

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ СИТАЛЛОВ НА ДЕФЕКТНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ**Гусев В.В., Калафатова Л.П., Молчанов А.Д., Поколенко Д.В.***(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Изделия из хрупких неметаллических материалов, в частности, из технических ситаллов в силу их высоких эксплуатационных свойств (высокие прочность на сжатие, термостойкость, возможность работы в агрессивных средах, радиопрозрачность и др.) находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства – энергомашиностроении, ядерной и космической технике, самолето- и приборостроении.

При механической обработке (алмазном шлифовании) изделий из комбинированно-дефектных ситаллов, в первую очередь, на предварительных этапах формообразования, образуется дефектный поверхностный слой, отрицательно влияющий на эксплуатационные характеристики изделий. Сведение к минимуму величины этого слоя определяет степень эффективности их обработки и возможность надежной эксплуатации в сложных условиях.

Выполненными теоретическими и экспериментальными исследованиями [1, 2] подтверждена зависимость интенсивности развития дефектного слоя при обработке технических ситаллов и других хрупких неметаллических материалов от уровня напряженно-деформированного состояния зоны резания, определяемого степенью силового воздействия на обрабатываемый материал при его диспергировании, то есть энергоемкостью процесса резания. В свою очередь энергоемкость определяется двумя категориями факторов: физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов (прочностью, твердостью, хрупкостью, исходной дефектностью, видом и особенностями предшествующей обработки); технологическими параметрами и особенностями процесса обработки. Среди последних обычно учитываются режимы и схемы обработки [2], технологические и конструкционные особенности инструмента, его режущие характеристики [1, 3], тип и поверхностная активность по отношению к обрабатываемому материалу используемых смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) [1, 2].

Однако до настоящего времени практически не исследовано влияние температурного фактора на формирование и развитие дефектного слоя ситаллов, хотя известно, что в процессе обработки абразивным инструментом напряжения при резании $\sigma_{рез}$ не остаются постоянными, а зависят от условий контакта абразивных зерен с обрабатываемым материалом (ОМ). В общем случае

$$\sigma_{рез} = \sigma_a + \sigma_\theta, \quad (1)$$

где σ_a – напряжения, возникающие от сил резания; σ_θ – напряжения, возникающие от изменения температур в поверхностном слое (термоупругие напряжения).

По данным работы [4] развитие трещин - дефектов в обрабатываемом материале при шлифовании определяется уровнем термоупругих напряжений, которые, в свою

очередь, зависят от предельной величины теплового потока, определяемой, согласно [5], зависимостью

$$q_2 = \frac{2\sqrt{3/\pi} \frac{K_c}{\alpha_t E}}{l^{3/2} |\sin \alpha|}, \quad (2)$$

где α_t – коэффициент линейного температурного расширения исследуемого материала; K_c – константа, характеризующая сопротивление материала развитию трещины; E – модуль Юнга ОМ; α и l – соответственно угол ориентации и длина исходной трещины – дефекта.

Исходя из представленной зависимости, q_2 в значительной степени определяется величиной α_t , возрастая с его уменьшением. Для ситаллов величина α_t в 8 - 10 раз меньше, чем для металлов. Поэтому для того, чтобы тепловой поток при их шлифовании превысил предельный уровень, необходим весьма высокий градиент температур в зоне резания.

По данным работы [6] максимальная температура в зоне взаимодействия круга с обрабатываемой поверхностью при нормальных условиях протекания процесса не превышает 450-500⁰ С. К тому же, как следует из работы [7], ситаллы, благодаря их специфическим теплофизическим свойствам, выдерживают уровень температур, достигающих 900 - 1000⁰ С в условиях кратковременного высокотемпературного неравномерного нагрева (что, соответствует условиям процесса абразивной обработки), поскольку для этих материалов характерна высокая тепловая инерция, которая обусловлена их низкой теплопроводностью.

В связи со сказанным, большинство исследователей напряжениями, обусловленными изменением температур в поверхностном слое изделия, пренебрегают, условно считая, что $\sigma_{рез} = \sigma_a$. При этом истинное соотношение между двумя видами напряжений не установлено. Поэтому экспериментальное определение влияния уровня температур в зоне резания на качественные характеристики формируемого при шлифовании поверхностного слоя изделий представляет значительный теоретический и практический интерес.

