



ВЕСТНИК машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

7
2007

Орган информации

МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ЭНЕРГЕТИКИ РФ

Главный редактор **А.И. САВКИН**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Алексейчук Г.П., **Алешин Н.П.**, **Братухин А.Г.**,
Воронцов А.Л., **Гусейнов А.Г.**, **Дмитриев А.М.**
(председатель секции обработки материалов без
снятия стружки), **Драгунов Ю.Г.**, **Древаль А.Е.**
(председатель секции технологии машиностроения),
Дроздов Ю.Н. (председатель секции кон-
струирования и расчета машин), **Кутин А.А.**,
Логунов А.В., **Омельченко И.Н.** (председатель
секции организации и экономики производства),
Пименов А.Ф., **Попов Д.Н.**, **Салтыков М.А.**,
Трегубов Г.П., **Цыганкова И.А.** (ответственный
секретарь)

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

*Журнал входит в перечень утвержденных
ВАК РФ изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней*

Журнал переводится на английский язык,
переиздается и распространяется
во всем мире фирмой
"Аллертон Пресс" (США)

Ордена Трудового Красного Знамени
ОАО «Издательство "Машиностроение"»
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Адрес редакции:

129626, Москва,
проспект Мира, д. 106, а/я 78.
Телефоны: (495) 687-63-37, (495) 682-77-11
E-mail: vestmash@mashin.ru
www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован 19 апреля 2002 г. за
№ 77-12421 в Комитете Российской Федерации по
печати

Учредитель: А.И. Савкин

Индексы: **70120** ("Роспечать"),
27841 ("Пресса России"),
60264 ("Почта России")

Цена свободная

Отпечатано в Подольской
типографии, филиале ОАО "ЧПК",
142110, г. Подольск, ул. Кирова, 15

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

- Порядков В. И. — Снижение динамики упругих элементов машин методами волновой механики 3
- Тютиков Г. Ф., Мартынов Р. Е. — Неполная взаимозаменяемость подшипниковых втулок при запрессовке в корпусные детали 6
- Цыбулько А. Е., Романенко Е. А., Козлов П. Н. — Оценка прочности конструкций по натуральному критерию предельного состояния материалов 10
- Мамедов Г. А., Мусаев В. Г. — Совмещение дискретного метода и системно-структурного анализа при решении задач для сложных динамических систем с распределенными параметрами 12
- Шекун Г. Д. — Использование газлифтного устройства в патрубке нагнетания переносного турбонасосного агрегата 16
- Сергеева Л. В. — Исследование напряженно-деформированного состояния элементов графитовой кладки ядерных реакторов с учетом анизотропии графита 19
- Сызранцев В. Н., Голофаст С. Л., Лысяный К. К. — Определение предела выносливости трубных сталей 17ГС, 17Г1С, 14ХГС через их прочностные характеристики 22

Цикл статей

"Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки"

- Дроздов Ю. Н., Тутнов А. А., Тутнов Ан. А., Алексеев Е. Е., Макаров В. В., Афанасьев А. В. — Расчетно-экспериментальные исследования фреттинг-коррозии и колебаний тепловыделяющих сборок водоводяного энергетического реактора ВВЭР-1000 26

В помощь конструктору и расчетчику

- Иванов А. С. — Нормальная, угловая и касательная контактные жесткости плоского стыка 34

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

- Грубый С. В. — Имитационное моделирование процессов резания и изнашивания инструмента 38
- Щуров И. А., Ворона В. В. — Определение рабочих кинематических углов при обработке резцом синусоидальной цилиндрической поверхности 42
- Пухальский В. А. — Принципы структурного и параметрического анализа конструкций на примере режущего инструмента 46
- Шнеерсон В. Я. — К построению модели сварочной ванны 48
- Микипорис Ю. А., Антонов А. В. — Совершенствование очистки масел трибозлектризацией 49

Обработка материалов без снятия стружки

- Лобанов А. С. — Контактные явления при деформирующем протягивании 52

В порядке обсуждения

- Абрамов Ф. Н. — Влияние погрешностей формы и взаимного расположения базовых поверхностей на точность базирования призматических заготовок с совмещением баз 54

