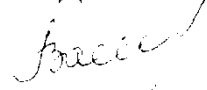


Минобрнауки России
Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего профессионального образования
Тверской государственный технический университет

На правах рукописи

УДК 621.983.001



Васильев Михаил Геннадьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА СТАЛЬНЫХ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ,
ПОЛУЧАЕМЫХ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКОЙ

Специальность 05.16.05 — обработка металлов давлением

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент Бровман Т.В.

Тверь - 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ВЫТЯЖКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК.....	9
1.1 Современные технологические процессы изготовления изделий из листовых заготовок.....	9
1.2 Технологические факторы, влияющие на условия деформации осесимметричных заготовок	23
ГЛАВА 2. ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	32
2.1 Современные методы, используемые для определения напряжений и усилий в процессах обработки давлением	32
2.2 Формулы для расчета энергосиловых параметров.	41
ГЛАВА 3.РАСЧЕТЫ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	45
ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК.....	53
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО СПОСОБА ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК.....	62
ГЛАВА 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ТОНКОСТЕННЫХ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ	70
6.1 Исследование технологических параметров вытяжки осесимметричных деталей с применением тензометрии	70
6.2 Построение нейросетевой модели энергосиловых параметров осесимметричной деформации	77

6.3 Усовершенствованный технологический процесс изготовления осесимметричных деталей (корпусов масляных фильтров)	82
6.4 Расчет экономической прибыли внедрения усовершенствованного технологического процесса изготовления осесимметричных деталей	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	91
Приложения	102
Приложение 1.	102
Приложение 2.	104
Приложение 3	114
Приложение 4	117

ОБОЗНАЧЕНИЕ

b	-ширина заготовки,	м
c	-жесткость заготовки,	Н/м
E	-модуль упругости первого рода,	Н/м ²
f	-функция, характеризующая устойчивость процесса деформации,	Безразмерная величина
h	-толщина деформируемой листовой заготовки,	м
R_0	-радиус исходной заготовки,	м
R_1	-радиус цилиндрического изделия, изготавливаемого в процессе вытяжки	м
k	-предел текучести при деформации сдвига	Н/м ²
l	-длина листовой заготовки	м
M	-изгибающий момент	Н·м
p	-удельное давление	Н/м ²
ν	-коэффициент Пуассона	Безразмерная величина
μ	-коэффициент трения	Безразмерная величина
σ	-напряжение растяжения - сжатия	Н/м ²
σ_T	-предел текучести, (сопротивление деформации), при одноосном растяжении - сжатии	Н/м ²
σ_{T1}	-величина предела текучести при использовании искусственной анизотропии	Н/м ²
$\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$	-нормальные компоненты тензора напряжений	Н/м ²
$\tau_{rz}, \tau_{\theta z}, \tau_{r\theta}$	-компоненты тензора, определяющие касательные напряжения	Н/м ²

ВВЕДЕНИЕ

Усовершенствованию процессов обработки давлением были посвящены многие работы А.А. Ильюшина, Н.И. Безухова, Н.Н. Малинина, А. Надаи, Р. Хилл, И.П. Ренне, И.Л. Перлина, Г.А. Смирнова-Аляева и других ученых. От качества проката, в частности его разнотолщинности, во многом зависит и качество изделий, получаемых из листа в процессе вытяжки. Большие работы по усовершенствованию процессов обработки давлением были проведены ЦНИИТМАШ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, МИСИС, Институте ОАО "Цветметобработка", Череповецком государственном университете, Тульском государственном университете, МГТУ "Станкин" и других организациях. Однако, следует указать, что на практике часто встречаются трудности из-за потери устойчивости процесса деформации и возникновения искажений формы изделия, в частности, так называемых "фестонов" - складок. В ряде случаев возникают кольцевые трещины, приводящие к браку продукции. Это свидетельствует об актуальности исследований, направленных на повышение качества изделий и уменьшения количества несоответствующей продукции.

Основные положения выносимые на защиту:

1. Уточненная методика расчета верхней границы усилия деформации методом построения кинематически допустимого поля скоростей.
2. Методика расчета возможных отклонений величин усилия и технологических параметров, возникающих из-за погрешностей размеров заготовки, инструмента, изменений механических свойств по объему деформируемых заготовок.
3. Усовершенствованный технологический процесс в виде способа изготовления полых цилиндрических изделий, основанный на создании искусственной анизотропии металла деформируемой заготовки с целью предотвращения развития значительных искажений формы деформируемых заготовок, приводящих к необратимому искажению формы изделия.

4. Исследование параметров процесса деформации при создании искусственной анизотропии.

5. Результаты экспериментального исследования параметров, влияющих на процесс вытяжки полых цилиндрических заготовок с помощью тензометрической аппаратуры. Практическая значимость определена внедрением на предприятии ОАО «2462 ЦБПР» г. Тверь усовершенствованного технологического процесса изготовления осесимметричных деталей.

В современных условиях экономического развития внедрение новых более совершенных технологических процессов неразрывно связано с применением прогрессивных методов обработки металлов давлением, позволяющих получить более точные размеры заготовок, обеспечивая энергосберегающую, малоотходную технологию.

Работа выполнена в рамках государственной программы стратегического развития металлургической промышленности Российской Федерации до 2020 года, утвержденной приказом Минпромэнерго России от 29 мая 2007 г и протоколом №ВП-П9-13пр «О мерах по развитию черной металлургии и обеспечению металлопродукцией внутреннего рынка», в рамках которой предусмотрено создание платформы для дальнейшего качественного роста металлопродукции.

Стратегия развития металлургической промышленности России до 2020 года подготовлена Минпромторгом РФ на базе, утвержденной приказом Минпромэнерго РФ от 29 мая 2007 г. №177 «Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации» на период до 2020 года предполагают финансирование в размере 198 миллиардов рублей, и увеличение производства, как на экспорт, так и для нужд внутреннего рынка изделий из металлопроката примерно на 61млн. тонн, при этом добавленная стоимость должна увеличиться в 1,7 раза в общем росте изделий металлургического производства до 55%. В свете поставленных задач особо важное значение приобретает разработка новых технологических процессов, направленных на повышение качества изделий и расширение номенклатуры. В

их числе следует указать процессы осесимметричной деформации изделий типа цилиндрических стаканов из тонколистовых заготовок.

Процессы пластической деформации были глубоко изучены советскими и российскими учеными А.А. Ильюшиным, В.В. Соколовским, П. И. Полухиным, Н. М. Павловым, М. В. Сторожевым, Е. А. Поповым, Л. А. Шофманом, А. И. Целиковым, С. П. Яковлевым и другими учеными. Следует также указать и на труды зарубежных ученых Р. Хилла, В. Джонсона, В. Прагера, Ф. Блазика и других.

Цель работы. Исследование и совершенствование технологического процесса изготовления тонколистовых осесимметричных заготовок при вытяжке изделий цилиндрической формы. Обеспечение возможности расширения сортамента при изготовлении изделий вытяжкой.

Объект исследования. Исследование технологических параметров процесса вытяжки, определение усилий и возможных искажений формы изделия.

Методика исследования. Теоретический анализ проведен на основании использования методов современной теории пластичности. Опыты по измерению усилий на пуансоне проведены с использованием тензометрической аппаратуры.

Научная новизна работы. Теоретически обоснованы положения усовершенствованного технологического процесса вытяжки изделий из тонколистового проката, определены величины допустимых деформаций в процессе формообразования на основе условий текучести Сен – Венана и Мизеса. Разработана методика расчета погрешностей отклонения усилий и параметров, характеризующих устойчивость процесса вытяжки.

Практическая ценность. На основании проведенных исследований разработан усовершенствованный технологический процесс с созданием искусственной анизотропии, который применен для крупносерийного изготовления корпусов масляных фильтров, коробок противогаса типа ППФ-

95,обеспечивающий повышение точности размеров заготовки и исключаящий потерю ее устойчивости.

Достоверность результатов работы. Достоверность результатов подтверждается промышленными испытаниями, использованием современных методов и технических средств исследований, применением методики математического планирования эксперимента.

Реализация результатов работы. Результаты работы внедрены на предприятии ОАО «2462 ЦБПР» и могут быть использованы в технологическом процессе изготовления осесимметричных деталей.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы были доложены, обсуждены и одобрены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов ФГОУ ВПО ТвГТУ(г. Тверь) 2006-2013г.г.; на V международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» г. Москва в 2013 году.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 2 в изданиях рекомендованных перечнем ВАК РФ. Общий объем публикаций 3,875 п.л., из них авторский вклад составляет 2,5 п.л.

ГЛАВА 1. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ВЫТЯЖКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

1.1 Современные технологические процессы изготовления изделий из листовых заготовок

Вытяжкой получают полые детали разнообразной формы, обычно из плоских листовых заготовок, не требующие, как правило, дальнейшей обработки, кроме обрезки неровного края. К таким деталям относятся - изделия, имеющие форму тел вращения (осесимметричные), детали коробчатой формы, детали имеющие одну ось симметрии или асимметричные, цилиндрические детали, переменной толщины, у которых толщина дна больше толщины стенок, (корпуса воздушных и масляных фильтров, коробки противогазов и т.д), см. [1-10,86].

Перечисленные детали могут иметь диаметр (или длину) – от нескольких миллиметров до сотен миллиметров и толщину стенки – от десятых долей до десятков миллиметров. Детали, получаемые вытяжкой, в зависимости от относительной высоты штампуют в одну или несколько операций или переходов. На первом переходе плоскую заготовку вытягивают в полую, открытую с одного конца деталь или полуфабрикат [11,95], на последующих переходах происходит увеличение высоты при одновременном уменьшении поперечных размеров полуфабрикатов, полученных на предыдущих переходах вытяжки.

Изготовление деталей вытяжкой часто осуществляют без нагрева заготовки, в холодном состоянии. Исключение составляет вытяжка толстолиствого металла, когда заготовку нагревают для того, чтобы снизить деформирующее усилие.

Для изготовления деталей вытяжкой применяют листовой металл, обладающий высокими пластическими свойствами, сталь по ГОСТ 4543-71: 35Х, 38ХА, 40Х, 35Г, 40Г, 50Г, 20ХГР, 25ХГТ, 30ХГТ, 33ХС, 38ХС, 40ХС, 20ХН, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 20ХНР, 12ХН2, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА, 38Х2МЮА, и по ГОСТу 4041-71 [см. 2,12,13,14,69].

Изделия цилиндрической формы часто изготавливают из цветных металлов: меди, ее сплавов, никеля, потребность в таких изделиях значительна.

В настоящее время известно, много способов изготовления деталей при помощи вытяжки [13,15]. В работе [13] представлен способ изготовления полусфер из листового металла, показанный на рис. 1.1. Предварительно изогнутую заготовку устанавливают на опорное кольцо так, чтобы внутренняя цилиндрическая поверхность ее была обращена к цилиндрической поверхности пуансона. Сферическая часть пуансона расположена над предварительно изогнутой заготовкой, благодаря чему обеспечивается перемещение пуансона из отштампованной части заготовки в отверстие опорного кольца. Этим достигается расширение технологических возможностей изготовления деталей из малопластичных металлов и из тонкостенных заготовок (рисунок 1.1).

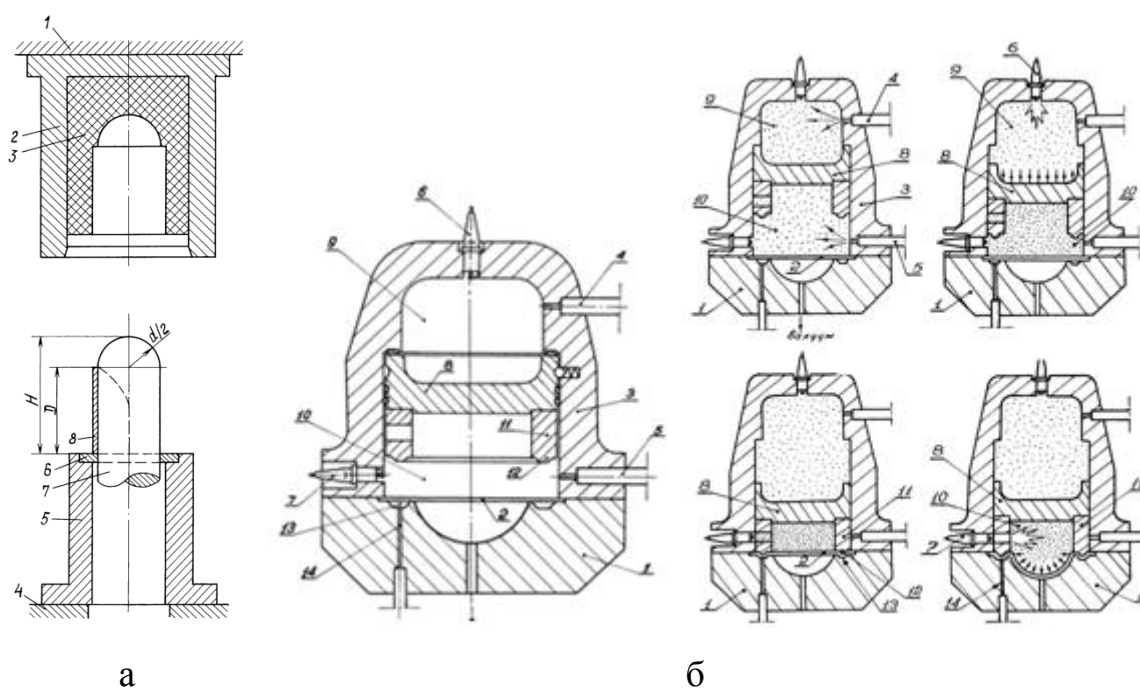


Рис. 1.1 – Изготовление полусфер: а – в эластичной матрице; б – газовой детонационной штамповкой.

В работе [15] описан способ газовой детонационной штамповки и устройство для его реализации. Данное изобретение, направлено на решение задачи по расширению технологических возможностей процесса штамповки. Технический результат при решении этой задачи выражается в повышении

степени проработки деформируемого материала и улучшении качества вытяжки без образования складок или гофр.

Сущность этого изобретения заключается в том, что в способе газовой детонационной штамповки используют энергию детонации газовой смеси и заготовку дополнительно подвергают импульсному воздействию жестким массивным телом. При этом, в зависимости от конкретно реализуемого режима нагружения заготовки, импульсному воздействию жестким массивным телом заготовку подвергают либо воздействием ударной волной и продуктами взрыва, либо в момент воздействия ударной волной до воздействия продуктами взрыва, либо после воздействия ударной волной в течение времени воздействия продуктами взрыва, либо после воздействия и ударной волной, и продуктами взрыва. Устройство, показанное на рис. 1.1 б состоит из матрицы 1, в которую вкладывается заготовка 2, и взрывной камеры 3, герметично соединяемых между собой с помощью, например, болтов или гидроприжимов (на рисунке не показаны). В корпусе камеры смонтированы арматура 4 и 5 для подачи горючей газовой смеси и элементы 6 и 7 инициирования ее детонации, например, детонационные трубки, высоковольтные свечи зажигания и т.п. Внутри камеры с возможностью продольного перемещения установлена массивная металлическая перегородка 8, разделяющая объем камеры на отсеки 9 и 10.

Ударная волна и разогретые продукты взрыва воздействуют на массивную перегородку 8. Перегородка срывается со стопорных элементов и разгоняется в сторону матрицы 1, сжимая горючую газовую смесь в отсеке 10. Происходит местная глубокорельефная деформация заготовки 2 в периферийной области (фигурная отбортовка) и ее жесткое защемление на севшей массивной перегородкой 8. Под действием деформированной заготовки 2 срабатывает датчик 14 и задействует элемент 7 инициирования детонации смеси в отсеке 10. Сжатая перегородкой 8 смесь претерпевает взрывчатое превращение. Ударная волна и разогретые продукты взрыва воздействуют на заготовку, вдавливая ее срединную часть в центральное углубление матрицы 1.

В изобретении [16] предложен технологический процесс и оснастка для изготовления вытяжкой корпусных изделий из плоских тонколистовых металлических заготовок. Способ включает прижим заготовки по фланцу к жесткой матрице, вытяжку профилированным пуансоном с пробивкой отверстия, его отбортовкой и окончательным оформлением детали. Вытяжку проводят в два этапа. На первом этапе вытягивают дно заготовки по эластичному профилированному пуансону с прижимом по фланцу заготовки к жесткой матрице без эластичной деформации пуансона. На втором этапе осуществляют окончательное оформление детали по жесткому вкладышу пуансону-матрице, обеспечивающему при эластичной деформации эластичного профилированного пуансона деформацию заготовки, распространяющуюся от центра заготовки к ее периферии, с выворачиванием заготовки, с пробивкой отверстия и его отбортовкой жестким вкладышем пуансоном-матрицей. Профилированный пуансон выполнен из эластичного материала, и на дне полости жесткой матрицы установлен вкладыш пуансон-матрица для пробивки отверстия, его отбортовки и окончательного формообразования заготовки.

В работе [17] описан способ листовой штамповки для производства цилиндрических тонкостенных полых изделий ответственного назначения. Сущность изобретения заключается в следующем: из некруглой заготовки получают круг, после чего производят ее предварительную и окончательную вытяжку. Круглая заготовка после переформовки имела диаметр на 1 - 3% меньше диаметра расчетной заготовки. Высота полого изделия после предварительной вытяжки составляет 0,7 - 0,85 высоты готового изделия. Окончательную вытяжку производят с утонением стенки заготовки на кольцевом участке шириной 0,65 - 0,8 толщины стенки.

Известно, что при изготовлении цилиндрических изделий вытяжкой из тонкого листа возможна потеря устойчивости, когда вследствие сжатия заготовки в тангенциальном направлении происходит потеря устойчивости и образуются крупные складки, (их называют «ушками» см. Р. Хилл [18], «фестонами» [9,19]). Потеря устойчивости ограничивает допустимую длину

изделий, которые можно получать вытяжкой. Ясно, что если наружный радиус плоской заготовки в форме круга равен R_0 , а радиус стакана R_1 , то материал заготовки испытывает сжатие при степени деформации $\varepsilon = \ln \frac{R_0}{R_1}$. Именно это сжатие вызывает потерю устойчивости и плоской конфигурации диска, (обычно за счет возникновения «волн» - выступов значительной амплитуды порядка $10h$, где h – толщина листа).

Ф. Блазик с соавторами исследовали процесс вытяжки тонких листов в матрицах, имеющих тороидальную форму – рис. 1.2а и в матрице, выполненной в форме трактрисы, рис. 1.2б, см [21].

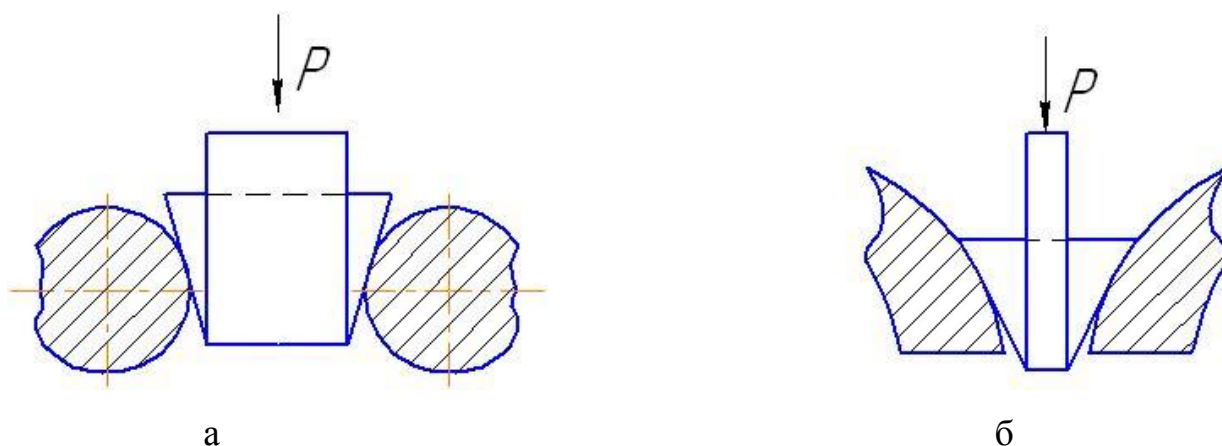


Рис. 1.2 - Процесс вытяжки в матрицах тонких листов, предложенные

Ф.Блазик: а – схема деформации тонких листов в матрицах, имеющих тороидальную форму; б - схема деформации вытяжки в матрице, выполненной с образующей в форме трактрисы [21]

На основании исследований, выполненных в техническом университете в Кошице (Чехия) авторы пришли к выводу, что лучше выполнить штамп не в форме плоскости с отверстием, и не в форме круга (или фасок круглой формы в плоской матрице), а в матрице, выполненной в форме трактрисы, что обеспечит опирание краев заготовки на матрицу в течение процесса вытяжки. Но при возникновении высоких напряжений сжатия, опоры не смогут предотвратить возникновения «волнистости», т.е. потери устойчивости листа. Надо также отметить очень высокую сложность обработки такой матрицы.

В работе [22] предложена новая конструкция штампа для повышения качества изделий, в том числе и для предотвращения образования гофров, (см. также патент РФ № 2018389, С1В21D22/20, штамп для изготовления сферических и других куполообразных днищ). Штамп см. рис. 1.3 содержит, кроме пуансона 1, прижимное кольцо 2 со шпильками 3, вытяжные кольцевые матрицы 4-7, пуансонодержатель 8, и обойму 9. В проточках А прижимного кольца и матриц, (за исключением первой, соответствующей цифре 7 на рис. 1.3), размещены фиксаторы 10, перемещающиеся по шпильке 11 до бурта 12. Шпилька закреплена в пазах верхней плиты 13. Предусмотрены также фиксаторы 14. Заготовку 15 располагают на матрице 7, при ходе траверсы прессы вниз фланец заготовки 15 сжимается. Можно осуществлять несколько операций, регулируя форму штампа. Как указано [22], можно изготавливать изделия вплоть до диаметров 2000-2500 мм и более. Но использовать эту конструкцию, на наш взгляд, целесообразно только при малых партиях изделий.

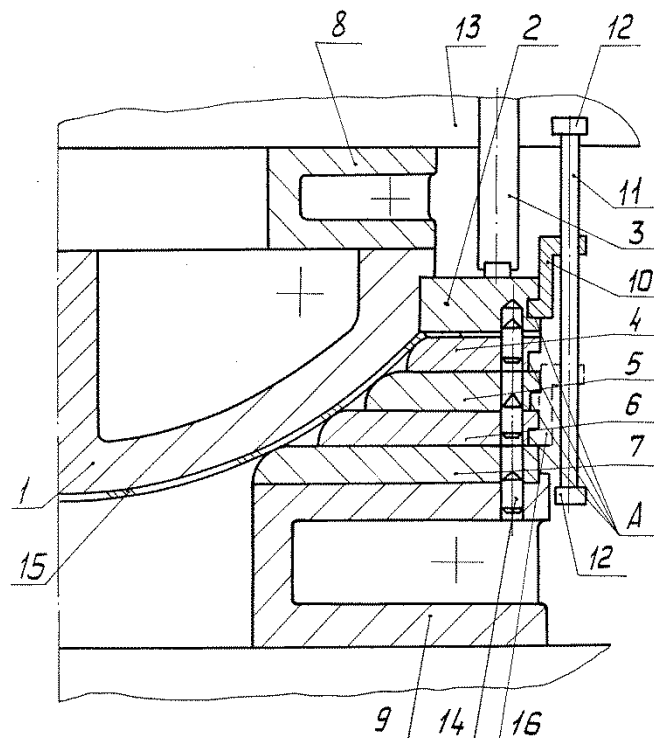


Рис. 1.3 – Штамп конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумана [22]

В работе [23] исследована зависимость возникновения фестонов от анизотропии. Указано, что для анизотропных металлов, сплавов, обычно

образуется четыре фестоны, оси которых составляют углы 0 и 90° с направлением прокатки, (но иногда $\pm 45^\circ$). Использование профильной заготовки позволяет устранить развитие фестонов, что иллюстрируется схемой на рис. 1.4.

В работе [23] изложены опыты по вытяжке из ленты, полученной холодной прокаткой (из стали 08кп) толщиной 1,15-1,55 мм. Однако, следует иметь в виду, что анизотропия не является единственной причиной нарушения формы деформируемой ленты. И для изотропных материалов возникновение напряжений сжатия при течении к оси заготовки ее краевых участков вызывает большие напряжения сжатия, (в тангенциальном направлении), что приводит к нарушению устойчивости плоской формы листа и к развитию складок. Также необходимо отметить, что изготовление профильной заготовки по рис. 1.4 увеличит отходы металла, а также усложнит изготовление инструмента (например, вырубного штампа).

В работах ученых Тульского Политехнического института см. [20,24,25] приведены данные исследований плоского напряженного состояния анизотропных материалов и влияния напряженного состояния на предельную степень вытяжки. Условие текучести принято в виде:

$$k_1\sigma_r^2 + k_2\sigma_\theta^2 + k_3(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 = P(u),$$

где k_1, k_2, k_3 – постоянные, характеризующие анизотропию, причем $k_1 = k_2$; σ_r, σ_θ – компоненты напряжений, u – параметр, характеризующий напряженное состояние, а функцию $P(u)$ приняли в виде:

$$P(u) = 1 + P_1(u - 1) + P_2(u - 1)^2$$

P_1, P_2 – постоянные, определяемые экспериментально (в [24] для стали 40 принято $P_1 = 0,46$; $P_2 = 0,20$). Показано, что предельная степень вытяжки возрастает с увеличением коэффициента анизотропии и может увеличиться в 1,12-1,18 раз.

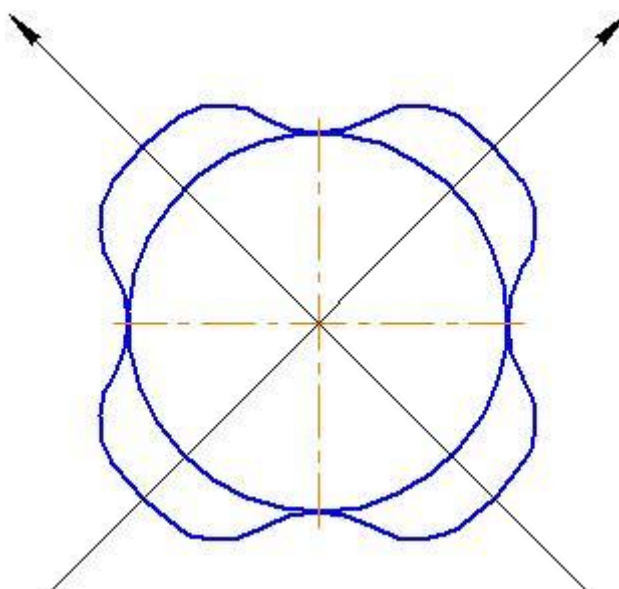


Рис.1.4 – Схема профильной заготовки, используемой для устранения фестонов

В работе [26] изучена деформация полых стаканов из сплава АМгб с учетом реальной анизотропии металла. По этим данным максимальное усилие при деформации анизотропной заготовки меньше, чем у изотропной, причем различия по данным [26] могут достигать 100%.

В работе [27] М. Халифа с соавторами изучили разрушения листов в случае действия высоких радиальных напряжений.

М. Ховриал провел исследование контактных напряжений между инструментом и деформируемым металлом методами фотоупругости, см. [28], но эти данные получены не для металлических валков, а для валков изготовленных из специальных материалов (типа смол), которые нельзя непосредственно применять для металлов.

Сотрудники Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана провели исследование точности, достигаемой в процессах выдавливания цилиндрических стаканов [29]. Показано, что влияние погрешностей размеров и других факторов усиливается при уменьшении толщины листов.

Ряд способов предложен в изобретениях [30,31]. Способ изготовления полых цилиндрических изделий из многогранных листовых заготовок с помощью многопереходной технологии комбинированной вытяжки представлен в [31]. Многогранную заготовку получают вырубкой или отрезкой из листового проката и подвергают многопереходной вытяжке по

комбинированной схеме. На первом переходе вытяжку осуществляют цилиндрическим пуансоном, на боковой поверхности которого выполнены лыски по числу граней заготовки глубиной, равной 0,1 - 0,25 зазора между матрицей и цилиндрической поверхностью пуансона, и на последующих такими же по форме пуансонами. Но при этом значительное количество металла теряется с обрезью.

подавляющее большинство полых осесимметричных деталей с отверстием, типа корпус (см. рис. 1.5), изготавливаются вытяжкой из плоских заготовок с последующей пробивкой отверстия. Основным недостатком таких технологических процессов - низкий коэффициент использования металла, так как отход, получаемый после пробивки, часто не используется.



Рис. 1.5 – Типовые детали, полученные глубокой вытяжкой (с отбортовкой)

Совмещение операций вытяжки и отбортовки при изготовлении полых деталей типа тел вращения с отверстием в донной части позволяет уменьшить число переходов штамповки и значительно снизить расход металла. Деформированию подвергают плоскую заготовку с предварительно пробитым отверстием, размеры которого меньше размеров отверстия в дне готовой детали. Формообразование детали при этом происходит не только за счет течения металла с периферийной части заготовки, но и деформации дна (вытяжки-отбортовки). Это позволяет уменьшить диаметр заготовки и увеличить коэффициент использования металла, а в некоторых случаях и уменьшить число переходов. Ряд усовершенствований процесса описан в

работах [32-38]. Известен способ листовой штамповки, где формообразование заготовки осуществляется с одновременным образованием гофров во фланцевой части с последующим их разглаживанием [38]. Гофры образуют в канавке, выполненной на поверхности прижима в виде архимедовой спирали. Перед разглаживанием гофров заготовку поворачивают относительно нижнего прижима на угол, при котором гофры или часть гофров размещают на плоском участке прижима между канавками, таким образом достигается уменьшение усилия вытяжки и увеличение высоты вытягиваемых деталей. В работе [39] предложен способ изготовления изделий типа стаканов с двойными стенками, включающий выворот трубной заготовки, при котором последнюю вначале подвергают раздаче, осуществляя формование внутреннего заходного участка, затем производят выворот наружу деформированной части трубной заготовки до получения полого двухстенного стакана. После чего полученный стакан деформируют, осуществляя формование наружного заходного участка посредством обжатия донной части и вытяжки с утонением стенки наружного патрубка.

Одним из лидеров, специализирующихся на производстве тонкостенных изделий методами листовой штамповки, является финская компания Räätytuote Oy, в отечественном производстве данный сегмент рынка представляет компания «Индустриальные Системы & Решения» (см. рис. 1.6).

