

УДК 621.9+004.9

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРОЙНИКОВ

© 2014 И. П. Попов, А. Ю. Севериненко, Ю. О. Петров

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В статье представлен новый способ формообразования тонкостенных равнопроходных тройников. Применён конечно-элементный программный продукт ANSYS/LS-DYNA для анализа качества получаемых тройников и сравнения со способом получения тройника отбортовкой. Произведён анализ разнотолщинности тройников и доказана эффективность предложенного способа формообразования.

Тонкостенные равнопроходные тройники, компьютерное моделирование, формообразование, ANSYS/LS-DYNA, отбортовка, разнотолщинность.

Задача повышения качества и уменьшения стоимости тонкостенных тройников (рис. 1), которые широко применяются как в трубопроводах авиационно-космической техники, так и в технологических трубопроводах предприятий перерабатывающих отраслей промышленности, по настоящее время не решена в полном объёме. Имеются проблемы как в технологии изготовления тройников, так и в конструкции устройств для её реализации.

Наиболее рациональным способом формообразования тройников является штамповка из трубной заготовки, в которой осуществляется осевое сжатие заготовки с одновременной формовкой отвода на боковой поверхности трубы [1, 2]. На основе этого способа была разработана полезная модель штампа для формообразования тонкостенных равнопроходных тройников [3, 4]. Схема штампа для формообразования тройников с основными конструктивными элементами представлена на рис. 2.

Рассматриваемый способ формообразования мало изучен. В частности, нет данных о качестве получаемых тройников и, следовательно, эксплуатационной надёжности тройника, что не позволяет внедрить данный способ в промышленное производство.



Рис. 1. Типовой тройник

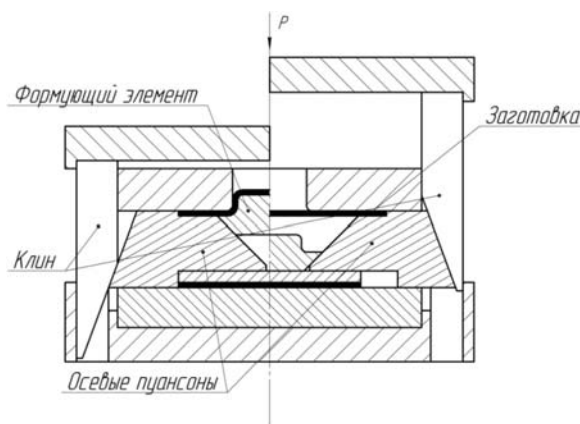


Рис. 2. Схема штампа для формообразования тройников

В работе проведено компьютерное моделирование формообразования тонкостенных равнопроходных тройников, в котором осуществляется осевое сжатие заготовки с одновременной формовкой отвода на боковой поверхности трубы с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в специализированном программном комплексе ANSYS/LS-DYNA.

В качестве примера для компьютерного моделирования был взят тройник $\varnothing 50$ мм из нержавеющей стали 12X18H10T ($\sigma_{0,2} = 236$ МПа; $\sigma_{\sigma} = 530$ МПа; $E = 210$ ГПа; $\nu = 0,34$; $\delta_5 = 38\%$) с толщиной стенки 1,5 мм (рис. 3). Материал рабочих частей штампа, инструментальную сталь У8А ($E = 209$ ГПа, $\nu = 0,3$), принимали жёстким.

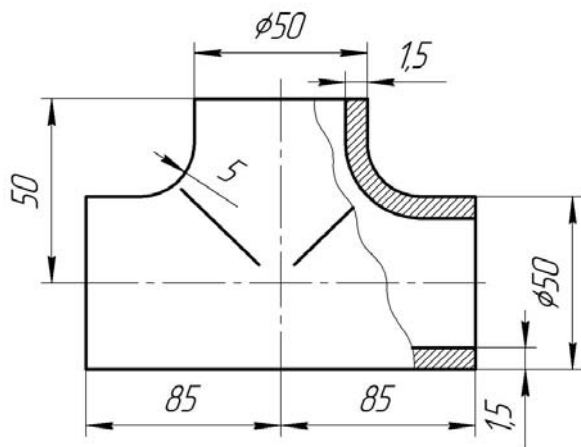


Рис. 3. Исследуемый тройник

Для описания материала тройника принята модель упрочняющейся упруго-пластической среды – билинейная изотропная модель:

$$\sigma_i = \sigma_{0,2} + E'e_i,$$

где σ_i – напряжение течения; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести; e_i – накопленная интенсивность деформаций; E' – модуль упрочнения:

$$E' = \frac{\sigma_{\sigma} - \sigma_{0,2}}{\ln(1 + \delta) + (\sigma_{\sigma} - \sigma_{0,2})/E},$$

σ_{σ} – предел прочности; δ – относительное удлинение; E – модуль упругости.

