

Список літератури

1. Внуков Ю.Н., Саржинская А.Г. Анализ особенностей различных подходов при аналитическом расчете сил резания // Современные технологии в машиностроении – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008, №1 540с.
2. Развитие науки о резании металлов/ Под ред. Н.Н.Зорева. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.
3. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.: Машиностроение, 1969. – 152 с.
4. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – К.: Наукова думка, 1990. – 320 с.
5. Физические основы процесса резания металлов. / Под ред. Остафьева В.А. – Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.
6. Кушнер В.С. Термомеханическая теория процесса непрерывного резания пластичных металлов. – Иркутск: Иркутск. ун-т., 1982. – 180 с.
7. Розенберг Ю.А. Резание материалов. – Курган: Изд-во ОАО «Полиграфический комбинат», 2007. – 294с.
8. Внуков Ю.Н. Повышение износостойкости быстрорежущих инструментов на основе исследования их трения с обрабатываемыми материалами и реализации новых технологических возможностей: Дис. докт. техн. наук: 05.03.01. – М., 1992. – 371 с.

УДК 621.923

**А.И. Грабченко д-р техн. наук, В.Л. Доброскок д-р техн. наук,
В.А. Федорович д-р техн. наук, И.Н. Пыжов канд. техн. наук,
Я.Н.Гарщенко канд. техн. наук,
НТУ "Харьковский политехнический институт", г.Харьков, Украина**

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ КРУГОВ НА ОСНОВЕ МИКРОПОРОШКОВ АЛМАЗА ПРИ ЧИСТОВОЙ ЗАТОЧКЕ ЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ПСТМ

Подано результати дослідження процесу чистової заточки інструментів з надтвердих матеріалів з використанням струмопровідних кругів на основі мікропорошків алмазу. Дослідження виконувалося на основі методології 3D моделювання напружено-деформованого стану зони шліфування, статистичного моделювання і об'єктно-орієнтованого статистичного моделювання абразивно-алмазних інструментів.

Results of research of process of finish sharpening of tools from superhard materials with use of current-carrying wheels on the basis of diamond flour grains are submitted. Researches were carried out on a basis methodologies 3D modelling deflected mode of a grinding zone, statistical modelling and object-oriented statistical modelling of abrasive-diamond tools.

Постановка проблеми. Известно, что качество подготовки рабочих элементов лезвийных инструментов для процесса обработки материалов резанием имеет первостепенное значение [1, 2, 3]. Это в особой мере относится к случаю использования лезвийных инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) – на основе алмаза и нитрида бора, обладающих чрезвычайно высокой микротвердостью и повышенной хрупкостью. При их заточке могут возникать значительные локальные динамические силовые и температурные напряжения, приводящие к возникновению микротрещин и сколов на режущих кромках.

Анализ последних исследований и публикаций. До настоящего времени проблема высокопроизводительной и качественной заточки лезвийных инструментов из ПСТМ является актуальной [4]. В первую очередь это связано с образованием на режущих кромках микросколов, выведение которых требует значительных затрат времени и расхода алмазных кругов. Как было показано в работах [5, 6] особенности обработки инструментов из ПСТМ требуют внесения определенных изменений в традиционную технологию заточки. В частности предложено производить чистовую обработку с использованием комбинированного процесса шлифования токопроводящими кругами на основе микропорошков алмаза. Это позволяет не только эффективно выводить образовавшиеся на этапе заточки сколы на режущих кромках (которые могут на порядок превышать их допустимое значение ~ 20 мкм при существующей технологии заточки), но и в некоторых случаях создает предпосылки для исключения доводки мелкозернистыми кругами на органических связках. Для теоретического обоснования применения и изучения особенностей предложенного подхода в статье используются несколько методологий исследования абразивно-алмазных инструментов и процесса шлифования. Их использование позволяет рассмотреть различные аспекты совершенствования процесса алмазно-абразивной обработки применительно к заточке лезвийных инструментов.

Цель исследования. Целью настоящей работы является изучение особенностей и выявление подходов обеспечивающих эффективное применение токопроводящих кругов для чистовой заточки лезвийных инструментов из ПСТМ на основе методологий 3D моделирования напряженно-деформированного состояния зоны шлифования, статистического моделирования и объектно-ориентированного статистического моделирования абразивно-алмазных инструментов.

Основные материалы исследования.

Исследование зоны шлифования на базе методологии 3D моделирования напряженно-деформированного состояния. С использованием программного комплекса для конечно-элементного анализа COSMOS были получены 3D модели напряженно-деформированного состояния режущей кромки ПСТМ, имеющего в своем составе металлические включения [7]. В результате изучения моделей установлена существенная роль температурного фактора в образовании сколов (рис. 1).

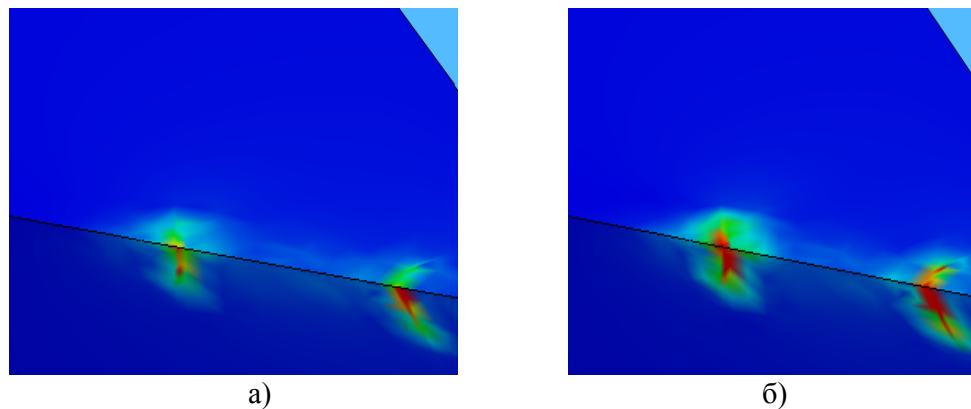


Рис. 1. Влияние температуры на напряженно-деформированное состояние режущей кромки в местах наличия металлических включений: а) $T = 500^{\circ}\text{C}$; б) $T = 800^{\circ}\text{C}$.

