

УДК 658.512

А.Ю. Уразбахтина, кандидат технических наук, доцент
Воткинский филиал
Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ ПРИ РЕЗКЕ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ ВОСПЛАМЕНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА РДТТ*

Изложена методика моделирования, позволяющая выявлять, предотвращать и управлять критичностью, возникающей в процессе резки и штамповки деталей воспламенительных устройств РДТТ.

Ключевые слова: критические ситуации, математическая модель, технологическая система

Рассматривается математическая модель [1], которая состоит из математических выражений $\bar{y}_{i,j}$ показателей критичности процесса резки заготовок в технологической системе штамповки деталей ракетных двигателей. Эти выражения определяют критичность по трудоемкости, себестоимости и дефектности; степени использования металла; соответствию технологических параметров процесса штамповки установленным нормам; по работе инструмента; по плоскостности, прямолинейности, допускам и штамповочным уклонам; по дефектности и деформированности материала заготовки; по форме ручья штампа; по прошиваемым отверстиям, силовым и температурным воздействиям и работоспособности технологической системы.

Каждый такой показатель составлен так, что при равенстве выражения $\bar{y}_{i,j}$ единице (или более) считается, что возникла соответствующая критическая ситуация.

Общее состояние технологической системы горячей объемной штамповки определяется целевой функцией моделирования [1–3]:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_n} \bar{y}_{i,j}, \quad (1)$$

где n – количество групп показателей критических ситуаций; m_n – количество показателей в каждой группе.

Очевидно, чем больше значение функции F , тем выше вероятность возникновения состояния критичности ситуаций в технологической системе [1, 2]. Технологическая система будет неработоспособной по всем учтенным в моделях свойствам, если значе-

ние функции $F \geq S$ (где $S = \sum_{i=1}^n m_n$ – общее количество показателей критических ситуаций).

На этом принципе основана методика выявления, предотвращения и управления развитием критических ситуаций, возникающих в процессе штамповки деталей воспламенительных устройств РДТТ.

Для использования методики по математическим моделям критичности разработаны алгоритмы, на основе которых составлены программные модули для расчета каждого показателя.

В качестве среды для создания программного обеспечения выбран Mathcad, предоставляющий пользователю инструменты для работы с формулами, числами, единицами измерения, матрицами, графиками и текстами, снабженный простым в освоении интерфейсом.

Рассмотрим в качестве примера алгоритм и его программную реализацию для расчета показателя, оценивающего критичность ситуации по припуску на резку [1]. Выражение показателя имеет вид

$$\bar{y}_{1,1} = \frac{\delta_{\min}}{\delta_{rez}}, \quad (2)$$

где δ_{\min} , δ_{rez} – минимально необходимый и назначенный припуски на резку мерных заготовок под горячую объемную штамповку, мм.

Алгоритм расчета этого измерителя сопроводим листингами из Mathcad.

1. Ввод параметров $Orez$, gr_st , $Dhpr$, fsz , δrez , $tipz$ технологической системы штамповки, необходимых для расчета, проводится в соответствии с классификаторами (табл. 1). Пример ввода с числовыми значениями параметров имеет вид:

Способ получения мерных заготовок резкой (вид оборудования): $Orez := 7$	
Группа сплава $gr_st := 2$	
Диаметр (толщина) заготовки, мм $Dhpr := 80mm$	
Форма поперечного сечения заготовки $fsz := 0$	
Назначенный припуск на резку мерных заготовок $\delta rez := 25mm$	
Тип заготовки $tipz := 1$	

2. В зависимости от значений этих параметров находится предварительное $\delta_{\min 1}$ значение припус- ка δ_{\min} в соответствии с табличным алгоритмом (табл. 2):

$\delta_{\min 1} :=$	2mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 10mm \wedge Dhpr > 0mm) \wedge (tipz = 1)
	5mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 50mm \wedge Dhpr > 10mm) \wedge (tipz = 1)
	8mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 80mm \wedge Dhpr > 50mm) \wedge (tipz = 1)
	5mm if (Orez = 6) \wedge (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6)
	5mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr < 4mm) \wedge (Orez = 14 \vee Orez = 12)
	2mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Orez = 15)
	16mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 490mm \wedge Dhpr > 400mm) \wedge (Orez = 22)
	11mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 490mm \wedge Dhpr > 400mm) \wedge (Orez = 7)

Для наших числовых значений параметров имеем $\delta_{\min 1} = 0,008$ м (подчеркнутая строка).

