

УДК 621.9.02:658.562

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН
ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2016 Д.И. Волков, С.Л. Проскуряков

Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева

Статья поступила в редакцию 21.03.2016

Разработан ультразвуковой метод контроля, который устанавливает взаимосвязь между режущими свойствами инструментальных пластин из сверхтвердых материалов и частотой их собственных колебаний. Выполнена экспериментальная проверка зависимости стойкости пластин от их акустических свойств при точении жаропрочных никелевых сплавов. Представлена методическая и аппаратная база для осуществления ультразвукового метода контроля и определения резонансной частоты колебаний режущих пластин.

Ключевые слова: ультразвуковой метод контроля, режущие свойства, инструментальная пластина, сверхтвердый материал

В последнее время на авиационных предприятиях идет внедрение высокоскоростного точения для обработки заготовок из жаропрочных никелевых сплавов, что позволяет многократно повысить скорость резания и производительность [1]. В качестве инструмента для осуществления этого процесса используются резцы с механическим креплением режущих пластин из сверхтвердых материалов (СТМ) на основе нитрида бора, а также режущая керамика на основе нитрида кремния. Такие инструментальные пластины позволяют производить обработку резанием труднообрабатываемых материалов со скоростями на порядок выше, чем при традиционной обработке. Следует отметить, что для указанных материалов традиционные скорости резания при использовании твердосплавных пластин даже с самыми совершенными износостойкими покрытиями составляет 0,2-0,5 м/с. Такое увеличение скорости резания относительно обычных скоростей приводит к значительному увеличению интенсивности теплообразования в зоне резания и соответственно росту контактных температур на площадках контакта резец – заготовка [2, 3]. При этом пластины из СТМ должны иметь высокие показатели по стабильности их свойств и качеству изготовления. Испытания показывают, что режущие пластины из киборита, даже из одной заводской партии, могут отличаться в несколько раз по износостойкости [4]. Исследование этих же пластин с помощью ультразвукового метода контроля показало значительный разброс по скорости распространения упругих колебаний C_l в инструментальных пластинах (рис. 1).

Установлено, что такой разброс по свойствам пластин связан, в основном, с особенностями их производства. Режущие пластины из СТМ необходимых размеров, как правило, получают спеканием из мелких исходных зерен размером около 1 мкм в поликристалл при высоком давлении и температуре. Повторяемость условий спекания трудно обеспечить с высокой степенью точности, так как это приводит к увеличению себестоимости самих пластин, поэтому возникает необходимость определять режущие свойства пластин до их применения в производстве. Одним из эффективных методов неразрушающего контроля является

ультразвуковой метод контроля, основанный на определении частоты собственных колебаний объекта [5, 6].

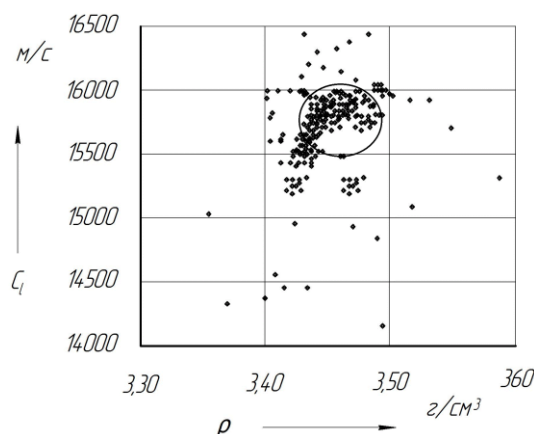


Рис. 1. Поле рассеивания скорости распространения упругих колебаний C_l и плотности ρ в пластинах из киборита (партия 100 шт.)

Экспериментально установлено, что пластины с высокими акустическими показателями, а именно, если скорость звука в пластине из СТМ на основе кубического нитрида бора составляет около 15800 м/с (эта область на рис. 1 обведена кругом). Для пластин из керамики на основе оксида алюминия – более 10500 м/с, то они будут иметь наилучшие результаты по стойкости. Для определения скорости звука C_l применялся косвенный метод [7], основанный на известной зависимости между частотой собственных колебаний f_i и C_l

$$f_i = F_i \cdot C_l, \quad (1)$$

где F_i – коэффициент формы, зависящий от геометрических размеров тела, его формы и коэффициента Пуассона; C_l – скорость распространения упругих колебаний в бесконечно длинном стержне, материал которого аналогичен материалу рассматриваемого тела.