Это является подтверждением ранее выдвинутого положения о необходимости разработки специальных методов подачи СОТС в зону заточки для случая обработки ПСТМ [8].

Исследование с использованием концепции статистического моделирования.

Применительно к процессу заточки лезвийных инструментов из ПСТМ было проведено вероятностное прогнозирование выходных показателей в условиях различного уровня неопределенности значений технологических параметров [9].

В качестве модели использовалась обобщенная степенная зависимость, связывающая выходной показатель Y с системой технологических параметров - характеристики алмазно-абразивного круга и режимы обработки:

$$Y = Y_{\text{баз}} \prod_{i=1}^N \left(\frac{X_i}{X_{i(\text{баз})}} \right)^{n_i} = Y_{\text{баз}} \prod_{i=1}^N K_i,$$

где $Y_{\text{баз}}$ - базовое значение выходного показателя; $X_1, \dots, X_i \dots X_N$, $X_{1(\text{баз})}, \dots, X_{i(\text{баз})} \dots X_{N(\text{баз})}$ - соответственно текущие и базовые значения технологических параметров процесса; $n_1, \dots, n_i \dots n_N$, $K_1, \dots, K_i \dots K_N$ - соответственно степень и коэффициенты влияния параметров на выходной показатель.

Исследование проводилось в два этапа с выполнением натуральных и модельных экспериментов.

1. Определение базового значения $Y_{\text{баз}}$ и степеней влияния n_i отдельных параметров на выходной показатель Y с использованием многофакторного планирования экспериментов.

2. Вероятностный анализ распределений значений выходного показателя Y и коэффициентов влияния K_i в условиях неопределенности значений технологических параметров $X_{i(\text{min})} < X_i < X_{i(\text{max})}$. Модельные исследования проводились с использованием системы статистического моделирования рабочих процессов интегрированных технологий, разработанной на кафедре интегрированных технологий машиностроения им М.Ф. Семко НТУ «ХПИ».

Исследование влияния технологических параметров на величину сколов режущей кромки проводилось для предварительной $Y_{\text{черн}} = f(Z_{\text{ср}}, K, \beta, V_{\text{кр}}, S_{\text{пр}}, P_{\text{н}}, \delta, I)$ и чистовой заточки $Y_{\text{чист}} = f(Z_{\text{ср}}, K, \beta, V_{\text{кр}}, S_{\text{пр}}, S_{\text{поп}}, f_{\text{и}})$, где $Z_{\text{ср}}$ - среднее значение (математическое ожидание) размеров зерен; K - концентрация алмазов в круге; β - угол заострения лезвия обрабатываемого инструмента; $V_{\text{кр}}$ - скорость шлифовального круга; $S_{\text{пр}}$ - продольная подача; $P_{\text{н}}, S_{\text{поп}}$ - соответственно нормальное номинальное давление в контакте круга с заготовкой («упругая» схема обработки) и поперечная подача («жесткая» схема обработки); δ - биение круга; $I, f_{\text{и}}$ - соответственно сила тока и частота электроискровых импульсов в цепи управления режущим рельефом круга.

Исходные данные и результаты статистического анализа экспериментальных данных для случая обработки СКМ-Р приведены в табл. 1 (предварительная заточка) и табл. 2 (чистовая заточка).

Таблица 1

Черновая заточка

Технологические параметры				Степень влияния n_i
Обозначение	$X_i (min)$	$X_i (баз)$	$X_i (max)$	
$Z_{ср}$, мкм	45	112,5	180	0,66
K , %	25	100	200	-0,24
β , град.	40	60	80	-1,25
$V_{кр}$, м/с	10	30	50	-0,28
$S_{пр}$, м/мин	0,25	1,00	2,00	0,26
P_n , МПа	1	3	5	0,33
δ , мкм	0,01	0,015	0,02	1,15
I , А	20	60	100	-0,31

Примечание. Базовое значения $Y_{баз} = 0,072$ мм.

Таблица 2

Чистовая заточка

Технологические параметры				Степень влияния n_i
Обозначение	$X_i (min)$	$X_i (баз)$	$X_i (max)$	
$Z_{ср}$, мкм	12	17	34	0,76
K , %	25	100	200	-0,76
β , град.	45	75	90	-1,03
$V_{кр}$, м/с	10	20	40	-0,86
$S_{пр}$, м/мин	0,5	1,0	2,0	0,83
$S_{поп}$, мм/дв. ход	0,0025	0,005	0,01	0,88
f_n , кГц	22	44	88	-0,50

Примечание. Базовое значения $Y_{баз} = 0,011$ мм.

Таблица 3

Значения входных параметров заточки

Входной параметр	Предварительная заточка		Чистовая заточка	
	от	до	от	до
$Z_{ср}$, мкм	45	180	12	34
K , %	25	200	25	200
β , град.	40	80	45	90
P_n , МПа	1	5	-	-
$V_{кр}$, м/с	10	50	10	40
I , А	20	100	-	-
δ , мм	0,01	0,02	-	-
$S_{пр}$, м/мин	0,25	2,0	0,5	2,0
$S_{поп}$, мм/дв. ход	-	-	0,0025	0,01
f_n , кГц	-	-	22	88

Вероятностный анализ плотности распределения размеров сколов (рис. 2) для предварительной и чистовой заточки показал следующее:

- даже при самых щадящих условиях предварительной обработки вероятность появления сколов менее допустимой величины находится в пределах пяти процентов (рис. 2 а);

- в случае применения в комбинированных процессах токопроводящих кругов на основе микропорошков алмаза, во-первых, эта вероятность возрастает практически на порядок, а во-вторых, абсолютная величина минимально возможных сколов снижается более чем в три раза (рис. 2 б).

