

Л.П. Калафатова докт. техн. наук Донецк, Украина, Поезд С.А. Донецк,
Украина

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.

The articles formed layer increased imperfection is the glass based materials mechanical treatment characteristics. The imperfection degree, which depends on the cutting forces level, can be a treatment technology processes design efficiency criterion. Grinding process force characteristics can be defined by the surface-active technological medium.

Введение. Постановка проблемы. Обработка резанием – доминирующий метод формообразования деталей в машиностроении, эффективность которого в значительной мере определяется применением смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). Процесс шлифования отличается высокой интенсивностью теплообразования, и расход СОТС при шлифовании, как правило, больше, чем при аналогичных по производительности методах лезвийной обработки – протягивании, фрезеровании и др.

Производительность при обработке зависит от интенсивности процесса резания, количества инструментов, одновременно обрабатывающих деталь, от уровня механизации и автоматизации вспомогательных трудовых процессов при работе на станках. Интенсивность резания определяется режимами резания, которые обусловлены определенным комплексом технологических свойств обрабатываемых материалов (ОМ). На обрабатываемость материалов в первую очередь влияют такие свойства ОМ как прочность, теплофизические характеристики, химические и физические свойства. Однако свойства материалов, проявляющиеся в обычных условиях испытаний, в условиях резания будут существенно иными. Так, обрабатываемость резанием зависит от материала режущего инструмента, а так же от среды резания - как естественной, так и искусственной, такой как СОТС.

Очевидно, что не имеют реального смысла такие понятия, как обрабатываемость материалов резанием, режущие свойства инструмента, технологические свойства СОТС, если трактовать их как свойства, присущие собственно обрабатываемому материалу, материалу инструмента или собственно СОТС. Всегда в равной мере решающими оказываются как свойства материала заготовки, инструмента, СОТС, так и процессы, происходящие при их взаимодействии [1].

Стружкообразование, износ режущего инструмента и создание новой

поверхности на заготовке совершаются одновременно и весьма тесно взаимосвязаны, что видно из рисунка 1. Они в совокупности составляют некоторую целостность, которая, как и всякая целостность, характеризуется взаимной связанностью частей ее составляющих, и может быть представлена не в виде линейного ряда, а в виде замкнутого круга, внутри которого все элементы обуславливают друг друга.

Указанную целостность можно назвать системой резания. Система резания является подсистемой замкнутой динамической системы станка [2].

На каждый из параметров функционирования системы резания, а, следовательно, и на обрабатываемость резанием, режущие свойства материала обрабатываемого инструмента и технологические свойства СОТС в большей или меньшей степени влияют все переменные факторы состояния системы. Параметры функционирования системы зависят также от последовательности изменения во времени предыдущих ее состояний, иначе говоря — от времени резания данным инструментом и от того, каким это резание являлось (непрерывным, прерывистым, с ударной нагрузкой или без нее и пр.). Общую математическую модель системы резания (рисунок 2) можно представить [2] как совокупность n уравнений от $(i+1)$ переменных

$$y_j = \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_i, \tau),$$

где $j=1, 2, \dots, n$; n – число учитываемых параметров функционирования системы; i – число учитываемых переменных факторов состояния системы; τ – время резания данным инструментом.

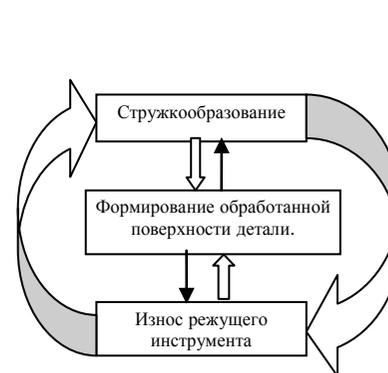


Рисунок 1 Схема системы резания [2]

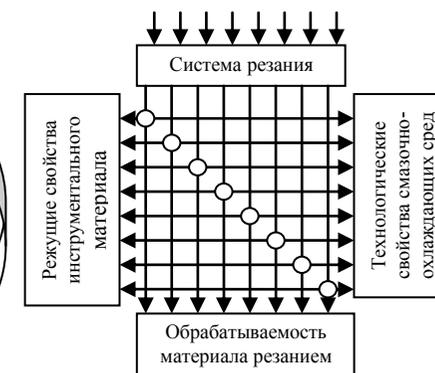


Рисунок 2 Схема взаимосвязи переменных факторов [2]

