

УДК 621.774.37

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НОВОГО СПОСОБА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРОЙНИКОВ

© 2013 А.Ю. Севериненко, И.П. Попов, В.Д. Маслов

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

Поступила в редакцию 10.07.2013

В данной статье выполнен анализ нового способа формообразования тонкостенных равнопроходных тройников. Для анализа и оптимизации параметров процесса с целью уменьшения количества экспериментов и реальных прототипов применён конечно-элементный программный продукт ANSYS/LS-DYNA. Определен участок заготовки оказывающий наибольшие влияния на разнотолщинность и металлоёмкость детали. С помощью метода Бокса-Уилсона оптимизированы параметры совместного хода бокового и формующего пуансонов для обеспечения минимальной металлоёмкости и разнотолщинности тройника.

Ключевые слова: Тонкостенные равнопроходные тройники, ANSYS/LS-DYNA, разнотолщинность, метод Бокса-Уилсона, компьютерное моделирование, планирование эксперимента.

ВВЕДЕНИЕ

В конструкциях современных летательных аппаратов присутствует большое количество деталей (сотни и даже тысячи наименований на изделие в зависимости от класса летательного аппарата), изготавляемых штамповкой из полых трубных заготовок. Так из полых заготовок изготавливаются элементы воздушных, гидравлических, антиобледенительных и других систем.

Одним из видов таких деталей являются тройники. Тройники (рис. 1) нашли широкое применение не только в авиакосмической, но и в пищевой, химической, фармацевтической и других отраслях промышленности, в частности, при изготовлении и монтаже трубопроводов.

На производстве широко применяются различные способы изготовления тройников: давлением эластичной среды, импульсным электромагнитным полем и гидростатическим давлением жидкости. Однако, существующие технологические процессы не отвечают возросшим эксплуатационным и производственным требованиям, вследствие трудоемкости их изготовления, высокого расхода металла, большого объема доводочных работ и невысокого качества готовых деталей. Следовательно, задача совершенствования

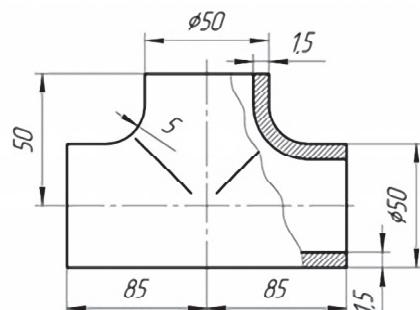


Рис. 1. Исследуемый тройник

технологий изготовления деталей из полых трубных заготовок является актуальной.

Из выше сказанного следует, что существует необходимость в разработке нового способа формообразование тройников, который позволяет добиться минимальной металлоёмкости, необходимого качества готового продукта, и возможного использования этого способа на универсальном оборудовании без использования расходных материалов. Такой способ был предложен [3, 4]. Схема штампа для формообразования тройников с основными конструктивными элементами представлена на рис. 2.

Штамповка осуществляется из трубной заготовки 1 со склоненными торцами. Внутренний

Севериненко Антон Юрьевич, аспирант кафедры обработки металлов давлением. E-mail: antonsever@yandex.ru
Попов Игорь Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением.

E-mail: ig.popov@mail.ru

Маслов Валентин Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением. E-mail: avia-tek@yandex.ru

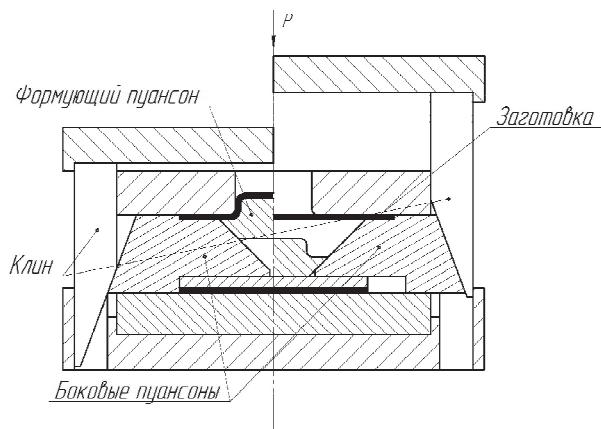


Рис. 2. Схема штампа для формообразования тройников:
1 – заготовка, 2 – формующий пuhanсон, 3 – боковые пuhanсоны, 4 – клинья

