

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ НА РКМ

*Кондратьев В.И., Потупчик А.И.*

*Уральский федеральный университет*

*имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург*

**Ключевые слова:** деформация, САПР, методика, вариация, заготовка, разностенность, технология, параметры, усилие, модель, геометрия, деталь, размер.

**Аннотация.** Тема работы посвящена применению методов теории пластичности для исследования технологических процессов ковки на РКМ (радиально-ковочных машинах) и определения технологических параметров, которые используются при разработке программных модулей при создании САПР проектирования технологии ковки на этом оборудовании.

## APPLICATION OF METHODS OF THE THEORY OF PLASTICITY FOR RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROCESSES DEFORMATION ON RKC

*Kondratyev V.I., Potupchik A.I.*

*Ural federal university, Ekaterinburg*

**Keywords:** deformation, CAD, a technique, a variation, preparation, different-walled, technology, parametres, effort, model, geometry, a detail, the size.

**Abstract.** The work theme is devoted application of methods of the theory of plasticity for research of technological processes deformation on RKC (radially-kovochnyh cars) and definitions of technological parametres which are used by working out of program modules at creation CAD system of designing of technology deformation on this equipment.

В Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина на кафедре информационных технологий и автоматизации проектирования ведутся работы по исследованию и совершенствованию технологических процессов свободной ковки на молотах, прессах и радиально-ковочных машинах, горячей штамповки, листовой штамповки и др. в целях применения как на производстве так и в учебном процессе. В этом процессе значительное место занимают методы теории пластичности и механики твердого тела. Результаты исследований используются для разработки САПР.

В данной работе представлены материалы по применению вариационных методов для исследования и определения технологических параметров ковки на РКМ.

Рассмотрим процесс радиального обжатия полых заготовок, которые зачастую могут иметь исходную разностенность по толщине стенки до 25% [1], исправить которую полностью не удается. Вследствие этого для получения необходимой геометрии детали назначают дополнительный припуск.

С целью выявления факторов, влияющих на исправление исходной разностенности полых заготовок, было проведено исследование процесса на

математической модели, полученной с применением методов теории обработки металлов давлением [2].

Так как задачей являлось получение качественной картины процесса, то создавалась упрощенная модель, содержащая наиболее важные факторы, влияющие на процесс. Рассмотрим схему процесса (рис. 1).

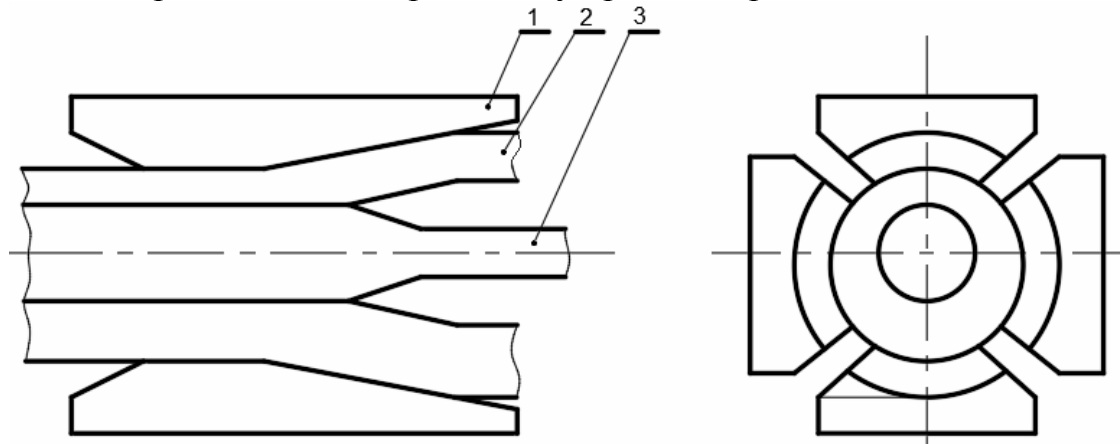


Рис. 1. Схема радиального обжатия эксцентричной заготовки: 1 – боек; 2 – заготовка; 3 – оправка

В качестве упрощений модели были приняты следующие: процесс обжатия принимался при полном контакте с оправкой и при отсутствии зазора между бойками и заготовкой, не учитывалось течение металла в тангенциальном направлении, угол наклона конусных бойков не учитывался. В итоге задача свелась к исследованию плоской деформации в сечении с наибольшим эксцентриситетом, т.е. плоской деформации двух прямоугольных заготовок разной толщины с жесткой прокладкой между ними (рис. 2).

