

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 621.771

П.Б. АБХАРИ

Донбасская государственная машиностроительная академия

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ
С ФЛАНЦЕМ В ЗАКРЫТЫХ МАТРИЦАХ**

Рассмотрен процесс выдавливания фланца на конце стержня с разными параметрами угла наклона инструмента полуматрицы с односторонней подачей в закрытых матрицах. Для проведения исследования были выбраны три образца из материала АМцМ с одинаковыми диаметрами и длиной. Однако использовались три различных матрицы с различными углами наклона инструмента полуматрицы относительно горизонтальной плоскости разреза. Исследовано напряженно-деформированное состояние и силовые режимы деформирования в процессе деформации методом конечных элементов при помощи программного продукта QForm 2D. В ходе исследований процесса выдавливания были получены результаты моделирования, такие как искажение делительной сетки, распределения интенсивности деформаций, интенсивности напряжений и графики силовых параметров.

Ключевые слова: выдавливание, интенсивность деформаций, интенсивность напряжений, метод конечных элементов, закрытая матрица.

П.Б. АБХАРИ

Донбаська державна машинобудівна академія

**ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ
З ФЛАНЦЕМ В ЗАКРИТИХ МАТРИЦАХ**

Розглянуто процес видавлювання фланця на кінці стержня з різними параметрами кута нахилу інструменту напівматриці з односторонньою подачею в закритих матрицях. Для проведення дослідження були обрані три зразки з матеріалу АМцМ, з однаковими діаметрами і довжиною. Однак використовувалися три різних матриці, з різними кутами нахилу інструменту напівматриці відносно горизонтальної площини роз'єму. Досліджено напружено-деформований стан і силові режими деформування в процесі деформації методом скінчених елементів за допомогою програмного продукту QForm 2D. В ході досліджень процесу видавлювання були отримані результати моделювання, такі як спотворення ділильної сітки, розподілу інтенсивності деформацій, інтенсивності напружень і графіки силових параметрів.

Ключові слова: видавлювання, інтенсивність деформацій, інтенсивність напружень, метод скінчених елементів, закрыта матриця.

P.B. ABHARI

Donbass State Engineering Academy

**THEORETICAL ANALYSIS OF EXTRUSION PROCESS
WITH FLANGE PARTS IN ENCLOSED DIES**

The extrusion process of flange on the end of rod with different parameters of the tool inclination angle in multiple ram with single-ended movement in enclosed dies is considered. To simulate a theoretical investigation, three samples of billet with AA 6060 aluminum alloy by the same diameters and lengths have been used. On the other hand, three different upper dies with various tool inclination angles in multiple ram about the horizontal plane of the rams have been determined. The investigations of stress-strain states and deformation power modes in this process with finite element method by using QForm software program have been defined. Based on simulation results in the extrusion process, deformation patterns (gridlines distortion), distributions of effective strain, stress and diagrams of power modes have been obtained.

Keywords: extrusion, strain intensity, stress intensity, finite element method, enclosed die.

Постановка проблемы

Одним из основных условий научно-технического прогресса в машиностроении и металлургии является научнообоснованное совершенствование существующих технологических процессов,

разработка и исследование новых способов обработки металлов, обеспечивающих высокую эффективность производства и позволяющих получать высококачественные изделия. Научное прогнозирование развития технологии металлообработки предсказывает дальнейшее увеличение удельного веса и развитие обработки давлением вообще и операций выдавливания (прессования, закрытой прошивки) в частности. Непрерывное расширение применения этих процессов, объединенных названием выдавливание, обусловлено их преимуществами по сравнению с другими видами металлообработки, а именно: высокой производительностью, низкой себестоимостью изделия при массовом производстве, высокому коэффициенту использования металла, стабильности и высокой точности размеров изделий, получению высокого качества поверхности (особенно при холодном деформировании), улучшению механических характеристик детали, возможности простой автоматизации и механизации процесса. Однако в условиях только еще начинающегося развития рыночной экономики модернизация существующих и, особенно, внедрение новых способов обработки металлов давлением затруднены проблемами сокращения сроков и стоимости подготовки производства, недостаточностью инвестиций, высокой стоимостью кредитов и жесткой конкуренцией. Зачастую это приводит к невозможности изготовления экспериментального оборудования и длительного проведения, традиционно использовавшегося ранее большого количества предварительных экспериментов, целью которых являлись проверка возможности осуществления и определение оптимальных параметров проектируемого технологического процесса. В связи с этим резко возрастает роль требующих существенно меньших затрат теоретических методов исследования. 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. 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 [1-14].

Формулировка цели исследований

Целью исследований является исследование напряженно-деформированного состояния, а так же силовые режимы деформирования процесса радиального выдавливания фланца на конце стержня с разными параметрами угла наклона инструмента полуматрицы с односторонней подачей в закрытых матрицах методом конечных элементов (МКЭ) в среде QForm.

Изложение основного материала исследования

Для проведения исследования были выбраны три образца из материала АМцМ с одинаковыми диаметрами и длиной. Однако использовались три различных матрицы с различными углами наклона инструмента полуматрицы относительно горизонтальной плоскости разреза. На рис. 1. представлены моделирование схемы (а) и полученный полуфабрикат (б).

