

УДК 621.9

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
НЕСПЕЧЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ**

© 2017 С.В. Агафонов¹, С.В. Михайлов², Н.Ю. Ковеленов¹

¹ ООО «Вириал», г. Санкт-Петербург

² Костромской государственной университет

Статья поступила в редакцию 22.03.2017

Изложена методика расчета глубины дефектного слоя при точении неспеченных керамических заготовок, учитывающая взаимосвязь накопленной деформации срезаемого слоя с напряжением текучести. Даны рекомендации назначения режимов резания и геометрии алмазных резцов для продольно- и торцового точения неспеченных керамических материалов.

Ключевые слова: карбид кремния, неспеченная прессованная заготовка, механическая обработка, резание, поверхностный слой, математическая модель

В нефтедобывающей, энергетической и химической промышленности широко применяются износостойкие подшипники из керамических материалов, работающие в условиях агрессивного коррозионного, температурного и абразивного воздействия. Повышенные требования к качеству таких изделий обеспечиваются технологией их изготовления. Одним из наиболее инертных к агрессивным средам керамических материалов является спеченный карбид кремния. Технологический процесс производства деталей из этой керамики, реализованный компанией «Вириал», включает в себя этапы шихтоподготовки, прессования, полимеризации, механической обработки резанием прессованных заготовок, карбонизации, спекания и шлифования рабочих поверхностей. Исследования показывают, что качество изделия в значительной степени формируется на этапе обработки резанием неспеченных заготовок алмазным инструментом. От выбранных режимов резания и геометрии инструмента зависит вероятность появления поверхностных трещин после операции спекания (рис. 1). При наличии трещин требуется шлифование рабочих поверхностей с повышенными припусками, что приводит к удорожанию деталей подшипников.

Количественная оценка влияния условий резания на толщину трещиноватого дефектного слоя может быть осуществлена на основе моделирования процесса резания. Математический анализ формирования поверхностного слоя неспеченных материалов при несвободном резании выполним с помощью расчетной схемы, показанной на рис. 2.

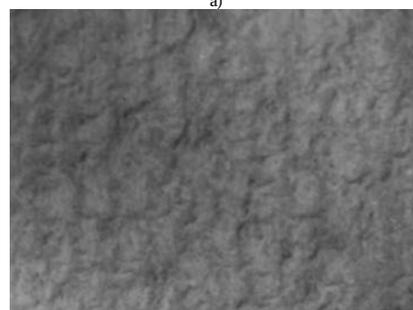
Агафонов Сергей Викторович, директор по управлению проектами. E-mail: AgafonovSV@virial.ru

Михайлов Станислав Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: michsv@yandex.ru

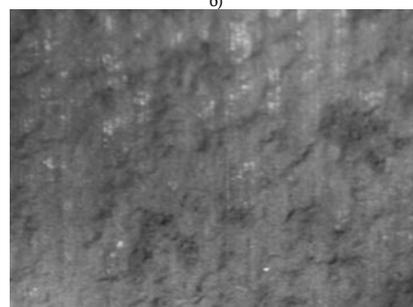
Ковеленов Николай Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, главный технолог. E-mail: kov@virial.ru



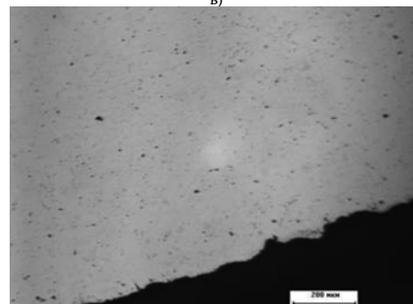
а)



б)



в)



г)