Проведенный анализ и визуализация результатов наглядно подтверждают необходимость выполнения промежуточной операции чистой заточки.

Сказанное выше является существенным дополнением к полученным ранее данным [5] об особенностях процесса обработки ПСТМ токопроводящими кругами на основе микропорошков алмаза, которое заключается в следующем: во-первых, практически отсутствует период приработки круга; во-вторых, по мере снижения зернистости происходит вырождение периодичности изменения выходных показателей, что обеспечивает достаточно точную обработку изделий из ПСТМ; в-третьих, производительность процесса значительно выше, чем в случае обработки мелкозернистыми кругами на органических связках.



а)



б)

Рис. 2 - Экранные формы результатов статистических расчетов для предварительной (а) и чистой (б) стадий заточек

Исследование с использованием объектно-ориентированной статистической методологии моделирования абразивно-алмазных инструментов. Известно, что [10] эффективность применения кругов из сверхтвердых материалов достигается только при соответствии характеристик их рабочей поверхности заданным режимам обработки. Одним из путей обеспечения такого соответствия является направленное регулирование эксплуатационных свойств рабочей поверхности алмазно-абразивных инструментов. Требуемые эксплуатационные свойства формируются заданием и регулированием параметров составляющих элементов инструмента: зерен, связки, строения алмазосодержащего слоя и конструктивного исполнения рабочей поверхности. На современном этапе развития теории и практики шлифования разработан ряд методов и способов регулирования. Главными причинами, определяющими сложность исследования методов регулирования, являются статистическая природа формирования характеристик рабочей поверхности и недостаточная точность экспериментальных методов исследования [11]. Объектно-статистическая методология 3D моделирования [12–15] позволяет оценить существующие методы регулирования, выполнить их сравнительный анализ и выявить возможности их использования.

Ниже представлены результаты теоретического анализа возможности регулирования режущего рельефа алмазно-абразивного инструмента путем формирования нескольких волнистостей поверхности связки с учетом изначально существующей ее неравномерности на основе изучения плотности распределения вершин зерен микропорошка на рабочей поверхности инструмента и ее статистических характеристик.

Изучение влияния волнистости продольного профиля рабочей поверхности алмазно-абразивного инструмента на характеристики распределения вершин зерен по глубине выполнялось с использованием системы 3D моделирования алмазно-абразивных инструментов [12–13].

В соответствии с принятой методологией 3D моделирования алмазно-абразивных инструментов рабочая поверхность алмазно-абразивного круга состоит из совокупности объектов (навеска зерен и связка) имеющих определенные свойства: статистические характеристики распределения размеров зерен $k_m\{d_3\}$, $k_v\{d_3\}$; коэффициент относительной критической заделки зерен в связке $\varepsilon_{кр}$ и параметры износа зерен.

В качестве исследуемых параметров рабочей поверхности, определяющих эксплуатационные свойства инструмента, с учетом ранее выполненных работ в этой области для изучения были выбраны статистические характеристики распределения глубины залегания $y_{ВВ}$ вершин зерен относительно наиболее выступающих. Для обеспечения возможности сравнительного анализа результатов модельных исследований для всех зернистостей микропорошков рассматривались относительные статистические характеристики: $k_m\{y_{ВВ}\} = E\{y_{ВВ}\}/a_0$ - коэффициент относительного расположения среднего значения глубины залегания вершин зерен $y_{ВВ}$, $k_v\{y_{ВВ}\} = s\{y_{ВВ}\}/E\{y_{ВВ}\}$ - коэффициент вариации, где a_0 - характеристический размер

зернистости [16–17]. Высоту волнистости продольного профиля поверхности связки также рассматривали относительно характеристического размера зернистости $H_{\text{волн}} / a_0$.

Исходные условия формирования модели алмазно-абразивного слоя: размеры пространства 25 x 10 x 1.2 мм (L x B x S – длина, ширина и толщина), которые обеспечивают достаточную устойчивость статистических выводов; форма зерен – трехосный эллипсоид, параметры нормального (или логарифмически-нормального) закона распределения размеров зерен (размеры d_x , d_y , d_z формировались по независимым вероятностным распределениям) обеспечивают требования ДСТУ 3292-95 на содержание зерновых фракций. Для зернистости узкого диапазона микропорошков 60/40 ($a_0 = 60$ мкм) при 100 % концентрации количество зерен в абразивном слое соответствовало $n_a = 2\,022\,213$ шт. Количество зерен на рабочей поверхности (25 x 10 мм) исследуемого участка составляло $n_{\text{р.п.}} = 44\,841$ шт. при суммарном количестве зерен и лунок $n_{(\text{з,л})\text{р.п.}} = 89\,539$ шт. Коэффициент относительной критической заделки зерен в связке соответствовал $\varepsilon_{\text{кр}} = 0,5$.

На базе выполненных исследований были получены плотности распределения (рис. 3 - б) и статистические характеристики глубины залегания вершин зерен $y_{\text{ВВ}}$ в зависимости от высоты волнистости продольного профиля поверхности связки $H_{\text{волн}} = 0 \dots 30$ мкм при коэффициенте относительной критической заделки зерен в связке $\varepsilon_{\text{кр}} = 0,5 \dots 0,7$.

Анализ результатов моделирования (рис. 3) показывает существенное изменение плотности распределения $y_{\text{ВВ}}$ при формировании волнистости связки. С увеличением высоты волнистости в диапазоне $H_{\text{волн}} = 0 \dots 0,5 \cdot a_0$ увеличивается плотность вершин зерен, имеющих среднюю глубину залегания $y_{\text{ВВ}}$ за счет уменьшения количества вершин с наибольшей и наименьшей $y_{\text{ВВ}}$. Модельные исследования показали, что дальнейшее увеличение высоты волнистости приводит к формированию плотности распределения с двумя модами, расстояние между которыми увеличивается (и соответственно уменьшается плотность распределения в этом диапазоне значений $y_{\text{ВВ}}$) с ростом высоты волнистости (рис. 6).

