

УДК 622.5:539.3

Особенности поведения материалов при инструментальном резании

Ю.А. Костандов

Таврический национальный университет, НИИ проблем геодинамики,
Симферополь 95007. E-mail: ipgd@yandex.ru

Аннотация. Разработана методика экспериментального исследования процесса разрушения материалов при ортогональном резании. Методика основана на цифровой регистрации усилий резания, определяемых методом фотоупругости. Установлен нестационарный характер процесса деформирования материала при его резании и влияние на него свойств материала, скорости и глубины резания. Получены зависимости усилия резания и энергоемкости разрушения материалов от скорости и глубины ортогонального резания при различных схемах резания.

Процессы резания широко используются при обработке деталей машиностроительных конструкций, изготовлении строительных блочных материалов, в различных технологических приемах разработки полезных ископаемых. Резание материалов сопровождается рядом сложных взаимосвязанных процессов, механизмы действия которых недостаточно ясны до настоящего времени [1]. Кроме этого, существующие аналитические и экспериментальные методы не позволяют определить напряженное состояние зоны стружкообразования без ряда допущений. Тем не менее, сложившаяся на сегодняшний день в Украине ситуация с энергоресурсами делает чрезвычайно важным использование энергосберегающих технологий во всех отраслях народного хозяйства.

Выбору рациональных режимов резания углей посвящено значительное количество исследований, обзор которых приведен в работе [2]. Здесь же приведены результаты исследований процессов разрушения крепких горных пород, в том числе известняков и песчаников, при вращательном бурении. Не умаляя ни в коем случае огромную значимость полученных в этих работах результатов для решения многих проблем интенсификации разрушения горных пород, следует отметить, что большинство применяемых в этих работах методик либо не предусматривает возможность изучения быстро изменяющегося во времени усилия резания, либо имеет ограниченный частотный диапазон его измерения. Последнее объясняется конструкцией силоизмерительного устройства и использованием в нем в качестве датчиков тензорезисторов.

Методика исследования высокоскоростного резания металлов, позволяющая регистрировать изменения усилия резания до 5 МГц, приведена в [1]. Однако эта

методика вследствие использования диэлектрического датчика давления применима для регистрации лишь переменной составляющей усилия резания в диапазоне высоких частот (более нескольких кГц).

Данная работа посвящена разработке методики и экспериментальному изучению поведения твердых материалов при инструментальном резании и направлена на исследование усилия резания и удельной энергоемкости разрушения материалов в зависимости от технологических параметров ортогонального резания.

Будем считать, что при ортогональном резании разрушение материала происходит за счет работы, совершаемой резцом, движущимся с заданной скоростью. Тогда энергоемкость A разрушения материала при ортогональном резании с постоянной скоростью V при выполнении реза длиной $l = l_2 - l_1$ за время $t = t_2 - t_1$ определяется следующим образом:

$$A = \int_{l_1}^{l_2} F(l)dl = V \int_{t_1}^{t_2} F(t)dt,$$

где F - усилие резания.

Суть методики экспериментального исследования разрушения материалов состоит в определении изменяющегося во времени усилия резания $F(t)$ и энергоемкости A при создании в образце серии резов одинаковой длины l с заданными шириной a , глубиной h . Резание материала выполняется с помощью фрезерного станка. Схема установки, на которой реализована данная методика, представлена на рис.1.

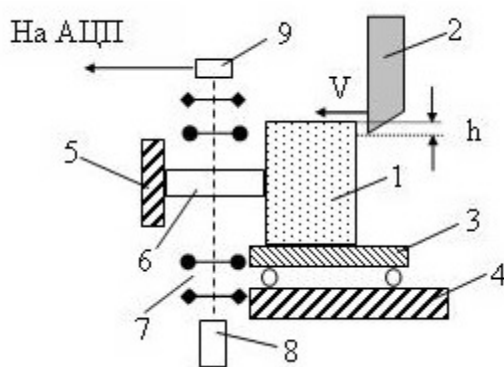


Рис. 1.

