

5. Кохан Л.С., Морозов Ю.А., Шульгин А.В. Изменение толщины стенок цилиндрических стаканов при вытяжке без прижима // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений: обзорно-аналитический и научно-технический журнал. – М.: РУДН, 2014. – вып. 5. – С. 9 – 13.
6. Бондарь В.С., Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф. Вязкопластический изгиб и скручивание листа М.:МГТУ «МАМИ», 2003. 168 с.
7. Типалин С.А. Определение накопленной деформации в процессе выдавливания технологической канавки / Заготовительные производства в машиностроении. 2013, № 8, с. 22 – 24.

### **Исследование процесса выдавливания холодной объемной штамповкой полых деталей типа «поршень» цилиндра тормозной системы автомобиля**

Филиппов Ю.К., Типалин С.А., Петров М.А., Анфимов Ю.Н., Филиппов К.Ю.  
Университет машиностроения  
+7 /495/ 223-05-23, доб. 1282, e-mail: [kiod@mami.ru](mailto:kiod@mami.ru)

*Аннотация.* Исследованию подвергается процесс выдавливания полых детали типа поршень автомобильного тормозного цилиндра. Проводится моделирование процесса выдавливания детали с различной толщиной дна. Для моделирования используется конечно-элементная система Q-Form 2D. Приводятся исходные данные и результаты моделирования.

*Ключевые слова:* поршень тормозного цилиндра, моделирование, обратное выдавливание, толщина дна, технологический процесс.

Получение заготовок для поршней методами обработки давлением являются наиболее перспективными [1, 2, 3, 5, 7, 11]. В современном производстве, когда закупка экспериментального инструмента и оборудования становится крайне невыгодной, важнейшую роль играет теоретическое моделирование методом конечно-элементного анализа. Такой анализ показывает все интересующие инженера технологические характеристики при разработке новых процессов. Как показывает практика, при производстве изделий процесс, который был рассчитан на ЭВМ конечно-элементной системой, не отличается от действительного [4, 6, 8, 9, 10, 12].

**Целью работы** является разработка и исследование технологических процессов штамповки детали типа «поршень» с заданной конфигурацией и геометрическими размерами. В работе проводятся численные исследования процесса выдавливания полых деталей с различной толщиной дна в конечно-элементной системе Q-Form 3D.

На рисунке 1 представлена деталь «поршень тормозного цилиндра», а на рисунке 2 – существующий технологический процесс его изготовления. Как правило, детали такого типа изготавливаются для автомобильной промышленности, где потребность в них достигает 2 – 3 млн. штук в год. С целью обеспечения конкурентоспособности производственного процесса изготовления таких изделий необходимо снижать себестоимость за счет внедрения новых технических решений.

На рисунке 3 показан предлагаемый технологический процесс получения детали. На первом технологическом переходе начальное формообразование получает торцевая часть заготовки, а на втором переходе происходит окончательное формообразование внутренней поверхности и стенок детали. Конечный результат исследуемой технологии не выходит за рамки заданной геометрии и допускаемых размеров.

Конечно-элементный анализ проводился в программе QForm 3D. Искомой величиной является значение деформации и определение кинематики течения металла при равной толщине стенки и переменной толщине дна, причем сила деформирования должна оставаться минимальной. По результатам моделирования производится оценка физико-механического

состояния деформируемого металла в каждой точке очага деформации.

