

Виброакустическая диагностика прецизионной обработки деталей из труднообрабатываемых материалов режущим инструментом из керамики

С. Н. ГРИГОРЬЕВ, М. А. ВОЛОСОВА

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
Москва, Россия, e-mail: science@stankin.ru

Описаны принципы виброакустического диагностирования прецизионной обработки деталей из труднообрабатываемых материалов режущим инструментом из керамики. Рассмотрена многофункциональная информационно-измерительная система для диагностики процесса. Проведены исследования чувствительности вибросигнала к изменениям, происходящим в зоне резания.

Ключевые слова: диагностика, виброакустический сигнал, инструмент из керамики, качество детали.

The article describes principles of the process diagnosis of the precision processing of the parts made from refractory materials by ceramic cutting tool based on vibroacoustic dimension. A number of experimental results illustrating vibration signal sensitivity to the changes arising in the cutting area are represented in the article. The functional scheme for methods implementation of vibroacoustic test operation of the part precision processing is described.

Key words: diagnostics, vibro-acoustic signals, ceramic tool, quality details.

До недавнего времени в машиностроении финишную обработку деталей из высокотвёрдых сталей и жаропрочных сплавов осуществляли в основном шлифованием. К технологическим особенностям шлифования относятся повышенные тепловые нагрузки, вызывающие в поверхностном слое обрабатываемых деталей структурные изменения и растягивающие напряжения. Производственный опыт показывает, что процесс шлифования — преобладающий источник технологических дефектов, при которых на поверхности детали образуются прижоги. В результате совершенствования инструментальных материалов, увеличения виброустойчивости и точности станочного оборудования достойной альтернативой шлифованию становится высокоскоростная лезвийная обработка [1].

Перспективным инструментальным материалом для финишной обработки высокотвёрдых сталей и жаропрочных сплавов является режущая керамика. Её высокая твёрдость, фазовая устойчивость и износостойкость в широком диапазоне температур обеспечивают возможность прецизионной обработки деталей до 9—10 класса чистоты поверхности. Однако даже самые современные марки инструментальной керамики отличаются сравнительно низкой трещиностойкостью и, как следствие, непрогнозируемое хрупкое разрушение режущей части в различные периоды эксплуатации инструмента, что ограничивает применение инструментов данного типа [2, 3]. Если при финишной обработке высокотвёрдых (закалённых) сталей лезвийная обработка керамикой уже распространена в производственной практике, то потенциал такой обработки жаропрочных сплавов на титановой и никелевой основах при изготовлении деталей с пространственно-сложными поверхностями ещё не раскрыт [4]. Анализ последних разработок ведущих мировых станкоинст-

рументальных компаний показывает приоритетность этого направления.

Повысить надёжность прецизионной обработки деталей из труднообрабатываемых материалов на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) в режиме реального времени позволяет диагностирование состояния технологической системы (ТС). При эксплуатации ТС с помощью диагностирования решают различные задачи. При черновой и полустаночной обработке диагностируют функциональные отказы, связанные с нарушениями работоспособности инструмента из-за хрупкого разрушения и катастрофического износа, а при финишной обработке — обеспечивают параметрическую надёжность ТС. Нарушения выходных параметров — показателей качества обработки — необходимо выявлять в процессе обработки, а не после изготовления деталей [5].

В настоящее время ведущие мировые производители приступили к выпуску керамических фрез для многокоординатной прецизионной обработки деталей компрессоров и турбин, которые по сравнению с обработкой твёрдосплавным инструментом позволяют увеличить скорость резания в 10 раз без технологических дефектов, свойственных шлифованию [6].

Фрезерование деталей с пространственно-сложными поверхностями сопровождается пониженной жёсткостью ТС, возникновением вибраций. Нестационарные условия обработки в совокупности с технологической спецификой труднообрабатываемых поверхностей и склонностью инструментальных керамических материалов к хрупкому разрушению приводят к характерным дефектам — волнистостям и зарезам (глубокому повреждению поверхностного слоя), недопустимым для прецизионных изделий. Последствия такой об-

работки — отбраковка либо дополнительные операции по удалению дефектного слоя. В этой ситуации необходимо снижать вибрационное воздействие на ТС и использовать виброакустические сигналы из зоны резания для диагностики процесса. Диагностика состояния ТС в нестационарных условиях на основе только силовых параметров менее эффективна из-за большой инерционности, так как диагностический параметр подвергается математической обработке за один период изменений. К тому же силовые параметры могут оказаться нечувствительными к изменениям ТС при поломке одного или нескольких зубьев фрезы, нежелательным вибрациям в процессе обработки, не среагировать на износ при чистовых режимах резания.

Таким образом, для прецизионной обработки керамическим инструментом деталей с пространственно-сложными поверхностями из труднообрабатываемых материалов наиболее перспективна виброакустическая диагностика с использованием акселерометров, которые улавливают вибрации, возникающие в процессе резания.