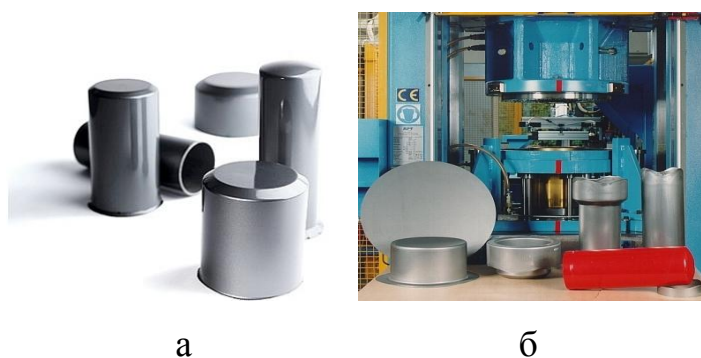


Рис. 1.6 – Осесимметричные штампованные заготовки: а - компании Räätytuote Oy, б - компании «Индустриальные Системы & Решения»

Для изготовления огнетушителей и фильтров, пластин для теплообменников, вентиляционных систем, систем водостоков, компания

«Индустриальные Системы & Решения» использует процессы обработки металлов давлением (см. рис. 1.6). В работе [40] представлен комбинированный способ обработки металлов давлением, в котором для изготовления оболочек с локальными утолщениями, ротационным выдавливанием вращающейся заготовки раскатными роликами, предварительной вытяжкой из листа изготавливают заготовку с внутренней поверхностью, соответствующей внутреннему контуру утоненной части оболочки, затем ротационным выдавливанием полученную заготовку локально обжимают, а заданную толщину стенки получают путем последующей механической обработки внешней поверхности оболочки, при этом величину обжима определяют по зависимости, учитывающей толщины утолщенной части и тонкой части оболочки с учетом верхнего и нижнего допуска и величины упругих остаточных деформаций (рис. 1.7). Повышается качество и точность получаемых деталей. Известен способ изготовления заготовок втулок из листового материала [41]. Способ включает вытяжку заготовки, ее термообработку и калибровку по внутренней и внешней поверхностям до соответствующих размеров.

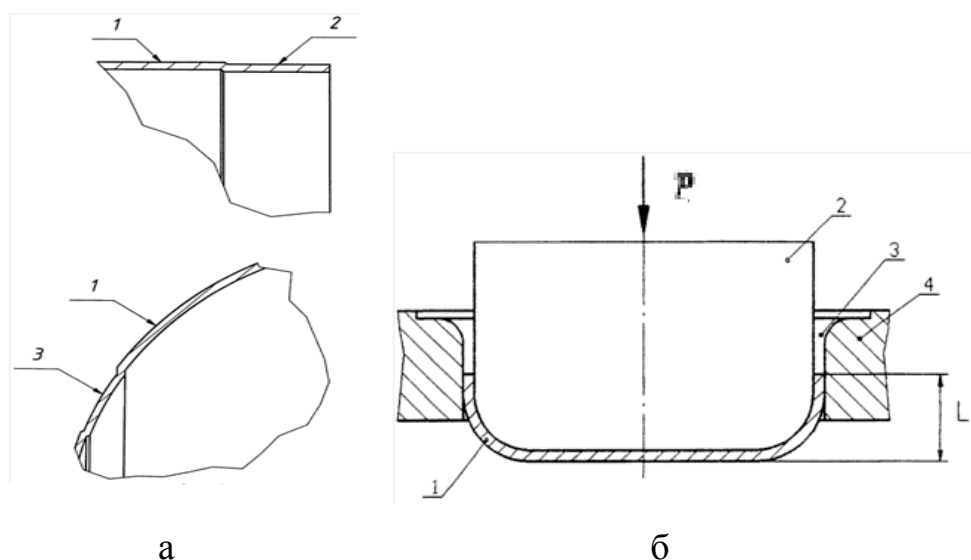


Рис. 1.7 – Схема реализации способов получения тонколистовых заготовок: а) ротационной вытяжкой, б) методом сменных матриц

Вытяжку и калибровку осуществляют в штампе с установкой сменных матриц и пуансонов. В работе [42] описан способ вытяжки изделий из листовых

заготовок. Изобретение заключается в следующем: край листовой заготовки зажимают по всему периметру между матрицей и прижимом. На центральную часть заготовки воздействуют пуансоном. С момента начала деформации заготовки измеряют текущие значения усилия вытяжки и перемещения матрицы относительно пуансона. При этом непрерывно изменяют усилие зажима края заготовки в функции измеренных величин по зависимости, которая установлена экспериментально. В результате обеспечивается возможность достижения максимального значения глубины вытягиваемого изделия.

Известно, применение листовой штамповки для изготовления цилиндрических деталей [43] на многопозиционном пресс-автомате путем неоднократной вытяжки без утонения из плоской заготовки и формовки вогнутого дна и наружного радиуса, сопряжения дна и стенки (см. рис.1.8). Кроме того, проводят две операции осадки стенок заготовки, на второй из которых получают заготовку с боковыми стенками конической формы в матрице с конической поверхностью. Наружный радиус сопряжения дна и стенки формируют за два перехода.

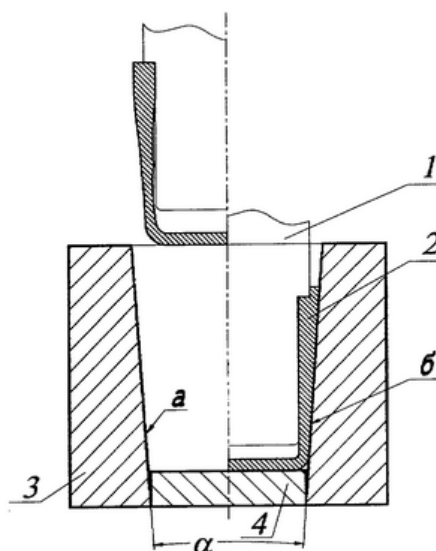


Рис. 1.8 – Способ вытяжки изделий из листовых заготовок

В результате обеспечивается снижение металлоемкости и повышение стойкости инструмента (рис. 1.8).

Также известен способ изготовления полых деталей из плоских листовых заготовок [45]. Данный способ относится к области обработки металлов давлением и заключается в следующем: в штамповке полых деталей из плоских листовых заготовок суммарную толщину пакета принимают постоянной в направлении силового воздействия на него; формообразующие поверхности выполняют на нажимных элементах, при штамповке деталей сферической, тороидальной формы. В устройстве для штамповки полых деталей из плоских листовых заготовок матрица выполнена с входным конусом, угол конусности которого устанавливают по определенной формуле. Обеспечивается повышение равнотолщинности и качества изготавливаемых деталей.

В работе [46] предложен способ получения осесимметричных деталей и деталей коробчатой формы. Способ глубокой импульсной вытяжки деталей включает прижим заготовки к опорной поверхности, формообразование заготовки путем воздействия на нее импульсами нагружения, создаваемыми электрическим разрядом в жидкости, и статическим нагружением в направлении, противоположном направлению действия импульсного нагружения. При этом осуществляют последовательный набор материала заготовки на пуансон, который перемещают в паузах между импульсами нагружения. Материал для набора на пуансон резервируют в выемке, которую заполняют штампуемым материалом при перемещении его с периферии. Листовую заготовку укладывают в проточку, выполненную на нижней опорной поверхности, высота которой равна толщине заготовки, см. рис. 1.9.

Известны также способы вытяжки для получения высоких полых деталей [47]. Цель данного способа сократить до минимума величину отхода на стадии вырубки выходной исходной заготовки из листа при условии изготовления штампуемой детали с ровным торцом, обеспечивающим минимальный отход металла при подрезе торца. Это достигается тем, что на первом переходе вытяжки в углах коробочки осуществляют принудительное утонение стенки заготовки до толщины равной:

$$h_y = \frac{2h_0}{\pi RH} \left(\frac{(L_3 - b + 2R)^2}{8} - \frac{1}{4} \pi R^2 \right)$$

где: h_0 - исходная толщина заготовки из листа; L_3 размер исходной квадратной заготовки по диагонали квадрата после обрезки углов, $L_3 = (1,18 \ 1,20)a$, a - длина стороны исходной квадратной заготовки из листа; b, H - соответственно ширина и высота «коробочки» после первой вытяжки;

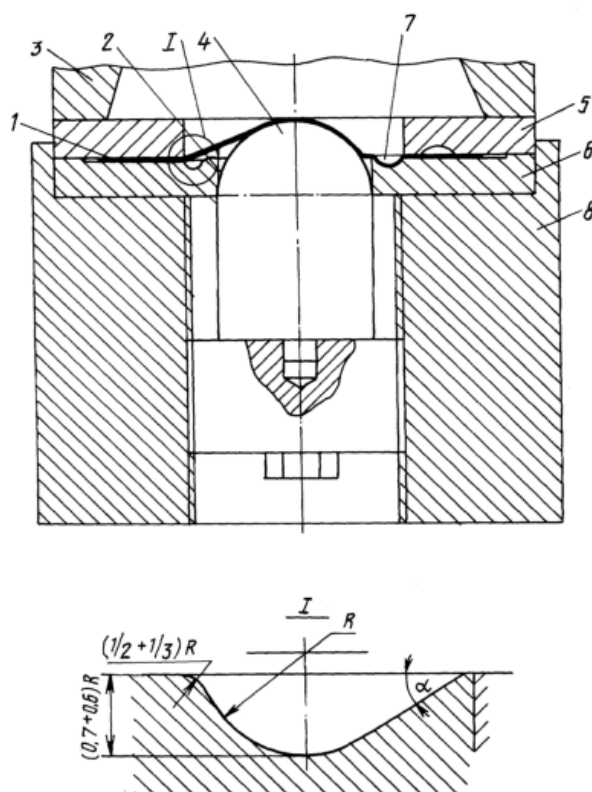


Рис. 1.9 – Схема реализации способа глубокой импульсной вытяжки

В углах коробочки толщину заготовки принудительно уменьшают путем ее протяжки между матрицей и пуансоном, в то время как на прямолинейных сторонах коробочки толщину не изменяют. Сущность этого изобретения поясняется рис.1.10, где, приведен поперечный разрез штампа для первого перехода вытяжки. Слева от оси симметрии на рис. 1.10 показана начальная стадия процесса вытяжки, а справа на завершающей стадии вытяжки квадратной коробочки. На рисунке 1.10 показано взаимное расположение контуров исходной заготовки из листа, квадратной коробочки первого перехода и готовой цилиндрической детали. На рисунке 1.10 обозначено 1 пуансон; 2

прижим; 3 вытяжная матрица; 4 - исходная заготовка из листа; 5 квадратная коробочка, полученная первой вытяжкой. На последующем переходе производят вытяжку полученной квадратной коробочки в полое цилиндрическое изделие диаметром $d_{\text{цил}}$.

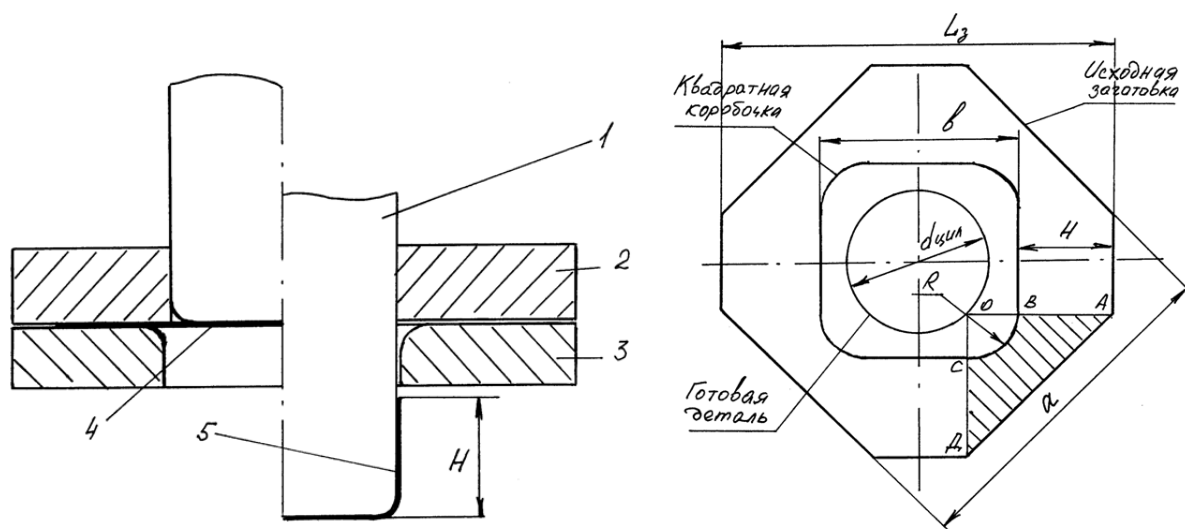


Рис. 1.10 – Схема реализации процесса, предложенного в работе [47]

1.2 Технологические факторы, влияющие на условия деформации осесимметричных заготовок

Качество изделий, получаемых в процессе вытяжки, зависит и от размеров заготовки, и от механических свойств листового металла. Как видно из рисунка 1.11, на котором показана схема деформации при вытяжке центральная часть заготовки движется вниз при давлении на нее пуансона радиусом R_1 . Начальный радиус заготовки, вырезанной из листа, равен R_0 , а в процессе вытяжки радиус уменьшается. Длина полученной цилиндрической заготовки равна приблизительно $l=R_0-R_1$ и мы заинтересованы в возможностях увеличения величин l , что определяет расширение сортамента. Однако, допустимая величина l ограничена двумя условиями: деформация участка заготовки, имеющей форму диска реализуется за счет растягивающих напряжений, действующих на цилиндрической поверхности радиусом R_1 , см. рисунок 1.11. Понятно, что эти напряжения (обозначим их σ_r) тем больше, чем больше величины (R_0-R_1) и h , а также предел текучести σ_T . При высоких напряжениях возможно появление кольцевых трещин, что приводит к браку

[89,99,104,105]. Это ограничивает возможности процесса. Из рисунка 1.11 видно, что в тангенциальном направлении в процессе вытяжки происходит сжатие деформируемого материала: диаметры окружностей уменьшаются. Напряжения σ_θ – сжимающие и если они значительны, то происходит потеря устойчивости – нарушается плоская форма участков заготовки.

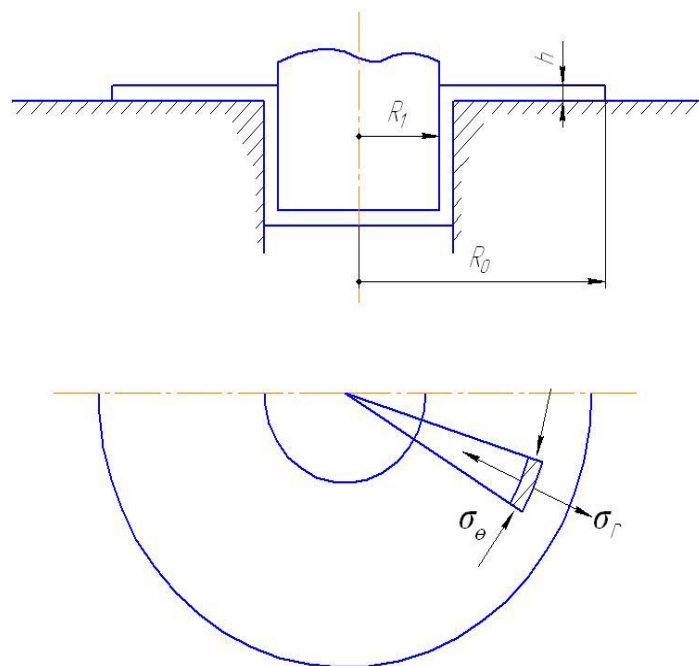


Рис. 1.11 – Схема деформации в процессе вытяжки

На рисунке 1.11 показаны малый элемент в полярных координатах и действующие на него напряжения σ_r и σ_θ (обычно $\sigma_r > 0$, $\sigma_\theta < 0$).

Выбор технологических режимов, способов деформации должен предотвратить развитие одного из двух неблагоприятных факторов: появление кольцевых трещин и потеря устойчивости, из-за которой часть листа при $R_1 < r < R_0$ теряет устойчивость и образуются «волны» - выступы. Оба эти фактора приводят к необратимому формоизменению заготовки.

В работах [11,12,95] приведены данные по предельным величинам силы трения на контактной поверхности листа с опорной плоскостью, которые увеличивают напряжение σ_r (и конечно усилия P , которое надо приложить к пуансону). Поэтому эти силы оказывают неблагоприятное влияние на процесс, увеличивая влияние первого фактора (растягивающих напряжений σ_r , приводящих к развитию кольцевых трещин). Для предотвращения потери

устойчивости, образования «волн», часто используют прижимы, которые воздействуют на поверхность листа при $R_1 < r < R_0$, удерживая лист от выпучивания.

Чтобы уменьшить влияние трения иногда применяют смазку поверхности контакта. При наличии смазки уменьшается коэффициент трения, облегчаются условия деформации, снижается требуемое усилие, обеспечивается получение более равномерной структуры металла, повышается качество поверхности продукта обработки. Однако, если мы используем прижим, то это уменьшит влияние второго неблагоприятного фактора (потери устойчивости), но усиливает отрицательное влияние первого фактора: возможности развития кольцевых трещин.

При деформации толстых листов (толщиной более 20мм) заготовку приходится нагревать. Д. Шокер провел ряд исследований в Венском технологическом университете (Австрия) и пришел к выводу о том, что периферийные участки деформируемой заготовки следует нагревать, причем лучше всего осуществлять это с помощью лазерных лучей [48]. При этом он рекомендует осуществлять вытяжку с прижимом по части поверхности круглой заготовки, а на другой ее части осуществлять нагрев. Для нагретой до 1200°C заготовки усилие можно уменьшить в 4-5 раз (по сравнению с деформацией при 20°C). Однако, процесс нагрева весьма усложняет технологический процесс и связан с расходом энергии. Поскольку вытяжку реализуют чаще всего из тонких листов, неизбежно их быстрое охлаждение. Кроме того, нагрев не предотвращает возможности потери устойчивости и образования складок (фестонов).

Для изготовления деталей вытяжкой применяют листовой металл, обладающий высокими пластическими свойствами. Вытяжку осуществляют в специальных штампах, рабочие органы которых: матрица со скругленной рабочей кромкой, пуансон (в некоторых случаях - прижимное кольцо). Между пуансоном и матрицей имеется зазор. При вытяжке внешняя сила, передаваемая

пуансоном, приложена к донной части вытягиваемой детали. Применяют два основных способа вытяжки:

- 1) без искусственного уменьшения толщины стенки
- 2) с искусственным, уменьшением толщины стенки (вытяжка с утонением), в том числе комбинированная вытяжка.

Вытяжка без утонения стенки характеризуется существенным уменьшением диаметра заготовки при приблизительно неизменной толщине заготовки [58,103]. В процессе вытяжки без утонения в краевой части заготовки, еще находящейся вне матрицы, одновременно возникают растягивающие и сжимающие напряжения. Сжимающие напряжения, действующие в окружном направлении, при определенном соотношении диаметров заготовки и вытягиваемой детали могут вызвать появление складок во фланце (явление потери устойчивости), приводящие при втягивании складок в зазор между пуансоном и матрицей к необратимому формоизменению. Вытяжкой за одну операцию можно получить относительно неглубокие детали, высота которых не превышает 0,7 - 0,8 диаметра. При вытяжке более высоких деталей растягивающие напряжения, возникающие в стенке, возрастают настолько, что может наступить отрыв дна. В связи с этим процесс вытяжки приходится разделять на несколько переходов. В процессе вытяжки материал заготовки упрочняется, его пластические свойства ухудшаются. Чрезмерное упрочнение металла может привести к разрушению. Поэтому процесс изготовления высоких деталей (высотой более диаметра вытягиваемой детали) заключается в чередовании следующих друг за другом операций вытяжки, в промежутке между которыми, проводится отжиг полуфабрикатов для снятия упрочнения. В зависимости от относительной толщины заготовки и степени деформации, последующие операции вытяжки проводят в штампах с прижимом или без него.

Операции вытяжки могут быть выполнены прямым или реверсивным способом. Способ вытяжки называют реверсивным, если при этом изменяют направление вытяжки в обратном направлении по сравнению с направлением

вытяжки на первой операции. Реверсивную вытяжку применяют для получения деталей сложной формы, например, с двойным дном или двойными стенками.

На начальной стадии вытяжки происходит уменьшение толщины заготовки в очаге деформации, представляющем собой кольцевой участок (см.рис.1.12), при этом радиус заготовки R_0 не уменьшается. По мере увеличения усилия вытяжки пластическая деформация постепенно распространяется на фланец, (и частично, на донную часть заготовки). После того как весь фланец будет охвачен пластической деформацией, начинается вторая стадия вытяжки, характеризующаяся увеличением угла охвата α и уменьшением его радиуса.

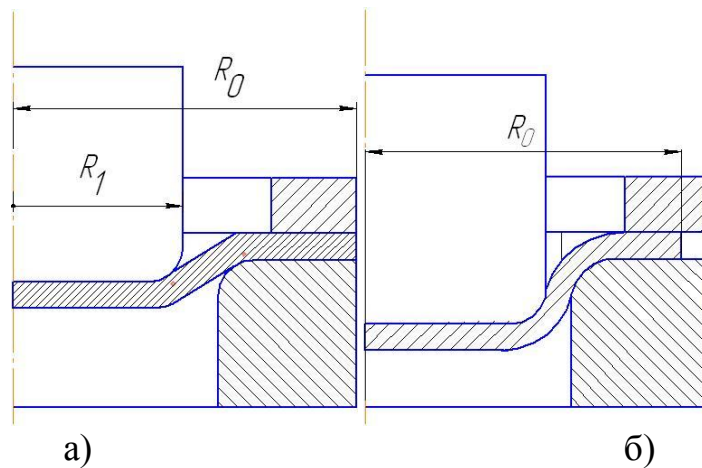


Рис. 1.12 – Схема вытяжки с прижимом: а – первая стадия вытяжки;
б – вторая стадия вытяжки

Кольцевой фланец (на рисунке 1.12), ограниченный двумя окружностями, радиусы которых R_0 и R_1 , испытывает плоское напряженное состояние, так как напряжение сжатия, вызванное давлением прижимного кольца штампа, мало по сравнению с другими компонентами тензора напряжений. При вытяжке диаметр фланца уменьшается, именно в нем происходит пластическая деформация.

Методы расчета напряжений в деформируемом изделии описаны ниже. Основные положения теории пластичности изложены в работах [49-56].

Известно, что по краям стаканов возникают и «складки» (когда лист приобретает волнистую форму) и т.н. «ушки». Их возникновение приводит к тому, что края полученных изделий неровные. Р. Хилл показал, что

образование «ушек», или фестонов связано с анизотропией материала. Теория Р. Хилла [18] объясняет возникновение четырех-шести фестонов для таких материалов как некоторые стали или прокатные листы из латуни.

Течение металла в зоне фланца заготовки, приводящее к развитию фестонов проанализировано в работе Л. А. Толоконникова, В. В. Шевелева и С.П. Яковлева [19,20,85]. Оно изложено в монографии [9]. Развитие неравномерной деформации и формирование фестонов связано с возникновением складок (волнистости), но складки возникают и на изотропном материале, поскольку их основной причиной является развитие напряжений сжатия, приводящих к потере устойчивости. Появление складок нарушает нормальный ход процесса вытяжки и часто приводит к браку. В связи с этим различают два вида вытяжки без утонения:

а) вытяжка с прижимом заготовки применяется при штамповке заготовок большого размера из тонкого металла. В этих случаях для предупреждения образования складок заготовка принудительно прижимается к зеркалу матрицы перед началом вытяжки. Схема деформации с прижимом показана на рисунке 1.13.

б) вытяжка без прижима – применяется при штамповке заготовок малых размеров из толстого металла. В этих случаях при деформации толстого листа не наблюдается образование складок.

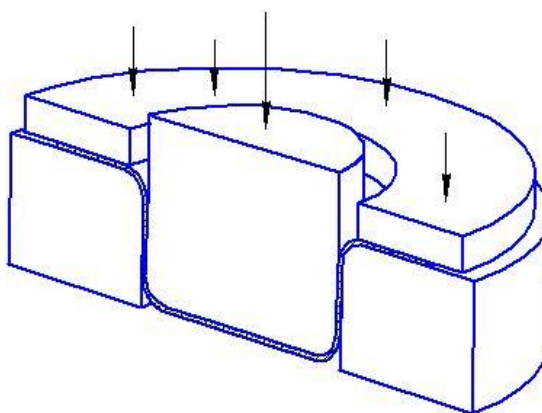


Рис. 1.13 – Схема вытяжного штампа с жесткой прижимной плитой.

За одну операцию вытяжки можно получить относительно неглубокие полые детали, так как при увеличении глубины действующие усилия возрастают на столько, что участки металла, нагруженные растягивающими силами, разрушаются в процессе деформирования вытяжкой. Поэтому при изготовлении глубоких полых деталей возникает необходимость в разделении процесса вытяжки на несколько операций с тем, чтобы избежать перенапряжения металла. Процесс изготовления детали заключается в чередовании ряда следующих друг за другом операций вытяжки, между которыми по мере надобности производится отжиг полуфабриката для снятия наклепа.

На первой операции вытяжки плоская заготовка деформируется в полое тело, а на второй и последующих операциях уменьшаются поперечные размеры и изменяется форма ранее полученного полуфабриката.

На рисунке 1.14 приведены данные по величинам усилий вытяжки стальных заготовок с прижимом по данным работы [58].

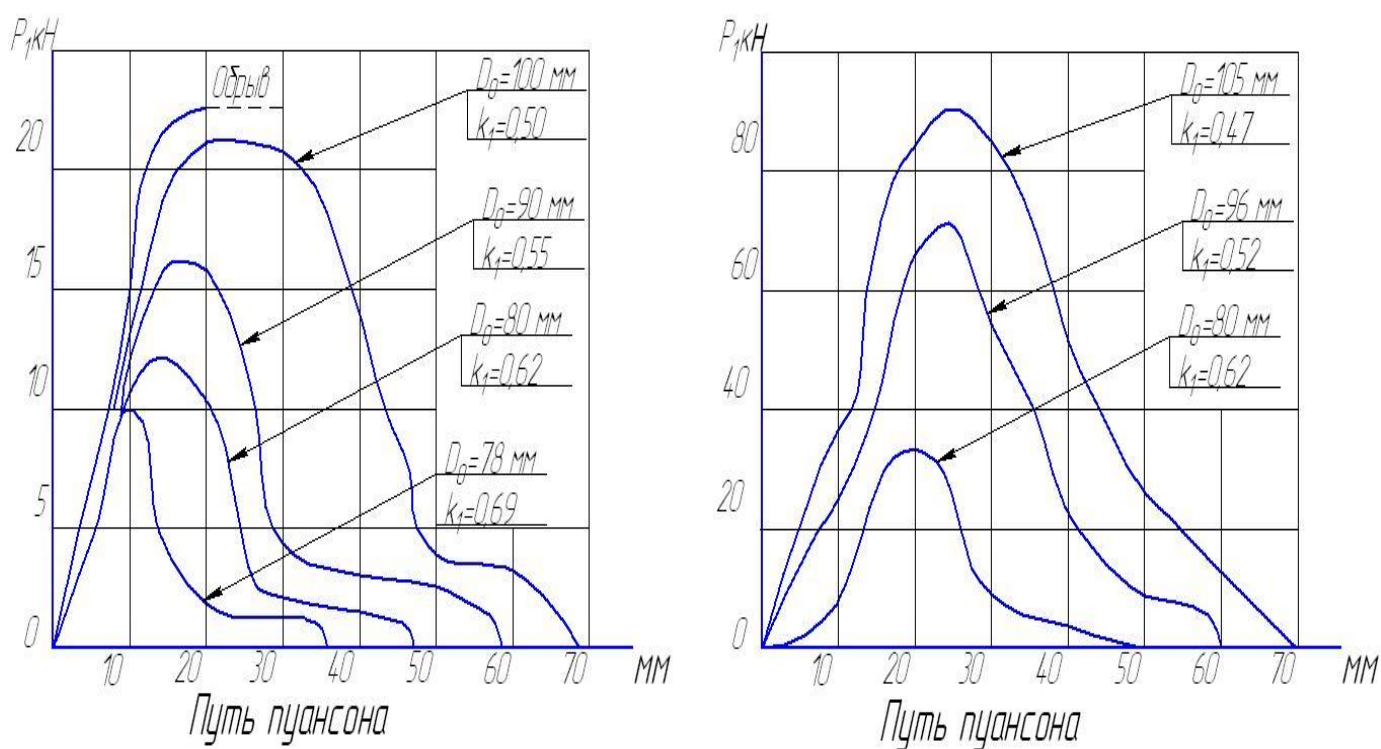


Рис.1.14 – Типовые диаграммы усилий первой вытяжки с прижимом стальных заготовок пуансоном

Эластичный прижим применяется на стандартных кривошипных прессах. Если прижим заготовки осуществляется с помощью пружин или резины, то его сила растет по мере увеличения глубины вытяжки. Силу пневматической или гидropневматической подушки изменяют, регулируя давление воздуха в цилиндре. Оптимальной считается та сила, которая предупреждает образование складок.

Если при вытяжке полого цилиндра постепенно увеличивать силу прижима, сохраняя без изменения все остальные условия, то склонность к образованию складок несколько уменьшается [59].

$$\frac{R_0 - R_1}{h} \leq C,$$

где C – некоторая постоянная, зависящая от материала (его термообработки), условий смазки и температуры; R_0 - начальный радиус заготовки; R_1 - радиус стакана; h - толщина листа.

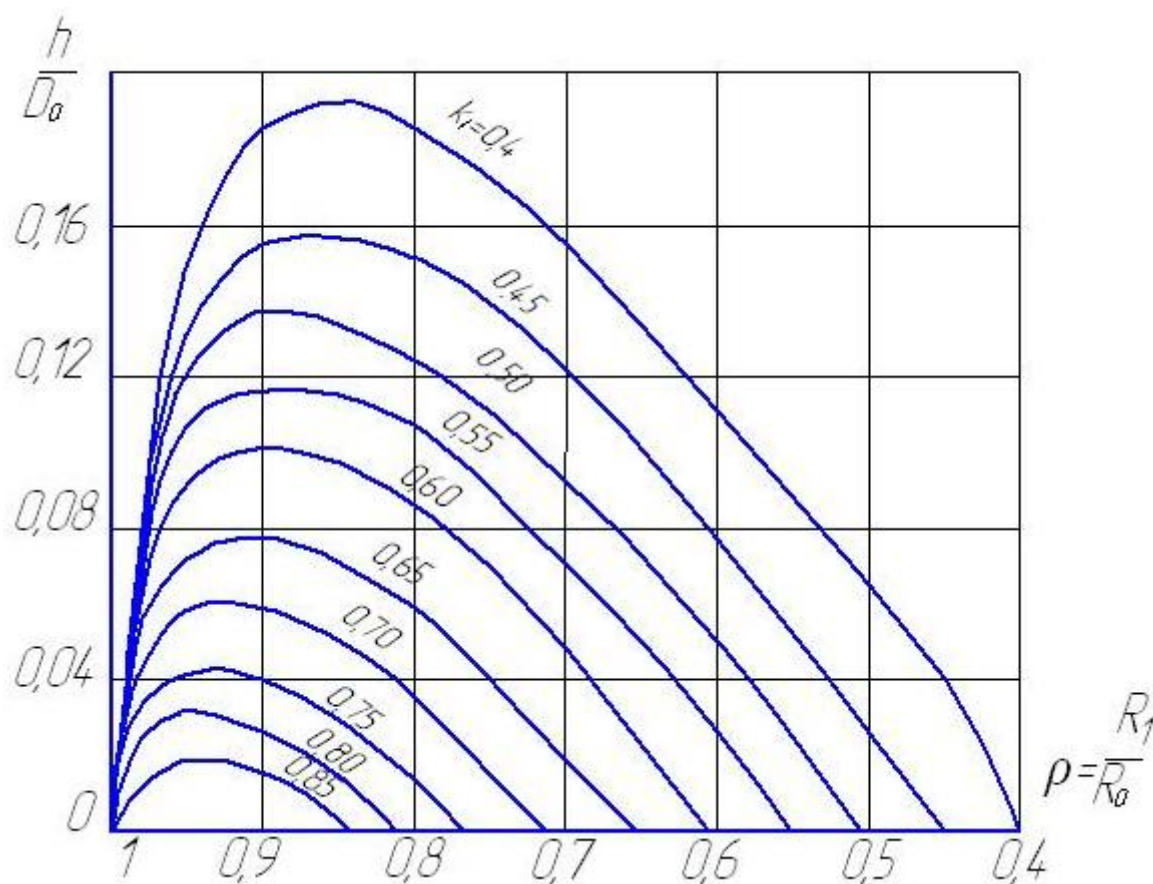


Рис.1.15 – Критические значения величины $\frac{h}{D_0}$, при котором начинается образование складок

На рисунке 1.15 приведены графики, построенные по формуле:

$$\frac{h}{D_0} \geq \bar{b}_c (\bar{\rho} - k_1) \sqrt{\varepsilon_{cp}},$$

где k_1 - коэффициент вытяжки; ε_{cp} - средняя степень деформации; $\bar{\rho}$ - относительное сокращение внешнего радиуса фланца.

