

Рис. 7. Значения показателя $K_{Бп}$ для зубчатых колес двух первых ступеней на различных передачах коробки скоростей токарного станка CH-401

В результате использования данной методики предложен ряд показателей, величины которых отражают техническое состояние отдельных зубчатых пар и колес. Предварительный анализ результатов исследований показал информативность этих показателей в условиях производства. Оценка эффективности их использования будет дана в ходе дальнейших углубленных исследований.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Alexander V. :Dragan, Andrew S. Scorohodov, Vera S. Alexandrova Kinematic Criteria of Smoothness of Work of Cylindrical Gear Wheels // Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, Tianjin university, 1-4 april 2004 / Edited by Tian Huang. – Tianjin (China), 2004. – Vol. 2. – P. 773-776.
- Драган, А.В. Новые аппаратно-программные средства для исследования и диагностики механических систем / А.В. Драган, И.П. Стецко, Д.А. Ромашко, Н.В. Левкович // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2006. – №4: Машиностроение – С. 17-26.
- Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации [Электронный ресурс] / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев: <http://www.vibrotek.com/russian/articles/book/index.htm>
- Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Под ред. М.Д. Генкина. – М.: Наука, 1984. – 119 с.
- Anil Jacob, Y. I. Sharaf-Eldeen Диагностирование зубчатой передачи с помощью нового метода контроля состояния роторного оборудования: Перевод с англ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cnt-moscow.ru/ru/bible/vdpksp>
- Берестнев, О.В. Создание микропроцессорного комплекса для диагностики технических систем: оперативно-информационные материалы в 2ч. / О.В. Берестнев, И.В. Жук, А.С. Скороходов [и др.]. – Мн.: ИНДМАШ, 1996. – Т. 2. – 64 с.
- Phong Dien Nguyen, Beitrag zur Diagnostik dsr Verzahnungen in Getrieben mittels Zeit-Frquenz-Analyse / Dissertation. – TU Chemnitz, 2002.

Материал поступил в редакцию 14.10.09

DRAGAN A.V., SALIVONCHIK Y.N., SOKOL V.A. Processing of the spectral-response characteristics of oscillatory processes at diagnostics and monitoring multishafted gear-drives

The procedure of the automated processing of the spectral-response characteristics of oscillatory processes multishafted gear-drives with the usage of the developed modern hardware-software complex directed to the simplification of application procedure of a range of diagnostic character of various kinds of gear wheels' defects during the operation without disassembly realization is offered. The approbation of a procedure is carried out on the example of speed gear box of the main motion of the turning lathe CH-401.

УДК 621.9

Пашкевич В.М., Миронова М.Н.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Введение. Тепловые явления при резании оказывают существенное влияние как на работоспособность режущего инструмента, так и на качество поверхностей обработанных деталей. Экспериментальные методы определения температур при резании весьма трудоемки, в связи с чем в настоящее время все большее значение приобретают теоретические методы исследования, позволяющие рассчитывать уровень температур в любых точках тел, участвующих в теплообмене. Одним из таких методов является метод конечных элементов.

С математической точки зрения, метод конечных элементов яв-

ляется одним из численных методов решения систем дифференциальных уравнений. Исследуемая область изменения функций (температур, деформаций) разбивается на большое число малых, но конечных по размерам подобластей, называемых конечными элементами, которые в зависимости от решаемой задачи могут быть линейными, плоскими или объемными и иметь различную форму.

При использовании метода конечных элементов непрерывную систему заменяют дискретной путем представления конструкции в виде совокупности отдельных элементов, связанных не бесконеч-

Пашкевич Виктор Михайлович, д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технология машиностроения» Белорусско-Российского университета.
Миронова Марина Николаевна, аспирант кафедры «Технология машиностроения» Белорусско-Российского университета.
Беларусь, БРУ, 212000, г. Могилев, пр. Мира, 43.

ным, а конечным числом связей. Задача об отыскании неизвестных функций из системы дифференциальных уравнений сводится к задаче о нахождении значений функции в отдельных точках путем решения системы линейных алгебраических уравнений.

