

УДК 621.983

Митичкина Н. Г.
Бут А. Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЦЕССА СПРЯМЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОДНОПЕРЕХОДНОЙ ШТАМПОВКИ ТРОЙНИКОВ

Цельноштампованные элементы трубопроводных систем с ответвлениями – тройники и крестовины – широко используются в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Поэтому представляет практический интерес задача улучшения эксплуатационных характеристик этих деталей и совершенствования технологии их изготовления.

Процесс изготовления деталей трубопроводов типа тройников за один технологический переход, предложенный и рассмотренный в [1–5], включает операцию спрямления части дна отвода в стенку ответвления готового тройника. Эта операция подобна процессу отбортовки, однако имеет ряд отличий, связанных со способом формообразования, конструкцией используемой штамповой оснастки и схемой взаимодействия её элементов с деформируемой заготовкой, поэтому представляет интерес и требует детального исследования.

Спрявление является третьим, завершающим этапом процесса изготовления тройника либо подобной ему детали за один технологический переход по способу [6]. Схема спрямления приведена на рис. 1.

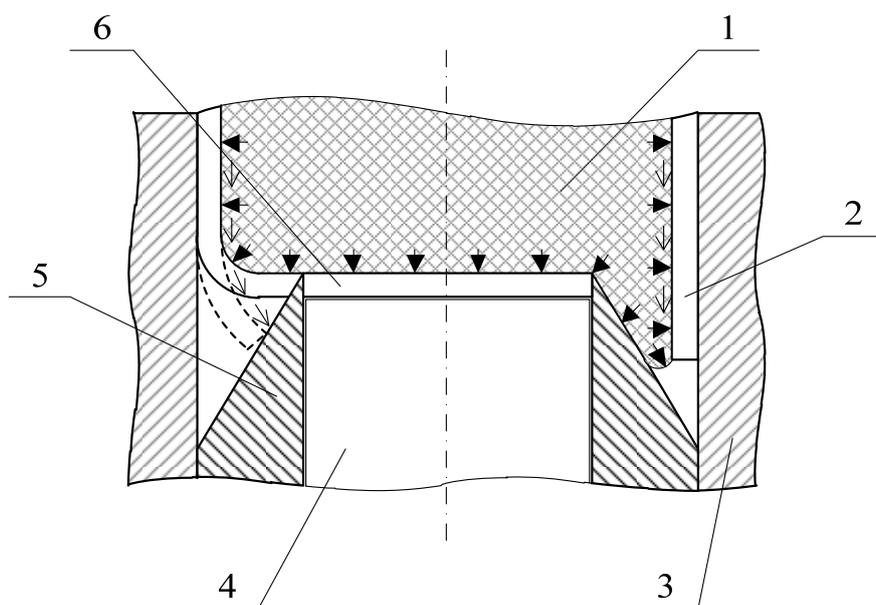


Рис. 1. Общая схема процесса спрямления:

1 – эластичный инструмент; 2 – стенка ответвления; 3 – матрица; 4 – подпор дна отвода; 5 – пробивной элемент; 6 – отход; \blacktriangleright – действие давления эластичного инструмента q в полости отвода; \rightarrow – действие касательных напряжений μq от сил трения между поверхностью заготовки и эластичным инструментом

Процесс деформирования осуществляется следующим образом. После достижения отводом, формируемым в полости матрицы 3 (рис. 1) под действием внутреннего давления эластичного наполнителя 1 и противодействия подпора 4, необходимой высоты его торец сталкивается с жёстко установленным пробивным элементом 5. Режущая кромка пробивного элемента внедряется на расчётную глубину в торец и пробивает в нём отверстие. При этом образуется отход 6.

Объём эластичного наполнителя в полости отвода продолжает увеличиваться и заполняет пространство вокруг конической рабочей поверхности пробивного элемента, производя при этом спрямление части дна отвода. Таким образом, завершается формирование стенки ответвления 2 готового тройника.

