

УДК 621.777.01

Л. И. АЛИЕВА, канд. техн. наук, доц. ДГМА;
А. В. ШКИРА, аспирант, ДГМА;
К. В. ГОНЧАРУК, аспирант, ДГМА, Краматорск

ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ТРЕХСТОРОННЕГО КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Рассмотрен процесс комбинированного трехстороннего выдавливания полых деталей. Моделирование проводилось с целью определения предельного формоизменения в условиях холодного деформирования заготовок из алюминиевого сплава АД31. Проанализировано напряженно-деформированное состояние с учетом влияния основных технологических параметров. Установлена наиболее опасная зона, где будет наблюдаться разрушение детали, и определено значение критической степени деформации.

Ключевые слова: комбинированное выдавливание, ресурс пластичности, фланец, разрушение.

Введение. В процессе холодного пластического деформирования наряду с упрочнением металла, происходит накопление в нём повреждений, приводящее к разуплотнению материала и снижению показателей остаточной пластичности. В результате этого наблюдается ухудшение служебных свойств изделий, вплоть до разрушения заготовок в процессе пластической обработки или изделий при эксплуатации. Поэтому обеспечение качества изделий при обработке методами ОМД невозможно без оценки способности металлов деформироваться без разрушения или без оценки степени исчерпания ресурса пластичности материала заготовки [1–3].

Главным фактором, влияющим на деформируемость металла в условиях холодного деформирования, является преобладающая в очаге деформации схема напряженно-деформированного состояния (НДС). Зависимость пластичности от параметров, характеризующих схему напряженного состояния, называют диаграммой пластичности. При деформировании, когда показатель напряженного состояния не остаётся постоянным, деформируемость принято оценивать на основе так называемых критериев разрушения Ψ . Сущность критериев разрушения заключается в применении модели накопления повреждений металла, зависящей от величины накопленной деформации и показателя напряженного состояния. Разрушение материала наступает при достижении $\Psi = 1$.

Используя информацию о НДС материала и обоснованно применив критерии разрушения, можно определить величину использованного и

остаточного ресурсов пластичности и прогнозировать качество изделий, производимых методами холодного деформирования.

Методика и результаты исследования. Целью работы является определение степени исчерпания ресурса пластичности при получении детали комбинированным выдавливанием (рис. 1) на основе результатов, полученных методом конечных элементов.

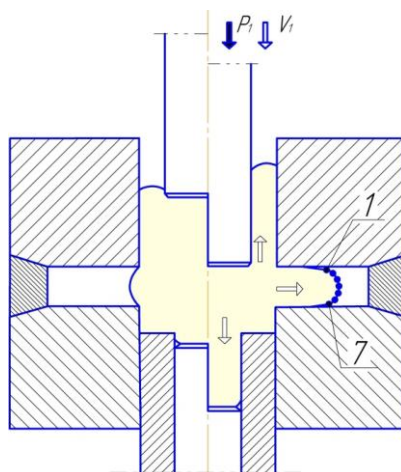


Рис.1 – Схема процесса комбинированного трехстороннего выдавливания с нанесенными трассируемыми точками на торце фланца (1–7)

Моделирование комбинированного процесса выдавливания проводилось в программном продукте QForm 2D (рис. 2). Граничные условия для осесимметричной задачи были заданы в следующем виде: упрочнение алюминиевого материала АД31 описано кривой упрочнения $\sigma_s = 191.55 \cdot e^{0.202}$ МПа при скорости деформирования $0,25 \text{ с}^{-1}$, плотность материала 2800 кг/м^3 ; модуль Юнга 71000 МПа ; коэффициент Пуассона $0,3$; коэффициент трения по Леванову $\mu_s = 0,16$; скорость перемещения инструмента 1 мм/с ; инструмент абсолютно жесткий.

Проведя моделирование процесса выдавливания, было установлено, что граница разделения течения проходит по центру заготовки. На торцах фланца образуется сфера, что является следствием притормаживания наружных слоев металла (которые соприкасаются с инструментом) за счет контактного трения.

