h_3(\varphi, \tau)$

$$R_3(\varphi, \tau) = R_3(\varphi, 0) - h_3(\varphi, \tau). \quad (1)$$

Исходный радиус-вектор, по данным А.В. Королева [2], является случайной функцией полярного угла φ

$$R_3(\varphi, 0) = r_3 + \sum_{k=2}^p (x_k \sin \omega_k \varphi + y_k \cos \omega_k \varphi), \quad (2)$$

где: r_3 – радиус средней окружности профиля, определяемый как среднее значение функции $R_3(\varphi, 0)$;

x_k и y_k – случайные некоррелированные амплитуды, соответствующие k -той гармонике и имеющие равные дисперсии;

ω_k – произвольно выбранная частота.

Элементарное приращение величины износа, в направлении полярного радиуса при движении вершины зерна в зоне контакта заготовки с инструментом, может быть принято пропорциональным относительному износу h_0 и приращению длины пути резания L_p

$$dh_3(\varphi, \tau) = h_0 dL_p = h_0 (v_k \pm v_u) P_k(\varphi, \tau) d\tau, \quad (3)$$

где: $P_k(\varphi, \tau)$ - вероятность контакта точки контура с материалом заготовки.

Вершина абразивного зерна может рассматриваться в общем, его профиле, как один из выбросов случайного поля. Текущий радиус закругления при вершине зерна $\rho_3(\tau)$, согласно выводам работы [3], может быть вычислен по зависимости

$$\rho_3(\tau) = \frac{[R_3^2(\varphi, \tau) + R_3'^2(\varphi, \tau)]^{3/2}}{R_3^2(\varphi, \tau) + 2R_3'^2(\varphi, \tau) - R_3(\varphi, \tau)R_3''(\varphi, \tau)}. \quad (4)$$

При моделировании вершины зерна параболоидом вращения, зависимость (3), профиль изношенного зерна в плоскости, перпендикулярной вектору скорости резания также может быть представлен в виде параболоида. Это утверждение подтверждено экспериментальными и теоретическими исследованиями, выполненными в работе [4]. Ширина режущей кромки изношенного зерна вычисляется по зависимости

$$b_{3\tau} = C_b \left(\frac{t_\phi - u}{t_\phi - u - h_3} \right)^m h_\tau^m, \quad (5)$$

где: h_τ – координата точки профиля зерна от его изношенной вершины.

Профіль вершини изношенного зерна в плоскості, перпендикулярній вектору швидкості різання, однозначно визначається глибиною мікрорізання і износом вершини абразивного зерна.

В плоскості, паралельній вектору швидкості різання, розмір площадки износа визначається [3]:

$$l_3 = C_b \sqrt{(h_x + h_3)^{2m} - \left(\frac{t_\phi - u}{t_\phi - u - h_3} \right)^{2m}} h_x^{2m}, \quad (6)$$

де: h_x – координата точки профіля зерна від його центра в напрямленні, перпендикулярному вектору швидкості різання.

При підстановці частиних значень коефіцієнтів в (4) ($C_b = 2\sqrt{2\rho}$, $m = 0,5$) визначається текущий радіус закруглення при вершині зерна

$$\rho_3(\tau) = \frac{\rho_3(0)t_\phi}{t_\phi - h_3}. \quad (7)$$

Величина площадки износа в напрямленні вектора швидкості різання, відповідно визначається по залежності

$$l_3 = 2\sqrt{2\rho_3(0)h_3}. \quad (8)$$

Для оцінки адекватності отриманих залежностей виконані експериментальні дослідження в лабораторії обробки матеріалів різанням Мелітопольського моторного заводу. В зв'язі з тим, що перевірялась геометрична модель форми зерна, вибір оброблюваного матеріала і індентора не мав принципіального значення. В якості інденторів використовували конуса зі сталі 40X HRC 55...60, швидкорежущої сталі Р6М5, твердого сплаву Т15К6 з формою вершин в вигляді параболоїда вращення. С метою отримання заданої форми, вершини оброблялись по шаблону на оптико-шлифувальному станку.

