

Ирина Стефанова Александрова, д-р, доц.
Технический университет – Габрово, г. Габрово, Республика Болгария

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИЕЙ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

В статье исследуются возможности для управления рельефом режущей поверхности абразивных инструментов с различными характеристиками посредством выбора правящего инструмента и условий правки (элементов режима и направления профилирования) с целью гарантирования заранее заданных значений сил при шлифовании. Созданы модели, отражающие связь между силами при шлифовании, микрогеометрией режущей поверхности абразивных инструментов и условиями восстановления их профиля и режущей способности.

This paper studies the possibilities for controlling the relief of the cutting surface of the abrasive instruments with different characteristics by making choice of rectifier and conditions of rectification (elements of the cutting mode and direction of rectification) with a view to guarantee preliminarily set cutting forces of the process of grinding. Theoretical and experimental models have been obtained showing the connection between the cutting forces of grinding, the microgeometry of the abrasive tools' cutting surface and the conditions of rectification.

1. Введение

Совершенствование технологических процессов механической обработки, в том числе и процесса шлифования, занимает значительное место в развитии современного машиностроения. Применение высокопроизводительных методов шлифования (силового, скоростного, глубинного), использование абразивных инструментов (АИ) со сложным профилем, выработанных из новых абразивных материалов и связок, а также и автоматизация шлифовального процесса требуют непрерывного развития технологии восстановления профиля и режущей способности (правки) АИ. Качественные и эксплуатационные параметры процесса шлифования и его эффективность определяются как условиями резания при шлифовании и характеристиками АИ, так и условиями правки и видом правящих инструментов [2, 4–8]. Пониманием регулирования и подходящего формирования рельефа режущей поверхности АИ можно обеспечить определенные параметры процесса шлифования.

Микрогеометрия АИ после правки оказывает непосредственное влияние на стойкость и режущую способность АИ, на производительность и себестоимость процесса шлифования, на силы и температуру резания, на качество шлифованной поверхности. Тенденция, установленная при применении различных методов правки, следующая: более высокая шероховатость режущей поверхности АИ – более низкие силы и температура резания при шлифовании, более высокая производительность процесса и более высокая шероховатость шлифованной поверхности [4, 7, 8]. В [5, 6] представлены модели, отражающие зависимость производительности при шлифовании и шероховатости шлифованной поверхности от микрогеометрии АИ после правки алмазными роликами (АР) методом врезного шлифования, а также предложена методика управления рельефом режущей поверхности АИ посредством выбора режима

правки и характеристик АИ и АР. Интерес представляет моделирование количественного влияния микрогеометрии режущей поверхности АИ на радиальные и тангенциальные силы резания при шлифовании и определение условий для восстановления профиля и режущей способности абразивных инструментов, гарантирующих заранее заданные значения этих сил.

Целью настоящей разработки является создание теоретико-экспериментальных моделей, отражающих связь между силами при шлифовании, микрогеометрией режущей поверхности АИ и условиями правки, а также исследование возможностей для управления рельефом режущей поверхности абразивных инструментов с различными характеристиками посредством выбора правящего инструмента и условий правки (элементов режима и направления профилирования) для того, чтобы гарантировать заранее заданные значения сил при шлифовании.

2. Изложение

Чтобы создать возможности для управления микрогеометрией абразивных инструментов посредством изменения условий правки, гарантируя заранее заданные значения сил при шлифовании, необходимо исследовать комплексное влияние элементов режима профилирования АИ и характеристик профилирующего и профилируемого инструмента на шероховатость режущей поверхности АИ после правки - Ra_{sij} , μm , в качестве интегральной меры их микрогеометрии, а также влияние на радиальные (F_{pij} , N) и тангенциальные (F_{cij} , N) силы резания при шлифовании (ij – код комбинации „вид алмазной фракции, направление профилирования”: $i = 1, 2$ - для АР с рабочим слоем соответственно из среднепрочных АС32 и высокопрочных АС80 алмазных структур; $j = 1, 2$ – соответственно для попутной и встречной правки АИ).

Экспериментальные исследования проводятся на круглошлифовальной машине KUF 250/500, укомплектованной приспособлением для правки [2]. В качестве абразивных инструментов используются шлифовальные диски со следующими размерами и характеристиками: 350x125x22,5 1A80K8V38, 1A60K8V38, 1A46K8V38. Они правятся методом попутного или встречного врезного шлифования алмазными роликами с рабочим слоем из средне- и высокопрочных алмазных структур АС32 и АС80 и зернистостью 400/315, 250/200 и 100/80, при чем реализуется следующее соотношение между зернистостями АР и АИ - $\frac{A}{K} = 1,2 \div 2,56$.