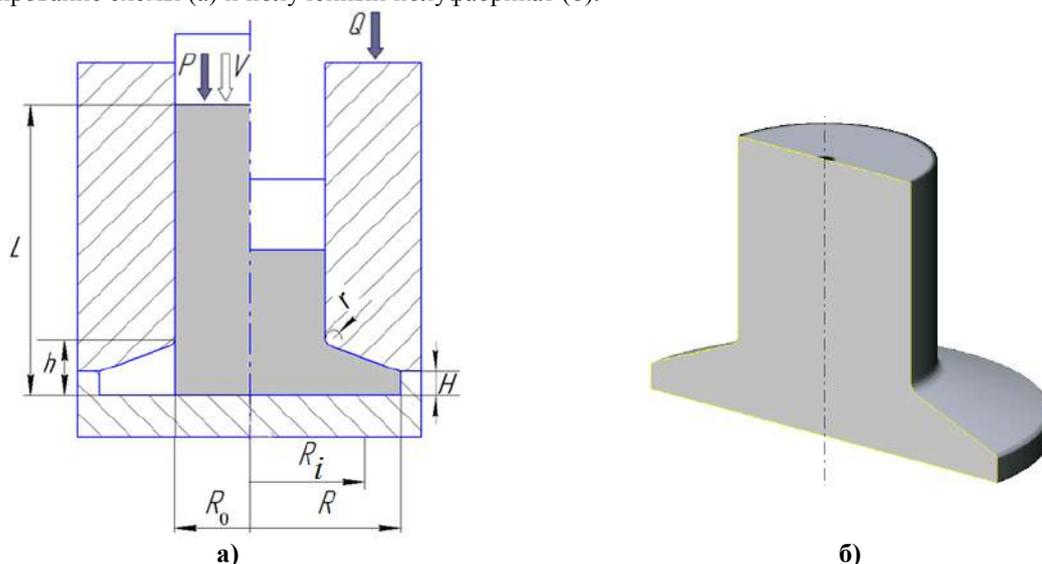


Рис. 1. Схема процесса радиального выдавливания фланца на конце стержня (а), с разными параметрами угла наклона инструмента полуматрицы с односторонней подачей в закрытых матрицах и полученным полуфабрикатом (б)

Выбраны следующие параметры для моделирования процесса радиального выдавливания фланца на конце стержня с разными параметрами угла наклона инструмента полуматрицы с односторонней подачей в закрытых матрицах:

- 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 – радиус заготовки ($R_0 = 18$ мм), R – радиус фланца ($R = 36$ мм), R_1 – промежуточный радиус фланца, r – радиус скругления кромок инструмента ($r = 2$ мм), L – высота заготовки ($L = 70$ мм), $h/R_0 = 0,65$; $H/R_0 = 0,2; 0,25; 0,3$;