На этом рисунке показано, что резание образца 1 материала на фрезерном станке осуществляется за счет вертикальной подачи образца на резец 2 (или группу резцов), жестко закрепленный на шпинделе станка и вращающийся относительно горизонтальной оси шпинделя с заданной постоянной угловой скоростью ω в плоскости, параллельной направлению подачи. При этом образец горной породы закрепляется на каретке 3, имеющей возможность свободного перемещения относительно стола 4 фрезерного станка вдоль направления резания. Глубина резания h задается скоростью вертикальной подачи стола станка. Между образцом, закрепленном на каретке, и упором 5, жестко установленным на столе фрезерного станка, располагается упругий элемент 6 в виде пластины, выполненной из оптически активного материала ЭД20-МТГФА. Эта пластина является датчиком усилия резания. Определение силы резания проводится с помощью поляризационно-оптического метода исследования напряжений с применением кругового полярископа, состоящего из элементов 7. В качестве источника света используется стабилизированный по мощности

излучения лазер 8. Регистрация изменяющегося во времени порядка изохромы, соответствующего усилию резания, осуществляется фотоэлектронным методом [3] с помощью фотодиода 9, электрический сигнал от которого подается на аналогово-цифровой преобразователь и затем в устройство памяти компьютера. Это дает возможность сохранять регистрируемые в диапазоне частот 0...200 кГц данные в определенном файле и производить их дальнейшую обработку.

Используемый в работе 12 – разрядный аналогово-цифровой преобразователь ADA-1292В с частотой дискретизации 200 кГц обеспечивает возможность регистрации как постоянной, так и переменной составляющих нагрузки с чувствительностью и временным разрешением, необходимыми для решения поставленной задачи.

В данной работе проведено исследование влияния скорости и глубины ортогонального резания на энергоемкость разрушения образцов из силикатного кирпича (временная прочность на сжатие $\sigma_2 = 3000$) и известнякового камня ($\sigma_2 = 1000$) при резании свободной поверхности и срезании имеющихся на ней выступов. Для этого резание образцов проводилось по схеме, представленной на рис. 2, где цифрами обозначены номера в последовательности выполнения серий резов.

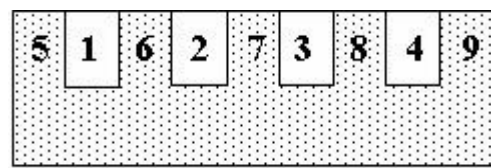


Рис. 2

Усилие резания определяется не только технологическими параметрами резания, физико-механическими характеристиками обрабатываемого материала, особенностями эволюции напряженно-деформированного состояния (НДС) и процессов разрушения при образовании стружки или сколов, но и колебаниями системы станок-резец-образец-датчик усилий. Поэтому с целью оценки и фильтрации шумов и собственных колебаний измерительной системы, а также установления характерных частот (гармоник) изменения во времени усилия резания проводился спектральный анализ регистрируемых данных [4], что отображено на рис.4-7.

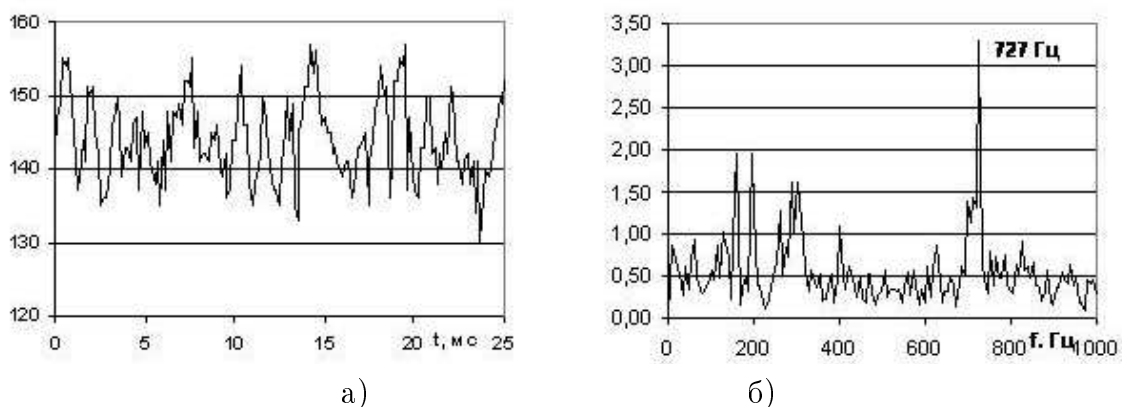


Рис. 3. Шум измерительной системы (а) и его спектральная плотность (б)