Большинство исследований воздействия СОТС на процессы резания связаны с обработкой металлов. Однако в настоящее время в мире

наблюдается тенденция увеличения производства изделий из хрупких неметаллических и композиционных материалов, которые обладают комплексом требуемых свойств, и в сравнении с металлами имеют преимущества по жаростойкости, износостойкости, коррозионной стойкости, невосприимчивости к воздействию агрессивных сред. Однако, для надежного использования хрупких неметаллических материалов (ХНМ) в качестве деталей машин, ответственных конструкций, и др. эти изделия должны отвечать необходимым требованиям по точности размеров и качеству поверхности, прежде всего ее дефектности, достигаемых при механической обработке. До сих пор единственным эффективным методом обработки ХНМ является алмазное шлифование. До настоящего времени степень воздействия СОТС на процессы шлифования ХНМ изучена недостаточно, что может служить резервом в повышении эффективности механической обработки неметаллов.

Цель этой статьи – рассмотреть и оценить степень влияния СОТС на процессы механической обработки ХНМ шлифованием в сравнении с ролью СОТС при обработке металлов как наиболее исследованной в этом направлении отрасли.

Основные материалы исследований. Особенности механизмов влияния СОТС на эффективность алмазного шлифования хрупких неметаллических материалов. Процессы обработки металлов резанием характеризуются исключительным многообразием условий, обусловленных обширной номенклатурой обрабатываемых и инструментальных материалов, спецификой конкретных операций, характером и масштабами производства. Это предполагает необходимость широкого ассортимента СОТС и изучения механизмов их эффективного воздействия на процесс шлифования.

Современные СОТС — это сложные многокомпонентные системы, причем большое значение имеет не только их состав, но и качество компонентов. Наиболее распространенными группами СОТС, используемыми при механической обработке металлов, являются масляные жидкости, водные эмульсии минеральных масел и синтетические СОТС на водной основе, включающие добавки в виде разнообразных ПАВ. В отдельных случаях в качестве СОТС используют также консистентные смазки или пасты с графитом, дисульфидом молибдена и другими наполнителями.

При шлифовании металлов на СОТС в основном возложены охлаждающая и смазывающая функции [1]. В процессе шлифования образуется высокодисперсный шлам, который трудно поддается утилизации из-за наличия в нем абразива, металлической стружки, масла, парафина, воды и др. веществ, мешающих отделению металлической фракции от неметаллической, возникают проблемы с точки зрения экологии. В настоящее время прослеживается тенденция к отказу от применения СОТС при

обработке металлов [3, 4] за счет реализации так называемого высокоскоростного шлифования «всухую».

При шлифовании ХНМ физика процесса разрушения материала припуска имеет свои существенные особенности, что связано с физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов, прежде всего с их повышенной хрупкостью и повышенной дефектностью, сопровождающей силовое воздействие инструмента на формируемую поверхность при резании. В этом случае основная цель применения СОТС – снижение абсолютного значения величины силы резания при обеспечении интенсивного диспергирования обрабатываемого материала, что в значительной мере достигается за счет диспергирующего воздействия среды на ОМ.

Классический подход при анализе действия среды на разрушение поверхности твердых тел основан на многочисленных исследованиях П. А. Ребиндера и его последователей. Обнаруженный ими эффект адсорбционного понижения прочности и облегчения деформации твердых тел в присутствии поверхностно-активных СОТС имеет особенно важное значение в процессах алмазно-абразивной обработки материалов. При реализации этих процессов возникающее напряженное состояние охватывает тонкие поверхностные слои твердого тела, прежде всего обрабатываемой детали, что благоприятствует проявлению эффекта адсорбционного понижения прочности ОМ под действием среды, то есть усиленного поверхностного диспергирования, что выражается в интенсивности съема материала. Основная причина разрушающего действия жидкости заключается в проникновении тончайших ее пленок на уровне слоев молекул в деформированный материал, и разупрочнении его поверхностного слоя. При этом мельчайшими каналами, по которым проходит жидкость, являются микротрещины, присущие как исходной структуре самого обрабатываемого материала, так и возникающие при обработке.

