

ТОЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ КОМПОЗИТА

*Е.А. КУДРЯШОВ, доктор техн. наук, профессор
(Юго-Западный государственный университет,
г. Курск)*

Статья поступила 24 мая 2012 года

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94,
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»,
e-mail: kea-swsu@list.ru

Рассмотрены результаты научно-исследовательской работы по определению работоспособности инструментов из сверхтвердых материалов при обработке конструктивно сложных поверхностей деталей машиностроительного назначения.

Ключевые слова: технологический процесс, операция точение, резец, композит, сложная обрабатываемая поверхность, качество, точность, эффективность.

В различных отраслях промышленности достаточно широкое применение находят детали с комбинированными поверхностями, состоящие из разнородных конструкционных материалов, у которых основным элементом конструкции является металлическая основа, образующая с пластмассовым наполнителем неразъемное соединение. В изготовлении подобных деталей главной технологической проблемой является инструментальное обеспечение и выбор способа обработки для воспроизводства заданных точностных и качественных показателей. Традиционными инструментальными материалами комбинированные поверхности практически не поддаются обработке, поэтому требуются дополнительные решения, вплоть до внесения изменений в конструкцию детали.

Как свидетельствуют результаты исследования и промышленный опыт, возможности интенсификации режимов резания деталей повышенной конструктивной сложности традиционными инструментальными материалами практически исчерпаны. В настоящее время исследования в основном направлены на снижение расхода инструментальных материалов на единицу инструмента. Они касаются выявления резервов производства за счет интенсификации режимов

обработки путем оптимизации геометрических параметров режущей части инструмента. Такой подход к созданию современной технологии носит ограниченный характер, так как дальнейшее развитие механики процесса резания должно быть направлено не только по пути уточнения отдельных положений, но и раскрытия ключевых особенностей процесса резания, в том числе новыми инструментальными материалами, в приложении к точению конструктивно сложных поверхностей.

Недавние ограничения в применении современного инструментального обеспечения для обработки точением конструктивно сложных поверхностей деталей касались известных положений о высокой хрупкости инструментальных материалов, в частности композитов, особенно при обработке прерывистых, направленных и комбинированных поверхностей, состоящих из разнородных конструкционных материалов. О высокой работоспособности этих прогрессивных инструментальных материалов свидетельствует накопленный опыт исследований в области обработки композитами гладких и прерывистых, восстановленных наплавкой поверхностей деталей при чистовом и отделочном, в том числе и сверхскоростном резании, в самых экстремальных условиях [1–6].

Известны причины, обуславливающие неустойчивый характер процесса резания конструктивно сложных поверхностей деталей: цикличность за счет чередования гладких и прерывистых участков обрабатываемой поверхности, изменения и колебания сил резания, температуры, а также изменение условий стружкообразования. Нестабильность прерывистого резания влияет на износ инструментов, определяет стойкость и, в конечном счете, качественные показатели процесса.

При прерывистом резании через промежутки времени, измеряемые секундами или долями секунд, резание чередуется с холостым пробегом режущей кромки инструмента. Начало каждого резания осуществляется или при нулевой (например, при встречном фрезеровании), или при всей заданной толщине (строгание) срезаемого слоя. Возникает ряд специфических явлений, в результате которых изменение стойкости инструмента подчиняется иным зависимостям и закономерностям, чем при непрерывном резании. Особенности этих закономерностей наиболее резко проявляются при работе твердосплавным инструментом и инструментом из сверхтвердых материалов.

Вопрос обеспечения эффективной работы твердосплавного инструмента в условиях прерывистого резания за счет его особого положения относительно обрабатываемой поверхности заготовки на примере торцевого фрезерования был впервые рассмотрен в отечественной технической литературе профессором Н.И. Резниковым. В дальнейшем теория и практика оптимального контакта нашли отражение в трудах проф. М. Кроненберга, Н.Н. Зорева, В.Н. Подураева, Б.А. Кравченко и других применительно к процессам точения, растачивания и строгания.

Проблема оптимального контакта актуальна и сейчас, когда отечественная металлообрабатывающая отрасль обеспечена разнообразными инструментами, в том числе и лезвийными, оснащенными поликристаллическими сверхтвердыми материалами на основе кубического нитрида бора – торговая марка композиты.

