



ВЕСТНИК машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

2
2006

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.**, **Рыбакова Л.М.**,
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, Стромьинский 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

- Рязанцев В. М. — Мультифазный двухвинтовой насос А8 2ВВ 50/40—30/40 на дифференциальное давление 40 бар 3
- Поляков А. П. — Методика расчета остаточных деформаций в толстостенном цилиндре при термоциклировании с фазовыми превращениями 7
- Шишкарёв М. П. — Уровень перегрузки при срабатывании адаптивных фрикционных муфт 13
- Красильников А. Я., Муравьев К. Ю. — Особенности геометрического расчета эвольвентных зубчатых передач при допущенном зацеплении 15
- Остемин А. А., Дильман В. Л. — Влияние дефектов сварки, расположенных на границе сплавления, на прочность сварного соединения 21
- Шухман С. Б., Соловьев В. И., Прочко Е. И. — Повышение КПД полнопоточной гидрообъемной трансмиссии за счет комбинированного способа регулирования гидромашин 27
- Гузанов Б. Н., Мигачева Г. Н., Большакова М. Ю. — Определение оптимальных условий для проведения закалки при индукционном нагреве крупномодульных зубчатых колес 32
- Захаров С. И., Захаров И. С. — Новая концепция возбуждения вибрации подшипников качения при наличии повреждений и дефектов 37
- Шутков Е. А., Соин Ю. В., Волков Д. В. — Автоматизированная система фильтрации масла — средство экономии эксплуатационных затрат и повышения межремонтных пробегов тепловозов 39

Цикл статей

"Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки"

- Меделяев И. А. — Влияние механических свойств пары "сталь—бронза" на коэффициент трения при граничной смазке 41

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

- Грубый С. В. — Теоретические исследования процесса изнашивания лезвийных инструментов 44
- Юркевич В. В., Соколов А. В., Быков С. Ю. — Исследование точности сверления отверстий на фрезерном станке УФ-280 50
- Кабалдин Ю. Г., Биленко С. В., Серый С. В. — Нелинейная динамика в процессах внешнего трения 54
- Терешин А. В., Корноухов А. П., Тарасевич О. М. — Технологический процесс обработки закаленных зубьев крупномодульных тяговых колес 57
- Чертов В. М. — О связи структуры цементованного слоя и модуля зубчатого зацепления 59
- Амосов А. П., Бичуров Г. В., Шиганова Л. А. — Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитридов вольфрама и молибдена с использованием азидов натрия и галогенидных солей 63

Обработка материалов без снятия стружки

- Герасимов В. Я., Герасимова О. В. — Изменение упрочняющего эффекта при волочении металла и накатывании резьбы 66

В порядке обсуждения

- Абрамов Ф. Н. — О разработке терминологии базирования в машиностроении 67

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

- Мухин А. В. — Принятие оптимальных технологических решений в условиях экономической неопределенности производства 73
- Исмагилова Л. А., Ардисламов В. К. — Возможности увеличения валового регионального продукта на основе реформирования машиностроительных предприятий 80

Проблемы промышленной экологии

- Фридланд С. В., Аксанов Т. Ш., Солодова Н. Л. — Интенсификация обезвоживания нефтешламов 84

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- Петров А. П. — Методика аэродинамических исследований системы охлаждения легкового автомобиля 87
- Чернявский Д. И. — Определение величины зазора в опорах формирователя ударно-вращательного импульса 89
- Иванов А. Н. — Выставка "Нефть и газ—2005" 91
- Потапов В. А. — Обзорные зарубежные издания 94
- Вниманию читателей 26, 72

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

- Ryazantsev V. M. — A8 2BB 50/40—30/40 multiphase two-screw pump for differential pressure of 40 bars 3
- Polyakov A. P. — Design procedure of residual deformation in a thick-walled cylinder at phase transformation thermocycling 7
- Shishkariev M. P. — Overload level at adaptive friction clutch wear 13
- Krasilnikov A. L., Muraviev K. Yu. — Features of auxiliary involute gearing geometric computation 15
- Ostemin A. A., Dilman V. L. — Influence of weld junction defects on the welded joints strength 21
- Shukhman S. V., Soloviev V. I., Prochko Ye. I. — Total flow hydrostatic transmission efficiency improvement due to using combined control of hydromachines 27
- Guzanov B. N., Migachiova G. N., Bolshakova M. Yu. — Optimal conditions determination to conduct induction hardening of large-module gear wheels 32
- Zakharov S. I., Zakharov I. S. — A new concept of rolling bearing vibration excitation in the presence of damages and defects 37
- Shutkov Ye. A., Soin Yu. V., Volkov D. V. — Automotive system of oil filtration as a means of maintenance expenditure economy and increase of diesel locomotives distance run between overhauls 39

Series of articles

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

- Medelyaev I. A. — The "steel—bronze" mechanical properties effect on the friction coefficient at boundary lubrication 41

MANUFACTURING TECHNOLOGY

- Gruby S. V. — Theoretical study of the edge tools wear 44
- Yurkevich V. V., Sokolov A. V., Bychkov S. Yu. — Study of the УФ-280 miller precision hole drilling 50
- Kabalidin Yu. G., Bilenko S. V., Sery S. V. — Non-linear dynamics in external friction processing 54
- Tereshin A. V., Kornoukhov A. P., Tarasevich O. M. — Machining of wheels large-module winch hardened teeth 57
- Chertov V. M. — On the coupling of cemented layer structure and gearing module 59
- Amosov A. P., Bichurov G. V., Shiganova L. A. — Self-propagating high-temperature synthesis of tungsten and molybdenum nitrides using sodium azide and halogenides 63

Chipless materials working

- Gerasimov V. Ya., Gerasimova O. V. — Hardening effect changes at metal drawing and thread rolling 66

In order of discussion

- Abramov F. N. — On the development of terminology of basing in mechanical engineering 67