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

- Фасхиев Х. А., Крахмалева А. В., Гарифов А. Г. — Оценка качества и конкурентоспособности комплектующих и запасных частей автомобилей 65
- Омельченко И. Н., Мухортов Д. П. — Сбалансированная система показателей как инструмент стратегического управления на предприятиях ОПК 79
- Конoplev В. Н. — Методология формирования заданного уровня качества грузовых транспортных средств по энергетическим показателям на стадии проектирования 83

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- Даниленко Б. Д. — Выбор режима резания для дисковых фрез, оснащенных зубчатыми сегментами из быстрорежущей стали 85
- Зайчиков А. Ф. — Особенности конструкции подвижных уплотнений газовых полостей цилиндров 86
- Рейзина Г. Н., Микულიк Т. Н., Бобровник А. И., Шаметко С. А. — Планирование эксперимента при исследовании вибронегруженности сиденья водителя 87
- Иванов А. Н. — Московский международный салон инноваций и инвестиций 89
- Потапова Г. С. — Обзорные зарубежные издания 95
- Реклама 95
- Вниманию читателей 95

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

- Poryadkov V. I. — Machine resilient member dynamics reduction by the wave mechanics methods 3
- Tyutikov G. F., Martynov R. Ye. — Bearing bush incomplete interchangeability at pressing in basic parts 6
- Tsyboulko A. Ye., Romanenko Ye. A., Kozlov P. N. — Structural strength estimation by natural criterion of material limiting state 10
- Mamedov G. A., Mousaev V. G. — Combination of discrete method and system-and-structural analysis at solving problems for distributed parameters complex dynamic systems 12
- Shekoun G. D. — Gas lifter application in the discharge outlet of the portable turbo-driven pump assembly 16
- Sergeyeva L. V. — Study of the mode of deformation of the nuclear reactors graphite stack elements considering anisotropy 19
- Syzrantsev V. N., Golofast S. L., Lysyany K. K. — Pipe steel 17ГС, 17Г1С, 14ХГС endurance limit determination by their strength properties 22

Series of articles

"Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication"

- Drozhdov Yu. N., Tutnov A. A., Tutnov An. A., Alekseyev E. E., Makarov V. V., Afanasyev A. V. — Rated pilot research of fretting and fuel assembly fluctuation of the ВВЭР-1000 water-to-water power reactor 26

For designer's and calculator's benefit

- Ivanov A. S. — Normal, angular and tangent contact rigidity of plane joints 34

MANUFACTURING TECHNOLOGY

- Grouby S. V. — Simulation of the tool cutting and wearing processes 38
- Schurov I. A., Vorona V. V. — Working angle determination at sine-shaped cylindrical surface cutting 42
- Pookhalsky V. A. — Foundations of constructions structural and parametric analysis illustrated by an example of cutting tool 46
- Shneerson V. Ya. — On the welding bath model construction 48
- Mikiporis Yu. A., Antonov A. V. — Oil treatment perfection by friction electrification 49

Chipless materials working

- Lobanov A. S. — Contact phenomena at deforming broaching 52

In order of discussion

- Abramov F. N. — Effect of form inaccuracy and of location surface positional relationship on the basing precision of base-superpositioned prismatic blanks 54

PRODUCTION ORGANIZATION AND ECONOMICS

- Faskhiyev Kh. A., Krakhmaleva A. V., Guarifov A. G. — Quality and competitive strength rating of the motor-car component and spare parts 65
- Omelchenko I. N., Mookhortov D. P. — Indicators balanced system as a tool for strategical operation of business in defense industrial establishment 79
- Konoplev V. N. — Methodology of lorry set quality standard formation by energy datum at the design stage 83

TECHNICAL INFORMATION

- Danilenko B. D. — Cutting conditions choice for disk cutters armed with HSS gear segments 85
- Zaychikov A. F. — Design features of cylinder gas chamber dynamic seals 86
- Reyzina G. N., Mikulik T. N., Bobrovnik A. I., Shametko S. A. — Design of experiments at driving seat vibration-loading study 87
- Ivanov A. N. — Moscow international salon for innovations and investments 89
- Potapova G. S. — Review of foreign journals 95

Художественный редактор Т. Н. Галицына
Технический редактор И. С. Павлова
Корректор М. Г. Джавадия

Сдано в набор 04.05.2007. Подписано в печать 13.06.2007.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 11,76. Уч.-изд. л. 14,47. Заказ 882.

Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

УДК 621.941.1

С. В. ГРУБЫЙ, д-р техн. наук (МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Имитационное моделирование процессов резания и изнашивания инструмента

Излагается научно обоснованный методический подход к имитационному моделированию процессов резания и изнашивания инструмента, которое позволяет получать экспериментальные данные, адекватные исследуемому процессу, а в ряде случаев заменяет физический эксперимент.

Scientifically valid technical approach to tool cutting and wear processes simulation, which assures to obtain experimental data adequate to the investigated process, and in a number of cases it may substitute physical experiment.

Моделирование относится к одной из основных категорий теории познания, на которой базируется как теоретический, так и экспериментальный метод научного исследования. Моделирование предусматривает изучение явлений, процессов или систем путем построения и исследования их моделей. Модель, будучи определенной абстракцией изучаемого явления, дает возможность многократного проведения опытов или вычислительных экспериментов для познания сущности процесса. **Физическая (натурная) модель** — установка или устройство, позволяющее проводить исследование путем замены изучаемого физического процесса подобным ему процессом с сохранением его физической природы. Характерным примером физического моделирования является изучение износостойкости и адгезии инструментальных материалов с помощью специальных установок по трению и адгезиометров.

Математические модели отличаются тем, что средством их описания и изучения является формальный аппарат математики. Преимущество — широкая возможность количествен-

ного анализа с помощью современных математических методов. Математическая модель процесса резания может быть представлена как совокупность уравнений и ограничений, описывающих связь показателей функционирования, в первую очередь износа и стойкости инструмента, с переменными параметрами ее состояния, и состоит из групп математических зависимостей, характеризующих кинематику процесса, разрушение материала, трение на контактных поверхностях, тепловые, химические, электромагнитные и другие явления. Учитывая сложность явлений и взаимосвязей процесса резания, общепринятый подход к изучению его модели предусматривает проведение **экспериментальных исследований** с последующей аппроксимацией результатов математическими уравнениями того или иного вида. Например, рекомендовано использовать для этих целей многофакторные полиномиальные модели, для чего предложен соответствующий математический аппарат расчета коэффициентов и снижения погрешностей уравнений [1].

В отличие от экспериментальных

математические модели, полученные по результатам **теоретических исследований**, являются более универсальными и позволяют всесторонне описывать и исследовать процессы резания и изнашивания инструмента. Так, предложена методика для расчета скорости изнашивания лезвийных инструментов, которая позволяет количественно описать процесс изнашивания резцов в широком диапазоне изменения режимных параметров и, как следствие, провести анализ обрабатываемости сталей и сплавов [2]. Исходными данными для расчета являются: режимные параметры, геометрические параметры режущей части инструмента, механические и физические характеристики инструментального и обрабатываемого материалов, параметры шероховатости изнашиваемой инструментальной поверхности. Общая последовательность расчета включает определение параметров сечения срезаемого слоя, характеристик стружкообразования, сил, контактных давлений, параметров фрикционного контакта, температур резания, интенсивности и скорости изнашивания резцов по задней поверхности с последующим определением стойкости инструмента. В основе методики лежит математически выраженная функциональная связь для числа циклов фрикционного контакта до разрушения микрообъемов инструментальной поверхности с переменными, входящими в физическую модель. Анализ расчетных зависимостей величины износа, скорости изнашивания, стойкости резцов из твердых сплавов разных марок и нитрида бора при обработке материалов от алюминиевого сплава и углеродистых сталей до высоколегированных коррозионно-стойких и жаростойких сталей и сплавов, вклю-

чая титановый сплав, показал их соответствие экспериментальным данным по качественным и количественным показателям.