С целью сокращения времени расчёта моделирование формообразования тройника осуществлялось на $1/4$ части заготовки, симметрично разрезанной по оси симметрии и середине тройника. Для построения трёхмерной упорядоченной сетки конечных элементов выбрали оболочечные элементы. Конечно-элементная сетка тройника была сгенерирована с использованием 1920 элементов (длина ребра элемента 1 мм), рабочих частей штампа – 1936 элементов (0,5 мм) (рис. 4).

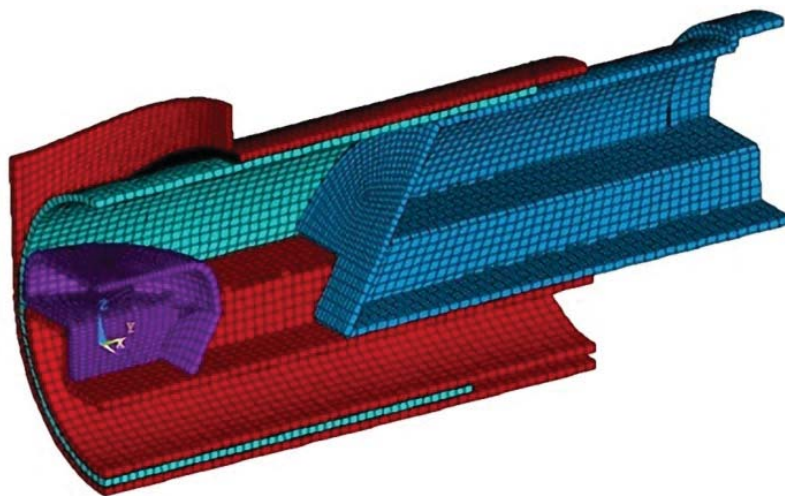


Рис. 4. Конечно-элементная сетка тройника и рабочих частей штампа

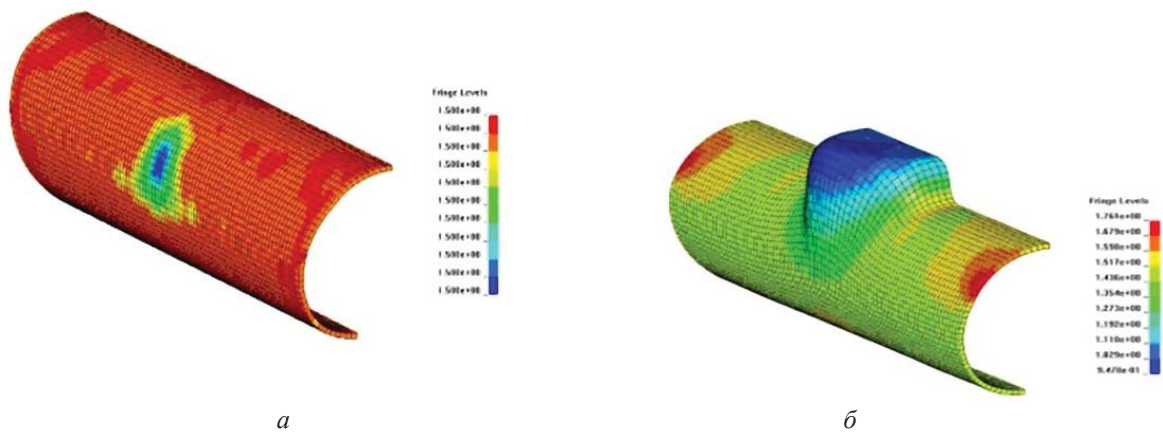


Рис. 5. Стадии моделирования процесса формообразования тройника:
 а - исходное состояние заготовки; б - завершающая стадия формообразования

На рис. 5 в качестве примера показаны исходное состояние заготовки (а) и конечная стадия формообразования тройника (б).

Для доказательства эффективности нового способа формообразования было проведено сравнение с традиционными методами изготовления тройников. В качестве примера был выбран способ получения тройников с помощью отбортовки (рис.6).