По своей природе и специфике процесса получения все композиты относятся к

категории хрупких инструментальных материалов; их кристаллическая структура несвободна от микротрещин, что является основной причиной недостаточного использования композитов при обработке прерывистых поверхностей при ударных нагрузках на режущую часть инструмента.

Известно одно из простых решений этой проблемы – применение у режущих элементов положительного угла наклона главной режущей кромки. Действительно, при обработке прерывистых поверхностей происходит некоторое повышение стойкости инструмента, поскольку врезание в обрабатываемую поверхность заготовки происходит не вершиной (что приводит к ее выкрашиванию и разрушению), а периферией режущей кромки. Но в связи с высокой хрупкостью это решение для композитов не является приемлемым.

Обобщенный опыт исследований в области чистовой обработки композитами конструктивно сложных поверхностей деталей позволяет сделать заключение, что при точении прерывистых поверхностей имеет место закономерное чередование рабочих ходов со снятием стружки и холостых проходов инструмента. За полный цикл обработки прерывистой поверхности инструмент осуществляет: 1) врезание; 2) рабочий ход (резание); 3) выход из контакта с обрабатываемой поверхностью; 4) холостой пробег (рис. 1).

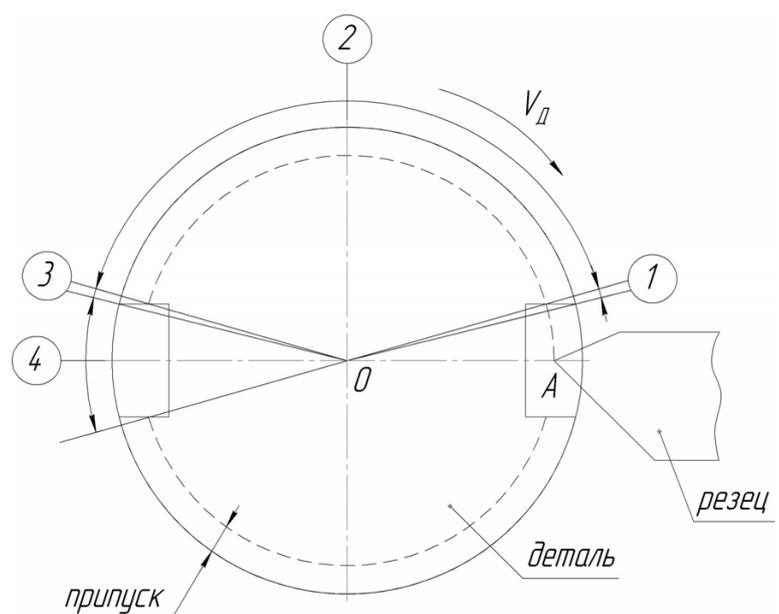


Рис. 1. Схема обработки прерывистой поверхности детали

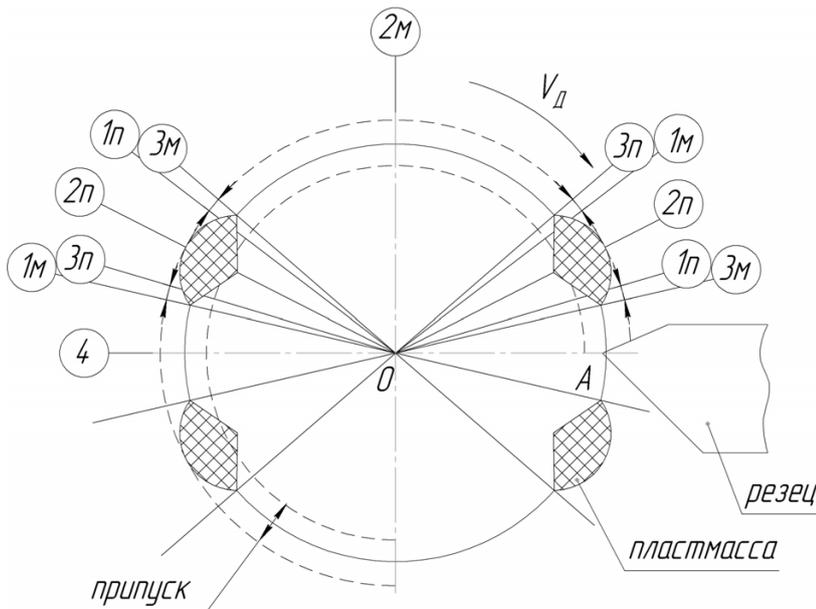


Рис. 2. Схема обработки поверхности из двух конструктивных материалов (п – пластмасса, м – металл)