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния были использованы для оценки значений использованного ресурса пластичности Ψ , который определяли по формуле [4]:

$$\Psi = \int_0^{e_u} \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)},$$

где $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ – поверхность граничных деформаций;

$$\mu_{\sigma} = \frac{2 \cdot \sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \text{ – параметр Лоде-Надаи.}$$

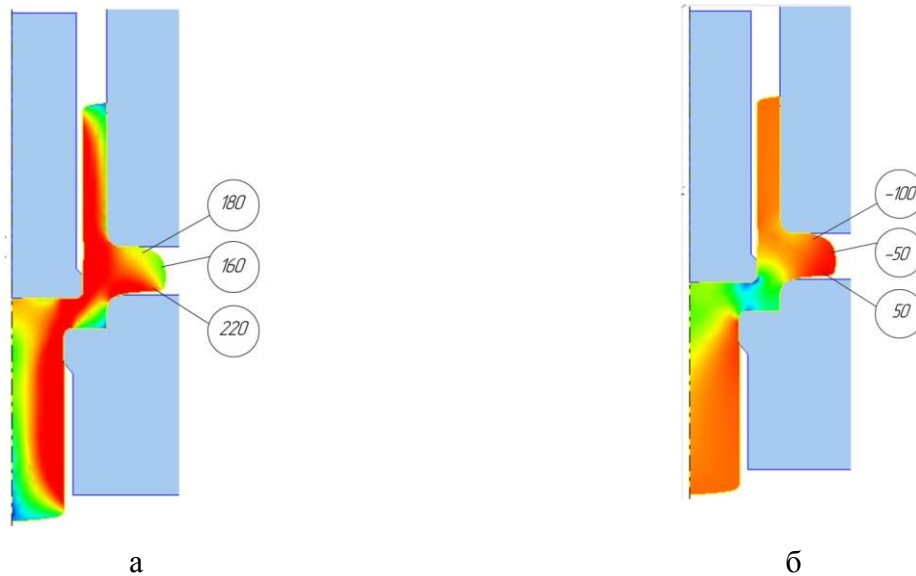


Рис. 2 – Картины напряженно-деформированного состояния процесса выдавливания: а – сопротивление деформированию, МПа, б – среднее напряжение, МПа

Для расчета использованного ресурса пластичности в конечно-элементной модели задавалось поле трассируемых точек (по высоте 20 точек, по толщине 50 точек). Рассматривались кривые, построенные по трассируемым точкам, расположенным по контуру наружного фланца и по границе раздела течения металла. Графики распределения исходных параметров для расчета использованного ресурса пластичности и полученные значения (рис. 3) приведены в зависимости от номера трассируемой точки.

Моделирование процесса осуществлялось до полного исчерпания ресурса пластичности материала $\Psi = 1$. Поверхность граничных деформаций для АД31: $e_p(\eta, \mu_{\sigma}) = 1.1 \cdot e^{(0.42 \cdot \mu_{\sigma} - 0.51 \cdot \eta)}$.

На рис. 3, а показано распределение интенсивности деформации в зависимости от трассируемой точки. Видно, что максимальное значение сосредоточено в точке максимально приближенной к поверхности верхней матрицы. Такие значения наблюдаются за счет притормаживания металла контактными трением. Напряжённое состояние (рис. 3, б) соответствует описанной деформации. Максимальная степень деформации также сосредоточена на контактных поверхностях фланца (рис. 3, в). В месте бочкообразования не происходит значительной проработки структуры, а деформация происходит за счет напряжений растяжения. По полученным зависимостям на рис. 3, г-ж можно сделать вывод о критической точке относительной возможности разрушения.

