

Исследование процессов механической обработки материалов и разработка прогрессивных способов их реализации

УДК 621.923

НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ КЕРАМИКИ

Гусев В.В.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Все более широкое применение конструкционной керамики (КК) и ситаллов в различных областях машиностроения и приборостроения выдвигает как одну из важных проблем – повышение конструкционной прочности изделий из этих материалов [1, 2]. При проектировании изделий из керамики рекомендуется избегать значительных концентраций напряжений и использовать более чем четырехкратные запасы по сравнению с требуемой прочностью при изгибе. Одной из основных причин преждевременного выхода из эксплуатации высоконагруженных деталей из КК является их разрушение, обусловленное повреждаемостью материала при формообразовании. Эксплуатационные свойства керамических деталей сильно зависят от условий их механической обработки. Несмотря на то, что исследования в области создания изделий из керамических материалов продолжаются более 50 лет, при механической обработке изделий из ситаллов, кварцевой керамики и КК возникают проблемы, связанные с достижением требуемого уровня их свойств [3, 4].

Наиболее изучено влияние на эксплуатационные свойства деталей из КК показателей шероховатости их поверхности, которые являются простым и надежным критерием оценки состояния технологического процесса механической обработки и условий эксплуатации. Шероховатость шлифованных поверхностей керамических деталей определяется свойствами обрабатываемого материала, характеристикой алмазного круга, условиями его правки, режимами шлифования и другими факторами. Наиболее изучено влияние режимов резания и характеристики алмазного круга на формирование шероховатости поверхностного слоя изделий из конструкционных неметаллических материалов при шлифовании [5, 6]. Результаты исследований представлены в виде регрессионных зависимостей, полученных при однофакторных или многофакторных экспериментах. Однако полученные экспериментальные исследования не позволяют учесть влияние физико-механических свойств КК на формирование шероховатого слоя изделий.

Наличие дефектного слоя, возникающего в результате механической обработки, оказывает влияние на снижение прочности и термостойкости конструкционных ситаллов в 1,5-1,7 раза [7], конструкционной керамики до 40% [8, 9]. До настоящего времени не сформулированы требования к остаточной обработочной дефектности поверхностного слоя изделий из керамики конструкционного назначения, с учетом структурной дефектности заготовки и эксплуатационных требований к изделиям. Важной задачей при алмазном шлифовании керамики для принятой схемы обработки является выбор характеристики инструмента и режимов резания.

Целью настоящей работы является выбор рациональных режимов резания из условия выполнения эксплуатационных требований, предъявляемым к изделиям из конструкционной керамики, исходя из обеспечения их прочности и параметров микрорельефа поверхностного слоя. В основе выбора параметров процесса обработки

лежат знания о физической природе явлений, протекающих при резании, и их влиянии на формирование поверхностного слоя изделий из керамики. Модели формирования поверхностного слоя необходимо строить с учетом физических закономерностей разрушения припуска, имеющих место при обработке керамики, в зависимости от индекса хрупкости обрабатываемого материала $I = HV/K_{1c}$ (HV – твердость по Виккерсу, K_{1c} – трещиностойкость) и режимов резания (V_K – скорости круга, V_D – скорости заготовки, t – глубины алмазного шлифования и S – подачи круга).

Для выбора режимов резания необходимо иметь набор зависимостей между параметрами, подлежащими определению, и параметрами качества поверхностного слоя изделий из керамики. Рассмотрим выбор режимов шлифования из условия обеспечения эксплуатационных тренировок для двух таких разных изделий как оболочка антенного обтекателя из ситалла АС-418 и корпус сопла гидросбива окалины из спеченного оксида алюминия (Al_2O_3 (Сп)), которые работают в различных условиях.

Разрушение элемента конструкции из КК происходит при достижении в некотором объеме предельного значения энергии упругих деформаций растяжения σ_p . При определении предела прочности σ_p для деталей радиотехнического назначения используют результаты стандартных испытаний на изгиб ($\sigma_p = 0,408\sigma_u$) [10]. Основным показателем, характеризующим несущую способность обтекателя, является коэффициент запаса прочности, равный отношению допустимой прочности на изгиб σ_d материала к максимальному напряжению σ_{max} , возникающему в нем от воздействия на обтекатель тепловых и силовых нагрузок. В случае нормального распределения напряжений при эксплуатации, они характеризуются математическим ожиданием $m(\sigma_{max})$ и среднеквадратическим отклонением $s(\sigma_{max})$. Максимальное напряжение характеризует вероятность безотказной работы по прочности изделия и определяется через функцию Лапласа [10]

$$P(\sigma_{max} < |\sigma_d|) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz, \quad (1)$$

где $z = (|\sigma_d| - m(\sigma_{max})) / s(\sigma_{max})$.