В якості образців застосовували алюмінієві (АЛ-6) заготовки і заготовки зі сталі 45 (HRC 45-50) з розмірами робочої частини 60мм x 120 мм. Поверхню зразка з метою отримання вихідної шорхovatости обробляли точенням різбовим різцем на токарному станку, потім зразки встановлювали на оптичний профілезлифувальний станок 395-МФ10 і на їх поверхню різцем, закріпленим на диску, наносили риски до отримання нерівномірної нерегулярної поверхності. Таким чином, індентор працював по шорхovatой поверхності. Испитання проводили при швидкості переміщення індентора 33 м/с, швидкості вращення зразка 20 м/мин, глибині різання $t_\phi = 1,25H$, де H – глибина шару, в якому розподілена шорхovatость поверхності. Профілі інденторів

зарисовывали и фотографировали с экрана оптического профилишлифовального станка через заданные промежутки времени. Сравнение расчетных и экспериментальных размеров профилей, в плоскости перпендикулярной скорости резания (длины площадки износа) и в плоскости параллельной скорости резания, приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные (7), (8) и экспериментальные размеры профилей вершин абразивных зерен

Материал детали	Материал индентора	Время работы индентора, с	Расстояние до вершины, мкм	Размер площадки износа, мкм		Ширина профиля, мкм	
				Эксп.	Расчет	Эксп.	Расчет
АЛ-6	Р6М5	600 $h_z=50$ мкм	20	280	270	340	335
			40	360	372	340	335
			80	520	493	340	335
АЛ-6	40X	0 $h_z=0$ мкм	20	220	196	0	0
			60	320	324	0	0
			80	360	370	0	0
		10 $h_z=60$ мкм	20	250	260	320	325
			40	340	358	320	325
			80	500	491	320	325
		20 $h_z=100$ мкм	20	280	384	400	410
			40	360	527	400	410
		Сталь 45	Т15К6	0 $h_z=0$ мкм	20	290	281
40	400				402	0	0
60	500				498	0	0
80	570				578	0	0
15 $h_z=20$ мкм	20			320	316	310	281
	40			460	453	310	281
	60			560	559	310	281
	80			630	649	310	281
60 $h_z=50$ мкм	20			420	403	500	453
	40			580	578	500	453

Анализ полученных данных, свидетельствует о возможности использования приближенных зависимостей (5) и (6) для расчета параметров формы абразивного зерна при его износе.

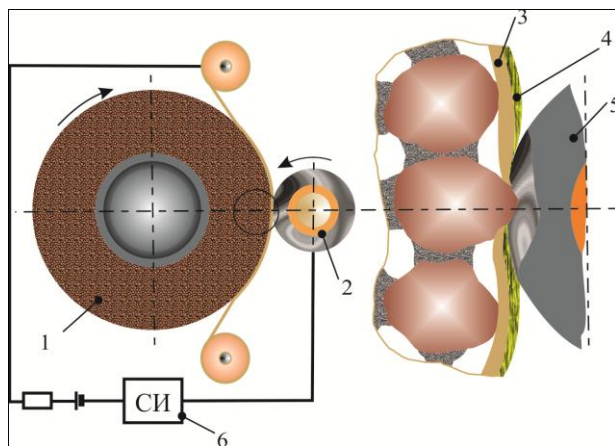
Число режущих кромок на базовом участке рабочей поверхности инструмента может быть определено экспериментально и аналитически.

При экспериментальных исследованиях применяют методы непосредственного подсчета числа кромок с помощью оптических приборов,

методы, основанные на регистрации импульсов от терморпар, установленных в деталь, методы подсчета числа отпечатков на фольге, бумаге, стекле и т.д.

По данным А. Н. Резникова [1], наиболее близкий результат по количеству активных зерен дает метод прокатки круга по фольге, толщина которой должна быть равна глубине резания. Недостатком метода, как и других, ранее перечисленных, является высокая трудоемкость, связанная с необходимостью визуального подсчета количества отпечатков, оставшихся на фольге. Наиболее перспективными способами контроля рабочей поверхности инструмента являются способы сканирования.

Схема одного из таких способов рассмотрена на рис. 1.



Рисунком 1 – Схема экспресс-метода определения числа зерен на рабочей поверхности инструмента:

- 1 – абразивный инструмент, 2 – оправка, 3 – фольга,
4 – изолирующее покрытие, 5 – токопроводящий ролик, 6 – счетчик импульсов

Сущность способа заключается в автоматическом подсчете числа электрических импульсов, возникающих при прокатывании фольги 3 с изолирующим покрытием 4 между рабочей поверхностью инструмента 1 и специальным роликом 2. Фольга и пластина 5 ролика подключаются к источнику тока. В момент прохождения вершиной зерна зоны контакта, она, вдавливаясь в материал фольги, разрывает изолирующую пленку и замыкает электрическую цепь. В момент выхода вершины зерна из зоны электрическая цепь разрывается. Новый электрический импульс возникает при прохождении зоны следующим абразивным зерном. Импульсы регистрируются либо электронным счетчиком импульсов, либо ЭВМ. Число абразивных зерен на

единицу поверхности инструмента вычисляется по числу зафиксированных импульсов и площади участка сканирования.