Для виброакустической диагностики прецизионной обработки деталей из труднообрабатываемых материалов режущим инструментом из керамики в МГТУ «СТАНКИН» на базе фрезерного трёхкоординатного станка DMC 635V Ecoline была реализована многофункциональная информационно-измерительная система. Основа системы — диагностический модуль VCM DAQ Unit. Данное микропроцессорное устройство в режиме реального времени оценивает параметры вибрации станка для предупреждения либо предотвращения внезапного отказа режущего инструмента и выявления брака обрабатываемых деталей. Система позволяет оператору своевременно распознавать проблемы и принимать предупредительные меры. Модуль виброакустической диагностики, установленный в электрошкаф станка, содержит блок обработки данных, который принимает электрические сигналы от акселерометров и переводит их в последовательные цифровые сигналы. Эти сигналы анализируются специализированным программным обеспечением и передаются в систему ЧПУ станка. Функциональные возможности модуля позволяют осуществлять комплексный мониторинг состояния ТС на основе сигналов из зоны резания. Эти сигналы регистрируются измерительной аппаратурой, установленной на станке: датчиком мощности и пьезоэлектрическим динамометром.

Сигналы от акселерометров пропорциональны виброускорению. Для оценки влияния вибраций на точность формы обрабатываемого изделия эффективно применять виброперемещение, которое определяет максимальные границы сдвига контролируемой точки и характеризуется двойной амплитудой [6].

Для пересчёта амплитуды виброускорения в амплитуду виброперемещения используют формулу

$$A' = Aa/\omega^2,$$

где A' — амплитуда виброперемещения; Aa — амплитуда виброускорения; $\omega = 2\pi f$ — круговая частота, f — частота колебаний.

На рис. 1 приведены характерные вибросигналы при встречном фрезеровании острозаточенной фрезой, осна-

щённой керамическими пластинами; фрезой, зубья которой по задней поверхности изношены до 0,2 мм; при фрезеровании керамическим инструментом с одним острозаточенным зубом. Сигнал при работе изношенной фрезой значительно возрастает, а при фрезеровании керамическим инструментом с одним острозаточенным зубом амплитуда импульса виброускорения в начале контакта фрезы с обрабатываемым материалом превышает амплитуду на выходе из зоны резания. Всплеск импульса при входе зуба в зону резания повышает вероятность хрупкого разрушения режущей пластины, особенно для керамических пластин [5].

В таблице представлены данные изменений амплитуды вибраций при торцевом фрезеровании керамическими пластинами с различной степенью износа. В разных октавных диапазонах характер изменений амплитуды неоднозначен: при входе зуба фрезы в зону обработки происходит одновременное увеличение жёсткости ТС, а при выходе — её снижение, так как процесс зависит от количества одновременно находящихся в зоне резания зубьев. Из этого следует, что параметры вибросигнала зависят от ширины фрезерования, которая определяется количеством зубьев в зоне резания.

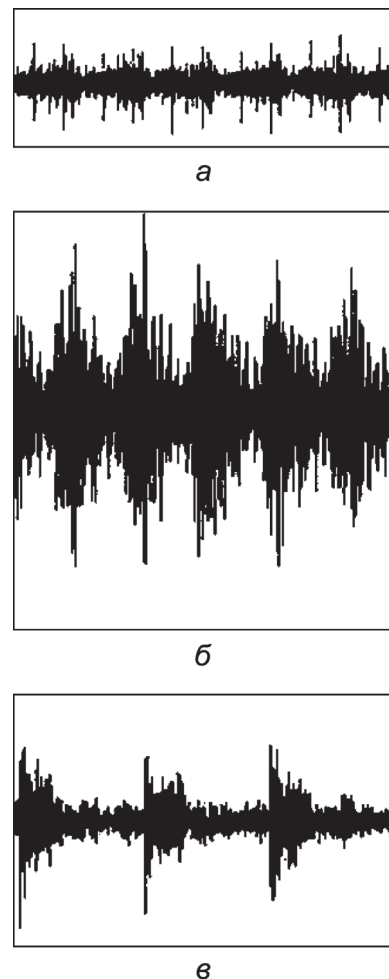


Рис. 1. Характерные вибросигналы при фрезеровании острозаточенным керамическим инструментом (а), изношенной фрезой (б) и керамическим инструментом с одним острозаточенным зубом (в)

Средняя амплитуда вибраций при различных частотах по мере нарастания износа фрезы, оснащённой керамическими пластинами

Износ инструмента, мм	Частота, МГц						
	1	0,5	15	8	2	4	30
0	0,8	2,1	3,6	1,8	0,1	0,3	1,2
0,1	2,8	2,6	3,4	1,5	0,5	0,5	0,9
0,2	4,7	3,2	2,9	1,5	0,9	0,8	0,7
0,3	7,6	3,4	2,4	1,7	1,2	0,9	0,5

