

XVIII
28279

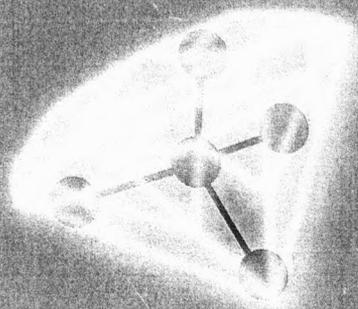
ISSN 0203-3119

СВЕРХ-

ТВЕРДЫЕ

МАТЕРИАЛЫ

28279



СОЗДАНИЕ
ПРОИЗВОДСТВО
ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИМЕНЕНИЕ

6

2003

СОСТАВ. РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Главный редактор — академик Новиков Н.В.

1-й зам Главного редактора — д. х. н. Туркевич В.З.

Зам. Главного редактора — д. х. н. Соложенко В.Л.

Ответственный секретарь — к. ф-м. н. Колодницкий В.Н.

Редакционная коллегия

Богатырева Г. ГГ

Бондаренко В.П.

Великанова Т.Я.

Гонтарь А. Г.

Девин АН.

Косторнов А. Г.

Красник В. Г.

Курдюмов А.В.

Майстренко А.Л.

Пашенко Е.А.

Перевертайло В.М.

Розенберг О.А.

Филатов Ю.Д.

Шило А.Е.

Шульженко А.А.

Яцимирский В.К.

International Editorial Board

Dr. A. Bacdzian,
Pennsylvania State University, USA

Dr. V.D. Blank,
Research Center for Superhard Materials,
Russia

Prof. C.A. Brookes,
The University of Hull, UK

Prof. G. Demazeau,
University Bordeaux I, France

Prof. W.B. Holzapfel,
University of Paderborn, Germany

Prof J.A.N. da Jornada,
Instituto de Fisica - UFRGS, Brasil

Dr. V.I. Levitas,
Texas Tech University, USA

Prof. S. Mitura,
Technical University of Lodz, Poland

Prof. A.V. Nozhkina,
VNIIMALMAZ, Russia

Prof. A. Onodera,
Osaka University, Japan

Prof. H. Vollstadt,
VDiamant GmbH, Germany

Адрес редакции: ✉ 04074 УКРАИНА, Киев, ул. Автозаводская, 2 ☎ (044) 430 34 41

Address of Editorial Board: ✉ 04074 2, Avtozavoskaya st., Kiev, UKRAINE ☎ (38-044) 430 34 41

E-mail: stmj@ism.kiev.ua

СВЕРХ- ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

№6 (146)
2003

КИЕВ

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ОСНОВАН В ИЮЛЕ 1979 г.
ВЫХОДИТ ШЕСТЬ РАЗ В ГОД

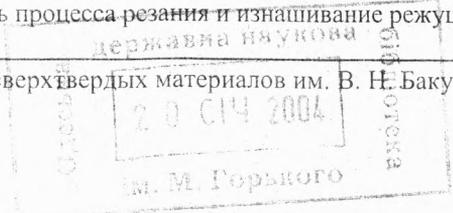
СОДЕРЖАНИЕ

Получение, структура, свойства

- Новиков Н. В., Катруша А. Н., Ивахненко С. А., Заневский О. А.* Влияние высокотемпературной обработки на дефектно-примесную структуру и цвет монокристаллов алмаза (обзор). 3
- Туркевич В. З., Соложенко В. Л., Кулик О. Г., Иценко П. П., Соколов А. Н., Луценко А. Н., Ващенко А. Н.* Диаграмма состояния системы Mg—В—N при высоких давлениях. 18
- Новиков Н. В., Лецук А. А., Александрова Л. И., Боримский А. И., Ващенко А. Н.* Экспериментальное исследование зон кристаллизации алмазов в аппарате высокого давления типа “наковальни с углублениями”. 26
- Полотняк С. Б.* Влияние высокого давления и деформаций сдвига на структурные изменения в материалах при деформировании на алмазных наковальнях. 33
- Подчерняева И. А., Панасюк А. Д., Затуловский С. С., Юречко Д. В., Варюхно В. В., Блоцаневич А. М.* Структурообразование и массоперенос износостойких покрытий при электроискровом легировании Al—Si-сплавов композиционной керамикой системы LaB₆—ZrV₂. 50
- Адамовский А. А., Лященко А. Б., Падерно Ю. Б.* Додекаборид циркония — эффективный абразивный материал. 60