Методика исследования микрогеометрии АИ, как и условия шлифования аналогичны тем, которые изложены в [2]. Микрогеометрия режущей поверхности АИ после правки получается посредством откопирования их микропрофиля на поверхность цилиндрических образцов из незакаленной стали 45. Измерение шероховатости Ra_{sij} осуществляется с помощью профилемера. На базе полученного результата оценивается рельеф режущей поверхности АИ. Радиальные F_{pij} и тангенциальные F_{cij} силы при шлифовании измеряются при помощи двухкомпонентного тензометрического

динамометра, при чем отсчитываются их максимальные значения при врезании АИ в обрабатываемую деталь.

Для установления комплексного влияния условий правки (соотношение между скоростями АР и АИ - $\frac{v_{cr}}{v_{cs}}$, скорость поперечной подачи АР - f , mm/min, время для правки без поперечной подачи - τ , s, направление профилирования) и соотношения зернистостей АР и АИ - $\frac{A}{K}$, на микрогеометрию АИ после правки и на силы резания при шлифовании проводятся отдельные полные факторные эксперименты типа $N = 2^4$ при попутной и встречной правке с АР из средне- и высокопрочных алмазных структур. Планирование экспериментов и обработка экспериментальных результатов осуществляются в соответствии с методикой, изложенной в [1]. Для проверки значимости коэффициентов, адекватности моделей и качества описания процессов, в качестве наиболее информативной точки принимается нулевой уровень, где проводятся четыре наблюдения. Проверки значимости коэффициентов регрессионных уравнений и качества описания процессов в нулевой точке проводятся согласно критерию Стюдента, а проверка адекватности полученных теоретико-экспериментальных моделей – по критерию Фишера. С целью уменьшения влияния смущающих факторов на экспериментальные результаты, опыты рандомизируются по времени, используя таблицы случайных чисел.

Диапазоны изменения факторов следующие: $f = 0,2 \div 1,4$ mm/min; $\frac{v_{cr}}{v_{cs}} = 0,2 \div 0,8$;

$\tau = 1 \div 9$ s; $\frac{A}{K} = 1,2 \div 2,56$. Они определяются на основе проведенного исследования работоспособности алмазных профилирующих роликов с различными характеристиками и обеспечивают высокие качественные и эксплуатационные параметры профилирующего инструмента и обработанных поверхностей [2,3].

После обработки экспериментальных результатов в соответствии с методикой, изложенной в [1], и перехода от кодированного к явному виду переменных величин получают адекватные теоретико-экспериментальные модели микрогеометрии Ra_{sij} АИ, радиальных F_{pij} и тангенциальных F_{cij} сил резания, которые имеют следующий общий вид:

$$W_{ij} = C_{0ij} f^{C_{1ij}} \left(\frac{v_{cr}}{v_{cs}} \right)^{C_{2ij}} \tau^{C_{3ij}} \left(\frac{A}{K} \right)^{C_{4ij}}, \quad (1)$$

где: $W_{ij} \equiv Ra_{sij}; F_{pij}; F_{cij}$.

Значения постоянных - C_{0ij} и степенных показателей - $C_{1ij}, C_{2ij}, C_{3ij}, C_{4ij}$, в теоретико-экспериментальных моделях микрогеометрии АИ представлены в [5,6], а эти в моделях сил резания - в *таблице 1*. Графическая интерпретация полученных зависимостей (1) показана на *рисунке 1* у *рисунка 4*.

Таблица 1

Значения постоянных - C_{0ij} и степенных показателей - $C_{1ij}, C_{2ij}, C_{3ij}, C_{4ij}$