Для расширения возможностей регулирования распределения вершин зерен предложено формировать неравномерность поверхности связки в виде суммы двух волнистостей с разными длинами волн. Анализ результатов исследования (рис. 4, 5) позволил выявить дополнительные возможности по регулированию $y_{\text{ВВ}}$ при формировании второй волнистости на поверхности связки с меньшим шагом. Формирование второй волнистости с высотой $H_{\text{волн}2} < H_{\text{волн}1}$ позволяет перераспределять плотность вершин в среднем диапазоне значений глубины их залегания от уровня наиболее выступающих. Увеличение $H_{\text{волн}2}$ приводит к увеличению плотности распределения $y_{\text{ВВ}}$ в среднем диапазоне. Учитывая то, что при формировании волнистости с высотой $H_{\text{волн}1} > 0,5 \cdot a_0$ в среднем диапазоне значений $y_{\text{ВВ}}$ плотность распределения становится меньше по сравнению с кругом, имеющим ровную поверхность связки, то возможность формирования большей плотности $y_{\text{ВВ}}$ в этом диапазоне при поверхности связки в виде суммы двух волнистостей позволяет направленно задать необходимую плотность распределения вершин по всему диапазону значений $y_{\text{ВВ}}$ (рис. 4, 5).

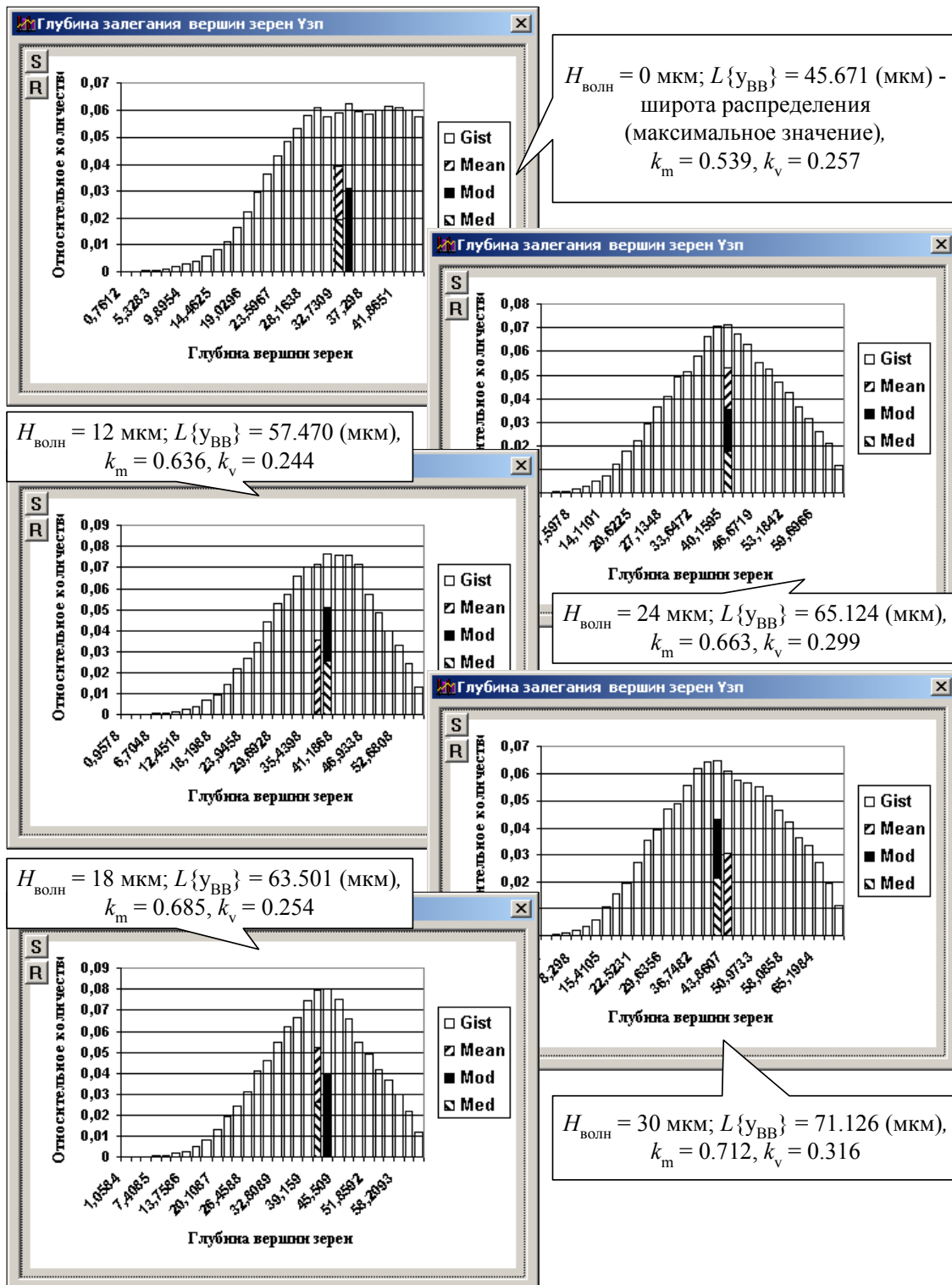


Рис. 3 – Плотности распределения глубины залегания вершин зерен от уровня наиболее выступающих u_{BB} при формировании поверхности связки в виде одной волнистости. Условия:

$$H_{волн1} = 0 \dots 30 \text{ мкм}, \varepsilon_{кр.} = 0.5; a_0 = 60 \text{ мкм (зернистость 60/40)}.$$