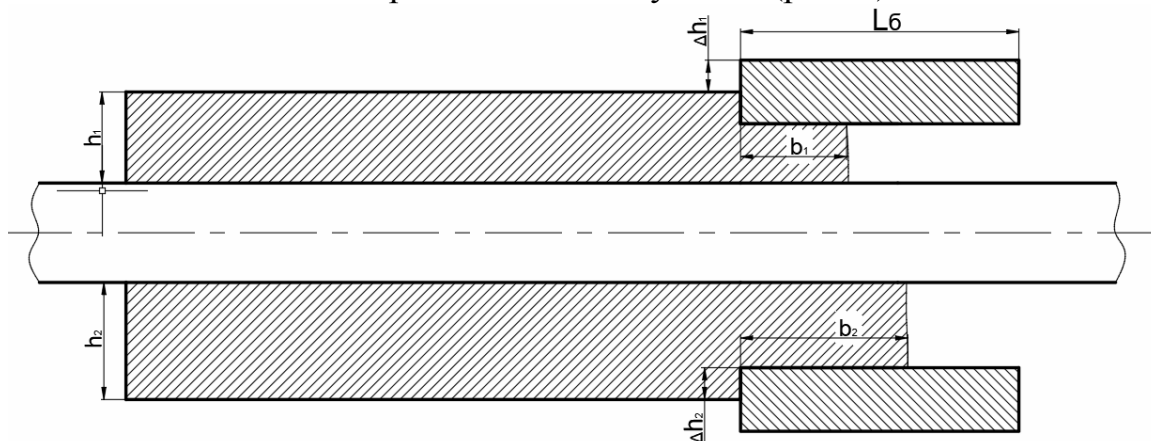


Рис. 2. Модель схемы деформации полый заготовки

Решалась задача определить в каком соотношении будут деформироваться эти прямоугольники при заданной величине общего обжатия.

Процесс деформации рассматривался на двух схемах. В первом случае длина деформируемой части образца не больше длины бойка, а во втором -равна длине бойка.

Исследование формоизменения проводилось с помощью вариационного принципа Лагранжа для малых пластических деформаций в условиях жестко-пластической среды с учетом гипотез несжимаемости и об однородности

деформации по обоим осям [2]. Влияние жестких концов учитывалось введением работы сил среза. Условия трения на всех контактных поверхностях принимались одинаковыми и определялись по закону Зибеля

$$\tau = \psi \tau_s, \quad (1)$$

где  $\psi$  - коэффициент трения,  $\tau_s$  - предел текучести на сдвиг.

За варьируемый параметр была принята величина

$$a = \Delta h_1 / \Delta h, \quad (2)$$

где  $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$  - бесконечно малое обжатие обоих образцов и первого и второго образцов соответственно,  $0 \leq a \leq 1$ .

Поля деформаций и перемещений в прямоугольной системе координат с точностью до варьируемого параметра  $a$  с учетом независимости деформации вдоль оси вращения (оси  $x$ ), граничных условий  $u_{z_1/z_1=h_1} = \Delta h_1$  и  $u_{x_1/x=0} = 0$  и условия несжимаемости  $\varepsilon_{x_1} + \varepsilon_{z_1} = 0$  для первой заготовки примут вид.

$$\varepsilon_{z_1} = -\frac{\alpha \Delta h}{h_1}; u_{z_1} = -\frac{\alpha \Delta h}{h_1} z; \varepsilon_{x_1} = \frac{\alpha \Delta h}{h_1}; u_{x_1} = \frac{\alpha \Delta h}{h_1} x. \quad (3)$$

Интенсивность деформации сдвига определится выражением

$$\Gamma_1 = 2\sqrt{\varepsilon_{x_1}^2 + \varepsilon_{z_1}^2} + \varepsilon_{x_1} \varepsilon_{z_1} = \frac{2\alpha \Delta h}{h_1}. \quad (4)$$

Для второго образца поле деформаций и перемещений строится аналогично

$$\varepsilon_{z_2} = -\frac{(1-\alpha)\Delta h}{h_2}; u_{z_2} = -\frac{(1-\alpha)\Delta h}{h_2} z; \varepsilon_{x_2} = \frac{(1-\alpha)\Delta h}{h_2};$$

$$u_{x_2} = \frac{(1-\alpha)\Delta h}{h_2} x; (5) \Gamma_2 = \frac{2(1-\alpha)\Delta h}{h_2}. \quad (6)$$

Приращение полной работы деформации

$$\Delta A = \Delta A_{\text{вн}_1} + \Delta A_{\text{мп}_1} + \Delta A_{\text{ср}_1} + \Delta A_{\text{вн}_2} + \Delta A_{\text{мп}_2} + \Delta A_{\text{ср}_2}. \quad (7)$$

Согласно принятым допущениям

$$\Delta A_{\text{вн}} = \tau_s \int_{-b/2}^{b/2} \int_0^h \Gamma dz dx; \Delta A_{\text{мп}} = 4\psi \tau_s \int_0^{b/2} u_x dx; \Delta A_{\text{ср}} = -2\tau_s \int_0^h u_z dz. \quad (8)$$

В результате проведенных преобразований было получено

$$\Delta A = K_1 a (P_1 - P_2) + K_2, \quad (9)$$

где  $P_1(P_2)$  - значение потребной силы для деформации первого и второго образцов;  $K_1, K_2$  - постоянные ( $(K_1 > 0)$ ).

$$P_1 = 2b_1 + \psi b_1^2 / 2h_1 + h_1; P_2 = 2b_2 + \psi b_2^2 / 2h_2 + h_2. \quad (10)$$

Рассматриваемая система должна стремиться к состоянию равновесия при  $P_1 = P_2$ .