Максимальные напряжения, возникающие в материале в наиболее нагруженном меридиальном направлении оболочки, описываются нормальным распределением с математическим ожиданием 44 МПа и среднеквадратическим отклонением 3 МПа [10]. К микрорельефу поверхностного слоя предъявляются требования по среднему арифметическому отклонению профиля микронеровностей $R_a < 1,25$ мкм.

Внутренняя коническая поверхность корпуса сопла гидросбива окалины, через которую подается под давлением рабочая жидкость, заканчивается на выходе овальным отверстием. Давление рабочей жидкости составляет 10 ± 5 МПа. Оно вызывает напряженно-деформированное состояние в корпусе из керамики. Условия работы корпуса гидросбива окалины, сложность его формы и трудоемкость изготовления делают исключительно трудным и дорогим осуществление натурального эксперимента, особенно если речь идет об установлении предельных (разрушающих) нагрузок на растяжение. Поэтому для исследования напряженно-деформированного состояния корпуса был использован метод конечных элементов, реализованный в программном пакете ANSYS. Конечный элемент для построения сетки был выбран типа “SOLID 95”, который является блоком с 20-ю узлами связи.

Характер распределения напряжений в керамической вставке без учета дефектов представлен на рис. 1. Наиболее нагруженной областью сопла является зона в непосредственной близости от овального выходного отверстия. Максимальные

растягивающие напряжения в этой зоне достигают 40 МПа ($s(\sigma_{max}) = 6$). Рассматриваемая поверхность формируется методом продольного профильного врезного шлифования кругом 14ЕЕ 1125-6-4-60-32 АС6 125/100-4- М2-01 ГОСТ 16179-82Е. Допустимые значения среднеарифметического отклонения профиля микронеровностей $R_a < 2$ мкм.

Структура трещиноватого слоя определяется [11]: возможной величиной максимальной полудлины дефекта (l_{max}), характером распределения дефектов по размерам (параметр трещиноватости r), их углом ориентации α относительно направления приложенной эксплуатационной нагрузки и числом дефектов n в зоне нагружения.

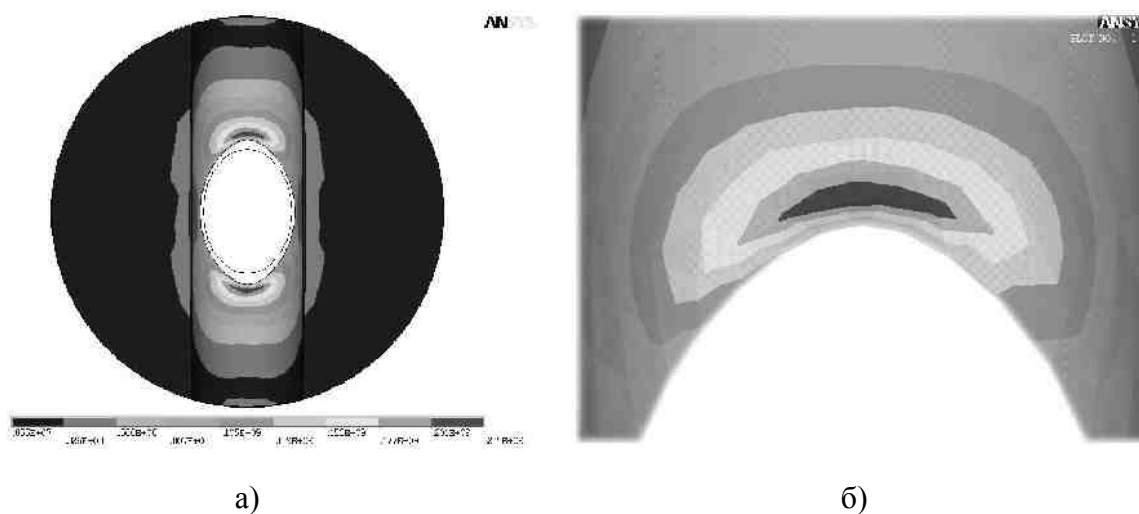


Рис. 1. Распределение напряжений в корпусе сопла гидросбива окалины без дефектов: а) общий вид; б) наиболее деформированная зона у края отверстия

Дефекты структуры зависят от технологического процесса получения заготовки. При увеличении пористости (P , %) керамики Al_2O_3 (Сп) размеры структурных дефектов линейно возрастают ($l_{cmax} = 2,7 \cdot P + 9,25$). Это приводит к линейному снижению трещиностойкости оксидной керамики $K_{1c} = 2,6 - 0,14 \cdot P$ МПа \cdot м 0,5 . Для корпуса сопла гидросбива была использована оксидная керамика пористости $P = 2\%$. Индекс хрупкости Al_2O_3 (Сп) $H_v/K_{1c} = 4,61$. Экспериментально было установлено среднее число дефектов структуры на единице площади поверхности, которое составило $n_c = 4,23 \cdot 10^8 \cdot P^{-0,36}$ шт./м 2 , а параметр трещиноватости – $r = 8,2$.