Вместе с тем наряду с оценкой соответствия расчетных и экспериментальных значений существенный интерес представляют исследования поведения модели и устойчивости ее решений в зависимости от изменения исходных условий. Одним из эффективных инструментов таких исследований является **имитационное моделирование (ИМ)**, основная цель которого заключается в воспроизведении поведения изучаемой модели на основе анализа наиболее существенных взаимосвязей входящих в нее переменных. По существу ИМ представляет собой вычислительный эксперимент, результаты которого позволяют оценить влияние фактора неопределенности в значениях входных переменных на функции или выходные переменные. Таким образом, ИМ, как и метод Монте-Карло, основано на использовании случайных выборок для оценки результатов моделирования.

В методическом аспекте для ИМ входные переменные реализуются через **датчики случайных чисел (ДСЧ)**, воспроизводящие их статистические аналоги. В практике моделирования применяются ДСЧ, формирующие случайные числа с нужным законом распределения. Получение таких чисел происходит в два этапа: 1) формирование физическим или программным методом случайных чисел, равномерно распределенных на отрезке $[0, 1]$; 2) программный переход к случайным числам, имеющим требуемый закон распределения. **Физические ДСЧ** состоят из n -триггеров со счетным входом, каждый из которых регистрирует независимый поток импульсов от счетчика радиоактивных частиц или шумовые выбросы электронной лампы [3]. **Программные ДСЧ** фактически генерируют псевдослучайные числа, так как, начиная с какого-то, пусть очень большого, порядкового числа, они повторяются. Некоторые алгоритмы программных ДСЧ приведены в работе [4].

Для удобства практической реализации ряд программных продуктов имеет встроенные программные ДСЧ. Например, в MATLAB для ге-

нерации псевдослучайных чисел имеется встроенная функция **rand**, которая позволяет без повторения получить 2^{1492} псевдослучайных чисел, равномерно распределенных на указанном интервале. С помощью функции **randn** можно сгенерировать случайные числа, распределенные по нормальному закону.

В PASCAL функция **random** при однократном обращении возвращает псевдослучайное число из ряда равномерно распределенных. Помимо этого при необходимости повторных обращений процедура **randomize** инициализирует случайным значением встроенный ДСЧ, что позволяет избежать повторения результатов. Случайное число ξ , распределенное по нормальному закону с математическим ожиданием m и дисперсией σ^2 , может быть рассчитано программно по ряду в n значений псевдослучайных равномерно распределенных чисел η_j :

$$\xi = m + \sqrt{12\sigma^2/n} \sum_{j=1}^n (\eta_j - 0,5), \quad (1)$$

где на основании центральной предельной теоремы количество значений равномерно распределенных чисел должно быть $n \geq 12$. Таким образом, для получения ряда нормально распределенных чисел количеством N процедуру (1) необходимо повторить N раз.

Можно использовать способ получения пары нормально распределенных чисел, используя пару равномерно распределенных. Так, если η_1, η_2 — равномерно распределенные числа на интервале $[0, 1]$, то $u_1 = 2\eta_1 - 1$ и $u_2 = 2\eta_2 - 1$ есть равномерно распределенные числа на интервале $[-1, 1]$. Тогда, если вспомогательная переменная $S = u_1^2 + u_2^2 > 1$, то $W = \sqrt{-2 \ln(S)/S}$, и получаем пару нормально распределенных чисел:

$$\xi_1 = m + \sigma W u_1; \quad \xi_2 = m + \sigma W u_2, \quad (2)$$

где m и σ — математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение (СКО) соответственно.

