

PACS: 81.40.Jj

А.М. Лаптев, Е.Ю. Вяль

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ШТАМПА НА НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ

Донбасская государственная машиностроительная академия
ул. Шкадинова, 76, г. Краматорск, 84313, Украина
E-mail: laptev@gmx.net

Статья поступила в редакцию 15 августа 2006 года

Методом жестких блоков исследовано влияние конструкции штампа для равноканального углового прессования (РКУП) на напряжение, необходимое для реализации процесса. Среди рассмотренного класса конфигураций найдена такая, которая обеспечивает наименьшее давление прессования. Для этой конфигурации определена деформация, получаемая за один проход прессования.

Введение

Способ РКУП был предложен В.М. Сегалом как метод достижения больших деформаций и изменения микроструктуры массивных металлических заготовок [1]. Принципиальная схема РКУП показана на рис. 1.

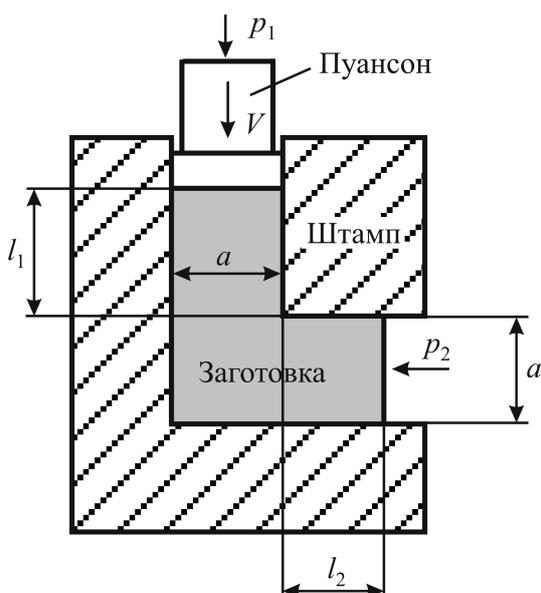


Рис. 1. Принципиальная схема РКУП

Заготовка, как правило, прямоугольного сечения, помещается в штамп с каналом, изогнутым под прямым или другим углом. Поперечное сечение канала остается неизменным вдоль его длины. Под действием давления p_1 , прилагаемого со стороны пуансона, заготовка перемещается и пластически деформируется в канале в условиях, близких к простому сдвигу. При выходе из штампа заготовка приобретает форму и размеры, близкие к исходным, но ее микроструктура и свойства существенно изменяются в результате пластической деформации. Еще большего измене-

ния микроструктуры и свойств можно добиться, если данную заготовку последовательно деформировать в штампе РКУП несколько раз, накапливая пластическую деформацию материала. Для предотвращения разрушения заготовки процесс рекомендуется вести с наложением противодействия p_2 на выходе из канала.

Уже на ранних стадиях исследования РКУП было установлено, что интенсивная пластическая деформация заготовок из армко-железа и меди приводит к неожиданно небольшому снижению пластичности при очень существенном увеличении прочности [1]. В качестве вероятной причины такого аномального поведения материалов предполагалось изменение механизма пластической деформации в результате интенсивного дробления зерен при РКУП. В последнее время в связи с возросшим интересом к материалам с нанокристаллической структурой исследование технологии РКУП получило новый импульс к развитию. Предполагается с помощью такого прессования получать заготовки больших размеров с величиной зерна менее $1 \mu\text{m}$ [2].

Значимость РКУП для производства материалов с уникальным сочетанием свойств стимулировала исследования в области механики пластической деформации при реализации данного процесса. Так, для варианта РКУП, представленного на рис. 1, методом линий скольжения были получены формулы, устанавливающие зависимость между давлением прессования на линии $CG-p$ и фактором трения m в законе трения Зибеля [3,4]. При отсутствии противодействия p_2 эти формулы имеют вид

$$\frac{p}{2k} = 2\alpha - \frac{\pi}{2} + (1 + 2m)\text{ctg}\alpha, \quad (1)$$

где k – постоянная пластичности для деформируемого материала,

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \arccos(2m). \quad (2)$$

Также была определена угловая деформация за один проход РКУП, которая рассчитывается из зависимости

$$\gamma = \frac{\pi}{2} + 2\text{ctg}\alpha - \arccos(2m). \quad (3)$$

Теоретический анализ РКУП методом линий скольжения является абсолютно точным в рамках принятых допущений о схеме плоской деформации и об идеальной пластичности материала [5].