Графики рисунка 1.15 характеризует минимальное отношение толщины к диаметру заготовки, при котором не наблюдается образование складок, в функции относительного перемещения наружного края заготовки.

Цель настоящей работы заключается в исследовании процесса обработки давлением – вытяжки изделий цилиндрической формы из тонколистового металла и разработке такого способа вытяжки, который позволил бы уменьшить потерю устойчивости и расширить номенклатуру изделий, изготавливаемых этим процессом.

Поставленная цель позволила определить задачи исследования, решение которых необходимо для ее достижения:

1. Исследование напряженного состояния и определение верхней границы усилий с использованием кинематически допустимого поля скоростей.
2. Разработка метода расчета возможных отклонений силовых и технологических параметров при изменениях размеров заготовки, ее механических свойств и сил трения.
3. Разработка технологического процесса вытяжки, обеспечивающего повышение точности размеров заготовок, при одновременном упреждении потери устойчивости и значительных искажений формы изделия.
4. Экспериментальное исследование нового способа штамповки и его внедрение в промышленное производство при изготовлении изделий осесимметричной формы.

ГЛАВА 2. ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

2.1 Современные методы, используемые для определения напряжений и усилий в процессах обработки давлением

Для определения напряжений и усилий, необходимых для реализации процессов обработки давлением, используют современные методы теории пластичности, разработанные советскими и зарубежными учеными: А.А. Ильюшиным, С.А. Христиановичем, Л.М. Качановым, В.В. Соколовским, Д.Д. Ивлевым, Б. Сен-Венаном, Д. Друкером, А. Надаи, Р. Хиллом, В. Прагером и другими учеными см. работы [49-56,94,96].

Во-первых, в процессах деформации должны быть выполнены уравнения равновесия, которые в цилиндрических координатах r, φ, z для задач с осевой симметрией можно записать в виде:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0,$$

где $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ - компоненты тензора, соответствующие нормальным напряжениям, а τ_{rz} - касательные напряжения. При осевой симметрии $\tau_{r\theta} = \tau_{z\theta} = 0$ и все компоненты не зависят от координаты θ .

Используем теорию течения [53-56], согласно которой компоненты вектора скорости, (а не перемещения) связаны с тензором напряжений зависимостями Леви-Мизеса:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_r}{\partial r} &= \lambda(2\sigma_r - \sigma_\theta - \sigma_z), \\ \frac{\partial V_z}{\partial z} &= \lambda(2\sigma_z - \sigma_r - \sigma_\theta), \\ \frac{\partial V_r}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial r} &= 6\lambda\tau_{rz}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где V_r и V_z – компоненты вектора скорости, (третий компонент V_θ в осесимметричной задаче принят равным нулю); λ – функция координат, определяемая условием текучести Мизеса, в котором принято, что при пластической деформации основную роль играет второй инвариант напряжений, т.е. мощность формоизменения. Это условие имеет вид [18] для осевой симметрии:

$$(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + 6\tau_{rz}^2 = 6k^2, \quad (2.3)$$

где $k = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}}$ – предел текучести (сопротивление деформации) при сдвиге, σ_T – предел текучести при одноосном растяжении – сжатии.

Условие (2.3) – это условие текучести Мизеса, но в ряде работ используют и условие текучести Треска, которое можно сформулировать так, что наибольшая величина разности главных напряжений равна пределу текучести при растяжении σ_T , а предел текучести при сдвиге равен $k = 0,5\sigma_T$.

При деформации тонких листов обычно величина σ_z мала по сравнению с σ_r , σ_θ и поэтому принимаем $\sigma_z=0$. В этом случае мы имеем шесть неизвестных функций: σ_r , σ_θ , τ_{rz} , V_r , V_z , λ , (три компоненты тензора напряжений, две компоненты вектора скорости и функцию λ), имеются и шесть уравнений, для их определения (два уравнения равновесия (2.1); три соотношения Леви-Мизеса (2.2); и условие текучести (2.3)). Задача, в принципе, может быть решена при заданных краевых условиях, но часто найти точное ее решение не удастся и приходится вводить дополнительные упрощения. Отметим, что теория Леви-Мизеса и принятая система уравнений (2.1)-(2.3) основаны на следующих допущениях:

1. Принимается схема идеальной пластичности, т.е. $k=\text{const}$. $\sigma_T=\text{const}$. Упрочнение учитывается только за счет усреднения величины « k » (или σ_T), но в уравнениях (2.1)-(2.3) эти величины приняты постоянными.

2. Упругими деформациями пренебрегают, т.е. материал полагают жесткопластичным.

3. Процесс деформации является монотонным, и отсутствует разгрузка, (при разгрузке уравнения (2.2) и (2.3) не применимы).

Заметим, что в систему принятых уравнений входят не перемещения деформации, а скорости течения (скорости деформации). При задачах, касающихся формоизменения тонких пластинок, часто применяют $\tau_{rz} = 0$, пренебрегая влиянием трения при холодной обработке металла давлением. Тогда из уравнения равновесия остается только одно:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \quad (2.4)$$

а условие текучести Мизеса примет вид:

$$\sigma_r^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_r \sigma_\theta = 3k^2 \quad (2.5),$$

в то время, как условие Треска в данной задаче:

$$\sigma_r - \sigma_\theta = 2k \quad (2.6)$$

В случае (2.6) решение (2.4) весьма простое при краевом условии $\sigma_r = 0$, при $r=R_0$ имеет вид :

$$\sigma_r = 2k \ln \frac{R_0}{r} \quad (2.7)$$

Компонента тензора напряжений σ_θ в виду условия (2.6) равна

$$\sigma_\theta = 2k \ln \frac{R_0}{r} - 2k = 2k \left(\ln \frac{R_0}{r} - 1 \right)$$

тогда при предельной величине $\frac{R_0}{r} = e = 2,72$, $\sigma_r = 2k$, $\sigma_\theta = 0$.

Дополнительное растяжение, вызванное изгибом металла на кромке пуансона, несколько снижает предельную нагрузку. Но известно, что изменение формы пуансона, существенно не влияет на величину пиковой нагрузки. Малый радиус закругления пуансона, не увеличивая существенным образом удельное давление вытяжки, немного повышает предельное значение коэффициента вытяжки, при котором материал разрушается незначительно. Конечно, в реальном процессе достичь предельной величины $\frac{R_0}{r} = 2,72$ не удастся, реально достижимые параметры $\frac{R_0}{r} = 2,2-2,5$. При малых величинах зазоров - закругления в матрице принимают $r_k = R_1$, где R_1 - радиус пуансона.

Графики изменения величин $\frac{\sigma_r}{k}$ и $\frac{\sigma_\theta}{k}$, полученных при условии Треска, приведены на рисунке 2.1

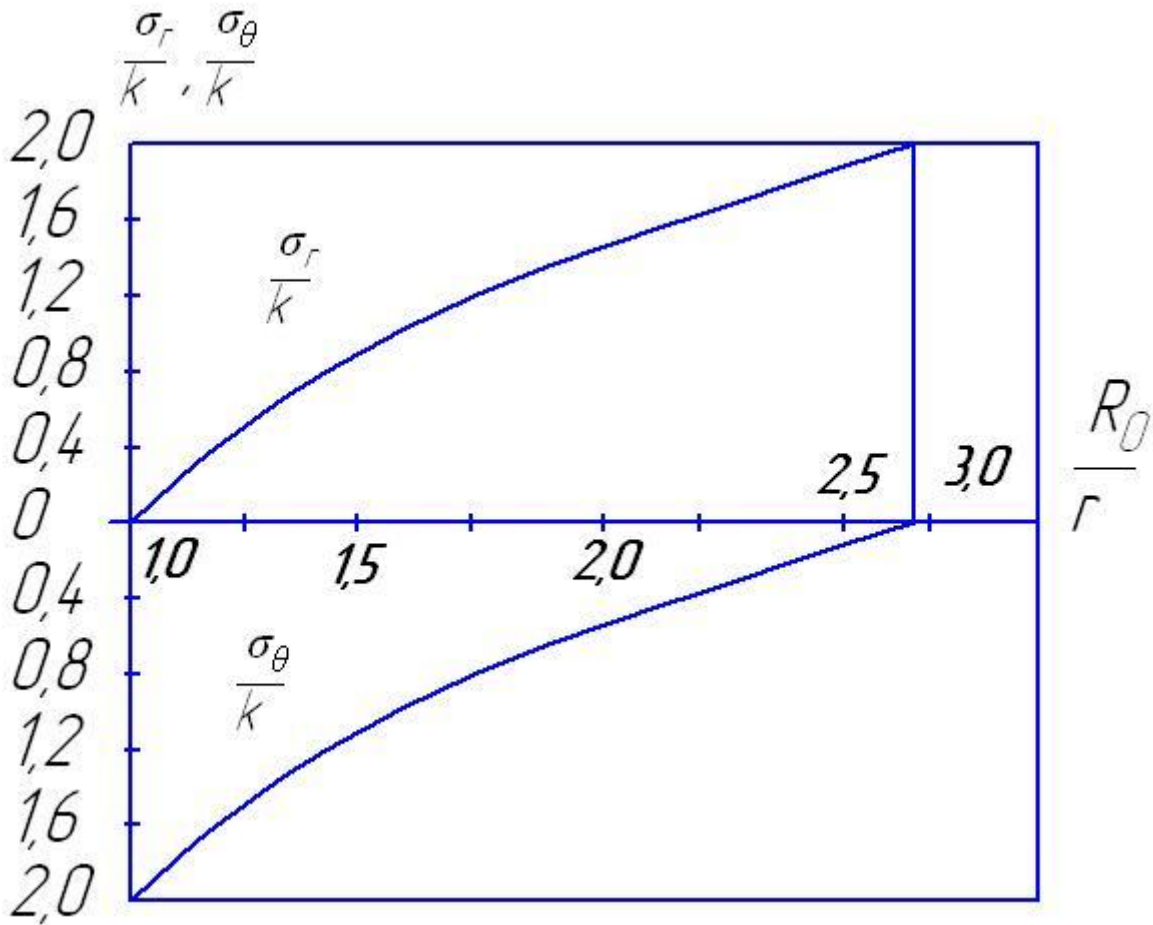


Рис. 2.1 - Графики изменения напряжений в деформируемой заготовке (при условии текучести Треска)

Если использовать условие текучести Мизеса и определить из него напряжения:

$$\sigma_\theta = 0,5(\sigma_r \pm \sqrt{3}\sqrt{4k^2 - \sigma_r^2}),$$

то уравнение (2.4) примет вид:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{0,5}{r}(\sigma_r + \sqrt{3}\sqrt{4k^2 - \sigma_r^2}) = 0 \quad (2.8)$$

Поскольку при $\sigma_r=0$ напряжения $\sigma_\theta < 0$, то в первом из этих уравнений надо принять знак «минус» и тогда в формуле (2.8) будет знак «плюс». Из (2.8) получаем:

$$\frac{dr}{2r} + \frac{d\sigma_r}{\sigma_r + \sqrt{3}\sqrt{4k^2 - \sigma_r^2}} = 0,$$

а после интегрирования:

$$C = 0,5 \ln r + \frac{\sqrt{3}}{4} \arcsin \frac{\sigma_r}{2k} + 0,25 \ln \left| \sigma_r + \sqrt{3}\sqrt{4k^2 - \sigma_r^2} \right|,$$

а с учетом краевого условия $\sigma_r = 0$ при $r = R_0$ решение (2.8) имеет вид:

$$\ln \frac{R_0}{r} = \frac{\sqrt{3}}{2} \arcsin \left(\frac{\sigma_r}{2k} \right) + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\sigma_r + \sqrt{3}\sqrt{4k^2 - \sigma_r^2}}{2k\sqrt{3}} \right| \quad (2.9)$$

На основании этой формулы построены графики напряжений $\frac{\sigma_r}{k}$ и $\frac{\sigma_\theta}{k}$, см. рис.2.2

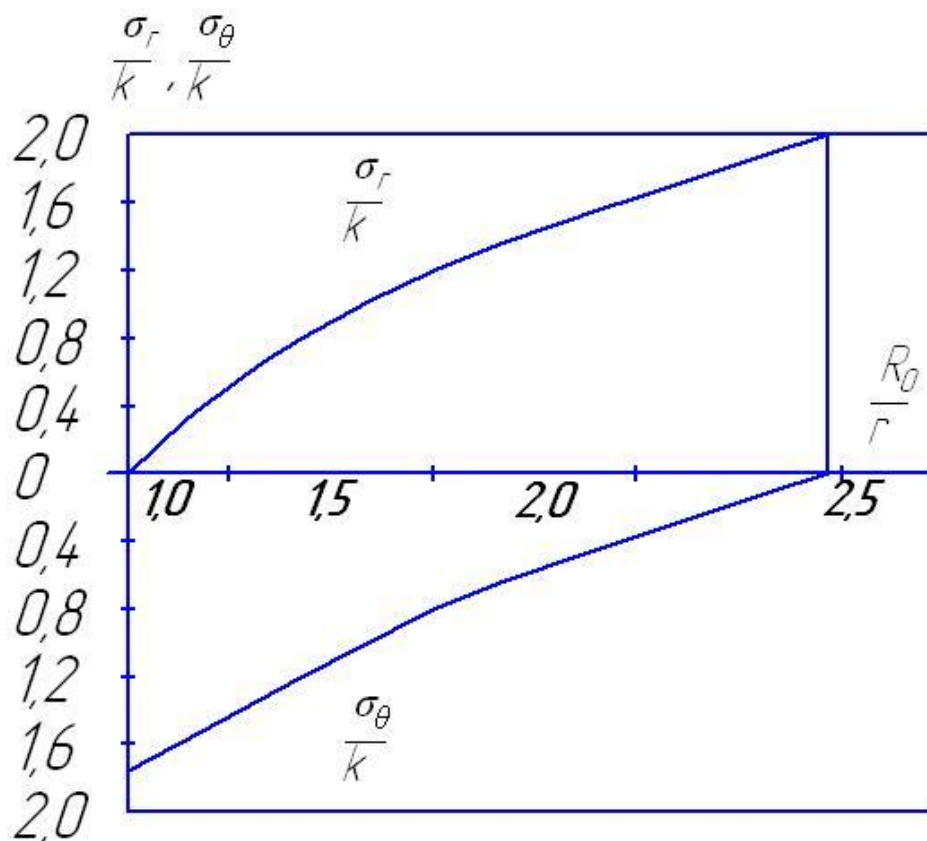


Рис. 2.2 - Графики изменения напряжений в деформируемой заготовке (при условии текучести Мизеса)

Изложенное показывает, что результаты, полученные из условий текучести Сен-Венана и Мизеса дают близкие значения предельных величин $\frac{R_0}{R_1}$: они равны 2,7 и 2,49 соответственно. При этих величинах напряжения достигают значений $\sigma_\theta=0$ при $\sigma_r = 2k$ или $\sigma_r = k\sqrt{3}$, когда возможно появление трещин.

Сопоставление теоретических величин с тем значением, которое достижимо в реальных условиях деформирования, дает представление о степени качества технологического режима вытяжки и способа его улучшения.

Известно, что для мягких сталей и некоторых других материалов, широко применяемых для глубокой вытяжки, сохраняется примерно одинаковые значения $\frac{R_0}{R_1} = 0,4$. Иными словами, за одну операцию вытяжки нельзя достигнуть уменьшения диаметра заготовки более чем в два с половиной раза даже при полном отсутствии дополнительных потерь на трение (особенно при наличии прижимов) и изгиб.

В некоторых случаях разрушение происходит в начальной стадии процесса, когда центральная часть – днище с небольшим цилиндрическим участком отрывается от кольцевого участка листа. Но на практике часто имеют место и случаи, когда трещина зарождается при максимальной величине R_0 (и отношения $\frac{R_0}{R_1}$), а затем постепенно развивается и появляется уже на завершающей стадии операции в виде раскрытой кольцевой трещины, см. рис. 2.3, на котором показан стакан из стали 08Ю с начальным радиусом $R_0=105$ мм, радиусом стакана 55 мм, высотой 92 мм и толщиной листа 0,5 мм.

Схема деформации, по мере увеличения длины стакана, приведена на рисунке 2.4. На рисунке 2.4а показана начальная стадия деформации, когда величина R_0 максимальна и напряжение σ_r при $r=R_1$ согласно формуле (2.3) равно:

$$\sigma_r = 2k \ln \frac{R_0}{R_1} \text{ при } r=R_1$$

Максимальное по модулю напряжение $\sigma_\theta = 2k$ при $r=R_0$; эпюры напряжений σ_r и σ_θ приведены на рис. 2.4.



Рис. 2.3 – Стакан диаметром 110мм, высотой 92 мм из стали 08Ю с кольцевой трещиной

По мере движения пуансона наружный радиус R_0 уменьшается до величины R'_0 см. рис. 2.4б, и теперь максимальное радиальное напряжение действует на другой участок металла. По мере перехода металла через зоны перегиба, изменяется его напряженное состояние и напряжение σ_r переходит в напряжение σ_z по мере перехода металла из плоского диска в цилиндрический участок тела. При этом наибольшее напряжение σ_r уменьшается, но максимальные (по модулю) напряжение σ_θ действует на один и тот же объем металла – у краев плоского диска, т.е при $r=R_0$ на рис. 2.4а и при $r=R'_0$ на рис.2.4б. Выберем, например произвольную точку М, рис. 2.4а. В положении на рис. 2.4а в этой точке $\sigma_r = 2k \ln \frac{R_0}{R_1}$, $\sigma_\theta = 0$, $\sigma_z = 0$, но когда она перейдет в положение М на рис. 2.4б, для нее можно принять $\sigma_r = 0$, $\sigma_\theta = 0$, $\sigma_z \neq 0$ поскольку $\sigma_z = \frac{P}{2\pi R_1 h}$; (P – усилие вытяжки). Произошло существенное изменение напряженного состояния заготовки, но сечение «кольца», равное $R'_0 \times h$, по мере вытяжки стакана уменьшается (а напряжения сжатия по модулю не уменьшаются). Поэтому сохраняется опасность потери устойчивости и образования складок, когда нарушается плоская форма «кольца».

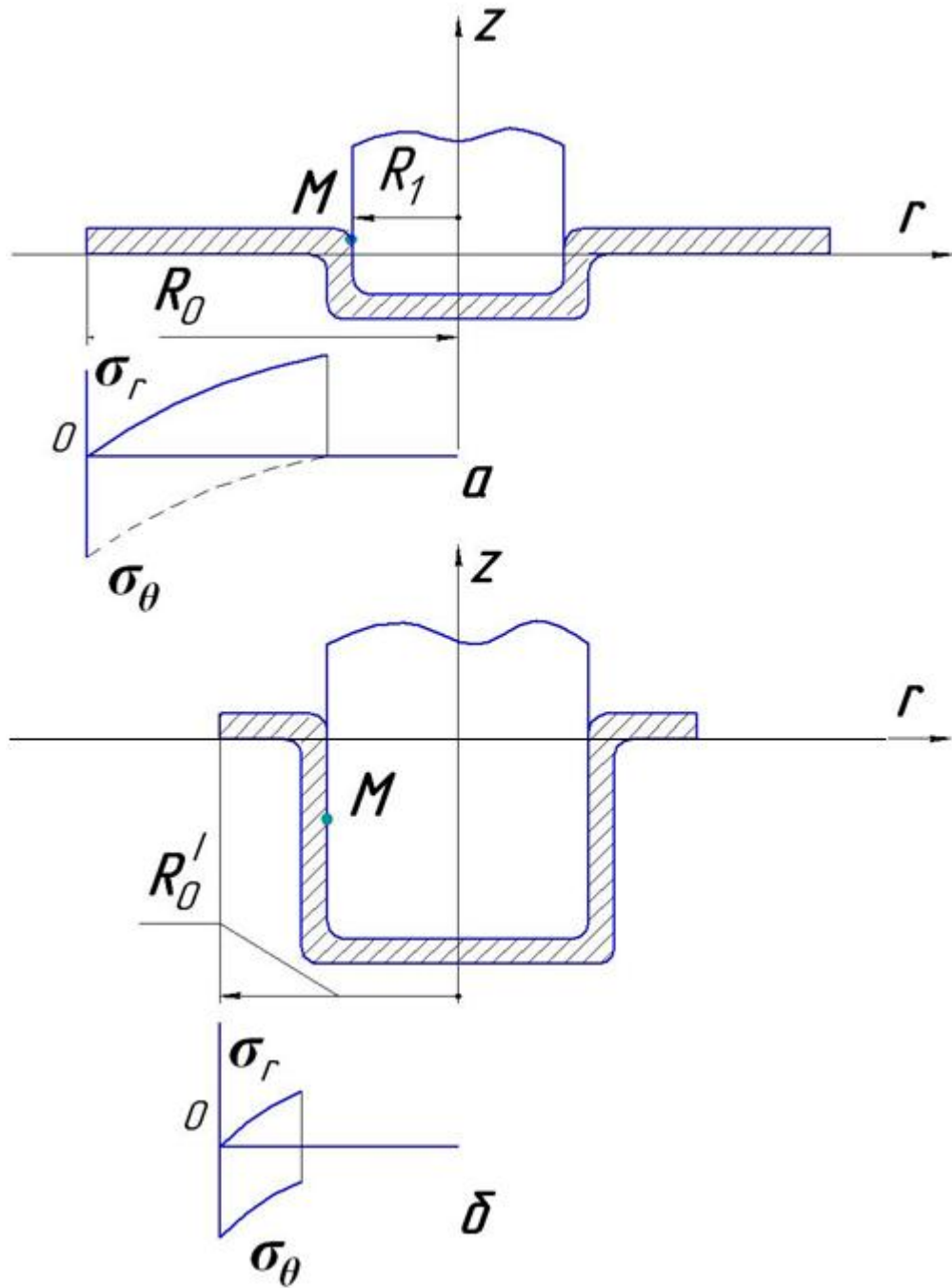


Рис.2.4 – Схема изменения напряженного состояния в процессе деформации: а – начальная стадия вытяжки; б - промежуточная

Потерю устойчивости кольцевых участков при воздействии тангенциальных напряжений сжатия впервые рассмотрел немецкий ученый И.В. Геккелер в 1934 г. [5]. Согласно этим данным критическое напряжение сжатия равно:

$$\sigma_k = 0,46 \frac{h^2 E_0}{(R_0 - R_1)^2} \quad (2.10)$$

а число складок:

$$n = 1,65 \frac{R_0}{R_0 - R_1}, \quad (2.11)$$

где E_0 в [20] определен, как модуль потери устойчивости при сжатии. Согласно этим данным например при $R_0 = 100\text{мм}$, $R_1 = 60\text{мм}$ число складок должно равняться 4,1(четырем). Эти данные в 1968 году проверяли Х. Назари и Р. Пирс [6], причем формула Геккелера во многих случаях не подтвердилась.

Конечно, на процесс деформации при вытяжке ряда металлов и сплавов существенное влияние оказывает анизотропия механических свойств заготовки. При деформации (прокатке) зерна металла, и неметаллические включения приобретают форму длинных (вытянутых) волокон, а после отжига получаем «строчечную структуру» см. [20,85,88]. В этих случаях анизотропия – различие механических свойств в направлениях прокатки и в перпендикулярном направлении могут отличаться значительно. Но и в самом процессе деформации вытяжки может развиваться деформационная анизотропия, которая может существенно изменить анизотропию первоначальную. Данные в литературе противоречивы, имеются указания на положительное влияние анизотропии [20], но в большинстве случаев она приводит к развитию фестонов и затрудняет получение изделий высокого качества. Известно, что отрицательно влияние анизотропии уменьшается при двухосном растяжении и проявляется сильнее при сочетании растяжения в одном направлении и сжатия в другом (перпендикулярном) направлении. Следовательно, при воздействии двух напряжений разного знака, (это имеет место при вытяжке, когда $\sigma_r > 0$, а $\sigma_\theta < 0$), надо стремиться к уменьшению различия их модулей, и пределов текучести.

В качестве условия текучести вместо (2.5) было предложено ряд других условий текучести Р. Хиллом, Л. Ху и Ж. Мэрином, Д.Д. Ивлевым, В.В. Шевелевым и С.П.Яковлевым и другими учеными [5,20,53,18,100]. Отметим, что Л. Ху и Ж. Мэрин [6] для ряда металлов предлагали условие, которое можно записать, (при $\tau_{r\theta} = \tau_{\theta z} = \tau_{rz} = 0$ и $\sigma_z = 0$) в виде:

$$\left(\frac{\sigma_r}{\sigma_{Tr}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\theta}{\sigma_{T\theta}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_r}{\sigma_{Tr}}\right)\left(\frac{\sigma_\theta}{\sigma_{T\theta}}\right) = 1, \quad (2.12)$$

которое будет обсуждено далее. Здесь параметры σ_{Tr} и $\sigma_{T\theta}$ - величины пределов текучести в направлениях r и θ соответственно. Можно записать (2.12) также в виде:

$$\sigma_r^2 + \sigma_T^2 a^2 - \sigma_r \sigma_\theta a = \sigma_{Tr}^2, \quad (2.13)$$

где $a = \frac{\sigma_{Tr}}{\sigma_{T\theta}}$ - отношение величин пределов текучести в радиальном и тангенциальном направлениях. Это величина, характеризующая степень анизотропии металла при плоском напряженном состоянии.

2.2 Формулы для расчета энергосиловых параметров.

Часто для того, что бы упростить вычисления используют кинематически допустимые поля скоростей. Известно, что кинематически допустимым является такое поле скоростей течения, которое:

- а) удовлетворяет условию несжимаемости,
- б) удовлетворяет краевым условиям для скоростей в данной задаче,
- в) определяет положительную величину мощности.

Если эти условия выполнены, то определена величина мощности N , которая не может быть меньше, чем мощность определенная точным решением, см. [9,18]. Метод построения кинематически допустимых полей скоростей был использован в частности, для задачи о вдавливании в заготовку цилиндрического пуансона [61] и для листовой штамповки [62,77,107]. Простейшее, кинематически допустимое, поле скоростей иллюстрирует рис.2.5, его можно построить из двух зон, одна из которых движется как жесткое тело в направлении, параллельном оси z , см. рис. 2.5 и в этой зоне скорости равны: $V_z = -V_0$; $V_r = 0$.

Вторая зона, имеющая форму диска, с наружным радиусом R_0 (рис.2.5) соответствует полю скоростей:

$$V_r = -V_0 \frac{R_1}{r}; V_z = 0, \quad (2.14)$$

где размеры показаны на рис.2.5.

Реализуется процесс вытяжки без изменения толщины. Такое поле является кинематически возможным, если существует граничная поверхность, на которой равны нормальные компоненты векторов скоростей обеих зон.

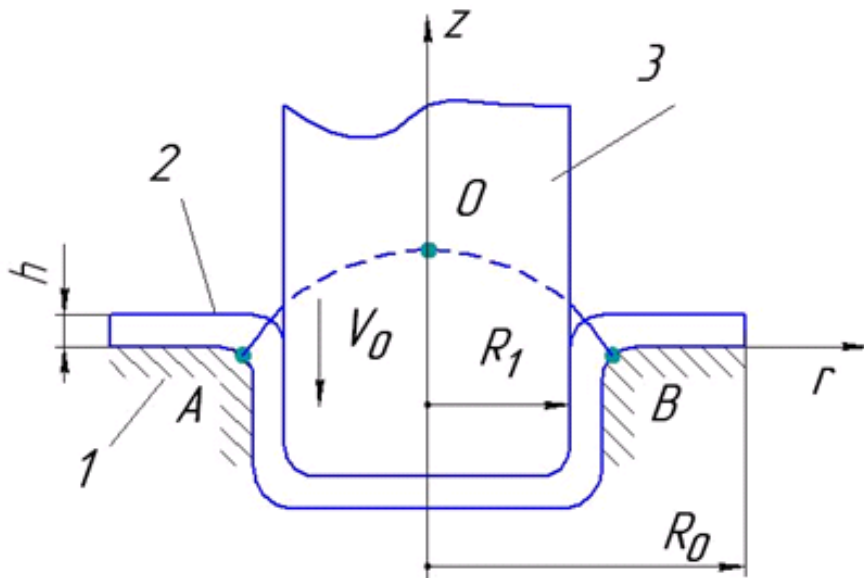


Рис.2.5 – Схема осесимметричной деформации

Как показано в [62], такая поверхность существует и является параболоидом вращения. Уравнения этой поверхности в координатах r, z рис.2.5 имеет вид:

$$z = \frac{(R_1+h)^2 - r^2}{2R_1+h} \quad (2.15)$$

Во внешней кольцевой зоне, в которой реализуется согласно (2.14) радиальное течение, компоненты тензора скорости деформации $\varepsilon_r = v_0 \frac{R_1}{r^2}$; $\varepsilon_\theta = -v_0 \frac{R_1}{r^2}$; $\varepsilon_z = 0$, а второй инвариант этого тензора $H = 2 \frac{v_0 R_1}{r^2}$.