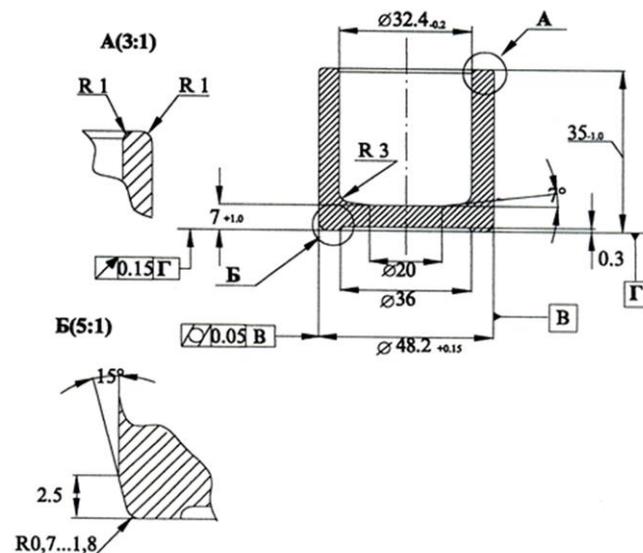
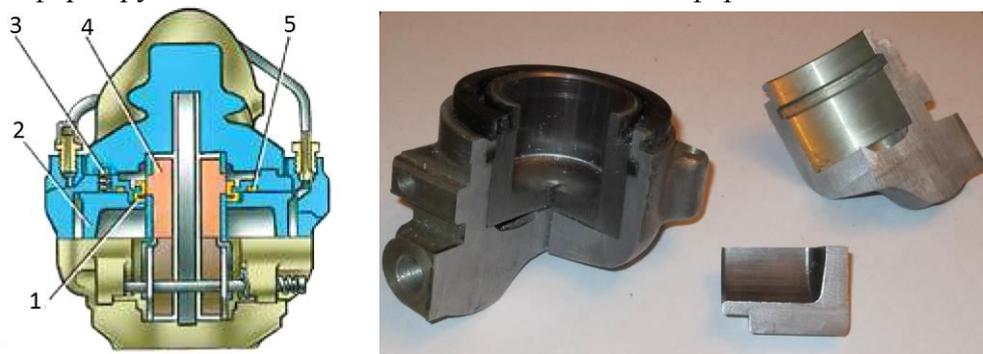


Рисунок 1. Чертёж детали «поршень тормозного цилиндра»