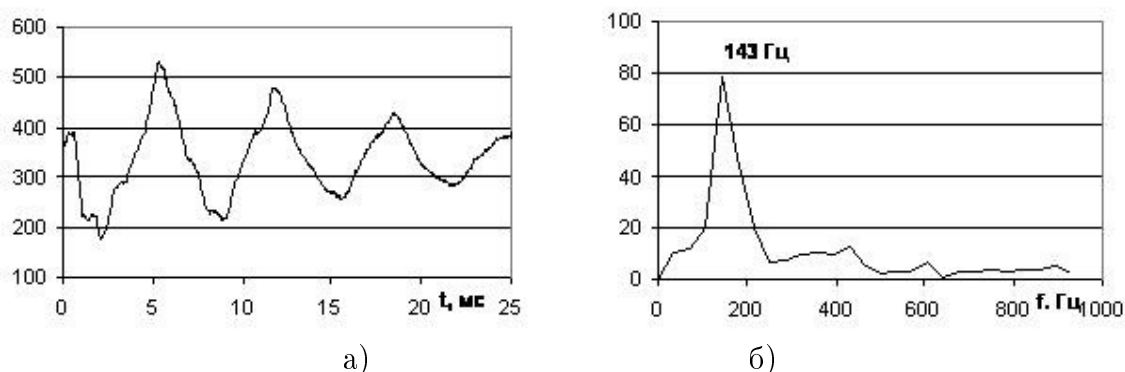


Рис. 4. Собственные колебания измерительной системы (а) и их спектральная плотность (б)

Из рис.3 и рис.4 следует, что амплитуда шума измерительной системы не превышает 20 относительных единиц, а амплитуды его гармоник в основном находятся в пределах одной единицы. Наиболее характерная частота шума составляет 727 Гц при амплитуде этой гармоники 3,2 единицы. Для собственных колебаний измерительной системы наиболее характерна частота 143 Гц, а амплитуда этой гармоники составляет 80 относительных единиц. Из этого уже следует, что шумовой сигнал является несущественным даже по сравнению с собственными колебаниями измерительной системы.

Из анализа данных, приведенных на рис.5 и рис.6, следует, что при резании обоих материалов увеличение глубины резания приводит к возрастанию и усилия резания, и доли его высокочастотных составляющих. Однако, если при резании известнякового камня увеличение глубины резания в два раза вызывает и рост усилия резания почти в два раза, то в случае силикатного материала амплитуда усилия резания возрастает незначительно. Последнее можно объяснить тем, что разрушение силикатного материала, в отличие от известнякового камня, происходит хрупким образом. Поэтому при увеличении глубины резания силикатного материала соответственно увеличивается и область перед резцом, в которой практически при том же значении усилия резания реализуется НДС, обеспечивающее развитие процесса разрушения. Это должно приводить к увеличению образования новых и развитию уже имеющихся трещин, что проявляется в смещении гармоник усилия резания в высокочастотную область спектра. При этом становится возможным образование сколов материала большего объема, а это, во-первых, имеет место в действительности, и, во-вторых, соответствует увеличению падений величины усилия резания до 50%.

В случае увеличения глубины резания известнякового камня в два раза характер изменения усилия резания во времени практически не меняется. Возрастание при этом почти в два раза его амплитуды может быть объяснено проявлением пластических деформаций при разрушении этого материала. Это означает, что с увеличением глубины резания для достижения НДС или какими-либо его компонентами уровня, обеспечивающего развитие разрушения, для исчерпания возмож-

