

УДК 621.771

**Л. И. АЛИЕВА**, канд. техн. наук, доц., ДГМА;  
**П. Б. АБХАРИ**, канд. техн. наук, доц., ДГМА;  
**К. В. ГОНЧАРУК**, аспирант, ДГМА, Краматорск<sup>1</sup>

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УТЯЖИНЫ В ПРОЦЕССЕ РАДИАЛЬНО-ПРОДОЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ В РАЗЪЕМНЫХ МАТРИЦАХ**

Рассмотрен процесс комбинированного радиально-продольного выдавливания полых деталей в разъемных матрицах и проведено моделирование методом конечных элементов с использованием программного продукта QForm 2D. Выявлены характерные для процесса отклонения формы детали в виде утяжины, расположенной на внутренней поверхности детали в зоне формирования фланца, и установлена зона параметров, при которых возможно получение деталей без дефектов.

**Ключевые слова:** радиально-продольное выдавливание, разъемные матрицы, утяжина, метод конечных элементов.

**Введение.** Среди новых наукоемких технологических процессов обработки металлов давлением видное место занимают процессы комбинированного деформирования, позволяющие использовать суммарные преимущества сочетаемых простых способов обработки металла.

В практике холодной объемной штамповки использование процессов комбинированного выдавливания позволяет сократить число операций и получить детали более точных размеров и формы [1, 2]. Включение в комбинированный процесс способов поперечного выдавливания усложняет конструкции используемой оснастки, так как возникает необходимость использования разъемных матриц. Но преимущества в виде расширения технологических возможностей за счет усложнения форм получаемых деталей, делает комбинированное выдавливание весьма эффективным. При этом за счет повышения степени свободы истечения металла снижаются потребные усилия деформирования.

Одним из присущих для процессов выдавливания ограничений, снижающих возможности процесса является характерные отклонения формы штампуемых деталей, такие, как незаполнение полости, трещины и разрывы. Для полых деталей с фланцами распространенным дефектом формы является утяжина («прострелы») [3].

Рекомендации по прогнозированию и предотвращению дефектообразования типа утяжин при поперечном выдавливании деталей с фланцами получены на основе энергетического метода верхней оценки [4–5].

Конечно-элементное моделирование процесса появления утяжин позволяет имитировать развитие процесса и адекватно описать последовательность формообразования детали [6]. Таким образом, при рассмотрении вопроса об эффективности применения процессов комбинированной штамповки в разъемных матрицах целесообразно изучить вопрос формообразования при выдавливании с большими степенями свободы истечения металла.

**Методика и результаты исследования.** Целью работы является оценка условий появления отклонений формы деталей типа «утяжина» при радиально-продольном выдавливании в разъемных матрицах на основе метода конечных элементов (рис. 1).

