

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВКИ ОТВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

©2018 Николенко К.А., Вишнякова Н.А., Никонов Д.А.

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева» г. Самара, Россия

Выполнено компьютерное моделирование и представлены технологические параметры процесса формообразования толстостенных крутоизогнутых отводов из различных материалов. Выполнены экспериментальные исследования, подтверждающие достоверность полученных результатов.

Ключевые слова: толстостенный крутоизогнутый отвод, технологические параметры, ANSYS/LS-DYNA, критерий разрушения, напряжения.

В различных отраслях промышленности, в том числе в химической, фармацевтической, авиационной, аэрокосмической, нефтеперерабатывающей и ряде других, нашли широкое применение толстостенные крутоизогнутые отводы из малопластичных материалов, титановых и алюминиевых сплавов [2,3]. Одним из требований к этим изделиям является малый относительный радиусгиба, менее 1,5 мм.. Изготовить такую деталь с применением существующих технологий в виде штамповки раздачей на рогообразной оправке, штамповки с применением специализированного оборудования является сложной и трудоемкой задачей [1, 5, 6, 7]. Разработка процесса, позволяющего штамповать отвод из различных материалов на малый радиусгиба, является важной и актуальной задачей.

В работе представлены результаты разработки способа штамповки элементов трубо-

проводов проталкиванием заготовки в гарантированный зазор, образованный внутренней оправкой с одной стороны и тороидальным каналом разъемной матрицы с другой стороны (патент № 134459, МПК В21С 37/29) [4]. Такой подход к формообразованию отводов позволяет получать изделия из малопластичных материалов на уголгиба 90 градусов и относительным радиусомгиба менее 1,5.

Для исследования процесса формообразования и определения технологических параметров выполнено моделирование в программном продукте ANSYS-LS/DYNA [4, 6]. В результате моделирования установлены значения напряжений, деформаций и толщины на заключительной стадии штамповки (рис. 1).

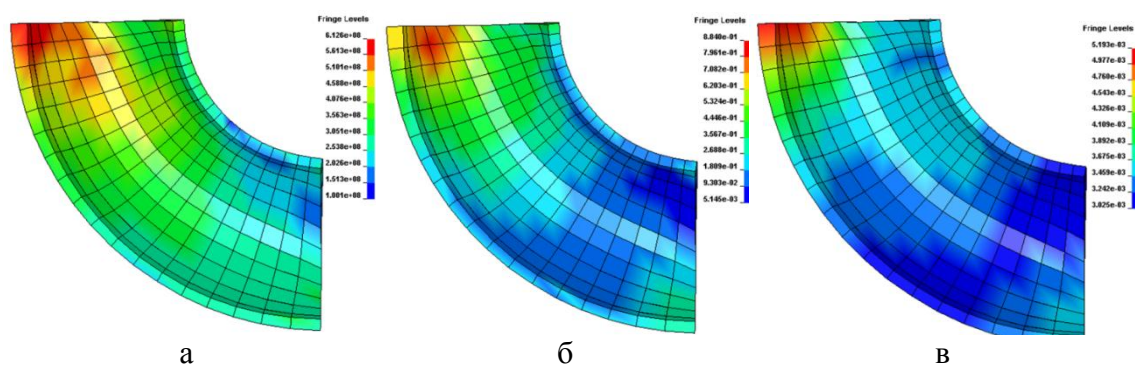
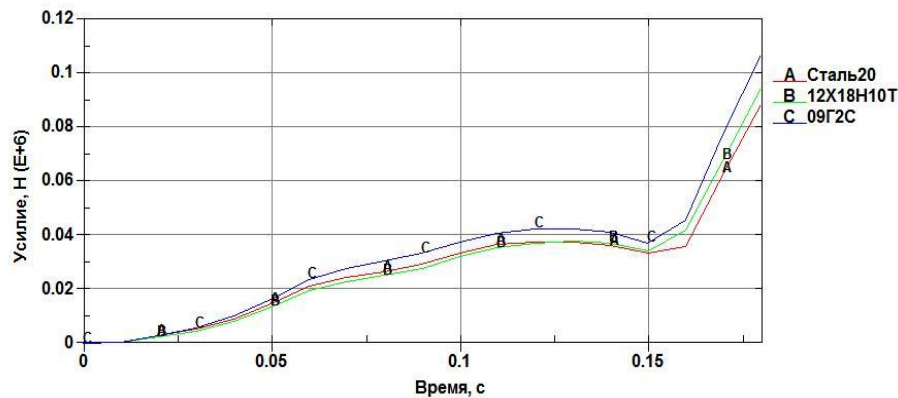


Рисунок 1 – Эпюры распределения интенсивности напряжений, деформаций и толщины на заключительной стадии процесса формообразования (уголгиба 90^0) для материала сталь 20: а - интенсивность напряжений, Па; б - интенсивность деформаций (%); в - распределение толщины, мм* 10^3 .