Исследование процессов обработки

- Усов А. В., Оборский Г. А.* Влияние термомеханических явлений на устойчивость процесса резания и изнашивание режущих инструментов. 66



Шепелев А. А. Кинематика процесса вибрационно-прецессионного шлифования. 72

Инструмент, порошки, пасты

Григорян М. А. Технологическая возможность повышения износостойкости угловых алмазных правящих роликов. 80

Письма в редакцию

Рогов В. В., Ветров А. Г., Бояринцев А. А. Развитие технологии алмазного микрофрезерования деталей из неметаллических материалов. 85

Указатель статей, опубликованных в журнале “Сверхтвердые материалы” в 2003 г. 87

Журнал печатается по решению Ученого совета
Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Научные редакторы

Козина Г. К.
Захарчук А. П.

Верстка, графика и дизайн

Фролова Л. А.

Сдано в набор 20.10.2003. Подп. в печ. 03.12.2003. Формат 70×108/16.

Бум. писч. № 1 Уч.-изд. л. 8,05. Тираж 200 экз. Заказ № 167

Информационно-аналитический и коммуникаций отдел
ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины

УДК 621,9

А, В. Усов, Г. А. Оборский (г, Одесса)

Влияние термомеханических явлений на устойчивость процесса резания и изнашивание режущих инструментов

Рассмотрена динамика процесса резания с учетом контактной температуры в зоне обработки. Установлено, что стабилизация процесса наилучшим образом осуществляется в зоне контактных температур, составляющих 0,4—0,6 температуры плавления обрабатываемого материала. Минимальный износ инструмента происходит в зоне его контакта с обрабатываемым материалом.

Принципиальной особенностью предлагаемого подхода к построению динамической модели технологической системы (ТС) является выделение доминирующих физических процессов и их влияние на устойчивость резания.

Учитывая то, что физические процессы, протекающие в ТС (главным образом, силовые и тепловые), формируют динамическое состояние упругой системы (УС), представляет интерес оценка их совместного влияния на взаимное положение, форму, характер относительного движения элементов УС. Это влияние изменяет условия протекания процессов, создавая обратное воздействие УС на сами процессы.

В рамках традиционной модели [1] не удавалось выявить форму обратного влияния тепловых процессов на напряженно-деформируемое состояние обрабатываемого слоя в зоне резания и амплитудно-частотные характеристики колебательных процессов УС.

Изменение состояния динамической системы, т.е. значений ее параметров, влечет за собой изменение роли отдельных видов связей. Например, при увеличении скорости резания и соответствующем изменении температуры в зоне резания значительную роль начинает играть изменение свойств обрабатываемого материала. Вызванное им изменение напряженно-деформационного состояния материала изменяет энергетический баланс процесса резания, а также амплитудно-частотные характеристики динамических колебаний ТС. В частности, эта взаимосвязь существенно влияет на размерную стойкость инструмента.

Согласно [2], состояние контактных слоев трущейся пары — передней поверхности инструмента-стружки и фаски износа на вершине резца — определяется температурой этих слоев. Из параметров резания на температуру в зоне обработки наибольшее влияние оказывает скорость резания, меньшее — подача и еще меньшее — глубина резания. Кроме режимов резания (скорость v , поперечная подача f , глубина S) на эту температуру влияют механические и теплофизические свойства обрабатываемого материала. Геометрические параметры режущей части инструмента и степень его изношенности, теплофизические свойства инструментального материала, смазочно-охлаждающие технологические среды: СОТО) и другие технологические факторы формируют распределение тепла, поступающего в зону обработки между стружкой, инструментом, деталью и СОТО.

Исследования [2, 3] по оптимизации процесса резания показали, что определенному периоду стойкости резца для заданной пары инструмент—деталь соответствует одна и та же температура резания, не зависящая от комбинации элементов режима резания. В пользу постоянства оптимальной температуры резания свидетельствует большинство факторов, влияющих на интенсивность износа инструмента (отношение контактной твердости, физико-механические свойства обрабатываемого и инструментального материала и др.), и являющихся функцией контактной температуры.

Для исследования влияния теплофизических процессов на динамическую устойчивость процесса резания рассмотрим следующую задачу.