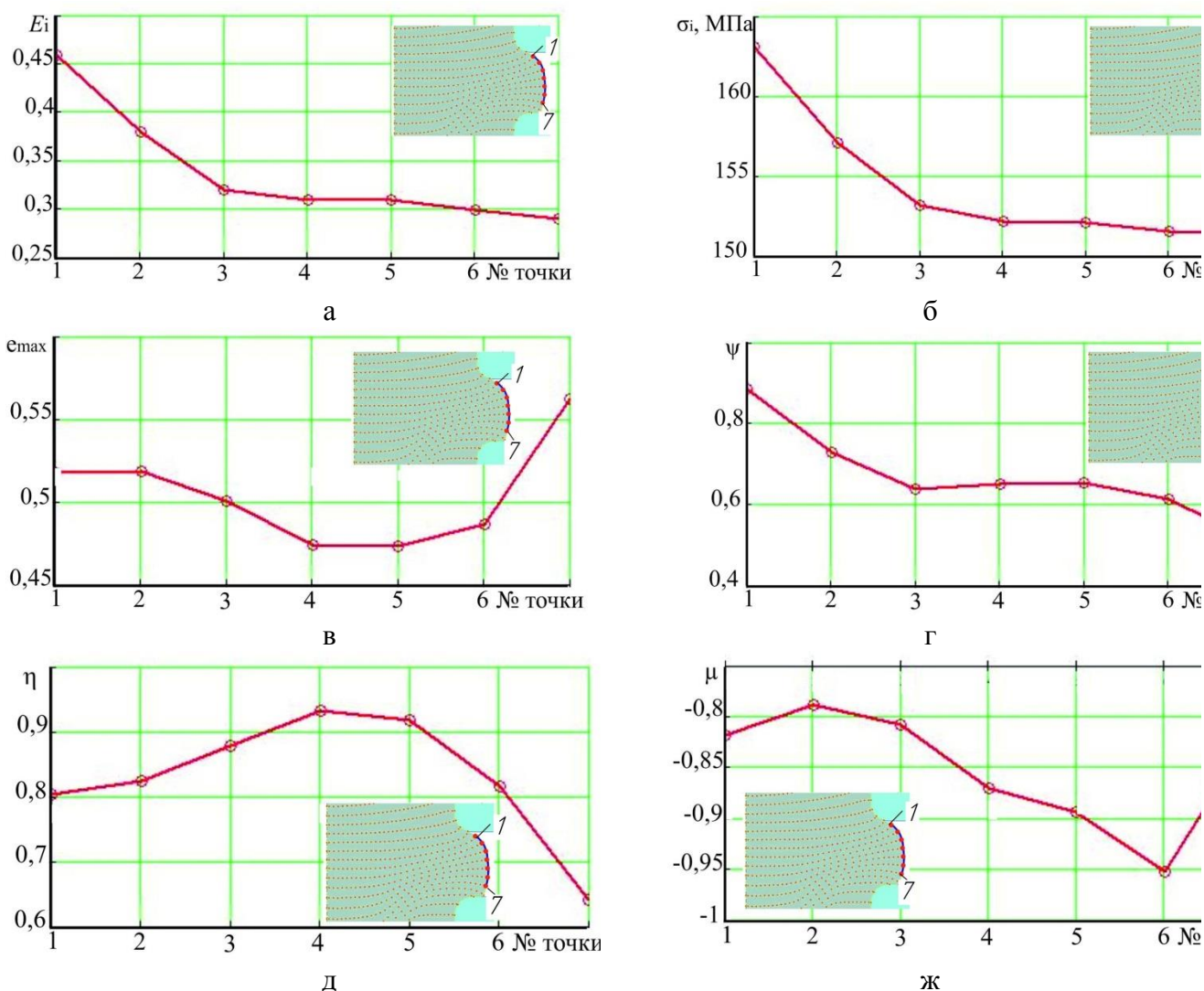


Рис. 3. – График распределения: а – интенсивности деформаций, б – сопротивления деформированию, в – максимальной логарифмической деформации, г – ресурса пластичности, д – показателя жесткости напряженного состояния и ж – показателя Лоде-Надаи в зависимости от положения трассируемой точки

Предварительный анализ получаемой детали показал, что наиболее вероятное место разрушения на поверхности наружного фланца соответствует точке 1 (рис. 3, г). Сопоставляя результаты моделирования и эксперимент, приходим к выводу, что более вероятной зоной разрушения является нижняя часть фланца. Дальнейшее моделирование проводилось до полного исчерпания ресурса. Как и предполагалось разрушение фланца происходит в зоне прилегающей к нижней матрице.