$C_{W_{ij}}$	C_{0ij}	C_{1ij}	C_{2ij}	C_{3ij}	C_{4ij}
F_{p11}	102,4	$-0,09 + 0,06 \ln \frac{v_{cr}}{v_{cs}} + 0,03 \ln \tau -$ $-0,05 \ln \frac{A}{K} - 0,11 \ln \frac{v_{cr}}{v_{cs}} \ln \frac{A}{K}$	$-0,1 + 0,04 \ln \tau +$ $+ 0,002 \ln \frac{A}{K} - 0,07 \ln \tau \cdot \ln \frac{A}{K}$	$0,11 - 0,09 \ln \frac{A}{K} -$ $-0,05 \ln \tau \ln \frac{A}{K}$	-0,09
F_{p12}	161,29	-0,14	$0,17 - 0,03 \ln \tau + 0,10 \ln \frac{A}{K}$	0,04	-0,09
F_{p21}	96,45	-0,07	-0,08	$0,07 + 0,09 \ln \frac{A}{K}$	-0,30
F_{p22}	160,15	$-0,05 - 0,05 \ln \tau - 0,1 \ln \frac{A}{K} +$ $+ 0,09 \ln \tau \cdot \ln \frac{A}{K}$	$0,14 - 0,003 \ln \tau + 0,1 \ln \frac{A}{K} -$ $- 0,09 \ln \tau \cdot \ln \frac{A}{K}$	$0,07 - 0,03 \ln \frac{A}{K}$	-0,26
F_{c11}	57,08	$-0,06 + 0,13 \ln \frac{v_{cr}}{v_{cs}} - 0,21 \ln \frac{A}{K} -$ $- 0,23 \ln \frac{v_{cr}}{v_{cs}} \ln \frac{A}{K}$	$-0,09 + 0,14 \ln \frac{A}{K}$	0,07	-0,35
F_{c12}	91,35	-0,13	$0,17 - 0,06 \ln \tau + 0,13 \ln \frac{A}{K}$	0,01	-0,06
F_{c21}	53,58	-0,11	$-0,2 + 0,05 \ln \tau$	$0,11 + 0,23 \ln \frac{A}{K}$	-0,59
F_{c22}	92,6	$-0,02 - 0,05 \ln \tau - 0,18 \ln \frac{A}{K} +$ $+ 0,09 \ln \tau \cdot \ln \frac{A}{K}$	$0,03 + 0,01 \ln \tau + 0,3 \ln \frac{A}{K} -$ $- 0,11 \ln \tau \cdot \ln \frac{A}{K}$	$0,03 + 0,03 \ln \frac{A}{K}$	-0,31

– С уменьшением соотношения между зернистостями AP и AI уменьшается шероховатость режущей поверхности AI после их попутного и встречного профилирования при помощи AP средне- и высокопрочных алмазных структур, а радиальные и тангенциальные силы при шлифовании возрастают. Это связано с неблагоприятным сочетанием между зернистостями AI и AP, при котором шлифовальный инструмент не правится, а теряет свои режущие свойства. Степень влияния A/K на силы $F_{p_{ij}}$ и $F_{c_{ij}}$ наиболее сильно выражена при встречной правке AI с помощью AP с рабочим слоем из высокопрочных алмазных структур AC80 и возрастает с увеличением времени τ для правки без поперечной подачи и скоростного соотношения v_{cr}/v_{cs} .

– Силы резания при шлифовании с помощью AI, профилированные встречным образом, больше чем те при шлифовании с AI, подверженных попутной правке (до 35% - при правке AI с AP AC80 и до 52% - при правке с AP AC32). Это связано с меньшей шероховатостью режущей поверхности AI после их встречной правки по сравнению с той при их попутном профилировании.

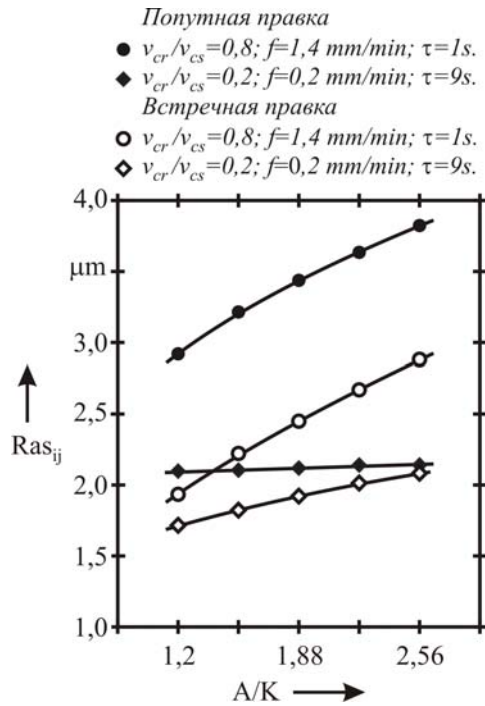


Рис. 1. Влияние соотношения зернистостей AP и AI на микрогеометрию AI (AP AC80)

