УДК 621.735

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ РАЗДАЧЕ ПО  
ОСЕСИММЕТРИЧНОМУ ПУАНСОНУ**

Д.А. Потянихин1,2, Б.Н. Марьин1

*1 Комсомольский-на-Амуре государственный университет,  
Комсомольск-на-Амуре*

*2 Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН,  
Комсомольск-на-Амуре*

**STRESS-STRAIN STATE OF TUBULAR BLANK DURING  
EXPANDING BY AXISYMMETRIC DIE**

D.A. Potianikhin1,2, B.N. Maryin1

*1 Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-na-Amure*

*2 Institute of Machinery and Metallurgy FEB RAS, Komsomolsk-na-Amure*

**Аннотация**. Представлены результаты моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния тонкостенной трубчатой заготовки из алюминиевого сплава в процессе изготовления соединительного патрубка путем раздачи по стальному пуансону. Рассматривается осесимметричный пуансон в виде тела вращения с криволинейной образующей, имеющей участки разного направления выпуклости. Исследовано влияние толщины заготовки на распределение остаточных напряжений, пружинение после снятия нагрузки и утонение стенок.

**Abstract**. The results of finite element simulation of the stress-strain state of a thin-walled tubular blank made from aluminum alloy in the process of manufacturing a connecting pipe by distribution on a steel punch are presented. The axisymmetric punch in the form of a body of revolution with a curvilinear generatrix is considered. The influence of the thickness of the billet on the distribution of residual stresses, elastic springing after removal of the load and wall thinning was investigated.

***Ключевые слова****: обработка материалов давлением, формообразование, раздача трубы, конечно-элементное моделирование, упругое пружинение.*

*Keywords: processing of materials by pressure, shaping, pipe distribution, finite element simulation, spring back.*

Целью представленной работы является построение и анализ модели технологического процесса раздачи трубчатой заготовки по осесимметричному пуансону. Раздача концов труб по симметричным конусообразным пуансонам в рамках жесткопластической модели исследована достаточно подробно [1, 2]. Особенностью настоящего исследования является выбор пуансона в форме тела вращения с криволинейной образующей, имеющей участки разного направления выпуклости.

Схема пуансона для раздачи концов труб представлена на рис. 1, а. На чертеже приведена половина осевого сечения. Линейные размеры пуансона (в миллиметрах) *L*=50; *L*1=20; *L*2=5; *L*1=50; *L*3=5; *R*1=10; *R*2=102,18; *R*3=102,18; *R*4=12. Угловые размеры *α*1=1°, *α*2=5,622°, *α*3=5,622°, *α*4=1°. На рис. 1, б представлена геометрическая модель пуансона и трубчатой заготовки (в разрезе). Длина заготовки в вычислительных экспериментах выбиралась равной 60 мм, внутренний радиус – 10 мм, толщина стенки *d*0 изменялась от 0,5 до 2 мм с шагом 0,5 мм. Коэффициент раздачи R4/R1 = 1,2.

|  |  |
| --- | --- |
|  | C:\Users\User\Desktop\Geom-4.png |
| а) | б) |
| *А*, *В* и *Д* – прямолинейные участки; *Б* – вогнутый участок, *Г* – выпуклый участок | |
| Рисунок 1 − Схема пуансона (а) и геометрическая модель пуансона и трубчатой заготовки (б) | |

Для описания напряженно-деформированного состояния заготовки и оснастки используется билинейная упругопластическая модель с упрочнением. Пуансон выполнен из стали 30ХГС, труба – из алюминиевого сплава Д16. Параметры модели для материалов, используемых в задаче, приведены в табл. 1 [3,4].

Критерием наступления пластического состояния материала является условие текучести Мизеса

, (1)

где ,, – главные напряжения, – предел текучести.

Таблица 1 – Механические свойства материалов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Материал | |
| Сталь 30ХГС | Алюминиевый сплав Д16 |
| Модуль Юнга *E*, ГПа | 205 | 74,6 |
| Коэффициент Пуассона ν | 0,30 | 0,34 |
| Предел текучести *σ*T, МПа | 876 | 318 |
| Модуль упрочнения *E*T, ГПа | 3,69 | 0,7 |
| Предел прочности *σ*В, МПа | 1000 | 520 |

В пакете МКЭ-анализа ANSYS Workbench проведен анализ напряженно-деформированного состояния трубчатой заготовки. Определено утонение стенки трубы, высота патрубка после формоизменения, коэффициенты упругого пружинения в осевом и радиальном направлениях. Определены остаточные напряжения и необратимые деформации. Установлено, что чем больше толщина стенки при фиксированных высоте и внутреннем диаметре, тем больше остаточные напряжения и пружинение в радиальном направлении после снятия оснастки – и тем меньше коэффициент запаса прочности в процессе формоизменения. Также с увеличением толщины стенки трубы сильнее проявляется неоднородность распределения деформаций по толщине. При этом на относительную величину утонения толщина стенки влияния не оказывает.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 12-34-56789).*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Веселов, А.А. Определение размеров концов труб после раздачи методом пластического деформирования / А.А. Веселов // Морской вестник. 2012. № 1. С. 15–16.

2 Афанасьев, А.Е. Компьютерный анализ процесса раздачи труб прессованием / А.Е. Афанасьев, В.Р. Каргин, Б.В. Каргин // Науковедение: интернет-журнал. 2016. Т. 8, № 2. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/22TVN216.pdf> (дата обращения: 25.03.2020).

3 Марочник сталей и сплавов / М.М. Колосков, Е.Т. Долбенко, Ю.В. Каширский и др.; под ред. А.С. Зубченко. М.: Машиностроение, 2001. 627 с.

4 Промышленные алюминиевые сплавы: справ. изд. / С.Г. Алиева, М.Б. Альтман, С.М. Амбарцумян и др. 2-е изд., перераб и доп. М.: Металлургия, 1984. 528 с.