Отличие обработки поверхности, например, состоящей из чередующихся участков металла и пластмассы, заключается в отсутствии холостого пробега инструмента. За обработкой металлического участка обработки следует резание пластмассового и т.д. В свою очередь, при резании каждого участка имеется три этапа: 1) врезание; 2) рабочий ход; 3) выход инструмента из контакта с металлом и врезание в пластмассу (рис. 2).

Величина припуска, частота и частость повторения этапов процесса резания имеют нерегулярный характер и определяются конструкцией детали.

В зависимости от геометрии режущей части резца и его положения относительно обрабатываемой поверхности заготовки первоначальный контакт (врезание) может произойти в одном из следующих положений режущей части инструмента и поверхности резания: а) точечный контакт вершины инструмента A с точками плоскости среза S , T , U или V ; б) линейный контакт режущей кромки инструмента с сечением плоскости среза ST , TU , UV или VS ; в) плоскостной контакт $STUV$ передней поверхности резца с обрабатываемой поверхностью заготовки (рис. 3).

Из девяти возможных вариантов первоначального контакта самый неблагоприятный – контакт вершины резца A с точкой плоскости среза S , а наиболее выгодный с точки зрения стойкости инструмента – контакт передней поверхности резца с обрабатываемой поверхностью заготовки $STUV$. Очевидно, что вариант плоскостного контакта $STUV$ является предпочтительным, поскольку нагрузка одновременно и равномерно принимается всей передней поверхностью резца (рис. 3). Оптимальному контакту передней поверхности резца с поверхностью заготовки $STUV$ соответствует определенное значение угла β (угол поворота заготовки до первого касания передней поверхности инструмента с поверхностью резания) (рис. 4):

$$\beta = \frac{\pi}{2} - (\delta - \delta^1) - (\varepsilon - \varepsilon^1) = \frac{\pi}{2} - \Delta\delta - \Delta\varepsilon. \quad (1)$$

На рис. 4 и в формуле (1): δ и δ^1 – минимальный и максимальный угол касания вершины инструмента A к минимально и максимально расположенным точкам контакта обрабатываемой поверхности металлического и пластмассового участков ($r_{3\min}$, $r_{3\max}$); ε и ε^1 – минимальный и максимальный угол, образованный линией касания, проходящей