Поверхностная плотность дефектов структуры ситалла АС-418– $n_c = (1,5..2,0) \times 10^9$ шт./м 2 [7]. Максимальные размеры дефектов структуры составляют 12,0 мкм (исключая дефекты материала в виде раковин), а параметр трещиноватости при учете только дефектов структуры $r = 12$ [12]. Экспериментальные исследования методом индентирования на твердомере ТП-2 позволили определить величину трещиностойкости ситалла $K_{1c} = 1,7 \pm 0,1$ МПа \cdot м 0,5 . Индекс хрупкости у ситалла – 4,58.

Используя полученные ранее зависимости нормальной составляющей силы резания от режимов обработки [13] можно получить следующие параметры структуры поверхностного слоя с учетом только обработочных дефектов

$$l_{o \max} = F_1(H_V/K_{1c}),$$

$$r_o = A \cdot P_{yH}(V_{\kappa}, t, V_{\partial}, S, H_V/K_{1c}) \cdot F_2(H_V/K_{1c}), \quad (2)$$

где $F_1(H_V/K_{1c}), F_2(H_V/K_{1c})$ – функции, учитывающие влияние индекса хрупкости обрабатываемого материала на l_{\max} и r .

Средняя плотность обработочных дефектов n_o для Al_2O_3 (Сп) составила $7,1 \times 10^6$ шт./м², а для ситалла АС-418 – 4×10^6 шт./м². Если максимальные обработочные дефекты у керамики Al_2O_3 (Сп) были поверхностными, то у ситалла они располагались на глубине 100...160 мкм [14], что можно учесть при определении предельного разрушающего усилия [15] соответствующим коэффициентом расположения трещины κ_p . Так для трещины, расположенной на поверхности образца $\kappa_p = 1,11$, в остальных случаях – $\kappa_p = 1$. Соотношение полудлины l и глубины трещины h , оказывающее влияние на интенсивность напряжений, может быть учтено коэффициентом κ_{ϕ} ($\kappa_{\phi} = (1 + 4,5 \cdot (l/h)^4) / (1 - (l/h))$ при $l/h \leq 0,5$ и $\kappa_{\phi} = \sqrt{1 + 2 \cdot (l/h)}$ при $l/h \leq 0,25$ [15]).

Предельная нагрузка для детали из хрупких материалов равна предельной нагрузке наименее прочного из его элементов. Была установлена [11, 15] зависимость прочности образцов из КК от параметров поверхностного слоя, содержащего дефекты структуры и обработки

$$\hat{\sigma} = \sigma_{\min} + \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}} \left[1 - \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_1}^{\pi/2} \left(1 - \frac{K_{1c}^2 \cdot \varphi(\alpha)^2}{\kappa_p^2 \cdot \sigma^2 \cdot \kappa_{\phi} \cdot \pi \cdot l_{c \max}} \right)^{r_c + 1,5} d\alpha \right]^{n_c} \cdot \left[1 - \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_2}^{\pi/2} f(\alpha) \cdot \left(1 - \frac{K_{1c}^2 \cdot \varphi(\alpha)^2}{\kappa_p^2 \cdot \sigma^2 \cdot \kappa_{\phi} \cdot \pi \cdot l_{o \max}} \right)^{r_o + 1,5} d\alpha \right]^{n_o}, \quad (3)$$

где $\varphi(\alpha)$ – функция, определяющая влияние направления дефектов на развитие трещин, $f(\alpha)$ – плотность вероятности ориентации дефектов обработки относительно

направления приложенной нагрузки, $\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{K_{1c}}{\sigma \cdot \kappa_p \cdot \sqrt{\pi \cdot \kappa_{\phi} \cdot l_{c \max}}}\right)$,
 $\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{K_{1c}}{\sigma \cdot \kappa_p \cdot \sqrt{\pi \cdot \kappa_{\phi} \cdot l_{o \max}}}\right)$, $\sigma_{\min} = \frac{K_{1c} \cdot [\min_{\alpha} \varphi(\alpha)]}{\kappa_p \sqrt{\pi \cdot \kappa_{\phi} \cdot l_{o(c) \max}}}$, $\sigma_{\max} = \frac{K_{1c} \cdot [\max_{\alpha} \varphi(\alpha)]}{\kappa_p \sqrt{\pi \cdot \kappa_{\phi} \cdot l_{o(c) \min}}}$.