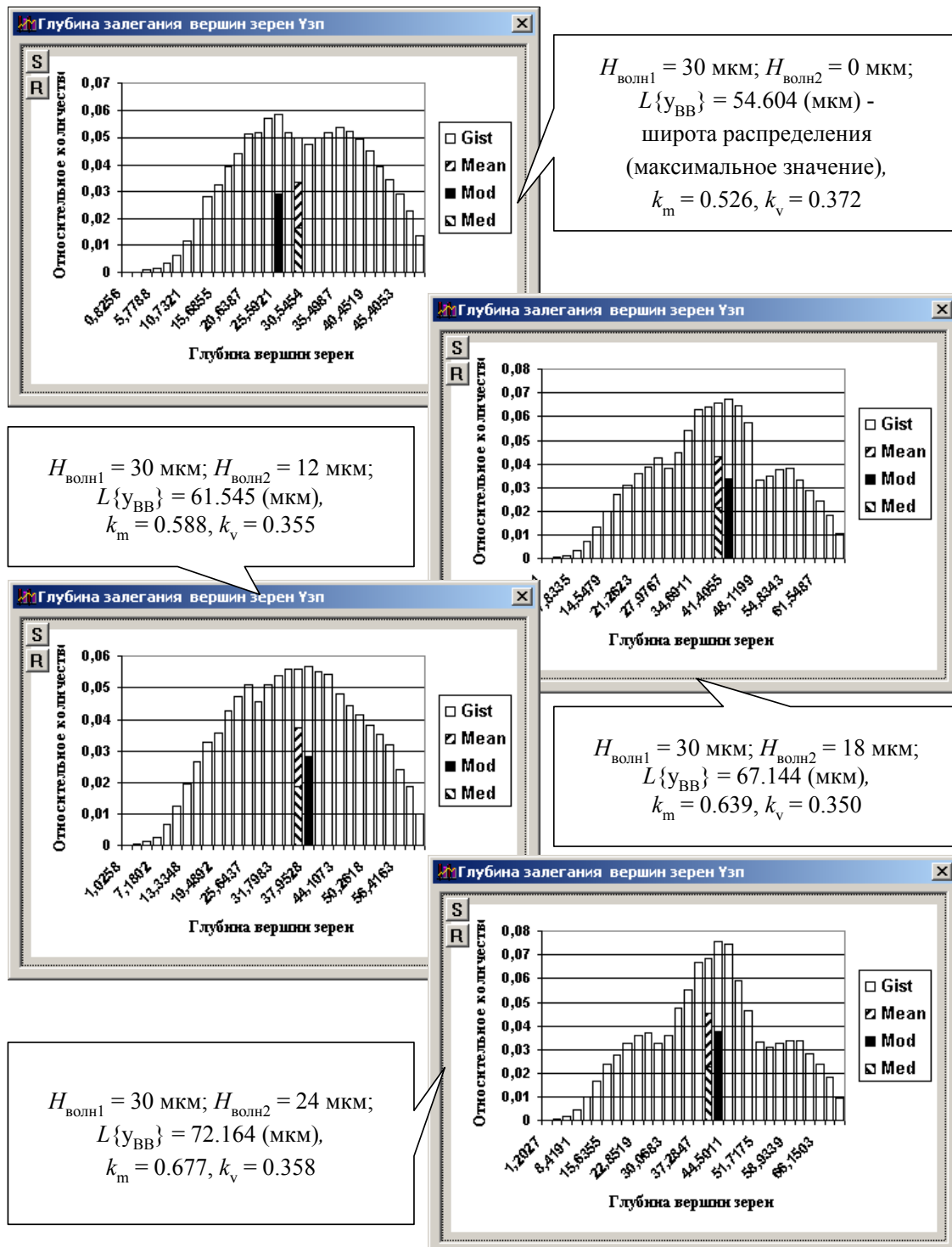


Рис. 4 – Плотности распределения глубины залегания вершин зерен от уровня наиболее выступающих y_{BB} при формировании поверхности связки в виде суммы двух волнистостей. Условия:

$$H_{\text{волн1}} = 30 \text{ мкм}, H_{\text{волн2}} = 0 \dots 24 \text{ мкм}, L_{\text{волн2}}/L_{\text{волн1}} = 1/2,$$

