

- поверхности деталей машин на основе выбора оптимальных режимов размерной электрохимической обработки. М.: «Известия МГТУ МАМИ» № 2 (10), 2010.
5. Потапов А.А. Фракталы, скейлинг и дробные операторы в обработке информации. (Московская научная школа фрактальных методов в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 1981 – 2011 гг.) // Сб. науч. тр. “Необратимые процессы в природе и технике” / Под ред. В.С. Горелика и А.Н. Морозова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. Вып. IV. с. 5 – 121.
 6. Бавыкин О.Б., Вячеславова О.Ф. Многомерная шкала для комплексной оценки качества поверхности и функциональных параметров электрохимически обработанных изделий. // Труды национального научного симпозиума с международным участием «Метрология и метрологическое обеспечение 2010».- Болгария, 2010.
 7. Вячеславова О.Ф., Зайцев С.А., Бавыкин О.Б. Моделирование процесса формирования структурногеометрических и эксплуатационных свойств поверхности и их оценка на основе многомерной шкалы. // Труды семинара «Передовые российские технологии». Мадрид, 2011.

Особенности механической обработки деталей из керамических материалов

д.т.н. доц. Горелов В.А., Алексеев С.В.
Университет машиностроения
assamodelkin@mail.ru , (919) 049-00-74

Аннотация. В статье показаны особенности алмазного шлифования деталей из керамических материалов и предложены новые направления исследования повышения качества поверхности деталей из керамики.

Ключевые слова: керамика, алмазное шлифование

На современном этапе производства при создании авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) повышаются требования к теплонагруженности основных конструктивных элементов двигателя. Так, температура рабочего газа перед турбиной достигает 1850 – 2100 К, к тому же значительно повышаются требования по надежности и сроку службы. Столь большие температурные нагрузки в окислительной среде с одновременным воздействием знакопеременных силовых нагрузок приводят к тому, что большинство общепринятых и широко используемых в авиационной технике высокопрочных легированных сплавов неработоспособны из-за значительной деградации их физико-механических характеристик. Поэтому материалами, которые могут широко использоваться в ГТД, являются керамические композиционные материалы.

Применение керамических материалов (КМ) обусловлено следующими преимуществами: сохранением механических свойств при высоких температурах, высокой износостойкостью и антикоррозийностью.

Из недостатков КМ основным считается хрупкость, обусловленная жесткостью связей в кристаллической решетке. В настоящее время основные усилия исследователей при разработке КМ направлены на преодоление хрупкости, повышение уровня прочности, термостойкости и ударной вязкости.

Высокая твердость, отсутствие пластичности, низкая стойкость к тепловым ударам, склонность к растрескиванию создают трудности при механической обработке, особенно при получении изделий сложной геометрической формы с высокой точностью и качеством обработки. Создание высокоэффективных методов обработки КМ представляет одну из сложнейших задач современного машиностроения.

Основным методом получения высокоточных поверхностей деталей из КМ является шлифование. Обрабатываемость КМ определяется следующими факторами: механическими свойствами керамики (зависящими от условий и параметров спекания), жесткостью технологической системы и режимами резания.

Шлифование деталей из КМ в основном ведут алмазными кругами. Съем материала в процессе алмазного шлифования осуществляется в результате создания в поверхностном слое керамической заготовки напряжений, превышающих напряжение разрушения ее материала. В результате абразивная обработка может оставлять на обрабатываемой заготовке слой, включающий микротрещины и определенную макро- и микро- геометрию поверхности. Поскольку рост поверхностных микротрещин требует значительно меньшей энергии, чем рост внутренних, а также вследствие их близости к зонам концентрации контактных напряжений при эксплуатации, наличие поверхностных микротрещин оказывает преимущественное влияние на долговечность деталей из КМ. [1, 2]

Влияние процесса шлифования на качество деталей проявляется также через геометрические погрешности обработанной поверхности. Отклонения макро- и микро- геометрии детали действуют как концентраторы контактных напряжений при ее эксплуатации [3] и приводят к увеличению рассеяния показателей долговечности деталей из КМ.

По ранее проведенным исследованиям [3] известно, что наибольшее влияние на рост микротрещин в керамической детали при шлифовании оказывает скорость резания, в то же время увеличение скорости резания способствует повышению качества деталей из КМ.

