

Расчеты выполнены различными методами для 13 боеприпасов калибров 5,45–11,43 мм.

В качестве контрольного принят метод определения $\Phi_{з,расч}$ при явном учете в уравнении движения затвора силы сопротивления гильзы. Коэффициент $\Phi_{з,анп}$ получен по аппроксимирующей зависимости (2), но только для боеприпасов с соответствующими, не попадающими в ограничения значениями входных параметров. Здесь же представлены значения Φ_3 , полученные на основании предложенного метода расчета. Сопоставление результатов определяет достаточную сходимость предложенного метода расчета Φ_3 и полученного с учетом силы сопротивления гильзы в явном виде.

Метод является оперативным, не ограничен баллистическими параметрами боеприпасов, геометрическими размерами pistolетных гильз, основывается на справочных данных материалов, учитывает влияние длины ствола, т. е. является эффективным на этапе предпроектирования изделий.

Библиографические ссылки

1. Алексеев С. А. Проектирование автоматического оружия с инерционным запирающим канала ствола : учеб. пособие. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007.
2. Алферов В. В. Конструкция и расчет автоматического оружия. – М. : Машиностроение, 1977.

L. A. Galagan, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Methods of Shell Drag Force Account at Drawing from Cartridge Case

Methods of shell drag force account at drawing from a cartridge case are compared in an explicit form and at introduction of the weight fabulosity factor of an open bolt.

Key words: cartridge case, resistance strength, account, technique.

УДК 621.787

Н. С. Сивцев, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

К. Н. Козлова, Сарапульский политехнический институт (филиал) Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ДОРНОВАНИЯ

Рассмотрен алгоритм проектирования операций дорнования с использованием метода конечных элементов.

Ключевые слова: алгоритм, проектирование, операции, дорнование.

При обработке дорнованием технологические показатели качества отверстий определяются в конечном итоге напряженно-деформированным состоянием заготовки (НДС), которое зависит от прикладываемых к поверхности нормальных контактных давлений и сил контактного трения. Последние, в свою очередь, зависят от натяга дорнования, геометрических характеристик инструмента, скорости дорнования, реализуемого вида трения (граничного, полужидкостного, жидкостного).

Ниже приводится алгоритм проектирования операций дорнования, позволяющий на основе численного исследования методом конечных элементов НДС заготовки осуществлять выбор рациональной геометрической характеристики инструмента, режима обработки и расчет силовых параметров процесса. Алгоритм базируется на математической модели упругопластического деформирования при дорновании в нестационарных условиях контактного взаимодействия и трения инструмента с заготовкой [1].

1. В координатной системе $Z0r$ производится описание конфигурации и размеров заготовки (рис. 1). С этой целью радиальными сечениями, проходящими через точки перегиба контура, заготовка делится на блоки, в каждом из которых определяются и вводятся в память ЭВМ координаты восьми точек. Для случая, представленного на рисунке, имеем:

- координаты по оси Z :
20,0 20,0 20,0 21,0 22,0 22,0 22,0 21,0 – блок I;
22,0 22,0 22,0 40,0 58,0 58,0 58,0 40,0 – блок II;
58,0 58,0 58,0 59,0 60,0 60,0 60,0 59,0 – блок III;
- координаты по оси r :
37,0 30,75 24,5 23,5 22,5 29,75 37,0 37,0 – блок I;
37,0 29,75 22,5 22,5 22,5 29,75 37,0 37,0 – блок II;
37,0 29,75 22,5 23,5 24,5 30,75 37,0 37,0 – блок III.

Последовательность записи координат предусматривает обход контуров блоков против часовой стрелки, что связано с особенностями решения матрицы дифференцирования перемещений для заготовки, которая в дальнейшем формируется программой.

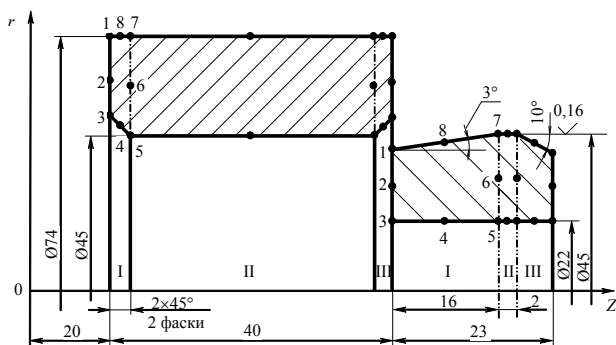


Рис. 1. Схема к описанию в координатной системе ZOr размеров и конфигурации заготовки и инструмента