PRODUCTION ORGANIZATION AND ECONOMICS

- Mukhin A. V. — Optimal technological approach acceptance in the conditions of economical uncertainty in production 73
- Ismagilova L. A., Ardislamov V. K. — Possibilities to increase gross regional product on the base of reforming plants in engineering industry 80

Problems of industrial ecology

- Fridland S. V., Aksanov T. Sh., Solodova N. L. — Intensification of oil slag dewatering 84

TECHNICAL INFORMATION

- Petrov A. P. — Methods of aerodynamic study of car cooling system 87
- Chernyavsky D. I. — Determination of the clearance gap in the bearing angular impulse shaper 89
- Ivanov A. N. — Exhibition "Petroleum and gas—2005" 91
- Potapov V. A. — Review of foreign publications 94

Художественный редактор Т. Н. Галицына
Технический редактор И. С. Павлова
Корректор З. В. Наумова

Сдано в набор 30.09.2005. Подписано в печать 09.12.2005.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 11,76. Уч.-изд. л. 14,58. Заказ 107.

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)

Теоретические исследования процесса изнашивания лезвийных инструментов

Приведены результаты теоретических исследований процесса изнашивания лезвийных инструментов на примере резцов, оснащенных твердым сплавом и нитридом бора, при обработке конструкционных сталей и сплавов. Предложена методика для расчета величины и скорости изнашивания, которая позволяет количественно описать процесс изнашивания резцов в широком диапазоне изменения режимных параметров, провести анализ обрабатываемости сталей и сплавов и значительно сократить материалоемкость и трудоемкость экспериментальных исследований. Расчетная методика может быть распространена на другие виды механической обработки резанием и использована при проектировании и оптимизации технологических процессов лезвийной обработки.

Results of the theoretical studies of edged tool wear on the base of hard-alloyed and boron nitride cutting tools are given at machining structural steels and alloys. Methods to calculate wear quantity and rate, enabling to describe cutting tools wearing in a wide range of mode conditions changes, as well as to analyse steel and alloys machinability and considerably to reduce specific consumption of materials and labour input of experimental studies is offered. This methods can be used for other types of machining and for designing and optimising edged tooling process.

Экспериментальные исследования процесса резания и изнашивания различных видов инструментов широко представлены на кафедре "Инструментальная техника и технологии" МГТУ им. Н. Э. Баумана за весь 75-летний период ее истории. Достаточно высокий уровень развития получили теоретические исследования и моделирование процессов. Моделирование показало преимуще-

ства по общности результатов, а также значительное снижение материальных и трудовых затрат при их проведении. При развитии теоретических представлений процессов резания, рассмотренных ранее в работах профессоров И. М. Беспрозванного, Г. И. Грановского и В. Н. Подураева, большое внимание уделяется процессам изнашивания инструментов, которые занимают центральное место, увязывают процессы резания и стружкообразования с эксплуатационными и качественными показателями. В частности, по результатам физического и математического моделирования получены расчетные модели скорости изнашивания резцов из твердого сплава и нитрида бора. Область существования моделей определена для механизма адгезионно-усталостного изнашивания в условиях пластического контакта и температур до 1000 °С на задней поверхности инструмента. Отличительной особенностью разработанных моделей является установленная количественная связь выходных параметров — скорости изнашивания и величины износа инструмента с первичными — режимными, геометрическими параметрами и характеристиками обрабатываемого и инструментального материалов. Модели основаны на расчетных параметрах, характеризующих процессы резания, стружкообразование и контактные явления, включая коэффициент трения, на поверхностях лезвия инструмента [1, 2].

На рис. 1 представлена схема, характеризующая фрикционный контакт задней поверхности инструмен-

(Окончание статьи. Начало см. на стр. 41)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костецкий Б. И., Натансон М.Э., Бершадский Л. И. Механо-химические процессы при граничном трении. М.: Наука, 1972. 170 с.
2. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
3. Чичинадзе А. В., Матвеевский Р. М.,

- Браун Э. Д. Материалы в триботехнике нестационарных процессов. М.: Наука, 1986. 248 с.
4. Матвеевский Р. М., Буяновский И. А., Лазовская О. В. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. М.: Наука, 1978. 192 с.
5. Браун Э. Д., Евдокимов Ю. А., Чичинадзе А. В. Моделирование трения и

- изнашивания в машинах. М.: Машиностроение, 1982. 192 с.
6. Дроздов Ю. Н., Павлов В. Г., Пучков В. Н. Трение и износ в экстремальных условиях. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
7. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). М.: Изд-во МСХА, 2001. 616 с.

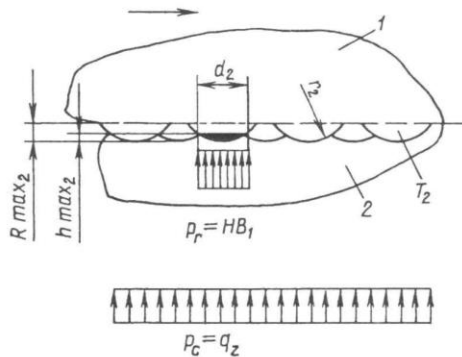


Рис. 1. Схема фрикционного контакта по задней поверхности инструмента:

1 — твердый сплав (контртело); 2 — обрабатываемый материал

та с обрабатываемым материалом, в которой неровности шероховатости моделируются сферическими сегментами одинакового радиуса, расположенными так, что опорные кривые поверхности модели и реальной поверхности инструмента совпадают. Контакт характеризуется показателями: Δ_2 — расчетный обобщенный параметр шероховатости; p_r — фактическое давление; p_c — номинальное давление, равное среднему нормальному контактному давлению; HB_1 — твердость поверхности обрабатываемого материала как функция температуры контакта; v_2 — параметр аппроксимации относительной опорной длины профиля поверхности твердого сплава; T_2 — средняя температура контакта.

