

УДК 621.73.043

Абхари П. Б.

СИЛОВОЙ РЕЖИМ ПРОЦЕССА РАДИАЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ФЛАНЦА НА ОПРАВКЕ В РАЗЪЕМНЫХ МАТРИЦАХ

Основной задачей металлообрабатывающего производства является изготовление деталей с наименьшими трудозатратами и с наибольшей производительностью. Повышение производительности процессов обработки металлов давлением неразрывно связано с совершенствованием, разработкой и внедрением новых малоотходных способов точной объёмной штамповки. Номенклатура выпускаемых изделий на предприятиях машиностроения и приборостроения содержит большое количество ступенчатых стержневых деталей с отрезками, утолщениями или фланцем различной формы. Для их изготовления применяются различные материалы. Наряду с применением высокопластичных материалов, таких как медь, сплавы на ее основе, сплавы на основе алюминия, детали изготавливаются и из углеродистых сталей с содержанием углерода до 0,45%, а в последнее время и с добавлением легирующих элементов. Наиболее часто для изготовления сложнопрофилированных деталей применяется подход поэтапного получения отдельных элементов с применением традиционных схем штамповки и схем продольного или поперечного выдавливания, высадки. В этом случае расчет переходов деформирования сводится к определению технологического усилия и пересчету размеров на основе условия постоянства объема заготовки. Такой подход приводит к увеличению суммарных затрат мощности на деформирование заготовки, упрочнению деформируемого металла и снижению его пластичности. Для успешной штамповки приходится вводить операции промежуточного отжига и повторного нанесения смазки. Вследствие увеличения затрат на вспомогательные операции применение малоотходной технологии для штамповки изделий сложной формы может быть нерентабельным. В настоящее время имеется большая номенклатура сложнопрофильных деталей, которые целесообразно изготавливать способами радиального выдавливания в штампах с поперечно-разъемными матрицами, поскольку традиционные способы штамповки деталей типа стержней с фланцами и отрезками в центральной и торцевой части недостаточно эффективны из-за большого числа технологических переходов, необходимых для их осуществления и недостаточной точности поковок [1–3]. Процесс радиального выдавливания в разъемных матрицах применяется также при получении деталей типа втулок с фланцем. Выдавливание втулок с фланцем осуществлено в неподвижных или подвижных разъемных матрицах [4–6].

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния, а также силовые режимы деформирования процесса штамповки радиальным выдавливанием фланца на конце стержня на оправке с односторонней подачей в разъемных матрицах, методом конечных элементов (МКЭ) в среде Q-Form.

В силу симметрии рассматривается одна половина схемы (а) и полученный полуфабрикат (б), представленные на рис. 1.

Для моделирования процесса радиального выдавливания фланца на оправке выбраны следующие параметры:

- механические свойства материала заготовки АМцМ: кривая истинных напряжений для которого описывается уравнением $\sigma_s = 188,4 \varepsilon^{0,15}$, 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 ($R_0 = 27$ мм), R_1 – внутренний радиус заготовки ($R_1 = 9$ мм), t – толщина стенки заготовки равная разнице R_0 и R_1 ($t = 18$ мм), R – радиус фланца ($R = 45$ мм), h – высота приемной полости для выдавливаемого фланца, h/t – относительная высота фланца ($h/t = 0,25, 0,45, 0,65$), r – радиус скругления кромок инструмента ($r = 2$ мм), L – высота заготовки ($L = 70$ мм).

- силовые параметры процесса: P – усилие выдавливания процесса, Q – усилие раскрытия полуматрицы, V – скорость процесса выдавливания.