Мощность деформации в этой зоне определяется интегрированием

$$N_1 = \int_{R_1}^{R_0} 2\pi r k h H dr = 4\pi k v_0 R_1 h \ln \frac{R_0}{R_1}$$

На граничной поверхности параболоида АОВ, рис.2.5, непрерывны нормальные компоненты векторов скоростей для обеих зон, но тангенциальные компоненты могут иметь и имеют разрыв. Поэтому надо учесть мощность среза на границе двух зон на поверхности АОВ, равную:

$$N_2 = \int_{R_1}^{R_1+h} 2\pi r k \Delta v \sqrt{1 + (z')^2} dr,$$

где $\Delta v = \frac{v_0}{z} \sqrt{1 + (z')^2}$ разрыв тангенциальной компоненты скорости на поверхности параболоида, определяемого формулой (2.15) и мощность среза равна:

$$N_2 = 2\pi k v_0 R_1 h \left(1 + \frac{h}{2R_1}\right)$$

и в большинстве случаев $\frac{h}{2R_1} \ll 1$ и этой величиной можно пренебречь.

С учетом трения на опорной поверхности диска, можно определить:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{v_0} (N_1 + N_2 + \mu P v_0) \\ P &= \frac{2\pi k R_1 h}{1-\mu} \left(1 + 2 \ln \frac{R_0}{R_1}\right) \end{aligned} \quad (2.16)$$

В этой задаче полная мощность определена усилием. Например, если $R_1=0,05\text{м}$, $R_0 = 0,08\text{м}$; $h = 2 \cdot 10^{-3}\text{м}$, $\mu = 0,10$, $\sigma_T = 350 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$, $k = 202 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$ то согласно (2.16) получим величину усилия:

$$\begin{aligned} P &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 202 \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{1 - 0,1} \left(1 + 2 \ln \frac{0,08}{0,05}\right) = 0,14095 \cdot 1,93886 \\ &= 0,273 \text{ МН. , т. е. } P = 273 \text{ кН} \end{aligned}$$

Можно применять (для оценки границы величины усилия) и формулу, основанную на поле скоростей, определяющем срез вдоль окружности радиусом $(R_1 + h)$

$$P = 2\pi k (R_1 + h) h,$$

а также силу $P = 2\pi k (R_1 + h) h k$, определяющую усилие растяжения цилиндрического стакана.

Во многих случаях оценки величин верхних границ усилий, определенные построением кинематически допустимых полей скоростей являются полезными, но желательно проведение экспериментальных исследований для анализа возможных погрешностей.

Выводы:

1. Показано, что деформация листа в процессе вытяжки создает в кольцевой зоне плоского диска напряженное состояние, соответствующее растяжению в радиальном направлении и сжатию в тангенциальном направлении. Такое сжатие может привести к потере устойчивости и образованию выступов в форме волн.

2. Расчеты с использованием условия текучести Треска и условия Мизеса определяют близкие величины предельных отношений радиусов диска заготовки и изделия $\frac{R_0}{R_1} = 2,5$ и $\frac{R_0}{R_1} = 2,72$.

3. Формулы, основанные на построении кинематически допустимых полей скоростей, определяют верхнюю границу усилия, но нет экспериментальных данных по проверке этих формул.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТЫ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В известных публикациях приведены данные об энергосиловых параметрах процесса вытяжки осесимметричных изделий [12,89,90,97]. Известен ряд формул для расчета усилий вытяжки, напряжений, параметров характеризующих устойчивость процесса. Однако, для технологов представляет интерес не только определение некоторого параметра, например усилия P , необходимого для вытяжки из листа толщиной h в форме круга радиусом R_0 заготовки радиусом R_1 и длиной приблизительно равной $l = R_0 - R_1$. Важно также знать, какие возможны отклонения этого параметра от полученной расчетной величины.

Если мы определим усилие деформации, равно 250 кН, то для технолога и конструктора важно знать, какова точность этой величины, какие возможны отклонения от нее, то есть, следует ли понимать эту величины как 250 ± 10 кН или 250 ± 100 кН. Это может оказаться важным для технолога, и для конструктора, проектирующего оборудование для реализации процесса вытяжки. Если определена величина усилия P_0 , то каковы возможные отклонения этого параметра от номинальной величины, т. е, диапазон:

$$P = P_0 \pm \Delta P$$

Очевидно, что аргументы функции $P(k, R_1, R_0, h, \mu)$ всегда известны с некоторой степенью неопределенности, т.е., $k \pm \Delta k, R_1 \pm \Delta R_1, R_0 \pm \Delta R_0, h \pm \Delta h, \mu \pm \Delta \mu$.

Ранее в процессах обработки давлением определяли только энергосиловые и технологические параметры, например усилия, момент прокатки, мощность, необходимые для реализации процесса.

В 1966 году была предложена методика расчета возможных колебаний величины усилия прокатки при отклонениях технологических параметров от их номинальных величин [63]. Эти методы и расчетные формулы были изложены в [64]. Они представляют интерес, поскольку отклонения параметров от их

номинальных величин приводят к отклонениям и величины усилия прокатки от номинальной величины, а это приводит к развитию продольной разнотолщинности. Изменение усилия прокатки, неизбежно, приводит к изменениям упругой деформации валков, других деталей прокатных клетей [64].

Целесообразно использовать методику расчета возможных отклонений энергосиловых и технологических параметров от их номинальных величин и для процесса вытяжки, но ранее таких исследований не проводили. Например, условие устойчивости в процессах вытяжки, следуя работам Л.А. Шофмана [7] можно записать в упрощенном виде:

$$f = \frac{R_0 - R_1}{h} < 44, \quad (3.1)$$

где R_0 - радиус круглой (имеющей форму диска), исходной заготовки, R_1 - радиус тонкостенного стакана толщиной h .

Нарушение неравенства (3.1) приводит к возникновению складок, т.е., к потере устойчивости процесса деформации и неопределенным изменениям конфигурации деформируемого тела [7,10]. Параметры R_1, R_0, h , входящие в формулу (3.1) известны только с некоторыми погрешностями: $R_1 \pm \Delta R_1, R_0 \pm \Delta R_0, h \pm \Delta h$. Вопрос о том, какое именно влияние могут оказать эти погрешности на условие (3.1) представляется весьма важным.

То, что такие возможные отклонения не учитывают, может привести к случаям, когда технолог предполагает, что условие (3.1) выполнено, а фактически оно оказывается нарушенным и при изготовлении цилиндрических стаканов возникает необратимое искажение формы. Иногда указывают, что величины отклонений $\Delta R_1, \Delta R_0, \Delta h$ и т.д., являются «погрешностями», т.е., фактически предполагают, что существуют некоторые точные величины, определяемые числами R_1, R_0, h , но измерить их мы можем не точно, а только с некоторой погрешностью (величины $\Delta R_1, \Delta R_0$ и т.д. характеризуют именно эти погрешности измерений). Разумеется, погрешности измерений всегда имеют место, но колебания величин аргументов возникают не только из-за этого и

часто главным образом не по этой причине. Основной причиной является то, что сами параметры процесса, в данном случае R_1, R_0, h , являются неопределенными, они изменяются по объему, изменяются радиусы и толщина заготовки. Отклонение от круговой формы и разнотолщинность листа являются реальными факторами, поэтому эти величины не являются точно определенными, (которые можно задать одним числом). Они неизбежно изменяются в некоторых интервалах, причем, как было показано в [65,64 стр. 92-96], реально существуют «интервалы равной вероятности», в пределах которых все числа являются равноценными, (равноправными при расчетах). С точки зрения математики если задано некоторое уравнение, в которое входит параметр $R_1 = 50,000\text{мм}$, то решение, полученное для некоторой функции, характеризующей изменение R_1 в диапазоне $R_1 = 50,000 \div 50,001\text{мм}$, решением не является. Однако, в реальных задачах такое решение вполне приемлемо, поскольку диапазон возможных изменений R_1 намного превосходит интервал $0,001$ мм. Никакие эксперименты не могут доказать, что первое решение «лучше» (при $R_1 = \text{const} = 50,000$ мм точнее, чем второе при $R_1 = 50,000 - 50,001$ мм).

Наличие «интервалов равной вероятности» является реальным фактором, неизбежным для процессов, связанных со степенью их «неопределенности».

Если аргументы некоторой функции, в данном случае R_1, R_0, h имеют малые отклонения $\Delta R_1, \Delta R_0, \Delta h$ от номинальных величин, то отклонение функции равно:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial R_0} \Delta R_0 + \frac{\partial f}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial f}{\partial h} \Delta h, \quad (3.2)$$

где $\frac{\partial f}{\partial R_0}, \frac{\partial f}{\partial R_1}, \frac{\partial f}{\partial h}$ - частные производные функции $f(R_0, R_1, h)$. В данном случае из (3.1) следует

$$\frac{\partial f}{\partial R_0} = \frac{1}{h} = f \frac{1}{R_0 - R_1},$$

$$\frac{\partial f}{\partial R_1} = -\frac{1}{h} = -f \frac{1}{R_0 - R_1},$$

$$\frac{\partial f}{\partial h} = -\frac{R_0 - R_1}{h^2} = -\frac{f}{h} \text{ и ПОЭТОМУ:}$$

$$\Delta f = \frac{f \Delta R_0}{R_0 - R_1} - \frac{f \Delta R_1}{R_0 - R_1} - \frac{f}{h} \Delta h \quad (3.3)$$

Относительное изменение функции f равно

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{R_0}{R_0 - R_1} \left(\frac{\Delta R_0}{R_0} \right) - \frac{R_1}{R_0 - R_1} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) - \frac{\Delta h}{h} \quad (3.4)$$

В наихудшем случае, когда $\Delta R_0 > 0$, а $\Delta R_1 < 0$ и $\Delta h < 0$ отклонения, определяемые изменениями всех трех параметров, суммируются. Приняв этот случай, при $R_0 = 0,08$ м, $R_1 = 0,05$ м, $h = 2 \cdot 10^{-3}$ м из (3.1) $f = \frac{0,03}{2 \cdot 10^{-3}} = 15$, получим по формуле (3.3) $\Delta f = 15(33,3\Delta R_0 - 33,3\Delta R_1 - 500\Delta h)$.

Если $\Delta R_0 = 0,01$ мм, $\Delta R_1 = -0,01$ мм и $\Delta h = -0,001$ мм, то получим $\Delta f = 15(0,333 + 0,333 + 0,5) = 17,5$ и поэтому возможны реальные изменения величины f в диапазоне:

$$f = 15 \pm 17,5$$

вплоть до величины 32,5.

Поскольку и при этом условии $f < 44$ выполнено, можно полагать, что приведенные отклонения функции f не приведут к появлению нарушения геометрии детали из-за потери устойчивости форм листовой заготовки. Можно записать (3.3) при подстановке в него f из (3.1):

$$\Delta f = \frac{\Delta R_0}{h} - \frac{\Delta R_1}{h} - \frac{(R_0 - R_1)}{h^2} \Delta h \quad (3.5)$$

и эта формула показывает, что отклонение Δf тем больше, чем тоньше деформируемый лист. Пусть, например, отклонения ΔR_0 и ΔR_1 малы и ими можно пренебречь, (приняв $\Delta R_0 = \Delta R_1 = 0$). Тогда при $R_0 = 8 \cdot 10^{-2}$ м, $R_1 = 5 \cdot 10^{-2}$ м, $\Delta h = 10^{-3}$ м график зависимости

$$|\Delta f| = 3 \cdot 10^{-2} \frac{\Delta h}{h^2} = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{h^2}$$

приведен на рис. 3.1 (где она обозначена цифрой 1).

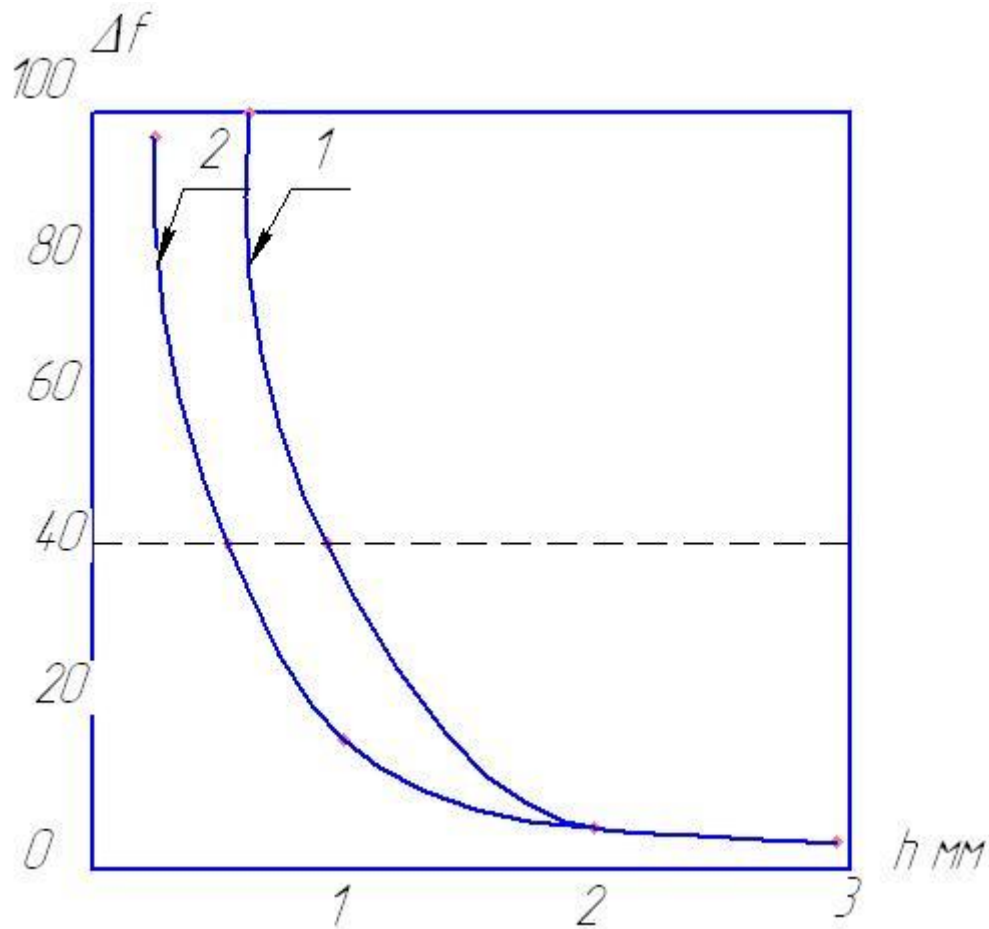


Рис. 3.1 График функции $\Delta f(h)$

Пунктиром показана предельно допустимая величина f и видно, что трудности получения качественных изделий возрастают при $h < 1$ мм, когда отклонения могут при неблагоприятных изменениях Δh превысить допустимую величину f и привести к искажению формы заготовки. Однако, следует учитывать, что при больших отклонениях Δh , надо использовать не дифференциальную зависимость (3.2), а более точную

$$\Delta f = f(R_0, R_1, h + \Delta h) - f(R_0, R_1, h)$$

или

$$\Delta f = (R_0 - R_1) \left(\frac{1}{h + \Delta h} - \frac{1}{h} \right) = - \frac{(R_0 - R_1) \Delta h}{h(h + \Delta h)} \quad (3.6)$$

Например, если $R_0 - R_1 = 3 \cdot 10^{-2}$ м, $\Delta h = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м, то

$$|\Delta f| = \frac{3 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6}} = 40, \text{ а при}$$

$$h = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}, |\Delta f| = 15.$$

На рис.3.1 линия, соответствующая формуле (3.6) обозначена цифрой 2. Видно, что при $h > 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, (т.е., при $\frac{\Delta h}{h} < 0,5$) линии 1 и 2 близки.

Расчеты показывают, что наибольшее влияние на колебание функции f , ее отклонений от номинальных значений оказывает разнотолщинность листового проката. Даже при разнотолщинности 0,01-0,02 мм ее влияние может быть значительным.

Для определения усилия вытяжки с рассмотрением кинематически допустимого поля скоростей получена формула:

$$P = \frac{2\pi k R_1 h}{1-\mu} \left(1 + 2 \ln \frac{R_0}{R_1}\right) \quad (3.7)$$

где $k = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}}$ - предел текучести при сдвиге, σ_T - предел текучести при растяжении-сжатии, μ - коэффициент трения при скольжении листа по штампу, (при радиальном перемещении плоского участка заготовки).

Из формулы (3.7) можно найти частные производные:

$$\frac{\partial P}{\partial k} = \frac{2\pi R_1 h}{1-\mu} \left(1 + 2 \ln \frac{R_0}{R_1}\right) = \frac{P}{k}$$

$$\frac{\partial P}{\partial h} = \frac{P}{h}$$

$$\frac{\partial P}{\partial R_1} = \frac{P}{R_1} \left(\frac{2 \ln \frac{R_0}{R_1} - 1}{2 \ln \frac{R_0}{R_1} + 1}\right)$$

$$\frac{\partial P}{\partial R_0} = \frac{P}{R_0} \left(0,5 + \ln \frac{R_0}{R_1}\right)^{-1}$$

$$\frac{\partial P}{\partial \mu} = \frac{P}{1-\mu}$$

и следовательно можно записать возможные изменения функции P при отклонении аргументов: $\Delta R_0, \Delta R_1, \Delta k, \Delta h, \Delta \mu$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta \mu}{1-\mu} + \frac{\Delta R_0}{R_0} \frac{2}{1+2 \ln \frac{R_0}{R_1}} + \frac{\Delta R_1}{R_1} \left(\frac{2 \ln \frac{R_0}{R_1} - 1}{2 \ln \frac{R_0}{R_1} + 1}\right) \quad (3.8)$$

Примем $R_0 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $R_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, то $\ln \frac{8}{5} = 0,47$, то получим:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta \mu}{1-\mu} + 1,03 \frac{\Delta R_0}{R_0} - 0,031 \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

Видно, что изменения (отклонения от номинальной величины), величины R_1 оказывают весьма малое влияние на относительное изменение усилия высадки. Остальные четыре переменных: k , h , μ , R_0 оказывают одинаковое влияние и в наихудшем случае, когда все четыре переменных имеют отклонение одинакового знака, они суммируются.

Если предел текучести определен со степенью неопределенности $\pm 0,09$; толщина $\pm 0,04$; коэффициент трения $\pm 0,2$; и R_0 с неопределенностью $\pm 0,04$, то

$$\frac{\Delta P}{P} = 0,09 + 0,04 + \frac{0,2 \cdot 0,2}{0,8} + 0,04 = 0,22$$

Конечно, эта величина завышена - это именно оценка верхней границы отклонения, когда все четыре переменных k , h , μ , R_0 имеют такие отклонения, что они суммируются. Фактически для данного примера величины $\frac{\Delta P}{P}$ будут случайными в диапазоне:

$$-0,22 \leq \frac{\Delta P}{P} \leq 0,22$$

При $\sigma_T = 350 \text{ МН/м}^2$, $k = 202 \text{ МН/м}^2$, $R_0 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $R_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $h = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\mu = 0,2$:

$$P = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 202 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{0,8} (1 + 2 \ln 1,6) = 232,94 \approx 233 \text{ кН}$$

Если $\frac{\Delta P}{P} = 0,22$, то $\Delta P = 51 \text{ кН}$ и следует считаться с возможностью отклонения усилия P от номинальной величины в диапазоне:

$$P = 233 \pm 51; P = 182 \div 284 \text{ кН}$$

Конечно, такие отклонения будут иметь место в редких случаях, но их следует определять как верхние границы возможных отклонений усилия от номинальной величины. Даже, если принять упрощенную схему, что каждый из четырех аргументов: k , h , μ , R_0 может с вероятностью 0,5 иметь отклонения либо $+\Delta k$, либо $-\Delta k$, то вероятность их одновременного отклонения в одну сторону, (когда их влияние суммируется) будет составлять $\frac{1}{2^4} = 0,0625$. Если

принять для каждой переменной 5 возможных значений отклонения (равных $\pm 0,5\Delta k_{max}$; $\pm\Delta k_{max}$; и нулю), то вероятность максимальных отклонений (в наиболее «неблагоприятном» направлении составит $0,2^4 = 1,6 \cdot 10^{-3}$), т.е., еще значительно меньше. Тем не менее, определение диапазона с границами $P - \Delta P$ и $P + \Delta P$ представляет интерес для оценки максимально возможных изменений усилия, т.е. «границ возможного диапазона изменения» этого важного параметра.

Выводы:

1. Для решения задач усовершенствования технологии вытяжки цилиндрических изделий из листовых заготовок желательно знать не только такие важные факторы, как усилие деформации, параметр, определяющий устойчивость процесса, но и возможные отклонения их от номинальных расчетных величин. Для технологов представляет интерес вопрос о том, что если усилие равно 200 кН, то это означает 200 ± 5 кН или 200 ± 50 кН.

Степень точности определения любого параметра не менее важна, чем его номинальная величина. Поэтому в данной главе изложена методика оценки точности величин усилия вытяжки и безразмерного параметра f , равного отношению разности радиусов заготовки и изделия к толщине деформируемого листа.

2. Получены формулы для расчета максимально возможных величин отклонений параметра, характеризующего устойчивость деформируемой листовой заготовки и усилия вытяжки. Определены верхние и нижние границы этих величин, характеризующие диапазон возможных изменений параметров деформации.

3. Результаты были использованы при расчетах энергосиловых и технологических параметров для процесса вытяжки корпусов масляных фильтров. Такие данные полезны и при разработке технологии, и при выборе необходимого оборудования для вытяжки изделий из листовых заготовок.

ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Рассмотрение процесса вытяжки цилиндрических заготовок из плоских тонких листов, имеющих форму диска, показало наличие двух отрицательных факторов, препятствующих получению изделий высокого качества: это - высокие растягивающие радиальные напряжения и тангенциальные напряжения сжатия. Первые могут привести к появлению кольцевых трещин и разрушению заготовок в процессе деформации, а вторые – к потере устойчивости плоской формы участка заготовки, имеющего форму диска. Как уже было указано в главе 2, появление на заготовке волн большой амплитуды, размерами до 10-18 мм приводят к необратимому формоизменению заготовки. Этот фактор также ограничивает сортамент, делая невозможным получение заготовок большой длины, или вынуждая использовать процесс со значительным количеством операций (последовательно).

Вопрос определения условий потери устойчивости кольцевых пластин в области пластических деформаций разработан совершенно недостаточно, поэтому И.В. Геккелер [5] и многие другие ученые используют формулы, полученные для упругих тел, основанные на применении закона Гука. При пластических деформациях для «предельных» напряжений, (при которых происходит потеря устойчивости), используют либо модуль упрочнения, либо по Т. Карману «приведенный модуль» вместо модуля упругости. Для пластического материала без упрочнения (идеально пластического) потеря устойчивости наступает, когда напряжение равно пределу текучести. Для оценки предельной величины соотношения параметров заготовки используем формулы из работы [66] для критических напряжений, (при которых возможна потеря устойчивости)

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 k_1 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{h}{R_0 - R_1} \right)^2 \quad (4.1)$$

где E - модуль упругости; γ - коэффициент Пуассона; h, R_0, R_1 , - размеры кольцевого участка заготовки; k_1 - коэффициент, который зависит от величины отношения $\frac{R_1}{R_0}$ и изменяется от $k_1 = 1,49$ до $k_1 = 2,52$ ([66] стр. 174,175).

Приняв этот коэффициент постоянным и равным его среднему значению $k_1 = 2$, а также приравнять $\sigma_k = \sigma_T$ (как уже указано выше материал теряет устойчивость при достижении напряжением значения σ_T), получим:

$$\frac{\pi^2 k_1 E}{12(1-\gamma^2)} \left(\frac{h}{R_0 - R_1} \right)_k^2 = \sigma_T,$$

$$\left(\frac{h}{R_0 - R_1} \right)_k^2 = \frac{12 \sigma_T (1-\gamma^2)}{\pi^2 k_1 E},$$

Отсюда определяем предельное отношение безразмерного параметра:

$$A = \left(\frac{R_0 - R_1}{h} \right)_k = \sqrt{\frac{\pi^2 k_1 E}{12 \sigma_T (1-\gamma^2)}} \quad (4.2)$$

или подставив $\pi = 3,14$, $k_1 = 2$, $\gamma = 0,3$ получим:

$$A = \left(\frac{R_0 - R_1}{h} \right)_k = 1,34 \sqrt{\frac{E}{\sigma_T}} \quad (4.3)$$

Если, например, принять для углеродистой стали $E = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$, $\sigma_T = 250 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$, то получим величину предельного отношения $\left(\frac{R_0 - R_1}{h} \right)_k$

$$A = \left(\frac{R_0 - R_1}{h} \right)_k = 1,34 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{250}} = 37,9 \approx 38$$

Формула (4.3) дает результаты, близкие к данным Л.А. Шофмана [7], (согласно которым величина критического отношения величин $(R_0 - R_1)$ и h равно 44), но в литературе встречаются рекомендации по принятию этой величины, равной от 20 до 55 (и даже в более широком диапазоне). Конечно, формулы (4.2) и (4.3) являются приближенными. Из (4.3) можно получить, что

предельная длина цилиндрической заготовки, которую можно получить вытяжкой, равна:

$$L = 1,34h \sqrt{\frac{E}{\sigma_T}} \quad (4.4),$$

а для углеродистой стали при $\sigma_T = 250 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$

$$L = 1,34h \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{250}} = 38h$$

На практике эта величина изменяется в достаточно широком диапазоне от $30h$ до $60h$, а иногда и более. Допустимая длина зависит от предварительной деформации, она уменьшается существенно, если металл уже деформирован и имеет место наклеп металла. Если листы получены холодной прокаткой и подвергнуты правке в роликовых правильных машинах (или правке растяжением) и при этом имел место сильный наклеп, то без термообработки для снятия наклепа, предельная величина $\left(\frac{R_0 - R_1}{h}\right)$ может уменьшиться до 25 и даже менее.

Были проведены опыты по деформации вытяжкой листов из стали 08ю толщиной 0,5 мм при величинах $R_0 = 100$ мм, $R_1 = 60$ мм. Параметр $A = \left(\frac{R_0 - R_1}{h}\right)$ в данном случае равен 80, т.е., в конечной стадии деформации он выше критического, что и приводило к потере устойчивости и образованию «волн» на кольцевом участке. В этих условиях по формуле И.В. Геккелера число волн должно быть равным:

$$n = 1,65 \frac{R_0 + R_1}{R_0 - R_1} = 1,65 \frac{160}{40} = 6,6, \text{ т.е. } n \approx 7$$

Поскольку в ряде случаев образование «волн» происходило не сразу после начала деформации, а когда величина R_0 уменьшилась до 80-85 мм, то должно быть $n = 9,6 \div 11,6$, т.е. должно возникнуть 10-12 волн по периметру заготовки. Фактически данные по результатам испытаний 50 образцов

представлены на рисунке 4.1, где показана гистограмма «а» - числа волн в процентах.

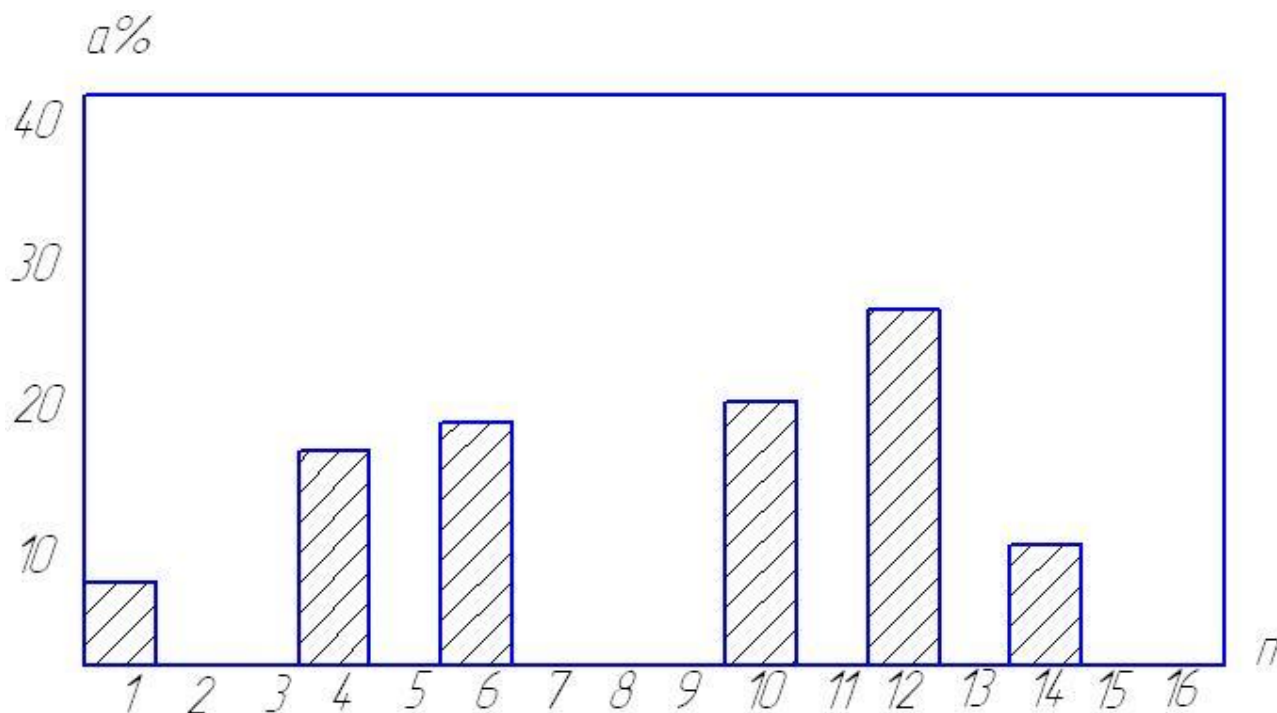


Рис. 4.1 – Гистограмма величин частотности числа «волн» при потере устойчивости заготовки

Видно, что разброс весьма значительный и встречаются случаи потери устойчивости при $n = 14$. Чаше имеют место величины $n = 10 - 12$, что совпадает с данными, полученными по формуле И. Геккелера, но встречаются и весьма значительные отклонения от этих величин.

В данном случае параметр устойчивости A был равен $A = \frac{100-60}{0,5} = 80$, значительно выше критической величины, равной согласно (4.2), (4.3) 38. Поэтому потеря устойчивости и образование волн было весьма вероятным. Тем не менее, в двух случаях из 50 при этом потери устойчивости не произошло и заготовки оказались высокого качества. Указанное свидетельствует о значительном разбросе данных, что является объективным признаком данного процесса.