В качестве примера на рис. 1 приведена кривая плотности распределения ряда значений твердости HB обрабатываемого материала, кото-



Рис. 1. Кривая плотности распределения твердости обрабатываемого материала

рое сгенерировано ДСЧ и рассчитано в соответствии с выражениями (2). Были заданы: $HB = 2000$ МПа, коэффициент вариации (отношение СКО к среднему) $Var = 0,15$ и $N = 50$. Нулевая гипотеза о том, что полученная выборка значений твердости имеет нормальный закон распределения, подтверждена по пяти общепринятым критериям согласия: среднего абсолютного отклонения (САО), размаха варьирования, Пирсона, Колмогорова—Смирнова, показателей асимметрии и эксцесса. Обобщенные результаты составили: HB — среднее значение 1958 МПа, максимальное — 2467 МПа и минимальное — 1430 МПа; СКО = 253 МПа; $Var = 0,13$. Аналогичные результаты получены по генерации рядов значений других переменных, что подтвердило эффективность использованных расчетных алгоритмов и программ.

Предложенная методика расчета скорости изнашивания и стойкости инструмента учитывает взаимодействие более 50 переменных [2]. На основании проведенного анализа к наиболее существенным входным переменным отнесены:

режимные параметры — скорость v , подача S , глубина t ;

геометрические параметры инструмента — передний угол γ , угол наклона кромки λ , задний угол α , главный угол ϕ в плане, угол ϵ при вершине, радиус r при вершине;

параметры инструментального материала — твердость HV (МПа), коэффициент λ_2 теплопроводности, модуль Юнга E_2 ;

параметры обрабатываемого материала — твердость HB , коэффициент λ_1 теплопроводности, температура ω ; модуль Юнга E_1 ;

параметры микрогеометрии изнашиваемой инструментальной по-

Влияние рассеяния значений твердости обрабатываемого материала на рассеяние характеристик резания

Статистические показатели	Входная переменная HV , МПа	Характеристики резания				
		q_z , МПа	q_{max} , МПа	K_1	T_p , °C	P_z , Н
Среднее значение	1977,0	421,8	1724	2,7	622	2316
СКО	290	44	423	0,45	26	156
Var	0,15	0,10	0,25	0,17	0,04	0,07

верхности — шероховатость R_{max2} , радиус r_2 выступов микронеровностей.

Выходные переменные или функции характеризуют несвободное коосульное резание для условий точения сборными резацами, оснащенными сменными многогранными пластинами (СМП), заготовок из различных конструкционных сталей. Расчетными выходными переменными являются: параметры сечения срезаемого слоя и пятна контакта стружки с передней поверхностью инструмента; углы сдвига и действия; коэффициент усадки стружки; сила стружкообразования, силы на передней и задней поверхностях; составляющие силы резания; коэффициенты трения; нормальное и касательное давления на контактных поверхностях инструмента; интенсивности тепловых потоков, температуры деформации и резания; средний диаметр пятен контакта, относительное сближение контактных поверхностей; число циклов фрикционного контакта инструментальной поверхности до разрушения; интенсивность и скорость изнашивания задней поверхности инструмента; период резания и стойкость инструмента.

Рассматривая все входные переменные как случайные величины, распределенные по нормальному закону с заданными статистическими показателями и представленные псевдослучайными программно-сгенерированными числами, провели **вычислительные эксперименты**, суть которых заключается в изучении влияния рассеяния входных переменных на выходные. Каждый ряд содержал $N = 50$ значений случайной величины, и такое же число раз рассчитывались соответствующие значения выходных переменных с последующей проверкой на соответствие нормальному закону и оценкой статистических показателей.

В табл. 1 отражено влияние рассеяния значений твердости обрабатываемого материала на рассеяние характеристик резания: среднего нормального контактного давления q_z на задней поверхности и максимального давления q_{max} на режущей кромке, коэффициента k_1 усадки стружки, температуры T_p и вертикальной составляющей P_z силы резания. Условия резания были приняты следующими: обрабатываемый материал — сталь 45; инструментальный материал — твердый сплав марки T15K6; резец с СМП формы WNUM-100412, $\varphi = 60^\circ$, скорость резания $v = 3$ м/с; подача $S = 0,28$ мм/об, глубина резания $t = 3$ мм. Отмечено, что наибольшее влияние рассеяние твердости обрабатываемой стали оказывает на контактные давления и усадку стружки.

На рис. 2 приведены графики, характеризующие влияние рассеяния входных переменных на рассеяние выходных.

