

УДК 621.91.01.015

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ ЗУБЬЕВ ФРЕЗЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

© 2020 Б.М. Силаев, Д.В. Евдокимов, Д.Г. Фёдоров, М.А. Олейник

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,

Статья поступила в редакцию 20.12.2019

Показана на основе обобщенной модели трения изнашивания возможность разработки методики расчета изнашивания задней поверхности зубьев цилиндрических фрез с учетом всего комплекса основных воздействующих внешних факторов и физико-механических характеристик материалов взаимодействующих поверхностей инструмента и обрабатываемой детали. Предлагается расчетная зависимость величин износа, влияние некоторых трудноучитываемых факторов предполагается учитывать через экспериментально определяемые коэффициенты пропорциональности и показатель степени расчетного соотношения.

Ключевые слова: обобщенная модель трения и изнашивания, зубья фрезы расчетная зависимость.

Согласно теории резания металлов [1,2] инструменты, работающие с малыми толщинами среза такие, как цилиндрические фрезы, развертки, резцы для чистового точения и др., в основном изнашиваются по задней поверхности режущей части. В качестве критерия стойкости инструмента при фрезеровании принята величина износа по задней поверхности, при которой качество обработанной поверхности не удовлетворяет заданным требованиям. Вопросом изнашивания и износостойкости металло-режущих инструментов посвящено достаточно большое количество работ, среди которых можно назвать следующие [2,3,4]. Однако, совокупное воздействие всех основных факторов на изнашивание поверхностей инструментов в процессе резания установлено не было, т.е. не учтен одновременный вклад каждого явления и каждого фактора в наблюдаемом суммарном износе инструмента.

В предлагаемом исследовании предпринята попытка разработки модели изнашивания задней поверхности зубьев фрезы на основе обобщенной модели трения и изнашивания при относительном перемещении контактируемых твердых тел [5,6]. Указанная математическая модель представляет собой общее решение задачи о трении и изнашивании поверхностей в виде концепции открытой термодинамической системы-трибореактора, в котором происходят обменные процессы энергией, массой и количеством движения. Она показывает, что интенсивность изнашивания I_h определяется

комплексом факторов, обуславливающих источники и стоки массы с поверхности трения, связанные с тангенциальным перемещением и деформированием среды; с явлениями диффузии из-за различия концентраций компонентов в различных точках движущейся среды, а также наличия термо- и бародиффузии, с наличием пространственной неоднородности в распределении температуры и переносом теплоты путем теплопроводности, конвекции и излучения, а также с химическими реакциями в зоне трения, с механическим отделением частиц среды и с взаимодействием среды с энергией других видов и др.

В агрегированном виде обобщенная математическая модель износа h_s поверхностей имеет вид [5]:

$$h = I_h L_T = K \left(\theta_s h_s / |\bar{j}_s| \right)^a L_T, \quad (1)$$

В уравнении (1) $I_h = K \left(\theta_s h_s / |\bar{j}_s| \right)^a$ – ин-

тенсивность изнашивания поверхности, определяемая обобщенным безразмерным термодинамическим критерием изнашивания, характеризующим отношение производства энтропии θ_s в подвергаемом трибо-воздействию слое h_s твердого тела к изменению энтропии в указанном слое за счет переноса ее потоком $|\bar{j}_s|$; K , a – соответственно коэффициент пропорциональности и показатель степени, определяемые экспериментально; L_T – путь трения.

При адаптации обобщенной модели (1) к конкретному виду трибосопряжения необходимо решить вопрос о том, чтобы выделить ведущие процессы изнашивания, установить основные воздействующие факторы, определя-

Силаев Борис Михайлович, доктор технических наук, профессор.

Евдокимов Дмитрий Викторович, аспирант.

E-mail: dmitry.evd.ssau@gmail.com

Фёдоров Дмитрий Геннадьевич, аспирант.

Олейник Максим Андреевич, магистр.

E-mail: oleynik1997@mail.ru

ющие контактное взаимодействие элементов трибосистемы. Для наглядного представления ее функционирования составляется структурно-функциональная схема трибосистемы (см. рис. 1), на которой приводят все взаимодействующие элементы и параметры.