Наличие этого эффекта при шлифовании сопровождается снижением обеих составляющих силы резания: как тангенциальной составляющей P_z , ответственной за интенсивность удаления материала припуска, так и радиальной составляющей P_y , влияющей на уровень силового воздействия на обрабатываемую поверхность и приводящей к развитию дефектного слоя. При прочих равных условиях эти силовые параметры зависят от значения удельной поверхностной энергии твердого тела или от величины его свободной поверхностной энергии γ_m при образовании новых поверхностей [5].

При хрупком разрушении свободная поверхностная энергия определяет работу A_0 , затрачиваемую на диспергирование ОМ, то есть $A_0 = A_0(\gamma_m)$. Причем резкому уменьшению его поверхностной энергии отвечает еще более резкое падение работы образования свободной поверхности. Согласно

соотношению Гриффитса, связь между прочностью p_c и работой на диспергирование A_0 ХНМ аппроксимируется зависимостью $p_c \approx A_0^{1/2}$. Так как A_0 может быть отождествлена с γ_m , то правомочно следующее соотношение $p_c \approx (\gamma_m)^{1/2}$. Как известно [5], введение в зону диспергирования твердого тела поверхностно-активных сред приводит к снижению его удельной свободной поверхностной энергии γ_m за счет адсорбционных взаимодействий атомов среды и деформируемого тела, происходящих на формируемой поверхности, то есть, к соответствующему изменению его прочностных свойств. Это позволяет уменьшить энергоемкость процесса резания и интенсифицировать режимы обработки, повысив тем самым ее производительность.

Однако также известно [5], что этот эффект проявляется при соблюдении ряда условий, основными из которых являются: родственность химического состава и строения тела и СОТС; особенности реальной структуры твердого тела (его исходной дефектности); условий деформирования. Химический состав твердого тела определяет характер взаимодействия между атомами (ионами, молекулами) на межфазной границе со средой, от которого зависит принципиальная возможность ее влияния на прочность твердого тела. При этом характер межатомных взаимодействий проявляется в большем или меньшем изменении поверхностной энергии на межфазной границе, что возможно при определенном «родстве» граничащих фаз. Для большинства ХНМ с типично гидрофильной поверхностью (то есть, ярко выраженной полярностью) наибольшее понижение поверхностной энергии, а, следовательно, и прочности, происходит при контакте с наиболее полярной жидкостью – водой или водными растворами ПАВ [6], обладающими высокой полярностью.

Исходя из положений теории П.А. Ребиндера, можно сформулировать требования к физико-механическим свойствам сред, применяемых с целью интенсификации процессов механической обработки большинства ХНМ, особенно на основе стекла. СОТС должны быть полярными; обладать высокой скоростью растекания, соизмеримой со скоростью образования микросколов при резании, для чего они должны иметь низкое поверхностное натяжение, высокое значение движущей силы растекания и малую вязкость. Теоретический анализ основ разрушения хрупких материалов показал [7], что одним из наиболее важных функциональных свойств СОТС, положительно влияющих на выходные параметры технологического процесса их обработки, является повышенная диспергирующая способность сред.

При черновой обработке ХНМ образование стружки, в отличие от шлифования большинства металлов, происходит вследствие хрупкого разрушения материала. Схема разрушения следующая [8]: при нагружении

сначала возникают мелкие радиальные трещины в обрабатываемом слое, потом – так называемые срединные трещины, симметричные относительно оси нагрузки. При увеличении нагрузки они сливаются с радиальными трещинами. И, в конце концов, на некоторой глубине от формируемой поверхности образуются боковые горизонтальные трещины, которые распространяются почти параллельно обрабатываемой поверхности. При этом за счет наличия некоторой микропластической деформации боковые горизонтальные трещины в основном растут после снятия нагрузки под действием остаточных напряжений. Именно за счет движения и слияния этих трещин происходит удаление материала при абразивной обработке.

При черновой обработке вследствие снятия больших припусков и увеличения сил и температур в зоне шлифования, велика вероятность образования глубинных трещин, направленных внутрь обрабатываемого материала. Следствие – брак обрабатываемой детали.

Снижение сил резания, происходящее за счет облегчения диспергирования обрабатываемого материала в присутствии СОТС, сопровождается уменьшением тепловыделения в зоне контакта алмазных зерен с обрабатываемой деталью, что является крайне важным с точки зрения уменьшения скорости износа алмазов.