Исходя из изложенного, целью настоящей статьи является установление степени влияния температурного фактора на силы резания и дефектность обработанной поверхности комбинированно-дефектных ситаллов при алмазном шлифовании.

Учитывая, что нормализация температурного режима при шлифовании ситаллов зависит преимущественно от физико-химических свойств используемых при шлифовании СОТС и от количества, в котором они подаются в зону резания, на данном этапе исследований определялась возможность принципиального изменения условий обработки по уровню температур. Рассматривались варианты шлифования с одними и теми же режимами в условиях применения СОТС (шлифование с охлаждением) и при шлифовании всухую (без охлаждения).

Обработке подвергались образцы из технического комбинированно-дефектного ситалла АС-418 по схеме встречного врезного плоского шлифования периферией круга, оснащенного алмазами АС6 зернистости 125/100 со связкой М2-01. Диапазон изменения режимов шлифования: скорость вращения круга $v_k = 24 \dots 34$ м/с; скорость

перемещения детали (подача) $v_d = 1,1 \dots 6$ м/мин; глубина резания $t = 0,1 \dots 0,4$ мм. Используемая СОТС – вода. Каждая новая серия экспериментов, отличающаяся параметрами режима, осуществлялась правленным кругом. Для этой цели использовался электроэрозионный метод правки.

В результате экспериментов были получены следующие зависимости нормальной (P_y) и тангенциальной (P_z) составляющих сил резания от параметров режима при шлифовании в среде воды - с охлаждением

$$P_y = 49 t^{0,6} v_d^{0,33} v_k^{-0,37};$$
$$P_z = 9 t^{0,5} v_d^{0,31} v_k^{-0,34}.$$

Для наиболее неблагоприятного с точки зрения уровня сил режима шлифования ($v_k = 24$ м/с; $v_d = 6$ м/мин; $t = 0,4$ мм) были определены составляющие усилия резания при обработке с охлаждением и без охлаждения. При этом получены следующие результаты. Значения сил в условиях работы с охлаждением составили: $P_y = 20,6$ Н; $P_z = 3,2$ Н; без охлаждения: $P_y = 22,2$ Н; $P_z = 3,9$ Н. Погрешность измерений не превышала $\pm 5\%$. Как следует из полученных данных, использование СОТС, снижающей температуру в зоне обработки, обеспечивает уменьшение усилий резания, в среднем, на 20%. Это должно положительным образом сказаться на параметрах дефектного, нарушенного обработкой слоя, что и было проверено на образцах, шлифованных в соответствующих условиях.

Для оценки дефектности нарушенного обработкой слоя использовался метод люминесцентной дефектоскопии в сочетании с послойным химическим травлением шлифованных образцов на разных уровнях, вплоть до выхода на поверхность, не поврежденную обработкой [8]. При этом на каждом уровне травления осуществлялось фотографирование поверхности образцов цифровым фотоаппаратом Olympus C-3040 Zoom (разрешение CCD – 3,34 млн. пикселей, максимальное разрешение снимков 2048x1536 пикселей). Применение цифровой фотографии позволило производить обсчет параметров дефектности с использованием персонального компьютера. Обработка полученных результатов и их анализ производились в универсальной математической среде MathCAD 2001i. Для этого была разработана специальная программа, позволяющая определять линейные и угловые размеры дефектов и их поверхностную плотность. Поверхностная плотность дефектов (в процентах) оценивалась как отношение площади, занятой дефектами, обусловленными обработкой, к величине общей площади исследуемой фотографии.

Визуальный анализ и обсчет микрофотографий дефектных поверхностей ситалла на различных уровнях травления позволил выявить следующие основные закономерности изменения формы и размеров дефектов в зависимости от глубины залегания и условий обработки. Условия обработки, к которым относятся режимы шлифования, применение СОТС, меняют вид дефектов (пятна, трещины), их размеры, плотность, глубину проникновения и распределение по глубине дефектов различных типов (рис. 1, 2).

Известно, что при абразивной обработке хрупких неметаллических материалов, дефекты представляют собой систему трещин, возникающих при динамическом взаимодействии зерен инструмента с обрабатываемым материалом, и распространяющихся в объеме изделия. Таким образом, возникает так называемый дефектный или трещиноватый слой материала, глубиной h_d .