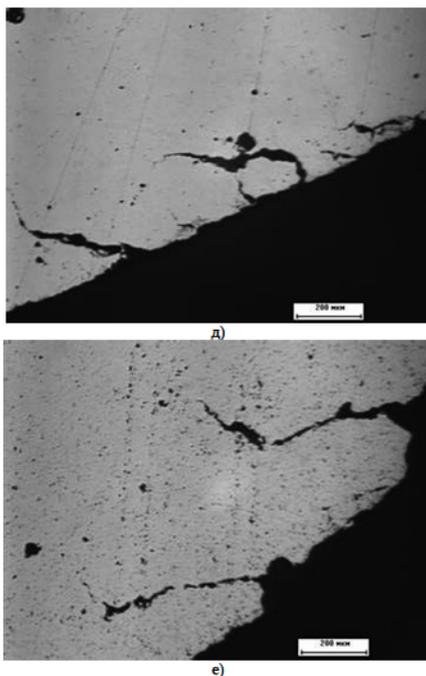


Рис. 1. Качество поверхностного слоя керамических изделий в зависимости от режимов обработки: а), б), в) – внешний вид поверхности неспеченных керамических заготовок после обработки на различных режимах резания; г), д), е) – трещины в спеченном материале

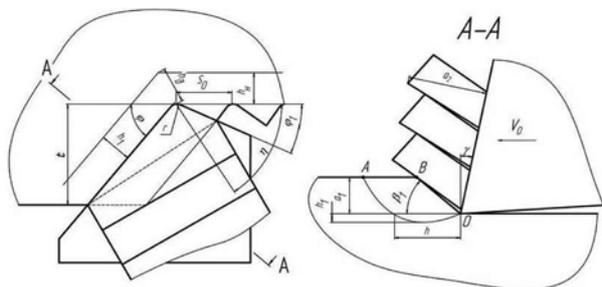


Рис. 2. Схема формирования поверхностного слоя неспеченных материалов при несвободном резании

Для облегчения будем считать, что имеет место плоское деформированное состояние. Согласно схеме резец внедряется в материал обрабатываемой заготовки со скоростью v_0 . Возникающий при этом очаг деформации заключен в пространстве АОВ. Глубину проникновения деформации в обрабатываемую заготовку можно найти из кинематического условия равенства нулю суммарной составляющей скоростей течения, нормальной к границе АО. Упрощенное выражение для расчета глубины проникновения пластической деформации имеет вид [1]:

$$h_d = 1,45(\mu - 0,3) k_c a_{1d}(1 - \sin \gamma_d), \quad (1)$$

где a_{1d}, γ_d – толщина срезаемого слоя и передний угол в плоскости схода стружки; μ – коэффициент трения стружки с инструментом, k_c – коэффициент укорочения стружки.

На глубину упрочненного слоя в обработанной поверхности заготовки дополнительной влияющие оказывает угол схода стружки η [2]:

$$h_n = h_d \sin \eta \quad (2)$$

Накопленная деформация в зоне ОАВ зависит от толщины зоны первичной пластической деформации и определяется по формуле:

$$e_i = 2,31h \cos \gamma / a_2 \quad (3)$$

Толщина зоны деформации в направлении скорости резания равна:

$$h = \frac{(k_c^2 - 2k_c \sin \gamma + 1)s_0 \sin \varphi}{\cos^2 \gamma \left(2 + \frac{1}{\sqrt{1 - 3\mu^2}}\right)} \quad (4)$$

Расчеты показывают, что наибольшие деформации сосредотачиваются вблизи режущей кромки инструмента и на обработанной поверхности заготовки (рис. 3). В этих же местах возникают максимальные значения гидростатического давления. Если значение среднего нормального напряжения превышает предел прочности обрабатываемого материала, то велика вероятность появления микротрещин на поверхности детали.

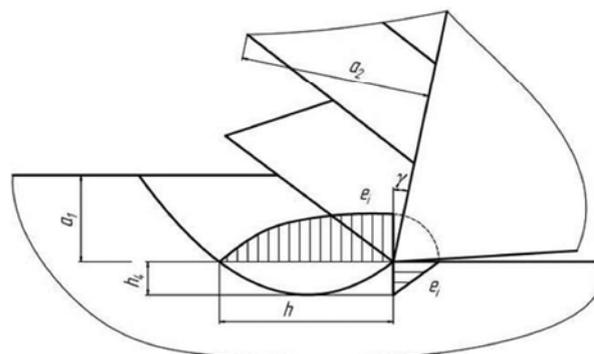


Рис. 3. Распределение накопленных деформаций в очаге интенсивной пластической деформации при резании материалов