Число «волн», превышающее 14 не наблюдалось, однако в литературе встречаются и большие величины. Для объективного изложения данного

вопроса укажем, что более высокие значения « n » получил И.В. Геккелер, приведем его фотографию деформированного образца при $n = 24$, см. рис.4.2

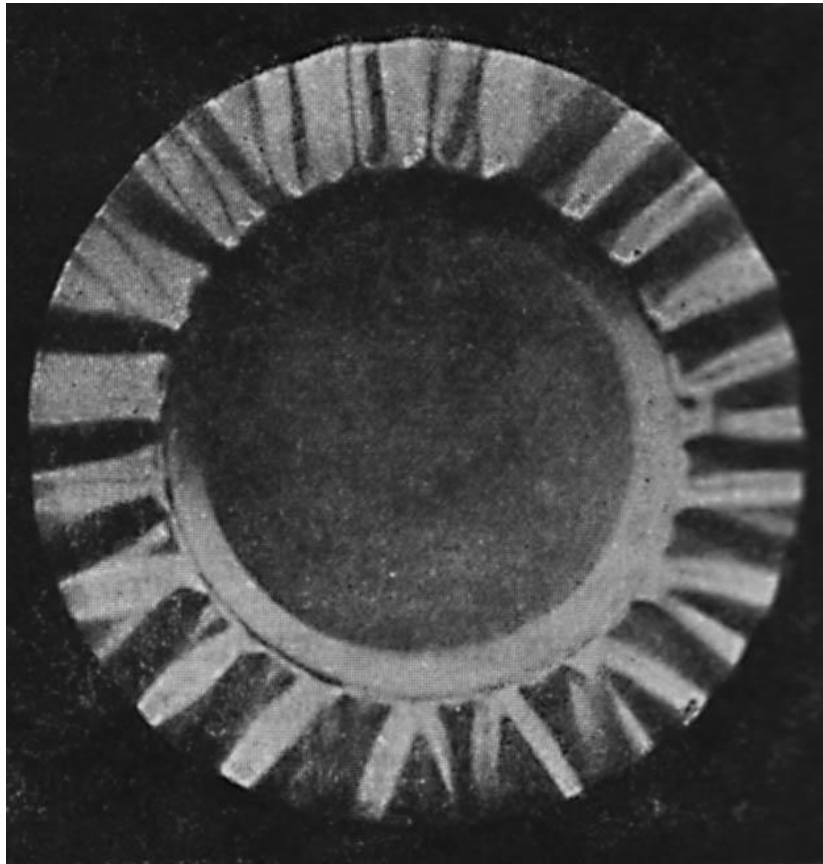


Рис. 4.2 – Деформированная заготовка после потери устойчивости и образования волн, приведенная И.В. Геккелером [5]

К сожалению, И.В. Геккелер в своей монографии [5] не указывает металл (сплав), листовая заготовка из которого приведена на рис. 4.2, (В [5] написано: «Пример, изображенный на этом рисунке, показывает, что кольцо из листового металла, лежащее за краем вогнутости, испытывает радиальное стяжение и что вызванные этим сжимающие напряжения могут вызвать изгиб.»). Однако, не указано, о каком «листовом металле» или сплаве идет речь, в данном случае.

На основании изложенного выше, можно сделать вывод о том, что основной причиной появления дефектов, искажения конфигурации изделий является воздействие высоких тангенциальных напряжений и задача состоит в том, чтобы их уменьшить. Эту задачу решали созданием нового способа

деформации. На основании проведенных исследований был предложен новый технологический процесс вытяжки [76], который иллюстрируется на рис. 4.3

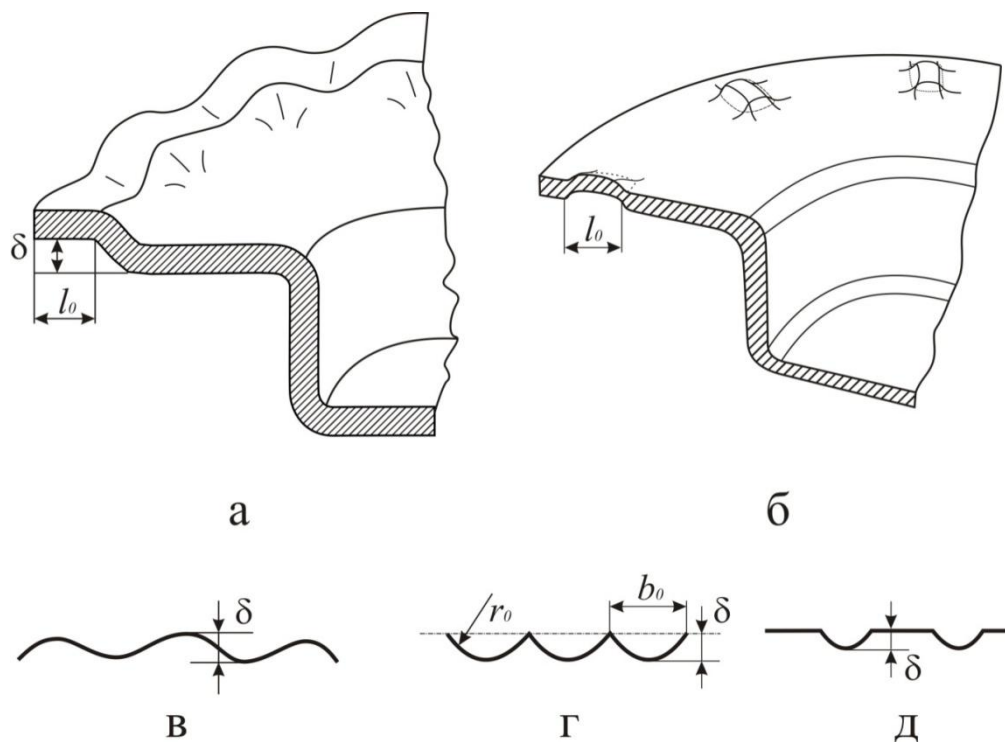


Рис. 4.3 – Схема нового технологического процесса вытяжки

Он основан на том, что на листовой заготовке в форме диска сначала формируют ряд волн (выступов), расположенных вдоль кольцевого пояса, см. рисунок 4.3. Амплитуда указанных волн мала (не более $(1 \div 2)h$), но их количество велико – до 16-28 волн, расположенных, как видно из рисунка 4.3а и 4.3б вдоль кольца. Все углубления (волны) целесообразно изготовить одновременно, одним штампом, после чего заготовку следует перевернуть и подвергнуть деформации вытяжки (зазор между деформируемым листом и пуансоном должен превышать амплитуду «волн» в 1,5-2,0 раза во избежание заклинивания листа при деформации вытяжки. При этом деформация сжатия листа со складками «облегчается», (его жесткость в тангенциальном направлении уменьшена).

Можно расположить волны не по краю заготовки, как показано на рисунке 4.3а, а в ее середине, см. рисунок 4.3б. Даже выполнение волн амплитудой 0,5-

1мм на цилиндрической части заготовки после частичной деформации вытяжки дает положительный эффект.

Различные варианты волн показаны также на рисунке 4.3 в,г,д. Глубина впадин для листов толщиной 0,5мм из углеродистой стали составляла 0,5мм, а число волн было равным 18-26. «Потери устойчивости» с образованием крупных складок, таких, какие показаны на рисунке 4.4, не происходит и создается возможность получения изделий длиной в 2-3 раза превышающей допустимую длину, соответствующему обычному процессу вытяжки[76,91,108,109].

Конечно, при деформации амплитуды волн возрастают, иногда в 1,5раза (и происходит их сжатие – с уменьшением длины «волны» иногда в 1,5 – 2 раза), но не происходит возникновения новых волн большой амплитуды (таких, как показано на рисунке 4.4).

Основная идея способа состоит в том, чтобы, заранее создать на листе (диске) большое количество «волн» малой амплитуды для предотвращения возможности появления 4-8 складок большой амплитуды. Это уменьшает жесткость деформируемой заготовки, а после вытяжки амплитуда может достигать 1,5мм, но это не приводит к резким изменениям общей конфигурации изделия (которые обычно имеют место при потере устойчивости), и дают возможность получать требуемое изделие высокого качества. Для многих изделий наличие на них малых «волн», впадин допустимо и не препятствует их применению.

Для иллюстрации на рисунке 4.5 показаны образцы изделий изготовленных на заводе ОАО ЦБПР (г.Тверь) с использованием данного способа. Конечно, искусственные волны (выступы) остаются на изделии.

Способ, разумеется, неприменим в тех случаях, когда наличие даже малых волн на изделии недопустимо, но во многих случаях такие выступы (впадины) амплитудой менее 1-2 мм, нисколько не ухудшают качества изделий и могут быть допущены.

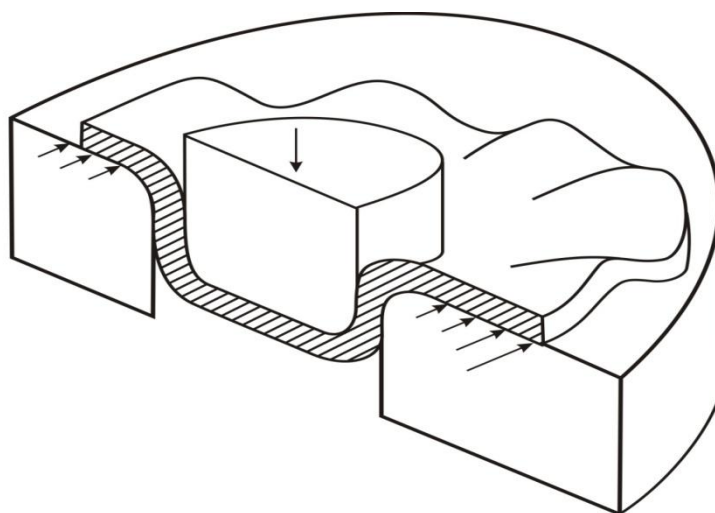


Рис. 4.4 – Схема потери устойчивости и образования складок при вытяжке из гладкой заготовки



Рис. 4.5 – Образцы изделий, изготовленных с использованием нового способа

Так на указанном Тверском заводе было изготовлено более 10 тысяч корпусов фильтров (рис. 4.5) высокого качества. Можно привести аналогию для случая сжатия стержня, см. рисунок 4.6. При сжатии прямолинейного консольного стержня рисунок 4.6 усилием P , он согласно формуле Эйлера при деформации сжатия

$$\varepsilon_0 = 7,84 \frac{J}{Fl^2}$$

теряет устойчивость, (здесь F - площадь сечения стержня, J - его момент инерции, l - длина стержня).

При дальнейшем сжатии стержень теряет свою конфигурацию и прогиб быстро возрастает и может достигать величин $0,5l$ и более.

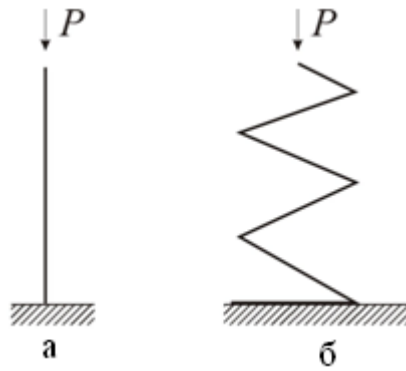


Рис. 4.6 - Схема устойчивости при деформации

Если же изготовить стержень таким, как показано на рисунке 4.6б, то он и при более высоких деформациях: $2\varepsilon_0$, $3\varepsilon_0$ сохраняет свою общую конфигурацию. Его жесткость, конечно, будет намного меньше, чем прямого стержня, но резких изменений общей формы тела не произойдет, и пружины, и деформируемые тела в виде рис. 4.6 б могут «терять устойчивость», но, как правило, при деформациях в несколько раз превышающих эти величины ε_0 для прямолинейного стержня.

В некоторых случаях искусственное уменьшение жесткости заготовки, подвергаемой глубокой вытяжке, может быть целесообразным.

Выводы:

1. Рассмотрена осесимметричная деформация листовых заготовок при вытяжке. Проведены опыты по образованию волн и определению их количества. Сделан вывод о том, что причиной нарушения устойчивости являются тангенциальные напряжения.
2. Предложен и исследован новый способ вытяжки, включающей создание на заготовке перед вытяжкой выступов-волн малой амплитуды. Число таких волн должно быть значительным и это дает возможность предотвратить возникновение более значительных искажений формы заготовки. По сути этот способ основан на создании искусственной анизотропии.
3. Способ использован для производства изделий – корпусов масляных фильтров и позволил получить изделия высокого качества.

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО СПОСОБА ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

Если осуществляют деформацию растяжением тонкого листа изотропного металла, то его жесткость при упругой деформации и предел текучести, не зависят от ориентации образца, подвергаемого деформации. Для примера на рис. 5.1 показаны схемы деформации листов: а – изотропного металла и б – листа с искусственной анизотропией, созданной тем, что на листе выполнено углубление в форме дуги окружности. Это углубление радиусом r отдельно показано на рисунке 5.1в.

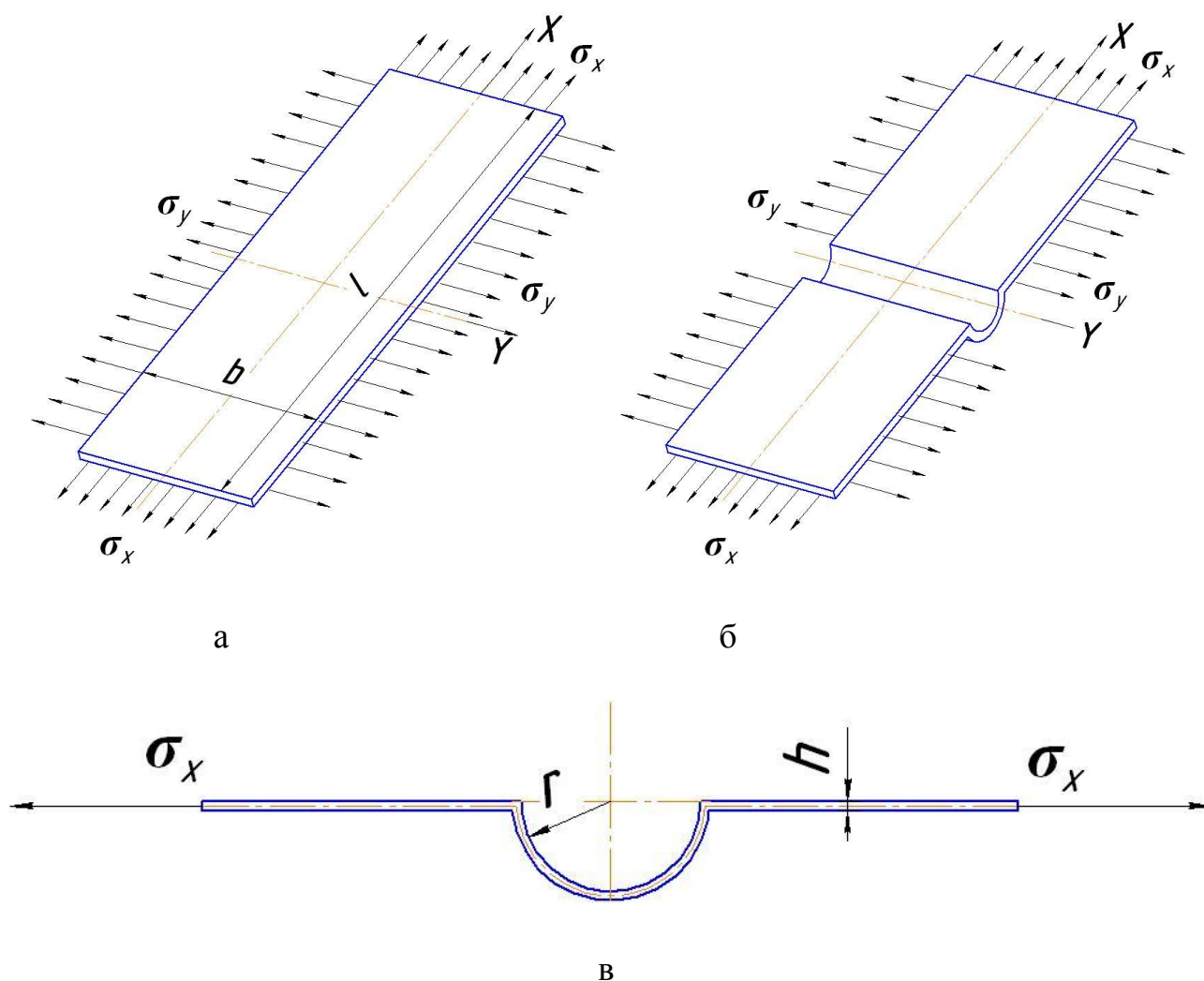


Рис. 5.1 – Схема деформации листов: а – изотропного металла; б – листа с искусственной анизотропией; в – углубление радиусом r

Для листа, показанного на рисунке 5.1.а при растяжении вдоль оси x (напряжениями $\sigma_x = \frac{P}{bh}$), и при растяжении вдоль оси y (схема напряжений $\sigma_y = \frac{P}{lh}$), жесткость одинакова, если модуль упругости E – величина постоянная и не зависит от ориентации листа при растяжении; на рис. 5.1 – показана деформация а – изотропного металла; б – при создании анизотропии за счет углубления; в – схема деформации зоны углубления, деформируемого образца.

Если параметры образца (в плане равны, т.е., $b = l$, то равны и величины $\sigma_x = \sigma_y$, при равных силах P), а деформация:

$$\Delta l = \frac{Pl}{bhE} = \frac{\sigma l}{E}$$

одинакова вдоль осей x и y , можно записать:

$$\Delta l = \frac{P}{C} \quad (5.1)$$

где

$$C = \frac{bhE}{l} \quad (5.2),$$

жесткость данного листа при упругой деформации. Для изотропного листа в форме квадрата (при $b = l$) величины жесткости в направлении осей x и y одинаковы.

Известно, что для некоторых металлов, сплавов имеет место анизотропия и по величинам модулей упругости, и по величинам предела текучести. Часто величины пределов текучести для образцов, вырезанных из листа в направлении прокатки, на 8-15% выше, чем для образцов вырезанных, в направлении, совпадающем с направлением прокатки [18].

Новый способ деформации, предложенный и исследованный в данной работе основан на том, чтобы до процесса вытяжки создать в листовой заготовке искусственную анизотропию с уменьшением жесткости материала в одном направлении, (относительно деформаций окружностей, т.е., - тангенциальном направлении). Такую «искусственную анизотропию» можно создать за счет формовки малого углубления в форме дуги радиусом r , как показано на рис. 5.1б, (конечно термин «искусственная анизотропия» является

не вполне точным, так как анизотропия, созданная прокаткой листа в одном направлении также является «искусственной», - она создана пластической деформацией с вытяжкой преимущественно в одном направлении).

Металлы и сплавы, как указывает А. А. Ильющин [8], могут быть изотропными до реализации пластической деформации, (иногда «квазиизотропными», когда анизотропия может наблюдаться в малых объемах). Однако, анизотропия может возникнуть в самом процессе пластической деформации и тело, изотропное до деформации, в ее процессе, становится анизотропным. А.А. Ильющин называет такую искусственную анизотропию – «деформационной» ([8] стр.91).

Анизотропия, создаваемая за счет выдавливания углублений по схеме рис. 5.1, отличается тем, что она создается в основном, не за счет пластической деформации, а за счет специально, используемых, изменений формы деформируемого тела. Такие изменения должны быть «достаточно малыми», чтобы не изменить форму тела настолько, чтобы заготовка стала непригодной для выполнения требуемых функций.

При растяжении участка листа силами P , расстояние между точками А и В увеличивается на величину:

$$\Delta l = \frac{3,84Pr^3}{Ebh^3} \quad (5.3),$$

где E - модуль упругости, b - ширина листа, h - его толщина.

Наибольший изгибающий момент (в сечении С, рис. 5.2) равен $M = Pr$, а растягивающая сила в этом же сечении равна P .

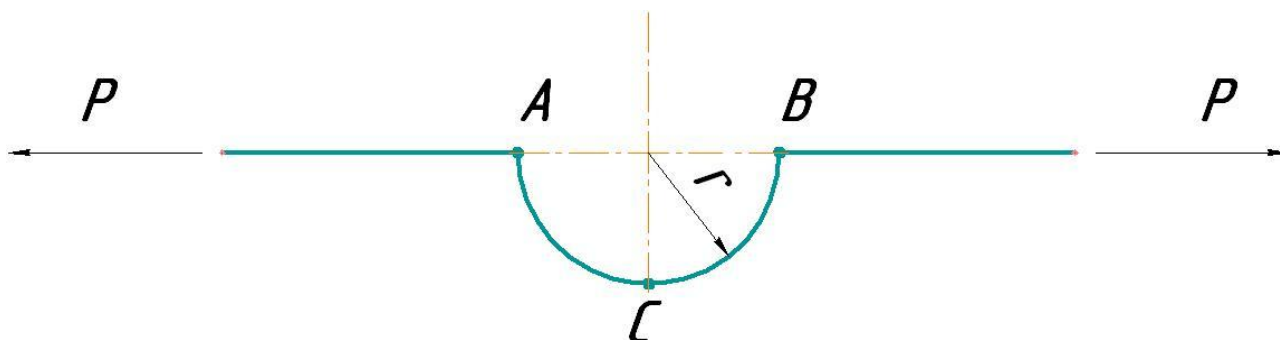


Рис. 5.2 – Схема деформации участка листа в зоны углубления радиусом r

При растяжении листа вдоль оси x силой P участок длиной $(l - 2r)$ подвергается приближенно простому растяжению, (локальный изгиб вблизи сечений А и В не оказывает существенного влияния), и поэтому полное удлинение равно:

$$\Delta l = \frac{P(l-2r)}{Ebh} + \frac{3,84Pr^3}{Ebh^3} \text{ или}$$

$$\Delta l = \frac{Pl}{Ebh} \left(1 - \frac{2r}{l} + \frac{3,84r^3}{lh^2}\right) \quad (5.4)$$

Можно записать удлинение в виде:

$$\Delta l = \frac{P}{C} \quad (5.5)$$

где $C = \frac{Ebh}{l} \left(1 - \frac{2r}{l} + \frac{3,84r^3}{lh^2}\right)^{-1}$ – жесткость листа при растяжении. Если углубления на листе нет, то его жесткость равна $C_0 = \frac{Ebh}{l}$, что сохраняется при растяжении вдоль оси y , рис. 5.1. Поэтому можно сделать вывод, что нанесение углубления приводит к уменьшению жесткости в:

$$\frac{C}{C_0} = \left(1 - \frac{2r}{l} + \frac{3,84r^3}{lh^2}\right)^{-1} \quad (5.6),$$

раз.

Например, при $l = 50$ мм, $h = 1$ мм, $r = h = 1$ мм, получим:

$$\frac{C}{C_0} = \left(1 - 0,04 + \frac{3,84 \cdot 1}{50 \cdot 1}\right)^{-1} = 0,965$$

и данное углубление приведет к уменьшению жесткости на 3,5%. Если выполнить на листе " n " одинаковых углублений, то

$$\Delta l = \frac{Pl}{Ebh} - \left(1 - \frac{2r}{l}n + \frac{3,84Pr^3n}{lh^2}\right)$$

и следовательно соотношение величин жесткости составит:

$$\frac{C}{C_0} = \left(1 - \frac{2rn}{l} + \frac{3,84nr^3}{lh^2}\right)^{-1} \quad (5.7)$$

Если для приведенного примера выполнить на листе десять малых углублений радиусами 1 мм, то получим $\frac{C}{C_0} = 0,73$, т.е., реализовано уменьшение жесткости на 27%. Это создает существенную анизотропию по отношению к деформационным процессам растяжения вдоль осей x и y . Схема деформации при сжатии представлена на рис. 5.3.

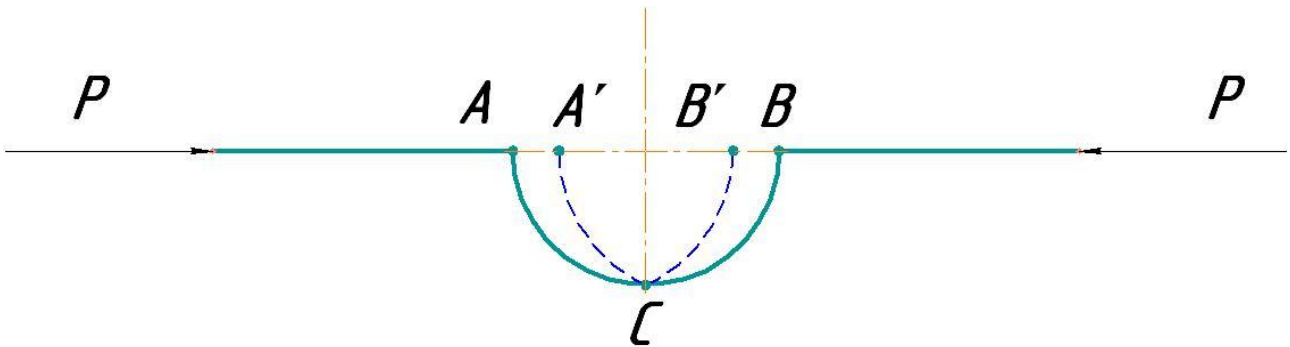


Рис. 5.3 - Схема деформации участка листа при действии напряжений сжатия

При одноосном растяжении – сжатии листа пластическая деформация начнется, когда напряжения σ будут равны величине предела текучести σ_T , т.е., при усилии:

$$P = \sigma_T bh \quad (5.9)$$

Выполнение локального углубления приводит к тому, что в сечении C рис. 5.3 будут действовать и напряжения сжатия (или растяжения), и напряжения изгиба. Такую задачу решил известный русский ученый А. Р. Ржаницын [67].

Если осевая сила равна P , а изгибающий момент в сечении C равен M , то условие, полученное А.Р. Ржаницыным, имеет вид :

$$\frac{P_1^2}{4\sigma_T b} + M = \frac{\sigma_T b h^2}{4},$$

а поскольку в нашем случае $M = P_1 r$, то получаем квадратное уравнение:

$$P_1^2 + 4\sigma_T br P_1 - \sigma_T^2 b^2 h^2 = 0$$

Его решение определяет усилие P_1 :

$$P_1 = 2\sigma_T br \left(\sqrt{1 + \frac{h^2}{4r^2}} - 1 \right) \quad (5.10)$$

(при малых величинах $\frac{h^2}{4r^2} \ll 1$ $P_1 \approx \frac{\sigma_T b h^2}{4r}$)

Сравнение усилий, согласно формулам (5.9) и (5.10) определяет отношение,

$$\frac{P_1}{P} = \frac{2r}{h} \left(\sqrt{1 + \frac{h^2}{4r^2}} - 1 \right) \quad (5.11),$$

показывающее характер искусственной анизотропии, создаваемой углублением. Если принять $P_1 = \sigma_{T1} b h$, то:

$$\frac{\sigma_{T1}}{\sigma_T} = \frac{2r}{h} \left(\sqrt{1 + \frac{h^2}{4r^2}} - 1 \right) \quad (5.12)$$

и например, при $r = h$

$$\frac{\sigma_{T1}}{\sigma_T} = 2 \left(\sqrt{1,25} - 1 \right) = 0,236 \approx 0,24$$

Конечно, здесь σ_{T1} - условная величина, при ее достижении пластическая деформация начнется в сечении **C**, а на других участках она будет упругой. Эта формула (5.12) применима и при большем числе искусственных искажений формы листа в виде «волн» - впадин малой величины. Эти локальные углубления должны быть малыми во избежание существенных изменений конфигурации изготавливаемой заготовки, (слишком существенное изменение ее конфигурации может оказаться недопустимым). При $r \rightarrow 0$ в формуле (5.12) можно принять:

$$\sqrt{1 + \frac{h^2}{4r^2}} - 1 \approx \frac{h}{2r} \text{ и } \frac{\sigma_{T1}}{\sigma_T} = 1,0$$

в этом случае пластической анизотропии не будет. Положение заготовки при деформации показано пунктиром и точки A и B переместятся в A' и B' . Предельным будет положение, при котором точки A' и B' совпадут, а общее сжатие будет соответствовать величине $(2r)$. График функции $\frac{\sigma_{T1}}{\sigma_T} \left(\frac{r}{h}\right)$ приведен на рис. 5.4.

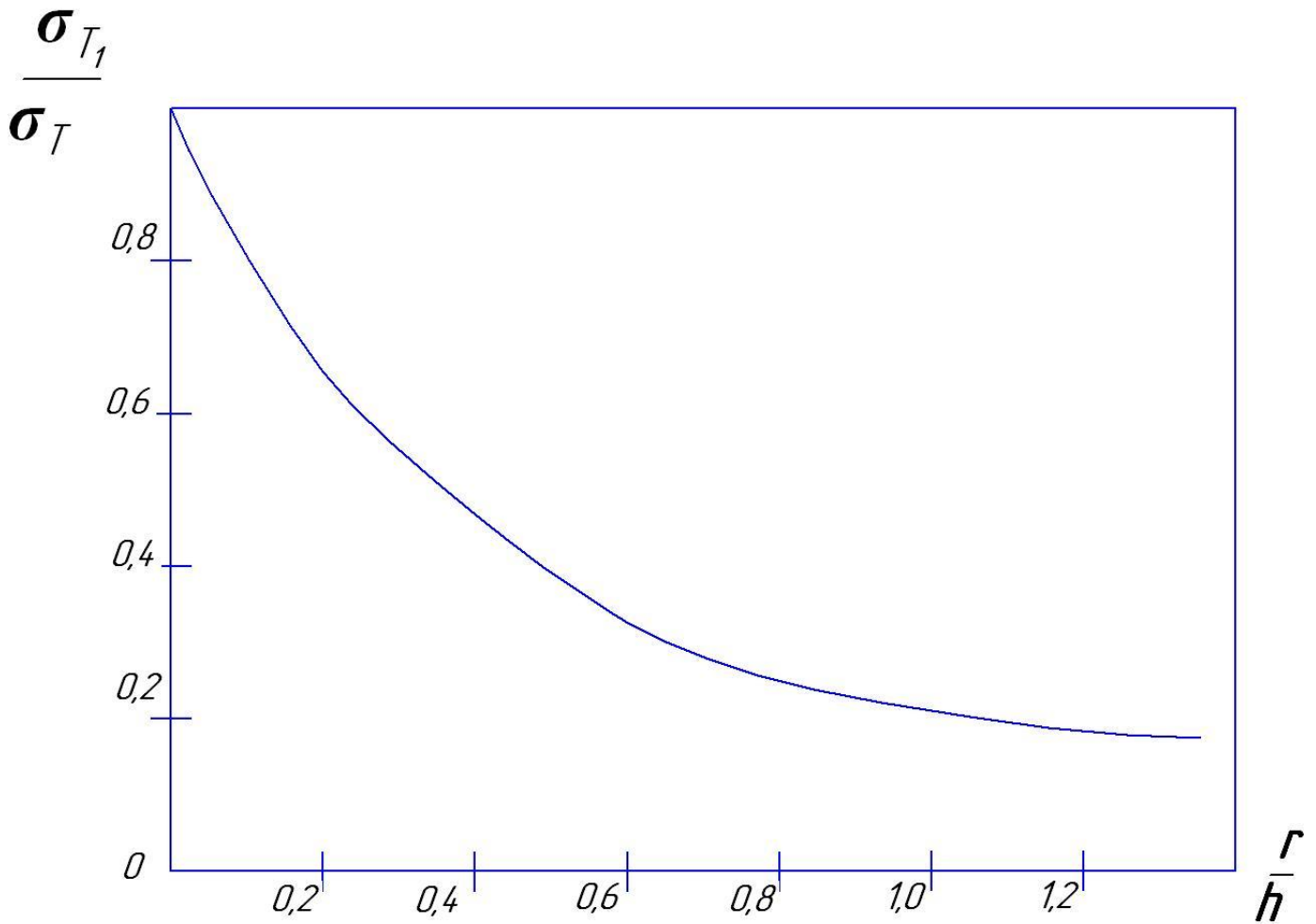


Рис. 5.4 – График зависимости показателя искусственной пластической анизотропии от величины создаваемых углублений в листе

Этот график характеризует увеличение показателя искусственной анизотропии при $\frac{r}{h} \rightarrow 0$ и его существенного уменьшения с увеличением параметра $\frac{r}{h}$. Уже при $\frac{r}{h} = 0,5$ величина σ_{T1} (условный предел текучести, то есть номинальное напряжение, характеризующее напряжение σ_{T1} по отношению к σ_T в случае растяжения вдоль оси x (см. рис. 5.1). Видно, что при

$\frac{r}{h} = 0,5$ предел текучести вдоль оси y более, чем в два раза превышает величину σ_{T1} , соответствующую пластической деформации в случае растяжения листа вдоль оси y .