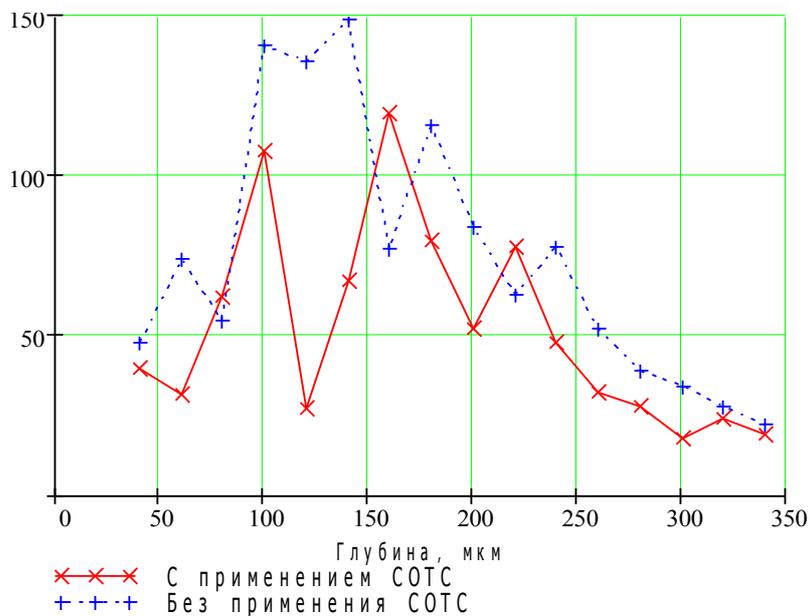


Рис. 1. Изменение максимальной длины дефектов, вызванных обработкой, в зависимости от глубины травления

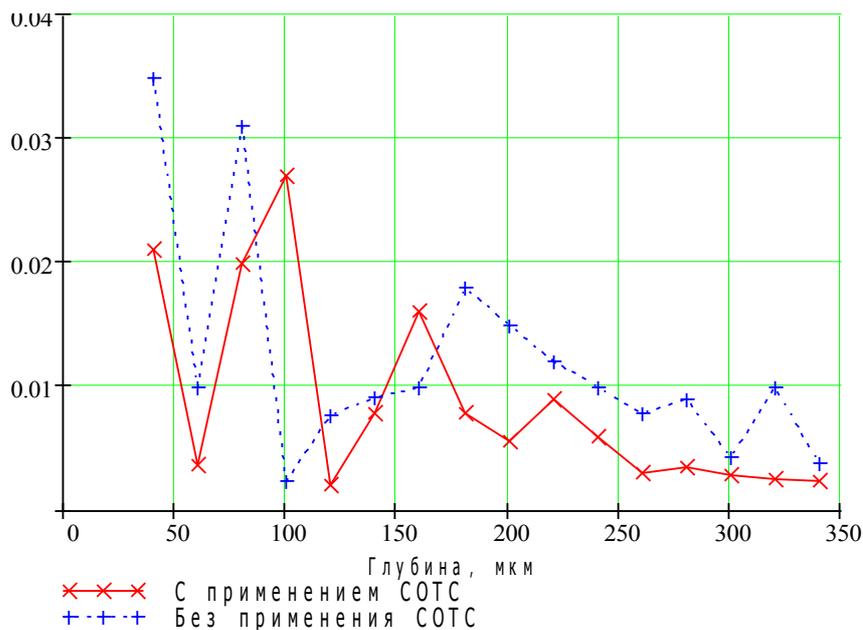


Рис. 2. Вероятность появления дефектов при обработке образцов из ситаллов на различной глубине поверхностного слоя

