

МЗ99405

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище им. Н. Э. Баумана

На правах рукописи

МАТВЕЕВ ГЕОРГИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ВЫТЯЖКИ, СОВМЕЩЕННОЙ С ОТБОРТОЧКОЙ

(05.03.05 – Процессы и машины обработки)
давлением

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

НА ДОМ
НЕ ВРАЩАЕТСЯ

Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

МАТВЕЕВ ГЕОРГИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ВЫТЯЖКИ, СОВМЕЩЕННОЙ С ОТБОРТОВКОЙ

(05.03.05 - Процессы и машины обработки)
давлением

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1399405

Матвеев Г.А. Исследование

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

МГТУ
им. Н.Э.Баумана
1982
БИБЛИОТЕКА

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Попов Е.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Матвеев А.Д.;
кандидат технических наук,
доцент Константинов В.Ф.

Ведущее предприятие - 15-й Государственный подшипниковый завод.

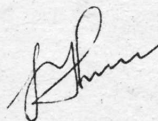
Защита диссертации состоится "_____" _____ 1982г.
на заседании специализированного Совета К 053.15.13 Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э.Баумана по адресу : 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просьба высылать по указанному адресу.

Автореферат разослан "_____" _____ 1982 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент

 Г.С.Никитин

Л - 90458

Подписан к печати 20.05. 1982 г.

Объем I п.л. тип. МВТУ

Тираж 100 экз.

Заказ 727

Актуальность проблемы. Важнейшими проблемами народного хозяйства являются повышение производительности труда, технического уровня и эффективности производства, экономия материалов и материальных ресурсов. Успешное решение этих проблем в практике листовой штамповки, широко применяющейся в различных отраслях промышленности, связано с правильным определением путей совершенствования реализуемых и разработкой новых прогрессивных технологических процессов, что невозможно сделать без глубокого изучения и развития теории их расчета. Использование научно обоснованных методик, позволяющих правильно определять технологические параметры, значительно сокращает затраты времени и средств на совершенствование применяемых и освоение новых процессов штамповки, обеспечивает их широкое внедрение.

Одним из эффективных путей совершенствования процессов листовой штамповки является совмещение двух и более операций в одном технологическом переходе. При совмещении суммарный коэффициент формоизменения заготовки за один переход выше допустимых для отдельных операций, что значительно сокращает цикл изготовления продукции, и в ряде случаев приводит к экономии материалов.

В этой связи, большой научный и практический интерес представляют теоретическое и экспериментальное исследования совмещения в одном переходе операций вытяжки и отбортовки. Проведение таких исследований и создание на их базе научно обоснованных методик расчета относительных размеров заготовок и инструмента по параметрам формы требуемых изделий является актуальной проблемой.

Цель работы - разработка научно обоснованных методик расчета и определение путей совершенствования процессов штамповки полых осесимметричных изделий с использованием данного совмещения.

Методы исследования. В настоящей работе были применены теоретический и экспериментальный методы исследований. Основой теоретических исследований явился анализ механизма деформирования при совмещении операций вытяжки и отбортовки. Аналитические решения получены путем совместного решения приближенных уравнений равновесия и условия пластичности, при принятой аппроксимации кривой упрочнения материала заготовок. Экспериментальные исследования проведены с использованием тензометри-

ческих методов измерения механических величин, регистрация которых производилась с помощью современных приборов - тензометрического усилителя 8АНЧ-7М и светолучевого осциллографа К12-22.

Научная новизна. Раскрыт механизм деформирования плоской кольцевой заготовки при совмещении операций вытяжки и отбортовки. Сформулированы условия совместного протекания операций и превалирования /прохождения до конца/ какой-либо одной из них. Аналитически определена связь параметров процесса, оказывающих основное влияние на характер и конечный результат деформирования. Решена прямая задача по определению формы и размеров изделия, получаемого в результате деформирования конкретной заготовки, и обратная ей - определение размеров исходной заготовки, в результате деформирования которой будет получено требуемое изделие. Решена задача по определению диапазона относительных размеров заготовок, при деформировании которых в заданном штампе будет иметь место совмещение операций.