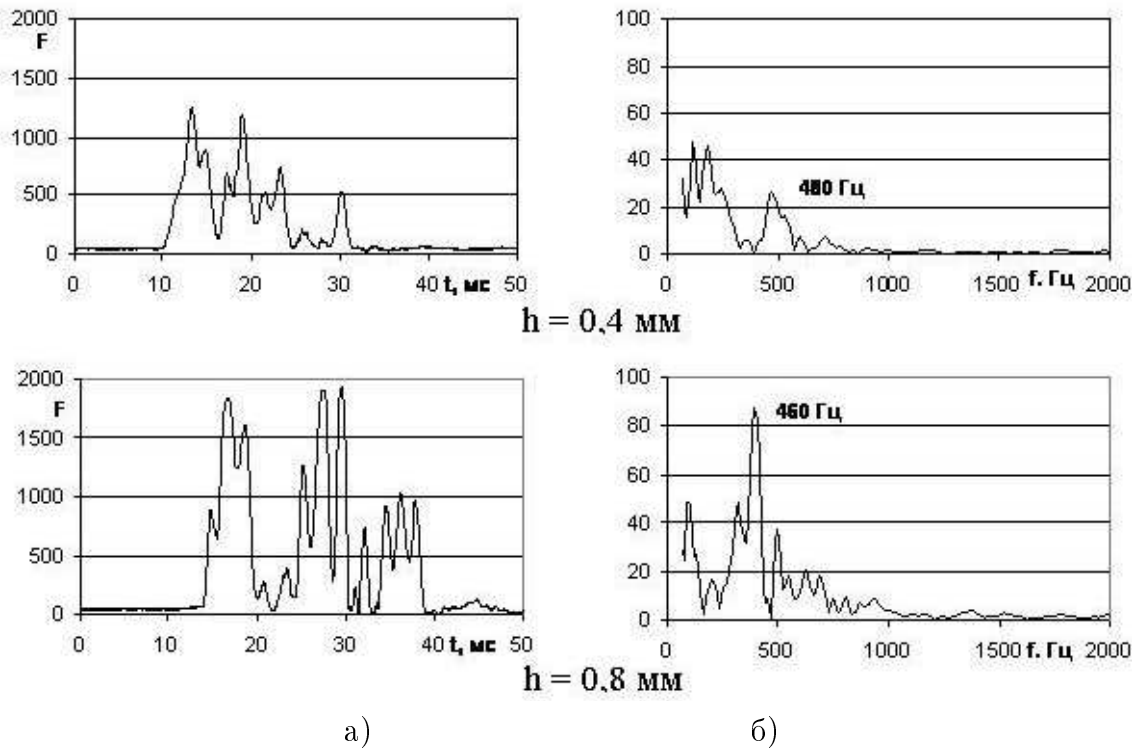


Рис. 5. Сила резания известняка (а) и ее спектральная плотность (б) при $V = 1,3$ м/с