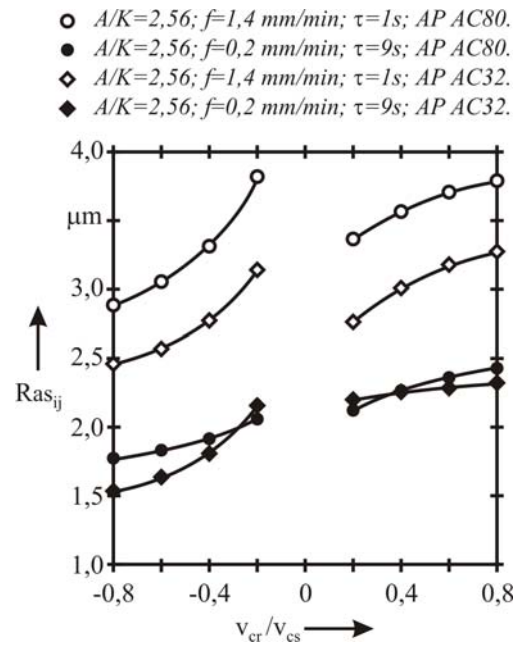


Рис. 2. Влияние условий правки на микрогеометрию абразивных инструментов

– Характер и степень влияния элементов режима правки на микрогеометрию AI и на силы при шлифовании различны. С возрастанием времени τ и с уменьшением скорости поперечной подачи f уменьшается шероховатость режущей поверхности AI - Ra_{sij} , но возрастают силы F_{pij} и F_{cij} . Соотношение между скоростями AP и AI оказывает различное влияние на микрогеометрию AI и на силы при шлифовании в зависимости от направления профилирования: при попутной правке с увеличением $\frac{v_{cr}}{v_{cs}}$ шероховатость режущей поверхности увеличивается, а при встречной - уменьшается. Это соответственно приводит к уменьшению сил резания с увеличением $\frac{v_{cr}}{v_{cs}}$ при шлифовании с AI, профилированными методом попутной правки. Эта тенденция имеет обратный характер в условиях встречной правки.

Различное влияние элементов режима правки и соотношения зернистостей AP и AI на силы при шлифовании и на микрогеометрию профилируемого AI приводит к необходимости создания моделей, отражающих характер изменения радиальных F_{pij} и тангенциальных F_{cij} сил в зависимости от Ra_{sij} при различных условиях правки. Для определения этих зависимостей необходимо ввести показатели $K_{F_{pij}}$ и $K_{F_{cij}}$:

$$K_{F_{ij}} = \frac{F_{ij}}{Ra_{sij}} \quad (2)$$

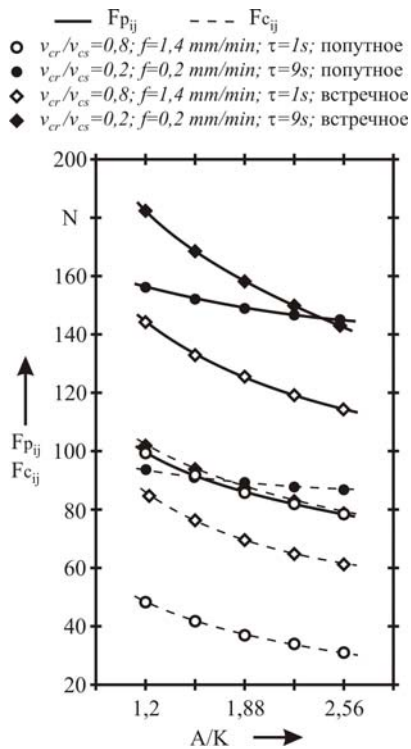


Рис. 3. Влияние соотношения зернистостей АР и АИ на силы при шлифовании (ДР АС80)

Совместное решение уравнений (1) и (3) и неравенства $F_{ij} \leq F$ ($F \equiv F_p; F_c$ – допустимое значение радиальной или тангенциальной силы) позволяет управлять рельефом режущей поверхности АИ посредством выбора условий правки при гарантировании определенных значений сил при шлифовании.