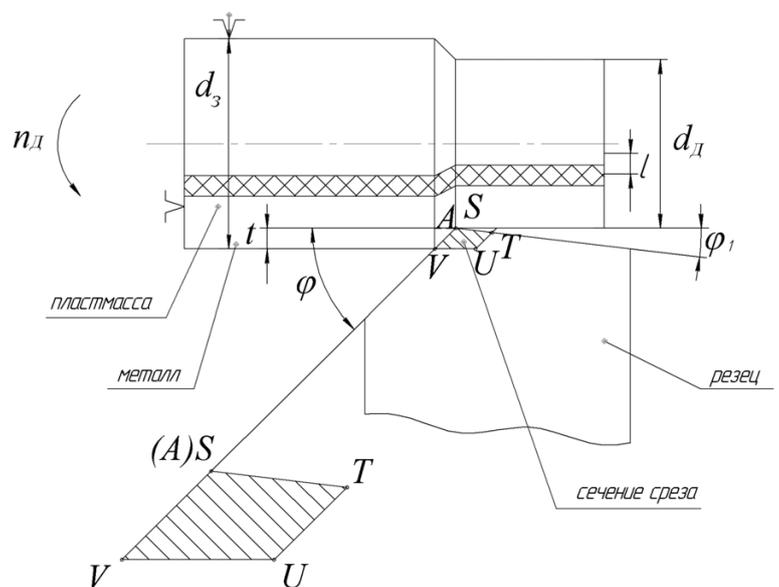


Рис. 3. Возможные варианты контакта резец – обрабатываемая поверхность

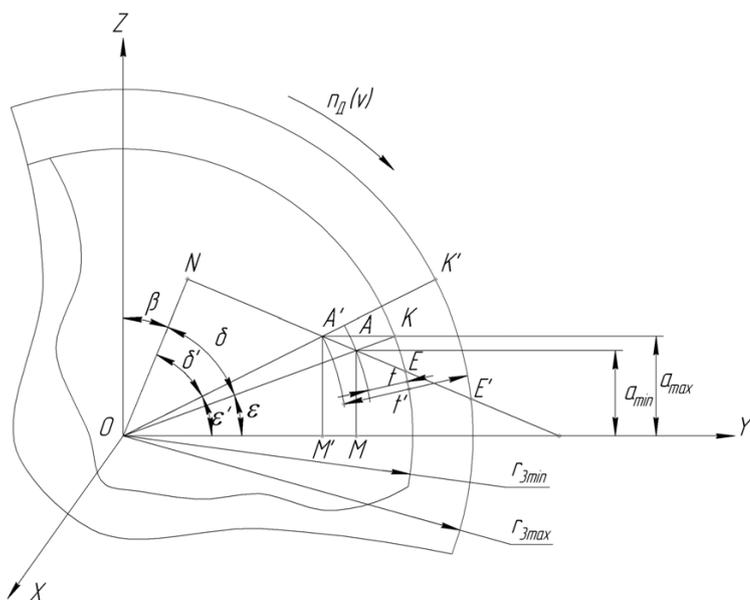


Рис. 4. Схема определения угла поворота заготовки до первого касания передней поверхности инструмента с поверхностью резания

через центр заготовки, вершину инструмента и точку M, образованную на оси ординат перпендикуляром из вершины инструмента A.

В этом положении режущей части инструмента и обрабатываемой поверхности расчетным путем найден угол поворота β , а также критические значения углов γ и λ реза, соответствующие оптимальной работоспособности инструмента.

Угол поворота:

$$\begin{aligned} \tan \beta &= \left(\frac{\pi}{2} - \delta - \varepsilon \right) - \tan \left(\frac{\pi}{2} - \delta^1 - \varepsilon^1 \right) = \\ &= \frac{l \sqrt{(r_{3\min} - t)^2 - a_{\min}^2} - a_{\min} \sqrt{(r_{3\min} - t)^2 - l^2}}{la_{\min} + \sqrt{(r_{3\min} - t)^2 - l^2} \sqrt{(r_{3\min} - t)^2 - a_{\min}^2}} - \\ &= \frac{l \sqrt{(r_{3\max} - t)^2 - a_{\max}^2} - a_{\max} \sqrt{(r_{3\max} - t)^2 - l^2}}{la_{\max} + \sqrt{(r_{3\max} - t)^2 - l^2} \sqrt{(r_{3\max} - t)^2 - a_{\max}^2}} = \\ &= \frac{l \sqrt{(\Delta r_3 - \Delta t)^2 - \Delta a^2} - \Delta a \sqrt{(\Delta r_3 - \Delta t)^2 - l^2}}{l \Delta a + \sqrt{(\Delta r_3 - \Delta t)^2 - l^2} \sqrt{(\Delta r_3 - \Delta t)^2 - \Delta a^2}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Критическое значение углов реза:

$$\tan \gamma_{\text{кр}} = \frac{\tan \rho [\cos(\varphi + \varphi_1)]}{\cos \varphi_1 + \tan \beta \tan \varphi_1 \sin \varphi},$$

$$\tan \lambda_{\text{кр}} = \frac{\tan \rho [\sin(\varphi + \varphi_1)]}{\cos \varphi_1 + \tan \beta \tan \varphi_1 \cos \varphi}. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3): t и t^1 – изменение глубины резания вследствие колебания величины припуска металлического и пластмассового участков, мм; a_{\min} , a_{\max} – минимальная и максимальная величина смещения вершины инструмента $A(A^1)$ в момент первоначального контакта ее с обрабатываемой поверхностью, мм; l – длина участка пластмассы, мм.

Полученные результаты можно представить наглядно на плоскости, если на одной оси координат отложить значение $\text{tg } \lambda$, а на другой значение $\text{tg } \gamma$ (рис. 5). В этой системе координат все критические сочетания параметров геометрии реза располагаются по прямым линиям, выходящим из одной точки M, соответствующей критическим значениям углов $\gamma_{\text{кр}}$ и $\lambda_{\text{кр}}$.