Подставляя в зависимость (3) прочности деталей, параметры обработочных (2) и структурных дефектов, можем получить функциональную зависимость прочности от режимов резания $\sigma(V_{\kappa}, V_{\partial}, t)$. Используя данную зависимость, можно получить уровни прочности детали в зависимости от режимов резания. На рис. 2 показаны уровни средней прочности спеченой оксидной керамики и ее дисперсия в зависимости от режимов плоского врезного шлифования периферией круга Al_2O_3 (Сп).

Увеличение скорости заготовки и глубины резания приводят к снижению прочности изделий из керамики, а повышение скорости круга – к увеличению прочности, что связано с влиянием параметров режима резания на нормальную составляющую силы резания при шлифовании. Минимальное разрушающее напряжение σ_{\min} , при котором возможно разрушение корпуса гидросбыва, равно 119 МПа. Максимальные рабочие нагрузки в корпусе в три раза меньше минимального разрушающего напряжения. Если взять в качестве допустимой прочности минимальное разрушающее напряжение, то даже в этом случае вероятность безотказной работы (1) составит более 0,99999. Таким образом, изменение режимов резания при алмазном шлифовании не оказывает влияния на прочность керамического сопла при эксплуатации.

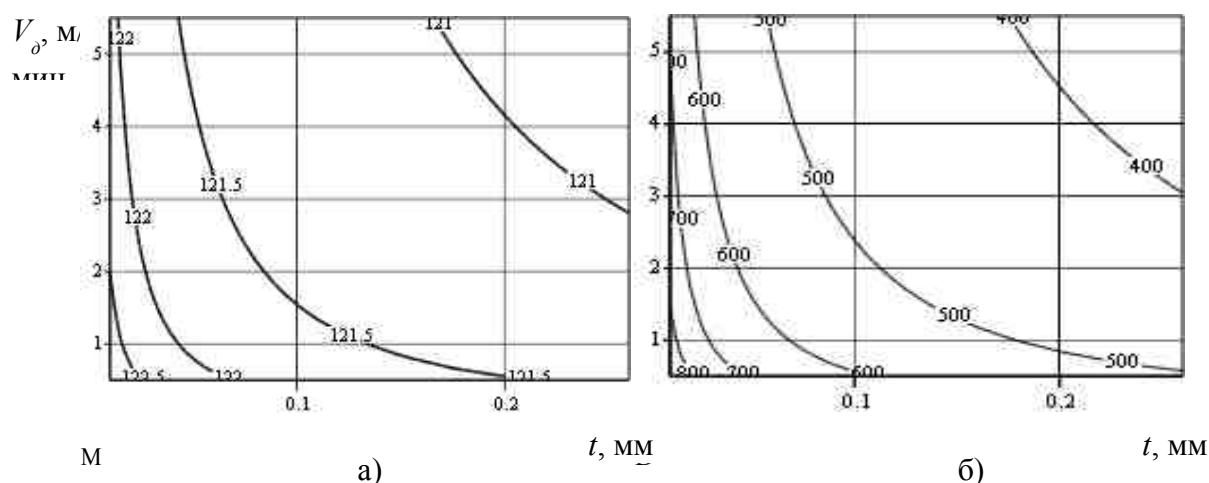


Рис. 2. Зависимости (а) средней прочности σ (в МПа) и (б) дисперсии средней прочности керамики из Al_2O_3 (Сп) от продольной скорости

заготовки V_d , (м/мин) и глубины t (мм) резания при продольном врезном

шлифовании кругом 14EE1125-6-4-60-32 AC6 125/100-4- M2-01 при $V = 40$ м/с

Совершенно другие результаты имеем при обработке обтекателей. Увеличение режимов резания при чистовом шлифовании приводят к существенному снижению средней прочности деталей (рис.3). С учетом масштабного фактора прочность снижается до 56 МПа при среднеквадратическом отклонении 10 МПа. Если в дальнейшем не производить обработку изделия, обеспечивающую удаление дефектного слоя, вероятность безотказной работы составит лишь 0,77, что является не допустимым для данных изделий [10]. Из условий эксплуатации допустимая прочность обтекателей должна быть не менее 92 МПа.