3. Проводится уточнение значения δ_{\min} по табл. 3 и 4, учитывающих возможности используемого оборудования для резки заготовок:

$\delta_{\min} :=$	2mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 10mm) \wedge (Orez = 4 \vee Orez = 22)
	4mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 30mm \wedge Dhpr > 10mm) \wedge (Orez = 7)
	2.5mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 80mm \wedge Dhpr > 10mm) \wedge (Orez = 4)
	2.5mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 20mm \wedge Dhpr > 10mm) \wedge (Orez = 22)
	3mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 30mm \wedge Dhpr > 20mm) \wedge (Orez = 22)
	5.5mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 80mm \wedge Dhpr > 30mm) \wedge (Orez = 7)
	5mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 80mm \wedge Dhpr > 30mm) \wedge (Orez = 22)
	6.5mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 150mm \wedge Dhpr > 80mm) \wedge (Orez = 7)
	6.5mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 150mm \wedge Dhpr > 80mm) \wedge (Orez = 7)
	3mm if (fsz = 0 \vee fsz = 1 \vee fsz = 2 \vee fsz = 6) \wedge (Dhpr \leq 200mm \wedge Dhpr > 80mm) \wedge (Orez = 4)

В нашем числовом примере $\delta_{\min} = 0,0055$ м (подчеркнутая строка).

4. Рассчитывается дополнительный припуск $\delta_{\text{др}} (\delta_{dp})$ по табл. 5, а показатель критичности по припуску на резку $\bar{y}_{1,1}$ – с помощью (2):

$\delta_{dp} :=$	1mm if Dhpr \leq 20mm \wedge Dhpr > 4mm = 0.002m
	2mm if Dhpr \leq 100mm \wedge Dhpr > 20mm
	3mm if Dhpr \leq 300mm \wedge Dhpr > 100mm
	4mm otherwise
	$\delta_{\min} := \delta_{\min} + \delta_{dp} = 0.0075$ m
	$y_{1,1} := \frac{\delta_{\min}}{\delta_{\text{рез}}} = 0.3$

На этом шаге в нашем примере будет выбрана величина дополнительного припуска $\delta_{dp} = 0,002$ м (вторая строка условий), величина припуска δ_{\min} (δ_{\min}) принимается равной 0,0075 м.

5. Уточняется значение Y_{11} показателя критичности по припуску на резку по табл. 6:

$Y_{11} :=$	$y_{1,1}$ if (Orez = 32) \vee [(Orez = 12) \vee (Orez = 13)] \wedge (gr_st = 9) \vee [(Orez = 33) \wedge (gr_st = 10)]
	$y_{1,1}$ if [(Orez = 34) \wedge (gr_st = 7)] \vee [(Orez = 34) \wedge (gr_st = 8)] \vee [(Orez = 34) \wedge (gr_st = 2)]
	$y_{1,1}$ if [(Orez = 34) \wedge (gr_st = 10)] \vee [(Orez = 35) \wedge (gr_st = 2)] \vee [(Orez = 35) \wedge (gr_st = 9)]
	$y_{1,1}$ if [(Orez = 35) \wedge (gr_st = 10)] \vee [(Orez = 32) \wedge (gr_st = 12)] \vee [(Orez = 12) \wedge (gr_st = 12)]
	1 if [(Orez = 12) \wedge (gr_st = 7)] \vee [(Orez = 13) \wedge (gr_st = 7)] \vee [(Orez = 12) \wedge (gr_st = 8)]
	1 if [(Orez = 13) \wedge (gr_st = 8)] \vee [(Orez = 12) \wedge (gr_st = 2)] \vee [(Orez = 13) \wedge (gr_st = 2)]
	1 if [(Orez = 12) \wedge (gr_st = 10)] \vee [(Orez = 13) \wedge (gr_st = 10)] \vee [(Orez = 12) \wedge (gr_st = 11)]
	1 if [(Orez = 13) \wedge (gr_st = 11)] \vee [(Orez = 34) \wedge (gr_st = 11)] \wedge [(Orez = 35) \wedge (gr_st = 11)]
	($y_{1,1} + 0.3$) if [(Orez = 33) \wedge (gr_st = 8)] \vee [(Orez = 33) \wedge (gr_st = 9)] \vee [(Orez = 34) \wedge (gr_st = 9)]
	($y_{1,1} + 0.3$) if [(Orez = 35) \wedge (gr_st = 7)] \vee [(Orez = 35) \wedge (gr_st = 8)]
	$y_{1,1}$ if [(Orez = 12) \wedge (gr_st = 12)]
	($y_{1,1} + 0.3$) if [(Orez = 33) \wedge (gr_st = 12)] \vee [(Orez = 34) \wedge (gr_st = 12)] \vee [(Orez = 35) \wedge (gr_st = 12)]
	$y_{1,1}$ otherwise

В рассматриваемом примере значение $Y11 = \bar{y}_{1,1} = 0,3$, т. е. назначенное оборудование для резки не приведет к увеличению вероятности возникновения критической ситуации.