Как известно, алмаз является уникальным абразивным материалом, превосходящим во много раз по своей твердости другие абразивы. Однако при высокой твердости и абразивной способности алмаза он отличается сравнительно низкой теплостойкостью, графитизируясь при температуре 1000°C и окисляясь на воздухе при температуре 700°C . Его износ в инструменте обычно связывают с поверхностным окислением и графитизацией в результате реакции между моноокисью углерода и сложной поверхностной окисью с образованием углекислого газа и углерода. Показано [9], что температура, обеспечивающая протекание этой реакции (800°C), может возникать в точках соприкосновения стекло—алмаз при шлифовании стекла. Отсюда вытекает ряд следующих важных требований к СОТС, связанных с обеспечением эффективного отвода тепла из зоны резания и обладания повышенной смазочной способностью. Последнее свойство достигается за счет образования на контактирующих поверхностях граничных пленок с малым сопротивлением на сдвиг, что снижает трение между связкой, алмазными зернами и обрабатываемой поверхностью, облегчая работу абразивных зерен. Смазка и повышенный теплоотвод важны не только с точки зрения уменьшения скорости износа алмаза, но и как средства снижения термических напряжений в поверхностном слое обрабатываемого материала, которые могут приводить к появлению в нем дополнительных дефектов.

Специфическим требованием к СОТС, работающим в условиях шлифования с применением закрепленного в матрице алмазного порошка,

является обеспечение их активного взаимодействия со связкой инструмента. Этот процесс, приводящий к образованию вторичных структур, активирует или замедляет износ алмазного инструмента, оказывает влияние на адгезию частиц диспергированного ХНМ к поверхности связки.

В результате проведения ряда экспериментов по изучению влияния поверхностно-активных СОТС на характеристики процесса обработки, были получены следующие результаты.

Применение СОТС, обладающих повышенными диспергирующими свойствами, благотворно сказывается на качестве обработанной поверхности. На рисунке 3 представлены микрофотографии дефектности образцов технического стекла на глубине залегания 80 мкм [7], обработанных по схеме упругого торцового шлифования кругом АС6 зернистости 125/100 при давлении $p = 0,4$ МПа в испытываемых средах: а) – вода; б) - водный раствор синтетических моющих средств, являющихся активными ПАВ. Применение сред с добавками ПАВ аналогичного класса обеспечивает их повышенное воздействие на материал удаляемого припуска, снижает энергоемкость процесса резания, улучшает качество обработки. Среды на их основе отличает простота изготовления, гигиеничность, дешевизна.

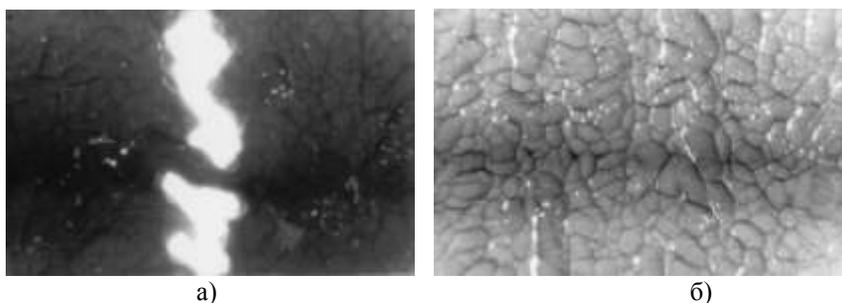


Рисунок 3 Влияние поверхностно-активных СОТС на дефектность обработанной поверхности: а) применение в качестве СОТС воды; б) применение синтезированной полярной среды, обладающей повышенной диспергирующей способностью. Увеличение в 75 раз

Поверхностно-активные среды по сравнению с менее активной водой уменьшают усилия резания до 40% на операциях предварительного формообразования изделий из технического стекла, что позволяет существенно повысить эффективность процесса шлифования. За счет этого облегчается работа инструмента, повышается производительность обработки, снижается уровень дефектности. Обобщенные результаты эксперимента приведены на рисунке 4. Из представленных данных следует, что поверхностно-активные СОТС повышают производительность обработки на

30% (см. рисунок 4, а) снижают расходы алмазного инструмента на 20% (см. рисунок 4, б) и глубину дефектного слоя на 30% (см. рисунок 4, в).