Постановка задачи и методика ее реализации. Для анализа температурных полей при обработке концевым инструментом воспользуемся дифференциальным уравнением теплопроводности для сплошной среды:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_e,$$

где c – удельная теплоемкость, Дж/кг·°С; ρ – плотность вещества, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·°С; q_e – плотность внутренних источников теплоты, Вт/м³; $T = f(x, y, z, \tau)$ – температуры, возникающие в точках твердого тела с координатами x, y, z в разные моменты времени τ от начала процесса тепловыделения.

Для полного математического описания процесса теплообмена с помощью дифференциального уравнения теплопроводности будем учитывать условия однозначности, в которых должны быть оговорены:

- форма, размеры и теплофизические характеристики тела, в котором происходит процесс передачи теплоты;
- форма, распределение плотности теплового потока и другие характеристики источников или стоков, действующих в рассматриваемом процессе;
- распределение температур в рассматриваемой системе тел до того, как начался процесс теплопередачи (начальные условия);
- условия теплообмена на поверхностях тела, соприкасающихся с окружающей средой или с другими телами, входящими в систему (граничные условия).

Различают несколько разновидностей граничных условий [1]. При граничных условиях первого рода предполагают, что известен закон распределения температур на граничных поверхностях тела

$$T = f(x, y, z, \tau),$$

где x, y, z – координаты тела, принадлежащие граничной поверхности S_T , на которой известен закон распределения температур.

Граничные условия второго рода предусматривают, что известен закон распределения плотности тепловых потоков на части поверхности тела

$$q = \varphi(x, y, z, \tau),$$

где x, y, z – координаты тела, принадлежащие части поверхности тела S_q , на которой известен закон распределения плотности тепловых потоков.

Граничные условия третьего рода соответствуют заданию на поверхности S_α конвективного теплообмена с окружающей средой

$$q = \alpha \cdot (T_s - T_0),$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°С; T_s – температура поверхности тела; T_0 – температура окружающей среды.

Для конкретизации решения нестационарной задачи зададим начальные условия – распределение температуры в области в начальный момент времени ($\tau = 0$)

$$T|_{\tau=0} = f_0(x, y, z).$$

Как следует из теории Эйлера, задаче теплопроводности можно поставить в соответствие вариационную задачу об определении минимума функционала χ , определяемого в виде интеграла по объему V и части S , на которой неизвестны функция T и ее производные, [2]

$$\chi = \int_V \lambda \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right\} dV - \int_V \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} T dV -$$

$$- \int_V q_e T dV + \int_{S_q} q T dS + \frac{1}{2} \int_{S_\alpha} \alpha (T^2 - 2T_0 T) dS.$$

Предположим, что вся рассматриваемая область разделена на более мелкие подобласти (конечные элементы). Искомые функции, которые необходимо определить для каждого элемента, можно записать в виде интерполяции по узловым значениям:

$$T(x, y, z, \tau) = [N(x, y, z)]^e \cdot \{T(t)\}^e = [N_i^e, N_j^e, \dots, N_m^e] \times \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ \vdots \\ T_m \end{Bmatrix},$$

где компоненты матрицы $[N]^e$ являются некоторыми функциями положения (формы) элемента e , а $\{T\}^e$ – значения температур в момент времени τ в узловых точках i, j, \dots, m элемента e . При этом предполагается непрерывный контакт соседних элементов соответствующими гранями, ребрами, узлами.

Таким образом, задача об определении непрерывного поля температур сводится к рассмотрению дискретной модели, в которой определяются температуры в конечном числе узловых точек, а за тем по ним определяется температура в любой точке модели.

Приведенная процедура дискретизации эквивалентна переходу от системы с бесконечным числом степеней свободы к системе с конечным числом степеней свободы.

Для минимизации функционала (1) на классе аппроксимирующих функций (2) рассмотрим систему уравнений:

$$\frac{\partial \chi}{\partial T_i} = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где n – число степеней свободы дискретной модели для всех конечных элементов (число связей конечного элемента с окружающей областью).