Движение упругой технологической системы станок—инструмент—деталь в двумерном случае описывается системой дифференциальных уравнений-относительно неизвестных функций $Y(t), Z(t)$:

$$\begin{cases} m\ddot{y} + b_1\dot{y} + c_1y = \mu P_z; \\ m\ddot{z} + b_2\dot{z} + c_2z = P_z; \\ T_p\dot{P}_z + P_z = -k_p\alpha wT_k, \end{cases} \quad (1)$$

где m — приведенная масса ТС; b_i — коэффициенты демпфирования по осям Oy и Oz ; $c, \mu, T_p, k_p, \beta, \alpha, w$ — заданные постоянные величины. Требуется найти решение этой системы уравнений, удовлетворяющее начальным условиям

$$\begin{cases} y(0) = y_0; \\ \dot{y}(0) = y'_0; \\ z(0) = z_0; \\ \dot{z}(0) = z'_0; \\ P(0) = P_0, \end{cases} \quad (2)$$

где $y_0, y'_0, z_0, z'_0, P_0$ — заданные числа.

Необходимо исследовать систему уравнений (1) на устойчивость и установить связь между временем затухания переходных процессов в зоне обработки и величиной контактной температуры, предполагая, что эта величина является оптимальной для заданной пары инструмент—деталь.

Представим систему уравнений (1) в нормальной форме Коши:

$$\begin{cases} \dot{y}(t) = \varphi(t); \\ \dot{\varphi}(t) = \frac{1}{m}[\mu P_z(t) - b_1 \varphi(t) - c_1 y(t)]; \\ \dot{z}(t) = \psi(t); \\ \dot{\psi}(t) = \frac{1}{m}[P_z(t) - b_2 \psi(t) - c_2 z(t)]; \\ P_z(t) = \frac{1}{T_p}[-P_z(t) - k_p y(t) + \beta \psi(t) - k_p \alpha, w T_k]. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь неизвестными функциями являются $\varphi(t)$, $\psi(t)$, $y(t)$, $z(t)$, $P_z(t)$.

Для системы уравнений (3) вычислим характеристический полином. Для этого составим матрицу

$$\mathbf{X}(t) = \begin{pmatrix} \dot{y}(t) \\ \dot{\varphi}(t) \\ \dot{z}(t) \\ \dot{\psi}(t) \\ P_z(t) \end{pmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{F}(t). \quad (4)$$

Матрица \mathbf{A} состоит из коэффициентов, характеризующих ТС по массе, жесткости, свойствам обрабатываемого материала и режимам обработки с учетом температуры в зоне обработки. Ее представление и выражение для $P_z(t)$ имеют вид

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{b_1}{m} & 0 & -\frac{c_1}{m} & 0 & \frac{\mu}{m} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{b_2}{m} & 0 & -\frac{c_2}{m} & \frac{1}{m} \\ 0 & \frac{\beta}{T_p} & -\frac{k_p}{T_p} & 0 & -\frac{1}{T_p} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{F}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{k_p}{T_p} \alpha t w T_k \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Асимптотическая устойчивость ТС, описываемой функциями $y(t)$, $z(t)$, $P_z(t)$, зависит от характера корней характеристического полинома, получаемого из условия

$$\det(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}) = 0. \quad (6)$$

Согласно критерию Рауса-Гурвица [4], корни уравнения

$$f(\lambda) = a_0 \lambda^5 + a_1 \lambda^4 + a_2 \lambda^3 + a_3 \lambda^2 + a_4 \lambda + a_5 \quad (7)$$

будут иметь отрицательные вещественные части тогда и только тогда, когда будут положительными все главные миноры матрицы

$$\mathbf{\Gamma} = \begin{pmatrix} a_1 & a_0 & 0 & 0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & a_0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ 0 & 1 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_3 & a_5 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$\Delta_1 = a_1 > 0; \Delta_2 = a_1 a_2 - a_3 a_0 > 0, \dots, \Delta_5 > 0.$$

Из постановки задачи следует правомерность этих неравенств

Запас устойчивости динамического состояния ТС, описываемого системой дифференциальных уравнений (Г), будет зависеть от α_0 , при котором у полинома ДА - а) появляется корень на мнимой оси [4].

При описании различных технологических процессов, в том числе и для системы дифференциальных уравнений (I), необходимо учитывать явление послепействия. Это целесообразно, если сила, действующая на систему, зависит от скорости и положения точки ее приложения.