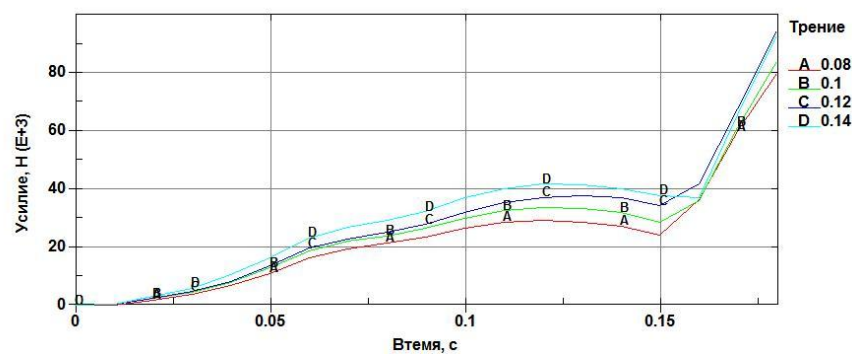
В результате моделирования установлены силовые параметры процесса для различных материалов в зависимости от различных коэффициентов трения. На графиках представлены максимальные усилия. При этом представлены две стадии процесса. На первой

стадии заготовка деформируется до касания торца участка оснастки, предназначенного для калибровки изделия давлением в осевом направлении. На второй стадии показано значение усилия после калибровки.

Усилие процесса формообразования для материалов 09Г2С, Сталь20, 12Х18Н9Т



Усилие процесса формообразования для различных коэффициентов трения материал Сталь20



Значение максимального усилия процесса на стадии формообразования (1 стадия) и калибровки (2 стадия) для различных материалов.

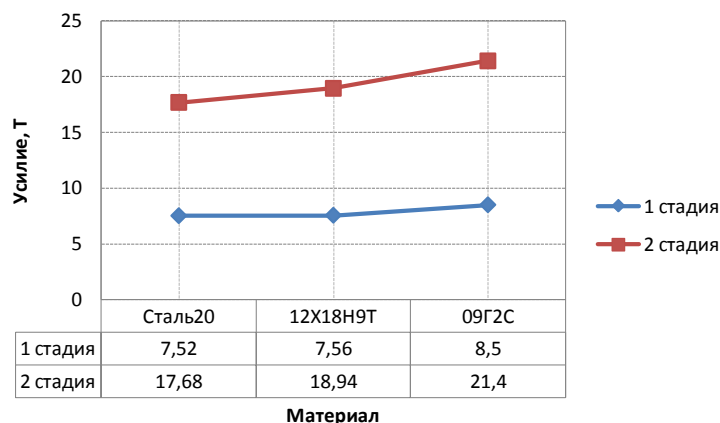


Рисунок 2 – Усилие процесса формообразования

Для оценки разрушения изделия выполнена обработка результатов компьютерного моделирования с учетом предельной степени деформации, рассчитанной по критерию Колмогорова.

$$\psi = \frac{\int_0^t d\varepsilon_i}{\varepsilon_{\rho}^{cc}} \geq 1$$

-критерий Колмагорова;

ва;

при $\psi \geq 1$ - происходит разрушение материала;

при $\psi < 1$ - разрушения не наблюдается;

$$\varepsilon_{\rho}^{cc} = 2\delta_p \exp\left[-2.16 \frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right]$$

-предельная

степень деформации.

Расчет критической степени деформации выполняется для области по минимальному радиусугиба на выходном торце изделия в зависимости от перемещения формообразующего пуансона. В результате моделирования определены предельные параметры процесса формообразования для материалов: титанового сплава ОТ4, алюминиевого сплава АМг6 и стали 20. Критерий Колмогорова позволяет дать количественную оценку предельной степени деформации. Результаты моделирования представлены на графике (рис. 3).