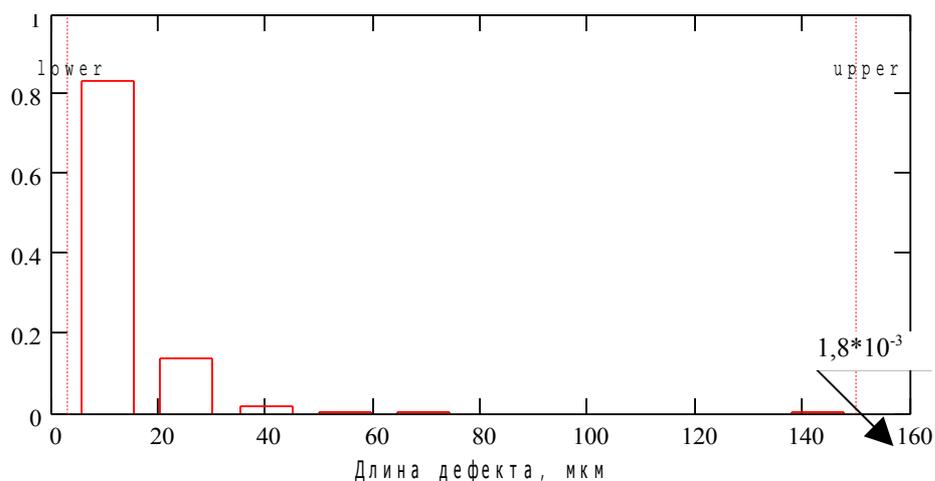
Микрофотографии травленной поверхности образцов, шлифованных в разных условиях, представляют собой фрагменты срезов этого слоя, в которых трещины располагаются различным образом. Можно предположить, что дефекты типа овальных или круглых пятен – это сечения трещин, уходящих в глубь образца в направлении, близком к нормальному по отношению к обрабатываемой поверхности. Чем меньше диаметр этих пятен, чем быстрее уменьшается их размер по мере заглубления от обработанной поверхности, тем менее массивными были возникшие трещины, что соответствует более щадящему режиму обработки. Это отмечено на образцах, шлифованных с малыми значениями подач, глубин, с применением СОТС. Обработка ситалла в осложненных условиях (большие глубины резания, значительные динамические нагрузки, связанные с увеличением подачи или отсутствием охлаждения) приводят к трансформации размеров и направленности развития дефектов. Овальные пятна имеют более протяженные размеры и ориентированы в направлении движения стола с заготовкой, то есть в направлении движения подачи.

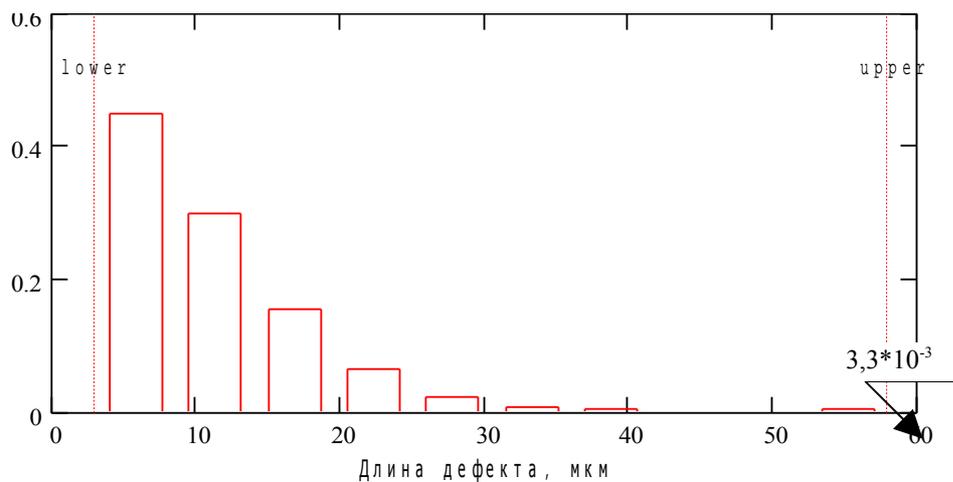
Как следует из полученных результатов, обработка ситалла с использованием СОТС ведет к тому, что размеры дефектов (см. рис. 1) и их поверхностная плотность (см. рис. 2) уменьшаются по сравнению с обработкой без охлаждения. Глубина дефектного слоя в обоих случаях остается постоянной и составляет 300 – 340 мкм. За пределами этого слоя в обрабатываемом материале содержатся только дефекты структуры ситалла, поперечные размеры которых не превышают 10 – 15 мкм. При этом наиболее крупные дефекты, вызванные обработкой, располагаются в диапазоне глубин $h_d = 100 - 150$ мкм и их величина при обработке без охлаждения в 1,3 раза больше, чем при использовании СОТС, а именно 150 мкм против 118 мкм.

Условия обработки, связанные с отсутствием или применением СОТС оказывают влияние и на плотность вероятности распределения дефектов по размерам на разных глубинах (рис. 3). При использовании СОТС гистограмма распределения плотности вероятности появления дефектов, вызванных обработкой, по размерам носит ярко выраженный экспоненциальный характер, то есть с постепенным убыванием плотности вероятности появления дефектов больших размеров, о чем свидетельствуют данные, приведенные на рис. 3,б. Отсутствие СОТС ухудшает условия работы алмазного инструмента. При этом изменяется характер распределения дефектов по размерам, возрастает разброс дефектов по длине при одной и той же глубине травления (см. рис. 3, а), что окажет отрицательное влияние на трудоемкость последующих финишных операций.