При отсутствии в поверхностном слое дефектов обработки и материала в виде раковин расчетная минимальная прочность материала составляет 144 МПа. Таким образом, структура и характеристика ситалла обеспечивают требуемую прочность изделий, но наличие в поверхностном слое обработочных дефектов уменьшает вероятность их безотказной работы ниже допустимого уровня, т. е. не меньше 0,98.

Это является причиной, по которой в производственных условиях приходится удалять дефектный слой, образованный при механической обработке, методом травления. С уменьшением глубины дефектного слоя снижается трудоемкость его удаления при травлении обработанной поверхности. Операция травления вызывает большие экологические проблемы, значительно повышает трудоемкость изготовления изделий. При шлифовании, выбирая характеристику шлифовального круга (ШК) и

режимы резания, можно уменьшить силовое воздействие инструмента на поверхность резания и тем самым уменьшить вероятность развития дефектного слоя, обусловленного процессом механической обработки в глубину.

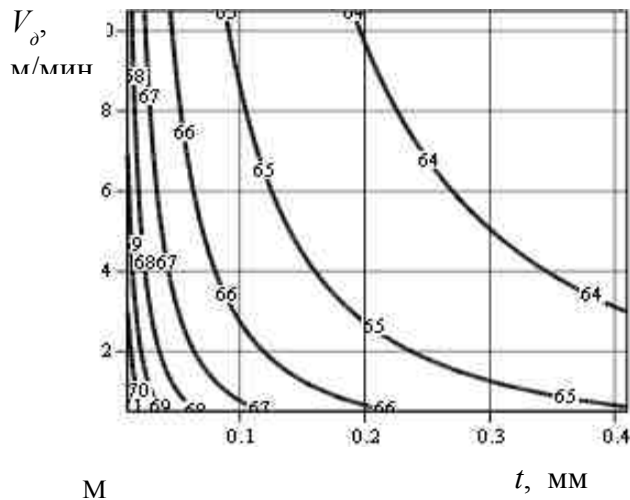


Рис.3. Зависимость средней прочности (в МПа) ситалла АС-418 в зависимости от продольной скорости заготовки V_d , (м/мин) и глубины t (мм) резания при продольном круглом шлифовании кругом 1А1 200-10-3-60-76 АС6 125/100-4- М2-01 при $V_k=30$ м/с

Более эффективным способом уменьшения дефектообразования в поверхностном слое, как правило, без потери производительности является изменение направления силового воздействия на обрабатываемый материал в зоне резания за счет применения прогрессивных схем шлифования [16]. Данный подход также позволяет вследствие изменения направления действия равнодействующей силы резания увеличить точность обработки, что особенно важно при шлифовании крупногабаритных сложнопрофильных изделий радиотехнического назначения [3], имеющих низкую жесткость системы станок – приспособление – инструмент – заготовка.

Другим, не менее важным показателем состояния поверхностного слоя изделий из керамики,

оказывающим влияние на их эксплуатационные свойства, являются высотные параметры микрорельефа поверхностного слоя. На формирование микрорельефа поверхностного слоя керамики существенное влияние оказывает хрупкое разрушения материала припуска в виде сколов.

Для анализа влияния на высотные параметры микрорельефа керамики параметров режима резания, характеристики алмазного инструмента и свойств обрабатываемого материала необходимо иметь зависимости, которые в большинстве случаев представляют в регрессионном виде

$$\begin{aligned} R_a &= F_3(H_V/K_{1c}, V_k, V_d, t, \bar{d}_3), \\ R_z &= F_4(H_V/K_{1c}, V_k, V_d, t, \bar{d}_3), \end{aligned} \quad (4)$$

где \bar{d}_3 – средний размер зерна ШК.

Для получения этих регрессионных зависимостей был проведен эксперимент на математической модели [17] формирования высотных параметров поверхностного слоя, учитывающей случайный характер сколов обрабатываемого материала на алмазном зерне ШК при обработке. Так как зависимости высотных параметров микрорельефа поверхностного слоя керамики от режимов резания при алмазном шлифовании носят нелинейный характер, то поэтому при планировании эксперимента применим композиционный рототабельный план вида 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5$ [18]. Этот план позволяет получить модель, способную предсказать значение параметра с одинаковой точностью (независимо от направления) на равных расстояниях от центра плана и имеет преимущество перед некомпозиционными

планами в отсутствии взаимодействия между квадратичными членами и свободным членом уравнения регрессии.

Для обеспечения относительной погрешности эксперимента, не превышающей 5% с надежностью 0,9, число повторений в каждой точке факторного пространства примем равным 15. Уровни факторов центрального композиционного ротatableного плана второго порядка приведены в таблице.