$$\epsilon_{\text{кр.}} = 0.7; a_0 = 60 \text{ мкм (зернистость 60/40)}.$$

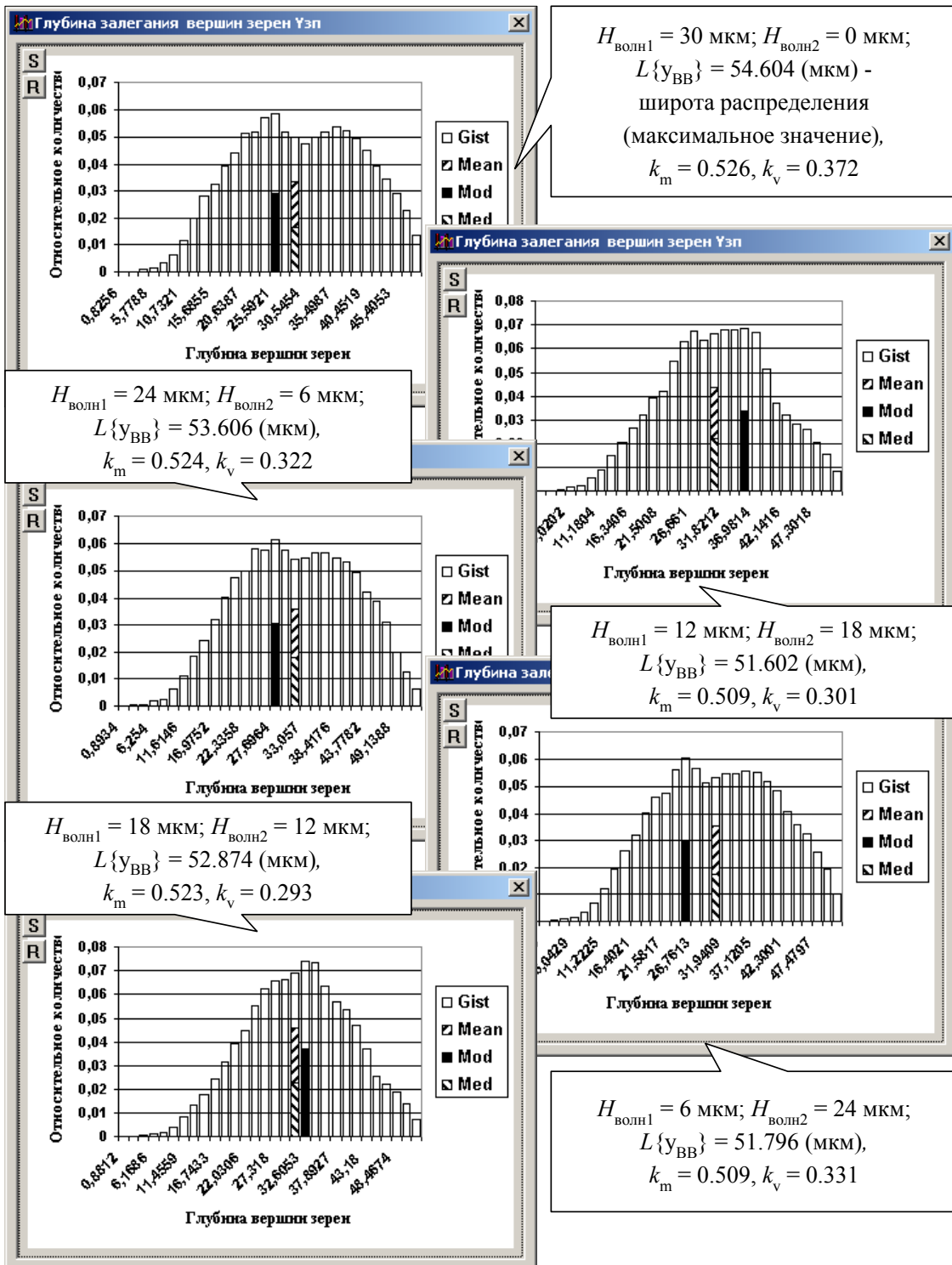


Рис. 5 – Плотности распределения глубины залегания вершин зерен от уровня наиболее выступающих y_{BB} при формировании поверхности связки в виде суммы двух волнистостей. Условия:

$$H_{волн1} / H_{волн2} = 4 \dots 0,25; H_{волн1} + H_{волн2} = 30 \text{ мкм}; L_{волн2} / L_{волн1} = 1/2;$$