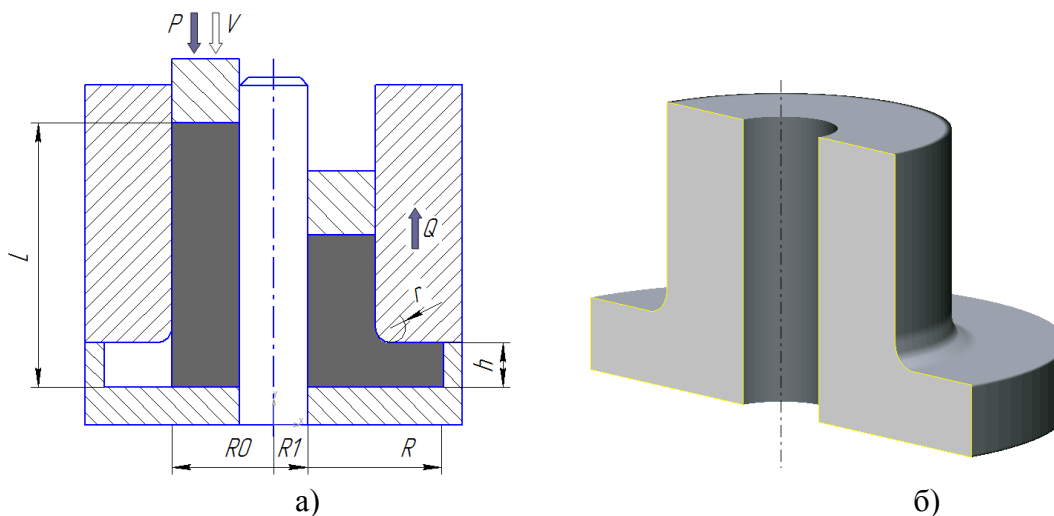


Рис. 1. Схема процесса радиального выдавливания фланца на конце стержня на оправке с односторонней подачей (а) и полученным полуфабрикатом (б)

Пакет Q-Form 2D/3D на основе метода конечных элементов позволяет определять деформированное и напряженное состояние при процессе радиального выдавливания фланца на оправке. Для моделирования силового режима в процессе радиального выдавливания необходимо было исследовать на определенные размеры незаполнение круговой полости, такие как: a – горизонтальный и b – вертикальный, представленные на рис. 2.

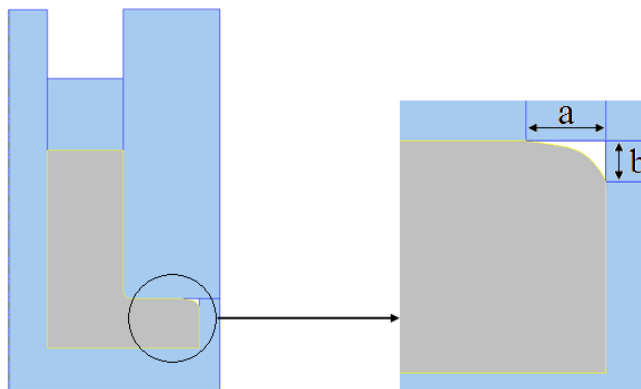


Рис. 2. Незаполнение круговой полости при радиальном выдавливании

На рис. 3 представлены результаты моделирования процесса при различных геометрических параметрах, приведенные выше, такие как искажение делительной сетки, распределение интенсивности деформаций по очагу деформации и распределение интенсивности напряжений по меридиональному сечению выдавливаемой заготовки.

Как видно из рисунков, очаг деформации по высоте ограничивается высотой приемной полости под фланец, а наибольшая интенсивность деформаций сосредоточена в нижней части очага деформации. Интенсивность напряжений по очагу деформации распределяется практически равномерно и достигает своего наибольшего значения.

Значения максимальной интенсивности деформаций были получены при моделировании с радиусом скругления кромок инструмента $r = 2$ мм, которые достигают следующих отметок: при относительной высоте приемной полости под фланец $h/t = 0,25 - \varepsilon_i = 1,9$, при

$h/t = 0,45 - \varepsilon_i = 2,8$, при $h/t = 0,65 - \varepsilon_i = 3,2$ и максимальное значение интенсивности напряжений, полученное при этих же параметрах достигает 200 МПа (рис. 3).