2. На основе априорной информации назначаются геометрические характеристики инструмента, и по тому же принципу, что и для заготовки, производится описание конфигурации, размеров, а также исходного положения инструмента (рис. 1):

- координаты по оси Z :
60,0 60,0 60,0 68,0 76,0 76,0 76,0 68,0 – блок I;
76,0 76,0 76,0 77,0 78,0 78,0 78,0 77,0 – блок II;
78,0 78,0 78,0 80,5 83,0 83,0 83,0 80,5 – блок III;
- координаты по оси r :
21,66 16,33 11,0 11,0 11,0 16,75 22,5 22,08 – блок I;
22,5 16,75 11,0 11,0 11,0 16,75 22,5 22,5 – блок II;
22,5 16,75 11,0 11,0 11,0 16,31 21,62 22,06 – блок III.

3. Из условия возникновения в материале заготовки упругопластических деформаций (степень деформации не более 1 %) назначается максимальный натяг дорнования $N_D^{\max} = 0,01 d_{\text{заг}}$ (здесь $d_{\text{заг}}$ – номинальный диаметр отверстия заготовки) и рассчитывается минимальный (рис. 2):

$$N_D^{\min} = N_D^{\max} - T_{\text{заг}},$$

где $T_{\text{заг}}$ – допуск диаметрального размера отверстия заготовки.

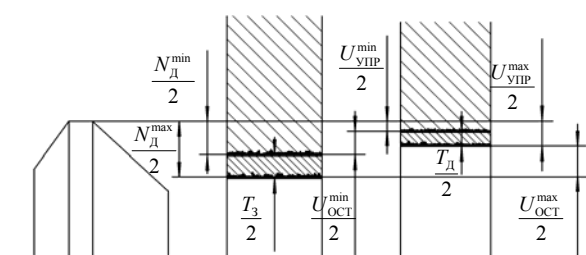


Рис. 2. Схема дорнованием с учетом допуска на обработку отверстия: максимальные и минимальные диаметральные остаточные ($U_{\text{ост}}^{\max}$, $U_{\text{ост}}^{\min}$) и упругие ($U_{\text{упр}}^{\max}$, $U_{\text{упр}}^{\min}$) деформации по отверстию обработанного отверстия; $T_{\text{заг}}$ и $T_{\text{д}}$ – допуски на размер отверстия соответственно до и после дорнования

4. В памяти ЭВМ формируется массив исходных данных, включающих:

- заданный конструктором допуск диаметрального размера отверстия заготовки $T_{\text{заг}}$, максимальный и минимальный натяги дорнования;

- максимальный $d_{\text{заг}}^{\max}$ и минимальный $d_{\text{заг}}^{\min}$ диаметры отверстия до дорнования;

- физико-механические параметры материала заготовки (предел текучести σ_s , модуль упругости E , коэффициент Пуассона μ , диаграмма деформирования);

- параметры поверхности заготовки (среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости поверхности заготовки R_a , высота микронеровностей исходного профиля по десяти точкам $R_{z_{\text{заг}}}$, максимальная высота микронеровностей R_{max} , угол при вершине микронеровностей $2\theta_{\text{заг}}$, средний шаг S_W и высота волнистости W_Z поверхности, отклонение Δ профиля продольного (поперечного) сечения;

- физико-механические параметры материала инструмента (предел текучести σ_{s_1} , модуль упругости E_1 и коэффициент Пуассона μ_1);

- параметры поверхности инструмента (высота микронеровностей исходного профиля по десяти точкам R_z , угол при вершине микронеровностей 2θ).

5. Заготовка и инструмент разбиваются на осесимметричные конечные элементы.

6. Задается и вводится в память машины шаг конечноэлементной сетки и число узловых перемещений, соответствующее выходу центрального узлового кольца цилиндрической ленточки инструмента из исходного положения в радиальное сечение заготовки, в окрестностях которого с учетом конфигурации ее наружной поверхности и разных условий деформирования по ходу дорнования можно ожидать наибольших напряжений. Для осесимметричной заготовки, представленной на рисунке, это сечение равноудалено от торцов, а число узловых перемещений инструмента при шаге сетки 0,1 мм составит: $(20 \text{ мм} + 16 \text{ мм} + 1 \text{ мм}) / 0,1 \text{ мм} = 370$.