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

Определено напряженно-деформированное состояние по всему объему заготовки. На рис. 2 представлены результаты моделирования процесса радиального выдавливания фланца при $H/R_0 = 0,3$, такие как искажение делительной сетки, распределение интенсивности деформаций (ε_i) и интенсивности напряжений (σ_i , МПа) по ходу деформирования. 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 и напряжений (рис. 2) достигают следующих отметок: при $H/R_0 = 0,3$ и $R_1/R_0 = 2$. – $\varepsilon_i = 3,2$ и $\sigma_i = 200$ МПа. В соответствии с проведенным моделированием были получены графики зависимости давления процесса выдавливания и давления в полуматрице от хода пуансона в определенном интервале значений $H/R_0 = 0,2; 0,25; 0,3$ при помощи программы Origin. На рис. 3 представлен график зависимости давления процесса выдавливания от хода пуансона. Из графика видно, что при увеличении хода пуансона увеличивается поток выдавливаемого материала, и, соответственно, увеличивается давление процесса. Кривые, которые показаны на рис. 3, состоят из трех основных стадий. Первая стадия, в которой происходит начальное сжатие и распрессовка заготовки; вторая стадия – постепенное увеличение нагрузки и заполнение фланца до момента касания торца с боковой поверхностью полости матрицы. На третьей стадии нагрузка резко возрастает на небольшом ходе процесса, происходит заполнение углов полости матрицы. Например, до отметки хода $S = 20$ мм значение давления каждой кривой плавно увеличивается, то есть для $H/R_0 = 0,2$ – $p = 470$ МПа, для $H/R_0 = 0,25$ – $p = 420$ МПа и для $H/R_0 = 0,3$ – $p = 380$ МПа. Затем давление резко возрастает, достигая значения при $H/R_0 = 0,2$ – $p = 980$ МПа с ходом $S = 22$ мм, при $H/R_0 = 0,25$ – $p = 960$ МПа с ходом $S = 23$ мм, при $H/R_0 = 0,3$ – $p = 940$ МПа с ходом $S = 25$ мм. На рис. 4 представлен график зависимости давления в полуматрице процесса от хода пуансона. На начальной стадии процесса, когда заготовка имеет наибольшую высоту и площадь контакта, силы трения заготовки приводят к тому, что давление в полуматрице получается положительным, т.е. направлено в направлении движения пуансона. После того как начинается заполнения поперечной полости, замечен резко происходит рост давления в полуматрице. Это связано с увеличением значения сжимающих окружных напряжений (стремление фланца увеличиться по высоте), с увеличением площади контакта металла с торцом полуматрицы, а также с упрочнением металла. Исходя из графика, приведенного на рис. 4 видно, что при ходе $S = 15$ мм для $H/R_0 = 0,2$ – $q = 160$ МПа, для $H/R_0 = 0,25$ – $q = 110$ МПа и для $H/R_0 = 0,3$ – $q = 50$ МПа, после этого с увеличением хода процесса происходит плавное увеличение давления в полуматрице до значения $q = 250$ МПа при $S = 21$ мм для $H/R_0 = 0,2$, $q = 200$ МПа при $S = 22$ мм для $H/R_0 = 0,25$ и $q = 160$ МПа при $S = 23$ мм для $H/R_0 = 0,3$. Графики зависимости приведенного давления процесса выдавливания и в полуматрице от относительной величины R_1/R_0 при $h/R_0 = 0,65$ представлены на рис. 5, 6. Из графиков, приведенных на рис. 5, 6 видно, что приведенное давление с увеличением относительной величины R_1/R_0 увеличивается в определенном значении относительной величины H/R_0 . Это связано с тем, что увеличение относительного параметра R_1/R_0 приводит к увеличению количества металла, который заполняет полость фланца. Такое изменение получается за счет изменения напряженного состояния при радиальном выдавливании. Так же увеличивается контактная поверхность терния с верхней полуматрицей. Исходя из графика, приведенного на рис. 5 видно, что при относительной величине $R_1/R_0 = 1,85$ приведенное давления процесса выдавливания равно при $H/R_0 = 0,2$ равно 1,98; при $H/R_0 = 0,25$ – 1,85 и при $H/R_0 = 0,3$ – 1,7. На рис. 6 показано, что при относительной величине $R_1/R_0 = 1,85$ приведенное давление в полуматрице для $H/R_0 = 0,2$ равно 0,95; для $H/R_0 = 0,25$ – 0,75 и для $H/R_0 = 0,3$ – 0,55. А также, в результате моделирования построены графики зависимости приведенного давления процесса выдавливания и в полуматрице от относительной величины H/R_0 при $h/R_0 = 0,65$ которые представлены на рис. 7, 8. Из полученных данных видно, что приведенное давление с увеличением относительной величины H/R_0 уменьшается за счет снижения возможность течения материала в радиальном направлении в определенном значении относительной величины R_1/R_0 . При относительной величине

$H/R_0=0,25$ приведенное давление процесса выдавливания при $R_1/R_0 = 1,95$ равно 2,02; при $R_1/R_0 = 1,85 - 1,875$; при $R_1/R_0 = 1,75 - 1,675$ и при $R_1/R_0 = 1,65 - 1,54$ (рис. 7), и приведенное давление в полуматрице при $R_1/R_0 = 1,95$ равно 0,88; при $R_1/R_0 = 1,85 - 0,75$; при $R_1/R_0 = 1,75 - 0,625$ и при $R_1/R_0 = 1,65 - 0,475$ (рис. 8).