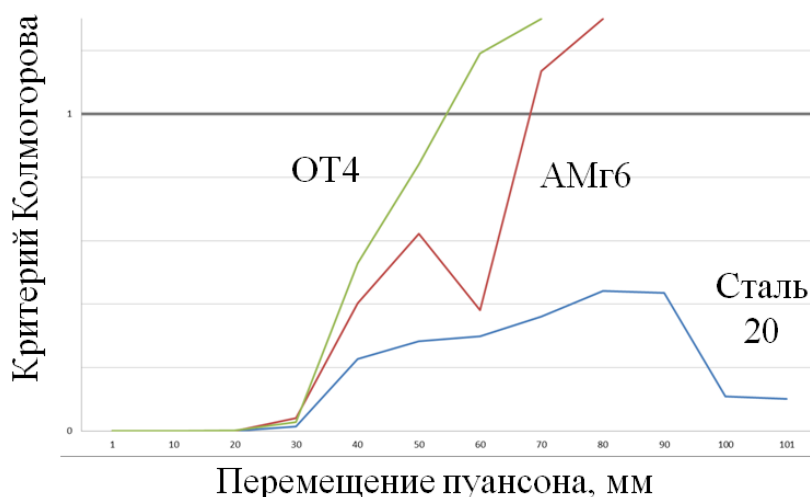


Рисунок 3 – Значение предельной степени деформации для материалов ОТ4, АМг6М, Сталь 20

В результате анализа полученных графиков можно сделать следующий вывод: при формообразовании отвода из стали 20 разрушения не наблюдается. При этом наибольшая степень критической деформации возникает на торце с передающим усилием и выходном торце по минимальному радиусугиба. При формообразовании отводов из сплава ОТ4 и алюминиевого сплава АМг6М возникает разрушение на торцах по минимальному радиусугиба.

В результате анализа выведена теоретическая зависимость, позволяющая определить предельную степень деформации на выходном торце изделия в виде:

$$E_{\theta} = \frac{\sigma_{TO}}{\Pi} \left(\exp \left(f \left(\frac{2\Pi}{\sigma_{TO}f} \ln \left(\frac{\pi(1,5(a+b) - \sqrt{ab})}{2\pi R_{\theta}} \right) \right) \right) - 1 \right)$$

при $E_{\theta}^{\max} = E_{\theta} \leq \delta p$ - разрушения не наблюдается;

при $E_{\theta}^{\max} = E_{\theta} \geq \delta p$ - наблюдается разрушение в виде разрыва кромки.

В таблице 1 представлена оценка разрушения заготовки для различных материалов.

Таблица 1 – Оценка разрушения при формообразовании для различных материалов

Марка материала	Рассчитанное значение тангенциальной деформации - E_{θ} , %	Относительное удлинение при испытаниях на растяжение - δp , %	Оценка разрушения при штамповке
Ст 20	20	25	$E_{\theta} < \delta p$ - штамповка без разрушения
ОТ4	23	8	$E_{\theta} > \delta p$ - наблюдается разрушение торца
АМг6М	31	20	

Отметим, что полученный критерий дает удовлетворительные результаты при формообразовании отводов на угол 90 градусов. Для оценки штампуемости с меньшим угломгиба необходим дополнительный анализ результатов компьютерного моделирования.

Для экспериментальной проверки моделирования выполнено формообразование серии заготовок из алюминиевого сплава АМг6М. На рисунке 4 представлена оснастка

и серия заготовок из алюминиевого сплава. Установлено, что при формообразовании возникает трещина на торце по минимальному радиусугиба. С целью снижения упрочнения материала после формообразования и предотвращения разрушения изделия необходимо отжигать полуфабрикат на разных стадиях процесса формообразования, соответствующих углугиба 30 и 60 градусов.

