

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ЭМПИРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕЗАНИЯ

© 2009 М. В. Винокуров, А. Н. Дружин

Самарский государственный аэрокосмический университет

На базе размерного анализа Кроненберга, дающего эмпирические зависимости между температурой и стойкостью инструмента и переменными, характеризующими процесс резания и свойства заготовки, предложена модель с использованием критериальных уравнений для расчёта параметров инструмента в зависимости от определяющих факторов. С целью оценки адекватности модели приведены результаты её сравнения с экспериментальными данными, описанными традиционными эмпирическими соотношениями в виде степенных уравнений с набором табличных коэффициентов.

Эмпирические модели резания, размерный анализ, критериальные зависимости, стойкость, температура резания.

При разработке технологических процессов механической обработки материалов с использованием оборудования с числовым программным управлением используются программы, основанные на зависимостях между основными параметрами инструмента (температурой в зоне резания и стойкостью) и режимными факторами процесса резания (глубиной, скоростью резания, подачей и др.).

Для аналитического описания закономерностей процесса обработки конструктивных материалов резанием традиционно используются модели, аппроксимирующие имеющиеся экспериментальные данные. Разнообразие материалов инструмента и заготовок, видов и способов механической обработки требует масштабных экспериментальных исследований, ограниченных возможностями их проведения и увеличивающихся затраты и сроки разработки программного обеспечения технологических процессов.

Размерный анализ Кроненберга

Вместе с тем существует подход к решению данной проблемы, который впервые в этой области был предложен Кроненбергом [1] и назван размерным анализом процесса резания металлов. Он основан на критериальном методе получения универсальных выражений, опирающемся на известные физические свойства и характеристики ин-

струмента и обрабатываемого материала с учётом условий их взаимодействия. Кроненберг предложил эмпирические зависимости между безразмерными комплексами, сформированными из размерных физических величин, в следующем виде:

$$T\Theta^B = C,$$

где T – стойкость инструмента, с; Θ – температура в зоне резания, К; B и C – эмпирические константы.

Подобный подход к описанию сложных процессов широко применяется в гидро- и газовой динамике, теплообмене и других прикладных направлениях физических исследований [2]. На основе использования критериев подобия, заимствованных из упомянутых направлений, и размерного анализа Кроненберга, в работе предложена достаточно простая и удобная модель для расчёта температуры и стойкости инструмента в различных условиях процесса резания, приведены результаты оценки её адекватности путём сравнения с известными данными эксперимента [3].

Сущность предлагаемой модели

Модель расчёта параметров резания использует предположения о том, что интенсивность конвекции определяется скоростью удаления поверхностного слоя заготовки (скоростью стружкообразования), а теплопроводность – физическими свойствами

ми заготовки. Температура в зоне резания характеризуется отношением тепла, идущего на нагрев заготовки и стружки, к общему количеству выделяющегося тепла за счёт работы резания. При этом учитываются известные данные о том, что до 80 % тепла, выделяющегося при резании, уходит в изготавливаемую деталь и стружку, а остальное – в инструмент и окружающую среду.

В основе предлагаемой модели лежат соотношения, являющиеся модификацией известного уравнения Тейлора, связывающего стойкость инструмента со скоростью резания [1].

Для расчёта температуры в зоне резания в предлагаемой модели используется критериальное соотношение между безразмерной температурой в зоне резания и числом Пекле (критерием конвективно-кондуктивного подобия):

$$\bar{\Theta} = C_0 Pe^{0,44}, \quad (1)$$

а для расчёта стойкости инструмента используется критериальное уравнение, связывающее число Фурье (характеризующее тепловую гомохронность) с числом Пекле:

$$Fo = C'_0 Pe^{\frac{1}{n}}. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) использованы следующие обозначения:

$\bar{\Theta} = \frac{\Theta c}{u}$ – безразмерная температура (отношение количества тепла, аккумулированного единицей массы материала, к удельной работе резания); $Pe = \frac{v\sqrt{St}}{a}$ – аналог числа Пекле (отношение конвективного теплового потока к кондуктивному); $Fo = \frac{aT}{St}$ – аналог числа Фурье.

Данные безразмерные комплексы (числа подобия) включают в себя следующие размерные физические величины:

$u = \frac{P_z}{\rho St}$ – удельная работа резания, Дж/кг;

$a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коэффициент температуропровод-

ности материала заготовки, м²/с; C_0, C'_0, n – эмпирические константы; c – удельная массовая теплоемкость материала заготовки, Дж/(кг·К); λ – теплопроводность материала заготовки, Вт/(м·К); ρ – плотность материала заготовки, кг/м³; v – скорость резания, м/с; S – подача, мм/об.; t – глубина резания, м; P_z – главная составляющая силы резания (сила, совпадающая с направлением скорости резания и равная сумме проекций всех сил, приложенных к лезвию резака, на это направление), Н; Θ – температура в зоне резания, К; T – стойкость инструмента, с.