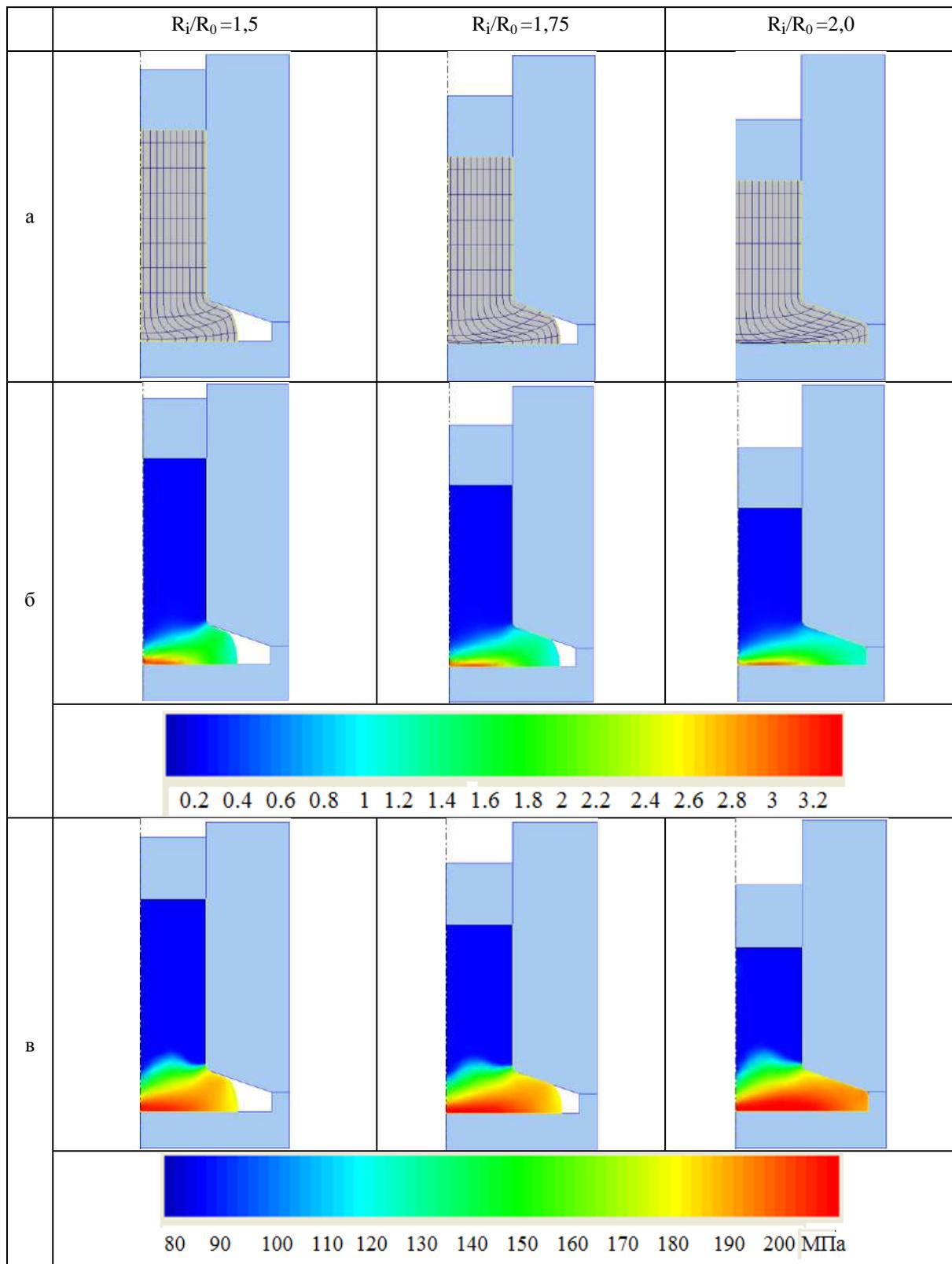
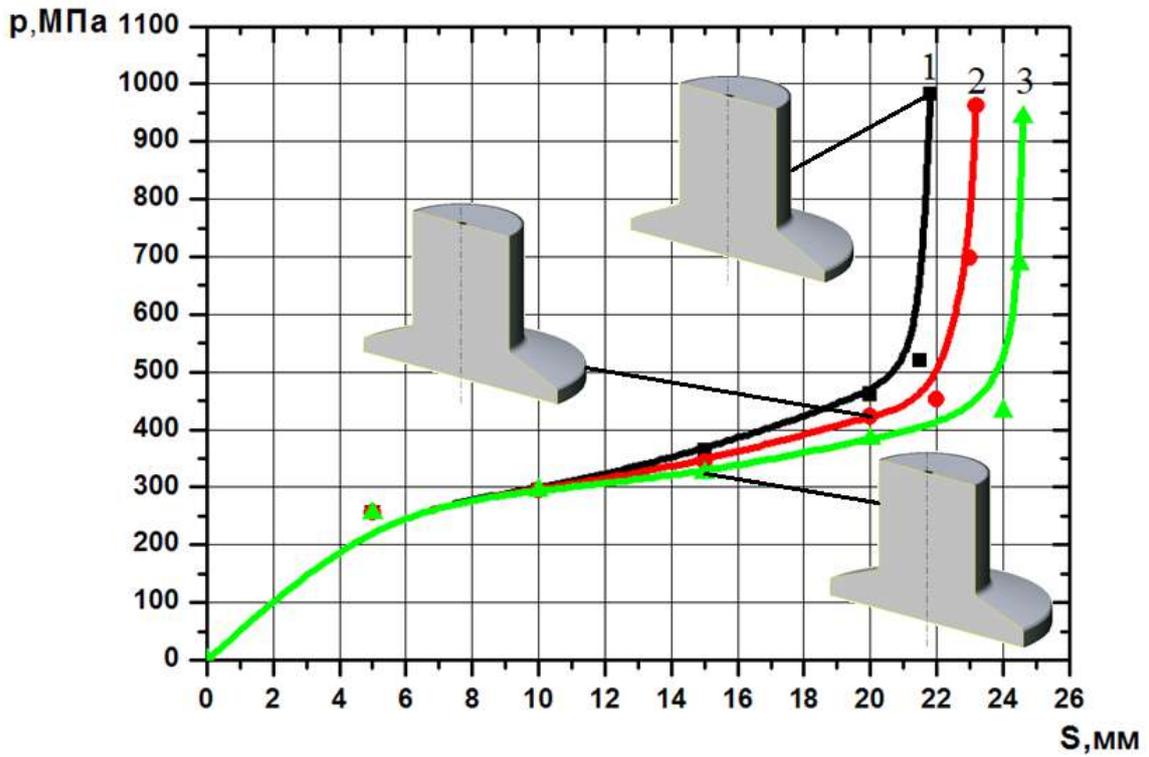
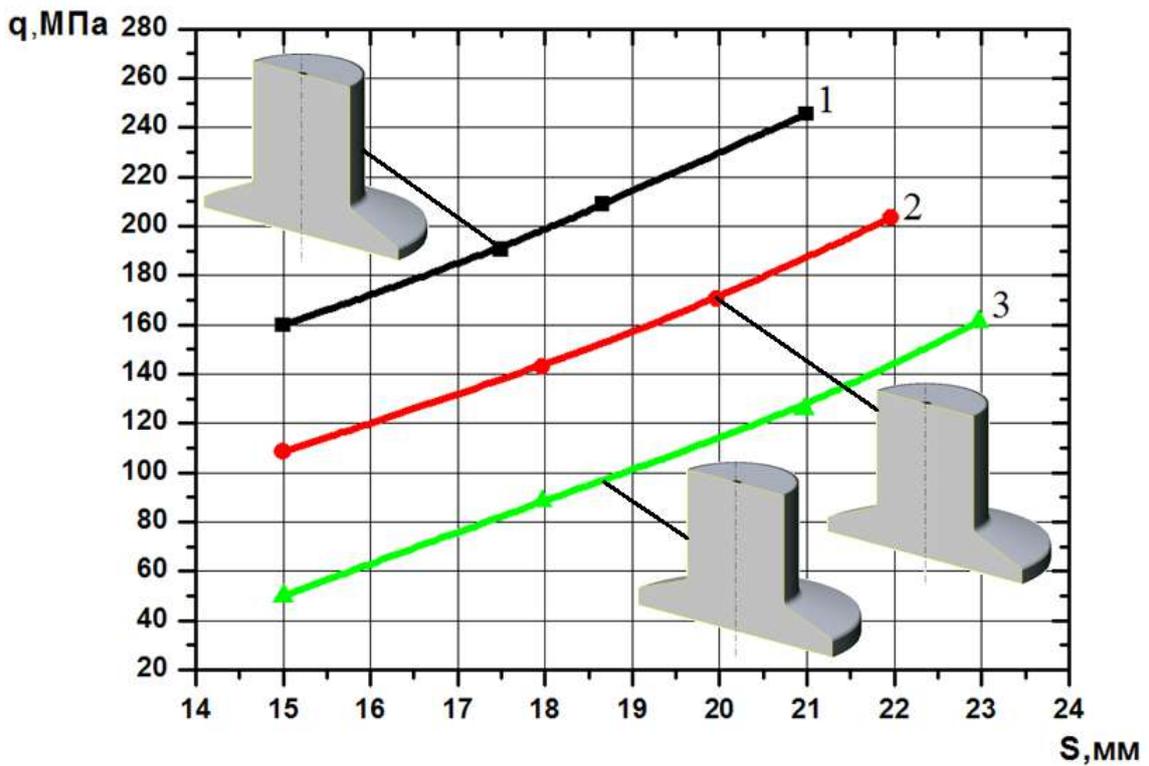