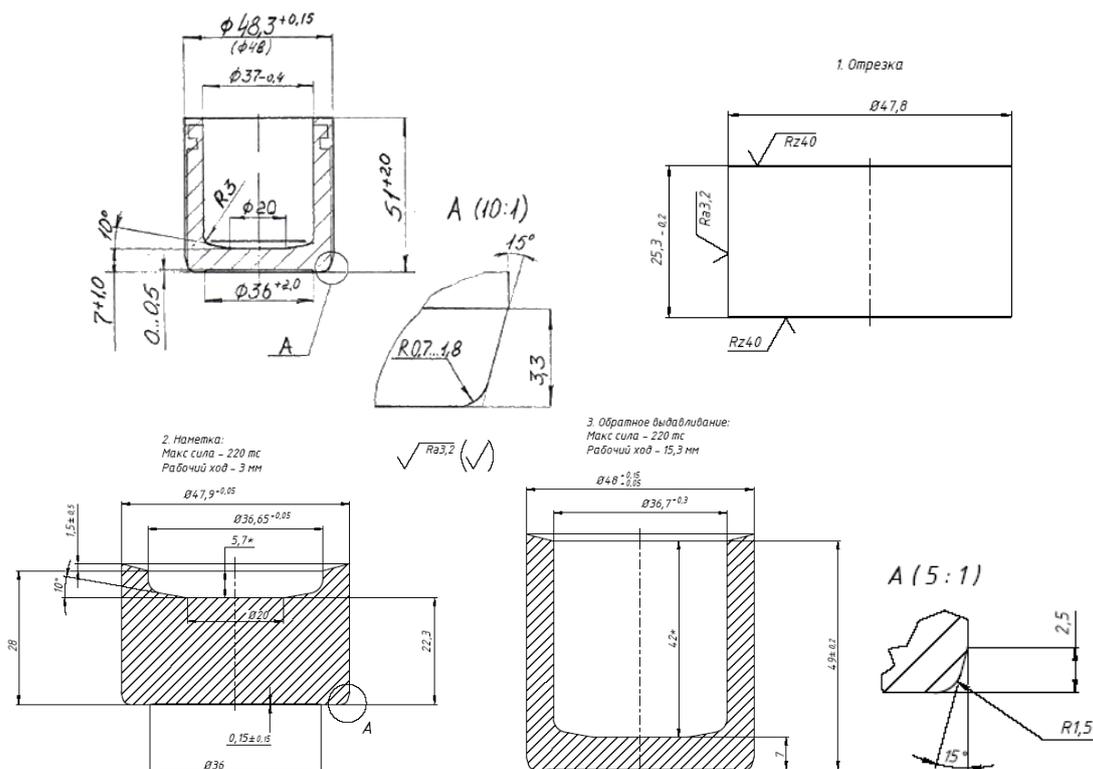
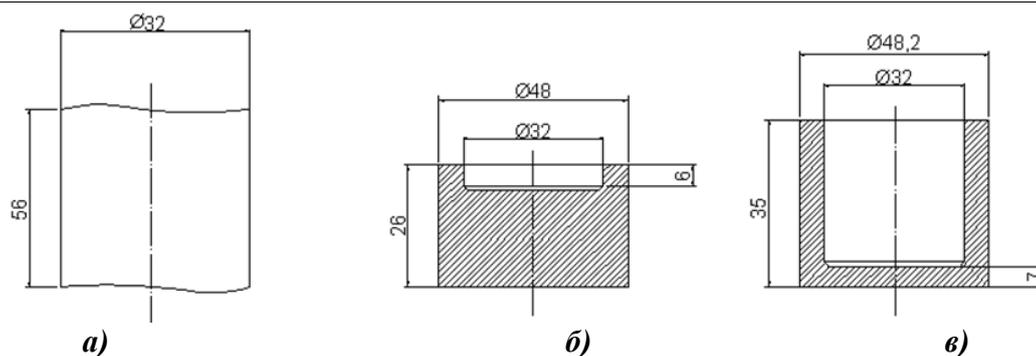


Рисунок 2. Существующий технологический процесс изготовления детали «поршень тормозного цилиндра»



**Рисунок 3. Новый технологический процесс детали «поршень тормозного цилиндра»: а – заготовка/70 тонн; б – 1-ый переход/калибровка/120 тонн; в – 2-ой переход/обратное выдавливание/160 тонн)**

На рисунках 4 – 5 показаны результаты моделирования технологического процесса для стали 10 в соответствии с параметрами, представленными в таблице 1. По результатам проведенного моделирования получены значения требуемой силы деформирования для каждого технологического перехода (таблица 2).

Таблица 1

#### Параметры моделирования

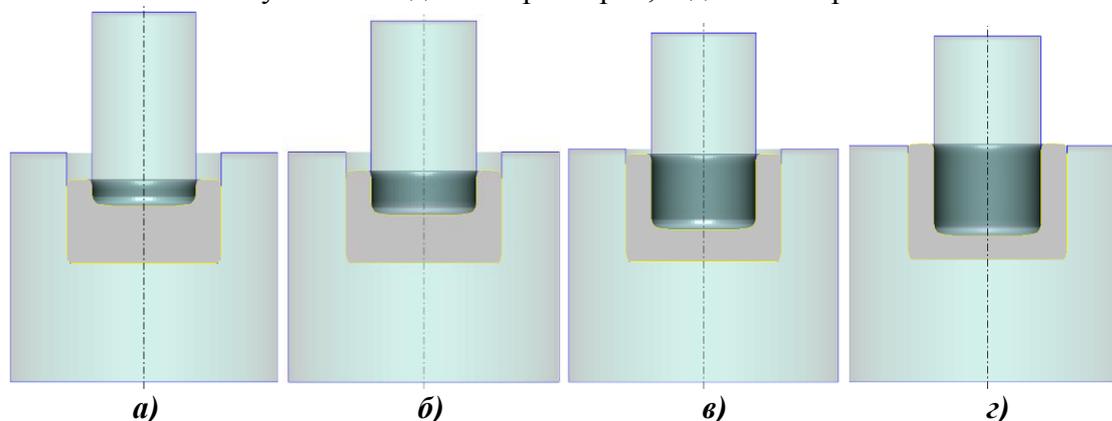
№ п/п	Параметр	Значение
1	Коэффициент трения	0,1
2	Температура окружающей среды, °С	20
3	Толщина дна поковки, мм	4 – 7
4	Номинальная сила механического пресса, МН	6,3