Существенное влияние на качество детали оказывает материал связки шлифовального круга. Для повышения качества деталей из КМ ряд зарубежных авторов [3, 4] рекомендуют отказаться от использования шлифовальных кругов на металлической связке, т.е. производить всю механическую обработку таких деталей шлифовальными кругами на органических связках различной твердости.

Проведенные в работе [5] исследования характера излома керамических образцов после механической обработки на различных режимах показали, что с увеличением производительности обработки доля образцов, разрушившихся от роста микротрещин, возростала с 11 до 92%.

В работе [6] проведены экспериментальные исследования влияния алмазного шлифования на сопротивление разрыву (4-х точечный изгиб) горячепрессованной керамики Si_3N_4 . Исследовалось влияние технологических схем шлифования, зернистости алмазного круга, глубины шлифования и типа связки круга.

При исследовании различных кинематических схем шлифования: с подачей вдоль, поперек оси образца и с переменным направлением подачи относительно координат обрабатываемой поверхности образца – получены наиболее прочные образцы при обработке с продольной подачей вдоль оси.

Зернистость алмазного круга в пределах от 150 до 600 мкм практически не влияет на прочность образцов из нитридной керамики. Значительное снижение прочности получено лишь при шлифовании кругами с зернистостью 1200 мкм.

Глубина шлифования, которая варьировалась в пределах от 0.025 до 0.75 мм/дв.ход, не оказывает заметного влияния на прочность образцов.

Прочность образцов, обработанных кругом на органической связке по сравнению с кругом на металлической связке, оказалась существенно выше.

Таким образом, из полученных результатов [6] можно сделать выводы, что наибольшее влияние на прочность образцов из КМ оказывает сам материал, точнее технология его получения, связка применяемого круга и кинематическая схема шлифования. Глубина шлифования и зернистость круга в пределах допустимых режимов шлифования не влияет на прочность образцов.

Свойства керамики изучены недостаточно, она непредсказуемо разрушается под нагрузкой из-за хрупкости, большого разброса характеристик, внутренних напряжений, низкой термостойкости.

Исследованиями физико-химических свойств нитридной керамики в работе [7] установлено, что:

- разброс модуля упругости заготовок может достигать 20%;
- величина анизотропии модуля упругости в пределах заготовки составляет 12%;

- локальная плотность керамики в пределах одной заготовки меняется до 15%.

Таким образом, при алмазном шлифовании изделий из КМ имеют место нестационарные процессы, обусловленные переменными механическими свойствами обрабатываемых материалов, переменным фактическим пятном контакта рабочей поверхности круга с обрабатываемой поверхностью, неравномерным износом алмазного инструмента, вибрациями технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» и т.д.. В этих условиях проблема повышения надежности и долговечности изделий из КМ может быть решена при использовании методов и средств технологической диагностики. Получение в каждый момент времени оперативной и точной информации о динамических процессах в зоне обработки заготовок является одной из основных задач технологической диагностики.

Наибольшее распространение в практике технологической диагностики процессов механической обработки наряду с термодинамическими методами получил метод акустической эмиссии (АЭ)

Акустическая эмиссия при абразивном изнашивании в силу дискретности и локальности актов разрушения представляет собой последовательность колебаний, возникающих в материале с дефектами под воздействием внешней нагрузки [8].

Совместный анализ дефектности материала и возникновения дефектов в процессе обработки можно провести, используя понятие поврежденности [8]. При этом общую поврежденность детали после обработки можно представить в виде:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2$$

где: ω_1 – исходная поврежденность материала заготовки;

ω_2 – технологическая поврежденность в результате обработки заготовки.

Вероятность разрушения шлифованной детали при прочностных испытаниях на изгиб задается распределением Вейбулла [8]:

$$P(\sigma) = 1 - \exp \left[-V \cdot \left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0} \right)^m \right],$$

где: V – объем образца;

σ_u – пороговое напряжение;

σ_0 – остаточное напряжение

m – коэффициент распределения.

Распределение Вейбулла характеризует суммарную поврежденность образцов после шлифования.

Поврежденность материала после обработки обусловлена возникновением новых дефектов, а также развитием (подрастанием) уже имеющихся трещиноподобных дефектов материала. Критерием перехода от возникновения к развитию дефектов является меньшее значение изгибающего разрушающего напряжения.