Так например минимальную радиальную силу при шлифовании $F_p = 120$ N можно обеспечить при работе с АИ, профилированных встречным образом с АР АС32 при следующих условиях: $\frac{A}{K} = 2,56$;

- $\frac{v_{cr}}{v_{cs}} = 0,2$: $\tau = 1$ s; $f = 0,3 \div 1,4$ mm/min; $\tau = 1$ s;
- $f = 0,3 \div 1,4$ mm/min; $\tau = 2$ s; $f = 0,4 \div 1,4$ mm/min;
- $\tau = 3$ s; $f = 0,5 \div 1,4$ mm/min; $\tau = 4$ s;
- $f = 0,6 \div 1,4$ mm/min; $\tau = 5$ s; $f = 0,7 \div 1,4$ mm/min;
- $\tau = 6$ s; $f = 0,8 \div 1,4$ mm/min; $\tau = 7$ s;
- $f = 0,9 \div 1,4$ mm/min; $\tau = 8$ s; $f = 1,0 \div 1,4$ mm/min;
- $\tau = 9$ s; $f = 1,1 \div 1,4$ mm/min.

где: $F_{ij} \equiv F_{p_{ij}}; F_{c_{ij}}$.

Применяя методику планированного эксперимента, созданы зависимости для определения $K_{F_{p_{ij}}}$ и $K_{F_{c_{ij}}}$, на базе которых построены обобщенные теоретико-экспериментальные модели, отражающие связь между силами при шлифовании (радиальными и тангенциальными), микрогеометрией режущей поверхности абразивных инструментов и условиями восстановления их профиля и режущей способности:

$$F_{ij} = q_{0ij} f^{q_{1ij}} \left(\frac{v_{cr}}{v_{cs}} \right)^{q_{2ij}} \tau^{q_{3ij}} \left(\frac{A}{K} \right)^{q_{4ij}} Ra_{sij}, \quad (3)$$

где $F_{ij} \equiv F_{p_{ij}}; F_{c_{ij}}$.

Значения коэффициентов $q_{0ij}, q_{1ij}, q_{2ij}, q_{3ij}, q_{4ij}$ представлены в таблице 2.

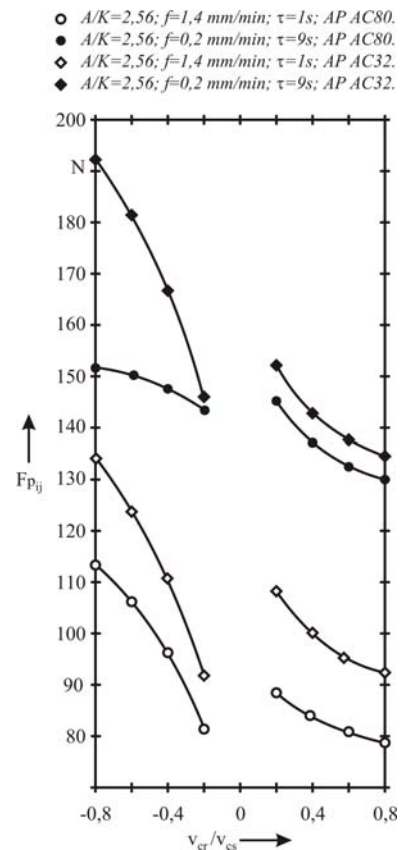


Рис. 4. Влияние условий правки на силы при шлифовании

Таблица 2

Значения коэффициентов $q_{0ij}, q_{1ij}, q_{2ij}, q_{3ij}, q_{4ij}$

$q_{F_{ij}}$	q_{0ij}	q_{1ij}	q_{2ij}	q_{3ij}	q_{4ij}
F_{p11}	38,66	$-0,14 + 0,13 \ln \frac{v_{cr}}{v_{cs}} + 0,04 \ln \tau -$ $-0,12 \ln \frac{A}{K} - 0,08 \ln \tau \cdot \ln \frac{A}{K}$	$-0,1 - 0,14 \ln \frac{A}{K} -$ $-0,23 \ln f \cdot \ln \frac{A}{K}$	$0,14 - 0,05 \cdot \ln \frac{A}{K}$	-0,32
F_{p12}	96,28	-0,27	$0,48 - 0,06 \ln \tau$	0,08	-0,37
F_{p21}	37,53	-0,13	-0,15	$0,13 + 0,18 \ln \frac{A}{K}$	-0,58
F_{p22}	101,87	$-0,12 - 0,07 \ln \tau - 0,15 \ln \frac{A}{K} +$ $+ 0,13 \ln \tau \cdot \ln \frac{A}{K}$	$0,4 - 0,1 \ln \tau$	$0,02 + 0,2 \ln \frac{A}{K}$	-0,85
F_{c11}	20,98	$-0,09 + 0,19 \ln \frac{v_{cr}}{v_{cs}} - 0,31 \ln \frac{A}{K} -$ $-0,34 \ln \frac{v_{cr}}{v_{cs}} \cdot \ln \frac{A}{K}$	$-0,14 - 0,22 \ln \frac{A}{K}$	0,12	-0,54
F_{c12}	54,74	-0,27	$0,47 - 0,08 \ln \tau$	0,06	-0,36
F_{c21}	20,08	-0,17	-0,2	$0,12 + 0,32 \cdot \ln \frac{A}{K}$	-0,87
F_{c22}	51,5	-0,25	0,5	$0,11 - 0,14 \ln \frac{A}{K}$	-0,65