Полученные линии делят всю плоскость $\text{tg } \lambda - \text{tg } \gamma$ на четыре части с общей вершиной в точке M. Каждая из линий соответствует определенному касанию заготовки и передней поверхности реза в одной из точек S, T, U, V.

В результате обработки исходных данных для возможных девяти вариантов первоначального контакта режущей части инструмента с обрабатываемой поверхностью получено графическое изображение диаграммы выбора геометрии режущей части инструмента из композита для точения конструктивно сложных поверхностей деталей (рис. 6).

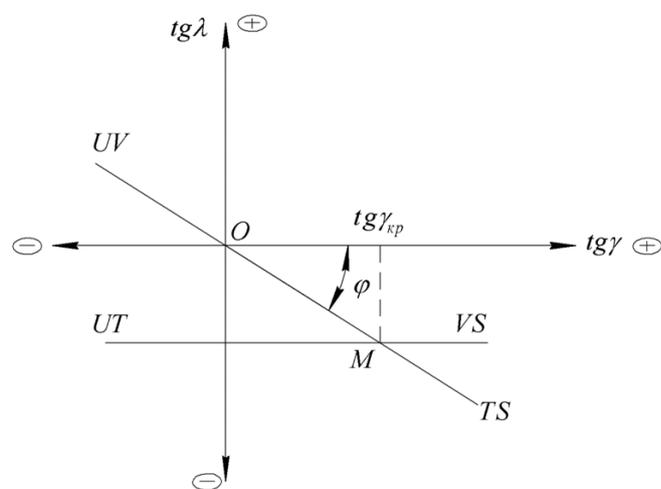


Рис. 5. Схема расположения критических углов касания режущей части инструмента и обрабатываемой поверхности