Таблица 2

#### Полученные значения силы деформирования

Номер позиции	Операция	Значение силы, кН
1	Осадка	1 078
2	Обратное выдавливание	1 850

Из рисунка 6 видно, что при различной толщине дна детали ( $S_7 = 7\text{ мм}$ ;  $S_6 = 6\text{ мм}$ ;  $S_5 = 5\text{ мм}$ ;  $S = 4\text{ мм}$ ) сила, требуемая для выдавливания материала и формирования вертикальных стенок, остаётся практически неизменной для всех исследуемых размеров. Однако при уменьшении толщины дна детали появляется дефект типа «утяжина» (рисунок 7а). Дефект увеличивается пропорционально уменьшению дна поршня, и таким образом происходит нарушение технических условий изделия и размеров, заданных чертежом.



**Рисунок 4. Моделирование технологического процесса детали «поршень тормозного цилиндра»**

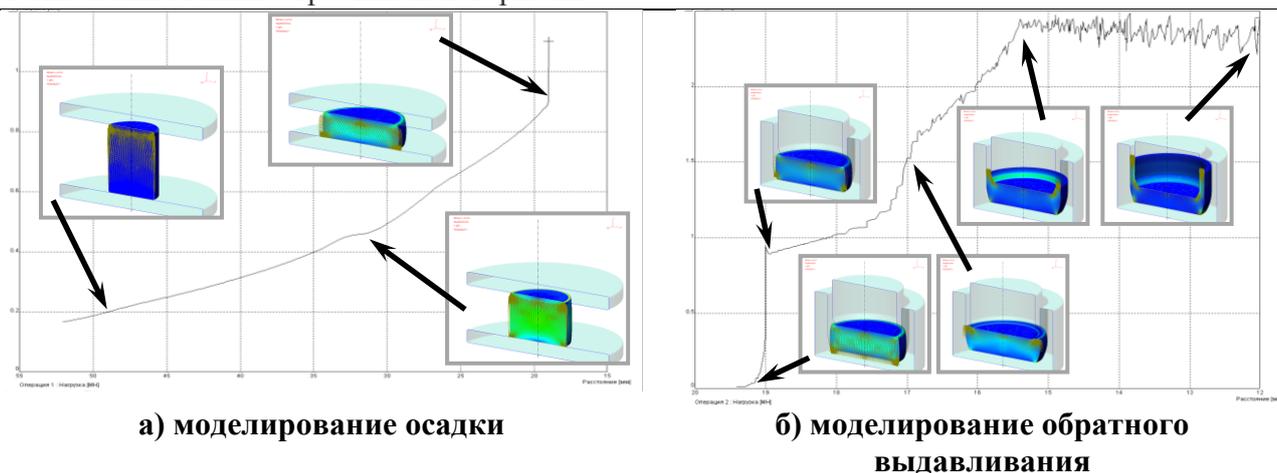


Рисунок 5. Диаграммы сила-путь, полученные при численном моделировании технологических переходов