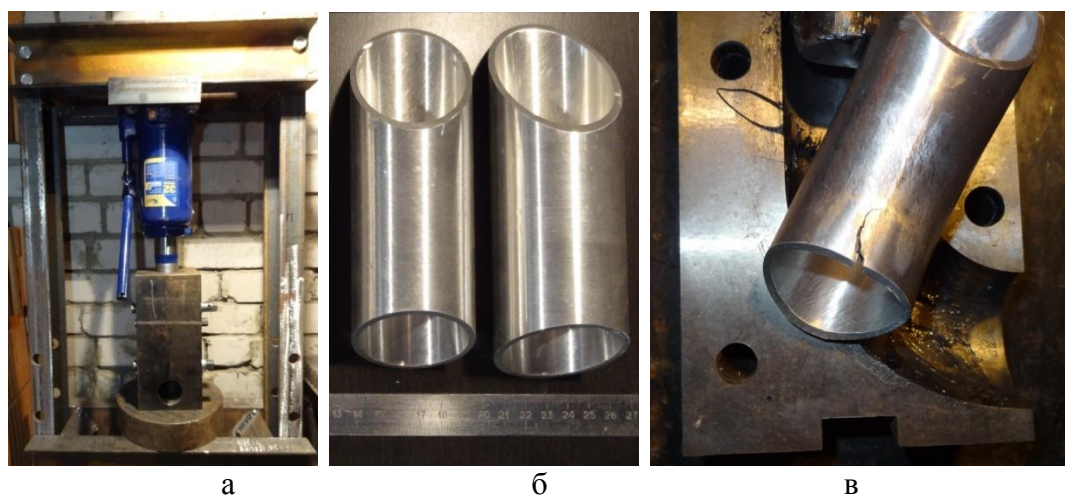


Рисунок 4 – Результаты экспериментальных исследований: а – штамповая оснастка; б – заготовки из алюминиевого сплава АМг6М; в – разрушение заготовки на выходном торце по минимальному радиусугиба

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Выполнено моделирование процесса штамповки крутоизогнутых отводов в программном продукте ANSYS/LS-DYNA. В результате компьютерного моделирования установлены силовые параметры процесса в зависимости от разных коэффициентов трения для материалов Сталь 20, ОТ4, АМг6М.

2. Построены графики предельной степени деформации по критерию Колмогорова для материалов с различными пластическими характеристиками, таких как титановый

сплав ОТ4, алюминиевый сплав АМг6М и сталь 20. Установлено, что отводы из титанового и алюминиевого сплава разрушаются на выходном торце по минимальному радиусугиба. При штамповке отводов из стали 20 разрушения не наблюдаются. Для штамповки отводов из малопластичных материалов необходимо отжигать полуфабрикаты, полученные при углегиба 30 и 60 градусов.

3. Выведена аналитическая зависимость, позволяющая определить тангенциальную деформацию на торце, что дает возможность

теоретически оценить возможность предельной штамповки для различных материалов.

4. Выполнена экспериментальная проверка, подтверждающая достоверность полученных результатов моделирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гречников Ф.В., Попов И.П., Демьяненко Е.Г. Способ пластического структурообразования. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. № 5-2 (36). С. 241-244.
2. Демьяненко Е.Г., Тлустенко С.Ф., Попов И.П. Анализ технологических процессов отбортовой формовки в системе LS-DYNA // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2006. № 2-2 (10). С. 282-285.
3. Маслов В.Д., Николенко К.А. Моделирование процессов листовой штамповки в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA; Учебное пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 80 с.
4. Попов И.П., Маслов В.Д., Николенко К.А., Брусин В.Д., Михеев В.А., Хритин А.А. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов: Пат. RU 2294807 С1 (РФ). 2007.
5. Попов И.П., Демьяненко Е.Г., Десятниченко К.Н. Устройство для формообразования тонкостенных усеченных сужающихся оболочек: Пат. Rus 78709 от 02.04.2008.
6. Хаймович И.Н., Хаймович А.И. Проектирование и реализация системы автоматизированного проектирования штамповки компрессорных лопаток из титановых сплавов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2015. № 2. С. 37-43.
7. Khaimovich I.N. Computer aided design of blank forging production facilities for aircraft engine compressor blades // Russian Aeronautics. 2014. N 2. С. 169-174.

DETERMINATION OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DIE FORMING OF ANGLE PIPE

© 2018 K.A. Nikolenko, D.A. Nikonov, N.A. Vishnyakova

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The results of processing computer simulation and determining the limiting degree of deformation by the Kolmogorov criterion are presented. The derivation of the dependence for the evaluation of the destruction of low-plastic materials at the end is made at an angle of 90^0 bending.

Keywords: Steeply curved elbow, computer model, ANSYS / LS-DYNA, corrugation, criterion of destruction, stress, strain, thickness, experimental studies.