Таблица. Уровни варьируемых при эксперименте факторов

Уровни факторов	Скорость круга, V_k в м/с (x_1)	Скорость заготовки, V_d в м/мин (x_2)	Глубина резания, t в мм (x_3)	Индекс хрупкости, $I = H_V / K_{1c}$ МКМ ^{-0,5} (x_4)	Средний размер зерна (зернистость) ШК, \bar{d}_z в МКМ (x_5)
Верхнее «звездное» плечо	49	6,5	0,1	5	283 (315/250)
Верхний	42	5	0,08	4,5	225 (250/200)
Основной	35	3,5	0,06	4	180 (200/160)
Нижний	28	2	0,04	3,5	137 (160/125)
Нижнее «звездное» плечо	21	0,5	0,02	3	90 (100/80)
Интервал варьирования	7	1,5	0,02	1,5	~ 45

При исследовании математической модели процесса формирования высотных параметров микронеровностей без сколов была реализована полуреплика 2^{5-1} . Дисперсии $S(\ln R_{\max})^2 = 0.0025$ и $S(\ln R_z)^2 = 0.00518$ определяли по шести параллельным опытам в центре плана на основных уровнях. Среднеквадратичная ошибка в определении коэффициентов уравнения регрессии составляет $\Delta b_{\ln R_{\max}} = \pm 0.032$ и $\Delta b_{\ln R_z} = \pm 0.047$. В результате исследований была установлена незначимость коэффициентов регрессии при глубине резания и при парных взаимодействиях перечисленных выше факторов. Разность между свободным членом регрессии и средним значением результата моделирования в центре плана меньше ошибки моделирования, что говорит о незначимости коэффициентов при квадратичных членах. В результате статистической обработки результатов были получены следующие регрессионные зависимости высотных параметров микрорельефа без учета сколов в поверхностном слое

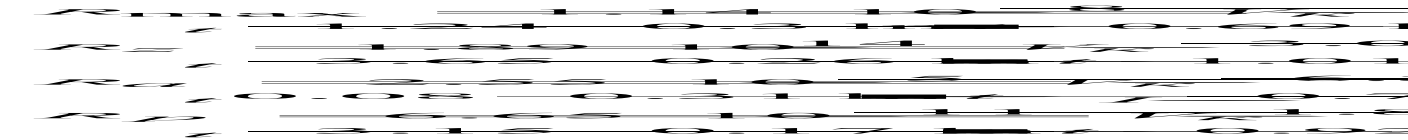
$$R_{\max} = 1.48 \cdot \left(\frac{V_d}{V_k}\right)^{0,2} \cdot \bar{d}_z^{0,25}, R_z = 0.8 \cdot \left(\frac{V_d}{V_k}\right)^{0,24} \cdot \bar{d}_z^{0,3}, R_a = 0.21 \cdot \left(\frac{V_d}{V_k}\right)^{0,3} \cdot \bar{d}_z^{0,4}. \quad (5)$$

Адекватность полученной модели проверяли с помощью F – критерия Фишера. Табличное значение критерия F_T при 5%-ном уровне значимости, числе степеней свободы для модели 23 и эксперимента 5 равно 4,5. Дисперсии адекватности соответственно равны $S_a(\ln R_{\max})^2 = 0.0081$ и $S_a(\ln R_z)^2 = 0.0144$. Расчетные значения критерия Фишера соответственно составляют 3,24 и 2,78, что меньше табличного значения. Таким образом, полученные модели адекватны при 5%-ом уровне значимости.

Таким образом, при плоском глубинном врезном шлифовании при отсутствии сколов обрабатываемого материала под действием алмазных зерен высотные

параметры шероховатости зависят от кинематических параметров обработки (от отношения скоростей заготовки и шлифовального круга) и зернистости алмазного круга.

При формировании высотных параметров шероховатости со сколами в поверхностном слое дисперсии $S(\ln R_{\max})^2 = 0.0037$, $S(\ln R_z)^2 = 0.00058$, $S(\ln R_a)^2 = 0.00096$ и $S(\ln R_p)^2 = 0.0002$ определяли по шести параллельным опытам в центре плана на основных уровнях. Статистическая проверка коэффициентов показала, что при 5%-ном уровне значимости ряд коэффициентов при парных взаимодействиях значимы, что свидетельствует о неадекватности линейной модели. Проверка гипотезы о значимости квадратичных эффектов показала, что коэффициенты при квадратичных членах значимо отличаются от нуля. Поэтому результаты моделирования аппроксимировались полиномами второго порядка. В результате статистической обработки результатов были получены следующие регрессионные зависимости высотных параметров микрорельефа с учетом сколов в поверхностном слое