Результаты сравнения предложенных критериальных зависимостей с традиционными эмпирическими соотношениями

Полученные расчётные данные на основе критериальной модели в виде зависимостей температуры в зоне резания и стойкости инструмента от параметров процесса резания представлены на рис. 1...8. Оценка адекватности модели проведена путём сравнения с результатами эксперимента на примере операции токарной обработки заготовки. Для сравнения использована эмпирическая модель [3], которая представляет собой степенные зависимости температуры в зоне резания и стойкости инструмента от подачи, глубины и скорости резания, дополненные набором табличных значений показателей степеней и коэффициентов эмпирических уравнений. Последние получены из опыта и учитывают влияние режимных параметров резания и предела прочности обрабатываемого материала τ_B на температуру в зоне резания и стойкость режущего инструмента.

Анализ полученных результатов показывает качественное совпадение предлагаемой критериальной и эмпирической моделей по основным параметрам инструмента (температуре в зоне резания и стойкости) в зависимости от режима резания.

С относительной погрешностью $\delta \leq 10\%$ получено количественное согласование при сравнении моделей в исследован-

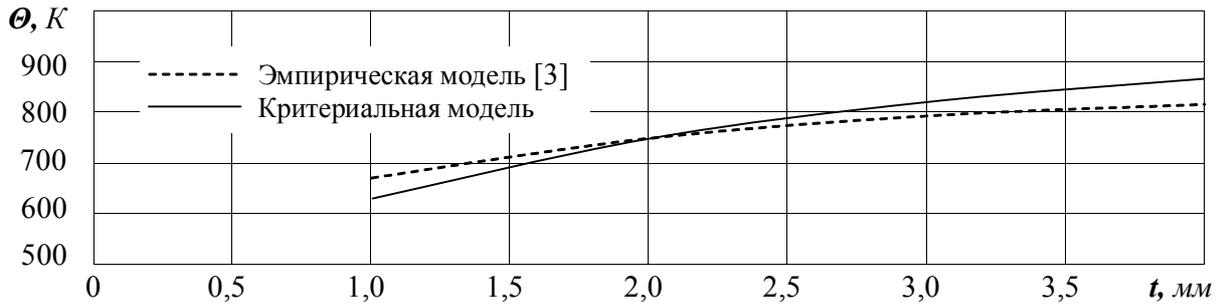


Рис. 1. Зависимость температуры в зоне резания от глубины резания

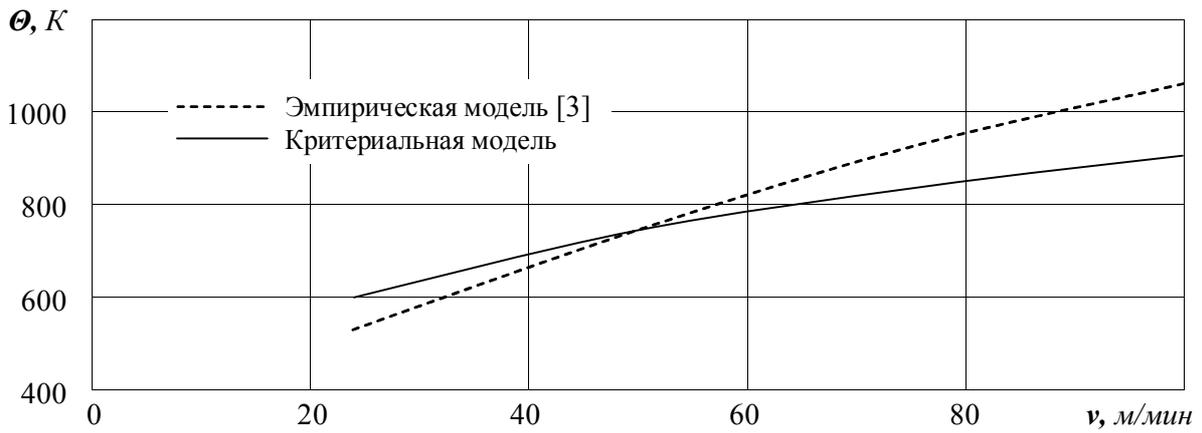


Рис. 2. Зависимость температуры в зоне резания от скорости резания

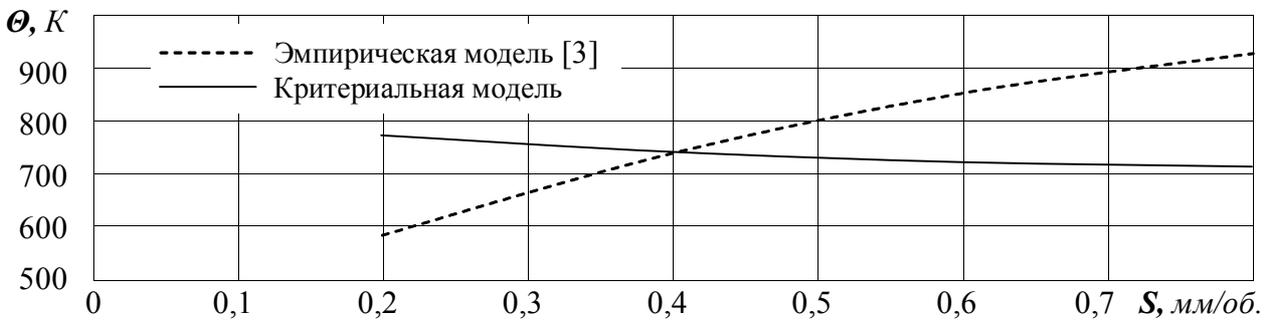


Рис. 3. Зависимость температуры в зоне резания от подачи

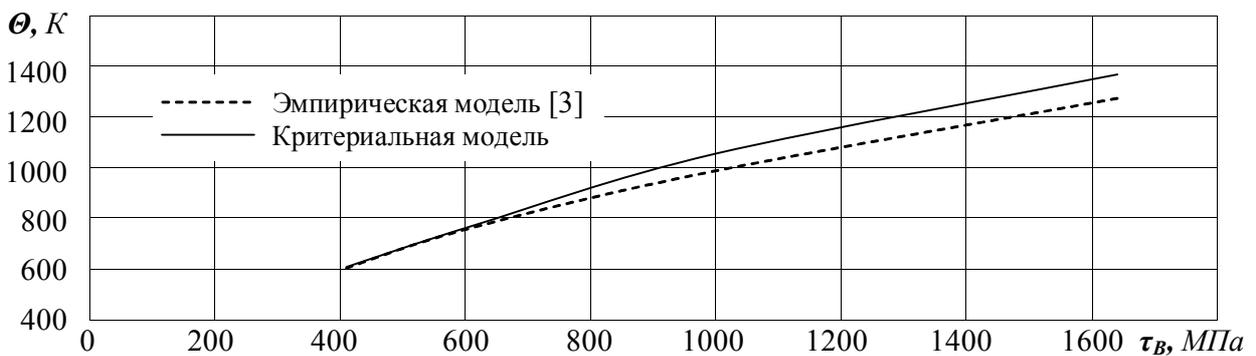


Рис. 4. Зависимость температуры в зоне резания от предела прочности обрабатываемого материала

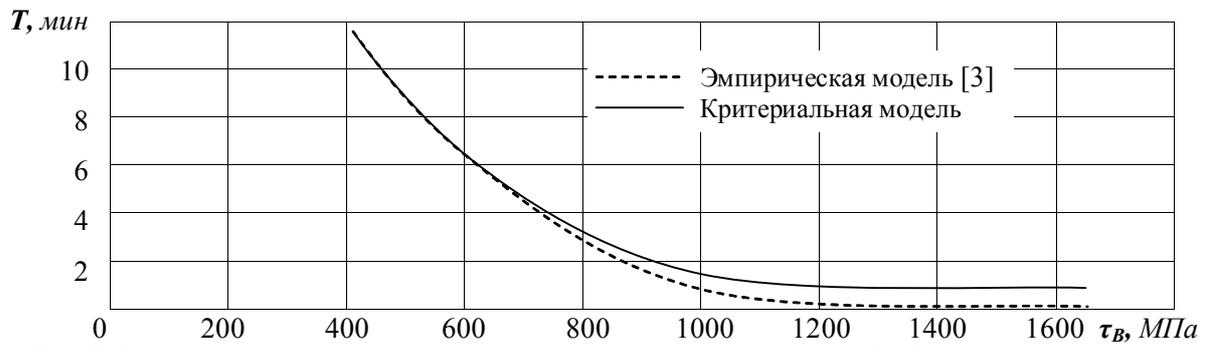


Рис. 5. Зависимость стойкости инструмента от предела прочности обрабатываемого материала