6. Делается вывод о возникновении критической ситуации по значению показателя $\bar{y}_{1,1}$. В нашем примере при заданных значениях параметров технологической системы критической ситуации по припуску на резку не возникает:

$Rez_{1,1} :=$	"Возникла критическая ситуация 1.1. недостаточности припуска на резку" if $y_{1,1} \geq 1$
	"Критической ситуации 1.1 нет" otherwise
$y_{1,1} = 0.3$	$Rez_{1,1} =$ "Критической ситуации 1.1 нет"

Таблица 1. Информационный классификатор

Наименование и обозначение кода	Значение кода	Информационное содержание кода
Группа сплава gr_st	2	Теплоустойчивые, кислотостойкие и нержавеющие стали
Вид исходных заготовок для горячей объемной штамповки fsz	0	Сортовой прокат с круглым сечением
Тип заготовки $tipz$	1	Заготовка из стандартного (сортового или периодического проката)
Оборудование для резки заготовок перед штамповкой $Orez$	7	Приводные механические ножовки (ножовочные пилы)
Материал детали $Mdet$	1	12X18H10T

Таблица 2. Табличный алгоритм определения припуска δ_{min} по длине на разделку пруткового и профильного материала

Круглое, квадратное прямоугольное шестигранное $fsz \in (0,1,2,6)$	Ножовочная пила $Orez = 7$	Станки токарные и револьверные $Orez = 4$	Отрезка автогеном $Orez = 22$	Анодно-механическая резка $Orez = 8$
$D_z(Dhpr)$ до 10	$\bar{y}_{1,1} = 1^*$	2	2	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$
$D_z(Dhpr) \in 11-20$	4	2,5	2,5	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$
$D_z(Dhpr) \in 21-30$	4	2,5	3	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$
$D_z(Dhpr) \in 31-80$	5,5	2,5	5	5
$D_z(Dhpr) \in 81-150$	6,5	3	6	6
$D_z(Dhpr) \in 151-200$	7	3	8	7
$D_z(Dhpr) \in 201-260$	7,5	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	10	8
$D_z(Dhpr) \in 261-300$	9	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	12	10
$D_z(Dhpr) \in 301-400$	10	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	14	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$
$D_z(Dhpr) \in 401-490$	11	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	16	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$

*Примечание. Случай $\bar{y}_{1,1} = 1$ означает, что указанное оборудование неприменимо для резки, т. е. имеет место критическая ситуация.

Таблица 3. Табличный алгоритм определения припуска δ_{min} на отрезку деталей из проката

Диаметр прутка $D_z(Dhpr)$, мм, при $fsz \in (0,1,2,6)$	Величина припуска δ_{min} , мм	Диаметр прутка $D_z(Dhpr)$, мм, при $fsz \in (0,1,2,6)$	Величина припуска δ_{min} , мм
До 10	2	Св. 30 до 50	5
Св. 10 до 30	5	Св. 50 до 80	8

Таблица 4. Табличный алгоритм назначения припуска δ_{min} , минимально необходимого на резку проката

Применяемое оборудование для резки	Код оборудования для разделки материала на заготовки $Orez$	Размер припуска δ_{min} , мм	Диаметр прутка или толщина заготовки $D_z(Dhpr)$, мм
На фрезерование торцов	6	5,0	–
При резке на гильотинных ножницах и кислородной ручной резке	14 или 12	5,0	< 4
Технология ленточного пиления	15	2,0	–

Таблица 5. Количественный измеритель дополнительного припуска $\delta_{др}$, учитывающий глубину зоны термического влияния резки

Толщина разрезаемой стали	От 4 до 20	Св. 20 до 100	Св. 100 до 300
Размер дополнительного припуска на сторону $\delta_{др}$, мм	1	2	3