При проведении этих вычислительных экспериментов все входные переменные принимались постоянными за исключением исследуемой. Отмечена высокая степень влияния

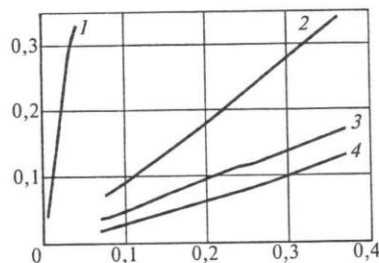


Рис. 2. Связь коэффициентов вариации входных переменных с выходными: 1) $HV - I_{Ht}$; 2) $t - P_z$; 3) $HV - P_z$; 4) $HV - T_p$

твердости твердого сплава на скорость изнашивания инструмента. Для этого варианта, который может иметь место при разбросе твердости СМП, коэффициент вариации выходной переменной значительно больше коэффициента вариации входной переменной (линия 1). Рассеяние глубины резания, связанное, например, неодинаковым припуском на заготовках, вызывает приблизительно такое же рассеяние силы резания (линия 2). Рассеяние силы и температуры резания меньше, чем рассеяние твердости обрабатываемой стали (линии 3 и 4).

Влияние коэффициентов вариации входных переменных на коэффициент вариации стойкости отражено на графиках, приведенных на рис. 3. Стойкость определялась численным интегрированием по расчетным значениям скорости изнашивания инструмента. Степень влияния рассеяния твердости твердого сплава и скорости резания высокая. Рассеяния шероховатости изнашиваемой поверхности твердого сплава и твердости обрабатываемой стали приводят к такому же рассеянию стойкости резцов.

Аналогичные результаты были получены для условий обработки заготовок из стали марки 12Х18Н10Т резацами из твердого сплава марки BK8 ($v = 2$ м/с, $S = 0,28$ мм/об, $t = 3$ мм). Семейство расчетных кривых износа инструмента ($N = 50$), соответствующих коэффициенту вариации скорости резания $Var(v) = 0,1$ при малом рассеянии всех остальных пере-

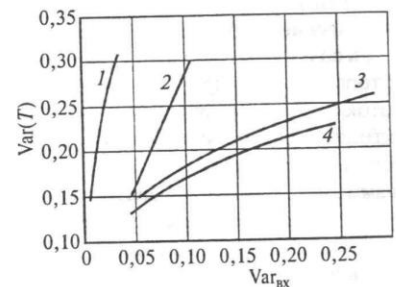


Рис. 3. Изменение коэффициента вариации стойкости в зависимости от коэффициентов вариации входных переменных: 1 — твердости HV инструментального материала; 2 — скорости v резания; 3 — шероховатости Ra изнашиваемой поверхности инструмента; 4 — твердости HV — обрабатываемого материала

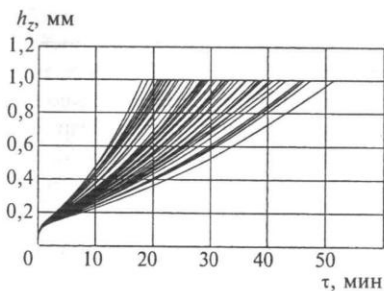


Рис. 4. Семейство расчетных кривых износа твердосплавных резцов при обработке стали марки 12Х18Н10Т, соответствующих коэффициенту вариации скорости резания $\text{Var}(v) = 0,1$

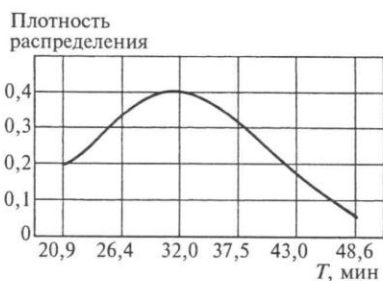


Рис. 5. Кривые плотности распределения расчетных значений стойкости T твердосплавных резцов для условий обработки коррозионно-стойкой стали

менных, показано на рис. 4. Соответствующая гистограмма плотности распределения расчетных значений стойкости приведена на рис. 5. Распределение стойкости подчиняется нормальному закону и статистические показатели составили:

среднее значение $T = 31,6$ мин, СКО = 8,6 мин, $\text{Var}(T) = 0,27$. Эта серия вычислительных экспериментов подтвердила высокую степень влияния рассеяния скорости резания, что отражено линией 2 на рис. 3.