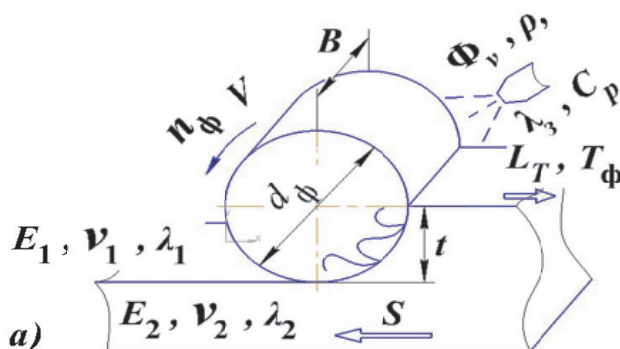
С учетом вышеизложенного обобщенная математическая модель (1) для рассматриваемого случая изнашивания зубьев фрезы по задней поверхности получена в следующем виде:

$$h = K \left[\left(\tau_s v_s / h_s + \gamma_d T_\sigma T_\varepsilon + \frac{1}{T} \sum_q |\bar{j}_q| \nabla T \right) h_s / \sum_q |\bar{j}_q| \right]^a L_T, \quad (2)$$

где τ_s и v_s – касательные напряжения и скорость скольжения на задней поверхности зуба фрезы; γ_d , T_σ и T_ε соответственно, коэффициент гистерезисных потерь, тензоры напряжений и скоростей деформации; ∇T и $\bar{j}_q$ – градиент температуры и плотность потока (поток на единицу площади тепловой энергии), соответственно.

В уравнении (2) первый член показывает потери, связанные со скольжением в пределах площади контакта; второй член уравнения учитывает затраты мощности на деформирование материала контактной поверхности, т.е. с эффектом упругого гистерезиса; третий член связан с наличием пространственной неоднородности в распределении температуры вследствие переноса теплоты; знаменатель соотношения (2) выражает влияние изменения энтропии в поверхностном слое h_s за счет переноса теплоты путём теплопроводности, конвекции и излучения. Все величины, входящие в уравнение (2) в соответствии с рекомендациями [1...5] и др., можно выразить через известные параметры процесса фрезерования и контактного взаимодействия по задней поверхности фрезы с обрабатываемой деталью (см. рис. 1).

Так на основе данных вышеуказанных исследований можно отметить, что для структурно-функциональной схемы контактного взаимодействия при фрезеровании (см. рис. 1) имеют место следующие зависимости общего вида:



– касательные напряжения на контактной площадке зуба фрезы

$$\tau_s = \varphi_\tau (F_{N1}, f_c, L, E_i, E, v_i);$$

– скорость скольжения

$$v_s = \varphi_v (n_\phi, d_\phi, S);$$

– толщина слоя h_s на контактной площадке, в которой протекают все те явления и процессы при трении, обуславливающие возникновение термодинамической ситуации, приводящей к изнашиванию;

– в соответствии с [4] в первом приближении может быть принята $h_s \cong 5 \cdot 10^{-3}$ мм.

Далее, затраты энергии на упругий гистерезис можно определить из условия, что при вращении заготовки относительно контактной площадки зуба фрезы на ней происходит передеформирование волн контурной площади контакта A_c [7], механизм формирования, которой существенно определяется характеристикой волнистости поверхностей [8,9,10]. С учетом этого можно записать:

$$\gamma_d T_\sigma T_\varepsilon = \varphi_\delta (\gamma_\delta, z_c, \Phi_j, \omega h_c, L, \varepsilon, h_s),$$

где z_c – число волн на поверхности контакта, Φ_j – энергия упругой деформации одной волны, ω – угловая скорость вращения фрезы, h_c – относительная контурная площадь, L – полудлина упругой площади контакта, ε – ширина фрезы.

Плотность потоков $\bar{j}_q$, входящих в формулу (2) найдем, записав тождество:

$$\bar{j}_q \cong \Phi_q / A.$$

Φ_q определяется как $\Phi_q = \Phi_s + \Phi_i$, где Φ_s – поток, учитывающий энергообмен с окружающей средой, Φ_i – тепловые потоки за счет теплопроводности в контактирующие детали, A – номинальная площадь трения.