Способ создания искусственной анизотропии за счет выдавливания на листе канавок имеет такие преимущества:

1. Даже нанесение канавок малого размера, порядка толщины листа « h » может дать значительный эффект в создании пластической анизотропии, уменьшив тангенциальное напряжение, в 3-4 раза. Это позволяет выполнить на листе «малые углубления» и не очень сильно исказить конфигурацию изделия.

2. При сжатии листа в направлении перпендикулярном углублению – «канавке» его глубина практически не возрастает, или возрастает незначительно – не более 10-15 %. Как показано на рис. 5.3., деформация приводит только к уменьшению ширины углубления и как показано на рис. 5.3., к сближению точек A и B , - их переходу в точки A' и B' (как показано пунктиром на рис. 5.3.).

3. Совпадение точек A' и B' означает соприкосновение краев углубления и при дальнейшей деформации его влияние фактически прекращается.

Выводы:

1. Изучено влияние углублений малой амплитуды на жесткость деформируемых листов. Показано, что углубления порядка размеров толщины листа могут существенно уменьшить и его жесткость, и силу при которой начнется пластическая деформация металла.

2. Величину усилий и напряжений соответствующих пластической деформации, можно уменьшить в два и более раз, что уменьшает усилие деформации и предотвращает появление волн больших амплитуд.

3. Способ позволяет в 1,5 - 2,0 раза увеличить допустимую длину изделий, изготавливаемых вытяжкой за одну операцию.

ГЛАВА 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ТОНКОСТЕННЫХ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ

6.1 Исследование технологических параметров вытяжки осесимметричных деталей с применением тензометрии

Измерение энергосиловых параметров технологических процессов вытяжки осесимметричных деталей (типа корпус масляного фильтра, коробка противогаса), осуществляли на оборудовании кузнечно-прессового цеха тверского предприятия ОАО «2462 ЦБПР» с помощью многоканальной тензометрической станции Zet 017-T8.

Кузнечно-прессовый цех оборудован прессами моделей KE-2330 (усилием 1000кН) и K2234 (усилием 2500кН). Для получения опытных данных на данном оборудовании использовали измерительный модуль ZET 7010 Tensometer-485, (см. рис. 6.1) который состоит из интеллектуального тензометрического датчика с первичным преобразователем для измерения усилия. Данный цифровой датчик передает результаты измерений по интерфейсу RS-485 и протоколу Modbus.



Рис. 6.1 – Измерительный модуль ZET 7010 Tensometer-485

В качестве первичного преобразователя используем тензомост по схеме моста Уитстона, который состоит из тензорезисторов марки 1.57DN. Мостовую схему подключаем к тензометрической станции, мост питается постоянным током напряжением U_6 от генератора тензостанции (см. рис. 6.2).

Таблица 6.1 - Технические характеристики измерительного модуля ZET
7010 Tensometer-485

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Частота выдачи данных	Гц	5;10;25;50;125
Интерфейс передачи данных		RS-485
Класс точности для мостовых схем с чувствительностью 1 мВ/В		0,05
Питание мостовых схем:		
-напряжение	В	4,2±5%
-максимальный ток	мА	25±5%
Питание устройства	В	от 9 до 24
Потребляемый ток при напряжении 12 В	мА	до 40
Максимальная относительная деформация	мВ/В	6
Габаритные размеры	мм	65x34x14
Масса	г	35

Если принять сопротивление внешней цепи $R_x=0$, $U_6=U$, то сила тока, идущая через измерительный прибор равна:

$$I = U \frac{R_a R_d - R_b R_c}{R_\partial (R_a + R_b)(R_c + R_d) + R_a R_b (R_c + R_d) + R_c R_d (R_a + R_b)} \quad (6.1)$$

где: U – напряжение питания моста В; R_∂ - сопротивление измерительного прибора Ом; R_a, R_b, R_c, R_d – сопротивление плеч моста, Ом.

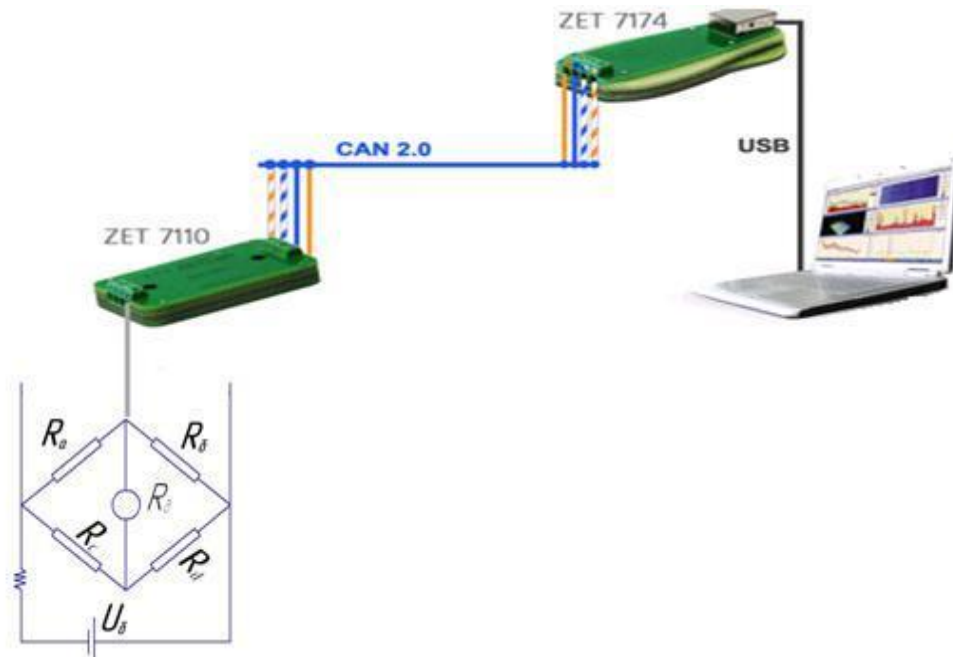
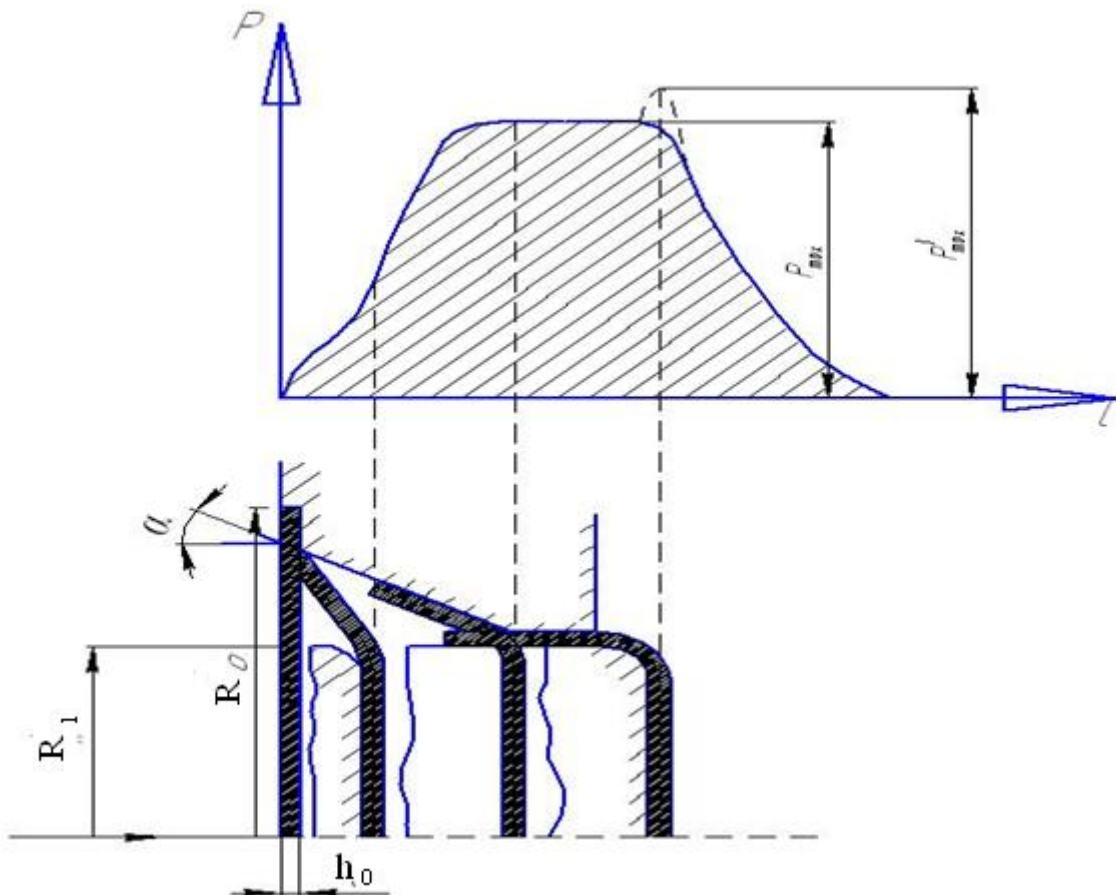


Рис.6.2- Схема подключения измерительной схемы к тензометрической станции

Датчик можно наклеить на деталь перпендикулярно направлению приложенного усилия вытяжки, т.е. на фланцевую часть вытягиваемой заготовки. В этом случае чувствительность схемы больше в 1,32 раза.



а

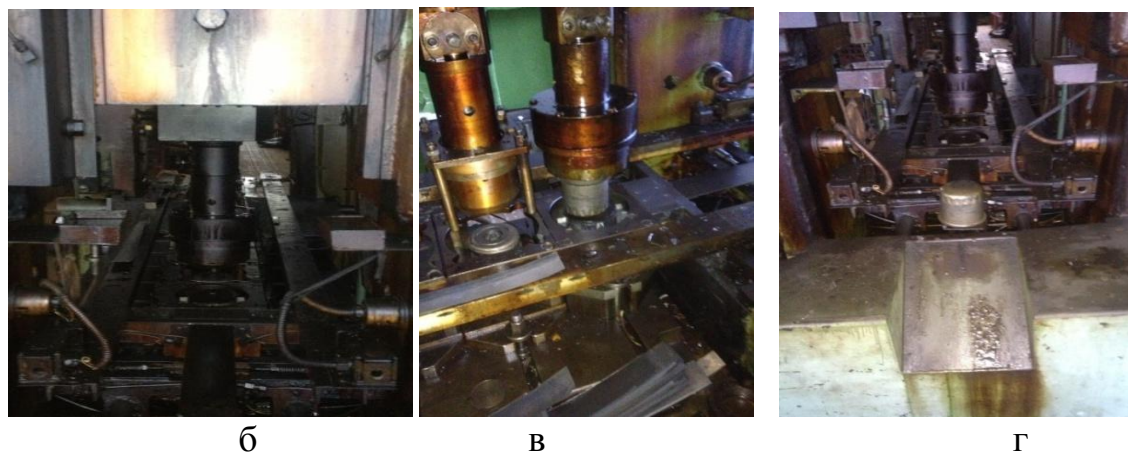


Рис. 6.3 – Измерительная схема: а) типовая диаграмма усилий вытяжки осесимметричных заготовок; б) схема моста Уитстона; в,г – места установки тензодатчиков на вытяжном прессе мод. К2234

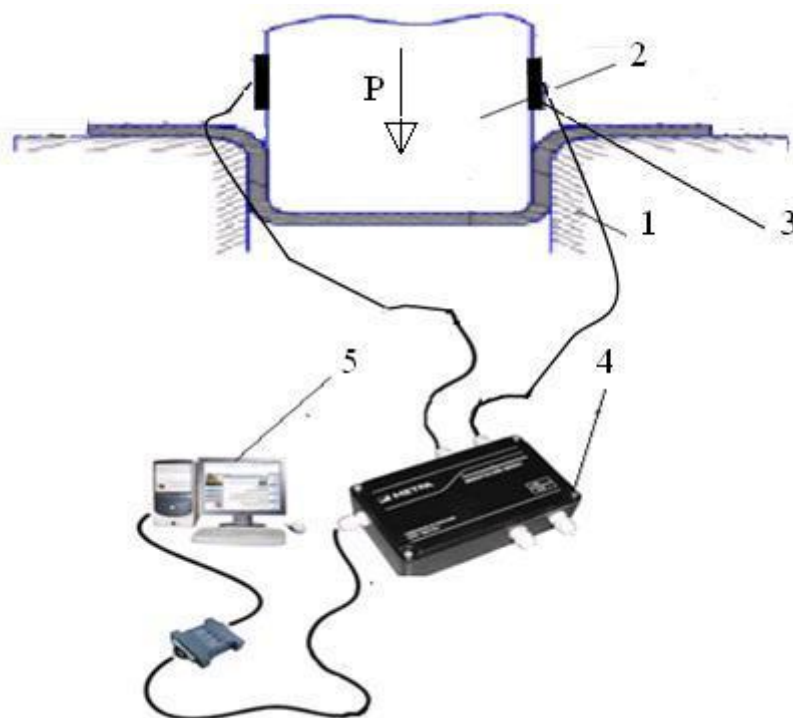


Рис. 6.4 – Измерительная схема усилий вытяжки осесимметричных деталей с использованием тензорезисторов сопротивлением 200 Ом (1-матрица, 2 – пуансон, 3 – система измерительных датчиков; 4 – усилитель – контроллер; 5 - система управлени

Измеренные параметры опытов представлены в таблице 6.2. По результатам замеров усилий формообразования построены гистограммы распределения усилий и деформации, представленные на рисунках 6.5, 6.6.

Экспериментальные и расчетные данные величин $\Delta P = P - P_{\text{ср}}$; D – дисперсии; σ – среднеквадратичного отклонения, ν – коэффициент вариации, представлены в таблице 6.2 [93].

Таблица 6.2. - Экспериментальные и расчетные данные вытяжки осесимметричных тонколистовых заготовок

№ опыта	Величины усилий P (кН)	ΔP	D	№ опыта	Величины усилий P (кН)	ΔP	D
1	241	-29	17,14	26	276	6	0,76
2	282	12	2,71	27	259	-11	2,43
3	267	-3	0,19	28	272	2	0,10
4	277	7	0,91	29	279	9	1,74
5	280	10	2,09	30	257	-13	3,36
6	287	18	6,15	31	271	1	0,02
7	276	6	0,78	32	263	-7	0,94
8	271	1	0,02	33	260	-10	2,08
9	280	10	2,00	34	270	0	0,00
10	297	27	14,30	35	262	-8	1,14
11	260	-10	2,00	36	269	-1	0,03
12	281	11	2,47	37	252	-18	6,55
13	268	-2	0,09	38	269	-1	0,01
14	271	1	0,02	39	256	-14	3,93
15	248	-22	9,81	40	268	-2	0,11
16	259	-11	2,46	41	278	8	1,17
17	267	-3	0,22	42	278	8	1,38
18	273	3	0,18	43	266	-4	0,35

19	267	-3	0,20	44	269	-1	0,03
20	252	-18	6,25	45	280	10	2,02
21	267	-3	0,17	46	262	-8	1,39
22	266	-4	0,34	47	279	9	1,71
23	287	17	5,62	48	267	-3	0,18
24	281	11	2,40	49	267	-3	0,16
25	278	8	1,36	50	288	18	6,63
P_{cp}	270	$\sum D$	118,08	σ	10,87	ν	0,0402

Частотный интервал

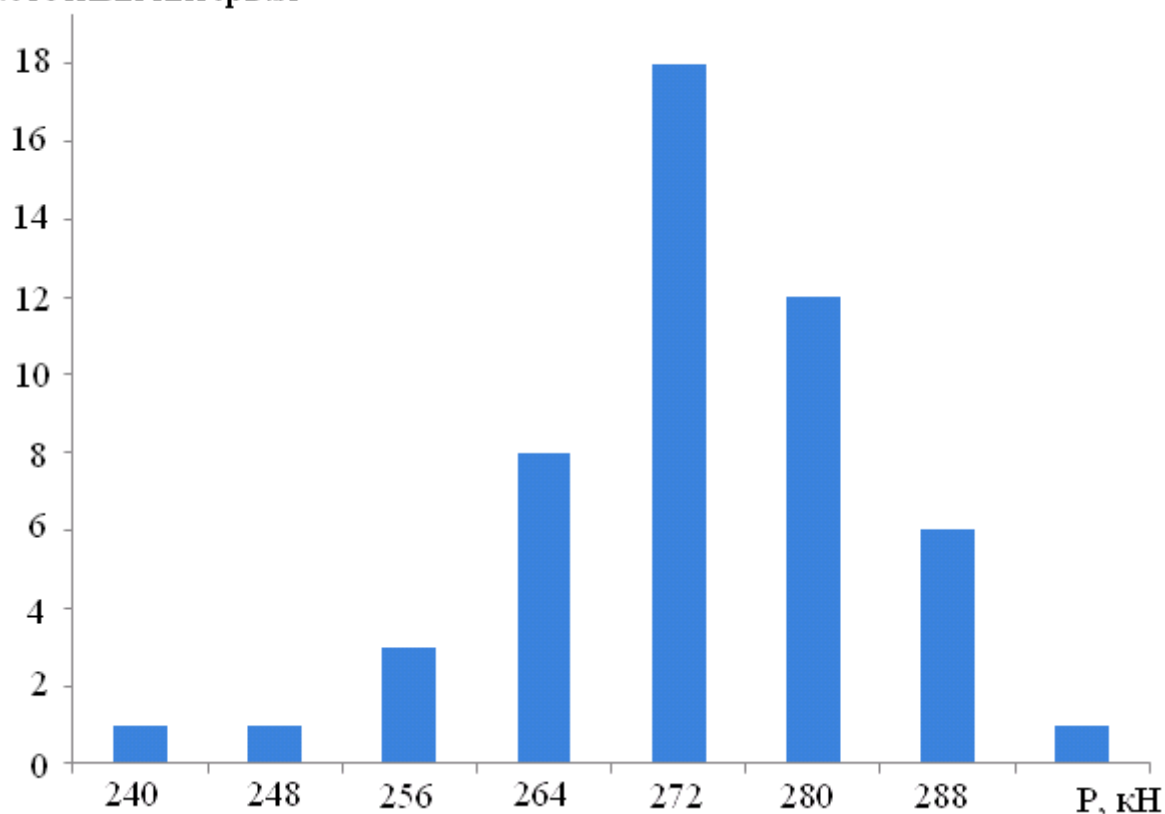


Рис.6.5 - Гистограмма и полигон эмпирического распределения усилий при вытяжке листовых заготовок толщиной 0,5 мм

Промышленные исследования параметров вытяжки заготовки на прессе
 мод. К2234 с последовательным измерением величин:

R_1 , –цилиндрической R_0 – фланцевой частей заготовки по 50 переходам, представлены в таблице 6.3. и графиках 6.6.

Для исследования процесса вытяжки используем стальные листы с содержанием углерода до 0,05-0,15% и с размерами зерна не более 20-30 мкм с относительным удлинением не менее 40%.

Таблица 6.3. Экспериментальные параметры измеренных величин деформируемой заготовки при вытяжке по результатам пятидесяти испытаний.

№ опыта	Величины усилий P (кН)	R_1 (мм)	R_0 (мм)	m_d	№ опыта	Величины усилий P (кН)	R_1 (мм)	R_0 (мм)	m_d
1	297	73	100	0,73	27	269	60	64	0,94
2	288	73	95	0,77	28	268	60	63	0,95
3	287	73	93	0,78	29	268	60	62	0,97
4	287	73	90	0,81	30	267	60	61	0,98
5	282	73	89	0,82	31	267	59	60	0,98
6	281	73	87	0,84	32	267	58	60	0,97
7	281	73	87	0,84	33	267	57	60	0,95
8	280	73	85	0,86	34	267	56	59	0,95
9	280	73	84	0,87	35	267	55	59	0,93
10	280	73	83	0,88	36	266	54	59	0,92
11	279	73	80	0,91	37	266	53	58	0,91
12	279	73	79	0,92	38	263	52	58	0,90
13	278	73	77	0,95	39	262	51	58	0,88
14	278	73	76	0,96	40	262	50	57	0,88
15	278	73	75	0,97	41	260	50	57	0,88
16	277	72	75	0,96	42	260	50	57	0,88
17	276	70	74	0,95	43	259	50	56	0,89
18	276	69	73	0,95	44	259	50	56	0,89
19	273	68	72	0,94	45	257	50	56	0,89
20	272	67	71	0,94	46	256	50	56	0,89
21	271	66	70	0,94	47	252	50	56	0,89
22	271	65	69	0,94	48	252	50	56	0,89
23	271	64	68	0,94	49	248	50	55	0,91
24	270	63	67	0,94	50	241	50	55	0,91
25	269	62	66	0,94					
26	269	61	65	0,94					

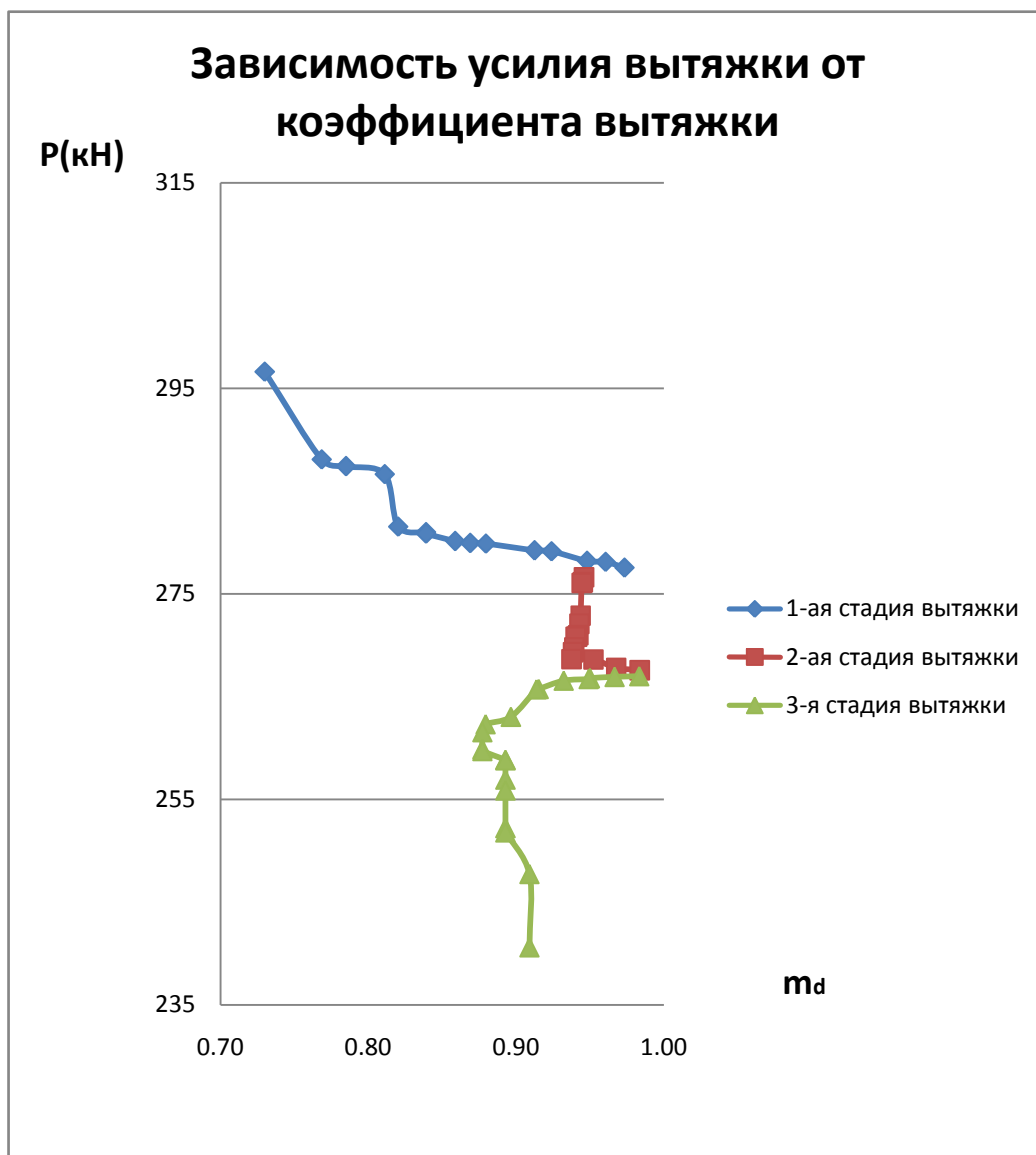


Рис 6.6 – Зависимость усилия от коэффициента вытяжки

6.2 Построение нейросетевой модели энергосиловых параметров осесимметричной деформации

Построим математическую модель оценки влияния различных факторов на усилие вытяжки осесимметричной заготовки. Технологический процесс вытяжки рассматривается как «черный ящик» с несколькими входами и выходом. Входы соответствуют выбранным параметрам заготовки (разнотолщинность, внутренний радиус заготовки, радиус фланца, предел текучести при сдвиге, предел текучести при растяжении; отношение радиусов цилиндрической и фланцевой частей ; отношение толщины заготовки к радиусу фланца), а выход – усилие на прессе. Натурные эксперименты и полученные в

ходе отработки новой технологии параметры позволили использовать автоматическую процедуру построения нейросетевой модели [73,92,98,106].

Основой для построения модели являются:

- сбор и обработка информации результатов экспериментов в виде таблиц;
- построение нейросетевой модели для оценки значимости входных параметров;
- создание электронной технологической карты вытяжки осесимметричных заготовок.

Обучение и тестирование нейронной сети прямого распространения с сигмоидальной функцией активации осуществляли с помощью пакета прикладных программ NeuroPro 0.25. База исходных данных является первым слоем нейронов, служащих распределительными точками, через которые входной сигнал проходит к весам на выход, при этом каждый нейрон последующих слоев выдает сигналы взвешенной суммой входных сигналов нейрона. Многослойный персептрон с прямой передачей сигнала и нелинейной функции активации обучается по алгоритму обратного распространения ошибки, т.е. распространение сигналов ошибки осуществляется от выходов нейронной сети к ее входам – противоположно распространению сигналов в обычном режиме работы.

Для уточнения энергосиловых параметров осесимметричной деформации были проведены 240 опытов различных образцов. Из полученных данных составлена таблица (см. приложение 2), на основе которой построена трехслойная нейронная сеть.

На рисунке 6.7 показано рабочее окно «Параметры сети» программы NeuroPro 0.25, в котором представлены: количество, тип и значение входных и выходных параметров, указывается точность и структура сети. Далее программа автоматически определяет число входных и выходных полей и пользователь в окне «Структура сети» (см. рис. 6.8) произвольно выбирает число слоев нейронов (от 1 до 10), число нейронов в каждом слое (от 1 до 100).

После обучения сети, при необходимости она упрощается, проводится ее тестирование и прогнозирование. При этом из данных (приложение 2) формируем тестовую выборку, состоящую из пар «вход» - «требуемый выход». Во входном слое имеем семь входных образов ($h, R_1, R_0, k, \sigma_T, R_1/R_0, h/R_0$), в выходном – один (P). Результат тестирования выводится в окно «Тестирование сети» и может быть сохранен в качестве текстового файла или таблицы Excel (приложение 3).