Для контроля малогабаритных изделий, таких, как режущие пластины из СТМ, применение этого метода наиболее целесообразно. Сущность метода вынужденных колебаний заключается в том, что в изделии с помощью внешнего источника возбуждаются колебания, частота которых может изменяться. Частоту изменяют до тех пор, пока она не совпадет с частотой

Волков Дмитрий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой. E-mail: rmsi@rgata.ru
Проскуряков Сергей Львович, кандидат технических наук, доцент кафедры. E-mail: proskuryakov56@list.ru

собственных колебаний изделия. В этом случае наблюдается явление резонанса, в контролируемом изделии возникают стоячие волны с характерными областями расположения узлов и пучностей со значительным увеличением амплитуды в этих областях колебаний.

Величина резонансной частоты f зависит от скорости распространения звуковых колебаний C_l в изделии и является критерием оценки пластины. Схема измерения резонансных частот представлена на рис. 2.

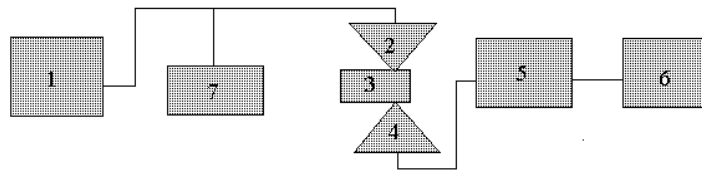


Рис. 2. Схема измерения резонансных частот пластин

Генератор 1 с возможностью изменения частоты создает электрические колебания, которые преобразуются пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП) 2 в механические и передаются к закрепленной контролируемой пластине 3. Возникающие в пластине колебания воспринимаются ПЭП приемником 4, а затем усиливаются усилителем 5 и поступают на индикатор резонанса 6. Частота генератора изменяется до тех пор, пока индикатор 6 не зафиксирует наступление резонанса. При этом частота собственных колебаний изделия совпадает с частотой вынужденных колебаний и определяется частотомером 7.

Если рассчитать коэффициент формы F_i , конкретной пластины, то можно по частоте собственных колебаний f_i определить величину C_l . Однако в литературе отсутствуют данные для определения F_i для формы, которую имеют инструментальные пластины, а именно: важно соотношение толщины и диаметра. Но в классической теории упругости для определения F_i известны зависимости, полученные для тонких пластин, а для толстых пластин, когда толщина образца приближается по размеру к его длине, выявлены различные частные зависимости и разработаны таблицы [6]. Поэтому был проведен размерный анализ существующих зависимостей из литературных источников, который позволил получить для стандартных инструментальных пластин простых форм несколько упрощенную зависимость следующего вида

$$F_i = \frac{K_i \cdot (1,17 - h/d) \cdot h/d^2}{\sqrt{1 - \mu^2}}, \quad (2)$$

где h – высота (толщина) пластины; d – диаметр вписанной окружности; μ – коэффициент Пуассона; K_i – коэффициент, зависящий от формы и схемы закрепления пластины при контроле, определяется по табл. 1. Зависимость (2) справедлива для режущих пластин из сверхтвердых и керамических материалов при условии, когда отношение h/d находится в пределах 0,2-0,5 для квадратных и круглых пластин, а для пластин треугольной формы в пределах 0,3-0,35.

При проведении исследований использовалась измерительная стойка с пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) от прибора «Звук – 107» и анализатор частотных характеристик Х1-54 со встроенным микропроцессором, который обеспечивал расширенный диапазон рабочих частот. С целью получения более высоких показателей по амплитудно-частотным характеристикам стандартные ПЭП применяемые в измерительной стойке были модернизированы. Также была разработана методика для идентификации и определения собственных частот колебаний пластин. На рис. 3 приведены АЧХ ПЭП до и после усовершенствования. Из рисунка видно, что удалось значительно улучшить характеристики преобразователей именно в рабочем диапазоне частот 300-1200 кГц.