Относительная опорная длина профиля $t_p = \eta_p / l$, где η_p — опорная длина профиля, равная сумме длин отрезков профиля микронеровностей в пределах базовой длины l . Аппроксимация начального участка кривой относительной опорной длины профиля принята в виде

$t_p = b_2 (p / R_{max2})^{v_2}$, где p — расстояние от выступов до заданного уровня; R_{max2} — параметр шероховатости; b_2 — коэффициент. Например, для сменных многогранных пластин (СМП) классов допусков U и M по ГОСТ 19042—80 (шлифованных только по опорным поверхностям) параметры аппроксимации были найдены в результате обработки профилограмм шероховатости задних поверхностей и составили: $b_2 = 2,5$; $v_2 = 0,94$. По ГОСТ 19086—80 для этих пластин параметр $Ra = 2,50$ мкм. Для шлифованных по задним поверхностям пластин классов допусков G , E и C рекомендовано значение параметра $Ra = 0,25$ мкм, что соответствует $1 \div 2$ мкм по параметру R_{max2} . Примерные значения параметров аппроксимации относительной опорной длины профиля для шлифованных поверхностей составляют: $v_2 = 1,6 \div 3$; $b_2 = 1,5 \div 4$.

С учетом установленных значений параметров шероховатости и аппроксимации относительной опорной длины профиля выражения для расчета характеристик пластического фрикционного контакта по задней поверхности инструмента примут вид:

отношение фактической и номинальной площадей контакта

$$\eta_{ca} = A_r / A_c = p_c / c\sigma_s = q_z / HB_1;$$

относительное сближение поверхностей

$$\varepsilon = \left(\frac{q_z}{b_2 HB_1} \right)^{1/v_2};$$

средний диаметр пятен контакта, мкм

$$d_2 = 2 \sqrt{2} (r_2 R_{max2} \varepsilon / v_2)^{0,5};$$

плотность пятен контакта

$$\gamma_k = \frac{v_2}{4\pi r_2^2} \left(\frac{q_z}{HB_1} \right)^{(v_2-1)/v_2} \Delta_2^{-1},$$

где $\Delta_2 = R_{max2} / r_2 / b_2^{1/v_2}$ — обобщенный параметр шероховатости; r_2 — радиус выступа микронеровностей поверхности инструмента, мкм.

По результатам обработки опубликованных опытных данных установлены количественные аппроксимации влияния температуры T , °С:

на твердость одно- и двухкарбидных твердых сплавов в общем виде, МПа:

$$HV = K_{HV} T + C_{HV}$$

(здесь K_{HV} и C_{HV} — параметры аппроксимации, например, для сплава Т15К6 $K_{HV} = -13,27$ и $C_{HV} = 16\,832,99$ МПа; коэффициент корреляции $K_k = 0,85$) на микротвердость однокарбидных твердых сплавов с износостойкими покрытиями и без них, МПа:

$$\begin{aligned} H_{\mu} &= -11,66 T + 14031,09 \text{ для сплава ВК6;} \\ H_{\mu} &= -27,94 T + 30819,53 \text{ для сплава ВК6—TiC;} \\ H_{\mu} &= -22,67 T + 24494,24 \text{ для сплава ВК6—TiN;} \\ H_{\mu} &= -17,91 T + 23095,42 \text{ для сплава ВК6 (Ti—Cr)N;} \end{aligned}$$

на твердость нитрида бора, МПа:

$$HV = 74076 e^{-0,0011 T};$$

на твердость и прочность обрабатываемых сталей и сплавов, например стали ШХ15 (в исходном состоянии 62HRC или $HB_1 = 6430$ МПа):

$$\begin{aligned} HB_1 &= -1,3985 \cdot 10^{-8} T^4 + 4,0648 \cdot 10^{-5} T^3 - \\ &- 3,5938 \cdot 10^{-2} T^2 + 5,1013 T + 6243,0. \end{aligned}$$

Механизм адгезионно-усталостного изнашивания применительно к парам трения различного назначения изучен в работах И. В. Крагельского, М. Н. Добычина, В. С. Комбалова, В. В. Алисина, Б. И. Костецкого, Н. Б. Демкина, Э. В. Рыжова, А. Г. Сулова. Основываясь на этих работах, выражение для расчета нормальной интенсивности изнашивания поверхности трения приняли в виде:

$$I_{n0} = \frac{\alpha b_2 \varepsilon^{v_2+1} R \max_2 \eta_{ca}}{(v_2+1) d_2 n_2} = \frac{v_2^{0,5} R \max_2^{0,5} \eta_{ca}^{2+1/(2v_2)}}{2\sqrt{2}(v_2+1) b_2^{1/(2v_2)} r_2^{0,5} n_2}, \quad (1)$$

где n_2 — число циклов фрикционного контакта микрообъемов поверхностного слоя инструментального материала до разрушения; α — коэффициент, характеризующий вид контакта, для пластического контакта $\alpha = 1$.

Выражение (1) преобразовано к виду, когда число циклов фрикционного контакта является функцией интенсивности изнашивания и остальных параметров. В свою очередь параметры фрикционного контакта зависят от среднего контактного давления, твердости поверхностей, коэффициента трения и средней температуры контакта. Взаимная связь этих величин определена в рамках рассмотренной физической модели, а количественные соотношения учитывают влияние температуры T_2 контакта на характеристики инструментального и обрабатываемого материалов.