Рис. 2. Искажение делительной сетки (а), распределение интенсивности деформаций ϵ_i (б), распределение интенсивности напряжений σ_i , МПа (в) по ходу деформирования при радиальном выдавливании фланца на конце стержня с односторонней подачей при $H/R_0 = 0,3$



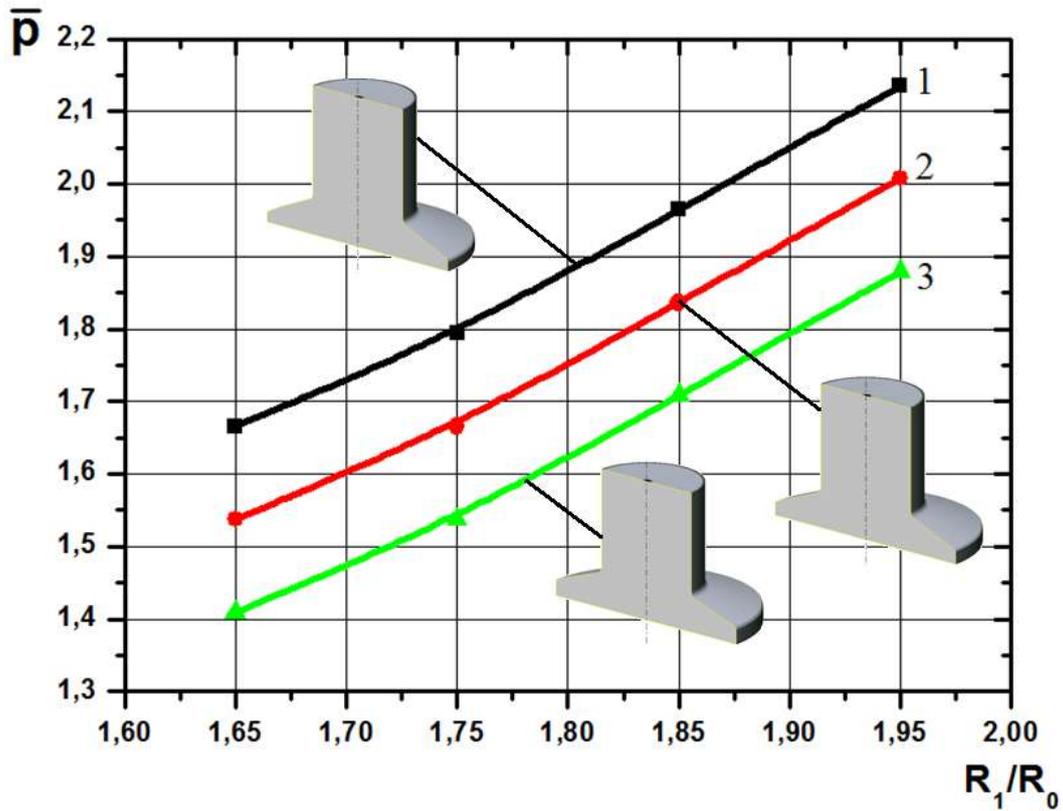
1 – $H/R_0 = 0,2$; 2 – $H/R_0 = 0,25$; 3 – $H/R_0 = 0,3$