На процесс спрямления влияет множество факторов, основные из которых: материал и толщина исходной заготовки, диаметр отверстия, угол заострения пробивного элемента, внутреннее давление эластичного наполнителя на отгибаемый участок заготовки.

В целях получения как можно большей высоты формируемого ответвления тройника выгодно, чтобы пробиваемое в дне отвода отверстие было наименьшим и, следовательно, большая часть дна отвода преобразовывалась в стенку ответвления. То есть, чтобы коэффициент спрямления $m_{cn} = d_0/D'_{cp}$, был минимальным. Однако чем меньше этот коэффициент, тем больше утонение кромки и вероятность возникновения трещин.

Спрявление происходит сразу после этапа пробивки в закрытом пространстве штампа, что усложняет задачу исследования его как отдельного технологического процесса. В этой ситуации для детального изучения напряжений, действующих на заготовку при спрямлении, и результирующих деформаций материала с целью прогнозирования граничных возможностей этого процесса удобно воспользоваться возможностями, предоставляемыми современными САЕ – системами.

Целью работы является моделирование процесса спрямления в условиях однопереходной штамповки тройников методом конечных элементов с использованием САЕ – системы.

Исходя из особенностей процесса спрямления как операции холодной листовой штамповки, в данном исследовании использовалась система конечно-элементного моделирования процессов ОМД DEFORM. При этом за основу принималась методика моделирования, предложенная в работе [7].

Заготовка имела следующие параметры: наружный диаметр отвода – 20 мм, исходная толщина стенки – 1 мм, наружный радиус перехода стенки отвода в донную часть – 2 мм.

При моделировании исходили из геометрической модели части отвода с уже имеющимся отверстием после пробивки его дна и частей инструмента, принимающих участие в процессе спрямления. Все части инструмента принимались жестко зафиксированными и абсолютно жесткими, их свойства не задавались.

Этап спрямления представляет собой осесимметричную задачу, которую удобнее решать путём 2D-моделирования. Поэтому была построена плоская геометрия указанных элементов с помощью систем КОМПАС и MS Visio, после чего, сохранённая в файлах формата .dxf, она была экспортирована в DEFORM.

В модели использовался стандартный четырёхугольный четырёхузловой конечный элемент. Способ построения и перестроения сетки принимали автоматическим.

При моделировании варьировались три фактора:

- диаметр пробиваемого отверстия d_0 менялся в пределах 10–15 мм с интервалом 1 мм;
- угол заострения пробивного элемента принимался равным 30° и 45°;
- материал заготовки: принимали алюминиевые сплавы из базы данных программы AL-1100 (аналог сплава АД, из которого были изготовлены трубы, использованные в физических экспериментах) и AL-5052 (аналог сплава АМг 2,5).

Характеристики упрочнения материала в процессе моделирования учитывались стандартной зависимостью из базы данных программы вида:

$$\sigma_s = c \cdot (\bar{\varepsilon})^n \cdot (\bar{u})^m + y \quad (1)$$

где σ_s – эффективное напряжение пластического течения материала, МПа;

ε – эффективная деформация материала;

u – эффективная скорость деформации материала;

c – константа материала (коэффициент упрочнения A);

n – показатель деформационного упрочнения материала;

m – показатель степени скорости деформаций;
 y – исходный предел текучести материала – $\sigma_{0,2}$, МПа.