Допуская прямолинейную зависимость накопленной деформации e_i от глубины упрочнения h с помощью схемы на рис. 4 получим расчетную формулу для определения глубины трещиноватого слоя:

$$h_{mp} = \frac{h_n (e_i - e_{xp})}{e_i} \quad (5)$$

где e_{xp} определяется по индикационной кривой течения

$$e_{xp} = \ln \frac{h_0}{h_{xp}} \quad (6)$$

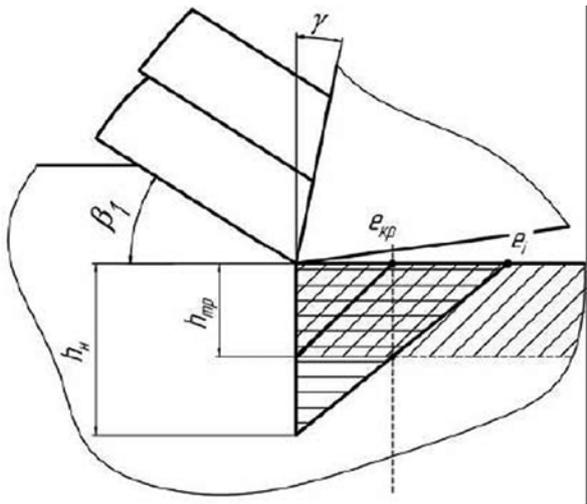


Рис. 4. Схема расчета глубины трещиноватого слоя

Глубина упрочненного слоя формируется, главным образом, сжимающим силовым полем от действия силы стружкообразования. Поэтому при расчете напряженно-деформированного состояния зоны резания целесообразно использовать экспериментальные зависимости напряжения текучести σ_s от накопленной деформации ϵ , полученные при сжатии цилиндрических образцов неспеченного керамического материала:

$$\sigma_s = A + B\epsilon^n \quad (7)$$

Характер разрушения образцов заготовок из неспеченной керамики при их сжатии показан на

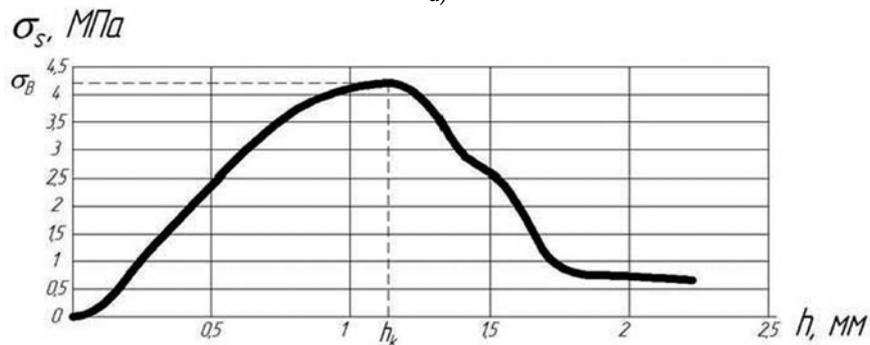
рис. 5. Полученная экспериментальным путем взаимосвязь напряжений с накопленной деформацией гарантирует точность прогнозирования качества поверхностного слоя.

На основе моделирования процесса резания неспеченных материалов разработан алгоритм расчета условий резания, обеспечивающих получение керамических заготовок повышенного качества (рис. 6).

С помощью вычислительных экспериментов установлены технологические параметры, оказывающие наибольшее влияние на глубину дефектного слоя. В результате исследований разработаны рекомендации по назначению режимов резания и геометрии алмазных резцов для чистового точения карбидокремниевой керамики. Для проходных алмазных резцов с углами в плане $\phi < 90^\circ$ рекомендуется вести обработку с положительными передними углами $\gamma = 12 \dots 15^\circ$, положительными углами наклона главной режущей кромки (вершина находится ниже остальных точек на режущей кромке) $\lambda = +5 \dots +7^\circ$, отношением глубины резания к подаче $t/s > 10$. Для упорных резцов с углами в плане $\phi = 90^\circ$ рекомендуется вести обработку с положительными передними углами $\gamma = 10 \dots 12^\circ$, отрицательными углами наклона главной режущей кромки (вершина находится выше остальных точек на режущей кромке) $\lambda = -5 \dots -7^\circ$, отношением глубины резания к подаче $t/s > 10$. Для уменьшения глубины наклепа следует стремиться к увеличению скорости резания до $v = 160 \dots 180$ м/мин. Радиус при вершине r не должен превышать 0,2 мм.