Рис. 3. Графік залежності тиску процесу видавлювання від ходу пуансона при $h/R_0 = 0,65$



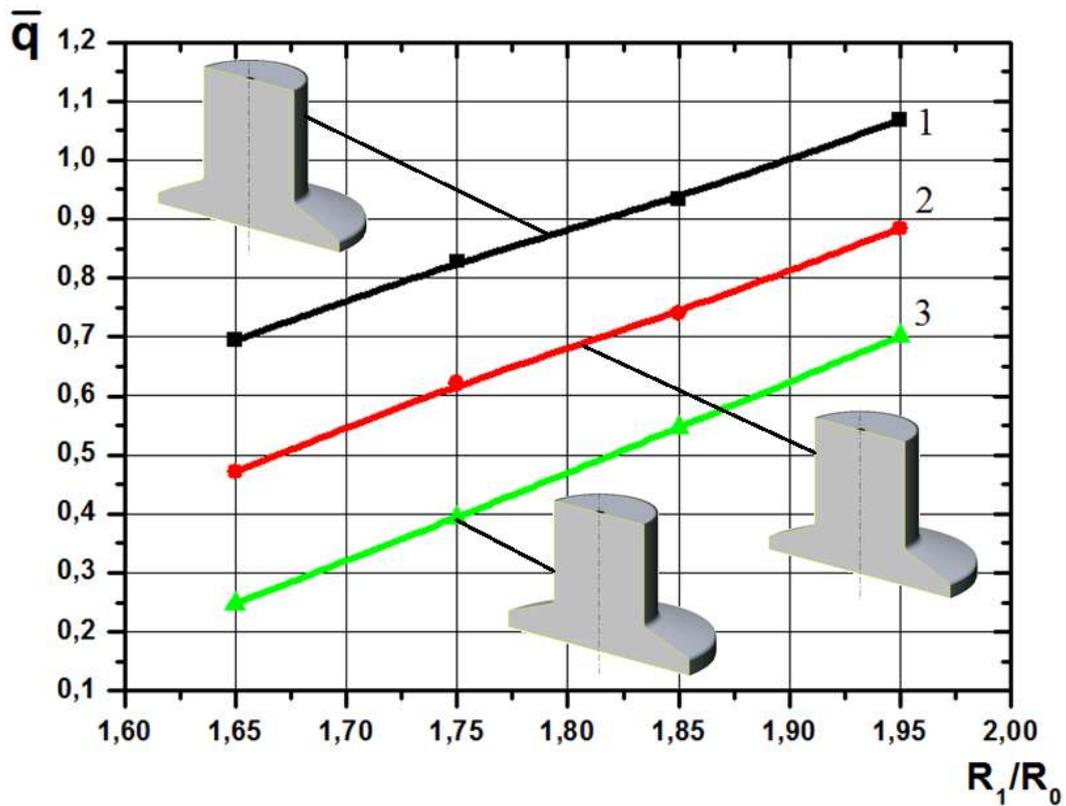
1 – $H/R_0 = 0,2$; 2 – $H/R_0 = 0,25$; 3 – $H/R_0 = 0,3$

Рис. 4. Графік залежності тиску в полуматриці від ходу пуансона при $h/R_0 = 0,65$