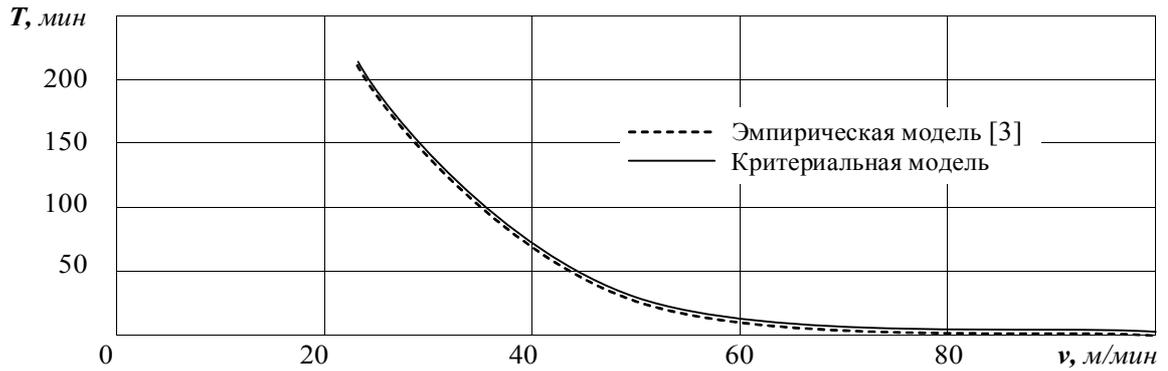


Рис. 6. Зависимость стойкости инструмента от скорости резания

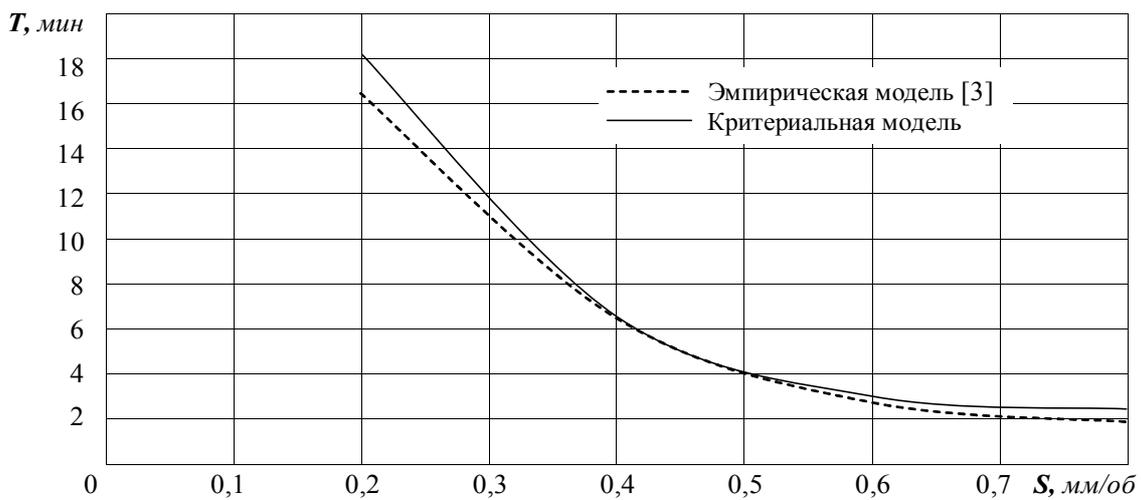


Рис. 7. Зависимость стойкости инструмента от подачи

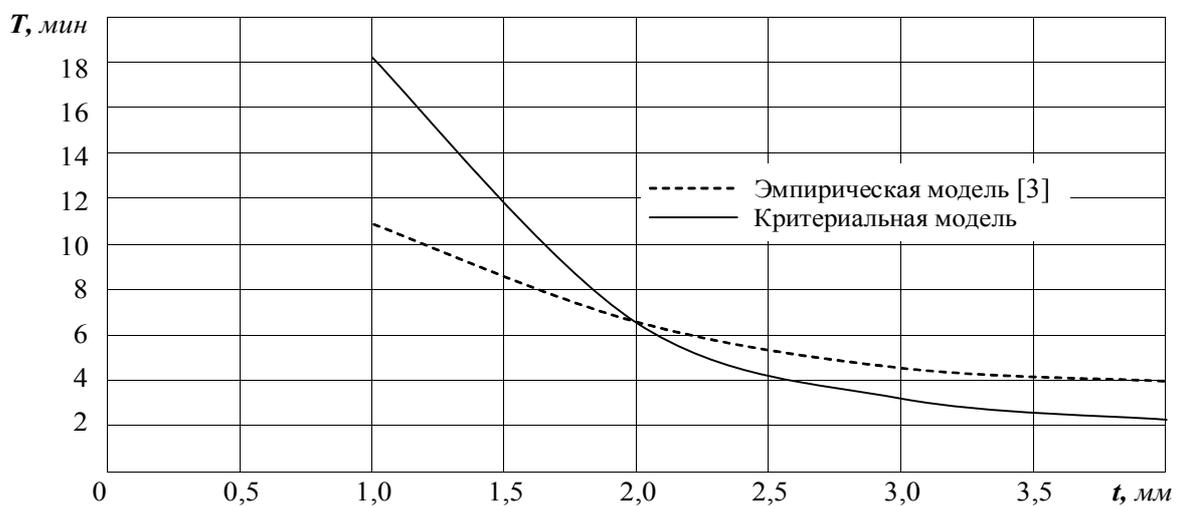


Рис. 8. Зависимость стойкости инструмента от глубины резания

ном диапазоне изменения определяющих параметров ($t=1 \dots 4$ мм; $S=0,2 \dots 0,8$ мм/об.; $v = 24 \dots 100$ м/мин; $\tau_b=420 \dots 1650$ МПа) для большинства режимов резания. Значительное количественное расхождение наблюдается при сравнении влияния на процесс следующих режимных факторов: подачи и скорости резания – на температуру в зоне резания; глубины резания – на стойкость инструмента.

Исследование показывает, что для улучшения адекватности критериальной модели реальному процессу помимо физических характеристик обрабатываемого материала необходим учёт влияния материала и конструктивного исполнения инструмента, в частности, на величину эмпирических констант C_0 , C'_0 и n . Кроме того, в предлагаемой модели из-за отсутствия данных не отражено влия-

ние температуры в зоне резания на расчётные физические свойства (предел прочности τ_b , теплоёмкость c , теплопроводность λ и др.) материалов инструмента и заготовки в месте их взаимодействия и, соответственно, на величину параметров процесса резания. Учёт этих факторов позволит повысить соответствие предложенных критериальных зависимостей реальным физическим явлениям, сопровождающим процесс, что открывает перспективы использования предлагаемой модели при выборе рационального режима обработки новых конструкционных материалов, для которых отсутствуют необходимые эмпирические данные, при проектировании технологических процессов и разработке управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением.

Библиографический список

1. Армарего И. Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
2. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
3. Аранзон М. А. Расчет режимов резания при точении с применением ЭВМ: Методическое руководство. – Куйбышев: КПТИ, 1981. – 48 с.

References