Практическая ценность. В ходе выполнения данной работы были разработаны пять технологических процессов, базирующихся на совмещении в одном технологическом переходе операций вытяжки и отбортовки с управлением формоизменением в соответствующих зонах заготовки. На четыре из них получены авторские свидетельства.

Двухпереходный процесс штамповки конических переходов внедрен на заводе "ЭНЕРГОМАШ" в г.Белгороде, а процесс изготовления отводов трубопроводов внедрен на Барановичском хлопчатобумажном комбинате им. ЛКСМБ, Запорожском платино-магнелиевом комбинате и Ташкентском тракторном заводе им. 50-летия СССР. Кроме того, были разработаны конструкции ряда штампов: штамп для изготовления двух элементов отвода, штамп для изготовления переходов $D_u = 273/480$ и экспериментальный штамп для исследования операций вытяжки и отбортовки и их совмещения. На конструкцию первого из перечисленных штампов получено авторское свидетельство.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы освещены в докладах на IX научно-технической конференции Тульского политехнического института /г.Тула, 1973 г./, научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им. Н.Э.Баумана /г.Москв., 1978, 1981 гг./, на Республиканской научно-технической конференции, посвященной 150-летию вхождения Армении в состав России /г.Ереван, 1979 г./.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по каждой главе и общих выводов. Работа изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 2 таблицы, список литературы из 47 наименований.

В первой главе приводится выполненный по литературным источникам обзор работ, посвященных совмещению операций вытяжки и отбортовки. Большая их часть посвящена экспериментальным исследованиям специфического процесса однопереходной штамповки деталей трубчатой формы. При его реализации с инструментом контактирует лишь наружный край и край технологического отгтерстия заготовки, то есть последняя не имеет характерных зон изгиба и спрямления, протяженных участков трения. Авторы этих работ дают технологические рекомендации, которые могут быть использованы только при производстве идентичных деталей из тех же материалов.

Скворцовым Г.Д. в большом объеме были выполнены экспериментальные исследования совмещения данных операций, но уже при нагружении плоской кольцевой заготовки внешними силами, характер приложения которых соответствует операциям вытяжки и отбортовки. Обобщив их результаты, он нашел эмпирические зависимости, позволяющие определять параметры формы изделий в зависимости от размеров заготовки. Но и эти зависимости справедливы только для тех условий, в которых проводились данные эксперименты.

При достаточно широком освещении результатов экспериментальных исследований в технической литературе имеется весьма ограниченный круг работ /авторов: Попова Е.А., Горбунова М.Н. и Тан-Юн-Си, Марчиньяка З./, в которых дается приближенный анализ напряженно-деформированного состояния заготовки, деформируемой посредством рассматриваемого совмещения операций. В этих работах авторами не выявлена степень влияния на поля напряжений таких важных факторов, как упрочнения, изгиба и спрямления элементов заготовки, претерпеваемых ими при соответственно входе и выходе со скругленных кромок инструмента, возникающего при этом трения.

Ни одна публикация не содержит информации, полностью раскрывающей механизм деформирования при совмещении операций вытяжки и отбортовки.

В соответствии с изложенным перед настоящей работой были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ совмещения в одном технологическом переходе операций вытяжки и отбортовки, в результате которого будет раскрыт механизм деформирования и определены поля напряжений в заготовке на разных стадиях ее формоизменения.

2. Определить степень влияния на поля напряжений и характер формоизменения основных факторов, к которым относятся: упрочнение; изгиб и спрямление; условия трения; изменение угла охвата заготовкой скругленных кромок инструмента.

3. Разработать методики проектирования технологических процессов с использованием совмещения операций вытяжки и отбортовки в одном технологическом переходе.

4. Определить пути совершенствования технологических процессов штамповки полых осесимметричных изделий на базе рассматриваемого совмещения операций.