Полученные регрессионные зависимости (6) адекватны при 5%-ом уровне значимости. Они позволяют изучить влияние режимов резания и характеристики круга на формирование высотных параметров поверхностного слоя керамики с учетом сколов обрабатываемого материала под действием алмазных зерен. Определяющую роль на формирование высотных параметров микрорельефа поверхностного слоя оказывает количество сколов и их размеры. Для оценки влияния числа сколов на формирование микрорельефа была получена регрессионная модель числа сколов на базовой длине

$$n = -20 - (0,18 + 0,14 \cdot V_{\partial} + 0,22 \cdot I + 0,0024 \cdot \bar{d}_3 - 0,016 \cdot V_{\kappa}) \cdot V_{\kappa} + \\ + (1,17 \cdot I + 0,038 \cdot \bar{d}_3 - 3,41) \cdot V_{\partial} + 8,65 \cdot I + (0,14 - 0,00026 \cdot \bar{d}_3) \cdot \bar{d}_3 \quad (7)$$

На число сколов в поверхностном слое заготовки оказывают значительное влияние все исследуемые факторы за исключением глубины шлифования, влияние которой в исследованном диапазоне варьирования оказался не значимым.

На рисунке 4а показаны уровни равных значений средне арифметического отклонения профиля шероховатости R_a (непрерывные линии) и числа сколов (пунктирные линии) на поверхности заготовки в области используемых значений режимов резания при плоском врезном шлифовании керамики, которые построены с использованием регрессионных зависимостей (6,7). Наименьшие значения R_a могут быть получены при отсутствии сколов на обрабатываемой поверхности. При увеличении скорости круга более 40м/с в поверхностном слое заготовки отсутствуют сколы (см. рис. 4а).

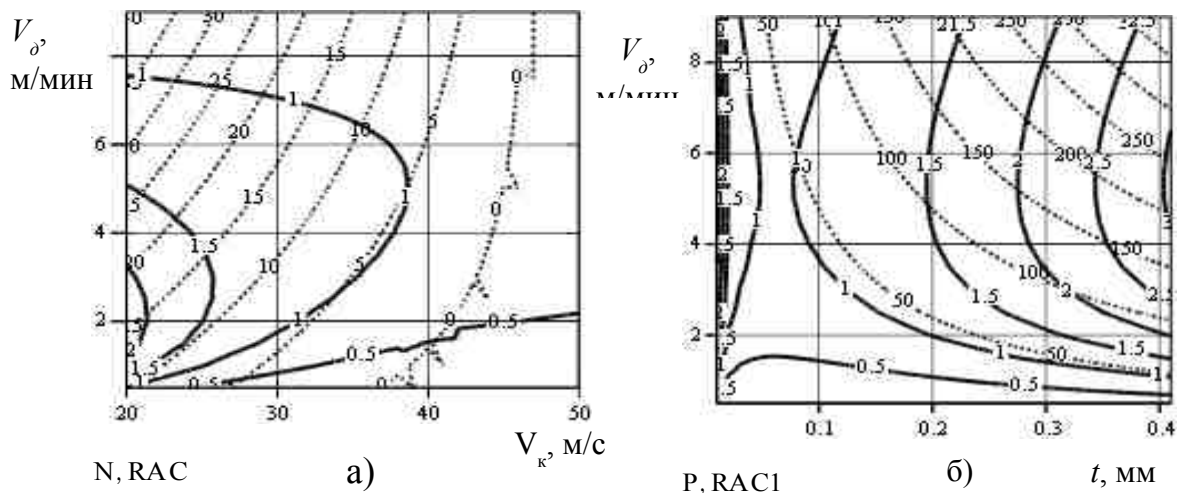


Рис.4. Двумерные поверхности средне арифметического отклонения профиля шероховатости R_a (мкм, сплошная линия) при плоском врезном шлифовании кругом 14EE1125-6-4-60-32 AC6 125/100-4- M2-01 керамики Al_2O_3 (Сп): а) в области изменения скоростей круга и заготовки при $t = 0,02$ мм (число сколов n в шт. на базовой длине показано штрихпунктирными линиями); б) в области изменения скоростей заготовки и глубины резания при $V_k = 40$ м/с (уровни равной

В дальнейшем выбор режимов резания может осуществляться как по техническим, так и экономическим критериям. В условиях опытного производства корпуса сопла гидросбива окалины в качестве критерия выбора режимов резания примем достижение максимальной производительности. На рис. 4б штрихпунктирными линиями показаны уровни равной производительности. Из условия обеспечения требований по шероховатости радиусной поверхности корпуса по ($R_a < 2$ мкм) значения скорости заготовки и глубины резания при обеспечении максимальной производительности должны быть приняты соответственно $V_d = 9$ м/мин и $t = 0,32$ мм.