Нами было показано [4], что применение метода жестких блоков теории пластичности [5] к анализу процесса РКУП позволяет находить хотя и приближенные решения, но очень близкие к решениям, полученным по методу линий скольжения. Этот результат является основанием для применения метода жестких блоков при определении параметров РКУП в штампах с более сложной конфигурацией, например имеющих скругленные или скошенные углы. В подобных случаях использование метода линий скольжения затруд-

нено и для теоретического анализа обычно применяется метод конечных элементов (МКЭ) [6]. Используя МКЭ, можно учесть упрочнение и определить локальные характеристики напряженно-деформированного состояния. Однако, как известно, ход решения задач по МКЭ не является наглядным, и получаемые числовые результаты не всегда легко проанализировать. Поэтому наряду с МКЭ для изучения механики процессов обработки металлов давлением, к которым относится РКУП, целесообразно применять аналитические методы. Помимо самостоятельного значения, получаемые при этом результаты могут использоваться для тестирования решения подобных задач по МКЭ. В данной работе мы стремились показать возможности применения метода жестких блоков к анализу процесса РКУП в штампах с усложненной конфигурацией. Были найдены зависимости, описывающие влияние скоса угла штампа на давление прессования, и определен скос, при котором давление прессования становится наименьшим. Для этого случая проанализировано деформированное состояние заготовки после РКУП.

Теоретический анализ. Расчетная схема процесса РКУП представлена на рис. 2,а. Равноканальный штамп имеет скос по линии AB , величина которого характеризуется параметром h . Будем рассматривать процесс пластического деформирования при РКУП как результат перемещения жестких треугольных блоков 1, 2 и 3 относительно друг друга и относительно штампа 4. Деформация считается плоской. Возможность образования застойных зон не предусматривается. Примем также для упрощения, что $p_2 = 0$. Напряжение трения между заготовкой и штампом зададим согласно закону Зибеля $\tau = 2mk$ и определим давление прессования p на линии CG . Годограф скоростей перемещений рассматриваемых жестких блоков приведен на рис. 2,б.

Для выбранной схемы разбивки на блоки уравнение баланса мощностей внешних и внутренних сил имеет вид

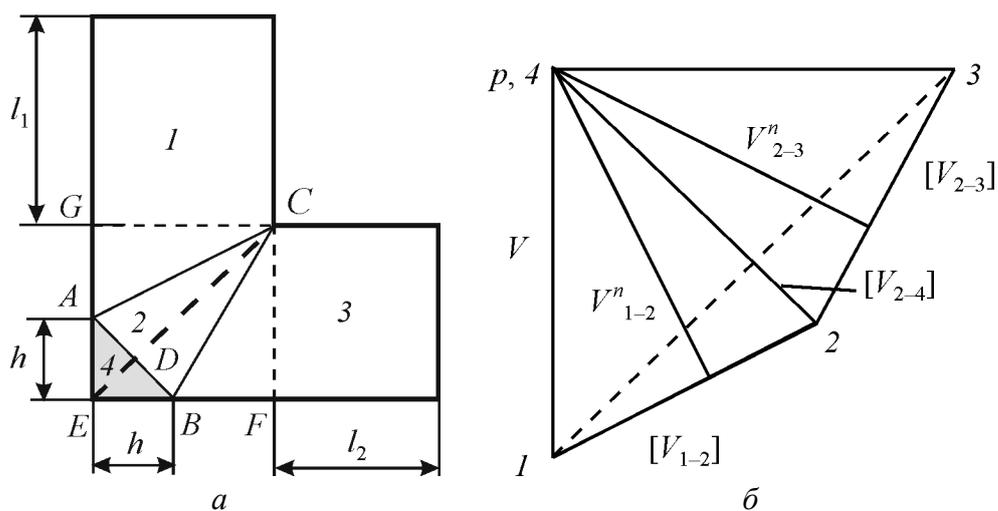


Рис. 2. Схема разбиения на блоки (а) и годограф скоростей (б) при анализе РКУП по методу жестких блоков: 1, 2, 3 – блоки, 4 – штамп

$$paV_1 = k(l_{1-2}[V_{1-2}] + l_{2-3}[V_{2-3}]) + 2mkl_{2-4}[V_{2-4}] + 4mk(a-h)V_1, \quad (4)$$

где l_{i-j} , $[V_{i-j}]$ – длины общих границ блоков i и j и скорости их взаимного перемещения.

Выразим линейные размеры в формуле (4) через h , а скорости – через V_1 , используя подобие треугольников на схеме процесса и на годографе. Получаемые при этом результаты приведены в работе [4]. Подставляя соответствующие данные в формулу (4), после преобразований получаем

$$\frac{p}{2k} = \frac{1 + (1-x)^2 + 2mx}{2-x} + 2m(1-x), \quad (5)$$

где $x = h/a$. Анализ выражения (5) на экстремум показывает, что $p/2k$ имеет минимум при скосе $x = 2 - \sqrt{2} \approx 0.586$ независимо от величины фактора трения m . Подставляя это значение x в (5), находим

$$\left(\frac{p}{2k}\right)_{\min} = 2(\sqrt{2} - 1)(1 + 2m). \quad (6)$$

Обсуждение результатов теоретического анализа. На рис. 3,а представлены зависимости относительного давления прессования $p/2k$ от величины фактора трения m , рассчитанные по методу линий скольжения для штампа без скоса (1) и по методу жестких блоков для штампа со скосом (5). Здесь же приведено относительное расхождение получаемых значений, определенное по формуле

$$\delta = \frac{R - R'}{R'} 100\%, \quad (7)$$

где R и R' – расчетные значения для штампа со скосом и без скоса. Сравнение показывает, что при характерной для РКУП со смазкой величине фактора трения $m = 0.1$ снижение давления прессования при скосе $h = 0.586a$ составляет не менее 15.8%. Данная величина является по существу нижней