Впервые предложена функциональная связь числа циклов фрикционного контакта до разрушения микрообъемов поверхности инструмента с параметрами, входящими в физическую модель:

для твердого сплава без покрытий

$$n_2 = f_1(v, t, s, h_z, I_{n0}, HV|_{T_2}, E_2, \lambda_2|_{T_2}, HB_1|_{T_2}, E_1, r_2, f_{tr}, \dots) = f_2(HB|_{T_2}, q_z, r_2); \quad (2)$$

для твердого сплава с износостойкими покрытиями

$$n_2 = f_1(v, t, s, h_z, I_{n0}, H_\mu|_{T_2}, E_2, \lambda_2|_{T_2}, HB_1|_{T_2}, E_1, r_2, f_{tr}, \dots) = f_2(H_\mu|_{T_2}, q_z, r_2);$$

для нитрида бора

$$n_2 = f_1(v, t, s, h_z, I_{n0}, HV|_{T_2}, E_2, \lambda_2, HB_1|_{T_2}, E_1, f_{tr}, \dots) = f_2(HV|_{T_2}, p_r),$$

где функция f_1 характеризует первый уровень связей, в том числе с интенсивностью изнашивания I_{n0} , рассчитанной по экспериментальным кривым износа для твердого сплава или по справочным стойкостным зависимостям для нитрида бора; с твердостью HV или H_μ , модулем упругости E_2 и коэффициентом λ_2 теплопроводности инструментального материала; с твердостью HB_1 и модулем E_1 упругости обрабатываемого материала; коэффициентом f_{tr} трения на задней поверхности и другими параметрами.

С учетом установленной связи скорости резания с уровнем контактного давления и температурой на задней поверхности лезвия, впервые предложено функцией f_2 характеризовать второй уровень связей для уравнения (2): с твердостью твердого сплава или микротвердостью покрытия как функцией температуры контакта; номинальным контактным давлением q_z и радиусом r_2 микронеровностей твердосплавной поверхности; с твер-

достью нитрида бора как функцией температуры и фактическим контактным давлением p_r . Исходная база данных по числу циклов фрикционного контакта, сформированная для обработки стали 60 сборными твердосплавными резами с СМП четырех форм при скорости резания $0,5 \div 5$ м/с, глубине $0,7 \div 4$ мм, подаче $0,1 \div 0,6$ мм/об, величине износа $0,3$ мм, содержит 1670 значений; для обработки закаленной стали ШХ15 твердостью 62 HRC резами из нитрида бора при скорости резания $1,2 \div 5,8$ м/с, глубине $0,2 \div 1,5$ мм, подаче $0,03 \div 0,23$ мм/об, величине износа $0,5$ мм, содержит 200 значений.

Анализируя выражение (2), следует отметить, что функции f_2 характеризуют единый адгезионно-усталостный механизм изнашивания задней поверхности инструмента и поэтому имеют обобщающий характер для разных режимных параметров, величин износа, инструментальных материалов и конструктивных сталей. Количественные выражения функций f_2 найдены в рамках трехфакторной полиномиальной модели, представленной в общем виде:

$$\lg(n_2) = b_1 + b_2 HV + b_3 q_z + b_4 r_2 + \dots + b_{15} q_z^7 + \dots + b_{27} r_2^5, \quad (3)$$

где $b_1 \div b_{27}$ — коэффициенты, рассчитанные с использованием рекуррентного метода стохастической аппроксимации (МСА) [3], факторы включены в кодированном виде. Для твердых сплавов без покрытий диапазоны натуральных значений факторов составляют: $HV_n = 4000 \div 16\,600$ МПа; $q_{zn} = 50 \div 1100$ МПа; $r_{2n} = 50 \div 500$ мкм, где HV_n — поверхностная твердость твердого сплава как функция температуры контакта; q_{zn} — нормальное контактное давление; r_{2n} — средний радиус микровыступов изнашиваемой поверхности.

Полиномиальное уравнение числа циклов фрикционного контакта до разрушения микрообъемов поверхности износостойкого покрытия получено в рамках общей модели (3) в результате пересчета и интерполяции данных до значения $H_\mu = 30\,500$ МПа, что соответствует верхнему пределу общего диапазона поверхностной микротвердости для износостойких покрытий.

Для модели числа циклов до разрушения микрообъемов изнашиваемой поверхности из нитрида бора при обработке закаленной стали использовано то же уравнение (3), в котором исключены члены, содержащие радиус микронеровностей изнашиваемой поверхности, а средние номинальные давления заменены на фактические контактные давления. Тогда для поверхности из нитрида бора диапазоны натуральных значений факторов составляют: $HV_n = 20\,000 \div 55\,000$ МПа; $p_{rn} = 1800 \div 5500$ МПа, где HV_n — твердость нитрида бора как функция температуры контакта; p_{rn} — фактическое контактное давление, для условий пластического контакта оно равно твердости обрабатываемой стали как функции температуры.

На рис. 2 показано влияние твердости HV твердого сплава на число n_2 циклов фрикционного контакта для разных значений p_r , на рис. 3 — влияние твердости HV (а) и фактического контактного давления p_r (б) из нитрида бора на число n_2 циклов.

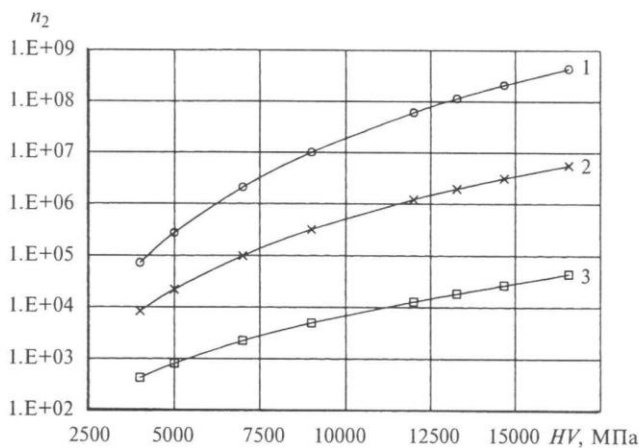


Рис. 2. Расчетные зависимости влияния твердости HV на число n_2 циклов фрикционного контакта при фактическом контактном давлении $p_r = 1040$ (1); 1120 (2) и 1380 МПа (3) для твердых сплавов