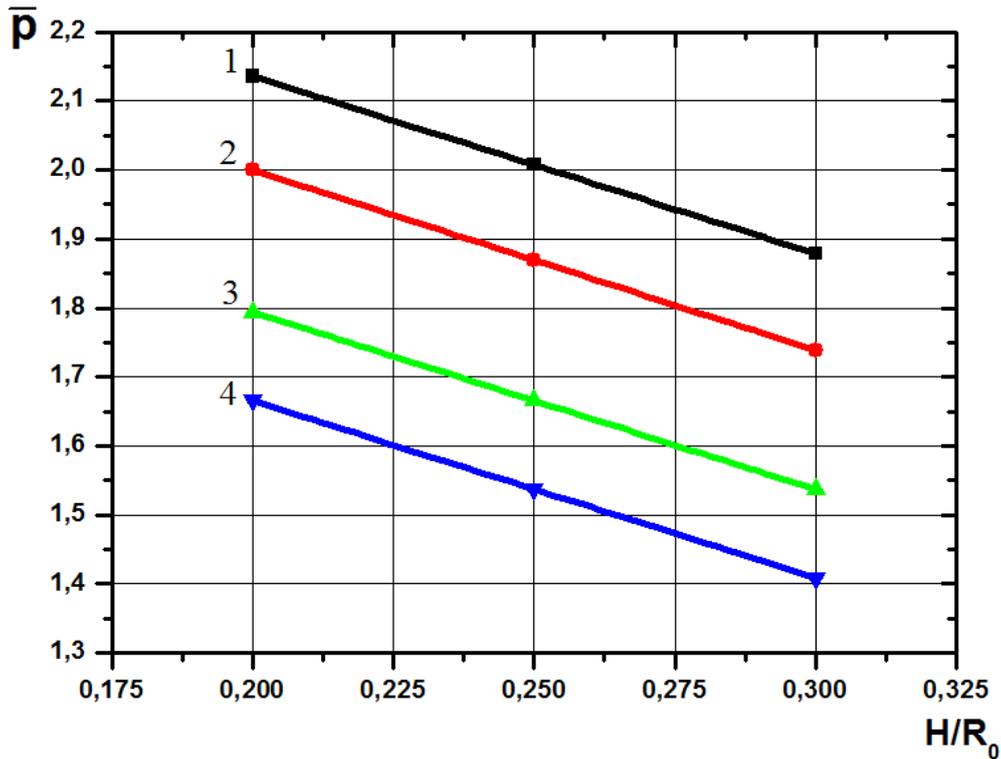
1 – $h/R_0=0,2$; 2 – $h/R_0=0,25$; 3 – $h/R_0=0,3$

Рис. 5. График зависимости приведенного давления процесса выдавливания от относительной величины R_1/R_0 при $h/R_0=0,65$



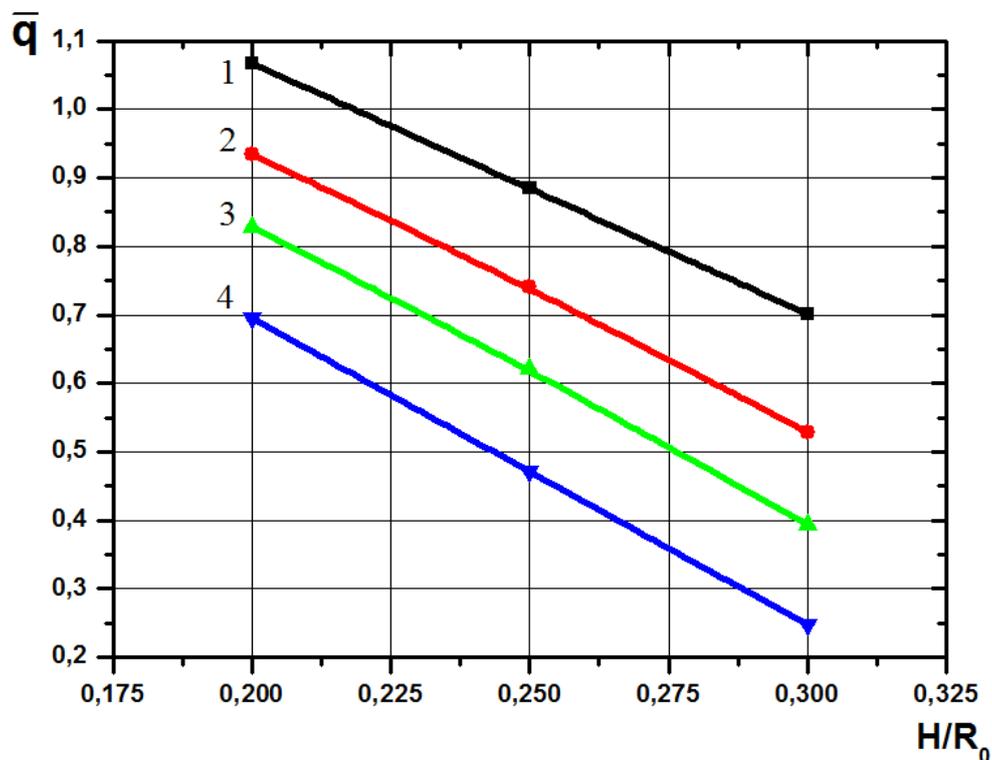
1 – $h/R_0=0,2$; 2 – $h/R_0=0,25$; 3 – $h/R_0=0,3$

Рис. 6. График зависимости приведенного давления в полуматрице от относительной величины R_1/R_0 при $h/R_0=0,65$