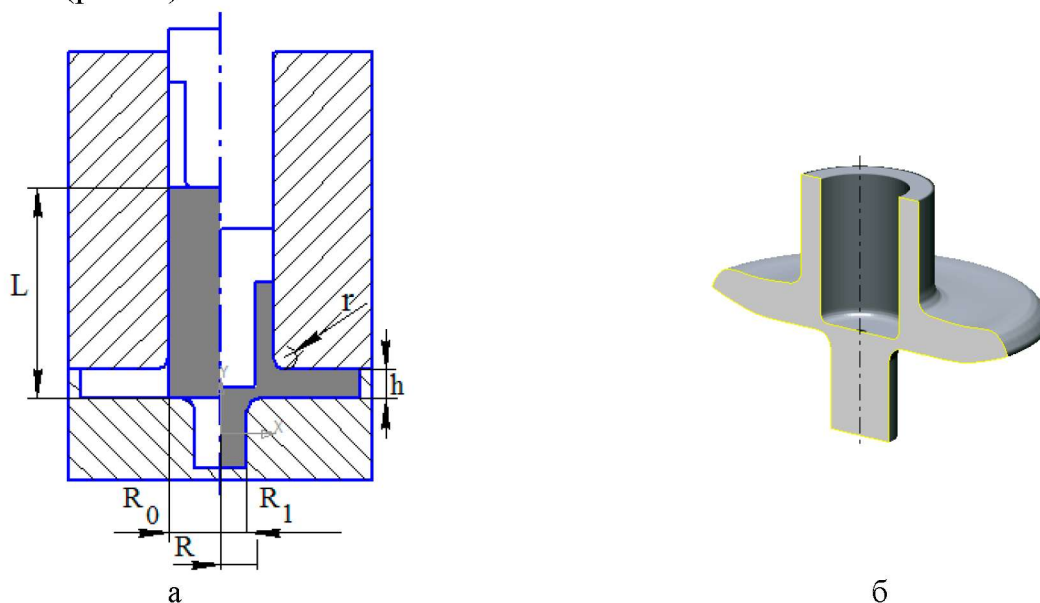


Рис. 1 – Радиально-продольное выдавливание заготовки в разъемных матрицах: а – схема процесса, б – получаемый полуфабрикат

Моделирование процесса выдавливания в разъемных матрицах проводилось с применением программного продукта QForm 2D (рис. 2) и с учетом влияния механических свойств металла и геометрических параметров.

Механические свойства материал заготовки АД33: кривая истинных напряжений, для которого описывается уравнением  $\sigma_s(\varepsilon) = 248,8 \varepsilon^{0,15}$ , предел текучести  $\sigma_{0,2} = 105$  МПа, модуль Юнга  $E = 75000$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$  и коэффициент трения между материалом заготовки и инструментом  $\mu = 0,08$  (закон Зибеля).

Геометрические параметры процесса:  $R_0$  – наружный радиус заготовки ( $R_0 = 9$  мм);  $R$  – внутренний радиус стакана ( $R = 6,0$  мм);  $R_1$  – радиус отростка ( $R_1 = 4,5$  мм),  $t = R_0 - R$ ;  $h$  – высота приемной полости для

выдавливаемого фланца ( $h=5, 7, 9$  мм),  $h/t$  – относительная высота фланца ( $h/t = 1,67; 2,34; 3,0$ );  $r$  – радиус закругления кромок инструмента ( $r=2$  мм);  $L$  – высота заготовки ( $L=36$  мм);  $S/R_0$  – относительный ход деформирующего пуансона.