$$\varepsilon_{кр.} = 0.7; a_0 = 60 \text{ мкм (зернистость 60/40)}.$$

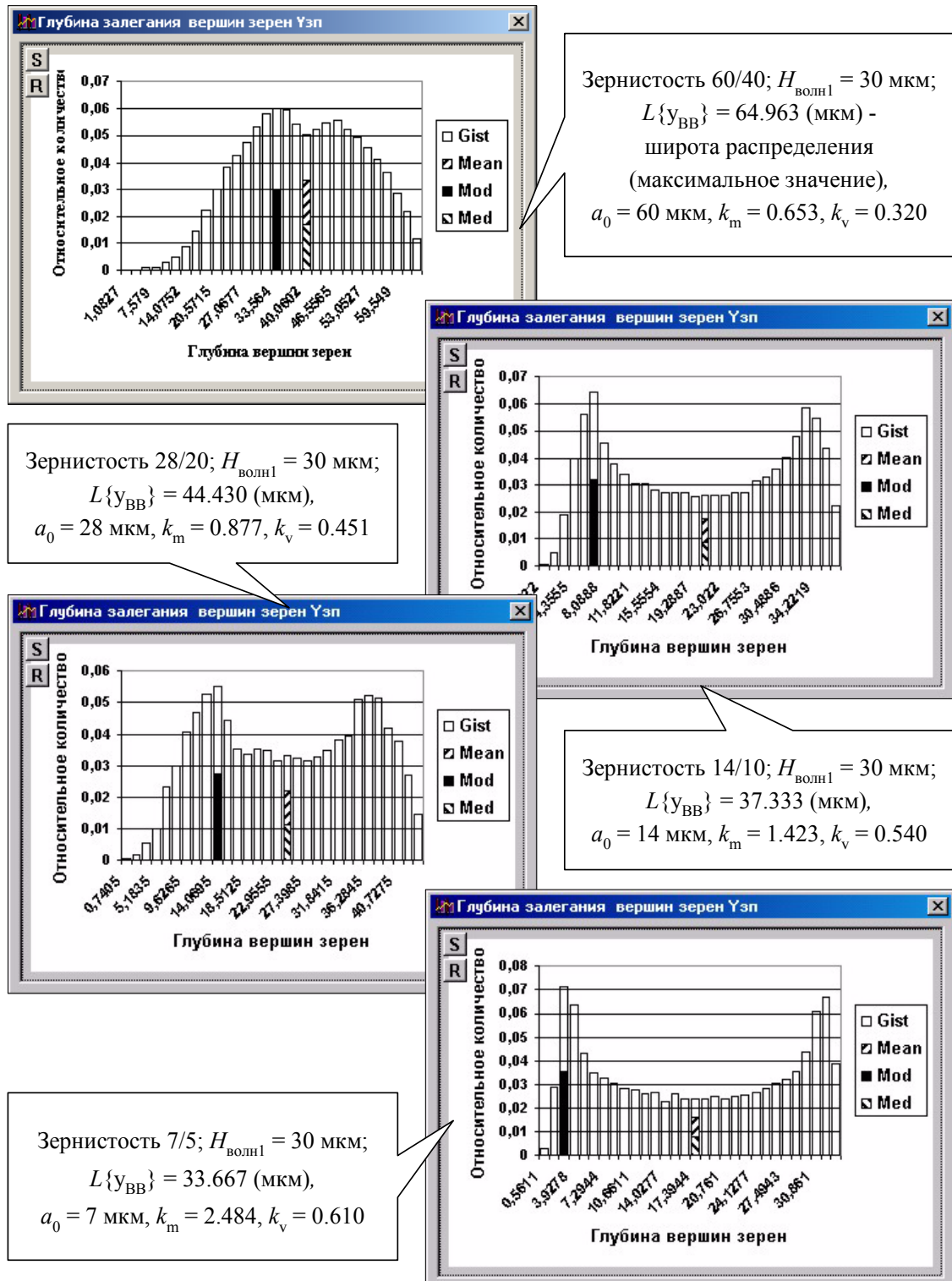


Рис. 6 – Плотности распределения глубины залегания вершин зерен от уровня наиболее выступающих y_{BB} при формировании поверхности связки в виде одной волнистости. Условия:

$H_{волн1} = 30$ мкм и $\varepsilon_{кр.} = 0.6$; $a_0 = 60 \dots 7$ мкм (зернистость 60/40...7/5).

Ранее выполненные исследования показали, что в комбинированных процессах шлифования в кругах на металлических связках не только можно, но и целесообразно использовать алмазные зерна с металлическими покрытиями. Что касается кругов на основе микропорошков алмаза, то особую актуальность может представлять применение так называемых рельефных толстослойных покрытий (размер покрытого зерна примерно в два раза выше, чем исходного). Это с одной стороны будет способствовать более равномерному распределению зерен в связке (при изготовлении кругов) и существенному повышению коэффициента их использования с другой стороны. Нами установлено, что еще одним важным достоинством таких покрытий является тот факт, что они препятствуют разрушению зерен при спекании алмазосносного слоя (что в свою очередь является одной из важнейших предпосылок для обеспечения устойчивости процесса алмазного шлифования). Это подтверждается данными 3D моделирования напряженно-деформированного состояния системы «зерно-покрытие-связка круга» (рис. 7), которые свидетельствуют о том, что целостность зерен микропорошков сохраняется даже при температуре 1000°C.

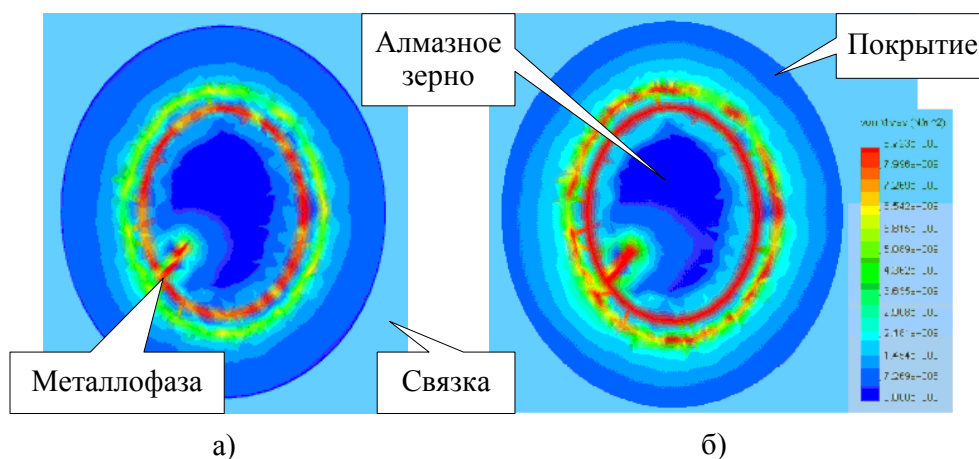


Рис. 7. Результаты 3D моделирования напряженно-деформированного состояния системы «зерно – покрытие – связка круга». а) – $t = 700^{\circ}\text{C}$; б) – $t = 1000^{\circ}\text{C}$;

Выводы и перспективы развития. Выполненные исследования позволили выявить особенности использования токопроводящих абразивно-алмазных кругов на основе микропорошков для чистовой обработки ПСТМ. Практической ценностью является возможность решения проблемы сколообразования на режущих кромках лезвийных инструментов из ПСТМ при достаточно высокой производительности процесса.

Выявлено существенное влияние температуры на напряженно-деформированное состояние режущей кромки в местах наличия металлических включений, что подтвердило известное положение о необходимости разработки специальных методов подачи СОТС в зону заточки для случая обработки ПСТМ.

Вероятностный анализ плотности распределения размеров сколов для предварительной и чистовой заточки показал, что даже при самых шадящих условиях предварительной обработки вероятность появления сколов менее допустимой величины находится в пределах пяти процентов. В случае применения в

комбинированных процессах токопроводящих кругов на основе микропорошков алмаза, во-первых, эта вероятность возрастает практически на порядок, а во-вторых, абсолютная величина минимально возможных сколов снижается более чем в три раза.

Изучение плотности распределения глубины залегания вершин зерен $u_{ВВ}$ показывает, что формирование дополнительно второй волнистости на поверхности связки существенно расширяет возможности регулирования распределения $u_{ВВ}$ (при высоте волнистости $H_{волн1} > 0,5 \cdot a_0$), а соответственно и условий шлифования. Подбор высоты и соотношение длин каждой волнистости позволяет направленно регулировать плотность распределения $u_{ВВ}$ на всем его диапазоне значений.

В качестве перспективных научных исследований представляют интерес вопросы, связанные с применением для обработки ПСТМ мелкозернистых токопроводящих кругов на основе микропорошков алмаза с рельефными металлическими толстослойными покрытиями.