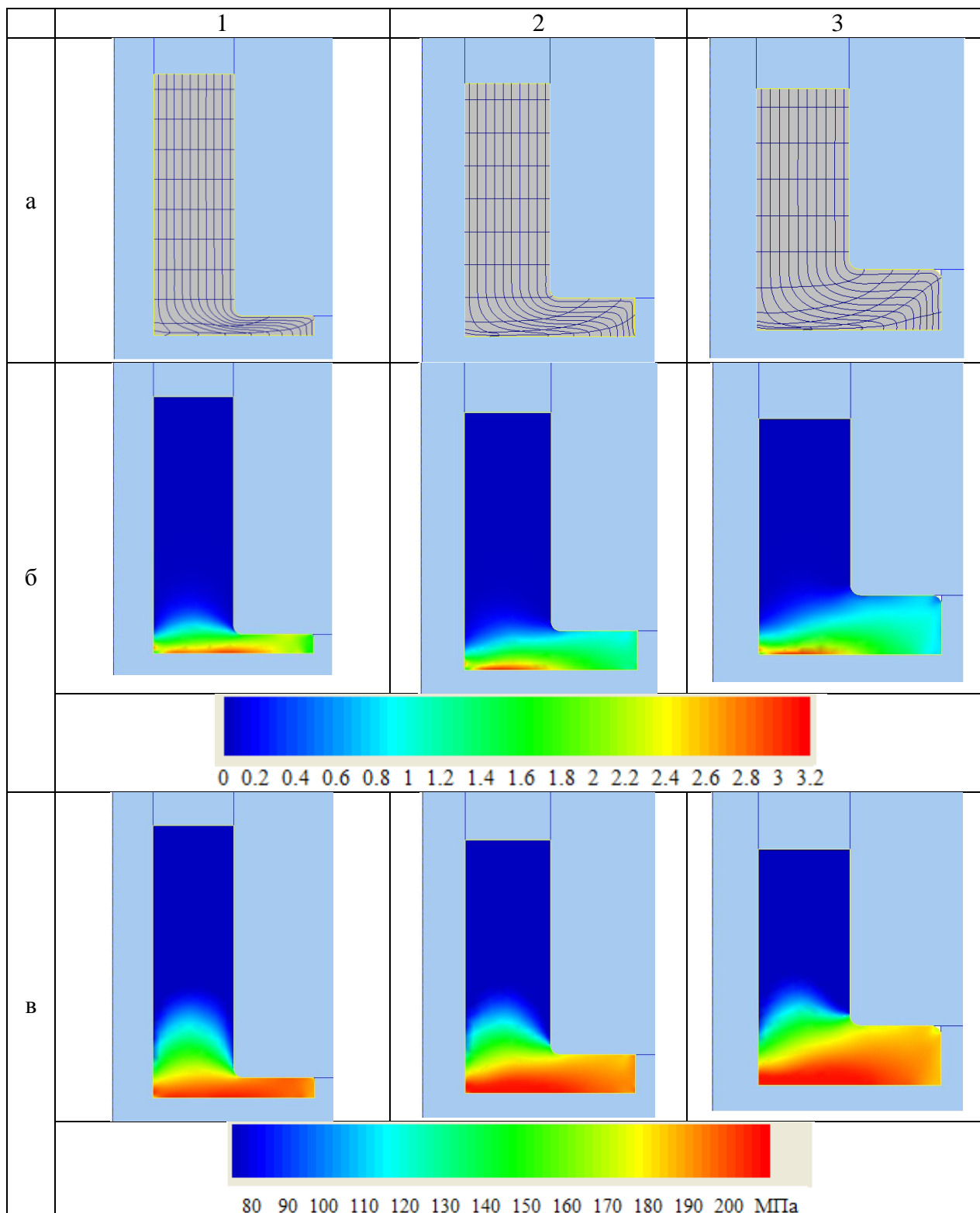


Рис. 3. Искажение делительной сетки (а), распределение интенсивности деформаций ε_i (б), распределение интенсивности напряжений σ_i , МПа (в) при радиальном выдавливании фланца на конце стержня на оправке при:

1 – $h/t=0,25$; 2 – $h/t=0,45$; 3 – $h/t=0,65$; $r=2$ мм и $\mu=0,08$

На рис. 4 и 5 исследована зависимость усилия выдавливания от относительного хода процесса в определенном интервале значений $h/t = 0,25; 0,45; 0,65$.