Возможность возникновения критичности, связанной с температурным режимом резки заготовок перед горячей объемной штамповкой, оценивается показателем [1]

$$\bar{y}_{1,2} = A_{12} + B_{12}\tau_{рез} + C_{12}\tau_{рез}^2, \quad (3)$$

где коэффициенты A_{12} , B_{12} , C_{12} определяются из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} A_{12} + B_{12}\tau_{min} + C_{12}\tau_{min}^2 &= 1 \\ A_{12} + B_{12}\tau_{max} + C_{12}\tau_{max}^2 &= 1 \\ A_{12} + B_{12}\frac{(\tau_{min} + \tau_{max})}{2} + C_{12}\frac{(\tau_{min} + \tau_{max})^2}{4} &= 0,5 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где $\tau_{рез}$, τ_{min} , τ_{max} – действительная, минимально и максимально допустимые температуры резки, °С.

Таблица 6. Количественный измеритель целесообразности выбранного способа резки

Код металла gr_st	Код оборудования для резки $Orez$				
	32 (плазменно-дуговая)	12 или 13 (кислородная)	33 (кислородно-флюсовая)	34 (дуговая)	35 (воздушно-дуговая)
7 (Al и его сплавы)	$\bar{y}_{1,1}^*$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1} + 0,3$
8 (Cu и ее сплавы)	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	$\bar{y}_{1,1} + 0,3$	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1} + 0,3$
2 (нержавеющая сталь)	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1}$
9 (малоуглеродистая сталь)	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1} + 0,3$	$\bar{y}_{1,1} + 0,3$	$\bar{y}_{1,1}$
10 (чугун)	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1}$
11 (Mg и его сплавы)	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$	$\bar{y}_{1,1} = 1,0$
12 (Ti и его сплавы)	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1}$	$\bar{y}_{1,1} + 0,3$	$\bar{y}_{1,1} + 0,3$	$\bar{y}_{1,1} + 0,3$

*Примечание. Случай $\bar{y}_{1,1}$ означает вычисление выражения по (2); $\bar{y}_{1,1} + 0,3$ – резкое увеличение вероятно возникновения критической ситуации; $\bar{y}_{1,1} = 1,0$ – критическая ситуация возникла.

Пошаговый порядок расчета показателя $\bar{y}_{1,2}$ так же представим с помощью листингов.

1. Ввод данных и начальных значений переменных по табл. 1:

Фактическая температура резки $\tau_{рез} := 20$
Вид оборудования и способ резки заготовок под штамповку $Orez := 7$
Группа сплава $gr_st := 2$ Диаметр заготовки, мм $Dhpr := 80\text{mm}$
Форма поперечного сечения заготовки $fsz := 0$
Тип заготовки $tipz := 1$ Код материала детали $Mdet := 1$

2. Определение τ_{max} и τ_{min} – максимально и минимально допустимых температур резки, °С, по табл. 7.

$\tau_{max} :=$	1350 if ($gr_st = 9$) \wedge ($Orez = 12 \vee Orez = 13$)
	45 if ($gr_st = 1$) \wedge ($Orez = 1 \vee Orez = 9 \vee Orez = 14 \vee Orez = 16$)
	45 if ($gr_st = 1$) \wedge ($Orez = 17 \vee Orez = 18 \vee Orez = 19 \vee Orez = 25$)
	700 if ($gr_st = 1 \vee gr_st = 12$) \wedge ($Orez = 12 \vee Orez = 13$)
	500 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 2 \vee Mdet = 3 \vee Mdet = 4 \vee$
	400 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 12$)
	400 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 13$)
	300 if ($gr_st = 3 \vee gr_st = 1$) \wedge ($Orez = 12 \vee Orez = 13$)
	350 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 14$)
	550 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 15$)
	500 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Dhpr \geq 300\text{mm}$)
	45 otherwise

$\tau_{min} :=$	1200 if ($gr_st = 9$) \wedge ($Orez = 12 \vee Orez = 13$)
	1 if ($gr_st = 1$) \wedge ($Orez = 1 \vee Orez = 9 \vee Orez = 14 \vee Orez = 16$)
	1 if ($gr_st = 1$) \wedge ($Orez = 17 \vee Orez = 18 \vee Orez = 19 \vee Orez = 25$)
	500 if ($gr_st = 1 \vee gr_st = 12$) \wedge ($Orez = 12 \vee Orez = 13$)
	300 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 2 \vee Mdet = 3 \vee Mdet = 4 \vee$
	150 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 12$)
	300 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 13$)
	150 if ($gr_st = 3 \vee gr_st = 1$) \wedge ($Orez = 12 \vee Orez = 13$)
	250 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 14$)
	350 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Mdet = 15$)
	300 if ($Orez = 12 \vee Orez = 13$) \wedge ($Dhpr \geq 300\text{mm}$)
	18 otherwise

Результатом является значения τ_{max} (τ_{max}) = 45 °С и τ_{min} (τ_{min}) = 18 °С, т. е. в данном примере предполагается режим резки механическими ножовками ($Orez = 7$) при комнатной температуре.