а)



б)

Рис. 5. Экспериментальное построение индикаторной кривой течения неспеченной карбидокремниевой керамики

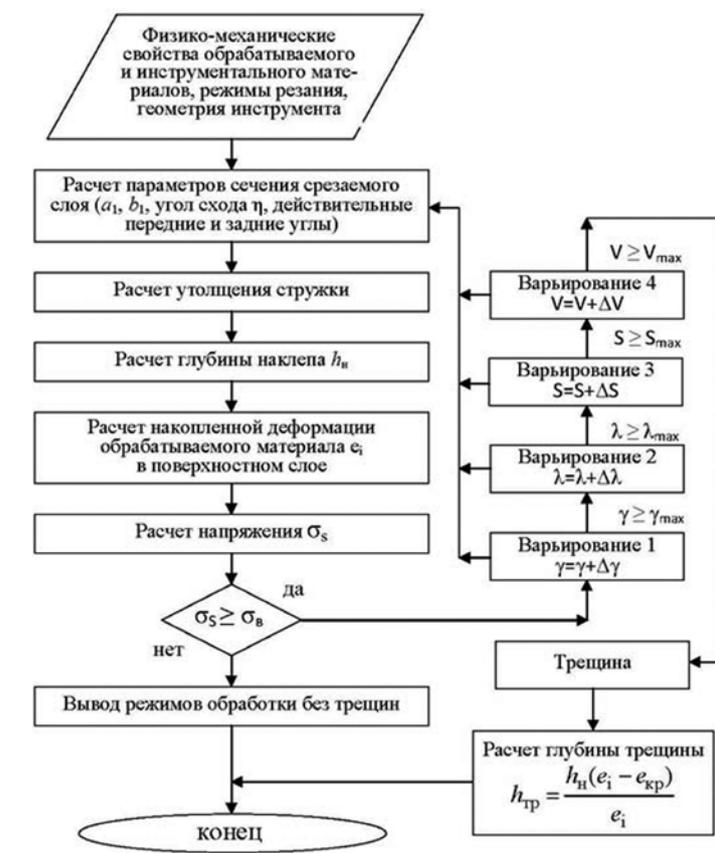


Рис. 6. Алгоритм расчета обоснованных условий резания неспеченных керамических материалов

Выводы: разработана математическая модель и алгоритм расчета обоснованных условий резания неспеченных керамических материалов с повышенными показателями качества поверхностного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воронцов, А.Л. Новая теория резания / А.Л. Воронцов, Н.М. Султан-Заде, А.Ю. Албазичев // Определение кинематического, напряженного и деформированного состояний обрабатываемой заготовки // Вестник машиностроения. 2008. №5. С. 61-69.
2. Михайлов, С.В. Математическая модель схода стружки с инструмента / С.В. Михайлов, Д.С. Скворцов // СТИН. 2004. №6. С. 28-31.

PREDICTION AND MANAGEMENT OF SURFACE LAYER QUALITY OF GREEN CERAMIC PREFORMS AT PROCESSING BY CUTTING

© 2017 S.V. Agafonov¹, S.V. Mikhaylov², N.Yu. Kovelanov¹

¹ LLC VIRIAL, St. Petersburg

² Kostroma State University

The method of calculation the depth of the defect layer when turning of green ceramic preforms, taking into account the interrelation of saved-up deformation of the cut-off layer with flowability tension is explained. Recommendations of purpose the cutting modes and geometry of diamond cutters for longitudinal and face turning of green ceramic materials are made.

Key words: silicon carbide, green pressed preform, machining, cutting, surface layer, mathematical model

Sergey Agafonov, Director on Projects Management. E-mail: AgafonovSV@virial.ru

Staniskav Mikhaylov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Engineering Technology Department. E-mail: michsv@yandex.ru

Nikolay Kovelanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Technologist. E-mail: kov@virial.ru