С целью ранжирования входных

переменных по степени влияния их рассеяния на рассеяние стойкости инструмента была проведена серия вычислительных экспериментов ($N = 50$ по каждому фактору) для условий обработки заготовок из стали марки 45 резцами из твердого сплава марки Т15К6. Коэффициент вариации каждой из переменных $\text{Var} = 0,1$, в то время как остальных — $\text{Var} = 0,001$. Результаты вычислений сведены в табл. 2, из которой видно, что если уровень рассеяния всех исследованных входных переменных очень низкий ($\text{Var} = 0,001$), то и коэффициент вариации стойкости составляет малую величину $\text{Var}(T) = 0,007$. Не все переменные оказывают одинаковое влияние. Можно выделить переменные, рассеяние которых существенно влияет на рассеяние стойкости инструмента. Так, для скорости v резания, заднего угла α инструмента, твердости HV инстру-

Влияние коэффициентов вариации входных переменных на коэффициент вариации стойкости

Таблица 2

Входные переменные	Коэффициенты вариации входных переменных																	
	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0,001
v	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0,001
S	...	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
t	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
γ	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
λ	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
α	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
φ	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ε	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...	...
r	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...	...
HV	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...	...
HB	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...	...
λ_1	0,001	0,1	0,001	...	...	...	...
ω	0,001	0,1	0,001	...	...	...
E_1	0,001	0,1	0,001	...	...
λ_2	0,001	0,1	0,001	...
E_2	0,001	0,1	0,001
$R_{\max 2}$	0,001	0,1
r_2	0,001	0,22	0,035	0,015	0,006	0,009	0,116	0,037	0,016	0,026	0,71	0,074	0,61	0,32	0,0017	0,008	0,014	0,064
$\text{Var}(T)$	0,007	0,22	0,035	0,015	0,006	0,009	0,116	0,037	0,016	0,026	0,71	0,074	0,61	0,32	0,0017	0,008	0,014	0,064
Коэффициенты вариации стойкости																		

Значения показателей, характеризующих разброс входных переменных

Таблица 3

Показатель переменной	Входные переменные																	
	$v, \text{ м/с}$	$S, \text{ мм/об}$	$t, \text{ мм}$	γ	λ	α	φ	ε	$r, \text{ мм}$	$HV, \text{ МПа}$	$HB, \text{ МПа}$	$\lambda_1, \frac{\text{кал}}{\text{см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}}$	$\omega, \text{ см}^2/\text{с}$	$E_1, \text{ ГПа}$	$\lambda_2, \frac{\text{кал}}{\text{см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}}$	$E_2, \text{ ГПа}$	$R_{\max 2}, \text{ мкм}$	$r_2, \text{ мкм}$
Номинальное значение	3,00	0,28	3,00	-7,00	7,00	6,9	60	80	1,2	16 833	2000	0,095	0,08	206	0,065	525	5	90
СКО	0,15	0,03	0,30	-0,70	0,70	0,69	6,00	8,00	0,12	505,0	200,0	0,003	0,005	20,6	0,007	52,5	0,5	9,0
Коэффициент вариации	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	0,1	0,03	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

ментального материала, коэффициентов теплопроводности λ_1 и температуропроводности ω обрабатываемого материала коэффициент вариации стойкости превышает коэффициент вариации входной переменной. При совокупном влиянии рассеяния всех входных переменных рассеяние стойкости увеличивается.

Была поставлена задача определить уровень рассеяния исследованных входных переменных, в совокупности обеспечивающих коэффициент вариации стойкости $\text{Var}(T) \approx 0,1$. Итоговые показатели по каждой переменной приведены в табл. 3. Для этих исходных данных были рассчитаны кривые "скорость изнашивания — период резания", "величина износа — период резания" и стойкость: всего 20 выборок по 50 значений в каждой. В качестве примера на рис. 6 приведены расчетные кривые скорости изнашивания $I_{\text{из}}$ из одной выборки. Статистические показатели стойкости составили: среднее значение $T = 31,9$ мин; СКО = 3,3 мин; $\text{Var}(T) = 0,103$. Такое рассеяние стойкости можно считать вполне приемлемым.