3. Решение системы уравнений (4) с помощью функции Mathcad *lsolve* позволяет найти значения коэффициентов $A_{1,2}$, $B_{1,2}$, $C_{1,2}$. Затем вычисляется значение показателя $\bar{y}_{1,2}$ с помощью (3) и осуществляется проверка возникновения критичности.

$$P1 := \begin{bmatrix} 1 & \tau_{\min} & \tau_{\min}^2 \\ 1 & \tau_{\max} & \tau_{\max}^2 \\ 1 & \frac{(\tau_{\min} + \tau_{\max})}{2} & \frac{(\tau_{\min} + \tau_{\max})^2}{4} \end{bmatrix} \quad P2 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

$$P3 := \text{Isolve}(P1, P2) = \begin{pmatrix} 3.222 \\ -0.173 \\ 0.003 \end{pmatrix}$$

$$A12 := P3_1 = 3.222 \quad B12 := P3_2 = -0.173 \quad C12 := P3_3 = 0.003$$

$$y_{1,2} := A12 + B12 \cdot \tau_{rez} + C12 \cdot \tau_{rez}^2 = 0.863$$

$$Rez_{1,2} := \begin{cases} \text{"Возникла критическая ситуация 1.2. нарушения температурного режима резки"} & \text{if } y_{1,2} \geq 1 \\ \text{"Критической ситуации 1.2. нет"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Rez_{1,2} = \text{"Критической ситуации 1.2. нет"}$$

Итак, при заданных параметрах процесса резки заготовок для штамповки, критичность, связанная с нарушением температурного режима, не ожидается.

Таблица 7. Табличный алгоритм определения минимально и максимально допустимых температур резки, °C

Код оборудования для резки материала на заготовки <i>Orez</i>	Характеристики материала заготовки	Минимально допустимая температура резки τ_{\min} , °C	Максимально допустимая температура резки τ_{\max} , °C
1,9,14,16,17, 18,19,25	$gr_st = 1$	1	45
12 или 13	$gr_st = 1$ или 12	500	700
25	$gr_st = 1,2,3,4,5,6$ или 9	400	700
12 или 13	$Mdet = 2,3,4,5$	300	500
12 или 13	$Mdet = 12$	150	400
12 или 13	$Mdet = 13$	300	400
12 или 13	$gr_st = 3$ или 1	150	300
12 или 13	$Mdet = 14$	250	350

Аналогично создаются алгоритмы с программной реализацией остальных показателей из математической модели [1].

Практическое применение этих программных реализаций требует разработки методики выявления, предотвращения и управления развитием всех критических ситуаций, возникающих в процессе резки заготовок для штамповки деталей воспламеняющих устройств РДТТ.

Разработанная методика предполагает выполнение следующей последовательности действий.

1. Все параметры технологической системы горячей объемной штамповки разбиваются на входные данные – постоянные характеристики (табл. 8), управляющие параметры (табл. 9) и расчетные данные (табл. 10).

2. Разрабатывается *K* вариантов значений управляющих параметров (табл. 9), осуществление которых возможно на данном конкретном кузнечно-штамповочном производстве деталей.

3. Задаются значения всех параметров по конкретному варианту.

4. Проводится моделирование и расчет всех показателей критичности.

5. Проводится анализ значений показателей критичности. Если хотя бы один из них укажет на наличие критической ситуации в технологической системе, то тогда изменяются значения управляющих параметров, входящих в математическую модель измерителя, и осуществляется возврат к п. 4.

6. Вычисляется значение функции *F* по (1) для соответствующего варианта сочетаний значений управляющих параметров и констант.

7. Изменяются значения управляющих параметров по следующему варианту, и снова проводится моделирование (возврат к п. 4).