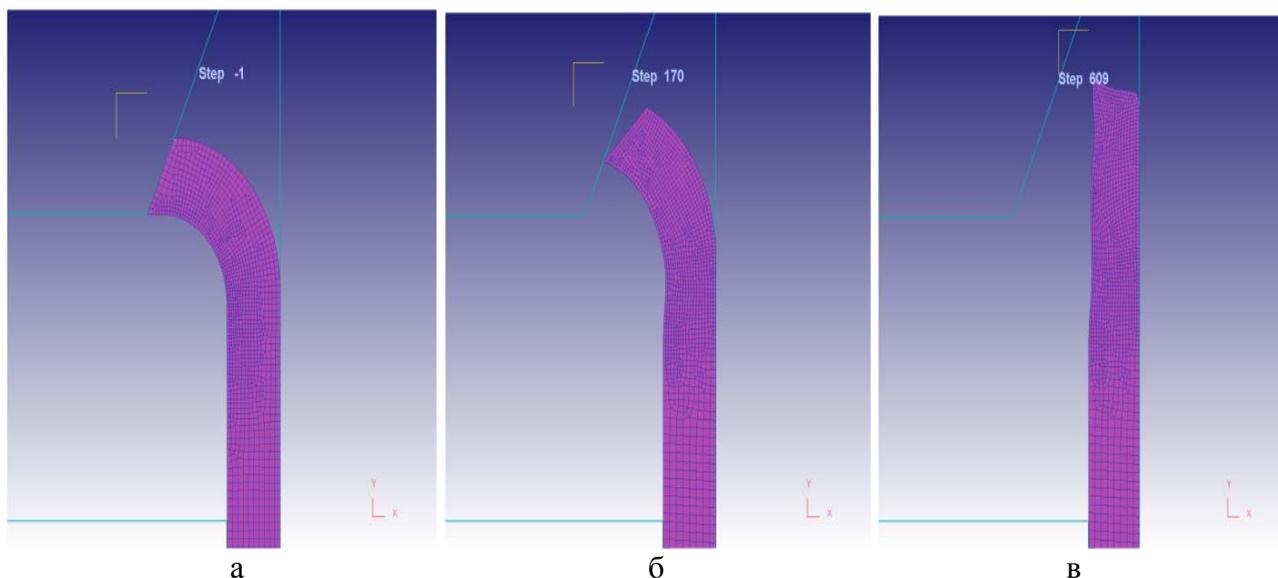


Рис. 2. Сетка конечных элементов на разных стадиях деформирования:
а – начало; б – середина; в – конец деформирования

Коэффициент трения алюминия по стали на поверхности контакта заготовки с пробивным элементом задавали равным 0,12.

Поскольку в реальных условиях спрямление происходит в холодном состоянии, процесс деформации принимался изотермическим с механическими характеристиками материалов, не зависящими от температуры.

Давление к отгибаемой части заготовки прикладывалось путём задания параметра «Давление» в окне «Граничные условия» программы. При этом задавался рост его величины от нуля до максимального значения по линейной зависимости от времени. Размер шага задавался фиксированным промежутком времени с постоянным значением 0,0001 секунда.

Распределение интенсивности напряжений и деформаций в конечный момент деформирования для схемы спрямления с $d_0 = 15$ мм и пробивным элементом с углом заострения 30° приведено на рис. 3.