1 – $R_1/R_0 = 1,95$; 2 – $R_1/R_0 = 1,85$; 3 – $R_1/R_0 = 1,75$; 4 – $R_1/R_0 = 1,65$

Рис. 7. График зависимости приведенного давления процесса выдавливания от относительной величины H/R_0 при $h/R_0=0,65$



1 – $R_1/R_0 = 1,95$; 2 – $R_1/R_0 = 1,85$; 3 – $R_1/R_0 = 1,75$; 4 – $R_1/R_0 = 1,65$

Рис. 8. График зависимости приведенного давления в полуматрице от относительной величины H/R_0 при $h/R_0=0,65$

Выводы

Проведено моделирование радиального выдавливания фланца на конце стержня с разными параметрами угла наклона инструмента полуматрицы с односторонней подачей в закрытых матрицах

методом конечных элементов при помощи программного продукта QForm 2D. Были исследованы напряженно-деформированное состояние и силовые режимы деформирования в процессе деформации, форма и размеры очага деформации. В ходе исследований процесса радиального выдавливания были получены результаты моделирования, такие как искажение делительной сетки, распределения интенсивности деформаций, интенсивности напряжений и графики силовых параметров. Установлено, что максимальные значения интенсивности деформаций и напряжений, которые наблюдаются в зонах контактирующих с полостью матрицы при относительных параметрах $H/R_0=0,3$ и $R_1/R_0=2$, достигают следующих отметок: $\varepsilon_i = 3,2$ и $\sigma_i = 200$ МПа. Из графиков силового режима процесса видно, что давление процесса выдавливания и в полуматрице увеличивается от увеличения хода пуансона при разных значениях относительного параметра H/R_0 и наибольшее давление наблюдается при относительном параметре $H/R_0=0,2$. А также приведенное давление увеличивается при увеличении R_1/R_0 и уменьшается при увеличении H/R_0 .

Список использованной литературы

1. Алиев И. С. Поиск и классификация новых технологических способов выдавливания / И. С. Алиев // Сборник научных статей. – Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия. 2000. – С. 207-212.
2. Aliiev I. Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion / I. Aliiev, L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbakov // Scientific and technical journal Metallurgical and Mining Industry. – Dnepropetrovsk, 2011. – Vol. 3, № 7. – P. 17–22.
3. 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.
4. Алиев И. С. Моделирование процесса штамповки в закрытых штампах методом конечных элементов / И. С. Алиев, П. Б. Абхари, А. А. Еремина // Пластическая деформация металлов. Научное издание. г. Днепропетровск. – Том 1, 2014. – С. 192–196.
5. Алиев И. С. Технологические процессы штамповки радиальным выдавливанием в закрытых штампах / И. С. Алиев, П. Б. Абхари, А. А. Еремина // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 2 (41). – С. 166–172.
6. Aliieva Leila. Radial-direct extrusion with a movable mandrel / Leila Aliieva, Yaroslav Zhbakov // Metallurgical and Mining Industry. – Dnipropetrovsk, 2015. – № 11. – P. 175–183.
7. Investigation of defect in combined precision extrusion process with multiple ram / I. Aliiev, L. Aliieva, P. Abhari, K. Goncharuk // XVI International scientific conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. – Series : Monographs. – Czestochowa, Poland, 2015. – №48. – P. 90–93.
8. Payman Abhari Investigation of load on the tools in precision radial extrusion process with multiple ram / Payman Abhari // XVII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering» :Series: Monografie. – Nr 56. – Czestochowa, Poland, 2016 – P. 330–333.
9. Разработка штампов для выдавливания в разъемных матрицах / П. Б. Абхари, Л. И. Алиева, И. С. Алиев, А. А. Еремина // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – № 1 (42). – Краматорск : ДГМА, 2016. – С. 223–321.
10. Алиева Л.И. Деформирование заготовок способом радиального выдавливания с противодавлением / Л.И. Алиева // Вестник ХНТУ. Херсон. – 2016. № 2 (57) – С. 29-36.
11. Payman Abhari Investigation of fracture moment in radial extrusion process by finite element method / Payman Abhari // XVIII International scientific conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. – Series: Monografie. – Czestochowa, Poland, 2017. – Nr 68. – С. 97–101.
12. Моделирование процесса холодного выдавливания полых изделий / В.Л. Калужный, Л.И. Алиева, Д.А. Картамышев, И.Г. Савчинский // Металлург. – 2017, № 5. – С. 21-27.
13. Payman Abhari Finite Element Simulation of Flashless Radial Extrusion Process / Payman Abhari, Igramotdin Aliiev // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X, Volume 14, Issue 4 Ver. III (Jul. – Aug. 2017), PP 79-83, DOI: 10.9790/1684-1404037983, [http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/pages/14\(4\)Version-3.html](http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/pages/14(4)Version-3.html)
14. Payman Abhari The study of folding defects during the radial-forward extrusion in the enclosed dies / Payman Abhari // International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN (Online): 2319-7064, Volume 6, Issue 7 July 2017, PP 1746-1749, DOI: 10.21275/ART20175702, <http://www.ijsrpublications.com/ijsr.net/archive/v6i7/ART20175702.pdf>