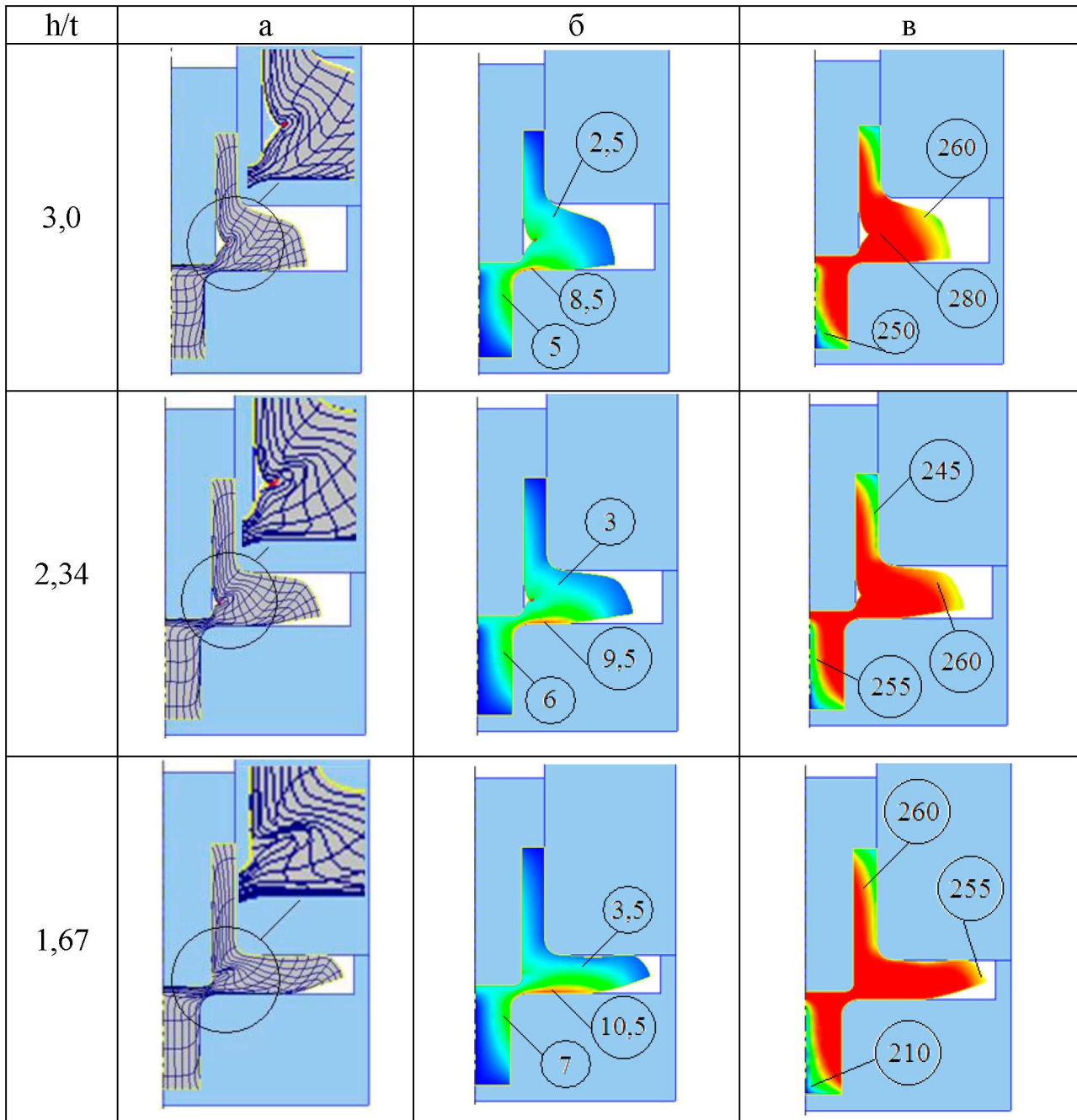


Рис. 2 – Моделирование процесса выдавливания в разъемных матрицах: а – искажение делительной сетки, б – распределение интенсивности деформаций, в – распределение интенсивности напряжений, МПа по ходу деформирования  $S/R_0 = 3,89$

Моделирование процесса радиально-продольного выдавливания в разъемных матрицах показало появление дефектов типа «утяжина» при формировании относительно высоких фланцев. Дефект возникает при приближении деформирующего пуансона к зоне формирования фланца, которой характерна максимальная интенсивность деформаций и большие значения радиальной компоненты. По результатам математических экспериментов построена диаграмма для определения значений геометрических размеров процесса радиально-продольного выдавливания, при которых более вероятно образование отклонений формы в виде утяжин (рис. 3).

Анализ характера изменения распределения интенсивности деформаций и интенсивности напряжений показывает, что значения данных показателей растут по ходу процесса, а наибольшие значения в очаге деформации сосредоточены в переходных зонах у кромок пуансона и матрицы. Максимальные значения деформации в этих зонах возрастают при уменьшении относительной высоты фланца.



Рис. 3 Диаграмма зависимости появления утяжины от относительного хода деформирующего пуансона ( $S/R_0$ ) и относительной высоты фланца ( $h/t$ )

На диаграмме область, расположенная ниже критической линии соответствует бездефектному выдавливанию деталей. При выборе геометрических параметров процесса, которые попадают в область, расположенную выше критической линии, прогнозируется образование утяжин.