Точность определения числа режущих кромок рассмотренным способом зависит от возможности наложения отдельных электрических импульсов и обеспечивается за счет выбора конструктивных параметров регистрирующей пластины ролика.

Вероятность наложения импульсов будет совпадать с вероятностью события, заключающегося в том, что расстояние между двумя соседними кромками по длине участка сканирования будет меньше или равно длине контакта. При диаметре ролика 30 мм, толщине пластины 0,1 мм вероятность наложения импульсов для абразивных инструментов зернистостью 25 равна 0,052, т. е. погрешность измерения числа зерен составляет около 5%.

Результаты экспериментального определения числа кромок на рабочей поверхности шлифовальных кругов 1 300X40X127 24A25HСM2K по предложенному способу и по отпечаткам на фольге приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Число режущих кромок на рабочей поверхности шлифовального круга 1 300x40x127 24A25HСM2K

Способ определения числа кромок	№ замера	Длина трассы сканирования, мм	Количество импульсов, отпечатков	Расчетное число кромок мм ² поверхности круга
По количеству электрических импульсов	1	200	68	3.4
	2	200	64	3.2
	3	200	72	3.6
	Ср.	200	68	3.4
По количеству отпечатков на фольге	1	200	71	3.5
	2	200	69	3.4
	3	200	74	3.7
	Ср.	200	71	3.5

Аналитические зависимости для расчета числа зерен на рабочей поверхности инструмента приводятся в работах [3,4]. В основе вычислений лежит определение числа зерен, содержащихся в единице объема, по размерам зерен и структуре инструмента. В работе [3], кроме того, учитывается режим правки инструмента.

В процессе шлифования число режущих кромок на рабочей поверхности инструмента не остается постоянным. При каждом контакте с заготовкой часть зерен будет разрушаться, а часть вырываться из связки круга. Одновременно, в работу будут вступать новые кромки, лежащие в более

глубоких слоях инструмента, так как диаметр инструмента уменьшается за счет износа. Учитывая эти процессы, вычислим число активных режущих кромок рабочей поверхности инструмента после i -го контакта

$$n_{zi} = n_{zi-1} + z_{zi} - n_{zi-1} \cdot P_{pi}, \quad (9)$$

где: n_{zi-1} и n_{zi} – число зерен после $i-1$ -го и i -го контактов; z_{zi} – число зерен, появляющихся на поверхности при износе круга; P_{pi} – вероятность разрушения и вырывания зерна при i -ом контакте.

В общем случае n_{zi} зависит от числа зерен на поверхности после правки n_{z0} , закона распределения зерен по глубине инструмента, радиального износа круга, прочности закрепления зерен, сил резания, возникающих в зоне контакта, которые являются случайными величинами.

Уравнение (9) справедливо для дискретного процесса, когда поверхность круга контактирует с заготовкой периодически, например один раз за оборот круга. При постоянном контакте заготовки с инструментом (суперфиниширование, хонингование и т.д.) рассмотрим непрерывный процесс $n_{3\tau}$.

В предположении, что в работу вступают все абразивные зерна, лежащие в слое толщиной ΔR , равной величине износа инструмента, число режущих кромок на единице его поверхности в момент времени t может быть определено как:

$$n_{3\tau} = n_{z0} - \int_0^t S_n d\tau + n_{z0} \cdot \int_{t_\phi}^{t_\phi + \Delta R(t)} f(u) du, \quad (10)$$

где: S_n – скорость уменьшения общего числа режущих кромок; $f(u)$ – функция плотности распределения зерен по глубине; n_{z0} число зерен, появляющихся на поверхности после правки;

В процессе работы круга, вследствие износа зерен происходит изменение уровня z , как следствие износа наиболее выступающих $h_3(0)$, так и вследствие износа остальных зерен рассматриваемого слоя с рабочими кромками $h_3(u')$.