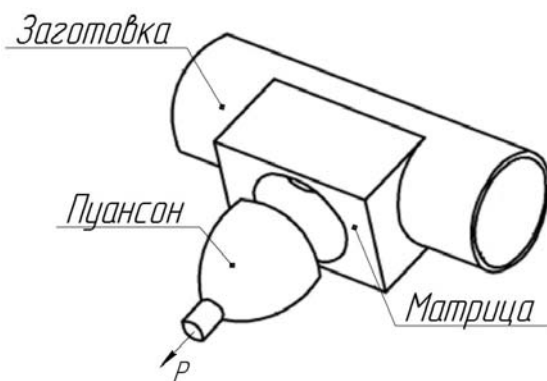


Рис. 6. Схема получения тройников отбортовкой

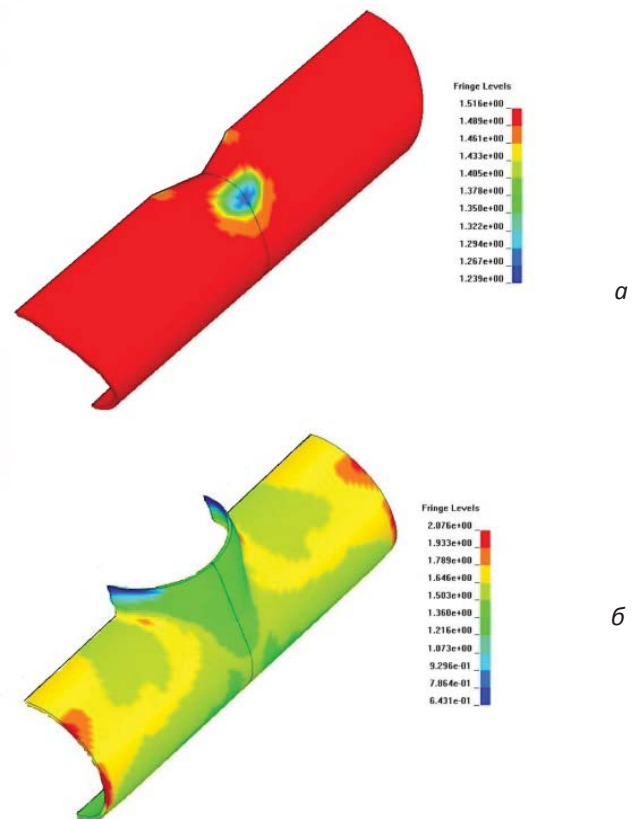


Рис. 7. Стадии моделирования процесса формообразования тройника отбортовкой:
 а - исходное состояние заготовки;
 б - завершающая стадия формообразования

Было произведено аналогичное моделирование, результаты которого представлены на рис. 7.

С целью оценки качества готовых тройников, полученных двумя способами, был произведён замер толщины по схеме, приведённой на рис. 8.

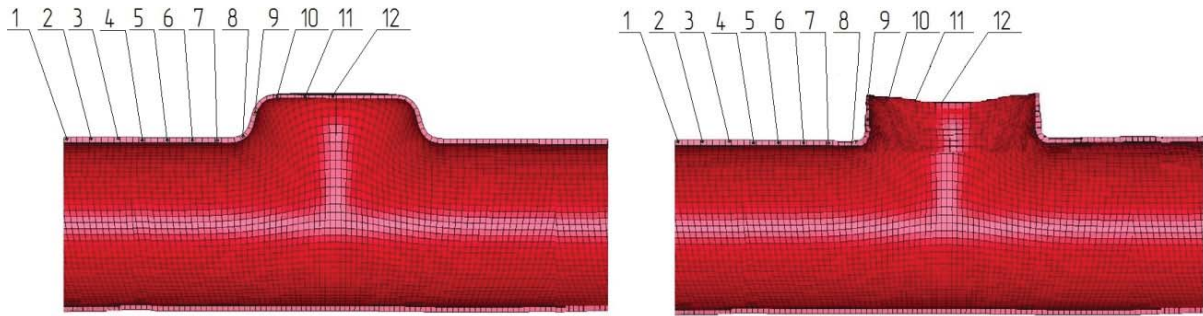


Рис. 8. Схема замера толщины

Для оценки разнотолщинности был введён коэффициент

$$y = \sqrt{\sum (S_0 - S_k)^2}$$

где S_0 – толщина материала в измеряемой точке до начала формообразования,

S_k – толщина материала в измеряемой точке после формообразования. Значения коэффициента y для двух способов формообразования представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициента разнотолщинности y

Номера точек	Осевое сжатие с одновременной формовкой			Отбортовка		
	S_k , мм	S_0 , мм	$(S_0 - S_k)^2$, мм ²	S_k , мм	S_0 , мм	$(S_0 - S_k)^2$, мм ²
1	1,59592	1,5	0,00920	1,5	1,5	0
2	1,58783	1,5	0,00771	1,5	1,5	0
3	1,58224	1,5	0,00676	1,5	1,5	0
4	1,56905	1,5	0,00477	1,5	1,5	0
5	1,54644	1,5	0,00216	1,5	1,5	0
6	1,51345	1,5	0,00018	1,5	1,5	0
7	1,50668	1,5	0,00004	1,5	1,5	0
8	1,50507	1,5	0,00003	1,5	1,5	0
9	1,48356	1,5	0,00027	1,40224	1,5	0,00956
10	1,47257	1,5	0,00075	1,35345	1,5	0,02148
11	1,49934	1,5	0,0000044	1,20667	1,5	0,08604
12	1,49937	1,5	0,0000004	0,99378	1,5	0,25625
y , мм	–	–	0,17853	–	–	0,611