Наличие запаздывания в изучаемой системе, позволяет выявить зависимость ТС; от условий резания, существенно влияющих на ход процесса. Для нашего случая запаздыванием является промежуток времени, который нужен ТС для реагирования на входной импульс, Запаздывание в системе резания может вызывать появление самовозбуждающихся колебаний, приводить к увеличению времени перегруппировки и даже неустойчивости самого процесса резания.

В рассматриваемой задаче запаздывание зависит не только от времени, но и от термомеханического состояния зоны контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Эта зависимость описывается соответствующими коэффициентами, входящими в систему дифференциальных уравнений (1).

Для определения запаздывания запишем полином в виде

$$f(\lambda - \alpha) = a_0(\alpha)\lambda^5 + a_1(\alpha)\lambda^4 + a_2(\alpha)\lambda^3 + a_3(\alpha)\lambda^2 + a_4(\alpha)\lambda + a_5(\alpha).$$

Явный вид о, <a) достаточно громоздкий и поэтому опускается.

Составляем матрицу Гурвица (8), но, в отличие от приведенной, ее коэффициенты уже будут зависеть от а. Рассмотрим полученные из этой матрицы уравнения

$$\Delta_j(\alpha) = 0, j = 1, \dots, 5, \quad (9)$$

где Δ_j - определитель I урвица. С каждым значением a_k связываем значение контактной температуры T_k^* . В качестве коэффициента выбираем наименьший положительный корень a_k этих уравнений. Анализ корней уравнений (9) в зависимости от параметра T_k^* показал, что с увеличением T_k^* уменьшается «о, т.е. скорость затухания амплитудно-частотных составляющих колебаний ТС растёт. Следовательно

$$w(t) = \|x(t)\|$$

удовлетворяет уравнению

$$\dot{w}(t) + \alpha_0 w(t) = f(t),$$

где $f(t) = -k_p a w^* T_k$.

Таким образом, полученная модель ТС позволяет, помимо уже известных закономерностей, характеризующих динамическое состояние ТС, исследовать влияние контактной температуры T_k на амплитудно-частотные характеристики, например, на время возвращения ТС в устойчивое состояние (рис. 1).

Анализ зависимости свидетельствует о том, что время возвращения ТС в устойчивое состояние в диапазоне контактных температур 500—700 °С достигает минимальных зна-

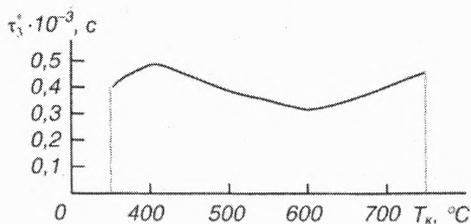


Рис. 1. Зависимость времени возвращения ТС в устойчивое состояние Д от величины контактной температуры.

чений, т.е. процесс резания стабилизируется за более короткий промежуток времени, и тем самым расширяется область устойчивости и надежности ТС, состоянием которой описывается системой дифференциальных уравнений (1).

Предложенная модель позволяет исследовать энергетические показатели процесса снятия стружки. Так, в частности, с ее помощью можно обосновать относительные режимы процесса резания по критериям энергоемкости и надежности с обеспечением требуемого качества обрабатываемых поверхностей.

Экспериментально подтверждено существование конкретных температурно-скоростных условий резания металлических материалов, характеризующихся взаимодействием двух взаимных открытых подсистем общего процесса резания [5]. Процесс образования стружки представляет собой самоорганизующуюся диссипативную структуру, которую называют внешней подсистемой. Самоорганизация этой подсистемы происходит под влиянием активных факторов: скорости и температуры резания, геометрических параметров режущей части инструмента, условий трения в зонах контакта инструмента со стружкой и заготовкой, сил резания и соответствующих давлений, действующих на передней и задней поверхностях инструментов.

Вторая подсистема отражает особенности реакции рабочих поверхностей режущей части инструмента на воздействие перечисленных активных параметров общего процесса резания. Относительная эффективность процесса обработки резанием и изнашивание инструмента определяются соответствующими затратами мощности на диспергирование материалов в разграниченных двух подсистемах.