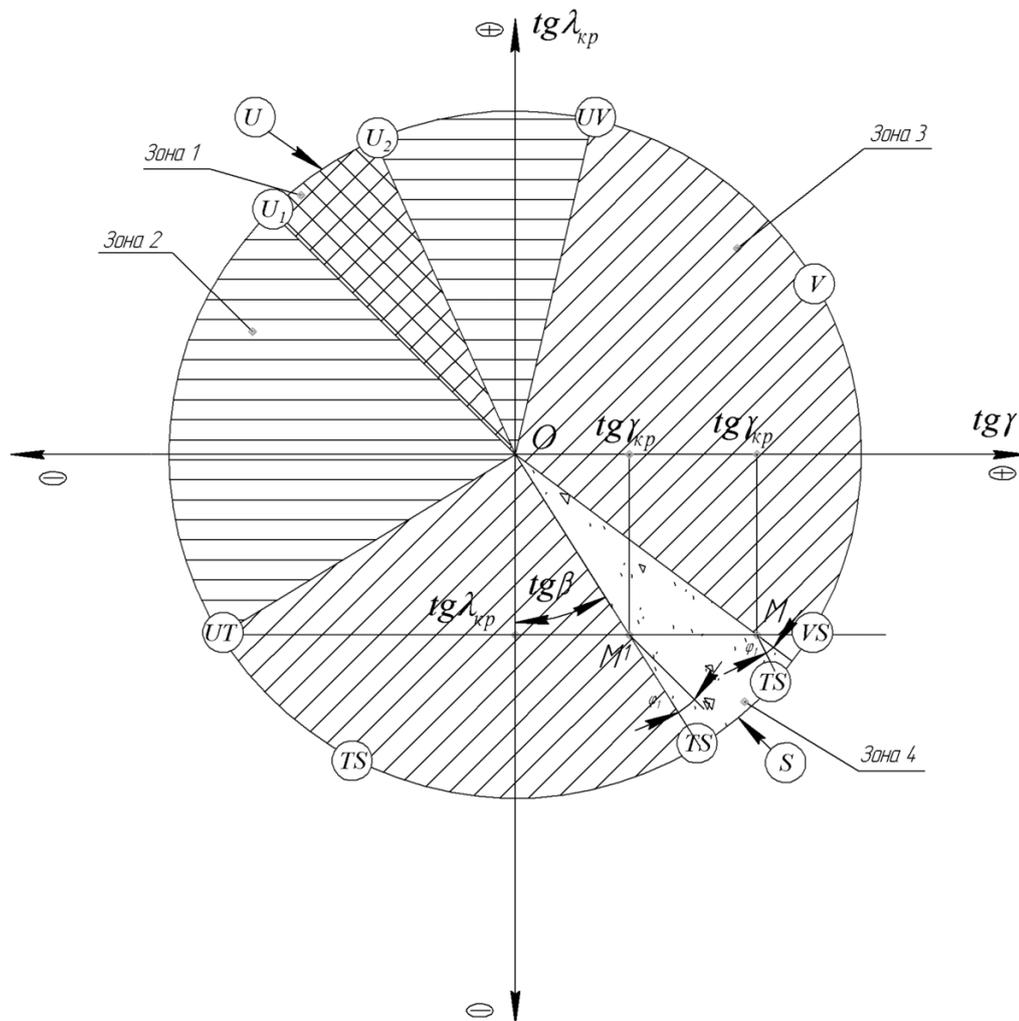


Рис. 6. Диаграмма выбора геометрии режущей части инструмента:

зона 1 – оптимальные условия резания (контакт U , $STUV$); зона 2 – хорошие условия резания (контакт U_1-UT , U_2-UV); зона 3 – удовлетворительные условия резания (контакт $UV-VS$, $UT-TS$); зона 4 – неблагоприятные условия резания (контакт $TS-VS$)

Аналитическое решение проблемы обеспечения оптимального контакта режущей части резца с обрабатываемой поверхностью заготовки, представляющей сочетание металлической основы и пластмассы, позволило установить зависимости положения инструмента в процессе точения и рабочими углами резания, как предпосылку нахождения оптимальной геометрии режущей части резца.

Оптимальные условия резания имеют место в случае выбора переднего угла и угла наклона главной режущей кромки резца в зоне 1 при контакте всей передней поверхностью инструмента $STUV$ с поверхностью заготовки в точках U между ограничительными линиями $U_1 - U_2$. Этому условию соответствует конструкция инструмента с геометрией режущей части: отрицательные

значения переднего угла и положительные значения угла наклона режущей кромки.

Все другие условия ухудшают работоспособность инструмента, а в зоне 4 (условия контакта $TS - SV$) процесс точения невозможен из-за разрушения режущей части резца, рис. 6.

Список литературы

1. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. – Чита: ЧитГУ, 2002. – Том 1. – 257 с.
2. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. – Чита: ЧитГУ, 2002. – Том 2. – 290 с.
3. Кудряшов Е.А. Технологические особенности лезвийной обработки комбинированных поверхностей деталей композитами // Обработка металлов. – Новосибирск. – 2002. – № 1(14). – С. 26–228.



4. Кудряшов Е.А. Технология лезвийной обработки деталей повышенной конструктивной сложности //Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения. Технология – 2003. Материалы Международной научно-технической конференции, Орел, 25-27 сентября 2003; – ОрГТУ. – Орел, 2003. – С. 209–213.

5. Кудряшов Е.А. Обработка деталей из разнородных конструкционных материалов инструментом из композитов //Станки и инструменты. СТИН. – 2008. – № 12. – С. 26-28.

6. Кудряшов Е.А., Емельянов С.Г., Локтионова О.Г. Обработка пакетов из разнородных материалов инструментом из композитов //Труды Арсеньевского технологического института (филиала) ДВГТУ. – Арсеньев: АрТИ ДВГТУ, 2009. – Вып. 2. – С. 12–17.

7. Кудряшов Е.А. Зависимость качества обработки от геометрии и условий контакта резца с конструктивно-сложной поверхностью заготовки // Известия КурскГТУ. – 2010. – № 2(31). – С. 77–82.

8. Кудряшов Е.А. Эффективность инструментального материала композит 10 при обработке конструктивно сложных поверхностей деталей машин //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Научный журнал. – Иркутск: ИРГУПС, 2010. – № 2(26). – С. 245–247.

9. Кудряшов Е.А. Эффективная работа инструмента из композита в условиях прерывистого резания //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел, Гос. университет – УНПК, 2011. – № 6(290). – С. 79–84.

Turning structurally complex surfaces of the parts of a composite tool

E.A. Kudryashov

In this article contains the results of scientific - research works for definition of efficiency of the tools of superhard materials of the processing of structurally complex surfaces of parts of machine-building application.

Key words: technological process, the operation of the making, cutters, composite, complex machined surface, quality, accuracy and effectively.