При  $P_1 \neq P_2$  функция  $\Delta A = f(a)$  вследствие линейности достигает минимума на одном из граничных значений параметра  $a$ . Когда  $P_1 = P_2$   $\Delta A = const$  и параметр  $a$  определяется из уравнения  $P_1(h_1 - a\Delta h) = P_2[h_2(1 - a\Delta h)]$ .

В итоге при различных соотношениях  $P_1$  и  $P_2$  значения параметра  $a$  определяются из выражения

$$a = \begin{cases} 0, \text{если} \cdot P_1 > P_2 \\ 1, \text{если} \cdot P_1 < P_2 \\ \frac{2(b_2/h_2) + \psi(b_2/h_2)^2 - 1}{2(b_1/h_1 + b_2/h_2) + \psi[(b_1/h_1)^2 + (b_2/h_2)^2] - 1}, \text{если} \cdot P_1 = P_2. \end{cases} \quad (11)$$

По результатам проведенных исследований были сделаны выводы.

1. В случае обжатия образцов по всей длине бойками с длиной  $L_6$  равной начальной или меньшей длины образцов уравнения для потребных сил обжатия в начальный момент будут иметь вид

$$P_1 = 2b + \psi b^2 / 2h_1 + h_1; \quad P_2 = 2b + \psi b^2 / 2h_2 + h_2. \quad (12)$$

При этом, если выполняется условие

$$b > \sqrt{2h_1h_2/\psi}, \quad (13)$$

то сначала будет деформироваться более высокая заготовка до момента, когда перестанет выполняться условие  $P_1 > P_2$ . При этом полного выравнивания высот образцов не произойдет из-за увеличения длины второго образца и увеличения силы трения его с оправкой и разного влияния жестких концов. При этом чем меньше коэффициент трения между оправкой и образцами, тем в большей степени будет исправляться разностенность. Более полного выравнивания разностенности можно достигнуть в гипотетическом случае, когда бойки и оправка имеют одинаковую длину. Но в этом случае также полностью устранить разностенность не удастся из-за разного влияния жестких концов у образцов.

2. В случае обжатия образцов по всей длине бойками, длина которых во время всего процесса больше длины образцов в начальный момент обжатия потребные усилия деформации определяются по (12) и затем – по (10). При этом вначале разность высот будет выравниваться при условии (13) до момента выполнения  $P_1 \neq P_2$ , а затем начнут деформироваться оба образца в соответствии с условием  $P_1 = P_2$ . В итоге также исправить разностенность полностью не удастся из-за увеличения площадей контакта между более высоким образцом с оправкой и бойком.

В реальных условиях схема деформации в начале обжатия близка к комбинации первого и второго случаев, а-именно, в зоне деформации образцов (рис. 2) имеется нейтральное сечение, разделяющее течение металла в разных направлениях. При этом слева от нейтрального сечения половина образца деформируется бойком длиной меньшей длины заготовки, а справа – большей.

На конечной стадии обжатия в момент калибровки реализуется схема деформации близкая к первому варианту.

Таким образом существующая схема деформации не позволяет полностью устранить разностенность при радиальном обжатии.

Для исправления разностенности можно предложить два варианта.

1. Исправить разностенность на торце заготовки путем механической обработки.

2. Сконструировать калибрующее кольцо, заменяющее торец заготовки с исправленным эксцентриситетом.

Калибрующее кольцо следует прижимать к торцу заготовки с силой, не позволяющей отойти от заготовки. После обжатия с калибрующим кольцом торца кольцо можно убрать, так как далее его роль будет выполнять обжатая часть заготовки.

Следует также уменьшать коэффициент трения между оправкой и заготовкой и стремиться конструировать рабочую часть оправки и бойки одинаковой длины.

#### **Список литературы**

1. Викдорчик С.Ю. Исследование процесса точнойковки полых заготовок на радиально-ковочной машине: Дисс. ... канд. техн. наук. – Свердловск, 1972. – 196 с.
2. Тарновский И.Я., Поздеев А.А., Ганаго О.А. и др. Теория обработки металлов давлением: вариационные методы расчета усилий и деформации. – М., 1963. – 672 с.

#### Сведения об авторах:

*Кондратьев Владимир Иванович* – к.т.н., доцент, УрФУ, г.Екатеринбург;

*Потупчик Андрей Иванович* – к.т.н., доцент, УрФУ, г.Екатеринбург.