Во второй главе раскрыт механизм деформирования плоской кольцевой заготовки, нагруженной внешними силами, схема приложения которых соответствует схеме приложения внешних сил при вытяжке и отбортовке. Установлено, что при совмещении очаг пластических деформаций охватывает все сечение заготовки и разделен на две отличающиеся по схеме напряженно-деформированного состояния зоны - зону вытяжки и зону отбортовки. Каждая из названных зон, в свою очередь, состоит из трех характерных участков: участка, противостоящего плоской части инструмента; участка, контактирующего со скругленной кромкой последнего; свободного от контакта с инструментом участка.

Вследствие осевой симметрии деформирования границей зон является окружность некоторого радиуса $R_{гр}$, на уровне которой меридиональные растягивающие напряжения $\sigma_{r\max}$, возникающие в соответствующих зонах, максимальны и равны между собой. Равенство $\sigma_{r\max}$ на границе зон соблюдается в течение всего периода совместного протекания операций, что, собственно, и является условием совмещения вытяжки и отбортовки.

Характер формоизменения и конечный результат деформирования различных заготовок зависят от соотношения экстремальных величин максимальных меридиональных растягивающих напряжений $\sigma_{r\max}^{(2)}$, возникающих в соответствующих зонах заготовки. При деформировании заготовок, для которых $\sigma_{r\max}^{(2)} > \sigma_{r\max}^{(1)}$, - полностью пройдет операция отбортовки и лишь частично - вытяжки; в случае когда $\sigma_{r\max}^{(2)} < \sigma_{r\max}^{(1)}$ - полностью пройдет операция вытяжки и частично - отбортовки. /Здесь: $\sigma_{r\max}^{(2)}$ - экстремальная

величина $\sigma_{r \max}$ в зоне вытяжки; $\sigma_{r \max}^{o(2)}$ - то же для зоны отбортовки/

При $\sigma_{r \max}^{b(1)} \equiv \sigma_{r \max}^{o(2)}$ следовало бы ожидать завершения обеих операций - полного втягивания фланца при полностью прошедшей отбортовке с получением изделия в виде отрезка трубы. Но такой результат никем из исследователей получен не был. Объясняется это тем, что при совмещении процесс штамповки идет в два этапа. На первом этапе по мере роста пластических деформаций $\sigma_{r \max}$ в каждой из зон будут увеличиваться / в силу преобладающего влияния упрочнения / и оставаться равными друг другу, поскольку увеличение $\sigma_{r \max}$ в одной зоне непременно будет приводить к пластической деформации в другой. При этом величина последней будет соответствовать приросту $\sigma_{r \max}$ в этой зоне до величины, достигнутой в первой, и наоборот. С момента, когда $\sigma_{r \max}$ в какой-либо зоне достигнут экстремума /момента начала второго этапа/ дальнейшая пластическая деформация металла этой зоны заготовки будет сопровождаться их уменьшением, то есть не будет приводить к приросту $\sigma_{r \max}$ в другой зоне. Другими словами, на втором этапе штамповки пластические деформации будут наблюдаться только в той зоне заготовки, в которой $\sigma_{r \max}$ уже достигли экстремума. Таким образом, для определения характера и конечного результата деформирования необходимо в каждом конкретном случае иметь количественную оценку величин меридиональных растягивающих напряжений, возникающих в зонах заготовки, которую возможно сделать только после отыскания соответствующих полей напряжений. Для их определения мы воспользовались результатами анализа операций вытяжки и отбортовки, которые были получены Поповым Е.А. после совместного решения приближенного уравнения равновесия и соответствующих условий пластичности по гипотезе постоянства максимальных касательных напряжений. Но нами для учета упрочнения в зоне вытяжки /основного фактора, влияющего на рост $\sigma_{r \max}$ в процессе деформирования / в качестве эквивалентной по упрочняющему эффекту относительному сужению ψ была принята средняя для данной зоны относительная деформация тангенциального сжатия $\epsilon_{\theta \text{ ср.}}$. Считая, в первом приближении, перемещение краевого элемента ΔR равным перемещению элемента заготовки, который за тот же период деформирования достиг границы зон, и, кроме того, учитывая, что $\Delta R \ll R_{\text{гр.}}$, мы получили выражение

для $\epsilon_{в.ср.}$ в следующем виде:

$$\epsilon_{в.ср.} = \frac{\chi(1 + \kappa'_g)}{2}, \quad (1)$$

где: $\chi = \frac{\Delta R}{R_0}$ - относительное перемещение наружного края заготовки;

R_0 - исходный наружный радиус заготовки;

$\kappa'_g = \frac{R_g}{R_{гp}}$ - коэффициент формоизменения в зоне вытяжки.