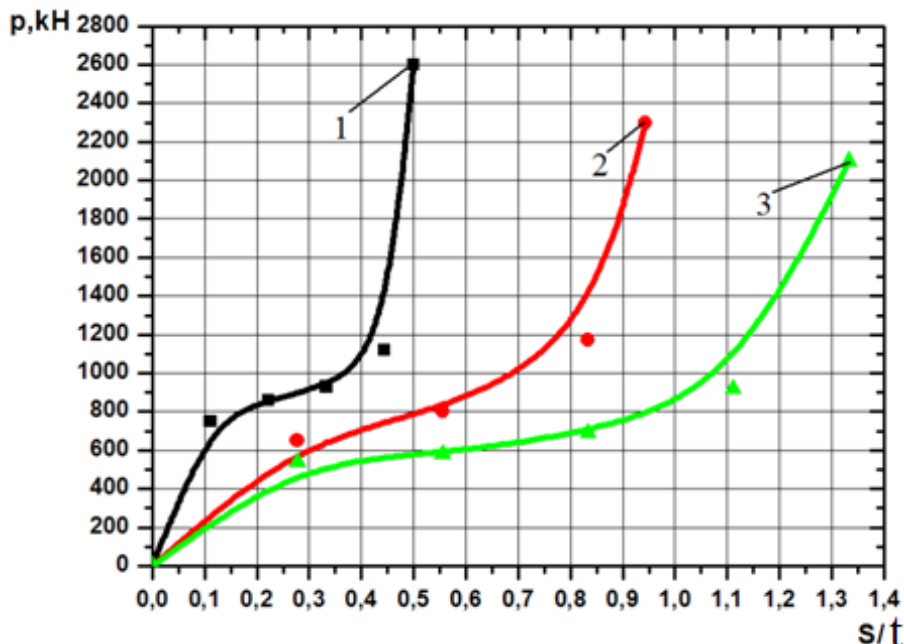


Рис. 4. График зависимости усилия выдавливания от относительного хода процесса: 1 – $h/t = 0,25$; 2 – $h/t = 0,45$; 3 – $h/t = 0,65$; $a=0,5\text{мм}$, $r=2\text{мм}$

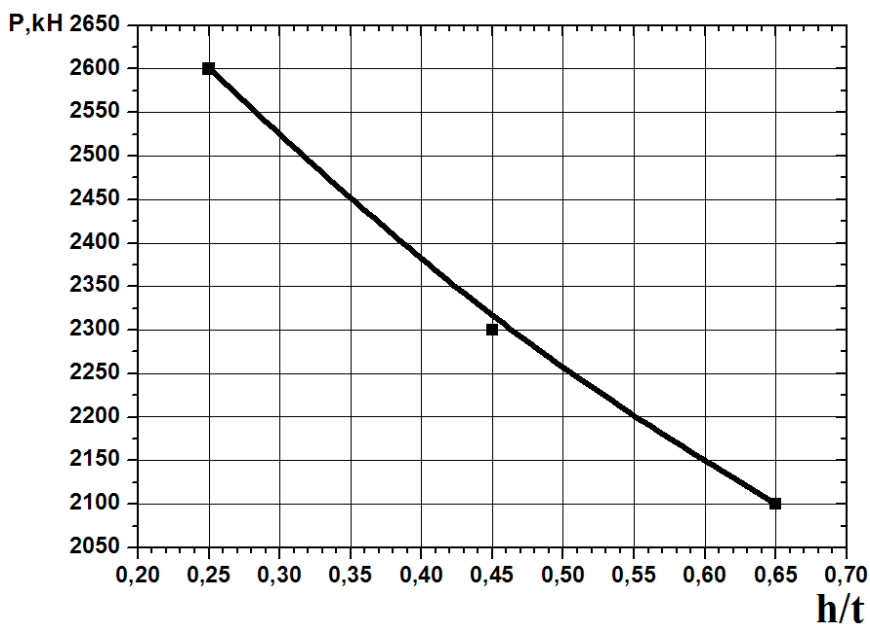


Рис. 5. График зависимости усилия выдавливания от относительной высоты фланца

Из графика зависимости усилия выдавливания от относительного хода процесса (рис. 4) видно, что при $h/t = 0,25$ происходит плавное увеличение усилия до отметки относительного хода $S/t=0,35$, а после этого значения возникает резкий скачок усилия, которое достигает $P = 2600$ кН. Это объясняется тем, что металл больше контактирует с приемной полостью инструмента и происходит более быстрое заполнение угла круговой полости при радиальном выдавливании (рис. 3). При $h/t = 0,45$ усилие плавно увеличивается и достигает своего значения $P = 2300$ кН на отметке $S/t=0,95$, а при $h/t = 0,65$ усилие также плавно увеличивается и будет равняться $P = 2100$ кН с относительным ходом $S/t=1,35$. На рис. 5 приведен

график, на котором видно, что при каждом увеличении относительной высоты приемной полости под фланец наблюдается уменьшение усилия от 2600 кН до 2100 кН при радиусе скругления $r = 2$ мм и горизонтальном незаполнении круговой полости $a = 0,5$ мм.