Если справедливо утверждение, что функционал может быть представлен в виде суммы вкладов отдельных элементов

$$\chi = \sum_{i=1}^k \chi_i^e,$$

то уравнения (3) примут вид:

$$\frac{\partial \chi}{\partial T_i} = \sum_{i=1}^k \frac{\partial \chi_i^e}{\partial T_i},$$

где k – число элементов, входящих в конечно-элементную модель.

Вклад каждого конечного элемента в общую систему составляет [3]:

$$\frac{\partial \chi_e}{\partial T_i} = \int_V \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial T_i} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \cdot \frac{\partial T}{\partial T_i} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) +$$

$$+ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \cdot \frac{\partial T}{\partial T_i} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) \Big\} dV + \int_{V_e} \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} \cdot \frac{\partial T}{\partial T_i} dV -$$

$$- \int_{V_e} q_e \cdot \frac{\partial T}{\partial T_i} dV + \int_{S_e} q \cdot \frac{\partial T}{\partial T_i} dS + \int_{S_e} \left(\alpha \cdot T \cdot \frac{\partial T}{\partial T_i} - \alpha \cdot T_0 \cdot \frac{\partial T}{\partial T_i} \right) dS.$$

С учетом соотношения (2) можно записать

$$\frac{\partial \chi_e}{\partial \{T\}^e} = \left([h_k]^e + [h_\alpha]^e \right) \cdot \{T\}^e + [g]^e \cdot \frac{d}{d\tau} \{T\}^e + \{F_T\}^e,$$

где $[h_k]^e$ – матрица теплопроводности элемента; $[h_\alpha]^e$ – матрица конвекции элемента; $[g]^e$ – матрица теплоемкости элемента;

$\{F_T\}^e$ - вектор узловых "тепловых усилий", обусловленных наличием тепловых источников q_e , теплового потока q на поверхности S_q , конвективного теплообмена с параметрами α и T_0 на поверхности S_α элемента, т.е.

$$\{F_T\}^e = \{F_{q_e}\}^e + \{F_q\}^e + \{F_\alpha\}^e.$$

При анализе температурных полей в объемной постановке при использовании в качестве конечного элемента тетраэдра с четырьмя узлами (рис. 1) будут использоваться следующие выражения [4]:

$$[h_k]^e = \frac{\lambda}{36V} \begin{pmatrix} b_i \cdot b_i & b_i \cdot b_j & b_i \cdot b_k & b_i \cdot b_l \\ b_j \cdot b_i & b_j \cdot b_j & b_j \cdot b_k & b_j \cdot b_l \\ b_k \cdot b_i & b_k \cdot b_j & b_k \cdot b_k & b_k \cdot b_l \\ b_l \cdot b_i & b_l \cdot b_j & b_l \cdot b_k & b_l \cdot b_l \end{pmatrix} +$$

$$+ \begin{pmatrix} c_i \cdot c_i & c_i \cdot c_j & c_i \cdot c_k & c_i \cdot c_l \\ c_j \cdot c_i & c_j \cdot c_j & c_j \cdot c_k & c_j \cdot c_l \\ c_k \cdot c_i & c_k \cdot c_j & c_k \cdot c_k & c_k \cdot c_l \\ c_l \cdot c_i & c_l \cdot c_j & c_l \cdot c_k & c_l \cdot c_l \end{pmatrix} +$$

$$+ \begin{pmatrix} d_i \cdot d_i & d_i \cdot d_j & d_i \cdot d_k & d_i \cdot d_l \\ d_j \cdot d_i & d_j \cdot d_j & d_j \cdot d_k & d_j \cdot d_l \\ d_k \cdot d_i & d_k \cdot d_j & d_k \cdot d_k & d_k \cdot d_l \\ d_l \cdot d_i & d_l \cdot d_j & d_l \cdot d_k & d_l \cdot d_l \end{pmatrix},$$

где V – объем тетраэдра;

b_i, c_i, d_i – коэффициенты, обозначающие следующие определители:

$$b_i = -\det \begin{vmatrix} 1 & Y_j & Z_j \\ 1 & Y_l & Z_l \\ 1 & Y_k & Z_k \end{vmatrix};$$

$$c_i = -\det \begin{vmatrix} X_j & 1 & Z_j \\ X_l & 1 & Z_l \\ X_k & 1 & Z_k \end{vmatrix};$$

$$d_i = -\det \begin{vmatrix} X_j & Y_j & 1 \\ X_l & Y_l & 1 \\ X_k & Y_k & 1 \end{vmatrix}.$$

Остальные коэффициенты получаются циклической перестановкой индексов.