1. Armarego I. D., Brown R.H. Processing of metals by cutting. The lane with English - M: Mechanical engineering, 1977. - 325 p.
2. Kutateladze S. S. Heat transfer and hydrodynamic resistance: The Handbook. - M: Energoatomizdat, 1990. - 367 p.
3. Aranzon M. A. Calculation of modes of cutting with computer application: The Methodical management. - Kuibyshev: KPТИ, 1981. - 48 p.

CRITERIAL APPROACH TO CONSTRUCTING EMPIRICAL MODELS OF CUTTING

© 2009 M. V. Vinokurov, A. N. Druzhin

Samara State Aerospace University

A model using criterial equations to calculate tool parameters depending on the governing factors is proposed. The model is based on Kronenberg dimensional analysis providing empirical relationships between temperature and tool durability and variables that characterize the cutting process and blank properties. In order to estimate the adequacy of the model it is compared with the experimental data described by traditional empirical relationships in the form of exponential equations with a set of table coefficients, and the results of comparison are presented.

Empirical models of cutting, dimensional analysis, criterial relationships, durability, cutting temperature.

Информация об авторах

Винокуров Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Самарский государственный аэрокосмический университет. Область научных интересов: газовая динамика, теплообмен, механическая обработка материалов. E-mail: engin@ssau.ru.

Дружин Алексей Николаевич, кандидат технических наук, начальник отдела, Самарский государственный аэрокосмический университет. Область научных интересов: газовая динамика, теплообмен, механическая обработка материалов. E-mail: drushin@ssau.ru.

Vinokurov, Michael Vladimirovich, candidate of technical sciences, senior lecturer, Samara State Aerospace University. Area of research: gas dynamics, heat exchange, machining of materials. E-mail: engin@ssau.ru.

Druzhin, Alexey Nikolaevich, candidate of technical sciences, chief of department, Samara State Aerospace University. Area of research: gas dynamics, heat exchange, machining of materials. E-mail: drushin@ssau.ru.