Список литературы

1. Родин П.Р., Равская Н.С. Пути развития конструкций режущих инструментов // Высокие технологии в машиностроении. - Харьков: ХПИ. - 1992. - С.67-68.
2. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. - 3-е изд. перераб. и доп. - К.: Вища школа, 1986. - 455 с.
3. Новиков Н.В., Шепелев А.А., Лавриненко В.И. Концепция инструментальной программы Украины: Часть 2. Основные задачи Инструментальной программы Украины // Инструментальный світ. - 2005. - № 2 (26). - С. 4-7.
4. Инструменты из сверхтвердых материалов: Учебное пособие / Под ред. Н.В. Новикова. - Киев: ИСМ НАНУ, 2002. - 528 с.
5. Грабченко А.И., Пыжов И.Н. К особенностям обработки поликристаллических сверхтвердых материалов токопроводящими кругами на основе микропорошков алмаза // Резание и инструмент в технологических системах. - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2006. - Вып. 71. - С. 35-46.
6. Пыжов И.Н. К особенностям заточки и доводки рабочих элементов лезвийных инструментов из СТМ при алмазном шлифовании // Вестник ХГПУ, Вып. 01. - Харьков: ХГПУ. - 2007. - С. 18-25.
7. Козакова Н.В., Наконечный Н.Ф., Федорович В.А. 3D моделирование при определении оптимальных характеристик алмазных кругов // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. - Харків: НТУ "ХПІ". - 2004. - Вип. 1(8). - С. 81-86.
8. Грабченко А.И., Пыжов И.Н., Кульгышев С.А. Шлифование плоских поверхностей алмазными кругами на металлической связке // Станки и инструмент. - 1990. - № 7. - С. 26-28.
9. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Чернышов С.И. Система моделирования рабочих процессов интегрированных технологий // Сучасні технології у машинобудуванні: Збірник наукових статей / Укладач А.І. Грабченко; За заг. ред. А.І. Грабченка. - Харків: НТУ "ХПІ", 2007. - С. 236-268.
10. Грабченко А.И., Доброскок В.Л. Генезис моделирования абразивно-алмазных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сб. Вып. 63. Харьков: НТУ «ХПИ». - 2002. - С. 41-61.
11. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: Учебн. пособие. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - 364 с.
12. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Месарош И. 3D моделирование рабочей поверхности шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць ХДПУ. - Харків: ХДПУ. - 2000. Вип. 1(3). - С. 58-71.
13. Доброскок В.Л. Статистические механизмы формирования рабочей поверхности абразивно-алмазных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах Межд. научн.-техн. сб. - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2001. Вып. 60. - С. 51-73.
14. Доброскок В.Л. Модификация законов распределения на основе нормального для решения задач статистического моделирования параметров шлифовальных кругов связанных с исходными характеристиками шлифпорошков // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ. - 2000. Вып. 56. - С. 55-64.
15. Доброскок В.Л., Гаращенко Я.Н., Воронков В.И. Модификация законов распределения при статистическом моделировании абразивно-алмазных инструментов // Резание и инструмент в

технологических системах: Межд. научн.-техн. сб. Вып. 61. Харьков: НТУ «ХПИ». - 2002. - С. 51-59.

16. Доброскок В.Л., Гарашенко Я.Н. Выбор параметров распределения размеров зерен шлифпорошка в соответствии с заданными требованиями по содержанию фракций // Високі технології в машинобудуванні Зб. наук. праць НТУ «ХП».- Харків. - 2001. Вип. 1(4). - С. 55-63.

17. Доброскок В.Л., Гарашенко Я.Н., Наконечный Н.Ф. Определение параметров распределения размеров зерен для абразивно-алмазных порошков по ГОСТ и ДСТУ // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків: НТУ «ХПИ», 2003. - № 8, Т. 1. - С. 71-86.

18. Грабченко А.И., Федорович В.А., Пыжов И.Н., Русанов В.В. Расширение технологических возможностей изготовления алмазно-абразивных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сб. Вып. 63. Харьков: НТУ «ХПИ». - 2002. - С. 41-61.

УДК 621.91.02

В.В. Вовк¹, ас., Е.Р. Липский², зам. глав. технолога, С.В. Корзун¹, студ.
1-НТУ Украины “Киевский политехнический институт”, г.Киев, Украина
2-ОАО „Мотор Сич”, г.Запорожье, Украина

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ

В статті розв'язана задача визначення положення шліфувального круга при заточуванні різальної частини сферичних кінцевих фрез, яка забезпечує стабільні статичні геометричні параметри фрез та їх виготовлення, що є основою розробки інформаційної технології проектування та виготовлення сферичних кінцевих фрез.

In article is solved the problem of definition of position of the grinding wheel at sharpening the cutting part of radiused end mills, which provides stable static angle at manufacturing mills, that is the basis of development of information technology for designing and manufacturing of the radiused end mills.

Вступление. Одним из путей повышения работоспособности режущего инструмента является получение постоянных вдоль режущей кромки геометрических параметров. На чертежах инструмента геометрические параметры задаются в базовой точке в инструментальной системе координат, и, как правило, они не совпадают со статическими, а тем более, кинематическими геометрическими параметрами, и, кроме того, изменяются вдоль режущей кромки. В работах [1-4] рассмотрена геометрия сферических концевых фрез с наиболее простой плоской передней поверхностью и различными формами задних поверхностей, при которой статические передний и задний углы, в наибольшей степени определяющие процесс резания, непостоянны вдоль режущей кромки. Развитие станков с ЧПУ позволяет получать различные формы как передней так и задней поверхностей с требуемыми геометрическими параметрами. Так в работе [5] рассмотрены вопросы получения сферической концевой фрезы с постоянными передним и задним нормальными углами. Однако, вследствие того, что угол наклона режущей кромки таких фрез изменяется вдоль режущей кромки,