8. Из полученного множества состояний технологической системы штамповки выбирается то, значение функции *F* для которого наименьшее

$$F_{\text{работс}} = \min (F_z, z = 1 \dots K). \quad (5)$$

Таблица 8. Спецификация констант – входных параметров технологической системы горячей объемной штамповки

Наименование параметра	Обозначение параметра в мм	Ед. измер.	Обозначение параметра в Mathcad	Значение
Нижние и верхние отклонения на диаметр сечения	$[\delta_{dmi-}], [\delta_{dmi+}]$	мм	$\delta_{dmiPr}, \delta_{dmiPr}$	-1,6 1,6
Нижние и верхние отклонения на длину заготовки	$[\delta_{dplus-}], [\delta_{dplus+}]$	мм	$\delta_{dplusPr}, \delta_{dplusPr}$	-2,1 2,1
Предельно допустимый угол скоса торцов заготовки, по оси <i>y</i>	$[\alpha_{kos}]$	мм	α_{kmmDy}	10,5
Предельно допустимый угол скоса торцов заготовки, по оси <i>x</i>	$[\alpha_{kos}]$	мм	α_{kmmDx}	6

Окончание табл. 8

Наименование параметра	Обозначение параметра в ММ	Ед. измер.	Обозначение параметра в Mathcad	Значение
Предельно допустимый угол скоса торцов заготовки	$[a_{kos}]$	град.	α_{kosD}	7
Назначенные техническими условиями поля допуска полый заготовки под штамповку, мм	$[\delta_{smi}]$, $[\delta_{splus}]$	мм	δ_{smiPr} , $\delta_{splusPr}$	-1 2
Группа сплава	gr_st	-	gr_st	2
Масса детали воспламенителя РДГТ	$mД$	кг	Md	1,719
Код материала детали	$Mdet$	-	$Mdet$	1
Установленный объем отходов металла при разделке материала на заготовки	$[q_m]$	м ³	qmY	1
Максимально допустимые значения шероховатости поверхности при разделке материала на заготовки	Ra_{max} Rz_{max}	мкм	$Ramax$ $Rzmax$	32 160
Максимально допустимое отклонение поверхности под действием выталкивателя	$[SI]$	мм	$SledG$	3
Тип детали	$Tipd$	-	$Tipd$	1
Сопrotивление штампуемого материала	$Vsop$	МПа	$Vsop$	400

Таблица 9. Спецификация входных управляющих параметров технологической системы горячей объемной штамповки

Наименование параметра	Обозначение параметра в ММ	Ед. измер.	Обозначение параметра в Mathcad	1-й вариант значения	2-й вариант значения
Назначенный припуск на резку мерных заготовок	δ_{rez}	мм	δ_{rez}	25	20
Диаметр круга для резки	$Abkr$	мм	$Abkr$	200	200
Габаритная ширина заготовки	Bz	мм	Bz	80	100
Габаритный диаметр заготовки	Dz	мм	$Dhpr$	80	100
Форма поперечного сечения заготовки	fsz	-	fsz	0	0
Код вида шероховатости $KodR = 0 - Rz$; $KodR = 1 - Ra$	$KodR$	-	$KodR$	1	1
Код способа измерения скоса заготовки: 0 - в град	$KodSk$	-	$KodSk$	0	0
Класс точности проката	$Ktpr$	-	$Ktpr$	«А»	«Б»
Периметр поковки по линии разбема	L	мм	$Lper$	503	628
Масса заготовки	mz	кг	$Mzag$	2,8	3
Оборудование для резки	$Orez$	-	$Orez$	7	8
Код способа нагрева и топлива	spn	-	spn	1	10
Температура, при которой определяется плотность материала	tem	°C	tem	350	350
Тип заготовки	$tipz$	-	$tipz$	1	1
Вид штампа	$tpsh$	-	$tpsh$	1 - открытый	0 - закрытый
Фактическая температура резки	τ_{rez}	°C	τ_{rez}	20	20

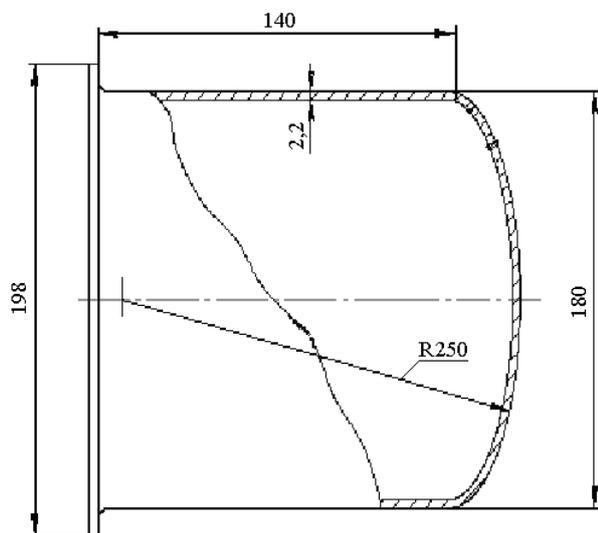
Применение данной методики рассмотрим на примере горячей объемной штамповки деталь «Корпус воспламенительного устройства» (рис.). Спецификация значений исходных данных представлена в табл. 8.