Энергообмен с окружающей средой определяется на основании закона Ньютона-Рихмана уравнением

$$\Phi_S = \alpha \Delta T \int_A dA,$$

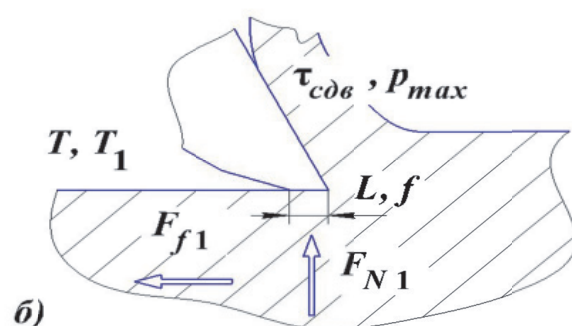


Рис. 1. Структурно-функциональная схема цилиндрического фрезерования – а) и трибосистемы по задней поверхности зубьев фрезы – б)

где $\alpha = \varphi_a(Q_v, \eta, \rho, \lambda, C_p, T_\gamma, T_1, l)$ – коэффициент теплоотдачи; $\Delta T = T - T_1$. Тепловые потоки Φ_i с поверхности контакта прилегающей зоны тем можно выразить на основании закона Фурье через коэффициент теплопроводности λ_i , площадь A и температурный градиент ΔT , т.е.

$$\Phi_i = -\lambda_i A_i \Delta T_i$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исходя из изложенных результатов можно констатировать, что полученное уравнение (2) включает в себя практически все элементы и параметры, определяющие комплексное влияние на процесс изнашивания задней поверхности зубьев фрезы при цилиндрическом фрезеровании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клушин М.И. Резание металлов. – М.: Машгиз. 1958. – 454 с.
2. Макаров А.Д., Мухин В.С., Шустер Л.Ш. Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных сплавов: учеб. Пособие. Уфа: Изд-во Уфимского авиационного института им. Орджоникидзе. 1974. – 272 с.
3. Грановский Г.И., Шмаков Н.А. О природе износа резцов из быстрорежущих сталей дисперсионного твердения // Вестник машиностроения. 1971. №11. С. 65-70
4. Зорев Н.Н., Клауч Д.М., Батыров В.А. и др. О природе износа твердосплавного инструмента // Вестник машиностроения. 1971. №11. С. 70-73
5. Силаев Б.М. Обобщенная модель процесса внешнего трения и изнашивания // Машиноведение. 1989. № 2. С. 56-65
6. Силаев Б.М. Термодинамические основы обобщенных модельных представлений процесса трения и изнашивания // Трение и износ. 2017. Т. 38. № 6. С. 546-555.
7. Силаев Б.М. Трибология деталей машин в маловязких смазочных средах. – Самара: Изд-во Самарского государственного аэрокосмического ун-та, 2008. – 204 с.
8. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
9. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчета на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
10. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел. – М.: Наука, 1977. – 221 с.

MODELING OF THE PROCESS OF WEARING OF THE MILLING TEETH BASED ON THE THERMOKINETIC APPROACH

© 2019 B.M. Silaev, D.V. Evdokimov, D.G. Fedorov, M.A. Oleynik

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The possibility of developing a technique for calculating the wear of the flank surface of mills is shown on the basis of a generalized friction model, taking into account the entire complex of the main external factors acting and the physical and mechanical characteristics of the materials of the interacting surfaces of the tool and the workpiece. The calculated dependence of the wear values, the influence of some hard-to-consider factors is supposed to be taken into account by the experimentally determined proportionality coefficients and the index of the calculated ratio, has been proposed.

Keywords: generalized model of friction and wear, the teeth of the mill, the calculated dependence.

Boris Silaev, Doctor of Technics, Professor.

Dmitry Evdokimov, Graduate Student.

E-mail: dmitry.evd.ssau@gmail.com

Dmitry Fedorov, Graduate Student.

Maxim Oleynik, Student. E-mail: oleynik1997@mail.ru