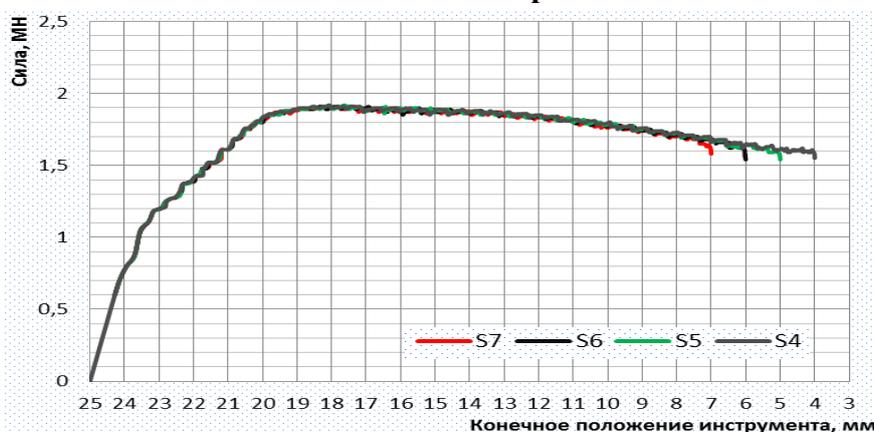


Рисунок 6. Сравнение графиков зависимости сила-перемещение при формообразовании детали «поршень тормозного цилиндра» с различной толщиной дна

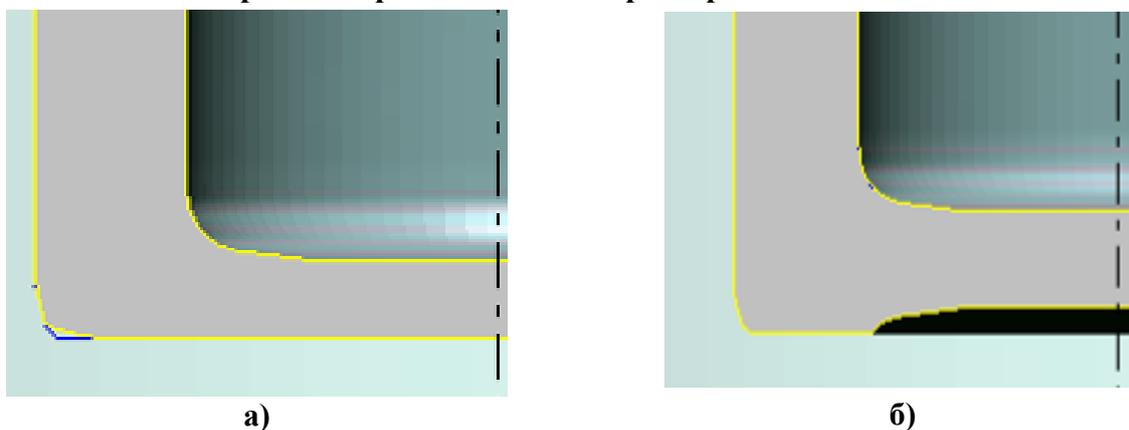
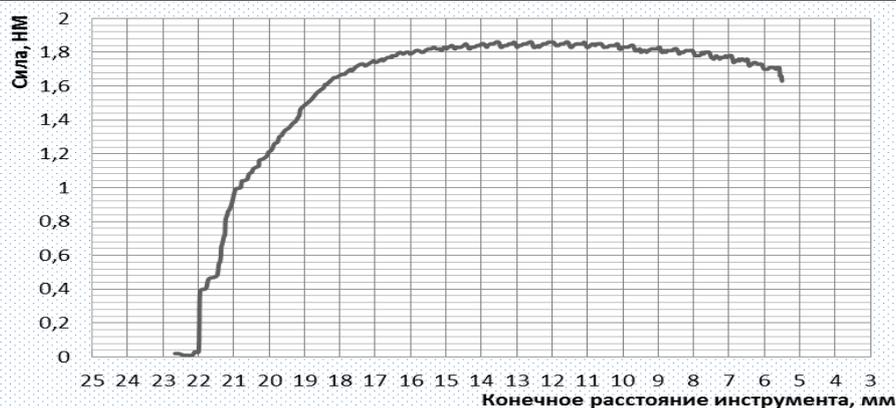