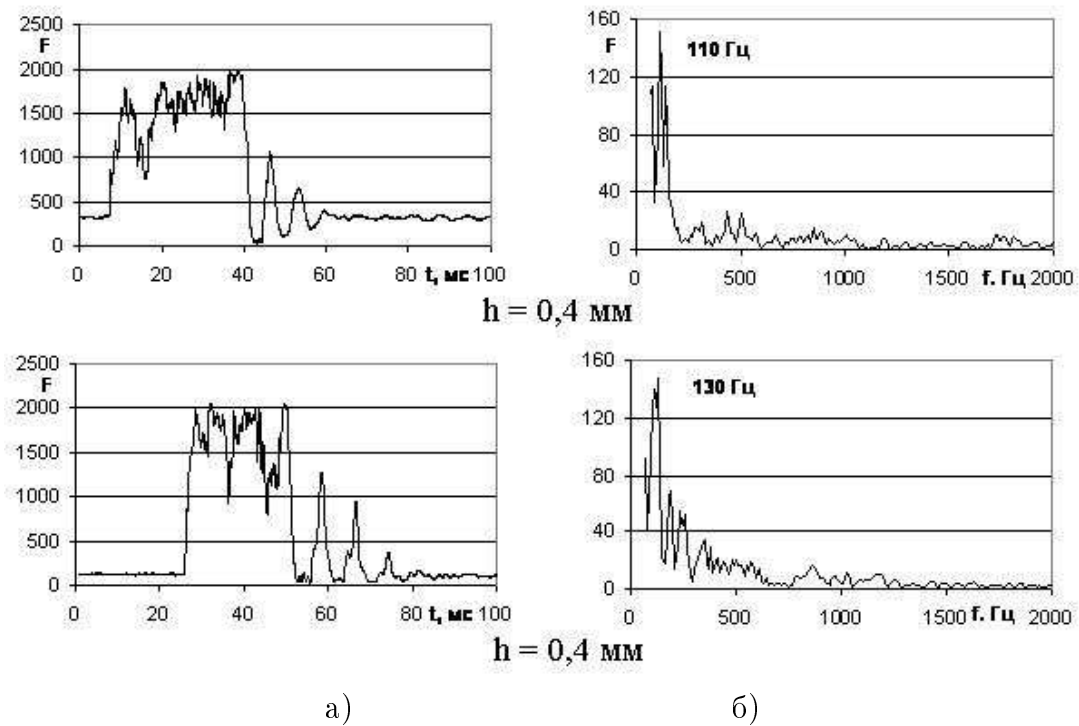


Рис. 6. Сила резания силиката (а) и ее спектральная плотность (б) при $V = 1,3$ м/с

ностей пластического деформирования в увеличившемся объеме материала требуется соответствующее увеличение усилия резания. Выполнение этого приводит, как и в случае силикатного материала, к увеличению количества вновь образующихся и развитию уже имеющихся трещин. Однако в этом случае акты образования сколов материала большего объема вызывают падения величины усилия резания практически на 100%, что объясняется относительно низким значением прочности известнякового камня.

На рис. 7 представлены результаты определения удельной энергоемкости разрушения W , то есть энергоемкости разрушения A , отнесенной к единице времени t и к единице объема v : $W = A/tv$. Удельная энергоемкость разрушения определялась при резании свободной поверхности (рис. 7а) и срезании имеющихся на ней выступов (рис. 7б) по схеме, приведенной на рис. 2, в зависимости от скорости и глубины резания.

Из приведенных данных следует, что при резании свободной поверхности (резы 1-4 на рис.2) и известняка, и силикатного материала удельная энергоемкость W их разрушения увеличивается при росте скорости резания V . Однако увеличение глубины реза h при резании силикатного материала приводит к снижению величины W , хотя, как было указано выше, при этом происходит незначительное увеличение усилия резания. Причина этого - в увеличении с глубиной реза h области перед резцом, в которой за счет хрупкого характера разрушения силикатного материала практически при том же значении усилия резания реализуется НДС, обеспечивающее образование новых и развитие уже имеющихся трещин. Их взаимодействие и слияние вызывает и множественное разрушение в объеме материала, и образование отдельных его сколов.

Следует отметить, что приведенные рассуждения относятся к величине удельной энергоемкости разрушения W . Величина полной энергоемкости разрушения A материала в этом случае, конечно же, растет.

Увеличение глубины реза h от 0,4 мм до 0,8 мм при резании известнякового камня приводит к возрастанию величины W . При дальнейшем увеличении h до 1,3 мм величина W начинает снижаться. Так на зависимости $W(h)$ при $V = 0,9$ м/с четко прослеживается максимум в районе $h = 0,9$ мм. По-видимому, при этом происходит исчерпание возможности пластического деформирования, и в известняке начинают происходить те же явления, что и в силикатном материале.

Исследование процессов разрушения путем срезания выступов на поверхности образцов (резы 5-9 на рис.2) позволило выявить весьма сложные зависимости удельной энергоемкости разрушения W от скорости V и глубины резания h как для известняка, так и для силикатного материала.

При срезании выступов на поверхности образца из известняка величина A снизилась в 2-3 раза по сравнению с ее значением при резании свободной поверхности этого же образца. В случае силикатного материала значения величины W остались в тех же пределах. Однако проявились существенные отличия в характере зависимостей величины W от глубины резания.