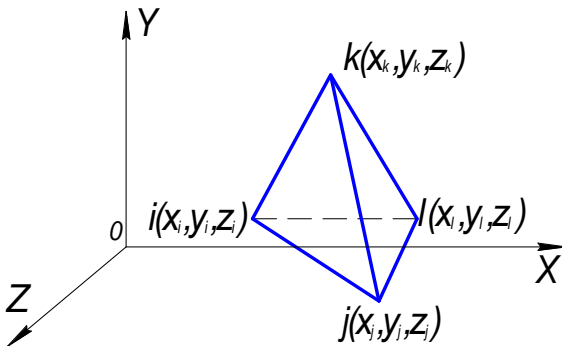


Рис. 1. Объемный конечный элемент

Используя описанный конечно-элементный подход, нами был проведен анализ температурного поля, возникающего в результате тепловыделения в процессе резания в месте контакта обрабатываемой поверхности с режущим инструментом.

$$[h_\alpha]^e = \frac{\alpha \cdot S_{jkl}}{12} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 2 \end{pmatrix},$$

$$\{F_{q_e}\}^e = -\frac{q_e \cdot V}{4} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix};$$

$$\{F_\alpha\}^e = -\frac{\alpha \cdot T_0 \cdot S_{jkl}}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

При построении конечно-элементной модели исследуемого изделия использовались объемные конечные элементы (рис. 2).

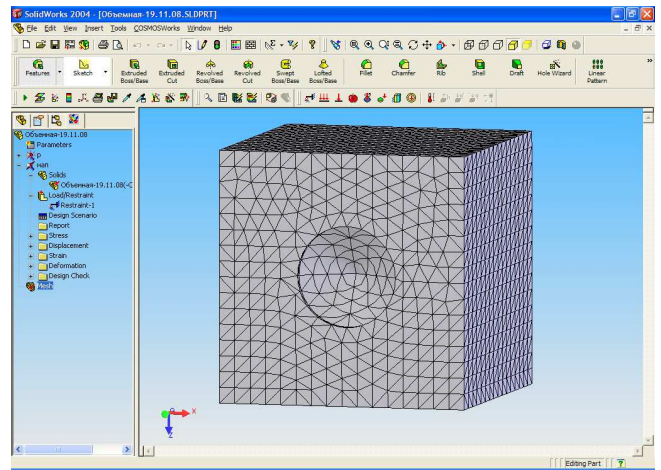


Рис. 2. Конечно-элементная модель обрабатываемой заготовки

Расчет температур осуществлялся с применением пакета прикладных программ COSMOSWorks.

Для процедуры метода конечных элементов задавались следующие данные о расчетной модели: координаты узловых точек модели; механические свойства материала; данные о температурах на граничных поверхностях тела; данные о тепловых потоках на поверхностях тела; начальная температура обрабатываемой поверхности. В качестве расчетной модели использовалось твердое тело в виде куба со стороной 50 мм.

Механические свойства материала имеют значения: коэффициент теплового расширения $ALPX=1,5e-005$ 1/К, коэффициент теплопроводности материала $KX=38$ Вт/м·°С, удельная теплоёмкость $C=440$ Дж/кг·°С, плотность вещества $DENS=7300$ кг/м³.

На рис. 3 приведен график распределения во времени температур в области контакта обрабатываемой поверхности заготовки ($D=20$ мм) с концевым инструментом ($S=0,14$ мм/об, $V=31,4$ м/мин). Как видно из рисунка, по истечении 60 с процесс теплообмена начинает носить установившийся характер, при этом максимальные значения температур достигают 204 °С.

Рис. 4 иллюстрирует распределение температур через 60 с после начала обработки детали.

Известно, что с увеличением скорости резания увеличивается и количество тепла, выделившегося в зоне резания, что приводит к возрастанию температуры нагрева детали. График изменения температуры нагрева детали при обработке отверстия диаметром 20 мм от изменения скорости резания представлен на рис. 5.