Скорость износа вершины выступающего зерна $dh_{3u} / d\tau$ характеризуется зависимостью

$$\frac{dh_{3u}}{d\tau} = R v_k h_{omin} \cdot \int_0^{2\pi} P(\bar{M}) d\varphi, \quad (11)$$

где: $h_{\text{отн}}$ – величина относительного износа зерна; $P(\bar{M})$ – вероятность неудаления материала; R – радиус круга; v_k – частота вращения круга.

В свою очередь скорость уменьшения S_n общего числа режущих кромок n_{3t} пропорциональна вероятности разрушения каждой из кромок P_p при единичном контакте обрабатываемой поверхности с абразивным кругом и числу таких контактов за единицу времени [2]:

$$S_n = P_p \cdot n_{3t} \cdot v_k, \quad (12)$$

где: P_p – вероятность разрушения каждой из кромок.

В то же время в процессе износа инструмента в работу с некоторой вероятностью могут вступать новые режущие кромки. Эта вероятность $P(\xi \leq u)$ определяется пределом отношения числа режущих кромок $n_3(u)$, находящихся в слое между уровнем u и наружной поверхностью инструмента, к общему числу зерен $n_3(H)$ участка поверхности S [3]:

$$P(\xi \leq u) = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{n_3(u)}{n_3(H)}, \quad (13)$$

где: H – рабочий слой инструмента, в пределах которого производится подсчет числа зерен; ξ – расстояние от условной наружной поверхности инструмента до уровня u .

Для анализа влияния износа, на функцию распределения режущих кромок используя методику, предложенную в работе [4] выделим на поверхности круга после правки и после износа за время τ слои с одинаковым числом вершин режущих кромок. Для этого достаточно переместить условную наружную поверхность на величину износа наиболее выступающих зерен $h_3(0)$, а уровень u на величину износа кромок этого уровня $h_3(u')$ (рис. 2.).

Координату уровня от новой условной поверхности инструмента при этом обозначим u'

$$u' = u + h_3(u') - h_3(0). \quad (14)$$

Если разрушение зерен отсутствует, то функция плотности распределения не претерпевает изменения, т.е.

$$F_{\xi'}(u') = F_{\xi}(u). \quad (15)$$

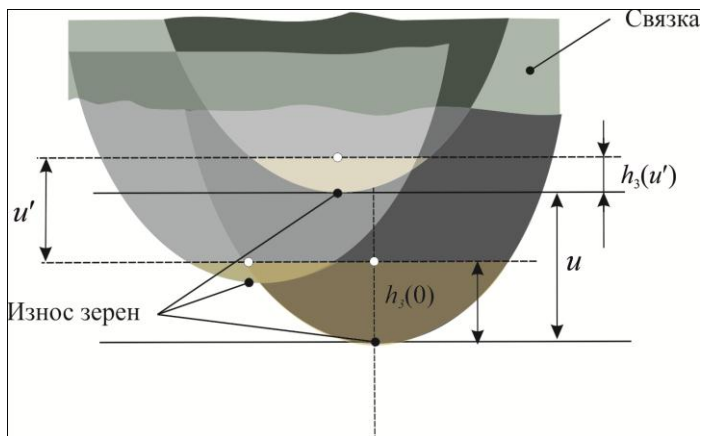


Рисунок 2 – Схема изменения состояния зерен круга в результате износа режущих кромок

Совместное использование (15) и (14) позволяет записать интегральную функцию плотности вероятности распределения режущих кромок в виде

$$F_{\xi'}(u') = F_{\xi}(u' + h_3(0) - h_3(u')) . \quad (16)$$

Дифференциальную функцию плотности вероятности распределения зерен по глубине абразивного круга можно получить непосредственным дифференцированием зависимости (16) и после применения (15) к правой части полученного соотношения получить:

$$f_{\xi'}(u') = f_{\xi}(u) \left[1 - \frac{d(h_3(u'))}{d(u')} \right] . \quad (17)$$

Если величина износа режущих кромок пропорциональна расстоянию $H - u'$, т.е. $h_3(u') = C_h(H - u')\tau$, а плотность распределения после правки моделируется степенной зависимостью вида

$$f_{\xi}(u) = C_f u^{\chi-1} , \quad (18)$$

где: C_h, C_f и χ – коэффициенты и показатель степени зависимостей, то плотность распределения изношенного инструмента с учетом (18) вычисляется

$$f_{\xi'}(u) = C_f [u' + C_h(H - u')\tau - h_3(0)]^{\chi-1} (1 + C_h\tau) . \quad (19)$$