Увеличение скорости резания при срезании выступов на образце из известняка

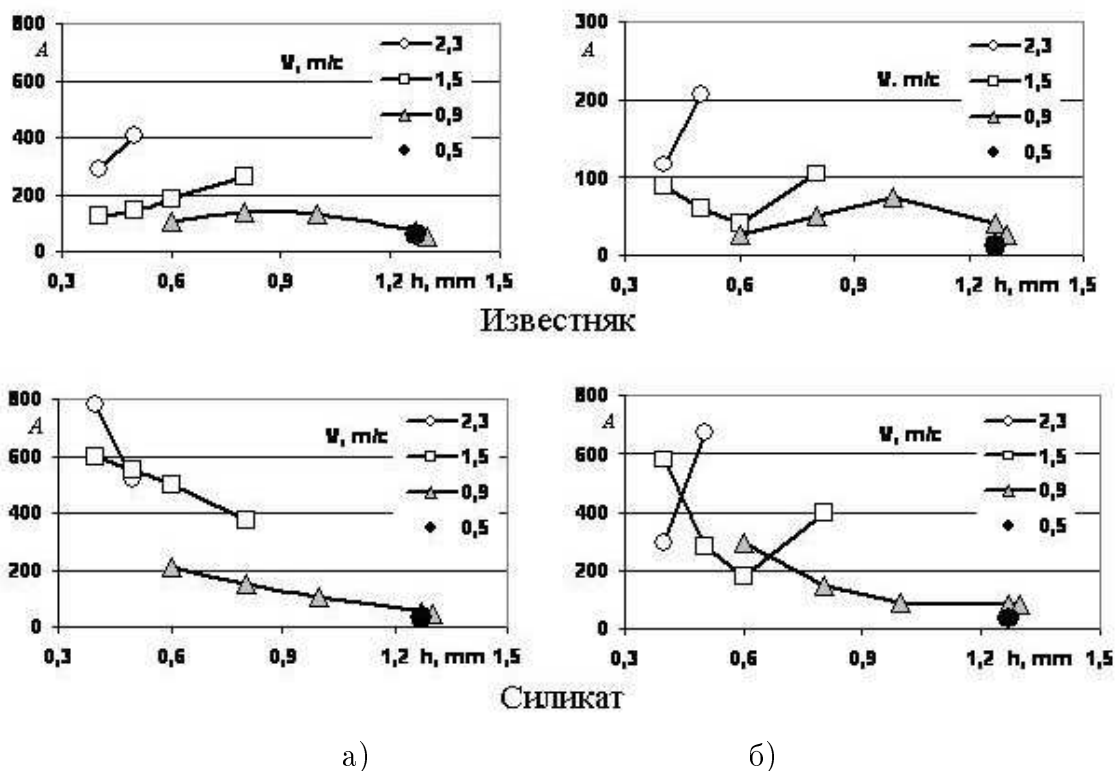


Рис. 7. Зависимости удельной энергоёмкости разрушения при резании свободной поверхности (а) и срезании выступов (б) от скорости и глубины резания.

приводит, как и в случае резания свободной поверхности, к росту величины W . Однако, на зависимостях величины W от скорости и глубины резания имеется максимум (при $h \approx 1$ мм и $V = 0,9$ м/с) и минимум (при $h = 0,6$ мм и $V = 1,5$ м/с).

Зависимости величины W от скорости и глубины резания при срезании выступов на образце из силикатного материала оказалась намного сложнее. В этом случае на зависимостях величины W от h наблюдаются два минимума: резкий при $h = 0,6$ мм и $V = 1,5$ м/с и слабовыраженный при $h \approx 1$ мм и $V = 0,9$ м/с.

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод о значительной зависимости процессов деформирования и разрушения материалов от скорости, глубины и схемы их резания. Изучение этих закономерностей может послужить обоснованием для выбора рациональных режимов резания с целью снижения его энергоёмкости.

Список цитируемых источников

1. Харченко В.В. Моделирование процессов высокоскоростного деформирования материалов с учетом вязкоупругих эффектов – Киев.: Ин-т проблем прочности НАН Украины, 1999.-280с. –ISBN 966-02-1062-0.

2. Москалев А.Н., Сологуб С.Я., Васильев Л.М. и др. Интенсификация процессов разрушения горных пород – М.:Недра, 1978.-208 с.
3. Метод фотоупругости. Методы поляризационно-оптических измерений динамической фотоупругости. Т.2./ под ред. Стрельчука Н.А., Хесина Г.А. -М.: Стройиздат, 1975.- 312 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. Для научных работников и инженеров – М.: Наука, 1973.-823 с.

Получено 11.10.2006