Таблица 10. Спецификация расчетных параметров технологической системы горячей объемной штамповки

Наименование параметра	Обозначение параметра в ММ	Ед. измер.	Обозначение параметра в Mathcad
Фактические отклонения длины мерной заготовки из проката	δ_{dl}	мм	δ_{dlmi} , δ_{dlplus}
Фактические отклонения диаметра мерной заготовки из проката	δ_d	мм	δ_{dmi} , δ_{dplus}
Нижние и верхние действительные отклонения размеров диаметра	δ_{dmi} , δ_{dlmi}	мм	δ_{dmi} , δ_{dlmi}
Дополнительный припуск при резке заготовок	δ_{dp}	мм	δ_{dp}
Нижние и верхние действительные отклонения длины заготовки, мм	δ_{dplus} , δ_{dlplus}	мм	δ_{dplus} , δ_{dlplus}
Фактический угол скоса торцов заготовки	α_{kos}	град.	α_{kos}
Максимально допустимая температура резки	τ_{max}	°C	τ_{max}

Окончание табл. 10

Наименование параметра	Обозначение параметра в ММ	Ед. измер.	Обозначение параметра в Mathcad
Минимально допустимая температура резки	τ_{\min}	°С	τ_{\min}
Минимально необходимый припуск на резку проката	δ_{\min}	мм	δ_{\min}
Максимально допустимое отклонение угловых размеров поковки	$[e]$	град.	$eUgP$
Площадь поперечного сечения канавки для облоя	$F_{\text{обл}}$	см ²	$Fobl$
Масса потерь материала поковки на клещевину	$G_{\text{кл}}$	кг	Gkl
Масса поковки	$m_{\text{пок}}$	кг	Gp
Потери материала поковки на угар	$G_{\text{уг}}$	кг	Gug
Ширина площадки заготовки, где возникли дефекты	h_{def}	мм	$hdef$
Ширина реза	L	мм	lp
Масса облоя	$G_{\text{обл}}$	кг	$Mobl$
Масса заготовки, требуемая для штамповочного процесса	m_{r}	кг	Mtr
Минимально допустимая производительность при разделке материала на заготовки	Q_{\min}	разное	Q_{\min}
Фактический объем отходов металла при разделке материала на заготовки	q_m	м ³	qmO
Фактическая производительность при разделке материала на заготовки	$Q_{\text{рез}}$	разное	$Q_{\text{рез}}$
Фактическая шероховатость поверхности среза	$Ra_{\text{рез}}$ или $Rz_{\text{рез}}$	мкм	$Ra_{\text{рез}}, Rz_{\text{рез}}$
Местное отклонение поверхности поковки под действием выталкивателя	Sl	мм	$Sled$
Объем потерь поковки на клещевину	$V_{\text{кл}}$	мм ³	Vkl
Объем поковки	$V_{\text{ПОК}}$	мм ³	$Vpok$
Предельно допустимая скорость деформирования материала поковки, при которой начинается процесс рекристаллизации	$v_{\text{РЕКРИСТАЛ}}$	м/с	$vRek$
Количество топлива, необходимого для нагрева 1 заготовки	$V_{\text{ТОП}}$	кг	$Vtopl$
Объем заготовки	$V_{\text{ЗАГ}}$	мм ³	$Vzag$
Максимально допустимый размер заусенца	$[K]$	мм	$ZauG$
Зазор между ножами разделочного инструмента	z_n	мм	Zn



Эскиз корпуса воспламенительного устройства

В табл. 9 представлены два варианта параметров технологической системы горячей объемной штамповки корпуса воспламенительного устройства со своими наборами констант и управляющих параметров.

В табл. 10 дан список параметров, значения которых являются переменными и зависят от изменения управляющих параметров. Затем проводится моделирование, в ходе которого определяются значения всех показателей критических ситуаций, которые вводятся в табл. 11.

В результате определяются значения целевой функции (1): для первого варианта ТС $F_1 = 5,089$; для второго – $F_2 = 5,222$.