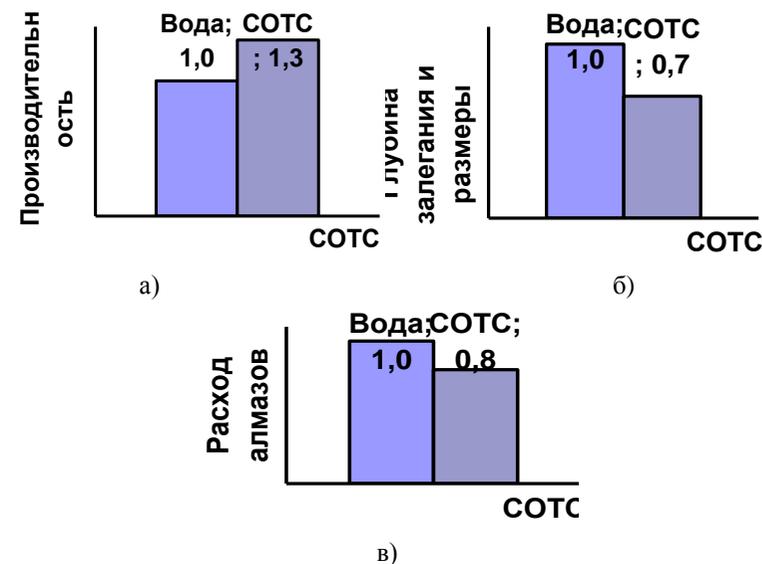


Рисунок 4 Эффективность применения поверхностно-активных СОТС

Охлаждающее действие СОТС также оказывает существенное положительное воздействие на процесс шлифования. Однако влияние сред на температуру в зоне обработки ХНМ исследовано недостаточно. По данным работ Хрулькова В. А. [9] при плоском чистовом шлифовании керамики (глубина резания t не более 0,125 мм) применение СОТС снижает температуру в среднем на 2—10% по сравнению с обработкой всухую. С увеличением скорости продольной подачи s_{np} влияние СОТС более значительно, обеспечивая снижение температуры на 20—22%.

Однако, как показали наши исследования, при черновом шлифовании стеклокристаллической керамики - ситалла (глубина резания $t=(0,1 - 0,4)$ мм.) с применением СОТС (вода) температура в зоне контакта уменьшается на 60-70% (рисунок 5).

Полученные зависимости температуры от режимов обработки имеют следующий вид. При обработке с охлаждением

$$\theta = 79,4 \cdot t^{0,44} \cdot s_{np}^{0,28} \cdot v_k^{0,33};$$

при обработке «всухую»

$$\theta = 1,3 \cdot t^{0,26} \cdot s_{np}^{0,55} \cdot v_k^{1,7}.$$

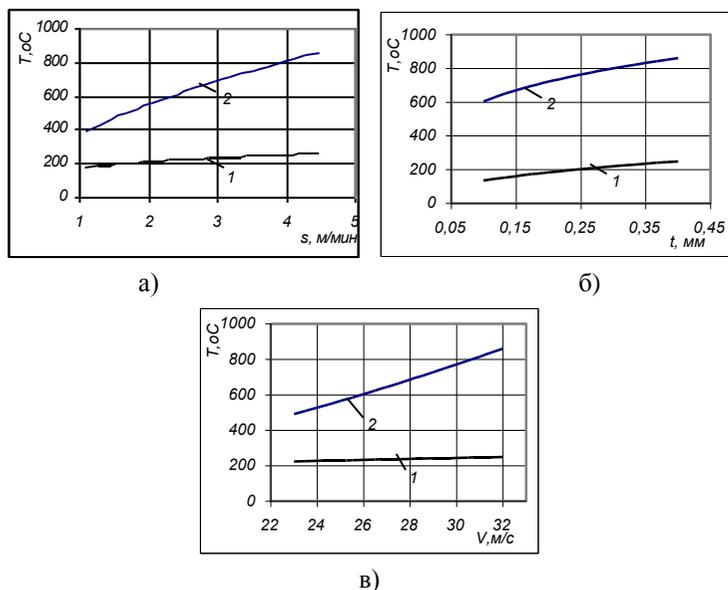


Рисунок 5 Зависимость температуры от параметров режима обработки при плоском шлифовании ситалла кругом АС6 - 125/100 -4 – М2-01 с охлаждением (1) и «всухую» (2). Режимы обработки: а) - $v_k=23$ м/с, $t=0,4$ мм; б) - $v_k=23$ м/с, $s_{np}=4,47$ м/мин; в) - $s_{np}=4,47$ м/мин, $t=0,4$ мм