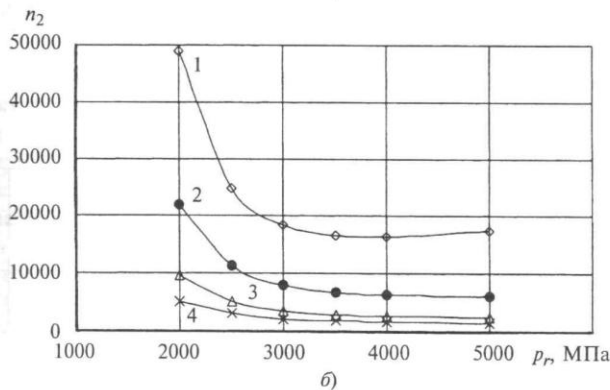
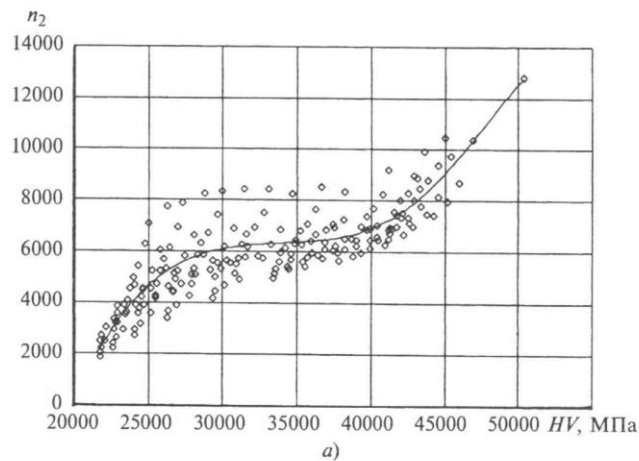


Рис. 3. Влияние твердости HV (а) и фактического контактного давления p_r при $HV = 50\ 000$ (1); 40 000 (2); 3000 (3) и 2500 МПа (4) (б) на число n_2 циклов фрикционного контакта для нитрида бора при обработке закаленной стали

По результатам анализа подчеркнута общая тенденция к изменению числа циклов фрикционного контакта до разрушения микрообъемов изнашиваемой поверхности для твердых сплавов с износостойкими покрытиями и без них при обработке конструкционных сталей и сплавов (рис. 4, линии I) и нитрида бора при обработке закаленной стали (рис. 4, линии II). Число циклов снижается с увеличением фактического контактного давления на пятнах и возрастает с увеличением поверхностной твердости инструментального материала. Кривые (см. рис. 4) описаны полиномиальным уравнением одного вида (2), (3) и тремя матрицами коэффициентов, учитывающих значительные расхождения по твердости для твердых сплавов, износостойких покрытий и нитрида бора.

Анализируя физическую модель, следует отметить повышение температуры контакта, уменьшение номинального контактного давления и поверхностной твердости инструментального материала и обрабатываемой стали с увеличением износа задней поверхности инструмента. Отмечена тенденция к увеличению отношения площадей η_{ca} контакта и среднего диаметра d_2 пятен контакта с повышением прочности обрабатываемого материала, что одновременно с возрастанием температуры объясняет причину повышения интенсивности изнашивания инструментов при обработке труднообрабатываемых материалов.

Значения интенсивности изнашивания (1) использованы для расчета износа и стойкости инструмента. Так, величина износа составляет:

$$h_{zj} = C_h T^b \text{ при } h_{zj} \leq h_{z1};$$

$$h_{zj} = h_{z1} + \sum_{i=1}^n i d_{hz} \text{ при } h_{z1} < h_{zj} \leq h_{z\max},$$

где h_{z1} — износ, соответствующий окончанию начального участка изнашивания на кривой износа; $h_{z\max}$ —

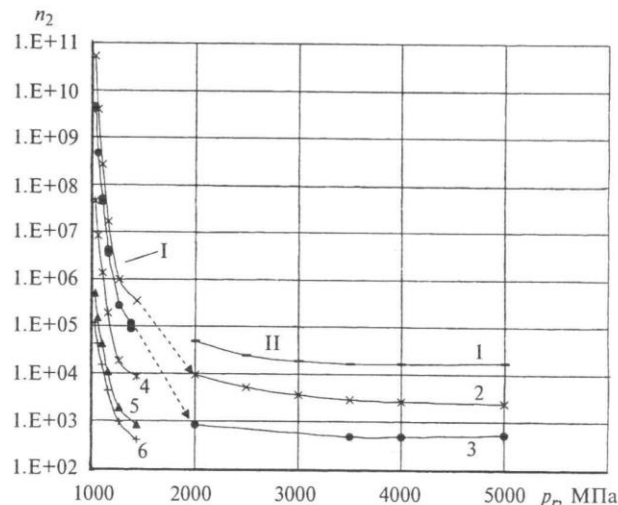


Рис. 4. Влияние фактического контактного давления p_r на число циклов фрикционного контакта до разрушения микрообъемов изнашиваемой поверхности для твердости инструментальных материалов $HV = 50\ 000$ (1); 30 000 (2); 20 000 (3); 10 000 (4); 5000 (5) и 4000 МПа (6)

максимально допустимый износ; d_{hz} — дискретное значение по величине износа, определяет число расчетных точек на кривой износа; C_h, b — коэффициент и показатель степени.