На рис. 6 и 7 была исследована зависимость усилия раскрытия полуматрицы от относительного хода процесса в определенном интервале значений $h/t = 0,25; 0,45; 0,65$.

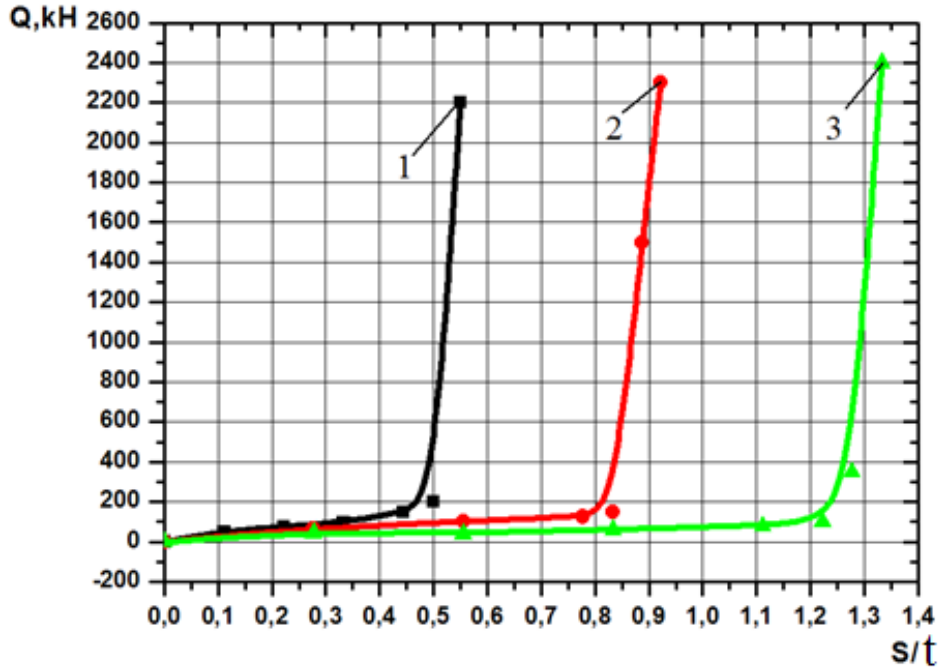


Рис. 6. График зависимости усилия раскрытия полуматрицы от относительного хода процесса:

1 – $h/t = 0,25$; 2 – $h/t = 0,45$; 3 – $h/t = 0,65$; $a = 0,5$ мм, $r = 2$ мм

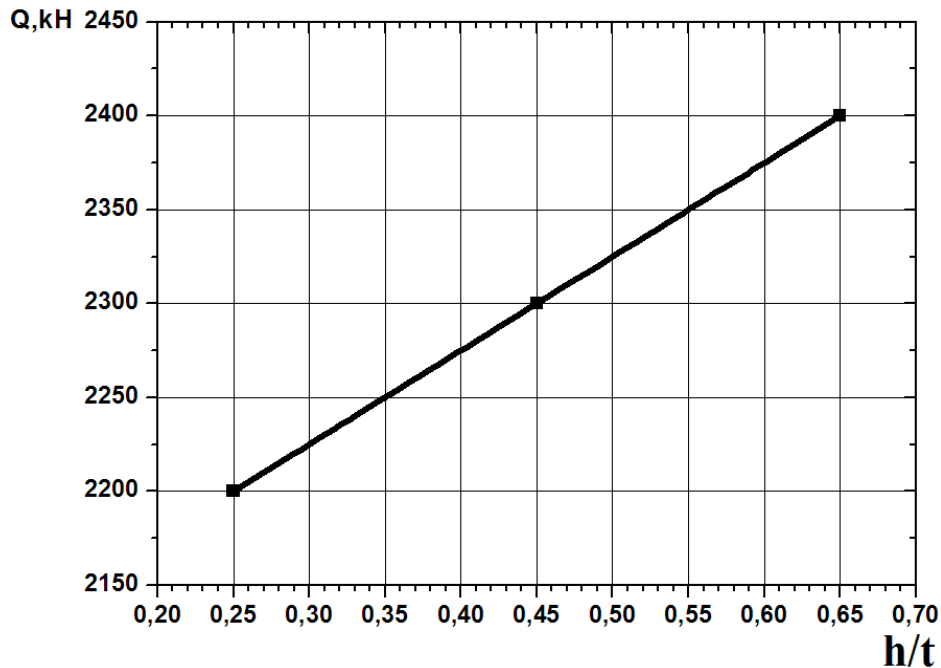


Рис. 7. График зависимости усилия раскрытия полуматрицы от относительной высоты фланца

На графике (рис. 6) видно, что усилие раскрытия полуматрицы возрастает медленно, которое связано с минимальным контактным трением течения металла на поверхности инструмента. Однако, достигая значений $S/t = 0,45; 0,8; 1,2$ усилие раскрытия резко увеличивается до отметок $Q = 2200$ кН при относительном ходе процесса $S/t = 0,55$, при $Q = 2300$ кН ход равен $S/t = 0,92$, а при $Q = 2400$ кН ход процесса составляет $S/t = 1,34$. Это увеличение усилия можно объяснить тем, что происходит большее контактное трение на поверхности инструмента и резкое заполнение угла круговой полости инструмента. Как видно из графика (рис. 7) при увеличении h/t усилие раскрытия полуматрицы равномерно возрастает ($Q = 2200 \dots 2400$ кН).

Исследование показывает, что при увеличении относительной высоты приемной полости под фланец усилие выдавливания уменьшается, а усилие раскрытия полуматрицы увеличивается.

ВЫВОДЫ

Использование процессов радиального выдавливания в разъемных матрицах позволяет расширить технологические возможности кузнечно-прессового производства. Проведено моделирование процесса при различных геометрических параметрах, такие как искажение делительной сетки, распределение интенсивности деформаций по очагу деформации и распределение интенсивности напряжений по меридиональному сечению выдавливаемой заготовки на основе метода конечных элементов. Построен график зависимости усилия выдавливания, усилия раскрытия полуматрицы от относительного хода процесса и относительной высоты фланца. Исследование показывает, что при увеличении относительной высоты приемной полости под фланец усилие выдавливания уменьшается, а усилие раскрытия полуматрицы увеличивается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование процессов выдавливания в разъемных матрицах / Л.И. Алиева, А.И. Лобанов, Р.С. Борисов, И.Г. Савчинский // Известия Тульского государственного университета. Серия «Механика деформируемого твердого тела и ОМД». – Тула: ТулГУ, 2004. – Вып. 2. – С. 132–139.
2. Алиева Л.И. Формоизменение при радиальном выдавливании фланцев // Л. И. Алиева, С. В. Мартынов, Я. Г. Жбанков // Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – Краматорск : ДГМА, 2006. – № 1(6Е). – С. 136–139.
3. Алиев И. С. Выдавливание стержневых деталей с фланцем в разъемных матрицах / И. С. Алиев, А. И. Лобанов, О. К. Савченко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 11. – С. 25–28.
4. Abhari P. V. Modeling simulation for flashless precision forging process with finite element method / P. V. Abhari, O. A. Zhykova // Теоретичні та практичні проблеми в обробці металів тиском і якості фахової освіти. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції. Збірник тез доповідей «КПІ». – Київ, 2013. – С. 98.
5. Алиева Л. И. Определение энергосиловых параметров совмещенного радиального выдавливания в разъемных матрицах / Л. И. Алиева, П. Б. Абхари, К. В. Гончарук // «Высокоэнергетические устройства автоматических систем» БГТУ «ВОЕНМЕХ» 14–17 октября 2014 года. – СПб : Балт. гос. техн. ун-т, 2014. – С. 28–32.
6. Алиев И. С. Моделирование процесса штамповки в закрытых штампах методом конечных элементов / И. С. Алиев, П. Б. Абхари, А. А. Ерёмкина // Пластическая деформация металлов: сб. науч. тр. в 2-х т. – Т.1. – Днепропетровск: Акцент ПП., 2014. – С. 192–196.