Если процесс резания в большинстве случаев соответствует макромасштабному уровню, то процессы изнашивания инструмента в зависимости от условий резания и соотношения механических свойств инструментальных материалов и обрабатываемой детали с учетом влияния на них скорости резания и контактной температуры могут соответствовать нескольким масштабным уровням: микро-, мезо-, субструктурному и макроскопическому. При устойчивом процессе резания имеет место микроизнашивание инструмента. Об этом свидетельствуют экспериментальные значения относительного износа (рис. 2, а) в точках оптимальных контактных температур (425, 650, 870 °С). Аналогичная картина наблюдается для зависимости относительного износа инструмента от скорости резания (рис. 2, б). Ветви У-образной кривой аппроксимируются степенной зависимостью $I_{\text{ин}} = \text{ош}^n \cdot p_{\text{ст}}$, где $n = 0,7—3,7$ для левой и $1,0—5,0$ для правой ветвей кривой износа; точки перегиба кривых соответствуют $V_{\text{рез}} = 50$ м/мин и характеризует смену масштабов изнашивания. При $V_{\text{рез}} > 50$ м/мин наблюдается катастрофическое разрушение поверхности резцов.

Выполненный анализ свидетельствует о целесообразности поиска устойчивых областей процесса резания, обеспечивающих минимальный износ инструмента и минимум плотности мощности резания, а также оптимальное соотношение энергоемкости обрабатываемых материалов и рабочих слоев инструмента в зонах трибоконтакта со стружкой и с обрабатываемой поверхностью.

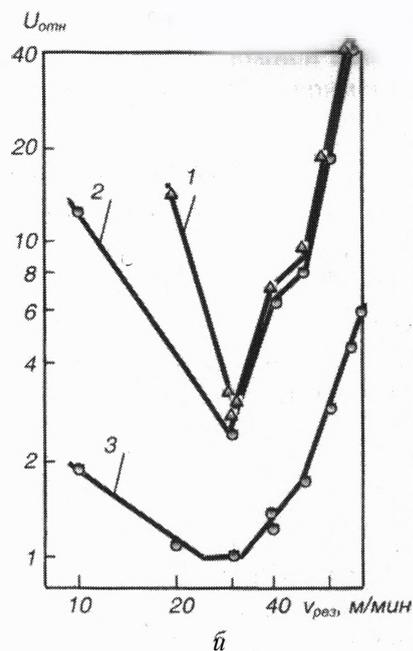
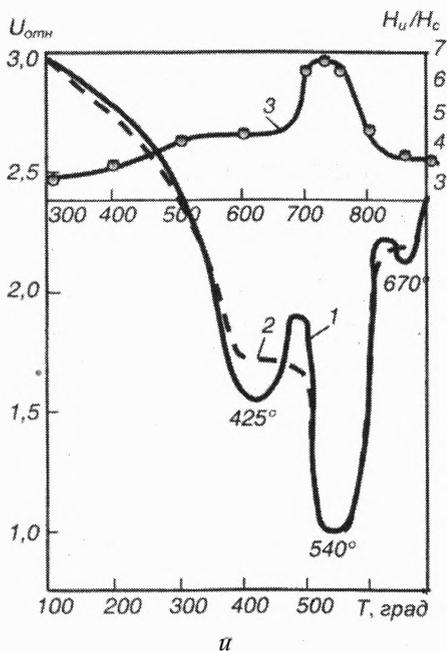


Рис. 2, Износ резцов с пластинками твердого сплава при обработке стали 40: а — зависимость износа резцов из сплавов ВК6 (1), ВК8 (2) и изменение отношения твердости рабочих слоев инструмента H_u/H_c из сплава системы Т 1 $CWC-Co$ и обрабатываемого материала Y_c (5) от температуры в зоне резания; б — зависимость износа резцов из сплавов ВК6 (1), ВК8 (2) и сплава системы ТЮ—9 $^{\circ}C-Co$ (5) вблизи минимума износа при $T=600^{\circ}-650^{\circ}C$ от скорости резания,

К Кудинов В. Я, Динамика станков, — М; Машиностроение, 1967, — 359 а

2. Макаров Л. Д Оптимизация процессов резания, — Мл Машиностроение, 1976, — 278 с,

3, Якимов А. Усов А, Слободянт П, Г, Теплофизика механической обработки. — Киев: Техника, 1991. — 256 с»

4< Усш А, Дубров А, Я> Дмитришин Д \$, Моделирование систем с распределенными параметрами, — Одесса: Астропринт, 2002, — 640 с,

5, Розенберг А. М, Еремин Л, Я, Элементы теории процесса резания металлов, — М., Свердловск: Машгж, 1956. — 31.8 с.

Одесский национальный
политехнический ун-т

Поступила 18.06.03