Шлифование с использованием СОТС, в рассматриваемом случае – воды, которая помимо охлаждения зоны резания оказывает еще и разупрочняющее действие на диспергируемый материал [1], сопровождается концентрацией более мелких по сравнению с обработкой всухую дефектов в поверхностном слое образца (см. рис. 1). В настоящих исследованиях не разграничено влияние охлаждающей и диспергирующей функций СОТС на процесс резания. Не учтено также отрицательное воздействие обработки без использования СОТС на изменение режущей способности алмазного инструмента, его износ и стойкость, ввиду того, что эксперимент осуществлялся при поддержании режущих характеристик круга на постоянном уровне. Поэтому направление дальнейших исследований предполагает изучение влияния СОТС на изменение температурного режима процесса шлифования ситаллов по сравнению с обработкой без охлаждения, а также на работоспособность алмазного инструмента и, как следствие, на дефектность формируемой поверхности.

Особый интерес представляет также изучение воздействия на рассматриваемые процессы СОТС различных составов, обладающих разным уровнем диспергирующего воздействия на неметаллические материалы типа ситаллов. В совокупности все это позволит выдать практические рекомендации по совершенствованию технологических процессов обработки изделий из технических ситаллов.





б

Рис. 3. Гистограмма распределения плотности вероятности появления дефектов, вызванных обработкой, по размерам в условиях шлифования: а – без использования СОТС; б – при использовании СОТС. Глубина травления поверхностного слоя – 140 мкм.

Список литературы: 1. Калафатова Л.П. Влияние технологической наследственности на эффективность процессов механической обработки стекломатериалов // Справочник. Инженерный журнал. – М.: Машиностроение. – 1997. – № 9. – С. 7-11. 2. Калафатова Л.П. Способы повышения эффективности процессов механической обработки изделий из стекломатериалов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. праць. – Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА). – 2003. – Вип. 12. – С. 218-222. 3. Гусев В.В., Калафатова Л.П. Вплив стану робочої поверхні алмазного інструменту на процес шліфування крихких неметалевих матеріалів // Вісник Житомирського державного технологічного університету: Науковий журнал. – Житомир: ЖДТУ. – 2003. № 2 (26). – С. 49-53. 4. Витвицкий П.М., Попина С.Ю. Прочность и критерии хрупкого разрушения стохастически дефектных тел. – К.: Наук. Думка, 1980. – 186 с. 5. Теплофизика механической обработки: Учеб пособие / А.В. Якимов, П.Т. Слободяник, А.В. Усов. – К.; Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с. 6. Перерозин М.А. Справочник по алмазной обработке стекла. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с. 7. Исаханов Г.В., Журавель А.Е. Прочность армированных пластиков и ситаллов. – М.: Машиностроение, 1981. – 234 с.. 8. Калафатова Л.П. Диагностика дефектности обработанной поверхности технических ситаллов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. начн. Трудов. – Донецк: ДонГТУ. – 1997. – Вып. 4. – С. 66-75.

ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ СИТАЛІВ НА ДЕФЕКТНІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

Гусев В.В., Калафатова Л.П., Молчанов О.Д., Поколенко В.І.

Досліджено вплив температурного фактору (обробка з використанням та без використання технологічного середовища) на сили різання та дефектність поверхневого шару при алмазному шліфуванні технічних ситалів.

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ
СИТАЛЛОВ НА ДЕФЕКТНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Гусев В.В., Калафатова Л.П., Молчанов А.Д., Поколенко Д.В.

Исследовано влияние температурного фактора (обработка с использованием и без использования технологической среды) на силы резания и дефектность поверхностного слоя при алмазном шлифовании технических ситаллов.

INFLUENCE OF THE CHARACTER OF THE GLASS CERAMIC DIAMOND
GRINDING ON THE SURFACE LAYER DEFECTNESS

V.V. Gusev, L.P. Kalafatova, A.D. Molchanov, D.V. Pokolenko

The influence of the temperature factor (dry machining and the technological medium) on cutting forces and defectiveness of the surface layer under the technical glass ceramic diamond grinding is investigated.