Рисунок 7. Устранение дефекта типа «утяжина» (а) за счет оптимизации инструмента (б)

Решением, разработанным в ходе исследования проблемы, стала доработка геометрии дна поршня (рисунок 7б), за счет уменьшения стенки дна не с внутренней, а с наружной стороны полой детали. Такое формообразование детали препятствует появлению дефекта типа «утяжина» за счет более оптимального перераспределения металла в очаге деформации на этапе холодного обратного выдавливания. При этом сила, требуемая для штамповки проработанной детали (рисунок 8), практически не изменяется по сравнению с прошлыми исследуемыми вариантами.



**Рисунок 8. График зависимости сила-перемещение при формообразовании по новой технологии детали «поршень тормозного цилиндра»**

### Выводы

1. Процесс моделирования показал, что сила деформирования при обратном выдавливании до получения толщины дна равной толщины стенки изменяется не значительно.
2. Предлагаемый технологический процесс предполагает следующие преимущества по сравнению с действующим технологическим процессом: экономия металла за счет уменьшения толщины дна детали и, как следствие, уменьшение массы конечного изделия. Также устраняется появление дефекта типа «утяжина» из-за более благоприятного течения материала внутри матрицы.

### Литература

1. Филиппов Ю.К. и др. Способ изготовления полых деталей. А.С. СССР № 1648598. 15.1.1991.
2. Холодная объемная штамповка. Справочник / Под ред. Г.А. Навроцкого, В.А.Головина, А.Ф. Нистратова. М.: ВМашиностроение, 1973. 496 с.
3. Навроцкий Г.А., Головин В.А., Филиппов Ю.К. Исследование пластического формоизменения в процессах обработки металлов давлением методом муаровых полос. Учебное пособие. М.: МАМИ. 1985. 65 с.
4. Молодов А.В., Филиппов Ю.К. Моделирование процессов холодного комбинированного выдавливания полусферических деталей с фланцем // КШП ОМД. 2012. №5. – С. 27 – 30.
5. Филиппов Ю.К., Игнатенко В.Н., Рагулин А.В. Экспериментальные исследования кинематики течения металла при комбинированном радиальном и обратном выдавливании осесимметричных деталей с фланцем в коническом инструменте // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2011, № 9. М., МГТУ «СТАНКИН», С. 33 – 37.
6. Типалин С.А. Исследование и разработка методики расчета процесса профилирования ленты при локальном формоизменении / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук М.МАМИ, 1998. 181 с.
7. Типалин С.А. Экспериментальное исследование процесса выдавливания технологической канавки в оцинкованной полосе / Известия МГТУ «МАМИ», 2012. № 2. Т. 2. С. 208 – 213.
8. Гневашев Д.А., Филиппов Ю.К., Перфилов В.И. Моделирование выдавливания осесимметричной детали с помощью системы QFORM 2D/3D // Известия ТулГУ, Заготовительные производства в машиностроении (кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства), № 12, 2003, С. 26 – 27.
9. Filippov Yu.K., Kalpin Yu.G., Ragulin A.V., Zaicev A.G. Research of deformation and stress state schemes for steel hardness. Штутгарт, 2013 г., июнь Международная конференция.
10. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Современные методы зубошлифования цилиндрических колес Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2010.

11. Крутина Е.В., Калпин Ю.Г. Определение пластичности металлов методом комбинированного поперечного выдавливания и высадки / Известия МГТУ «МАМИ». 2012. Т. 2. № 2 (14). С. 95 – 98.
12. Filipov Yu.K., Kalpin Yu.G., Ragulin A.V., Zaicev A., Anfimov Yu.N. Developing of technological process for the cold forging of thin-walled bushes with regard of plastic properties. 46th ICFG Plenary Meeting 2013, 15th – 18th September Paris, France.