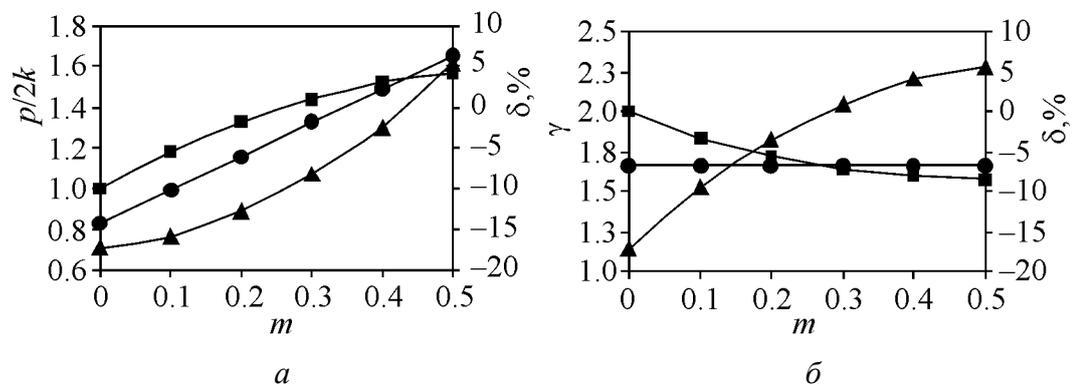


Рис. 3. Зависимости относительного давления прессования (а) и угловой деформации (б) от фактора трения для штампа со скосом (—●—) и без скоса (—■—); δ – относительное изменение давления и деформации (—▲—)

оценкой снижения $p/2k$, так как оптимизация решения по методу жестких блоков нами не проводилась. Отсутствием оптимизации и, в частности, неучетом возможности образования застойных зон объясняется, по-видимому, превышение расчетного давления прессования в штампе со скосом над расчетным давлением прессования в штампе без скоса в случаях, когда значения m близки к 0.5. Оптимизацию решения задачи по методу жестких блоков мы планируем выполнить в последующих работах.

Для определения угловой деформации при РКУП при ее расчете по методу жестких блоков была использована формула (8), полученная нами ранее в работе [4]:

$$\gamma = \frac{2[1+(1-x)^2]}{2-x}. \quad (8)$$

Для скоса, обеспечивающего минимальное значение давления прессования, из (8) получаем $\gamma = 4(\sqrt{2}-1)$. Соответствующая этому значению линия представлена на рис. 3,б. Здесь же приведены величины угловой деформации в штампе без скоса, рассчитанные по методу линий скольжения (формула (3)), и относительное изменение γ , определенное по формуле (7). Как следует из этого рисунка, наличие скоса снижает угловую деформацию при $m = 0.1$ примерно на 9.7%. С увеличением фактора трения влияние скоса на угловую деформацию уменьшается.

Выводы

1. Показана возможность применения метода жестких блоков для анализа процесса РКУП в штампе со скосом угла. Для уточнения решения в дальнейшем необходимо учесть возможность образования застойных зон.

2. Установлено, что оптимальный скос угла штампа приводит к снижению базового давления прессования до 20%. С увеличением трения эффективность применения скоса для понижения давления прессования уменьшается.

3. Наличие скоса приводит к снижению угловой деформации за один проход РКУП до 20%. Влияние скоса уменьшается при увеличении трения.

1. В.М. Сегал, В.И. Резников, А.Е. Дробышевский, В.И. Копылов, Изв. АН СССР. Металлы № 1, 115 (1981).
2. R.Z. Valiev, R.K. Islamgaliev, I.V. Alexandrov, Prog. Mater. Sci. **45**, 103 (2000).
3. V.M. Segal, Mater. Sci. Eng. **A345**, 36 (2003).
4. А.М. Лантев, Е.Ю. Валь, А.В. Периг, в сб.: Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні, ДГМА, Краматорск (2006), с. 316.
5. В. Джонсон, Х. Кудо, Механика процесса выдавливания металла, Металлургия, Москва (1965).
6. I.Y. Suh, H.S. Kim, I.W. Park, J.Y. Chang, Scr. Mater. **44**, 677 (2001).

A.M. Laptev, E.Yu. V'yal

INFLUENCE OF DIE CONFIGURATION ON STRESS AND STRAIN AT EQUAL-CHANNEL ANGULAR PRESSING

The influence of equal-channel die configuration on stress necessary for process realization was investigated by rigid blocks method. Within the examined class of configurations the one providing the lowest process pressure was found. For this configuration the deformation obtained in one pressing pass was determined.

Fig. 1. Basic scheme of ECAP

Fig. 2. Scheme of dividing in blocks (*a*) and velocity hodograph (*b*) at analysis of ECAP by rigid blocks method: 1, 2, 3 – blocks, 4 – die

Fig. 3. Dependence of relative pressure (*a*) and angular deformation (*b*) on friction factor for a die with slant (—●—) and without it (—■—); δ – relative change in pressure and deformation (—▲—)