Полученные данные позволяют заключить следующее. Шлифование с охлаждением происходит приблизительно при одинаковой температуре в зоне резания во всем диапазоне варьирования каждого из трех параметров режима обработки (см. рисунок 5, а-в). Величина температуры находится в пределах $T^0 = 180 - 220^0$ С. Причем увеличение глубины резания при работе с охлаждением в большей степени влияет на повышение температуры в зоне обработки, чем увеличение подачи (см. рисунок 5, а, б). По данным экспериментов (см. рисунок 5, в) увеличение скорости резания при использовании СОТС практически не сказывается на изменении температуры шлифования. Это позволяет сделать вывод, что лучшим способом повышения производительности за счет интенсификации режима шлифования при обработке с охлаждением является увеличение подачи.

Шлифование «всухую» сопровождается резким ростом температуры в зоне обработки при увеличении каждого из трех параметров режима. Так по сравнению с обработкой с охлаждением увеличение параметров режима сопровождается увеличением температуры во всем диапазоне их изменения. Изменения: подачи ($s_{np} = 1,1$ м/мин– 4,47 м/мин) увеличивает температуру в 2 – 4,5 раза; глубины резания ($t = 0,1$ мм - 0,4 мм) – в 3 – 4,25 раза; скорости

шлифования ($v_k = 23$ м/с – 32 м/с)– в 2,5 – 4,5 раза. То есть, рост подачи сопровождается более интенсивным увеличением температуры резания по сравнению с глубиной и скоростью резания. Использование охлаждения оказывает большое влияние на стабилизацию температуры в зоне обработки при высоких (v_k до 32 м/с) скоростях резания (см. рисунок 5, в), снижая ее до 4,5 раза, что опровергает теорию о возможности обработки ХНМ «всухую». Стабилизация температуры в зоне обработки положительно скажется на дефектности формируемой поверхности.

Таким образом, можно заключить, что для обработки ХНМ, в частности технических стекол и ситаллов, в качестве СОТС наиболее рационально использовать воду и водные растворы ПАВ, например, входящих в состав синтетических моющих средств, что не приносит существенного урона экологии, незначительно влияет на себестоимость продукции и не усложняет утилизацию отходов обработки. При наиболее используемом при шлифовании диапазоне скоростей резания (v_k до 35 м/с) наличие СОТС в зоне обработки оказывает существенное благоприятное воздействие на процесс шлифования, снижая температуру обработки до 4,5 раз.

Выводы. СОТС – необходимая составляющая процесса абразивной обработки ХНМ. Применение поверхностно-активных по отношению к ОМ сред за счет адсорбционного снижения прочности ОМ снижают уровень сил, необходимых для диспергирования поверхностного слоя изделий. Это способствует повышению производительности обработки, улучшению условий эксплуатации инструмента и снижению его износа, а также снижая уровень дефектности в формируемой поверхности. Кроме того, водные СОТС существенно снижают уровень температур в зоне резания по сравнению с обработкой «всухую» (максимально от 900^0 С до 220^0 С), что также существенно улучшает условия и качество обработки.

Список литературы 1 Худобин Л. В. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании - М.: Машиностроение, 1971. -213 с. 2. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием/ Под ред. М. И. Клушина.– М.: Машиностроение, 1979.–192 с. 3. Харцбекер К., Старков В. К., Овчинников Д. С. Высокоскоростное шлифование закаленных сталей без охлаждения//Вестник машиностроения. – 2002, №9. – С. 43-50. 4. Разработка экологически дружественной системы резания /О.Ю. Хаустанова, А.К. Кирилов, Е.Е. Прокофьев// Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - Вып.70. - С.478-495. 5. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. - М.: Наука, 1979. - 124 с. 6. Калафатова Л.П. Технологические среды как фактор повышения эффективности обработки хрупких неметаллических материалов // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. Сб. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. – Вып. 64. – С. 119-126. 7. Калафатова Л. П. Технологические основы повышения эффективности обработки и обеспечения качества изделий из технических стекол и ситаллов: Дис...докт. техн. наук:05.02.08. – Донецк, 2002. – 356 с. 8. Дроздов Ю.Н. Узлы трения из технической керамики// Вестник машиностроения. – 2003, №11. – С. 23-28. 9. Хрульков В. А., Головань А. Я., Федотов А. И. Алмазные инструменты в прецизионном машиностроении.- М: Машиностроение, 1977. – 223 с.