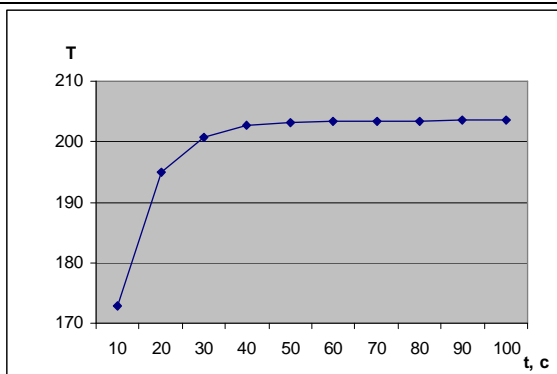


Рис. 3. Изменение температуры во времени обрабатываемой поверхности заготовки

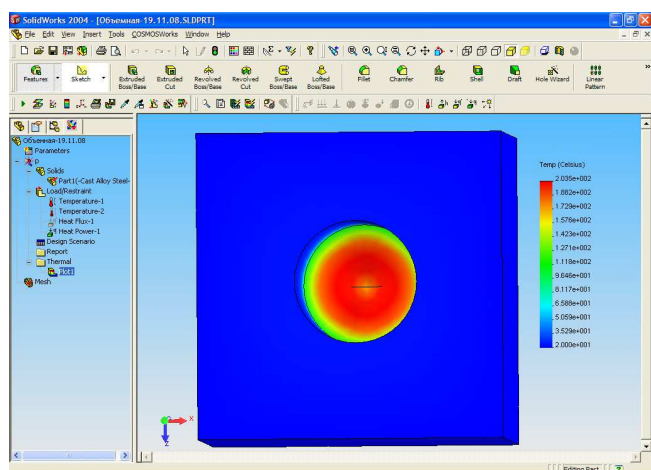


Рис. 4. Распределение температур по обрабатываемой поверхности через 60 с от начала резания

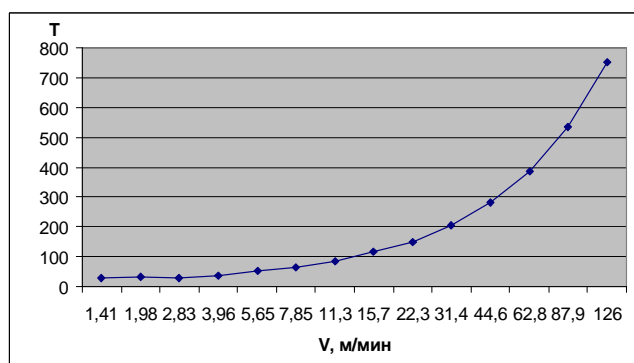


Рис. 5. Зависимость температуры нагрева детали от скорости резания

Из графика видно, что зависимость температуры нагрева детали в процессе обработки отверстия концевым инструментом при постоянной подаче описывается степенной функцией вида

$$T = C_v \cdot V^{a_v}$$

С помощью метода наименьших квадратов, зная значения полученных температур и общее уравнение зависимости, определили постоянную C_v и показатель степени a_v . В итоге искомое уравнение при $D=20$ мм и $S=0,14$ мм/об имеет вид:

$$T = 15,17 \cdot V^{0,77}$$

Для различных частот вращения инструмента при тех же исходных данных были получены следующие зависимости:

$$T = 22,64 \cdot V^{0,41} \text{ при } n=22,4-90 \text{ мин}^{-1};$$

$$T = 11,71 \cdot V^{0,83} \text{ при } n=125-710 \text{ мин}^{-1};$$

$$T = 7,13 \cdot V^{0,96} \text{ при } n=1000-2000 \text{ мин}^{-1}.$$

По аналогии были построены зависимости изменения температуры нагрева детали от изменения подачи и диаметра инструмента. График изменения температуры нагрева детали от изменения подачи при диаметре обрабатываемого отверстия $D=20$ мм и скорости резания $V=31,4$ м/мин представлен на рис. 6.