Период резания (стойкость) вычисляли как сумму приращений времени, соответствующих увеличению износа на d_{hz} :

$$T_r = \sum_{i=1}^n d_{hz} / I_{nti}$$

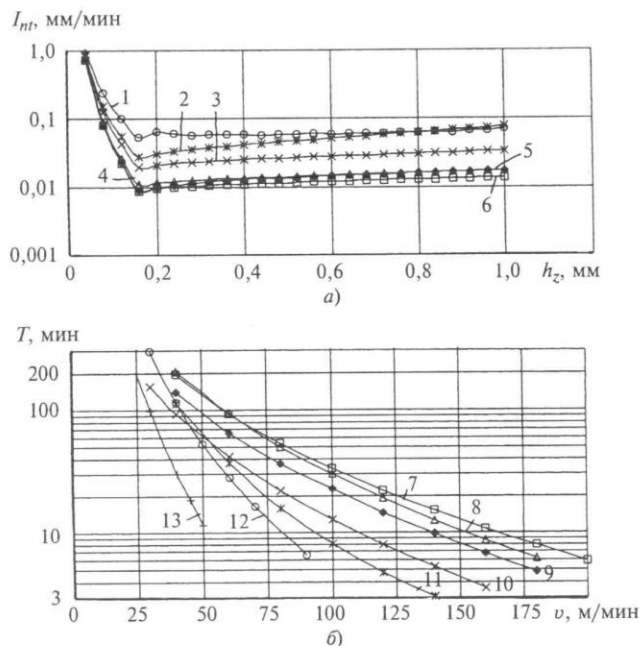


Рис. 5. Расчетные кривые скорости изнашивания I_{nt} (а) ($v = 0,83$ м/с) и стойкости T (б) для материалов: 1 — ХН70ВМТЮ; 2 — 37Х12Н8Г8МФБ; 3 — 45Х14Н14В2М; 4 — 13Х14Н3В2ФР; 5 — 12Х18Н10Т; 6 — 20Х3МВФ; 7 — 20Х3МВФ (2390 НВ); 8 — 13Х14Н3В2ФР (2810 НВ); 9 — 12Х18Н10Т (1780 НВ); 10 — 45Х14Н14В2М (2100 НВ); 11 — 37Х12Н8Г8МФБ (2410 НВ); 12 — ХН77ТЮР (2970 НВ); 13 — ХН70ВМТЮ (3110 НВ)

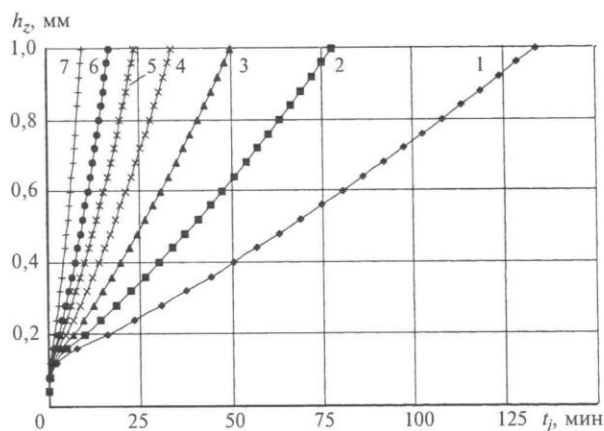


Рис. 6. Расчетные кривые износа резцов из сплава ВК8 при обработке стали 12Х18Н10Т ($t = 1$ мм, $s = 0,3$ мм/об) при $v = 1$ (1); 1,3 (2); 1,67 (3); 2 (4); 2,3 (5); 2,67 (6) и 3,3 м/с (7)

Расчетная величина скорости изнашивания I_{nti} , мм/мин, в тангенциальном направлении вектора скорости резания составляет:

$$I_{nti} = C_h b T_r^{b-1} \text{ при } h_{zi} \leq h_{z1};$$

$$I_{nti} = 6 \cdot 10^4 I_{n0i} v \operatorname{ctg} \alpha_0 \text{ при } h_{z1} < h_{zi} \leq h_{z \max},$$

где I_{n0i} — расчетная интенсивность изнашивания по формуле (1) с подстановкой числа n_2 циклов фрикци-

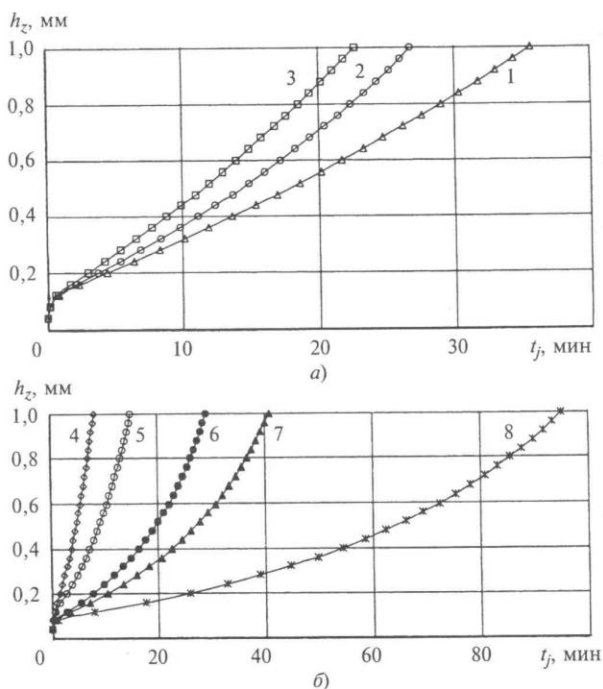


Рис. 7. Расчетные кривые износа h_z при обработке стали 20 резцами с СМП из сплава Т15К6 (а) и стали 12Х18Н10Т резцами с СМП с износостойкими покрытиями и без них ($v = 3,2$ м/с; $s = 0,3$ мм/об, $t = 4$ мм) (б): 1 — $v = 3,1$ м/с, $s = 0,6$ мм/об, $t = 6$ мм; 2 — $v = 4$ м/с, $s = 0,35$ мм/об, $t = 3$ мм; 3 — $v = 5$ м/с, $s = 0,18$ мм/об, $t = 3$ мм; 4 — сплав ВК8; 5 — сплав Т15К6; 6 — Т5К10—TiN; 7 — KNT16—TiN; 8 — Т5К10—TiC

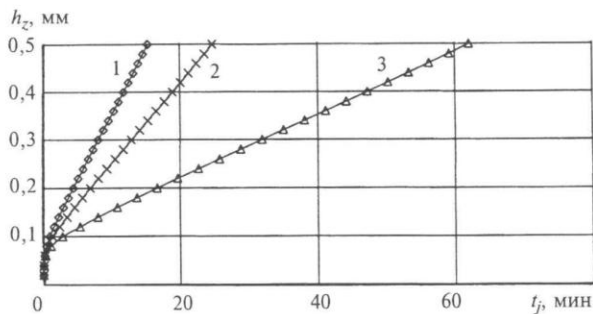


Рис. 8. Расчетные кривые износа h_z резцов из нитрида бора при обработке стали ШХ15 (62 HRC), $s = 0,07$ мм/об, $t = 0,2$ мм при скорости резания $v = 2,5$ (1); 2,1 (2) и 1,5 м/с (3)

онного контакта, рассчитанного по модели (3); v — скорость резания, м/с; α_0 — задний угол инструмента.