Согласно заявленным условиям, разрушения наступает при $\psi = 1$. На графике видно, что при достижении критической степени деформации $e = 0,75$ произойдет исчерпание ресурса пластичности, т.е. разрушение [5]. При проведении процесса комбинированного трёхстороннего выдавливания со

степенями критической деформации выше 0,75 будет происходить развитие трещин.

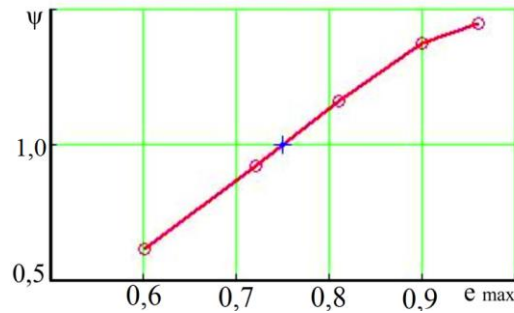


Рис. 4 – График распределения ресурса пластичности в зависимости от степени деформации в точки вероятного разрушения

Выводы. Проведено моделирование процесса комбинированного выдавливания детали методом конечных элементов при помощи программного продукта QForm 2D. Рассмотрены условия течения материала. Выяснено, что вероятным местом разрушения является торец наружного фланца. Получено значение критической степени деформации для данного процесса, которое составляет $e=0,75$.

Список литературы: 1. Огородников В. А. Параметры напряженного состояния диаграмм пластичности / В. А. Огородников, Л. И. Алиева, И. А. Деревенко // Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 4 (29). – С. 10–18. 2. Алиева Л. И. Ресурс пластичности в процессах комбинированного выдавливания / Л. И. Алиева, И. А. Деревенко, Р. И. Сивак // Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 1 (34). – С. 11–17. 3. Сивак Р. И. Влияние неравномерности пластической деформации на использованный ресурс пластичности / Р. И. Сивак // Обработка металлов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 3 (32). – С. 40–44. 4. Алиева Л. И. Теоретический анализ процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей с фланцем / Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. Серия 2. Технология машиностроения и материалы. – М.: МГТУ «МАМИ», 2013 – №2 (16), т. 2. – С. 163–172. 5. Сивак И. О. Оценка пластичности металлов при холодной пластической деформации / И. О. Сивак, Е. И. Сивак, С. И. Сухоруков // Изв. Тул.ГУ. Серия: Механика твёрдого деформируемого тела и обработка металлов давлением. – Тула: Тул. ГУ, вып. 2. – 2004. – С. 114–121.

Bibliography (transliterated): 1. Ogorodnikov V. A. Parametryi napryazhennogo sostoyaniya diagramm plastichnosti V. A. Ogorodnikov, L. I. Aliieva, I. A. Derevenko Obrabotka materialov davleniem: sb. nauchn. trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2011. – No 4 (29). – P. 10–18. 2. Aliieva L. I. Resurs plastichnosti v protsessah kombinirovannogo vyidavlivaniya L. I. Aliieva, I. A. Derevenko, R. I. Sivak Obrabotka materialov davleniem: sb. nauchn. trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2013. – No 1 (34). – P. 11–17. 3. Sivak R. I. Vliyanie neravnomernosti plasticheskoy deformatsii na ispolzovannyiy resurs plastichnosti R. I. Sivak Obrabotka metallov davleniem: sb. nauchn. trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2012. – No 3 (32). – P. 40–44. 4. Aliieva L. I. Teoreticheskiy analiz protsessa kombinirovannogo radialno-obratnogo vyidavlivaniya detaley s flantssem L. I. Aliieva, N. P. Grudkina Izvestiya MGTU «MAMI». Nauchnyiy retsenziruemyiy zhurnal. Seriya 2. Tehnologiya mashinostroeniya i materialyi. – Moscow: MGTU «MAMI», 2013 – No 2 (16), t. 2. – P. 163–172. 5. Sivak I. O. Otsenka plastichnosti metallov pri holodnoy plasticheskoy deformatsii I. O. Sivak, E. I. Sivak, P. I. Suhorukov Izv. Tul.GU. Seriya: Mehanika tvYordogo deformiruемого tela i obrabotka metallov davlenie Moscow – Tula: Tul. GU, vyip. 2, 2004. – P. 114–121.

Поступила (received) 28.10.2014