С увеличением коэффициентов вариации переменных увеличивается коэффициент вариации стойкости. В следующей серии вычислительных экспериментов (20 выборок по 50 значений) коэффициенты ва-

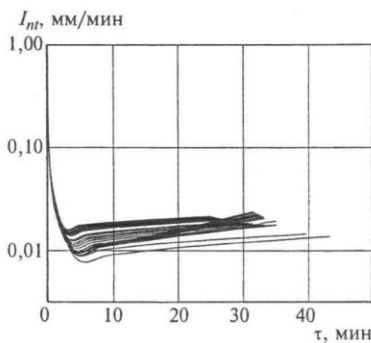


Рис. 6. Расчетные кривые скорости изнашивания $I_{\text{из}}$ резцов в зависимости от периода τ резания, соответствующие вариации входных переменных по табл. 3

риации скорости резания, твердости инструментального материала, твердости обрабатываемого материала, коэффициент теплопроводности были увеличены и приняты, соответственно: $\text{Var}(v) = 0,1$; $\text{Var}(HV) = 0,04$; $\text{Var}(HB) = 0,15$; $\text{Var}(\lambda_1) = 0,05$. Остальные коэффициенты соответствовали табл. 3. Статистические показатели стойкости изменились и составили: среднее значение $T = 31,7$ мин; СКО = 6,7 мин; $\text{Var}(T) = 0,21$. При большем увеличении рассеяния входных переменных анализ расчетных моделей скорости изнашивания и стойкости инструмента теряет смысл из-за большого разброса значений выходных переменных.

Таким образом, установлены допустимые значения коэффициентов вариации входных переменных, приведенные в табл. 3, обеспечивающие высокую точность расчета характеристик резания, скорости изнашивания, величины износа и стойкости инструмента.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что имитационное моделирование является эффективным инструментом статистической оценки не только натуральных, но и теоретических (математических) моделей, в том числе процессов резания и изнашивания инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грубый С. В. Многофакторная аппроксимация полиномиальными моделями экспериментальных зависимостей резания металлов // Технология машиностроения. 2000. № 9. С. 29—35.
2. Грубый С. В. Теоретические исследования процесса изнашивания лезвийных инструментов // Технология машиностроения. 2006. № 2. С. 44—50.
3. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. 384 с.
4. Волков И. К., Загоруйко Е. А. Исследование операций: Учеб. для вузов. 3-е изд., стереотип. / Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 440 с.

УДК 621.9:62-43

И. А. ЩУРОВ, д-р техн. наук, В. В. ВОРОНА (Южно-Уральский ГУ, г. Челябинск)

Определение рабочих кинематических углов при обработке резцом синусоидальной цилиндрической поверхности

Разработана математическая модель для определения рабочих кинематических углов резца при токарной обработке синусоидальной цилиндрической поверхности. Рассчитаны рабочие кинематические передний и задний углы при обработке синусоидальной цилиндрической поверхности с тремя выступами для различных статических углов резца. Даны рекомендации по выбору статических углов резца.

The developed mathematical model is aimed at determining operating kinematic cutting angle at sine-shaped cylindrical surface turning. Operating kinematic face angle and clearance at sine-shaped cylindrical three-lugged surface turning are assessed at different static cutting angles. Recommendations on static cutting angles choice are given.

Соединение вала с втулкой, предназначенное для передачи крутящего момента, сравнительно широко используется в большинстве механизмов и машин. Наиболее распространенными формами такого соединения являются шпоночные и шлицевые соединения. Однако

в последнее время для этих целей все чаще используются соединения, имеющие цилиндрические поверхности, радиальный профиль которых выполнен по синусоиде:

$$\rho(\psi) = a - b \cos(i\psi), \quad (1)$$