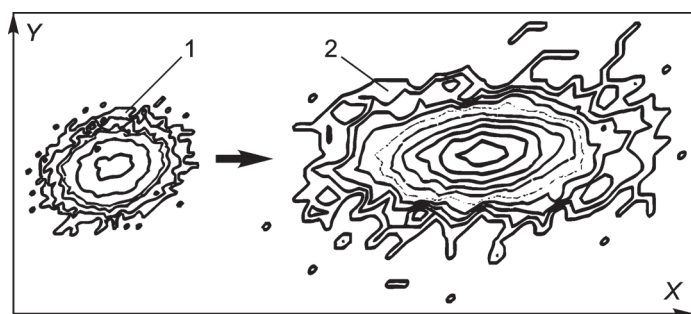


Рис. 2. Сравнение амплитуд вибраций острозаточенного (1) и изношенного (2) инструментов по осям XY с ростом износа фрезы, оснащённой керамическими пластинами:

X — ось шпинделя; Y — радиальное перемещение инструмента S_R

На рис. 2 приведён типовой круговой график (роза вибраций), построенный в плоскости XY по результатам анализа записей годографов виброускорения вершины керамической режущей пластины и данных, полученных с акселерометров. Эксперименты показали, что наибольшие изменения амплитуды вибраций происходят в направлении оси X . При переходе от острой режущей кромки керамической пластины к затупленной, амплитуда виброакустического сигнала возрастает в 2,6 раз по оси X . По оси Y рост сравнительно небольшой — порядка 35 %. Недопустимое увеличение износа вершины инструмента сопровождается снижением качества обработки поверхности детали. В этом случае характерные изменения виброакустического сигнала, поступающего от акселерометра, служат достоверным диагностическим признаком.

Вибрации из зоны резания в отличие от традиционно используемых для диагностики и мониторинга ТС силовых параметров позволяют проводить достоверный мониторинг хода резания. Однако изменение режимов резания отображается в параметрах вибрационного сигнала сложным образом, что затрудняет прогнозирование их значений без

предварительных экспериментов. Переменная жёсткость заготовки при обработке деталей с пространственно-сложными поверхностями оказывает дополнительное влияние на параметры вибрационного сигнала. Поэтому реализация и применение системы диагностики при обработке изделий в производственных условиях должны базироваться на теоретической и экспериментальной проработке и апробации новых технических решений.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в сфере научной деятельности в рамках государственного задания № 11.1052.2014/К.

Литература

1. Grigoriev S., Volosova M., Vereshchaka A., Seleznev A. High-strength Ceramic Cutting Tools with Multipurpose Coatings for Highly Effective Processing of Tempered Steel // *Advanced Materials Research*. 2014. V. 1064 (2015). P. 148—153.
2. Grigoriev S. N., Gurin V. D., Volosova M. A., Cherkasova N. Y. Development of residual cutting tool life prediction algorithm by processing on CNC machine tool // *Material wissenschaft und Werkstofftechnik*. 2013. V. 44. N. 9. P. 790—796.
3. Volosova M. A., Gurin V. D. Influence of vacuum-plasma nitride coatings on contact processes and a mechanism of wear of working surfaces of high-speed steel cutting tool at interrupted cutting // *J. Friction Wear*. 2013. V. 34 (3). P. 183—189.
4. Kozochkin M. P. Vibration in cutting processes // *Russian Engineering Research*. 2009. V. 29. N. 4. P. 428—432.
5. Григорьев С. Н., Гурин В. Д., Козочкин М. П., Кузовкин В. А. Диагностика автоматизированного производства. М.: Машиностроение, 2011.
6. Инновации. Новый металлорежущий инструмент и оснастка. Каталог KENNAMETAL. 2015. [Электрон. версия] <http://lab2u.ru/kennametal-b73-katalog-kennametal-2015-novyi-instrument-str-b73-0087-lab2u.html> (дата обращения 12.02.2016).

Дата принятия: 13.05.2016.

681.2-52

Устройство автоматизированного неразрушающего контроля пористости материалов

Ю. Н. МОЖЕГОВА, И. Н. МАРИХОВ

Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярёва, Ковров, Россия, e-mail: kandy2701@mail.ru

Приведено обоснование способа и созданного на его основе устройства автоматизированного неразрушающего контроля пористости материалов. Описаны конструкция и принцип работы устройства контроля. Определена точность контроля параметров пористости материалов газодинамическим методом.

Ключевые слова: автоматизированный, неразрушающий контроль, пористость, газодинамический метод.

The article provides a rationale for the method and device used for conducting automated non-destructive material porosity tests. Design of the control device and principles of operation are described. The accuracy of the material porosity control for the gas-dynamic method is determined.

Key words: computerized, non-destructive test, porosity, gas-dynamic method.

В настоящее время в приборостроении предъявляют высокие требования к точности и качеству устройств контроля. Наиболее оптимальные характеристики имеют устройства

неразрушающего автоматизированного контроля, позволяющие дистанционно контролировать физико-механические свойства изделий.