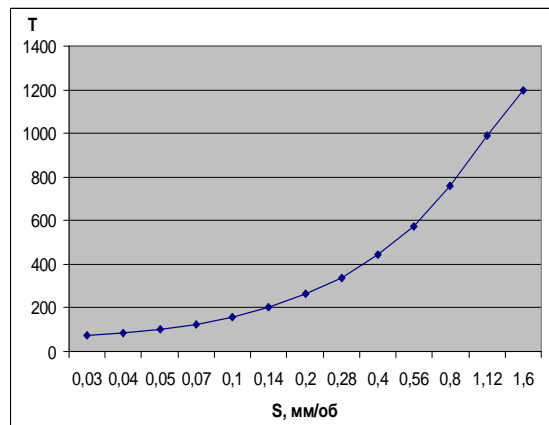


Рис. 6. Зависимость температуры нагрева детали от подачи инструмента

Из графика видно, что с увеличением подачи инструмента растут силы резания и, следовательно, увеличивается и количество выделяемой в процессе обработки теплоты.

На основе полученных данных были определены следующие соотношения для различных подач инструмента:

$$T = 712,38 \cdot S^{0,65} \text{ при } S=0,03-0,1 \text{ мм/об};$$

$$T = 891,49 \cdot S^{0,75} \text{ при } S=0,14-1,0 \text{ мм/об};$$

$$T = 857,24 \cdot S^{0,73} \text{ при } S=1,12-2,0 \text{ мм/об}.$$

Зависимость изменения температуры нагрева детали от изменения диаметра инструмента при подаче $S=0,14$ мм/об и скорости резания $V=31,4$ м/мин представлена на рис. 7.

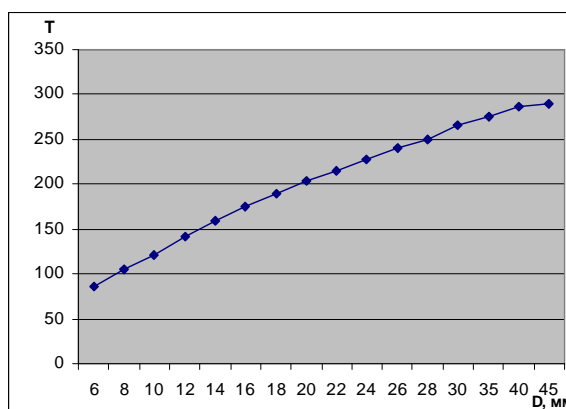


Рис. 7. Зависимость температуры нагрева детали от диаметра инструмента

Зная общее уравнение зависимости и значения, полученных с помощью метода конечных элементов температур, были определены следующие зависимости:

$$T = 25,96 \cdot D^{0,67} \text{ при } D=3-10 \text{ мм};$$

$$T = 23,57 \cdot D^{0,72} \text{ при } D=11-20 \text{ мм};$$

$$T = 35,27 \cdot D^{0,59} \text{ при } D=21-30 \text{ мм};$$

$$T = 129,33 \cdot D^{0,21} \text{ при } D=31-50 \text{ мм}.$$

По аналогии была получена формула зависимости $T = f(V, S, D)$ при обработке концевым инструментом

$$T = 187,95 \cdot \frac{V^{3,33}}{S^{0,86} \cdot D^{3,43}}$$

Заключение. Полученные результаты наглядно иллюстрируют картину тепловыделения в процессе обработки концевым инструментом, так как математический аппарат метода конечных элементов позволяет с определенной степенью точности определять значение искомой величины в любой точке исследуемого объекта.

Полученные математические модели на основе метода конечных элементов позволяют еще на стадии проектирования технологического процесса изготовления судить о температурах, возникаю-

щих в области контакта обрабатываемой поверхности заготовки с инструментом, находить величины тепловых деформаций и на этой основе прогнозировать точность обработки изделия.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тепловые процессы в технологических системах / Резников А.Н., Резников Л.А. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Зенкевич, О.Н. Метод конечных элементов в технике / О.Н. Зенкевич – М.: Мир, 1975. – 541 с.
3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
4. Жолобов, А.А. Прогнозирование поведения технологических систем на стадии их проектирования / А.А. Жолобов – Могилев: МГТУ, 2000. – 286 с.