На этой основе предложена расчетная методика для оперативного автоматизированного анализа процесса изнашивания резцов и обрабатываемости конструкционных сталей и сплавов применительно к конкретным условиям обработки [4, 5]. В качестве иллюстрации эффективности методики выполнены расчеты для условий обработки разных конструкционных сталей и сплавов (были приняты параметры твердосплавной поверхности — $v_2 = 1,5$; $b_2 = 2,5$; $r_2 = 90$ мкм):

кривые скорости I_{nt} изнашивания и стойкости T (критерий затупления $h_{z,max} = 0,8$ мм, резец с СМП формы SNUM-150412, BK8, $\varphi = 45^\circ$, $t = 2$ мм, $s = 0,28$ мм/об) для труднообрабатываемых сталей и сплавов (рис. 5);

кривые износа h_z для резцов при обработке стали 12X18H10T (рис. 6);

кривые износа h_z при обработке сталей 20 и 12X18H10T резцами с СМП из твердых сплавов с износостойкими покрытиями и без них (рис. 7) при рекомендованных режимных параметрах, в том числе по рекомендациям фирмы Corokey Sandvik Coromant;

расчетные кривые износа h_z резцов из нитрида бора при обработке закаленной стали ШХ15 (62 HRC) для разных скоростей резания (рис. 8).

Анализ расчетных зависимостей показывает их соответствие экспериментальным данным по влиянию режимных параметров, геометрических параметров инструмента, твердого сплава, обрабатываемого материала на процесс изнашивания резцов и обрабатываемость сталей и сплавов. Величина износа может быть значительно снижена при рациональном выборе формы СМП; подтверждена тенденция к увеличению стойкости резцов с уменьшением главного угла в плане; показано существенное влияние шероховатости задних поверхностей СМП на износ и скорость изнашивания. Подтверждена целесообразность использования пластин со шлифованными задними поверхностями классов допусков G, E, C . Параметр аппроксимации начального участка кривой относительной опорной длины профиля в пределах $v_2 = 0,95 \div 3$ оказывает слабое влияние на скорость изнашивания с некоторой тенденцией к ее увеличению с ростом параметра v_2 . Увеличение среднего радиуса микронеровностей в пределах $r_2 = 50 \div 300$ мкм приводит к некоторому снижению скорости изнашивания, особенно для больших величин износа задних поверхностей резцов. Таким образом, предпочтение с точки зрения уменьшения скорости изнашивания следует отдавать шлифованным пластинам со средним арифметическим отклонением профиля $Ra = 0,25$ мкм или с наибольшей высотой неровностей $Rmax_2 = 1,5 \div 2$ мкм, что соответствует требованиям ГОСТ 19086—80. Следует выбирать метод окончательной доводки пластин, исключая значения $v_2 > 3$, а также малые значения среднего радиуса микровыступов, такие как $r_2 < 90$ мкм. Для резцов, оснащенных нитридом бора, рекомендованы и использованы в расчетах исходные параметры:

передний угол резца — 10° , задний угол 10° , угол наклона кромки 5° , главный угол в плане 40° , вспомога-

тельный угол в плане 20° , радиус при вершине $0,6$ мм, радиус скругления кромки $0,01$ мм;

параметр шероховатости задней поверхности резца $Rmax_2 = 1,2$ мкм, радиус выступов профиля $r_2 = 90$ мкм, параметры аппроксимации опорной кривой профиля: $b_2 = 2,5$, $v_2 = 1,5$.

Результаты физического моделирования процессов резания, стружкообразования и изнашивания лезвийных инструментов предложено использовать для частных случаев токарной обработки в виде многофакторных полиномиальных уравнений, характеризующих влияние изученных факторов на скорость изнашивания. Например, для точения с использованием сборных резцов рекомендовано полиномиальное уравнение вида:

$$\lg(I_{nt}) = b_1 + b_2v + b_3s + b_4t + b_5h_z + \dots + b_{63}v^2t^2h_z^3, \quad (4)$$

в котором факторы включены в кодированном виде.

Расчетный алгоритм по раскрытию модели (4) предусматривает формирование исходной базы данных по скорости изнашивания в диапазонах факторов, определяемых кодированием, общим числом N -точек. Последующий расчет коэффициентов выполнен по алгоритму МСА [3], причем общий вид модели не меняется для варианта расчета со своим типом резца, марками твердого сплава и обрабатываемого материала. По существу, вариант расчета характеризуется только своей матрицей коэффициентов в рамках общей модели (4).

Преимущества анализа физической модели и расчетной методики проявляются при количественной оценке изнашивания твердосплавных резцов при обработке труднообрабатываемых материалов. В частности, получено полиномиальное уравнение для расчета скорости изнашивания резцов с твердосплавными СМП формы 03114—150412 (SNUM-150412) ($\varphi_0 = 45^\circ$) из сплава BK8 при обработке жаропрочного сплава ХН77ТЮР. Связь исходных значений скорости изнашивания по физической модели и расчетных по полиномиальному уравнению близка к линейной с коэффициентом корреляции $0,98$. Расчетные кривые скорости изнашивания твердосплавных резцов для разных скоростей резания показаны на рис. 9.