Таблица 1. Определение коэффициента K_i от формы и схемы закрепления пластины

Форма пластины	Круглая		Квадратная		Треугольная	
Место закрепления	край	середина	угол	край	середина	середина
f_i	f_1	f_2	f_1	f_2	f_3	f_3
K_i	0,954	1,298	0,603	0,879	1,022	1,229

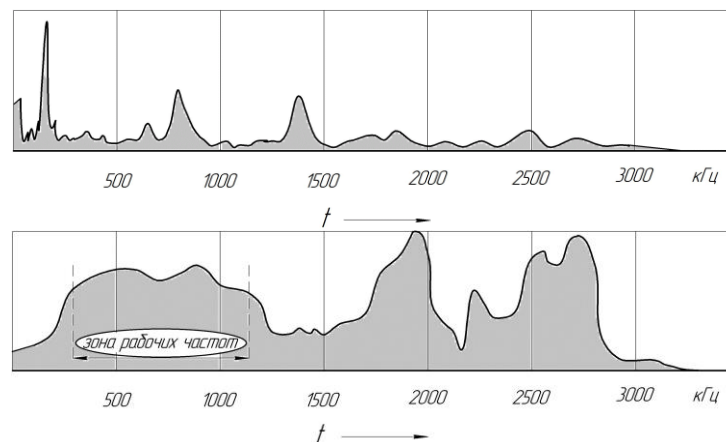


Рис. 3. АЧХ ПЭП до модернизации и после

Проведены измерения частот собственных колебаний различных инструментальных пластин и рассчитана скорость звука для наиболее распространенных сверхтвердых и керамических материалов, результаты сведены в табл. 2.

В условиях производства режущих пластин из СТМ и для повышения их качества, а соответственно и конкурентоспособности, целесообразно использовать ультразвуковой метод контроля и сортировку всей

готовой продукции. При контроле партии готовых пластин определенных размеров и форм, если стабильно обеспечиваются их размеры, коэффициент формы F_i , становится постоянным и контроль пластин можно проводить только по величине частоты f_i . Расчетным путем определены эффективные диапазоны частот f_i для некоторых режущих пластин из СТМ, результаты приведены в табл. 3.

Таблица 2. Частоты собственных колебаний различных инструментальных пластин

Материалы	Е, ГПа	ρ , г/см ³	μ	C_L , м/с
композит 01 (эльбор-Р)	840	3,4	0,16	15700
композит 02 (белбор)	720	3,5	0,15	14300
композит 05 (ниборит)	620	4,3	0,16	12000
композит 10 (гексанит-Р)	715	3,3	0,15	14800
киборит	880	3,44	0,16	16000
СТМ-6	752	4,45	0,16	13000
СТМ-21А (аналог киборита)	880	3,44	0,16	16000
минералокерамика (Al_2O_3)	350	3,9	0,20	9500
синтетический алмаз	850	3,2	0,22	16300

Таблица 3. Диапазоны частот f_i для некоторых режущих пластин из СТМ

Размер пластин d x h	Форма пластины	Материал пластины	Диапазон частот, кГц
12,7 x 4,76	квадрат	эльбор - Р	200 - 241
		СТМ - 21	175 - 201
		минералокерамика	125 - 150
7, 0 x 5,0	круглая	эльбор - Р	628 - 755
		СТМ - 21	547 - 630
		киборит	647 - 740
		СТМ - 21А	647 - 740
7, 0 x 4,0	круглая	СТМ - 6	575 - 662
		киборит	680 - 778

Вторая часть исследований была посвящена определению взаимосвязи между скоростью звука и другими свойствами инструментальных пластин объясняющих влияние их на износостойкость. Для этих экспериментов была отобрана группа пластин из различных марок СТМ (СТМ-6, СТМ-21, киборит). Предварительно для них была определена скорость распространения звука на модернизированном измерительном устройстве, затем была измерена теплопроводность λ . В основу измерения был положен метод продольного потока, а по принципу измерения он близок к методу Стакса-Чесмара [8]. Результаты эксперимента представлены на рис. 4. Из графика видно что существует высокая степень корреляции между C_L и λ .

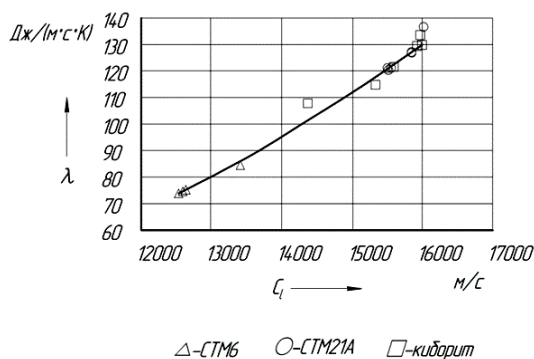


Рис. 4. Экспериментальная зависимость C_L и коэффициента λ

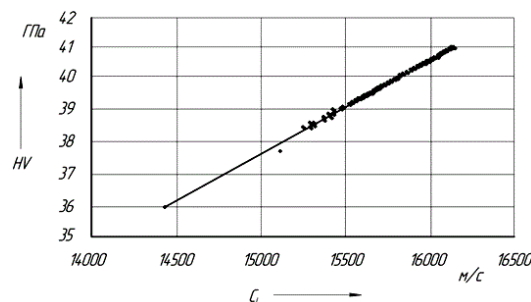


Рис. 5. Экспериментальная зависимость микротвердости и C_L (киборит)