7. Вводятся свойства элементов заготовки и инструмента (матрицы дифференцирования перемещений $[B_1]$, $[B_2]$ и упругости $[D_1]$, $[D_2]$).

8. С учетом геометрии инструмента и волнистости поверхности обрабатываемого отверстия заготовки определяется натяг дорнования N_D в каждой узловой точке контакта переднего конуса и цилиндрической ленточки инструмента с заготовкой (рис. 3):

- на участке цилиндрической ленточки ($Z - b \leq Z \leq Z_0$)

$$N_{D_i} = D_{\text{и}} - d_{\text{заг}}^{\min} - 2W_Z [1 - \cos(2\pi Z/S_W)];$$

- на участке переднего конуса $Z > Z_0$

$$N_{D_i} = D_{\text{и}} - d_{\text{заг}}^{\min} - 2\{W_Z [1 - \cos(2\pi Z/S_W)] + (Z - Z_0) \text{tg} \alpha\},$$

где $D_{\text{и}} = d_{\text{заг}}^{\min} + N_D^{\max}$ – диаметр цилиндрической ленточки инструмента.

при начальных условиях; c – пьезокоэффициент вязкости; $B_f = B - N_D^{\min} / 2 \operatorname{tg} \alpha$ – длина переднего конуса инструмента, участвующая в образовании гидродинамического клина; $h_{\text{кр}} = R_z + R_{z_{\text{нар}}}$ – критическая толщина смазочного слоя, необходимая для обеспечения жидкостного трения.

Расчеты по предложенному алгоритму могут быть выполнены при нахождении инструмента в любом радиальном сечении заготовки. Это позволяет технологу при проектировании операций дорнования неравножестких заготовок осуществлять выбор рациональной схемы их нагружения внешними силами для управления НДС и технологическими показателями качества отверстия.

Библиографические ссылки

1. Абрамов И. В., Сивцев Н. С., Щенятский А. В. К вопросу исследования напряженно-деформированного состояния заготовки при дорновании методом конечных элементов // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – № 6. – С. 3–13.
2. Высоконапряженные соединения с гарантированным натягом / И. В. Абрамов [и др.]. – Ижевск : Изд-во ИЖГТУ, 2002. – 300 с.
3. Сивцев Н. С. Механико-математическая модель нагружения локального контакта при ППД в нестационарных условиях трения // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – № 10. – С. 3–12.
4. Янченко И. И., Сивцев Н. С., Тарасов В. В. Технологические основы обработки точных отверстий дорнованием : в 2 ч. – Ижевск : Изд-во УдНЦ УрО РАН, 2003. – Ч. 2. Влияние контактно-кинематических условий на качество деталей и соединений. – 163 с.

N. S. Sivtsev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
K. N. Kozlova, Sarapul Polytechnic Institute

Algorithm of Mandrelling Operations Design

The finite element method is applied for the design of mandrelling operations.

Key words: algorithm, design, operations, mandrelling.

УДК 536.24: 519.63

А. М. Липанов, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

С. С. Макаров, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕЛА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Рассматривается численное решение задачи нестационарного теплообмена высокотемпературного металлического тела прямоугольной формы в охлаждающей среде. Приводится математическая модель процесса нестационарного теплообмена при граничных условиях III рода. Получены результаты численных расчетов температуры в зависимости от геометрии, теплофизических свойств материала тела и времени процесса охлаждения. Произведено сопоставление численных расчетов с результатами, полученными с помощью программы ANSYS.

Ключевые слова: математическая модель, нестационарный теплообмен, высокотемпературное прямоугольное металлическое тело, численный расчет.

Актуальной является задача определения поля температур охлаждаемых высокотемпературных металлических тел, а также значений температуры на границе поверхности охлаждаемого тела и в искомой точке внутри тела в заданный временной интервал. При этом важным является математическая обоснованность физического процесса теплообмена.

Математическое обоснование задачи нестационарного теплообмена

Для решения задачи за основу возьмем уравнение Био – Фурье:

$$\frac{\partial}{\partial t} c \rho T = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right). \quad (1)$$

Если $c, \rho, \lambda = \text{const}$, $a = \frac{\lambda}{c \rho}$, имеем:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Полученное уравнение (2) можно записать в разностной форме по неявной разностной схеме в виде