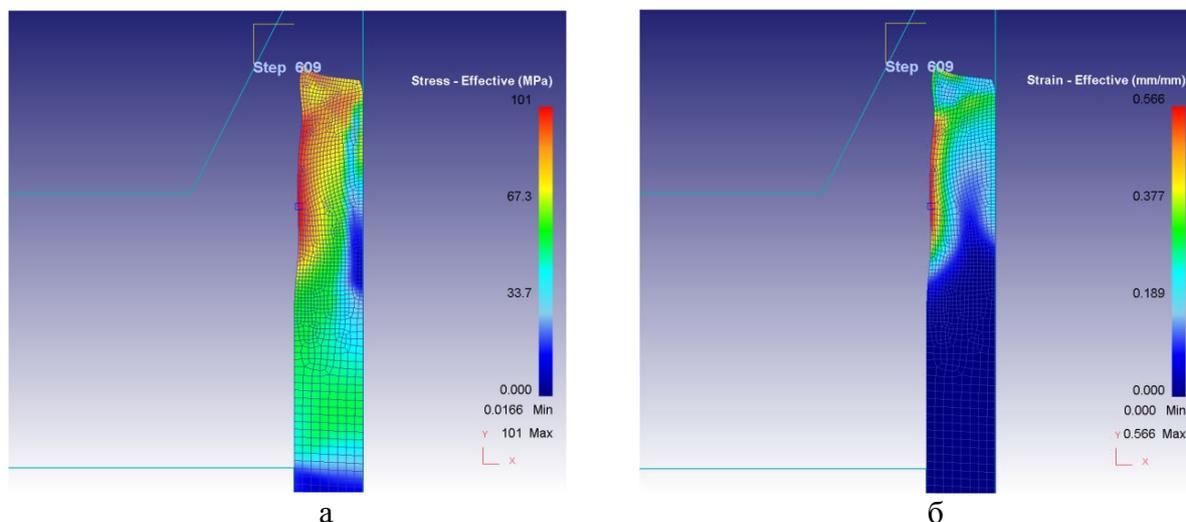


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений (а) и деформаций (б) в стенке ответвления готового тройника в конечный момент деформирования для схемы спрямления с $d_0 = 15$ мм и пробивным элементом с углом заострения 30°

Моделирование процесса спрямления части дна отвода в стенку ответвления показало, что зона максимальной интенсивности напряжений и деформаций наблюдалась на внутренней поверхности заготовки в области перехода стенки отвода в дно (рис. 3).

Максимальная величина тангенциальной деформации растяжения, как и ожидалось, наблюдалась на торце получаемого ответвления и достигала абсолютных значений от $\varepsilon_{\theta} = 0,213$ для $d_0 = 15$ мм, до $\varepsilon_{\theta} = 0,43$ для $d_0 = 12$ мм.

Минимально возможный диаметр пробиваемого отверстия, которого удалось достичь при моделировании спрямления на заготовках из сплава AL-1100, составил $d_0 = 12$ мм. При этом максимальная интенсивность деформаций элементов торца ответвления, которая и является лимитирующей величиной пластического деформирования в реальных условиях, была на уровне $\varepsilon_i = 0,519$. Толщина ответвления у торца s'_k была равна 0,804 мм.

В работе [5] автором предложена методика определения предельных степеней деформации при спрямлении, основанная на оценке штампуемости металла по коэффициенту локального использования пластичности η , описанному в общем виде авторами работ [8, 9]. Теоретические расчёты по этой методике для сплава АД, показали критическую интенсивность деформаций на уровне $\varepsilon_{i(кр)} = 0,46$. При этом рассчитанный минимально допустимый диаметр отверстия d_0 с запасом по коэффициенту $\eta = 0,95$ [5] для выбранных параметров моделирования составил 11,67 мм. Расчётная толщина у торца s'_k равнялась 0,795 мм.

При физических экспериментах, проведенных в условиях, идентичных параметрам моделирования, на заготовках из сплава АД также удалось достичь минимального значения $d_0 = 12$ мм. Средняя толщина у торца s'_k , замеренная на трёх образцах в четырёх точках по периметру ответвления, составила 0,8 мм.

ВЫВОДЫ

Выполнено моделирование процесса спрямления в условиях однопереходной штамповки тройников методом конечных элементов с использованием САЕ-системы DEFORM-2D, которое показало, что зона максимальной интенсивности напряжений и деформаций наблюдается на внутренней поверхности заготовки в области перехода стенки отвода в дно.