Для обтекателей достижение требуемого значения R_a поверхностного слоя деталей не представляет технологических трудностей [3]. В связи с этим обстоятельством выбор схем шлифования, характеристики алмазных шлифовальных кругов и режимов резания осуществляется из условия обеспечения минимальной глубины дефектного слоя после механической обработки изделий с целью минимизации длительности операции травления.

Таким образом, предложенный подход назначения режимов обработки позволяет учесть конкретные условия работы изделий из конструкционной керамики и обеспечить требуемые вероятности безотказной работы по прочности, а также качество их поверхностного слоя.

Список литературы: 1. Исаков А.Э., Климов А.К. Бездефектная механическая обработка керамических деталей // Автомобильная промышленность. – 1992. - №2. – С.31-32. 2. Ромашин А.Г., Викулин В.В. Опыт создания термонапряженных керамических элементов горячей зоны газотурбинных двигателей // Огнеупоры и техническая керамика. - 2003. - №1. – С.25-32. 3. Исследование влияния режимов механической обработки ситаллокерамических изделий в системе: станок – изделие – инструмент - схема / Е.И. Суздальцев, А.С. Хамицаев, А.Г. Эпов, Д.В. Харитонов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2003. – №7. – С.23-30. 4. Фадеев В.С. Механизм формирования поверхностного слоя керамики при шлифовании и заточке // Стекло и керамика. – 1992. - №2. – С.21-24. 5. Алмазная обработка технической керамики / Д.Б. Ваксер, В.А. Иванов и др. – Л.: Машиностроение, 1976. – 160с. 6. Скоростная алмазная обработка деталей из технической керамики / Н.В. Никитков, В.Б. Рабинович, В.Н. Суботин, Н.Н. Шепилов; Под. ред. З.И. Кремня. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1984. – 131с. 7. Дубовик В.Н., Райхель А.М. Дефектность и уровни прочности ситаллов // Проблемы прочности. – 1984. – №7 – С.79-84. 8. Малкин С., Риттер Дж. И. Механизмы образования стружки и снижение прочности керамики при шлифовании. // Конструирование и технология машиностроения. 9. Advanced ceramics: evaluation of the mechanism of stock removal and ground surface quality/ E.C. Bianchi, C.E. da Silva, P. R. Aguiar, I. D. Valarelli, R. D. Monici // J. Braz. Soc. Mech. Sci. – 2001. – Vol.23, No. 1. – P.1-18. 10. Анализ соответствия прочности стеклокерамики ОТМ357 требованиям к конструкции обтекателя / Е.И. Суздальцев, М.Ю. Русин, В.И. Куракин, А.С. Хамицаев // Огнеупоры и техническая керамика. – 2004. – №7. – С.9-12. 11. Гусев В.В. Обеспечение эксплуатационных характеристик поверхностного слоя конструкционной керамики // Справочник. Инженерный журнал с приложением. - М.: Машиностроение. - 2002. - Приложение №9 к журналу Инженерия поверхности.– С.2-5. 12. Райхель А.М., Лихтенштейн В.Н. Прочность ситаллов при изгибе // Стекло и керамика.–1980.– №3.– С.15-16. 13. Гусев В.В. Силы резания и формирование дефектного слоя при алмазном шлифовании керамики // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. - Краматорськ: ДДМА. – 2003.- Вип. №13.- С. 70-76. 14. Влияние особенностей процесса алмазного шлифования ситаллов на дефектность поверхностного слоя / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, А.Д. Молчанов, Д.В. Поколенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Машинобудування і машинознавство” – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – Вип.71. – С.28-34. 15. Витвицкий П.М., Пожена С.Ю. Прочность и критерии хрупкого разрушения стохастически дефектных тел. - Киев: Наукова думка, 1980. - 187 с. 16. Гусев В.В. Повышение качества и долговечности изделий из керамики за счет применения прогрессивных схем шлифования // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Сборник научно-техн. трудов. - Донецк: ДонГТУ. - 1994. - Вып.1. - С.14-24. 17. Особенности формирования микрорельефа поверхности деталей из керамики при алмазном шлифовании / В.В. Гусев, А.Д. Молчанов, А. Cellary, K. Jozwiak // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Машинобудування і машинознавство” – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип.92. – С.26-36. 18. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184с.