**Выводы.** Проведено моделирование процесса комбинированного радиально-продольного выдавливания на основе метода конечных элементов с использованием программного продукта QForm 2D. Установлены условия

возникновения отклонений формы деталей в виде утяжин. Построена диаграмма для определения значений геометрических параметров, при которых не возникают дефекты формы в виде утяжин.

**Список литературы:** 1. *Алиева, Л.И.* Прогнозирование отклонений формы деталей при холодном выдавливании / *Л.И. Алиева, Ю.И. Гуменюк, Д.В. Усманов* // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. – Том 8. Пластична деформація металів. Дніпропетровськ: Системні технології, 2005 – С. 515–520. 2. *Алиева Л. И.* Формоизменение детали в процессах комбинированного радиально-обратного выдавливания / *Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков, Н. С. Грудкина* // Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2010. – № 2 (23). – С. 16–19. 3. *Aliieva L.* Analysis of billet deformation during the combined radial-backward extrusion / *L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbankov* // New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochowa: Quick-druk, 2012. – P. 389–396. 4. *Алиева Л. И.* Оценка и прогнозирование отклонений формы деталей при холодном выдавливании / *Л. И. Алиева* // Пластическая деформация металлов: Коллективная монография. – Днепропетровск: НМетАУ, 2014. – С. 353–369. 5. *Алиева Л. И.* Особенности формоизменения полых деталей с фланцем в процессах комбинированного радиально-обратного выдавливания / *Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина, Я. Г. Жбанков, К. Крюгер* // Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2010. – № 4 (25). – С. 115–120. 6. *Алиева Л.И.* Прогнозирование дефектообразования при комбинированном выдавливании в разъемных матрицах / *Л.И. Алиева, И.С. Алиев, П.Б. Абхари, К.В. Гончарук* // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Часть 1. – Тула: ТулГУ, 2014. – С. 63–68.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Aliieva, L.I.* Prognozirovanie odkloneniy formy detaley pri holodnom vyidavlivanii / *L.I. Aliieva, Yu.I. Gumenyuk, D.V. Usmanov* Suchasni problemi metalurgiyi. Naukovi vIstiI. – Том 8. Plastichna deformatsiya metalliv. DniIpropetrovsk: Sistemni tehnologiyi, 2005 – P. 515–520. 2. *Aliieva L. I.* Formoizmenenie detali v protsessah kombinirovannogo radialno-obratnogo vyidavlivaniya / *L. I. Aliieva, Ya. G. Zhbankov, N. P. Grudkina* Obrabotka materialov davleniem: sb. nauchn. trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2010. – No 2 (23). – P. 16–19. 3. *Aliieva L.* Analysis of billet deformation during the combined radial-backward extrusion / *L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbankov* New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochowa: Quick-druk, 2012. – P. 389–396. 4. *Aliieva L. I.* Otsenka i prognozirovanie odkloneniy formy detaley pri holodnom vyidavlivanii / *L. I. Aliieva* Plasticheskaya deformatsiya metallov: Kollektivnaya monografiya. – Dnepropetrovsk: NMetAU, 2014. – P. 353–369. 5. *Aliieva L. I.* Osobennosti formoizmeneniya polyih detaley s flantsem v protsessah kombinirovannogo radialno-obratnogo vyidavlivaniya / *L. I. Aliieva, N. P. Grudkina, Ya. G. Zhbankov, K. Kryuger* Obrabotka materialov davleniem: sb. nauchn. trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2010. – No 4 (25). – P. 115–120. 6. *Aliieva L.I.* Prognozirovaniya defektoobrazovaniya pri kombinirovannom vyidavlivanii v raz'emnyih matritsah / *L.I. Aliieva, I.P. Aliiev, P.B. Abhari, K.V. Goncharuk* Izvestiya Tul'skogo gosudarstvenno universiteta. Tehnicheskie nauki. Chast 1 – Tula: TulGU, 2014. – P. 63–68.

*Поступила (received) 31.10.2014*