пuhanсон 2 выполнен жестким. Осевые пuhanсоны 3 имеют ступенчатые уступы на цилиндрической поверхности. Формовка отвода осуществляется действием давления формующего пuhanсона. Одновременно с этим идет процесс осадки цилиндрической стенки, что обеспечивает подачу металла в очаг деформации формовки. Поскольку заготовка имеет скошенные торцы, осевое сжатие осуществляется неравномерно: максимальное сжатие заготовки наблюдается со стороны формируемого отвода и убывает до нуля на противоположной стороне заготовки. При этом минимальную металлоемкость (минимальное утонение формируемого отвода и минимальное утолщение торца заготовки) можно обеспечить при рациональном сочетании деформации сжатия трубной заготовки вдоль ее оси с деформацией формовки отвода на боковой поверхности.

Для нахождения оптимальных параметров горизонтального движения осевых пuhanсонов и вертикального движения формующего элемента, требуется серия опытов. Такие экспериментальные исследования требуют больших затрат на изготовление опытного штампа и штамповки пробной партии деталей для его отработки. Однако в настоящее время у инженера появилась возможность применять универсальные математические пакеты позволяющие получить представление о напряженно-деформированном состоянии в технологических процессах обработки металлов давлением и технологических особенностях исследуемого процесса. Одним из таких программных продуктов, предназначенных для анализа процессов обработки металлов давлением является ANSYS/LS-DYNA.

Поэтому в данной работе для сокращения объема экспериментальных работ в процессе проектирования штампа для формообразования тонкостенных тройников применялся конечно-элементный программный продукт ANSYS/LS-DYNA.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Одна из задач исследования – определить, какие участки заготовки наиболее весомо влияют на изменение общей разнотолщинности и металлоемкости детали в целом.

С этой целью на рассматриваемой детали выбраны три наиболее характерные сечения, которые показаны на рис. 3. Сечение 1–1 – сечение, которое проходит через верхнюю образующую заготовки, включая формируемый отросток и его полюс; сечение 2–2 – сечение, проходящее через срединную образующую трубной заготовки; сечение 3–3 – сечение, охватывающее образующую заготовки, расположенную на противоположной от формируемого отростка стенке. На этих участках выбраны 12 равномерно расположенных по образующей заготовки элементов.

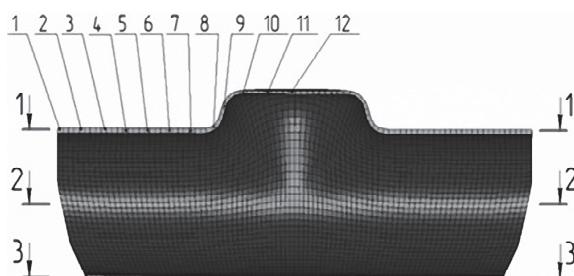


Рис. 3. Схема замера толщины

Для оценки разнотолщинности был введен коэффициент $y = \sqrt{\sum (S_0 - S_k)^2}$, где S_0 – толщина материала в замеряемой точке до начала формообразования, S_k – толщина материала в замеряемой точке после формообразования.

В результате компьютерного моделирования процесса формообразования тройника было получено распределение толщины в различных сечениях. Результаты вычислений значений коэффициента y для трёх сечений приведены в табл. 1.

В результате анализа установлено, что в сечении 1–1 коэффициент разнотолщинности y имеет максимальную величину. Если его принять за 100 %, то в сечениях 2–2 и 3–3 они будут соответственно равны 9% и 1,6 %.

Таким образом, наибольший интерес представляет участок 1–1, разнотолщинность которого можно использовать как основной параметр для оптимизации процесса формообразования.

МЕТОД БОКСА-УИЛСОНА

При проектировании штампа необходимо учесть влияние совместного хода бокового и фор-

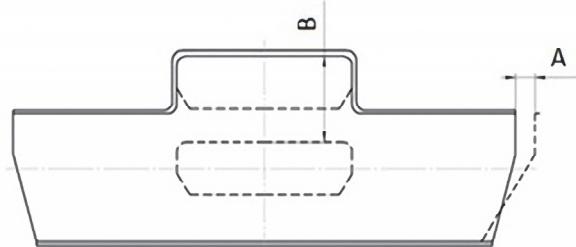
Таблица 1. Значения коэффициента разнотолщины y для сечений 1–1, 2–2, 3–3