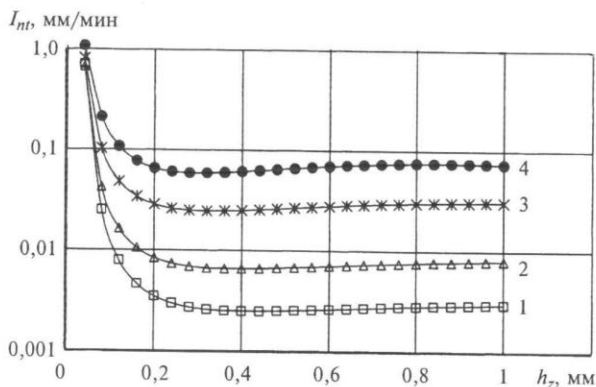


Рис. 9. Влияние величины износа h_z на скорость изнашивания I_{nt} твердосплавных резцов при обработке сплава ХН77ТЮР с $v = 0,5$ (1), $0,67$ (2), 1 (3) и $1,33$ м/с (4); $t = 2$ мм; $s = 0,28$ мм/об

Не вызывает затруднений аналогичным образом получить полиномиальное уравнение скорости изнашивания и на их основе — расчетные кривые износа и стойкости инструмента для других сталей и сплавов.

Выводы

1. Практическим результатом моделирования процессов резания, стружкообразования и изнашивания инструмента являются расчетные значения скорости изнашивания как функции режимных параметров, величины износа, геометрических параметров лезвия и других факторов. Скорость изнашивания токарных резцов для конкретных условий обработки аппроксимирована многофакторными полиномиальными моделями; показана адекватность моделей и высокая их статистическая значимость.

2. Расчетные зависимости скорости изнашивания инструмента есть количественные отражения моделируемых процессов, рекомендованы для использования

в алгоритмах управления режимными параметрами лезвийной обработки, в том числе для твердосплавных резцов при точении конструкционных сталей и сплавов и резцов из нитрида бора при чистовой обработке закаленных сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грубый С. В. Расчетные параметры процесса резания и стружкообразования при точении конструкционных сталей и сплавов // Вестник машиностроения. 2006. № 1. С. 63—72.
2. Грубый С. В. Физическое моделирование процесса изнашивания твердосплавных резцов // Справочник. Инженерный журнал. 2002. № 2. С. 37—43.
3. Грубый С. В. Многофакторная аппроксимация полиномиальными моделями экспериментальных зависимостей резания металлов // Вестник машиностроения. 2000. № 9. С. 29—35.
4. Грубый С. В. Расчетная методика по исследованиям обрабатываемости конструкционных сталей и сплавов // Технология металлов. 2003. № 8. С. 22—28.
5. Грубый С. В. Моделирование процесса изнашивания резцов из нитрида бора при обработке закаленных сталей // Технология металлов. 2003. № 11. С. 11—16.

УДК [621.914.4-529:621.952].001.5

В. В. ЮРКЕВИЧ, канд. техн. наук, А. В. СОКОЛОВ, С. Ю. БЫКОВ
(МГТУ "Станкин")

Исследование точности сверления отверстий на фрезерном станке УФ-280

Приведены результаты экспериментальных исследований податливости и теплостойкости нового фрезерного станка УФ-280 при сверлении отверстий. Описаны экспериментальная установка для измерения податливости станка в статических условиях и порядок проведения испытаний станка на теплостойкость. Приведены сведения о разработанной в МГТУ "Станкин" системе прогнозирования точности детали в процессе ее изготовления на станке.

Experimental study results of new УФ-280 miller compliance and heat stability at hole drilling are given. Experimental plant for determination compliance of the machine tool in the static conditions and machine tool heat stability test sequence is described. Data on the work piece tool manufacturing accuracy prediction system developed in the "Станкин" MG TU is presented.

Современное машиностроение предъявляет все более высокие требования к точности металлообрабатывающих станков. В процессе сверления станок подвергается целому ряду эксплуатационных воздействий, имеющих случайную природу, вследствие чего выходные параметры точности станка изменяются в широких пределах. Наряду с другими критериями податливость и теплостойкость являются одними из основных критериев работоспособности станка, которые в значительной степени влияют на его точность и производительность.

Податливость фрезерного станка является основной причиной воз-

никновения вибраций, которые заставляют переходить на менее интенсивные режимы работы, а это ведет к снижению производительности. Кроме того, низкая жесткость системы "станок—приспособление—инструмент—деталь" приводит к снижению точности обработки.

В процессе сверления в опорах шпинделя выделяется теплота трения, которая частично рассеивается в окружающую среду, частично идет на нагревание станка. Литературные источники указывают на то, что тепловое смещение фрезерных станков достигает десятков микрометров, что превышает во много раз допуски, указанные на рабочих чертежах.

На основе вышеизложенного было принято решение о проведении экспериментальных исследований податливости и теплостойкости нового фрезерного станка УФ-280, который использовался для сверлильных работ.

Для измерения податливости в статических условиях была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка (рис. 1), состоящая из двух частей: нагрузочной и измерительной. К нагрузочной части относятся стол станка с установленным на нем динамометром типа ДС-1 и закрепленная на динамометре проставочная втулка, которая упирается в шпиндель станка.

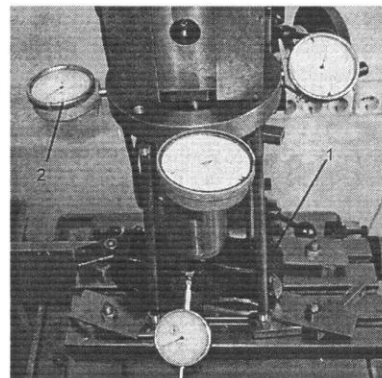


Рис. 1