3. Заключение

Созданы обобщенные теоретико-экспериментальные модели микрогеометрии АИ и сил резания при шлифовании, отражающие комплексное влияние условий правки (элементов режима и направления правки) и характеристик АР и АИ (соотношения зернистостей АР и АИ и прочности алмазных зерен).

Для оценки эффективности процесса шлифования использован показатель

$K_{F_{ij}} = \frac{F_{ij}}{Ra_{sij}}$, определенный как соотношение между радиальными и тангенциальными

силами при шлифовании и шероховатостью режущей поверхности абразивного инструмента.

Созданы модели, отражающие зависимость между силами при шлифовании (радиальными и тангенциальными), микрогеометрией режущей поверхности абразивных инструментов и условиями восстановления их профиля и режущей способности.

Предложена методика управления рельефом режущей поверхности АИ посредством выбора режима правки и характеристик АИ и АР с целью гарантирования заранее заданных значений сил резания при шлифовании.

Представленные в статье результаты являются частью комплексного исследования возможностей для управления рельефом режущей поверхности абразивных инструментов с различными характеристиками посредством выбора условий восстановления их профиля и режущей способности. В результате их применения в инженерной практике будут созданы предпосылки для гарантирования определенных технологических, технико-экономических и экономических параметров процесса шлифования.

Список литературы

1. Александрова, И. С. Основы на инженерните изследвания. Габрово, Университетско издателство В. Априлов, 2003.
2. Александрова, И. С. Оптимизиране на процеса възстановяване на режещите качества на абразивни инструменти с диамантни профилиращи ролки. Дисертационен труд за получаване на образователна и научна степен “доктор”, София, 1995.
3. Александрова, И. С. Работоспособност на диамантни профилиращи ролки. – Машиностроене – научен брой, София, 2002, №3, 12-16.
4. Муррей, Т., С. Малкин. Влияние правки вращающимися алмазными роликами на характеристики процесса шлифования. Конструирование, 1978, т.100, 3.
5. Aleksandrova, I. Control of the Cutting Surface Relief of the Abrasive Tools – part 1. International Scientific Conference AMTECH'07, Proceedings, Gabrovo, 2007, vol. I, p. I273-I278.
6. Aleksandrova, I. Control of the Cutting Surface Relief of the Abrasive Tools – part 2. International Scientific Conference AMTECH'07, Proceedings, Gabrovo, 2007, vol. I, p. I279-I284.
7. Koenig, W., W. Lortz. Einfluss des Abrichtwerkzeuges und Abrichtbedingungen auf die Schleifscheibentopographie und das Arbeitsergebnis. Industrie-Anzeiger 98, 1976, 14.
8. Scherf, E. Schleif- und Abrichtprozess im Regelkreis – Grundlagen. Jahrbuch der Schleifen, Honen, Laepfen und Polieren, Vulkan Verlag, Essen, 1983, 52 Ausgabe.

УДК 621.921

**Новиков Н.В., академик НАН Украины, Клименко С.А., д-р. техн. наук,
Копейкина М.Ю.**

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г.Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ – ОСНОВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

На прикладі різців з полікристалічних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору наведено результати дослідження контактної взаємодії в зоні різання і можливості створення нових матеріалів для різальних інструментів.

It is shown the results of researches of contact interaction in cutting zone as well as possibilities of new cutting tool material creation on example of cutters made of cubic boron nitride.

При совершенствовании машин особое внимание уделяется процессам механической обработки их деталей. При этом максимальный результат определяется не столько с производительностью съема припуска материала, сколько необходимостью формирования в поверхностном слое изделия такого состояния, которое наилучшим образом