При составлении математической зависимости диагностики поврежденности после обработки необходимо учитывать геометрию абразивных зерен шлифовального круга, свойства обрабатываемого материала и условия шлифования.

Кроме алмазного шлифования, КМ можно обрабатывать следующими методами: лазерная обработка, струйная гидроабразивная обработка, электрохимическая и электроэрозионная обработка.

Вышеперечисленные методы недостаточно апробированы в обработке КМ и, в отличие от алмазного шлифования, имеют некоторые особенности. Например, струйная гидроабразивная обработка позволяет производить процесс «холодного» резания материала (практически не разогревая деталь). Электрохимическая и электроэрозионная обработка ведется преимущественно на токопроводящей керамике.

Так как керамика все больше начинает использоваться в качестве конструкционного материала для ответственных деталей, то возникает необходимость ее качественной обработки.

При дополнительном исследовании механических и физико-химических методов обработки керамики можно составить качественные модели поврежденности материала, которые позволят рационально подбирать режимы обработки и тем самым увеличивать долговечность деталей и надежность конструкции в целом.

Литература

1. The nature of machining damage in brittle materials / D.B. Marchall, A.G. Evans, B.T. Khuri – Yakub etal // Pros. Poyol. Soc (London) Ser.A. – 1983. – v385, № 1789. p-461 -475
2. Marsh D.M. Stress concentrations a crystal surfaces and the embrittlement of sodium chloride // Phil. Mag. – 1960 v 5, №58, P1197 – 1199
3. Gielisse P.I., Stanislaio I., Mechanical methodis of ceramic finishing // NBS, 1972 № 348 – Spec. publ. – p5 – 35
4. Томимори Х. Шлифование тонкой керамики // Кикай Гидзюцу – 1984 Т.32. №2 – с. 36 - 40
5. Ито С. Прецизионное шлифование тонкой керамики // Кикай Токогу, - 1983. – Т.27, №6. с. 36 – 40
6. Allor R.L., Govila R.K., Whalen T.I. Influence of Strength Properties of Turbine Materials. Engineering and Research staff, Ford Motor Go Deaborn, M14821. Ceramic Proceedings, 1982 v 3, №7/8 pp 392 – 404
7. Обоснование методики входного неразрушающего контроля. Технический отчет УДК 620 179. 16: 621. 039 МИФИ 1991 г.
8. Горелов В.А. Разработка методов и средств эффективного выбора режимов резания труднообрабатываемых материалов на основе термосиловых характеристик процессов. Диссертация д.т.н.: 05.03.01 – Москва, 2007. 384 с.

К вопросу выбора технологии обработки сложнопрофильных изделий (на примере лопаток моноколес газотурбинных двигателей)

д.т.н. Горелов В.А., Аршинов С.В., д.т.н. проф. Максимов Ю.В., к.т.н. доц. Пини Б.Е.,
к.т.н. доц. Бекаев А.А., к.т.н. доц. Мерзликкин В.Г., Второва А.Ю.
ФГУП «НПП газотурбостроения «САЛЮТ», Университет машиностроения
bekaev@list.ru

Аннотация. В работе рассмотрен промышленный опыт обработки лопаток моноколес газотурбинных двигателей, проанализированы характеристики, достоинства и недостатки известных способов обработки, сделан вывод о направлении проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: лопатка моноколеса, сложнопрофильное изделие, фрезерование на многокоординатных станках с ЧПУ, газотурбинные двигатели.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г.г. по мероприятию программы 1.2.1 (Госконтракт №16.740.11.0439 от 26 ноября 2010 г.).

В современном авиадвигателестроении важнейшей задачей является повышение качества и точности производства сложнопрофильных деталей, к каким относятся лопатки одно- и многоступенчатых компрессоров и турбин, определяющих параметры воздушного потока в газотурбинных двигателях (ГТД).

Разработка новых и усовершенствование существующих конструктивно-технологических решений для изготовления лопаток ГТД является главной задачей газотурбостроения. Основные требования, предъявляемые к современным конструкциям ГТД, направлены на увеличение удельных параметров ГТД, обеспечение компактности их конструкций (снижение количества ступеней, деталей, массы и размеров), улучшение эксплуатационной технологичности (упрощение конструкции, повышение надежности и ресурса работы) и снижение трудоемкости их изготовления.

Для новых поколений ГТД характерным является замена (как в отечественной, так и в