Номер точки	$S_0, \text{мм}$	1–1		2–2		3–3	
		$S_k, \text{мм}$	$(S_0 - S_k)^2, \text{мм}^2$	$S_k, \text{мм}$	$(S_0 - S_k)^2, \text{мм}^2$	$S_k, \text{мм}$	$(S_0 - S_k)^2, \text{мм}^2$
1	1,5	1,59592	0,00920	1,49890	0,00000	1,49425	0,00003
2	1,5	1,58783	0,00771	1,50679	0,00005	1,49757	0,00001
3	1,5	1,58224	0,00676	1,51025	0,00011	1,49897	0,00000
4	1,5	1,56905	0,00477	1,51245	0,00015	1,49911	0,00000
5	1,5	1,54644	0,00216	1,51185	0,00014	1,49937	0,00000
6	1,5	1,51345	0,00018	1,51083	0,00012	1,49965	0,00000
7	1,5	1,50668	0,00004	1,51429	0,00020	1,50007	0,00000
8	1,5	1,50507	0,00003	1,49929	0,00000	1,51932	0,00037
9	1,5	1,25818	0,05848	1,46613	0,00115	1,53767	0,00142
10	1,5	1,11278	0,14994	1,41609	0,00704	1,54847	0,00235
11	1,5	1,05674	0,19648	1,36073	0,01940	1,55398	0,00291
12	1,5	1,02886	0,22198	1,31458	0,03438	1,55617	0,00315
$y, \text{мм}$	–	–	0,65773	–	0,06274	–	0,01024

мущего пуансонов. Необходимо подобрать такой совместный ход пуансонов, который позволил бы уменьшить разнотолщинность, в частности в сечении 1–1, и тем самым повысить эксплуатационные характеристики тройника.

Для определения параметров процесса обеспечивающих минимальную разнотолщинность в сечении 1–1 было выполнено планирование эксперимента и использован метод крутого восхождения Бокса-Уилсона [5].

В качестве факторов, влияющих на разнотолщинность выбраны: В – вертикальное перемещение формующего пуансона, мм; А – горизонтальное перемещение бокового пуансона, мм (рис. 4).

**Рис. 4.** Перемещения формующего и бокового пуансонов

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 2, матрица планирования и результаты выполненных по ней экспериментов представлены в табл. 3.

Таблица 2. Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы, мм	Кодовое обозначение	Интервалы варьирования	Уровни факторы		
			Верхний +1	Основной 0	Нижний -1
А – перемещение бокового пуансона	x_2	5	15	10	5
В – перемещение формующего пуансона	x_1	2,5	10	7,5	5

Таблица 3. Матрица планирования и результаты численного эксперимента

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	y
1	+1	-1	-1	0,66
2	+1	+1	-1	0,49
3	+1	-1	+1	1,09
4	+1	+1	+1	0,56

Модель процесса (уравнение регрессии) в общем виде для двух факторного эксперимента с варьированием факторов на двух уровнях имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2.$$

Значения коэффициентов находят по формулам [5]:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{0j} y_j}{N}; \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{N},$$

где x_{ij} – кодированное значение i -го фактора в j -м опыте; y_j – значение параметра оптимизации в j -м опыте; N – число опытов в матрице планирования.

Уравнение регрессии с кодированными переменными имеет вид

$$y = 0,7 - 0,18 x_1 + 0,13 x_2.$$

Формулы для преобразования кодированных значений в натуральные можно записать следующим образом:

$$x_1 = \frac{B - 7,5}{2,5}, \quad x_2 = \frac{A - 10}{5}.$$

После нахождения уравнения регрессии выполнялась оптимизация параметров процессов по методу крутого восхождения (таб. 4). Шаг движения по градиенту для фактора В принимаем равным $\Delta_1 = 0,5$. Тогда для фактора А шаг движения Δ_2 определим по выражению [5]:

$$\Delta_2 = \Delta_1 \frac{b_2 \varepsilon_2}{b_1 \varepsilon_1},$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – интервал варьирования факторов А и В, тогда $\Delta_2 = -0,35$.

Расчёт крутого восхождения представлен в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что наиболее рациональные параметры для процесса формообразования тройника являются данные по 7 опыту. Здесь на-

блюдается наименьший коэффициент разнотолщины y , а следовательно лучшие эксплуатационные характеристики изделия.