Из табл. 1 видно, что разнотолщинность тройника, полученного с помощью нового способа (0,17853), меньше в 3 раза, чем разнотолщинность тройника, полученного традиционным способом (0,611) – отбортовкой. Это свидетельствует о более высоком качестве и, следовательно, эксплуатационной надёжности тройника.

Разработанный способ формообразования тройников апробирован на ОАО

«Авиакор – авиационный завод», для чего разработан промышленный штамп. Осуществлена проверка результатов компьютерного моделирования, аналитических зависимостей и основных технологических параметров. Изготовлена партия деталей, обладающих минимальным уровнем разнотолщинности при формообразовании.

Библиографический список

1. Давыдов О.Ю., Егоров В.Г., Невструев Ю.А. Штамповка неравнопроходных тройников из трубных заготовок в разъемных матрицах // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 6. С. 40–44.
2. Формообразование нормализованных элементов трубопроводных систем на универсальных гидропрессах. Технологические рекомендации. / Харьковский филиал НИАТ. – Харьков, 1985.
3. Титов Р.С., Гилимзянов Ш.Н., Антропов В.В., Маслов В.Д., Попов И.П. Устройство для формообразования тройников - Патент на полезную модель. № 67487. Оpubл. 27.10.2007. Бюл. № 30.
4. Северенко А.Ю., Петров Ю.О., Маслов В.Д., Гречников Ф.В. Устройство для формообразования полых тройников - Патент на полезную модель. № 119655. Оpubл. 27.08.2012. Бюл. № 24.

Информация об авторах

Попов Игорь Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ig_popov@mail.ru. Область научных интересов: исследования процессов холодной штамповки.

Севериненко Антон Юрьевич, аспирант кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный ис-

следовательский университет). E-mail: antonsever@yandex.ru. Область научных интересов: проектирование штампов для холодной штамповки, исследования процесса формообразования тройников.

Петров Юрий Олегович, аспирант кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: Dyran3604@yandex.ru. Область научных интересов: исследования технологий изготовления тройников.

COMPUTER SIMULATION OF FORMING THIN-WALLED T-TEES

© 2014 I. P. Popov, A. Yu. Severinenko, Yu. O. Petrof

Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

The paper presents a new method of forming thin-walled t-tees. A finite-element software product ANSYS/LS-DYNA is applied to analyze the quality of the t-tees produced and to compare them with those obtained by flanging. The variation in thickness of t-tees is analyzed and the efficiency of the forming method proposed is confirmed.

Thin-walled t-tees, computer simulation, forming, ANSYS/LS-DYNA, flanging, variation in thickness.

References

1. Davidov O.Y., Egorov V.G., Nevstruev Y.A. Forming of unequal tees from tubular billet in split dies // Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. 2005. №6. P. 40-44. (In Russ.)
2. Forming of standard elements of pipeline systems using multipurpose hydraulic presses. Technologic recommendations / Kharkov branch office of NIAT. – Kharkov: 1985.

3. Titov R.S., Gilimzyanov Sh.N., Antropov V.V., Maslov V.D., Popov I.P. Ustroystvo dlya formoobrazovaniya troynikov [Devices for tees forming]. Patent of the Russian Federation, no. 67487, 2007. (Published 27.10.2007, bulletin no. 30).

4. Severenko A.Yu., Petrov Yu.O., Maslov V.D., Grechnikov F.V. Ustroystvo dlya formoobrazovaniya polykh troynikov [Devices for hollow tees forming]. Patent of the Russian Federation, no. 119655, 2012. (Published 27.08.2012, bulletin no. 24).

About the authors

Popov Igor Petrovich, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of the Department of Plastic Metal Working, Samara State Aerospace University. E-mail: ig_popov@mail.ru. Area of research: cold forming processes.

Severinenko Anton Yurevich, post-graduate student, Department of Plastic Metal Working, Samara State Aerospace Univer-

sity. E-mail: antonsever@yandex.ru. Area of research: design of cold-stamping dies, research of forming t-tees.

Petrov Yuri Olegovich, post-graduate student, Department of Plastic Metal Working, Samara State Aerospace University. E-mail: Dyran3604@yandex.ru. Area of research: techniques of t-tees manufacturing.