И в итоге, - зависимость, определяющую максимальное меридиональное растягивающее напряжение в зоне вытяжки при заданном относительном перемещении наружного края заготовки:

$$\sigma_{p\max}^B = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_{ш}} \left[\frac{\chi(1 + \kappa'_g)}{2 \psi_{ш}} \right]^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} (\ln \kappa'_g - \chi), \quad (2)$$

где: $\psi_{ш}$ - относительное сужение к моменту начала образования шейки;

σ_B - предел прочности материала заготовок.

Для определения относительного перемещения наружного края заготовки χ_z , соответствующего моменту достижения $\sigma_{p\max}^B$ экстремального значения, нами была взята производная и приравнена нулю / в предположении, что $R_{гp} = \text{const}$ /. В результате получили:

$$\chi_z = \psi_{ш} \cdot \ln \kappa'_g. \quad (3)$$

Подставив найденное значение χ_z в формулу (2), мы получили выражение, определяющее экстремальную величину $\sigma_{p\max}$, возникающего в зоне вытяжки:

$$\sigma_{p\max}^B = \sigma_B \left(\frac{1 + \kappa'_g}{2} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} (\ln \kappa'_g)^{\frac{1}{1 - \psi_{ш}}}. \quad (4)$$

После учета сил трения на кромке матрицы, а также влияния изгиба и спрямления по методике, разработанной Е.А.Поповым, формулы (2) и (4) соответственно видоизменились:

$$\sigma_{p\max}^B = \sigma_B \left\{ \frac{1}{1 - \psi_{ш}} \left[\frac{\chi(1 + \kappa'_g)}{2 \psi_{ш}} \right]^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} (\ln \kappa'_g - \chi) + \frac{S_0}{2r_n + S_0} \right\} (1 + \mu \alpha) \quad (5)$$

$$\sigma_{p\max}^{B(z)} = \sigma_B \left[\left(\frac{1 + \kappa'_g}{2} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} (\ln \kappa'_g)^{\frac{1}{1 - \psi_{ш}}} + \frac{S_0}{2r_n + S_0} \right] (1 + \mu \alpha'). \quad (6)$$

/ Здесь: S_0 - исходная толщина материала; r_m - радиус скругления кромки матрицы; α - угол охвата заготовкой скругленных кромок инструмента μ - коэффициент трения /.

Для определения поля меридиональных растягивающих напряжений $\sigma_{r \max}^0$, возникающих в зоне отбортовки, мы воспользовались результатами анализа операции отбортовки, полученными тем же автором.

Для нашего случая:

$$\sigma_{r \max}^0 = \sigma_s \left(1 - \frac{r_{\text{от.}}}{R_{rp}} \right), \quad (7)$$

где: σ_s - напряжение текучести;

$r_{\text{от.}}$ - текущий радиус технологического отверстия.

В качестве эквивалентной по упрочняющему эффекту интенсивности деформаций нами была принята максимальная тангенциальная деформация растяжения ϵ_θ , определяемая выражением:

$$\epsilon_\theta = \frac{y}{k'_0 - y}, \quad (8)$$

где: $y = \frac{\Delta r}{r_0}$ - относительное перемещение края технологического отверстия;

Δr - увеличение радиуса технологического отверстия к рассматриваемому моменту деформирования;

r_0 - исходный радиус технологического отверстия;

$k'_0 = \frac{r_0}{m'_0} \frac{R_{rp}}{r_0}$ - коэффициент формоизменения в зоне отбортовки.

После перехода от деформаций удлинения к деформациям уменьшения площади поперечного сечения элемента и использования степенной аппроксимации кривой упрочнения, описываемой уравнением Губкина - Кербера, формула (7) приняла вид:

$$\sigma_{r \max}^0 = \frac{\sigma_s}{1 - \psi_m} \left(\frac{y m'_0}{\psi_m} \right)^{\frac{\psi_m}{1 - \psi_m}} [1 - m'_0 (1 - y)], \quad (9)$$

где $m'_0 = \frac{r_0}{R_{rp}}$ - коэффициент формоизменения в зоне отбортовки.