Анализ обоих вариантов по (5) позволяет утверждать, что у второго варианта технологической системы вероятность возникновения критических ситуаций при резке заготовок перед штамповкой наибольшая. Другими словами, во втором варианте система менее долговечна и работоспособна. Для практического применения лучше использовать технологическую систему с параметрами первого варианта.

Заметим, данная методика позволяет изменением значений управляющих параметров управлять критичностью не только части технологической системы, отвечающей за резку заготовок перед штамповкой, но и штамповкой в целом. А методика моделирования позволяет также находить наиболее эффективные значения параметров технологического процесса штамповки деталей воспламенительных устройств РДТТ.

Таблица 11. Рассчитанные значения показателей критических ситуаций

№ ТС	№ показателя критической ситуации													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	F
1	0,30	0,863	0,00003	0,6	0,781	0,469	0,688	0	0	0	0,656	0,714	0,018	5,089
2	0,85	0,863	0,00000	0,6	0,197	0,278	0,944	0	0	0	0,693	0,714	0,083	5,222

Библиографические ссылки

1. Уразбахтин Ф. А., Уразбахтина А. Ю. Критические ситуации при резке заготовок для штамповки деталей воспламенительного устройства ракетного двигателя // Вестн. ИжГТУ. – 2010. – № 4. – С. 40–45.

2. Уразбахтин Ф. А., Уразбахтина А. Ю., Хмелева А. В. Критические ситуации при производстве и технической

эксплуатации транспортно-пусковых контейнеров ракет : моногр. / под ред. проф. Ф. А. Уразбахтина. – М. ; Ижевск : Регуляр. и хаот. динамика, 2009. – 408 с.

3. Уразбахтина А. Ю. Система автоматизированного проектирования алмазных кругов, используемых в операциях плоского шлифования // Автоматизация и соврем. технологии. – 2000. – № 6. – С. 16–20.

* * *

A. Yu. Urazbakhkina, PhD in Engineering, Associate Professor, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Simulation of critical situations at cutting workpieces for stamping of the igniter parts of the solid-propellant rocket engine

The modeling technique is stated, allowing to reveal, prevent and operate the criticality arising within the cutting and stamping processes of igniter parts of the solid-propellant rocket engine.

Keywords: critical situations, mathematical model, technological system

Получено: 02.11.12

УДК 621.771.06

В. П. Шеногин, доктор технических наук, профессор;

Н. В. Тепин, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОКАТНЫХ КЛЕТЕЙ

Предложено использовать метод морфологического анализа для конструирования прокатной клетки. Предложена конструкция новой прокатной клетки, в основе которой заложен новый принцип предварительного нагружения валков. Он позволил получить линейную характеристику жесткости клетки на всем диапазоне действующих усилий. Разработанная прокатная клетка позволила повысить точность и стабильность проката.

Ключевые слова: проектирование, прокатка, клеть

Повышение точности размеров прокатных изделий неразрывно связано как с технологией прокатки, так и с жесткостью прокатных клетей. Как малая, так и завышенная жесткость клетей приводит к невозможности прокатки профилей в узком диапазоне поля допуска.

Для обеспечения требуемой точности мелкосортной прокатки необходимо определить основные технические характеристики прокатных клетей, а также выработать соответствующие рекомендации по проектированию новых прокатных клетей.

Для организации системного подхода при выборе и проектировании прокатных клетей сортовых станов в данной работе предлагается воспользоваться методом морфологического анализа.

Для его проведения необходимо точно сформулировать проблему – предложить новую эффективную конструкцию чистовой прокатной клетки мелко-

сортного стана. Определить морфологические признаки: А – станина; Б – узел регулирования межвалкового зазора; В – подшипниковый узел, воспринимающий радиальную нагрузку; Г – узел осевой регулировки валка; Д – подшипниковый узел, воспринимающий осевую нагрузку; Е – узел предварительного нагружения деталей, воспринимающих радиальную нагрузку; Ж – предварительное осевое нагружение клетки.

При формировании матрицы (морфологического ящика) определим возможные исполнения каждого признака. Возможные сочетания А₁Б₃Г₁Д₅Е₃Ж₄ или А₅Б₁Г₃Д₅Е₄Ж₁ и т. д. Общее количество сочетаний в морфологическом ящике равно произведению чисел элементов на осях. В нашем случае матрица (табл.) позволяет получить 6*6*6*6*6*5 = 233 280 вариантов.