Полученные результаты позволили оптимизировать конструкцию промышленного штампа, внедренного на ОАО “Авиакор – авиационный завод” (рис.5). Осуществлена практическая проверка результатов компьютерного моделирования, аналитических зависимостей и основных технологических параметров. Изготовлена партия деталей, обладающих минимальным уровнем разнотолщины при формообразовании.

ВЫВОДЫ

1. С помощью конечно-элементного программного продукта ANSYS/LS-DYNA определены, какие участки заготовки наиболее весомо влияют на изменение общей разнотолщины и металлоемкости детали в целом.

2. Для обеспечения минимальной разнотолщины готового тройника, с помощью метода крутого восхождения Бокса-Уилсона, подобраны оптимальные значения перемещения бокового и формующего пуансонов.

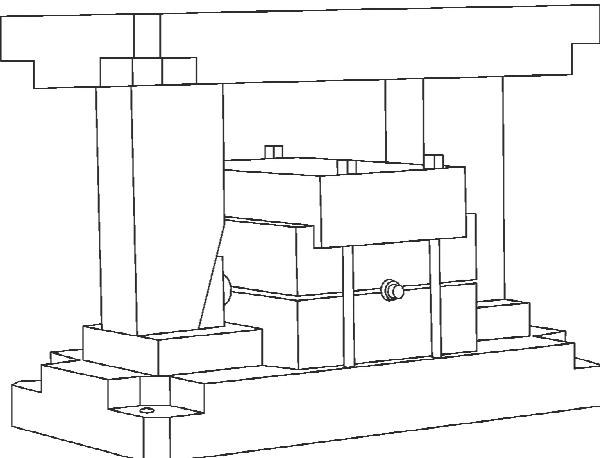


Рис. 5. Общий вид промышленного штампа

Таблица 4. Расчёт крутого восхождения

Наименование	B	A	y
Основной уровень	7,5	10	-
Коэффициент b_i	-0,18	0,13	-
Интервал варьирования ε_i	2,5	5	-
$b_i \times \varepsilon_i$	-0,44	0,63	-
Шаг движения по градиенту	-0,35	0,5	-
Округленный шаг	-0,5	0,5	-
Опыт 5 мысленный	7	10,5	-
Опыт 6 мысленный	6,5	11	-
Опыт 7 реализованный	6	11,5	0,306

3. Полученные результаты применены в конструкции промышленного штампа на ОАО “Авиакор – авиационный завод”, изготовленена партия деталей обладающих минимальным уровнем разнотолщины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штамповка неравнопроходных тройников из трубных заготовок в разъемных матрицах / О.Ю.Давыдов, В.Г. Егоров, Ю.А. Невструев // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. №6. С. 40 – 44.
2. Формообразование нормализованных элементов трубопроводных систем на универсальных гидропрессах. Технологические рекомендации. Харьков: Харьковский филиал НИАТ, 1985.
3. Устройство для формообразования тройников - Патент на полезную модель. № 67487. Опубл. 27.10.2007. Бюл. № 30
4. Устройство для формообразования тройников - Патент на полезную модель. № 119655. Опубл. 27.08.2012. Бюл. № 24
5. Каргин В.Р., Зайцев В.М. Основы инженерного эксперимента. Учеб. пособие [под общ. ред. Ф.В. Гречникова]. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2001. С. 61 – 63.

PARAMETERS OPTIMIZATION OF NEW METHOD OF THIN-WALLED TEES FORMING

© 2013 A.Yu. Severinenko, I.P. Popov, V.D. Maslov

Samara State Aerospace University named after Academician S. P. Korolyov
(National Research University)

In the given article the new method of thin-walled t-tees forming is presented. ANSYS/LS-DYNA is applied to analyze and optimize parameters of process for the purpose of reduction the quantity of experiments and real prototypes. The part of the blank which the greatest influences on non-uniform thickness and metal consumption is spotted. By means of the Box-Uilson method parameters of a joint stroke of side and forming are optimised.

Key words: Thin-walled t-tees, ANSYS/LS-DYNA, non-uniform thickness, Box-Uilson method, simulation, design of experiment.

Anton Severinenko, Graduate Student at the Metal Forming Department. E-mail: antonsever@yandex.ru

Igor Popov, Doctor of Technics, Professor at the Metal Forming Department, Samara State Aerospace University.

E-mail: ig_popov@mail.ru

Valentin Maslov, candidate of Technics, Associate Professor at the Metal Forming Department. E-mail: avia-tek@yandex.ru