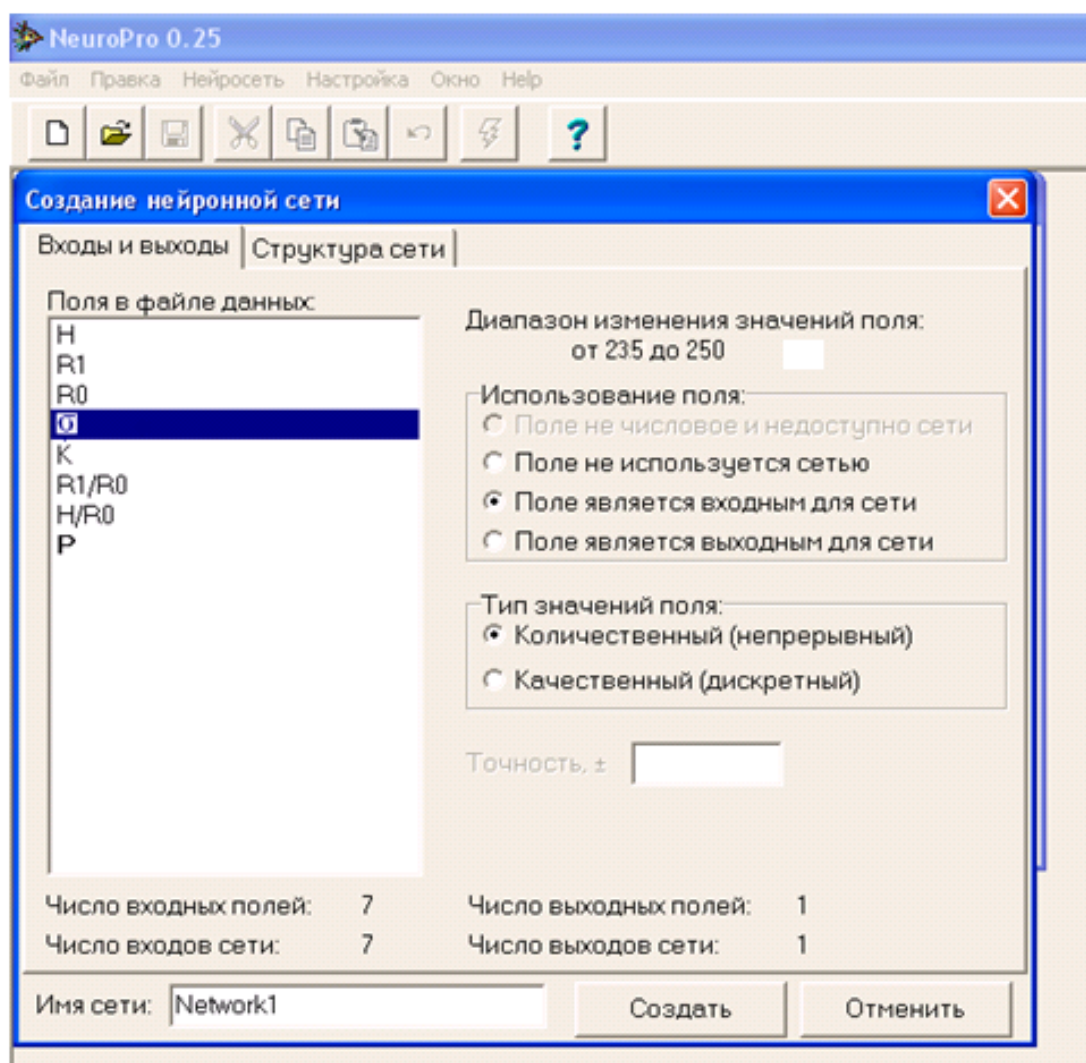


Рис. 6.7 – Рабочее окно «Параметры сети» программы NeuroPro

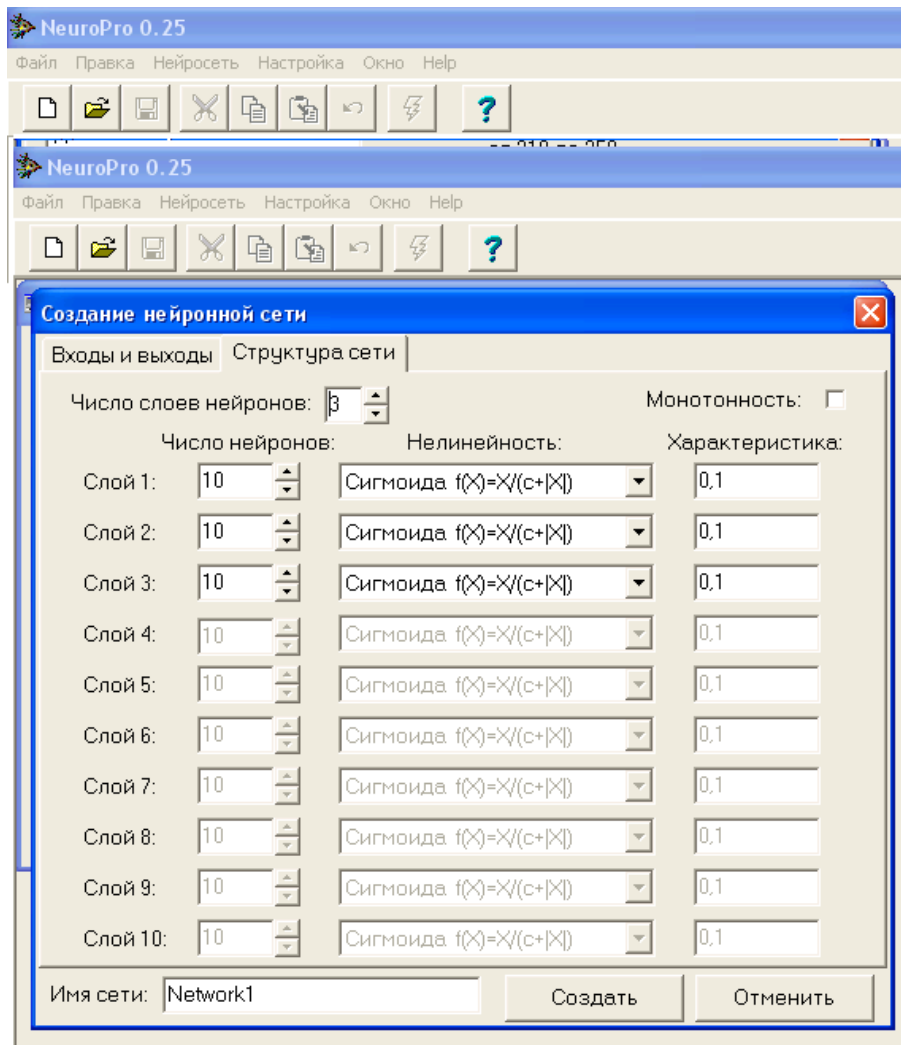


Рис. 6.8 – Окно «Структура сети»

Таким образом, с помощью искусственной нейронной сети (ИНС), возможно определить значимость входов и выяснить наиболее весомую величину, которая оказывает наибольшее влияние на процесс вытяжки. Поэтому в качестве входов были определены следующие параметры: h – толщина заготовки; R_1 – внутренний радиус заготовки; R_0 – радиус фланца, k – предел текучести при сдвиге, σ_r – предел текучести при растяжении; R_1/R_0 – отношение радиусов; h/R_0 – отношение толщины заготовки к радиусу фланца. После обучения наилучший результат показала двухслойная ИНС с архитектурой 7-(5-2)-1, показанная на рис. 6.9.

Выходным параметром будет усилие деформации P .

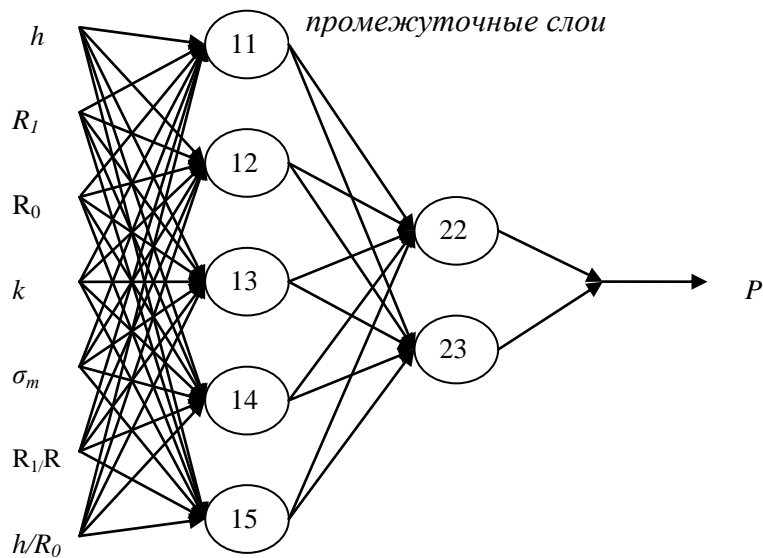


Рис. 6.9 - ИНС с архитектурой 7-(5-2)-1

Таблица 6.4 Файл данных NeuroPro 0.25

Входные целевые образы ИНС	Выходные целевые образы
Δh – изменение толщины заготовки, мм	0,182311
R_1 - радиус стакана, мм	0,234533
R_0 – радиус фланцевой части, мм	0,5142663
R_1/R_0 - отношение радиусов стакана и заготовки	0,1675562
h/R_0 - отношение толщины заготовки к ее радиусу	1
k – предел текучести при сдвиге МПа	0,887655
σ_T – предел текучести МПа	0,886785

В построенной ИНС значимость входов определена по средством исключения незначимых (малозначимых) входов. То есть, значимыми параметрами технологического процесса вытяжки осесимметричных заготовок, влияющими на величину усилия штамповки являются: h/R_0 - отношение толщины заготовки к ее радиусу; R_0 – радиус фланцевой части; k – предел текучести при сдвиге.

Качество построенной модели оценивается с помощью средней ошибки аппроксимации – 6,66% (см. приложение 3).

6.3 Усовершенствованный технологический процесс изготовления осесимметричных деталей (корпусов масляных фильтров)

В качестве материала для корпусов масляных фильтров используют, как уже было указано выше, сталь 08Ю. Эта сталь и другие ей аналогичные, рекомендованы, например, в работе [71], где для нее указано содержание углерода $0,03 \div 0,05\%$. В дальнейшем способ может быть использован и для «сверхнизко – углеродистых» сталей т.н., IF сталей, (Interstitial Free Steels) см. [71]. Образцы таких сталей толщиной 1,0 – 1,2 мм (из опытной партии листов) были испытаны при изготовлении корпусов фильтров [72].

Технологический процесс изготовления включает заготовительные операции – разделение листа на мерные полосы с последующей вырубкой дисковых заготовок и три перехода вытяжки осесимметричных цилиндрических заготовок. Первые две операции - заготовительные: специальной фрезой [74] лист размером 0,5x1250x2500 мм разрезают на три пластины размерами 680x1250мм и одну пластину - 460x1250 мм. Полученные пластины разрезают на две части размерами 680x625мм и 460x625мм.

Следующим технологическим переходом является операция травления пластин в соответствии с инструкцией по обезжириванию и химическому травлению черного листового металла [75].

После травления, пластины размерами 680x625мм и 460x625мм разрезают на полосы размерами 225x680мм и 85x680мм; 225x460мм и 85x460мм. Из пластин 680x625мм (460x625мм) выходит две полосы 225x680мм (225x460мм) и две полосы 85x680мм (85x460мм). Всего из исходного листа выходит двенадцать полос размерами: 225x680мм, четыре полосы с размерами 225x460мм, двенадцать полос – 85x680мм и четыре полосы – 85x460мм. Из полосы размерами 225x680мм выходит три детали, а из полосы – 225x460мм – две детали (заготовки для корпусов). Всего из листа выходит сорок четыре

детали. Полосы размерами 85х680мм и 85х460мм используют для штамповки кольца распорного. Из листа выходит сто шестнадцать деталей.

После смазывания заготовок индустриальным маслом осуществляют операцию вырубki.

Следующая операция – штамповочная. Формируем восемнадцать радиальных выступов (впадин) вдоль кольцевого пояса (см. рис.6.10).

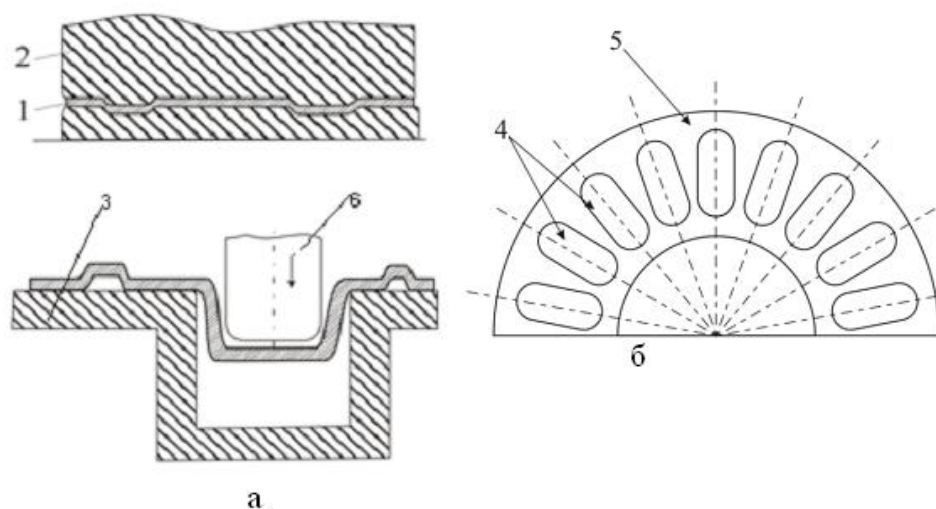


Рис. 6.10 – Технологический эскиз формирования 18 радиальных выступов (впадин): 1 – заготовка; 2, 6 – пуансон; 3 – матрица; 4 – радиальные впадины; 5 – фланцевая часть заготовки

В процессе экспериментальных исследований изучали влияние формы углублений в двух вариантах:

а) в виде дуг полуокружности

б) в виде синусоиды (см. рис. 6.11)

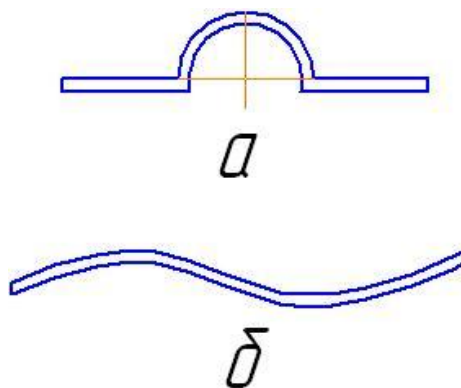


Рис. 6.11 – Эскиз форм углублений (впадин)

После проведения ряда опытов остановились на первом варианте, как более простом и достаточно эффективном. Нанесение углублений в два ряда, (дополнительный ряд) (см. рис. 6.12) проводили только в порядке экспериментального исследования, а при внедрении – применили только один ряд углублений, этого оказалось достаточно для получения качественных деталей (корпусов фильтров).

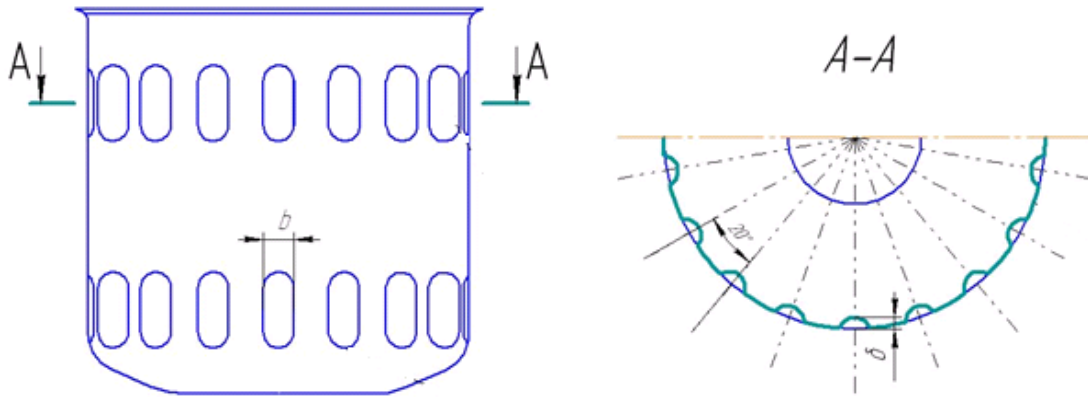


Рис. 6.12 – Эскиз двух рядов углублений на корпусе фильтра

После операции формирования ряда радиальных выступов (впадин) осуществляют двухстороннюю смазку трансмиссионным маслом.

Операцию вытяжки корпуса масляного фильтра проводим за три перехода на высоту: 45 мм; 65 мм и 92 мм соответственно. Вытяжку производят на прессе КЕ 2330 усилием 100т [78-84](см. рис. 6.13). Перед каждой вытяжкой наружную и внутреннюю поверхности заготовки смазывают трансмиссионным маслом методом погружения в масляную ванную.

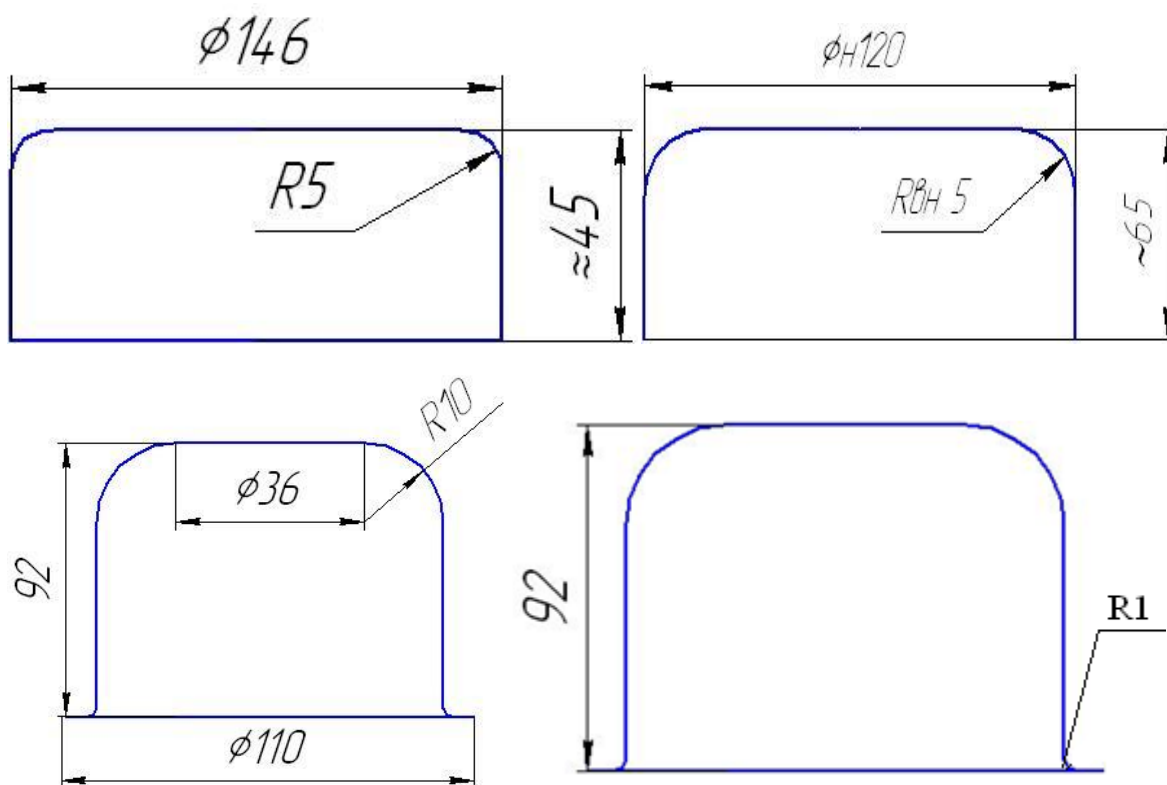


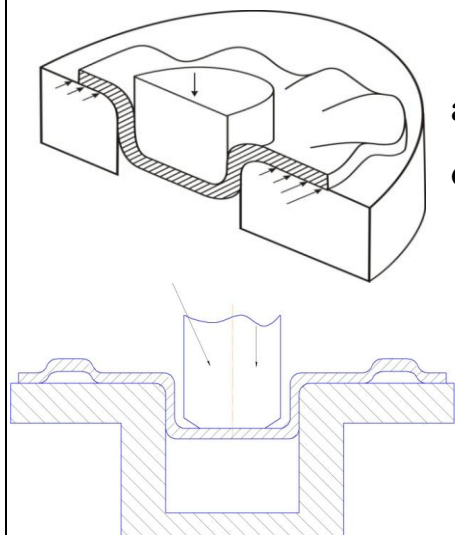
Рис. 6.13 – Технологические переходы вытяжки корпуса фильтра

Заготовку диаметром 146 мм на первой операции вытягивают на высоту 45 мм на прессе модели КЕ 2330 усилием 100т, далее производят вытяжку заготовки до высоты 65 мм диаметром 120мм, на третьей операции производят вытяжку до высоты 92 мм и диаметра 96мм на прессе К2234 усилием 250т. На корпусе формуют радиус фланца R1(см. рис. 6.15), используя пресс усилием 50т. На аналогичном прессе производят обрубку фланца диаметром 102 мм.

Таблица 6.5 – Исследование и совершенствование технологического процесса листовой штамповки с целью повышения качества стальных полых цилиндрических изделий, получаемых глубокой вытяжкой

Мероприятия совершенствования технологического процесса	Эскизы технологического процесса и полученный эффект	
Нанесение впадин малой амплитуды на заготовку до вытяжки		Уменьшается жесткости заготовки в тангенциальном направлении

Операции вытяжки



а) По старой технологии: потеря устойчивости, с образованием волн большой амплитуды;

б) Вытяжка по усовершенствованному технологическому процессу

Упреждаются:

- образование волн большой амплитуды; потеря устойчивости вытягиваемой заготовки; выравнивание механических свойств по толщине

заготовки; уменьшение числа технологических переходов вытяжки с шести до трех; увеличение выхода годного

Изделия, полученные по усовершенствованной технологии с впадинами на цилиндрической поверхности



- обребренная цилиндрическая поверхность изделия обеспечивает обслуживание фильтра под размер слесарного ключа;

- равномерное распределение эксплуатационных усилий

6.4 Расчет экономической прибыли внедрения усовершенствованного технологического процесса изготовления осесимметричных деталей

Применение нового технологического процесса подразумевает увеличение выхода годного изделия. Экономическая эффективность достигается за счет устойчивости процесса вытяжки.

По данным ОАО «2462 ЦБПР» себестоимость одного масляного фильтра составляет 60 рублей. Стоимость изготовления 50000 фильтров обходится предприятию в 3450000 рублей, так как при использовании старого технологического процесса выход годного изделия уменьшается на 12-15%.

Экономическая прибыль внедрения нового технологического процесса определяется на основе расчета капиталовложений в комплекс мероприятий, необходимых для его реализации K – тыс.руб [101,102].

Оценка стоимости оборудования, необходимого для изготовления корпуса фильтра по новой технологии, приведена в таблице 6.5 и соответствует ценам прайс-листов производителей данного оборудования.

Таблица 6.6 – Оценка стоимости капиталовложений при внедрении нового технологического процесса изготовления осесимметричных деталей

Обозначение	Наименование	Цена, тыс. руб.
K_1	Штамп для выполнения радиальных углублений	130
K_2	Дисковая фреза	6.15

Итоговые капиталовложения:

$$K = K_1 + K_2 = 130 + 6,15 = 136,15 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные расходы складываются из затрат, представленных в таблице 6.7

Таблица 6.7 – Эксплуатационные расходы нового технологического процесса на предприятии ОАО «2462 ЦБПР»

Обозначение	Вид расходов	Сумма тыс. руб.
C_1	Затраты на заработную плату	560
C_2	Амортизационные отчисления	43,33
C_3	Затраты на расходные материалы	112,356
Итого		715,686

Фонд заработной платы рассчитан на 2-х человек: на мастера и штамповщика:

$$C_1 = (15 + 25 + 6,67) \cdot 12 = 560 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений производится по формуле приведенной:

$$C_2 = \frac{K_0 \cdot A}{100} \%,$$

где K_0 – первичная стоимость оборудования, A – процент годовой нормы амортизационных отчислений.

Годовая норма амортизации штампа составляет:

$$A = \left(\frac{1}{t}\right) \cdot 100\%,$$

где t – время амортизации в годах, определяемое по технической документации оборудования.

$$C_2 = 130 \cdot 0,33 = 43,33 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные расходы предприятия составят 715.686 тыс. руб.,

Общие затраты предприятия на изготовление партии масляных фильтров составят:

$$TC = P_{\text{п}} + C_{\text{п}},$$

где $P_{\text{п}}$ - эксплуатационные расходы предприятия; $C_{\text{п}}$ - себестоимость продукции.

Себестоимость продукции при использовании нового технологического процесса уменьшится с 3450000 до 3000000 рублей, так как выход годного продукта, по сравнению со старой технологией, увеличится на 13%.

$$TC = 715686 + 3000000 = 3715686 \text{ руб.}$$

Розничная стоимость фильтра составляет 115р., однако предприятие ОАО «2462 ЦБПР» г. Тверь продает фильтр в сборе по цене 90 рублей за штуку. Стоимость партии масляных фильтров количеством 50000 штук составляет 4500000 рублей. Экономическая прибыль предприятия от внедрения нового технологического процесса без стоимости нового оборудования составит:

$$\text{ЭП} = \text{Ц} - \text{ТС},$$

где Ц – общая цена партии масляных фильтров.

$$\text{ЭП} = 4500000 - 3715686 = 784314 \text{ руб.}$$

На основании представленного экономического расчета можно сделать вывод о том, что новый технологический процесс уменьшает себестоимость партии готовой продукции на 400 тыс. рублей, тем самым увеличивает конкурентоспособность предприятия и позволяет уменьшить розничную стоимость масляного фильтра на 10%.

Выводы:

1. Опытные данные 240 замеров усилий вытяжки заготовок толщиной $0,5 \pm 0,03$ мм с пределами текучести σ_T от 235 до 250 МПа выявили изменение усилий вытяжки в диапазоне 19 - 24% от средней величины.

2. Уточнены расчетные формулы усилий вытяжки, полученные методом построения кинематические допустимых полей скоростей. Расхождение измеренных параметров усилий вытяжки с расчетными составляют 16%, что допустимо для условий производственного процесса.

3. Опытами установлено, что полые тела вращения могут быть получены без образования складок, трещин на фланцевой части, отрыва дна, если вытяжка производится с межоперационными формообразованиями дополнительных выступов-волн, в количестве 18-24 штук.

4. Построена нейронная сеть, реализована по архитектуре 7-(5-2)-1 оценки значимости влияния исходных параметров технологического процесса на усилие вытяжки. Определено, что нейронная сеть дает точный прогноз с результатами серии проверочных экспериментов 93,33% по семи контролируемым технологическим параметрам.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведен анализ различных технологических процессов изготовления вытяжкой полых цилиндрических изделий и вопросов определения напряжений и условий потери устойчивости и искажения конфигурации деформируемой заготовки.

2. На основе использования двух условий текучести: Сен-Венана, Мизеса, определены величины допустимой деформации в процессе вытяжки.

3. Приведены формулы для расчета верхних границы величин усилий деформации на основе рассмотрения кинематически допустимого поля скоростей.

Предложена методика расчета погрешностей, возможных отклонений величин усилия и параметра, характеризующего устойчивость процесса, при отклонениях всех величин, входящих в формулы, от номинальных значений. Это позволило оценить возможную погрешность расчетных величин, диапазоны их изменения.

4. Разработан новый способ получения осесимметричных изделий сложной формы, основанный на том, что на заготовке до начала деформации или после реализации части деформаций создают искусственную анизотропию за счет создания небольших углублений, ориентированных в радиальном направлении. Если число таких искусственных малых углублений, имеющих размеры порядка толщины тонких листовых заготовок: 0,5-1 мм равно 18-24, то это обеспечивает то, что процесс деформации стабилен и углубления, складки более крупных размеров не возникают.

5. Исследовано влияние искусственных углублений на процесс деформации, показано, что они существенно уменьшают жесткость заготовки при воздействии тангенциальных напряжений сжатия.

6. Проведены экспериментальные исследования с измерением усилий вытяжки при деформации стальных заготовок толщиной $0,5 \pm 0,03$ мм, с пределами текучести 235-250 МН/м², проведено 240 опытов, позволивших оценить точность расчетных формул.

7. Предложенный способ реализован на предприятии ОАО «2462 ЦБПР» г. Тверь, при изготовлении 20 тысяч изделий – корпусов фильтров, с экономическим эффектом 400 тыс. руб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шофман Л.А. Теория и расчеты процессов листовой штамповки [текст] / Л.А. Шофман. – М.: Машиностроение, 1974. - 136 с.
2. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки [текст] / Е.А. Попов - М.: Машиностроение, 1977. - 278с.
3. Шофман Л.А. Основы расчетов процессов штамповки и прессования [текст] / Л.А. Шофман – М.: Машгиз, 1961. - 340 с.
4. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением [текст] / М.Л. Колмогоров. М.: Metallurgy, 1986. - 688с.
5. Геккелер И.В. Статика упругого тела [текст] / И.В. Геккелер. Ленинград - Москва, ОНГИ Государственное технико-теоретическое издательство. 1934. - 287с.
6. Naziri H. The effect of plastic anisotropy on flange wrinkling behavior during sheet metal forming [text] / H. Naziri, R. Pearce// International Journal of the Mechanical Sciences, 1968. - №10. - P. 35-41.
7. Шофман Л.А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки [текст] / Л.А. Шофман – М.: Машиностроение, 1964. - 375с.
8. Ильюшин А.А. Пластичность. [текст] / А.А. Ильюшин. – М.: Изд. АН СССР, 1963. - 271с.
9. Малинин Н.Н. Технологические задачи пластичности и ползучести [текст] / Н.Н. Малинин. М.: Высшая школа, 1979. - 119с.
10. Головлев В.Д. Расчеты процессов листовой штамповки. Устойчивость формообразования листового металла [текст] / В.Д. Головлев – М.: Машиностроение, 1974. - 136с.
11. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки [текст] / Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю.- М.: Машиностроение, 1989. – 304с.
12. Справочник по холодной штамповке. [текст] / Романовский В.П. - Л.: Машиностроение, 1979. – 520с.

13. Пат. № RU 2212970 С2, МПК 7 В21D22/10 , Способ изготовления полусфер из листового металла/ М.А. Бабурин, Е.С. Сизов; ООО «Техноцит». - № 2001122077 Заяв. 09.08.2001; Оpubл. 27.09.2003.
14. ГОСТ 4041-71. Прокат листовой для холодной штамповки из конструкционной качественной стали.-Введ. 01.01.1976.- М.: ИПК Издательство стандартов. 1996 - 8с
15. Пат. № RU 2080949 РФ, МПК 6 В21D26/08, Способ газовой детонационной штамповки и устройство для его реализации/ Ю.В. Ольховский, А.Л. Гладченко, И.Н. Чечеткин; Российский федеральный ядерный центр; Всероссийский научно - исследовательский институт технической физики; Министерство Российской Федерации по атомной энергии. № 94026011 Заяв. 13.07.1994; Оpubл. 10.06.1997.
16. Пат. № RU 2282516 РФ, МПК В21D22/10, В21D22/24, В21D28/24, Способ изготовления корпусных деталей и штамп для его осуществления/ В.М. Плеханов, А.В. Севастьянов. № 2004117714 Заяв. 10.06.2004; Оpubл. 10.01.2006. Бюл. № 24
17. А.С. № 1800729 СССР, МПК 6 В21D51/54 Способ изготовления полого осесимметричного изделия [текст] / В.А. Попов; Центральный научно-исследовательский институт материалов. № 4821930. Заяв. 10.04.1990; Оpubл. 27.06.1995. Бюл. № 18.
18. Хилл Р. Математическая теория пластичности [текст] / Р. Хилл. М.: Изд. иностранной литературы, 1977.- 407с.
19. Толоконников Л.А. О течении фланца заготовки при вытяжке цилиндрического стакана из анизотропного материала [текст] / Л.А. Толоконников, В.В. Шевелев, С.П. Яковлев // Прикладная механика, - 1969. - Т. V. - №. 3. - С. 128-131.
20. Шевелев В.В. Анизотропия листовых материалов и ее влияние на вытяжку [текст] / В.В.Шевелев, С.П. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1972. - 136с.

21. Blasik F. Deep drawing without blank holder [text] /F. Blasik, P. Linhard, J. Strelecky// Sheet Metal Industries. Vol.64. March 1987. - № 3. - P. 128-138
22. Мельников Э.Л. Штамп для изготовления сферических, эллиптических и других куполообразных днищ [текст] / Э.Л. Мельников// Заготовительные производства в машиностроении, - 2005. - № 11. - С. 55-56.
23. Коротков В.А. Некоторые вопросы комбинированной вытяжки анизотропных материалов [текст] / В.А. Коротков// В сб. Технология машиностроения. Труды Тульского Политехнического института, вып. 15. Тула ТПИ, - 1971. -№15 - С. 16-21.
24. Лялин В.М. О влиянии вида напряженного состояния на предельную степень вытяжки анизотропного материала [текст] / В.М. Лялин, А.Е. Шевелев, С.П. Яковлев// В сб. Технология машиностроения. Труды Тульского Политехнического института. Тула: ТПИ, - 1971. -№15. - С. 7-11.
25. Яковлев С.П. Плоское напряженное состояние анизотропного тела при условии текучести, зависящем от вида напряженного состояния [текст] /С. П. Яковлев// В сб. Технология машиностроения. Труды Тульского Политехнического института, выпуск 15. Тула. ТПИ, - 1971. - С.3-7.
26. Бунова Г.С. Компьютерное моделирование процесса вытяжки полых стаканчиков из сплавов АМг6 с учетом реальной структуры материала [текст] / Г.С. Бунова, С.В. Воронин, Ф.В. Гречников, В.Д. Юшин// Известия Самарского научного центра РАН. Механика и машиностроение, - 2009. - №3 - Т.11 - С. 219-224.
27. Khelifa M. Fracture in sheet metal forming. Effect ductile damage evolution [text] / M. Khelifa, M. Oudjene, M. Khennane// Computers and Structures. 2007. - №5 - P. 205-212.
28. Chobrial M.J. A photo elastic investigation of the contact stresses developed in rolls during asymmetrical flat rolling [text] / M. J. Chobrial. International Journal of the Mechanical Sciences.- 1989.- Vol. 31.- №10.- P. 751-764.