В соответствие с (10) вероятность увеличения числа зерен в рабочем слое инструмента определяется интегрированием по u' (19) в пределах от t_ϕ до $t_\phi + \Delta R(\tau)$

$$P(t_\phi) = \frac{C_f(1+C_h\tau)((t_f - C_h\tau(t_f - h_3(0) + H))^\chi - (t_f - C_h\tau(t_f + H) - h_3(0)))^\chi}{(1 - C_h\tau)\chi} =$$

$$= \frac{C_f(1+C_h\tau)((t_f + C_h\tau(\Delta r + h_3(0)))^\chi - (t_f - \Delta r C_h\tau - h_3(0)))^\chi}{(1 - C_h\tau)\chi}. \quad (20)$$

В выражении (20) помножив $P(t_\phi)$ на n_{30} , получим математическую модель для расчета количества режущих кромок в рабочем слое инструмента:

$$n_{S_p} = \frac{n_{30}C_f(1+C_h\tau)((t_f - C_h\tau(t_f - h_3(0) + H))^\chi - (t_f - C_h\tau(t_f + H) - h_3(0)))^\chi}{(1 - C_h\tau)\chi} =$$

$$= \frac{n_{30}C_f(1+C_h\tau)((t_f + C_h\tau(\Delta r + h_3(0)))^\chi - (t_f - \Delta r C_h\tau - h_3(0)))^\chi}{(1 - C_h\tau)\chi}. \quad (21)$$

Скорость прироста числа зерен может быть определена непосредственным дифференцированием по времени соотношения (21):

$$S_p = (A_1^\chi - A_2^\chi)(A_3(1 + \frac{(1 + C_h\tau)}{(1 - C_h\tau)})) +$$

$$+ A_3(1 + C_h\tau) \times (\chi A_1^{\chi-1}((A_2^{\chi-1} - 1)\Delta r - h_3(0))), \quad (22)$$

где: $A_1 = t_\phi + C_h\tau(h_3(0) - \Delta r)$; $A_2 = t_\phi - h_3(0) - \Delta r C_h\tau$; $A_3 = \frac{n_3(0)C_f C_h}{\chi(1 - C_h\tau)}$;

$$\Delta r = t_\phi - H.$$

Общая скорость изменения числа зерен в соответствие с (11), (12), (22) характеризуется системой дифференциальных уравнений вида

$$\begin{cases} \frac{dn_3(\tau)}{d\tau} = S_p - S_n \\ \frac{dh_{3u}}{d\tau} = R v_k h_{omni} \cdot \int_0^{2\pi} P(\bar{M}) d\varphi \end{cases} \quad (23)$$

с начальными условиями: $n_3(0) = n_{30}$, $h_{3u} = 0$ при $\tau = 0$.

Вышеприведенные соотношения должны учитываться при построении циклов управления операциями, в соответствие с методиками оценок

динамических параметров технологических систем [3] при обработке деталей шлифованием.

На рис. 3 приведены расчетные кривые изменения числа кромок при круглом наружном шлифовании стальных образцов кругами 1 300X40X127 различной твердости.

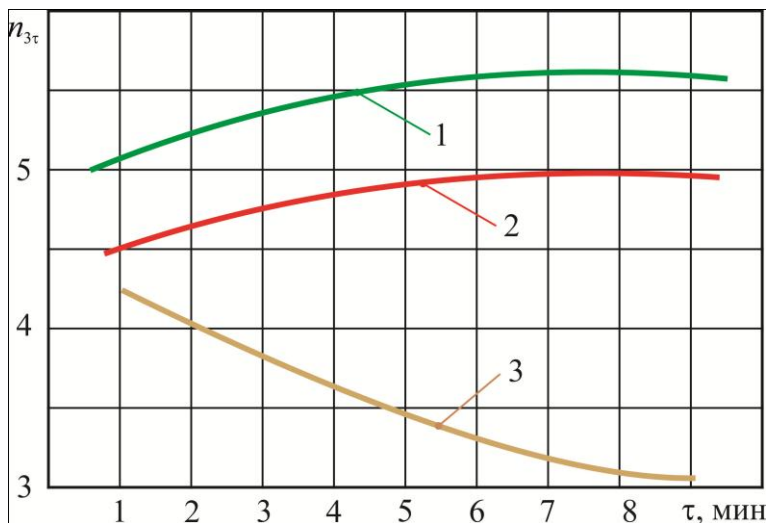


Рисунок 3 – Изменение числа режущих кромок на единице поверхности круга 1 300X40X127 при вероятности разрушения кромок:
 1 – $P_p = 0,00005$, 2 – $P_p = 0,0001$, 3 – $P_p = 0,0013$

Кругам средней мягкости (СМ1-СМ2) соответствуют большие значения вероятности разрушения кромок, твердым кругам (СТ1-СТ2) – меньшие значения. С увеличением времени работы инструмента для мягких кругов (кривая 3) наблюдается уменьшение числа режущих кромок на рабочей поверхности инструмента, для твердых кругов (кривая 1) – незначительное (5-8%) увеличение числа кромок. При работе в режиме затупления увеличение числа кромок происходит за счет их появления из более глубоких слоев инструмента.