### **Исследование трубчатых образцов на растяжение (плоская деформация)**

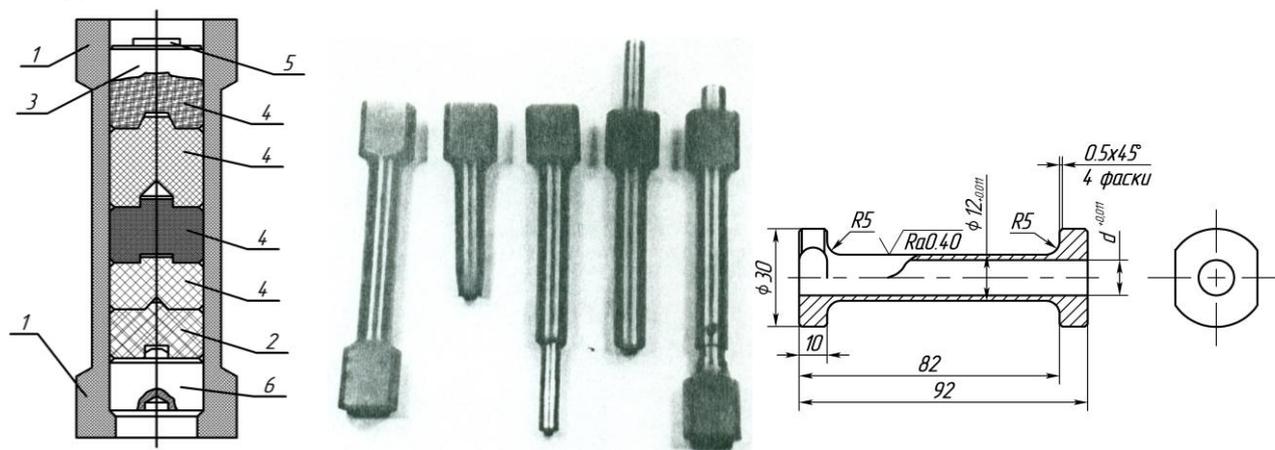
Филиппов Ю.К., Зайцев А.Г.  
 Университет машиностроения  
 8 (495) 223-05-23 [kiod@mami.ru](mailto:kiod@mami.ru)

*Аннотация.* Описана методика исследования плоскодеформированного состояния материала путем растяжения трубчатого образца на оправке. Проведены эксперименты и представлены графики изменения толщины растягиваемого образца. Показано изменения деформации разрушения в зависимости от толщины стенки растягиваемого образца для материалов 20Х и Д16.

*Ключевые слова:* плоская деформация, растяжение трубчатого образца, изменение толщины, деформация разрушения.

Точные экспериментальные исследования по определению свойств материала являются основой для последующих расчетов технологических процессов как в аналитическом виде, так и в численном, с помощью специальным программных продуктов. В зависимости от напряженно деформированного состояния параметры штамповки могут существенно меняться. В связи с этим количество методик исследований свойств материала постоянно растет [5 – 10].

Теоретически можно представить себе несколько вариантов осуществления испытания на растяжение при плоском деформированном состоянии, однако наиболее удобным представляется растяжение трубчатых образцов на оправке (при достаточно малой толщине стенки трубки).



**Рисунок 1. Трубчатый образец с оправками**

Тонкостенные трубчатые образцы применяются для построения кривых упрочнения при кручении и растяжении. В некоторых случаях используются оправки (обычно при кручении) для предотвращения потери устойчивости образца. П. Бриджмен использовал трубчатые образцы для испытания пластичности металлов при растяжении, однако без применения оправки [1]. На стадии устойчивой деформации образец растягивается с уменьшением диаметра трубки и его напряженное состояние, по-видимому, близко к линейному. После обра-