29. Антонюк Ф.И. Применение статистических методов для анализа точности обратного выдавливания стаканов коническим пуансоном [текст] // Ф.М. Антонюк, А. И. Малышев// Заготовительные производства в машиностроении.-2005.- №11.-С. 29-33
30. Пат. № RU 2056198 РФ, МПК 6 В21D22/20 Способ получения глубоких тонкостенных цилиндрических изделий из многогранных заготовок/ Коротков В.А., Яковлев С.С; Тульский государственный технический университет. -№ 93003804 Заяв. 25.01.1993; опубл. 20.03.1996.
31. Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка [текст] / Под. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988.- 496с.
32. Зубцов М.Е. Листовая штамповка [текст] / М.Е Зубцов. – Л.: Машиностроение, 1980.-432с.
33. Малов А.Н. Технология листовой штамповки [текст]/ А.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1969.-568с.
34. Мурасов А.Ш. Листовая штамповка: Методические указания [текст] / А.Ш. Мурасов– Ульяновск: УПИ, 1982.-83с.
35. Матвеев Г.А. Исследование совмещений операций вытяжки и отбортовки [текст] / Г.А. Матвеев. – М.: Труды МВТУ 1983.-118с.
36. Берлет Ю.М., Филимонов В.И., Титов Ю.А. Об условиях протекания процесса вытяжки, совмещенного с неполной отбортовкой [текст] / Кузнечно – штамповочное производство. 2000.- №2- С.20-24.
37. Пат. № RU 2217257 РФ, МПК 7 В21D22/20 Способ вытяжки полых изделий из листовых заготовок/ Поздов И.Н., Поздов К.И.; Российский федеральный ядерный центр; Всероссийский научно - исследовательский институт экспериментальной физики. № 2001134327 Заяв. 17.12.2001; Опубл. 27.11.2003.
38. Пат. № RU 2242310 РФ, МПК 7 В21С37/30, В21D19/16 Способ изготовления полых двухстенных стаканов и устройства для его осуществления/ Надькин С.А., Ермаков С.Ф., Труфанов М.А.; Открытое

акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов". № 2002122787 Заяв. 26.08.2002; Оpubл. 20.12.2004.

39. Пат. № RU 2460605 РФ, МПК В21D22/16, В21D51/16 Способ изготовления оболочек с локальными утолщениями/ Логунов Л.П.; Федеральное государственное унитарное предприятие "Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева". № 2011120484 Заяв. 01.06.2011; Оpubл. 10.09.2012; Бюл. № 25.

40. Пат. № RU 2261770 РФ, МПК 7 В21D22/10 Способ изготовления облицовок сферической формы/ Бабурин М.А. Тарасов В.А. Баскаков В.Д. Кицак А.И. Гайсенко А.Н. Телегин Н.Н.; Общество с ограниченной ответственностью "ТЕХНОЩИТ". № 2003136644/02 Заяв. 19.12.2003; Оpubл. 10.10.2005; Бюл. №28.

41. Пат. № RU 2451572 РФ, МПК В21D53/10 Способ изготовления заготовок втулок из листового материала/ Середкин В. П., Филатов А. А., Зейдель В.С., Жуков А.А., Андреева Т.И., Топольняк С.Д., Толмачев О.В., Лагошина Е.В.; Середкин В. П. № 2011116260/02 Заяв. 26.04.2011; Оpubл. 27.05.2012; Бюл. № 15.

42. Пат. № RU 2302920 РФ, МПК В21D22/22 Способ вытяжки изделий из листовых заготовок/ Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М.; Бодров В. В. № 2005134442/02 Заяв. 07.11.2005; Оpubл. 20.07.2007; Бюл. № 20.

43. Пат. № RU 2278759 РФ, МПК В21D22/28; В21D51/16 Способ получения заготовки поршня методом листовой штамповки/ Смирнов А.В., Гладышев А.С., Крылов В.Е., Комаров А.В.; Открытое акционерное общество «Автоагрегат». № 2004131309/02, Заяв. 25.10.2004; Оpubл. 27.06.2006; Бюл. №18.

44. Пат. № RU 2148460 РФ, МПК 7 В21D22/20 Способ вытяжки деталей из тонколистовых заготовок/ Иванов Ю.Л.; Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение. № 98113026/02, Заяв. 29.06.1998; Оpubл. 10.05.2000.

45. Пат. № RU 2242320 РФ, МПК 7 B21J1/04, B21D22/20, B21D51/10 Способ штамповки полых деталей из плоских листовых заготовок и устройство для его осуществления/ Бабурин М.А., Сизов Е.С., Сизов В.С.; Общество с ограниченной ответственностью "ТЕХНОЩИТ". № 2002104040/02 Заяв, 19.02.2002; Оpubл. 20.12.2004.

46. Пат. № RU 2242318 РФ, МПК 7 B21D26/12, B21D22/20 Способ глубокой импульсной вытяжки деталей/ Поздов И.Н., Поздов К.И.; Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики Министерство Российской Федерации по атомной энергии. № 2001133564/02 Заяв. 27.08.2003; Оpubл. 20.12.2004.

47. Заявка на изобретение № 94031592 РФ Способ штамповки полых деталей [текст]// Попов И.П., Маслов В.Д.

48. Schöcker D. Enhancing press technology: laser assisted deep drawing [text] / D. Schöcker// International Sheet Metal Review. 2000. №4. P. 58-60.

49. Ильюшин А.А. Пластичность. Основы общей математической теории [текст] / А.А. Ильюшин. – М.: Изд. АН СССР. 1963. 271с.

50. Ильюшин А.А. Пластичность. Часть первая. Упруго-пластические деформации [текст] / А.А. Ильюшин. – М.: «Логос».2004. 376с.

51. Ключников В.Д. Математическая теория пластичности [текст] / В.Д. Ключников М.: Изд. Московского университета. 1979. 207 с.

52. Соколовский В.В. Теория пластичности [текст] / В.В. Соколовский. - М.: Высшая школа. 1969. - 608с.

53. Ивлев Д.Д. Теория идеальной пластичности [текст] / Д.Д. Ивлев. – М.: Наука,1966 - . 232с.

54. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением [текст] / Г.Я. Гун. - М.: Металлургия, 1980. - 456с.

55. Бровман М.Я. Применение теории пластичности в прокатке [текст] / М.Я. Бровман. - М.: Металлургия. 1991. - 265с.

56. Кийко И.А. Теория пластического течения [текст] / И.А. Кийко - М.: Изд. МГУ 1978. - 75с.

57. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформация, разрушение [текст] / В.Л. Колмогоров - М.: Металлургия, 1970. - 230 с.
58. Шофман Л.А. Глубокая вытяжка листовой стали на прессах [текст] / Л.А. Шофман - М.: Машгиз. 1944. - 44с.
59. Шофман Л.А. Основы теории обработки металлов давлением [текст] / Л.А. Шофман, Л.И. Перлин. - М.: Машгиз. – 1959. – 539с.
60. Баркая В.Ф. Формоизменение листового металла [текст] / В.Ф. Баркая, С.Е. Рокотян, Ф.И. Рузанов - М.: Металлургия. 1976. - 264с.
61. Бровман Т.В. Определение усилий при вдавливании цилиндрического пуансона в заготовку [текст] / Т.В. Бровман// Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 1997. - №1. С. 44-47
62. Бровман Т.В. Определение усилий при листовой штамповке [текст] / Т.В. Бровман// Вестник машиностроения. - 2004. - №3.С.61-63.
63. Бровман М.Я. Расчет точности прокатки [текст] / М.Я. Бровман// Металлургическое Машиностроение -М.: 1966. - №4 НИИИНФОРМТЯЖМАШ. с. 63-64.
64. Бровман М.Я. Применение теории пластичности в прокатке [текст] / М.Я. Бровман. М.: Металлургия. 1991. с. 265
65. Бровман М.Я. Приближенный метод расчета напряжений упруго-пластической деформации [текст] / М.Я. Бровман// Машиноведение. 1969. №4. с.66-73
66. Справочник машиностроителя Том 3 [текст]/ Под. ред. С.В. Серенсена. М.: Машгиз. - 1962. - С.621
67. Ржаницын А.Р. Теория ползучести [текст] / А.Р. Ржаницын М.:Стройиздат. – 1968 - 417 с.
68. Васильев М.Г. Новый технологический процесс вытяжки осесимметричных заготовок [текст]/ V международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» г. Москва в 2013 году. С.233.

69. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали.- Введ. 01.01.1973.- М.: ИПК Издательство стандартов. - 1996 - 8с.
70. ГОСТ 4041-71. Прокат листовой для холодной штамповки из конструкционной качественной стали.-Введ. 01.01.1976.- М.: ИПК Издательство стандартов. – 1996 - 8с.
71. Шахпазов Е.Х. Прогресс в технологии производства автолистовых сталей /Е.Х. Шахпазов, А.И. Зайцев, И.Г. Родионова// В сб. «Неделя металлов в Москве 13-17 ноября 2006 г.» М.: ВНИИМЕТМАШ. – 2007. – С. 143-149.
72. Филиппов Г.А. Достижения в области материалов для железнодорожного и автомобильного транспорта / Г.А. Филиппов, И.Г. Родионова, В.А. Парамонов // В сб. «Неделя металлов в Москве 14-18 ноября 2005 г.» М.: ВНИИМЕТМАШ. - 2005. – С. 96 – 109.
73. Круглов В.В Искусственные нейронные сети / [текст] В.В. Круглов, В.В. Борисов. – 2 –е изд., стереотип. –М.: Горячая линия-Телеком. - 2002. – 382С.
74. Пат. № 2496613 RU (13) С2 Российская Федерация, В23С5/26 (2006.01) Дисковая фреза / Т.В. Бровман, В.С. Ващенко, М.Г. Васильев, С.С. Ухабов, заявл. 12.05.11; опубл. 27.10.13 Бюл № 30.
75. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов [текст]/ Под. ред. П. М. Вячеславова. – Изд. 5-е, перераб. И доп. Л: Машиностроение. - 1983. – 101с.
76. Пат. № 2491144 RU (11) С2 Российская федерация, В21D22/20 (2006.01) Способ изготовления полых цилиндрических изделий / Т.В. Бровман, А.Б. Горященко, М.Г. Васильев, С.С. Ухабов, заявл. 08.06.2011; опубл. 27.08.2013 Бюл. 24.
77. Н. Л. Лисунец, К. Н. Соломонов, М. А. Цепин. Объемная штамповка алюминиевых заготовок. - М.: Машиностроение. - 2009. - 171 с.
78. Кохан Л. С., Навроцкий А. Г. Механическое оборудование цехов по производству цветных металлов [текст] / М. :Металлургия. – 1985. - 312 с.

79. Кохан Л. С. Теория и технология производства крепежных изделий высокоскоростным деформированием : Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук : 05.16.05 / Рос. АН, [текст] // - М.: Ин-т металлургии им. А.А.Байкова - 1994.
80. Кохан Л. С. Совершенствование производства метизов / [текст] Л.С. Кохан, С.Г. Заславский. - М.: Инмарко.- 1994. - 115 с.
81. Кохан Л. С. Механизация и автоматизация крепежных изделий / [текст] Л. С. Кохан - М. : НИИМаш, 1976. - 76 с.
82. Ковалев В.Г., Ковалев С.В. Технология листовой штамповки / [текст] В.Г. Ковалев. – М.: КНОРУС. – 2013. – 233с.
83. Попов А.Е., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки / [текст] А.Е. Попов Учебник для вузов - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 2000г. - 480с.
84. Справочник по штамповка листовой стали. [текст] / Глинер Р.Е. - SSAB Tunnplat, - 2004г. – 153с.
85. Яковлев С.П., Яковлев С.С., Андрейченко В.А. Обработка давлением анизотропных материалов. - Кишинев: Квант.- 1997.- 331 с.
86. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – Екатеринбург: Уральский государственный технический университет (УПИ), 2001. – 836 с.
87. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. - М.: Металлургия, 1984. - 144 с.
88. Нечепуренко Ю.Г., Яковлев С.П., Яковлев С.С. Глубокая вытяжка цилиндрических изделий из анизотропного материала.– Тула: ТулГУ, 2000. – 195с.
89. Теорияковки и штамповки: учеб. пособие для студентов машиностроительных и металлургических специальностей вузов // Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др.; под общ. ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова. 2 - е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. – 720с.

90. Мельников Э.Л. Холодная штамповка днищ. 2 – е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - 192 с.
91. Brovman, T. V. New technological process of drawing [text] / T. V Brovman, M.G. Vasiljev Journal Of Harmonized Research (JOHR). 2014. № 2(1) P. 201-207
92. Оссовский, С. Нейронные сети для обработки и информатизации [Текст] / С.Оссовский: перевод с польского И.Д.Руденского. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344с.
93. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / учебник для вузов. 5-е изд. стер. / Е.С.Вентцель. – М.: Высшая школа, 1998. – 576 с.
94. Лурье А.И. Теория упругости [текст] / А.И. Лурье. – Москва.: изд-во Наука. – 1970. – 940с.
95. Зубков М.Е. Листовая штамповка [текст] / М.Е. Зубков. – М.: Машиностроение. – 1980. – 432с.
96. Лавенделл Э.Э. Прикладная теория упругости [текст] / Э.Э. Лавенделл. – Рига.: РПИ. – 1978. – 95с.
97. Исаченков Е.И. Развитие теории листовой штамповки [текст] // Е.И. Исаченков. Кузнечно-штамповочное производство. 1977. - № 11. – С. 39-40.
98. Евстифеев, В.В. Имитационное моделирование в технологической подготовке производства фасонных изделий // В.В. Евстифеев, А.А. Александров, И.С. Лексутов // Вестник Академии военных наук, 2009. - № 3 (28). - С. 294 – 298.
99. Бриджмен П.В. Исследование больших пластических деформаций и разрыва [текст] / П.В. Бриджмен. — М: Иностранная литература, 1995. — 444 с.
100. Смирнов-Аляев Г.А., Чикидовский В.П. Экспериментальное исследование в обработке металлов давлением [текст] / Г. А. Смирнов - Аляев. — Л.: Машиностроение, 1972.-360 с.
101. Титов В.И. Экономика предприятия : учебник [текст] / В.И. Титов. – М.: Эксмо. – 2008. – 416с

102. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка [текст] / Л.И. Рудмана. - М.: Машиностроение, 1988. - 496с.
103. Поляков Ю.Л. Листовая штамповка легированных сплавов [текст] / Ю.Л. Поляков. - М.: Машиностроение, 1980. - 96с.
104. Чукин М.В., Гун Г.С. Барышников М. П., Валиев Р.З., и др Особенности реологический свойств конструкционных наносталей. [текст] // Вестник МГТУ. 2008. № 1. С. 24 – 27.
105. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением [текст] / А. А. Богатов. – М.:Металлургия, 1984. – 144с.
106. Математическое моделирование в нелинейной механике (обзор программных комплексов для решения задач моделирования сложных систем) [текст]/ Е.Н. Чумаченко, Т.В. Полякова, С.А. Аксенов и др. – М.: ИКИ РАН, 2009. – 42 с.
107. Свирин В.В., Соломонов К.Н., Мокрецова Л.О. Исследование влияния различных факторов на кинематическую схему течения металла в процессахковки и штамповки [текст] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. - №7. – С.37-37.
108. Бровман, Т.В. Способ вытяжки осесимметричных заготовок с их предварительной деформацией [текст]/ Т.В. Бровман, М.Г. Васильев Заготовительные производства в машиностроении. 2014. № 5 С. 20-23.
109. Васильев, М.Г. Новый технологический процесс вытяжки осесимметричных заготовок [текст] / М.Г. Васильев Технология металлов. 2014. № 4. С. 10-14.

Приложения

Приложение 1. Экспериментальные значения величин усилий вытяжки

№ опыта	Величины усилий Р (кН)	ΔP	D	№ опыта	Величины усилий Р (кН)	ΔP	D
1	241	-29	17,14	26	276	6	0,76
2	282	12	2,71	27	259	-11	2,43
3	267	-3	0,19	28	272	2	0,10
4	277	7	0,91	29	279	9	1,74
5	280	10	2,09	30	257	-13	3,36
6	287	18	6,15	31	271	1	0,02
7	276	6	0,78	32	263	-7	0,94
8	271	1	0,02	33	260	-10	2,08
9	280	10	2,00	34	270	0	0,00
10	297	27	14,30	35	262	-8	1,14
11	260	-10	2,00	36	269	-1	0,03
12	281	11	2,47	37	252	-18	6,55
13	268	-2	0,09	38	269	-1	0,01
14	271	1	0,02	39	256	-14	3,93
15	248	-22	9,81	40	268	-2	0,11
16	259	-11	2,46	41	278	8	1,17
17	267	-3	0,22	42	278	8	1,38
18	273	3	0,18	43	266	-4	0,35
19	267	-3	0,20	44	269	-1	0,03
20	252	-18	6,25	45	280	10	2,02

21	267	-3	0,17	46	262	-8	1,39
22	266	-4	0,34	47	279	9	1,71
23	287	17	5,62	48	267	-3	0,18
24	281	11	2,40	49	267	-3	0,16
25	278	8	1,36	50	288	18	6,63
P_{cp}	270	$\sum D$	118,08	σ	10,87	ν	0,0402

Приложение 2. База данных для построения нейронной сети (обучающая
выборка ИНС)

h,мм	R ₁ ,мм	R ₀ ,мм	σ _T ,МПа	k,МПА	R ₁ /R ₀	h/R ₀	P,Н
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	177440
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	177594
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	173211
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	177319
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	177355
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	223259
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	223383
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	223329
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	198476
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	168421
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	172835
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	195872
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	203404
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	177389
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	168398
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	173207
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	168513
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	168264
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	218129
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	218500
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	213066
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	218641

0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	213363
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	213505
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	218762
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	223661
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	223783
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	197729
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	197985
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	218769
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	198650
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	192907
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	188059
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	213671
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	203165
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	198348
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	195568
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	186702
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	181739
0,47	73	75	235	136	0,973	0,0063	191293
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	186459
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	188080
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	192875
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	188195
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	188199
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	192835
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	191406

0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	181772
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	191297
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	191387
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	181778
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	168552
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	172661
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	186434
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	191143
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	203324
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	203296
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	200348
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	195946
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	195956
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	200532
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	195490
0,47	60	63	235	136	0,952	0,0075	200426
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	200567
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	186187
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	181870
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	188164
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	186103
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	192764
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	172683
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	200227
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	192763

0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	181948
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	183043
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	178915
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	187765
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	184984
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	176343
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	182792
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	187728
0,47	60	63	240	139	0,952	0,0075	178738
0,47	48	55	240	139	0,873	0,0085	183309
0,47	48	55	240	139	0,873	0,0085	176466
0,47	48	55	240	139	0,873	0,0085	178976
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	172563
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	162009
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	183844
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	162095
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	154501
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	158228
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	184891
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	176542
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	180698
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	183339
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	183606
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	183876
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	178471

0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	185099
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	176639
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	180742
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	180792
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	181029
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	172242
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	168390
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	172179
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	172140
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	172132
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	169432
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	185235
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	178389
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	189681
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	189766
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	178502
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	176668
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	180983
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	189259
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	189567
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	169702
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	185184
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	189356
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	154503
0,5	48	55	240	139	0,873	0,0091	143012

0,5	48	51	240	139	0,941	0,0098	147003
0,5	48	51	240	139	0,941	0,0098	169846
0,5	48	51	240	139	0,941	0,0098	142824
0,5	48	51	240	139	0,941	0,0098	150925
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	143017
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	143197
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	150746
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	150659
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	147113
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	147157
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	143431
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	146990
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	169894
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	169953
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	151051
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	150739
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	154493
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	161960
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	165654
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	165651
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	161855
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	158331
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	162162
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	158250
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	165668

0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	165660
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	158075
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	147106
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	154579
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	169365
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	165734
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	154518
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	158110
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	133416
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	139707
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	133318
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	142661
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	130344
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	125323
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	125345
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	125230
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	139729
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	142582
0,5	48	51	245	141	0,941	0,0098	139593
0,5	73	75	245	141	0,973	0,0067	136777
0,5	73	75	245	141	0,973	0,0067	133531
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	136958
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	136702
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	120472
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	142657

0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	139583
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	142891
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	130334
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	142823
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	120429
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	123871
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	123571
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	120375
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	123396
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	127068
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	127137
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	123994
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	127148
0,503	73	75	245	141	0,973	0,0067	127039
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	120368
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	122121
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	125358
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	140001
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	124057
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	126987
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	121932
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	120238
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	121927
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	128480
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	122169

0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	133543
0,503	73	75	250	144	0,973	0,0067	140701
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	128421
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	140570
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	131581
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	128452
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	131976
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	135118
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	135237
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	140546
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	135296
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	128418
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	144558
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	140841
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	144430
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	138302
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	121502
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	137502
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	125403
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	137015
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	138297
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	144194
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	128489
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	133432
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	131865

0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	143823
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	135264
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	130184
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	130297
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	130039
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	136851
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	136902
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	143775
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	131607
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	131771
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	137501
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	140329
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	140756
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	138372
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	141561
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	138404
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	134943
0,503	60	63	250	144	0,952	0,0080	138430

Приложение 3 Результаты тестирования нейросети для определения
погрешности выходного параметра

Р (Н)	Прогноз сети	Ошибка	Р(Н)	Прогноз сети	Ошибка
177440	187848,8	-10408,8	188080	178286,7	9793,297
177594	187848,8	-10254,8	192875	182863,9	10011,14
173211	182863,9	-9652,86	188195	178286,7	9908,297
177319	187848,8	-10529,8	188199	178286,7	9912,297
177355	187848,8	-10493,8	192835	182863,9	9971,141
223259	214347,3	8911,719	191406	199067,3	-7661,34
223383	214347,3	9035,719	181772	192370,7	-10598,7
223329	214347,3	8981,719	191297	199067,3	-7770,34
198476	187848,8	10627,2	191387	199067,3	-7680,34
168421	178286,7	-9865,7	181778	192370,7	-10592,7
172835	182863,9	-10028,9	168552	178286,7	-9734,7
195872	204184,3	-8312,3	172661	182863,9	-10202,9
203404	192370,7	11033,3	186434	195699,6	-9265,56
177389	187848,8	-10459,8	191143	199067,3	-7924,34
168398	178286,7	-9888,7	203324	192370,7	10953,3
173207	182863,9	-9656,86	203296	192370,7	10925,3
168513	178286,7	-9773,7	200348	209687,1	-9339,14
168264	178286,7	-10022,7	195946	204184,3	-8238,3
218129	209687,1	8441,859	195956	204184,3	-8228,3
218500	209687,1	8812,859	200532	209687,1	-9155,14
213066	204184,3	8881,703	195490	204184,3	-8694,3
218641	209687,1	8953,859	200426	209687,1	-9261,14
213363	204184,3	9178,703	200567	209687,1	-9120,14
213505	204184,3	9320,703	186187	195699,6	-9512,56
218762	209687,1	9074,859	181870	192370,7	-10500,7
223661	214347,3	9313,719	188164	178286,7	9877,297
223783	214347,3	9435,719	186103	195699,6	-9596,56
197729	187848,8	9880,203	192764	182863,9	9900,141
197985	187848,8	10136,2	172683	182863,9	-10180,9
218769	209687,1	9081,859	200227	209687,1	-9460,14
198650	187848,8	10801,2	192763	182863,9	9899,141
192907	182863,9	10043,14	181948	192370,7	-10422,7
188059	178286,7	9772,297	183043	175058	7985
213671	204184,3	9486,703	178915	170297,6	8617,406
203165	192370,7	10794,3	187765	178372,1	9392,906
198348	187848,8	10499,2	184984	178372,1	6611,906
195568	204184,3	-8616,3	176343	170297,6	6045,406
186702	195699,6	-8997,56	182792	175058	7734

181739	192370,7	-10631,7	187728	178372,1	9355,906
191293	199067,3	-7774,34	178738	170297,6	8440,406
186459	195699,6	-9240,56	183309	175058	8251
176466	170297,6	6168,406	169846	179646	-9799,95
178976	170297,6	8678,406	142824	137640,4	5183,594
172563	165789,3	6773,656	150925	145244,6	5680,438
162009	170297,6	-8288,59	143017	137640,4	5376,594
183844	175058	8786	143197	137640,4	5556,594
162095	170297,6	-8202,59	150746	145244,6	5501,438
154501	159124	-4622,95	150659	145244,6	5414,438
158228	165789,3	-7561,34	147113	140000	7113,047
184891	178372,1	6518,906	147157	140000	7157,047
176542	170297,6	6244,406	143431	137640,4	5790,594
180698	175058	5640	146990	140000	6990,047
183339	175058	8281	169894	179646	-9751,95
183606	175058	8548	169953	179646	-9692,95
183876	175058	8818	151051	145244,6	5806,438
178471	170297,6	8173,406	150739	145244,6	5494,438
185099	178372,1	6726,906	154493	159124	-4630,95
176639	170297,6	6341,406	161960	170297,6	-8337,59
180742	175058	5684	165654	175058	-9404
180792	175058	5734	165651	175058	-9407
181029	175058	5971	161855	170297,6	-8442,59
172242	165789,3	6452,656	158331	165789,3	-7458,34
168390	159124	9266,047	162162	170297,6	-8135,59
172179	165789,3	6389,656	158250	165789,3	-7539,34
172140	165789,3	6350,656	165668	175058	-9390
172132	165789,3	6342,656	165660	175058	-9398
169432	179646	-10214	158075	165789,3	-7714,34
185235	178372,1	6862,906	147106	140000	7106,047
178389	170297,6	8091,406	154579	159124	-4544,95
189681	179646	10035,05	169365	178372,1	-9007,09
189766	179646	10120,05	165734	175058	-9324
178502	170297,6	8204,406	154518	159124	-4605,95
176668	170297,6	6370,406	158110	165789,3	-7679,34
180983	175058	5925	133416	130960,1	2455,898
189259	179646	9613,047	139707	135289,9	4417,109
189567	179646	9921,047	133318	130960,1	2357,898
169702	179646	-9943,95	142661	144409,5	-1748,5
185184	178372,1	6811,906	130344	130419	-74,9531
189356	179646	9710,047	125323	129890,6	-4567,6
154503	159124	-4620,95	125345	129890,6	-4545,6
143012	137640,4	5371,594	125230	129890,6	-4660,6

136958	131704,9	5253,078	144430	147043	-2612,98
136702	131704,9	4997,078	138302	131080,3	7221,688
120472	129650,6	-9178,6	121502	129924,2	-8422,19
142657	144409,5	-1752,5	137502	132481,8	5020,172
139583	135289,9	4293,109	125403	129890,6	-4487,6
142891	144409,5	-1518,5	137015	132481,8	4533,172
130334	130419	-84,9531	138297	131080,3	7216,688
142823	144409,5	-1586,5	144194	147043	-2848,98
120429	129650,6	-9221,6	128489	129967,6	-1478,56
123871	129776,6	-5905,63	133432	130960,1	2471,898
123571	129776,6	-6205,63	131865	130147,9	1717,078
120375	129650,6	-9275,6	143823	147043	-3219,98
123396	129776,6	-6380,63	135264	130479,4	4784,625
127068	130005,9	-2937,88	130184	130419	-234,953
127137	130005,9	-2868,88	130297	130419	-121,953
123994	129776,6	-5782,63	130039	130419	-379,953
127148	130005,9	-2857,88	136851	131704,9	5146,078
127039	130005,9	-2966,88	136902	131704,9	5197,078
120368	129650,6	-9282,6	143775	147043	-3267,98
122121	129924,2	-7803,19	131607	130147,9	1459,078
125358	129890,6	-4532,6	131771	130147,9	1623,078
140001	133032,9	6968,109	137501	132481,8	5019,172
124057	129776,6	-5719,63	140329	133032,9	7296,109
126987	130005,9	-3018,88	140756	135180,5	5575,484
121932	129924,2	-7992,19	138372	131080,3	7291,688
120238	129650,6	-9412,6	141561	132481,8	9079,172
121927	129924,2	-7997,19	138404	131080,3	7323,688
128480	129967,6	-1487,56	134943	130479,4	4463,625
122169	129924,2	-7755,19	138430	131080,3	7349,688
133543	130960,1	2582,898	Правильно:	224 (93,33334%)	
140701	135180,5	5520,484	Неправильно	16 (6,666667%)	
128421	129967,6	-1546,56	Всего:	240	
140570	135180,5	5389,484	Ср.ошибка:	7015,353	
131581	130147,9	1433,078	Макс.ошибка	11033,3	
128452	129967,6	-1515,56	:		
131976	130147,9	1828,078			
135118	130479,4	4638,625			
135237	130479,4	4757,625			
140546	135180,5	5365,484			

Приложение 4 Акт о внедрение результатов работы

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
 «2462 центральная база
 производства и ремонта
 вооружения и средств
 радиационной,
 химической и
 биологической защиты»
 ОГРН 1096952009340
 ИНН/КПП 6952021502/695201001
 « 6 » 02 2014 г.
 № 028
 На № _____
 170003, г.Тверь,
 Петербургское ш., д.4, кор.1

Акт о внедрении результатов
 Диссертационной работы соискателя Васильева Михаила Геннадьевича
 На предприятии ОАО «2462 ЦБПР»

В процессе анализа эффективности работы кузнечно-прессового цеха ОАО «2462 ЦБПР», а именно участка изготовления корпусов масляных фильтров, был выявлен брак в размере 10% от партии изготавливаемых заготовок, что составляло 2000 штук. На основе проведенных Васильевым М.Г. лабораторно-промышленных испытаний определены основные факторы, влияющие на качество изготавливаемой продукции.

Предложенный, усовершенствованный способ вытяжки корпусов фильтров, позволил полностью исключить брак.

Предприятие ОАО «2462 ЦБПР» внедрило усовершенствованный технологический процесс вытяжки корпусов масляных фильтров по патенту № 2491144 RU (11) C2 Российская федерация, B21D22/20 (2006.01), Способ изготовления полых цилиндрических изделий / Т.В. Бровман, А.Б. Горященко, М.Г. Васильев, С.С. Ухабов, заявл. 08.06.2011; опубл. 27.08.2013 Бюл. 24.

При изготовлении пятидесяти тысяч корпусов масляных фильтров, общая экономическая прибыль, от внедрения результатов работы, составляет семьсот восемьдесят четыре тысячи триста четырнадцать рублей. Доля от внедрения результатов диссертационной работы Васильева М.Г., составляет шестьдесят процентов от общей суммы – четыреста семьдесят тысяч шестьсот рублей.

« 6 » 02 2014г.



Исполнительный директор ОАО «2462 ЦБПР» *А.Б. Горященко* А.Б. Горященко