Сравнение величин главных деформаций ε , интенсивности деформаций ε_i , толщины стенки ответвления у торца s'_k и минимально возможного диаметра отверстия d_0 , пробиваемого под спрямление, полученных в результате моделирования, с результатами теоретических расчётов и физических экспериментов, а также общая картина формоизменения позволяют считать модель адекватной и пригодной для дальнейшего использования в исследованиях процесса спрямления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митичкина Н. Г. Совершенствование процесса формообразования элементов трубопроводов / Н. Г. Митичкина, А. Ю. Бут // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск 2010. вып. № 30. – С. 194–201.
2. Митичкина Н. Г. Совершенствование процесса формообразования тройников эластичной средой / Н. Г. Митичкина, А. Ю. Бут // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 3 (24). – С. 112–117.
3. Исследование процесса изготовления цельноштампованных тройников за один технологический переход с применением заготовок со скошенными кромками // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 32– Алчевск : ДонГТУ, 2010 – 476 с. : С. 254–260.
4. Экспериментальные исследования процесса получения отверстий под оформление ответвлений труб // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 45. – 176 с. – С. 158–163.
5. Определение предельных степеней деформации при спрямлении отвода для получения ответвления в условиях однопереходной штамповки тройников // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 3 (32). – С. 103–108.
6. Спосіб виготовлення порожнистих деталей з відгалуженнями і пристрій для його здійснення. Патент на винахід 96687, Україна, МПК В21С 37/29(2006.01), В21D 26/02(2006.01). Заявлений 26.07.2010. Опублікований 25.11.2011.

7. Тарасов А. Ф. Моделирование процесса интенсивного пластического деформирования заготовок по схеме реверсивного сдвига / А. Ф. Тарасов, А. В. Алтухов – *Металлургические процессы и оборудование.* – 2013. – № 4. – С. 47–54.

8. Томленов А. Д. Теория пластического деформирования металлов / А. Д. Томленов – М. : *Металлургия*, 1972. – 522 с.

9. Аверкиев А. Ю. Методы оценки штампуемости тонколистового металла: учебное пособие / А. Ю. Аверкиев. – Ростов-на-Дону. – 1975. – 180 с.

REFERENCES

1. Mitichkina N. G. Sovershenstvovanie processa formoobrazovanija jelementov truboprovodov / N. G. Mitichkina, A. Ju. But // *Sbornik nauchnyh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta.* – Alchevsk 2010. vyp. № 30. – S. 194–201.

2. Mitichkina N. G. Sovershenstvovanie processa formoobrazovanija trojnikov jelastichnoj sredoj / N. G. Mitichkina, A. Ju. But // *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2010. – № 3 (24). – S. 112–117.

3. Issledovanie processa izgotovlenija cel'noshtampovannyh trojnikov za odin tehnologičeskij perehod s primenieniem zagotovok so skoshennymi kromkami // *Sbornik nauchnyh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Vyp. 32– Alchevsk : DonGTU, 2010 – 476 s. : S. 254–260.*

4. Jeksperimental'nye issledovanija processa poluchenija otverstij pod oformlenie otvetvlenij trub // *Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Tematičnij vipusk : Novi rishennja v suchasnih tehnologijah.* – Harkiv : NTU «HPI», 2011. – № 45. – 176 s. – S. 158–163.

5. Opredelenie predel'nyh stepenej deformacii pri sprjamenii otvoda dlja poluchenija otvetvlenija v uslovijah odnoperehodnoj shtampovki trojnikov // *Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2012. – № 3 (32). – S. 103–108.

6. Sposib vigoavlennja porozhnistih detalej z vidgaluzhennjami i pristirij dlja jogo zdijsnennja. Patent na vinahid 96687, Ukraïna, MPK B21C 37/29(2006.01), B21D 26/02(2006.01). Zajavlenij 26.07.2010. Opublikovanij 25.11.2011.

7. Tarasov A. F. Modelirovanie processa intensivnogo plastičeskogo deformirovanija zagotovok po sheme reversivnogo sdviga / A. F. Tarasov, A. V. Altuhov – *Металлургические процессы и оборудование.* – 2013. – № 4. – С. 47–54.

8. Tomlenov A. D. Teorija plastičeskogo deformirovanija metallov / A. D. Tomlenov – М. : *Металлургия*, 1972. – 522 с.

9. Averkiev A. Ju. Metody ocenki shtampuemosti tonkolistovogo metalla: uchebnoe posobie / A. Ju. Averkiev. – Rostov-na-Donu. – 1975. – 180 с.

Митичкина Н. Г. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ

Бут А. Ю. – магистр, ст. лаборант ДонГТУ

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: nmitichkina@yandex.ru, butalexandr@rambler.ru