Следующая серия экспериментов была проведена с измерением микротвердости. Для этого отбиралась партия пластин из киборита круглой формы следующих размеров: высота 4 мм, диаметр 7 мм. Для всех пластин определялся параметр C_L , при этом разброс по C_L составлял не более 15%. Это было сделано для того, чтобы оценить микротвердость у пластин, имеющих одинаковую структуру и отсутствие серьезных макродефектов и трещин. Измерения проводились на стандартном микротвердомере ПМТЗ-1, оснащенный алмазной пирамидкой Виккерса, прилагаемая нагрузка 700 г. Поверхности, на которых проводились замеры, предварительно доводились алмазной пастой на чугунной плите. На каждой пластине выполнялось не менее 15 замеров. Результаты данных исследований представлены на рис. 5.

Выводы:

1. Существует связь между скоростью распространения звука в инструментальных пластинах из СТМ и их режущими свойствами, выраженными через износостойкость: чем выше скорость звука C_l , тем выше стойкость.

2. Определение скорости звука C_l можно проводить расчетом, зная резонансную частоту пластины и коэффициент формы.

3. Износостойкость инструментальных пластин зависит от C_l и, как следствие, от теплопроводности, твердости и других свойств пластин выраженных через обобщенный показатель качества C_l .

4. Результаты проведенных исследований позволяют значительно облегчить проведение ультразвукового контроля пластин, особенно в производственных условиях. Учитывая, что предлагаемый метод контроля не вызывает разрушений инструментальной пластины, а также не требует дорогостоящего оборудования, то можно его рекомендовать для применения в производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волков, Д.И. Применение высокоскоростной токарной обработки при изготовлении деталей из жаропрочных никелевых сплавов / Д.И. Волков, С.Л. Проскуряков, С.С. Тарасов // Вестник РГАТУ. 2012. №21 (23). С. 134-137.
2. Макаров, В.Н. Термомеханика высокоскоростной лезвийной обработки / В.Н. Макаров, С.Л. Проскуряков // Вестник машиностроения. 1993. № 5 – 6. С. 28-29.
3. Проскуряков, С.Л. Стружкообразование и тепловые процессы при высокоскоростной обработке жаропрочных сплавов // Справочник. Инженерный журнал. 2009. №4. С. 41-43.
4. Ипатов, Н.С. Исследование возможности акустического контроля инструментов из киборита / Н.С. Ипатов, В.Н. Макаров, Л.С. Паокина и др. // Сверхтвердые материалы. 1993. №1. С. 41-43.
5. Макаров, В.Н. Акустическая диагностика и режущая способность инструмента из сверхтвердых материалов / В.Н. Макаров, С.Л. Проскуряков, В.А. Непомнящий // Контроль. Диагностика. 2003. №6. С. 21-23.
6. Коварская, Е.З. Использование частот собственных колебаний при неразрушающем контроле физико-механических свойств материалов и изделий: обзоры методов НК / Е.З. Коварская, И.Б. Московенко // В мире неразрушающего контроля. 2012. № 4. С. 5-8.
7. Глазовский, Б.А. Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении / Б.А. Глазовский, И.Б. Московенко. – Л.: Машиностроение, 1977. 208 с.
8. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. издание. 3-е изд. перераб. и доп. В 3-х т. Т.1. Методы испытаний и исследования / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахладта А.Х. – М.: Металлургия, 1983. 352 с.

ULTRASONIC METHOD OF QUALITY CONTROL OF THE CUTTING PLATES FROM SUPERSOLID MATERIALS

© 2016 D.I. Volkov, S. L. Proskuryakov

Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov

The ultrasonic control method which establishes interrelation between the cutting properties of tool plates from supersolid materials and the frequency of their own fluctuations is developed. Experimental checking the dependence of plates resistance on their acoustic properties when turning heat resisting nickel alloys is executed. The methodical and hardware base for implementation of ultrasonic control method and determination of resonant frequency of fluctuations of the cutting plates is presented.

Key words: *ultrasonic control method, cutting properties, tool plate, supersolid material*