В таблице 3 приводятся значения $n_3(\tau)$, рассчитанные по зависимости (22) при $n_{30} = 5,2 \cdot 10^6$ 1/м²; $P_p = 0,1$ и $0,01$; $\nu_k = 32$ 1/с.

Таблица 3 – Значения $n_z(\tau)$, полученные по зависимости (22)

Время работы инструмента, τ , с	Расчетные значения $n_z(\tau)$	
	$P_p = 0,1$	$P_p = 0,01$
0.25	4.4388	4.9539
0.50	2.6461	4.7267
1.00	2.1306	4.3235
2.00	2.0054	3.6877
4.00	2.0000	2.8896
8.00	2.0000	2.2474
16.00	2.0000	2.0191

Рассмотренные данные указывают на существенное изменение числа зерен на рабочей поверхности инструмента в процессе шлифования. Для рассмотренного примера оно составляет до 250%, что вызывает необходимость учета этих изменений при расчете параметров процесса. Отклонения увеличиваются с повышением интенсивности процесса шлифования.

В качестве примера в таблице 4 приводятся расчетные данные по изменению числа режущих кромок в рабочем слое инструмента для двух вариантов: а) износ инструмента происходит за счет износа режущих кромок без разрушения и вырывания зерен; б) при работе инструмента - кроме износа наблюдается разрушение режущих кромок и вырывание зерен из связи круга. Для анализа в рабочем слое инструмента выделен слой толщиной 1 мкм на расстоянии $u = t_\phi$ от его наружной поверхности. Расчеты выполнены для процесса круглого наружного врезного шлифования закаленных образцов диаметром 50 мм кругами диаметром 300 мм с фактической глубиной микрорезания $t_\phi = 20 \cdot 10^{-6}$ м. Радиальный износ круга принят равным $\Delta R = 1 \cdot 10^{-6}$ м, число режущих кромок в выделенном слое – $n_{zo} = 70$ (1/м²мкм). При вычислении координат слоя по глубине учтено, что при каждом контакте условная наружная поверхность смещается к центру круга на величину радиального износа.

Сопоставление полученных результатов подтверждает высказанную гипотезу о существенном изменении законов распределения режущих кромок по глубине инструмента в процессе шлифования. При работе круга в режиме самозатачивания наблюдается уменьшение их числа в слоях близлежащих к условной наружной поверхности инструмента, при работе в режиме затупления, наоборот – их увеличение. Рассмотренные зависимости позволяют прогнозировать изменение распределения, что повышает точность

моделей взаимодействия инструмента и заготовки. Однако данные модели не учитывают воздействия возмущающих факторов, которые могут оказывать существенное влияние на выходные показатели процесса шлифования. Учет вышеуказанных факторов представляет собой дальнейшие перспективы развития решения задачи прогнозирования изменения числа и распределения зерен по глубине инструмента за период его стойкости.

Таблица 4 – Изменение числа режущих кромок в рабочем слое инструмента

Число контактов поверхности круга с заготовкой	Координата слоя от текущей условной наружности поверхности, мкм	Число режущих кромок в слое, 1/м ² мкм	
		При износе с разрушением кромок	При износе без разрушения кромок
0	20	70	70
3	17	72	73
6	14	73	79
9	11	70	87
12	8	61	97
15	5	37	112
18	2	12	129

Список использованных источников: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.; 2. *Королев А.В.* Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. – Из-во Саратов. ун-та: Саратов, 1975. – 202 с.; 3. *Новоселов Ю.К.* Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке/ Ю.К. Новоселов. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012.—304 с.; 4. *Братан С.М.* Технологічні основи забезпечення якості і підвищення стабільності високопродуктивного чистового тонкого шліфування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування»/ С.М. Братан. – Одеса, 2006.—35 с.

Поступила в редколлегию 21.10.2013