Материал поступил в редакцию 09.03.09

PASHKEVICH V.M., MIRONOVA M.N. Finite-element analysis of the temperature fields arising at processing by the trailer tool

The thermal emission during processing by the trailer tool is considered. The finite-element analysis of the temperature fields arising at processing with various cutting parameters is described. The mathematical models received on the basis of a method of finite elements are brought. These models allow to judge on a design stage of technological process of manufacturing the temperatures arising in the field of contact of a processable surface of workpiece with the tool.

УДК 621.87.004.001.5(476)(083.13)

Лисовский А.Л.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Введение. Износ парка грузоподъемных машин в республике Беларусь составляет 70–80% - в Витебской области 80–90%. Определения механических характеристик металла неразрушающим методом при оценке остаточного ресурса грузоподъемных кранов – важная народнохозяйственная задача, так как замена их, особенно в условиях мирового финансового кризиса, неподъемная на многих предприятий задача. Выпускаемая в Республике Беларусь номенклатура кранов крайне ограничена, закупка импортных – дорого.

Аналитический обзор. Применяемые варианты оценки позволяют в какой-то мере контролировать любые участки конструкции без их разрушения, в том числе в местах наибольших силовых воздействий, как в основном металле, так и в сварных швах без отбора проб металла и изготовления образцов для механических испытаний.

Определение расчетного сопротивления материала определяется по результатам измерения твердости.

Твердость определяется твердомерами (например, ТЭМП-2) прошедшими метрологическую аттестацию соответствующих шкал измерения, например, по НВ.

В зависимости от измеренной твердости материала на момент технического диагностирования выполняется сравнение результата с допустимым интервалом значений, оценивающих состояние материала, по формуле

$$0,8 \leq \frac{R_{yn}^{insp}}{R_{yn}} \leq 1,2, \quad (1)$$

где R_{yn}^{insp} – усредненное значение предела текучести материала при диагностировании, взятое из наиболее стабильных ее показателей (не менее 10), определяемое неразрушающим способом по твердости;

R_{yn} – предел текучести материала в исходном состоянии (ГОСТ, ТУ, сертификат или проектная марка исследуемой конструкции), МПа.

Дополнительные особенности оценки остаточного ресурса кранов мостового типа экспертным методом. При оценке остаточного ресурса кранов мостового типа экспертным методом руководствуются следующим:

- для кранов групп классификации А1–А2 при невыработанном паспортном ресурсе кранов (с учетом ранее назначенных продлений) и срока службы стальных канатов не менее 15 лет, средней периодичности замены (или капитального ремонта) узлов механизмов не менее 20–30 лет, удовлетворительном качестве технического обслуживания в эксплуатации механизмов, крановых путей и т.п., назначенный календарный остаточный ресурс экспертным методом с момента проведения оценки (по сравнению с установленным по данным паспорта кранов) должен быть до 25 лет;
- для кранов групп классификации А1–А2 при невыработанном паспортном ресурсе крана (с учетом ранее назначенных продлений) и соответствии срока службы стальных канатов сроку не менее 10 лет, средней периодичности замены (или капитального ремонта) узлов механизмов не менее 10–15 лет, удовлетворительном качестве технического обслуживания в эксплуатации механизмов, крановых путей и т.п., назначенный календарный остаточный ресурс экспертным методом с момента проведения оценки (по сравнению с установленным по данным паспорта кранов) должен быть до 15 лет;
- для кранов групп классификации А1–А2 при превышении календарной наработки паспортного ресурса сверх установленной предельной нормы возможно назначить календарный остаточный ресурс экспертным методом до 15 лет;
- для кранов групп классификации А1–А2 при превышении календарной наработки паспортного ресурса на 50% и более сверх установленной предельной нормы возможно назначить календарный остаточный ресурс экспертным методом до 5 лет;
- для кранов группы классификации А3 при невыработанном паспортном ресурсе кранов (с учетом ранее назначенных продлений) и соответствии срока службы стальных канатов сроку не

Лисовский Александр Леонидович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии конструкционных материалов Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.