Аналогично предыдущему, были найдены относительное перемещение края технологического отверстия, соответствующее моменту достижения $\sigma_{r \max}^0$ экстремального значения $\sigma_{r \max}^{0(2)}$ и формулы для их определения:

$$y_2 = \psi_m (k'_0 - 1); \quad (10)$$

$$\sigma_{r \max}^{0(2)} = \sigma_s (1 - m'_0) \frac{1}{1 - \psi_m}. \quad (11)$$

После учета по указанной выше методике влияния изгиба, спрямления и трения, формулы (9) и (II) принимают вид:

$$\sigma_{r \max}^0 = \sigma_0 \left\{ \frac{1}{1 - \psi_m} \left(\frac{y m_0'}{\psi_m} \right)^{\frac{\psi_m}{1 - \psi_m}} \left[1 - m_0' (1 + y) \right] + \frac{s_0}{2r_n + s_0} \right\} (1 + \mu \alpha); \quad (I2)$$

$$\sigma_{r \max}^{0(2)} = \sigma_0 \left[\left(1 - m_0' \right)^{\frac{1}{1 - \psi_m}} + \frac{s_0}{2r_n + s_0} \right] (1 + \mu \alpha). \quad (I3)$$

В работе показано, что в начальный момент деформирования плоской кольцевой заготовки радиус границы, разделяющей очаг пластических деформаций на соответствующие зоны, определяется выражением:

$$R_{гр.н} = \sqrt{R_0 \cdot r_0}. \quad (I4)$$

Выдвинуто и обосновано предположение о постоянстве положения границы, но, вместе с тем, показано, что с момента совпадения либо крайних точек контакта заготовки с пуансоном, либо — с матрицей с начальным положением границы, последняя начинает вместе с ними перемещаться по мере роста угла охвата.

При $R_{гр.н} < R_u$ в определенный момент деформирования происходит совпадение границы с положением крайних точек контакта заготовки со скругленной кромкой пуансона, что приводит к увеличению $\sigma_{r \max}$ и за счет спрямления элементов, получивших изгиб в зоне отбортовки. В случае, когда граница совпадает с положением крайних точек контакта заготовки со скругленной кромкой матрицы / при $R_{гр.н} > R_u$ / , на рост $\sigma_{r \max}^0$, кроме прочих факторов, оказывает влияние и спрямление элементов, претерпевших изгиб в зоне вытяжки. Более того, в обоих случаях перемещение границы приводит к изменению на ней

$\sigma_{r \max}$ и за счет соответствующего изменения коэффициента формоизменения в зонах. / R_u — радиус изделия по средней линии /

В результате анализа установлено, что величина радиуса границы зон имеет весьма сложную функциональную связь с другими параметрами процесса совмещения вытяжки и отбортовки, отыскание которой представляет большие трудности.

При выполнении расчетов по представленным выше формулам нами рекомендовано считать положение границы постоянным / $R_{гр.н} = \text{const}$ / , а величину ее радиуса задавать в зависимости от соотношения величины начального радиуса границы $R_{гр.н}$, рассчитанной по формуле (I4), и параметров формы инструмента:

а/ при $R_{б.н} > R_{гр.н} > R_u$ принимать $R_{гр} = R_u$;

б/ при $R_{гр.н} \leq R_{а.н}$ принимать $R_{гр} = R_{а.н}$.

/Здесь: $R_{б.н}$ - радиус точек сопряжения плоскости матрицы с ее скругленной кромкой ;

$R_{а.н}$ - радиус точек сопряжения плоского торца пуансона с его скругленной кромкой /.

Кроме того, показано, что при $R_{гр.н} > R_u$ необходимо учитывать прирост $\sigma_{р max}^0$ за счет спрямления элементов, претерпевших изгиб в зоне вытяжки ; при $R_{гр.н} < R_u$ учитывать прирост $\sigma_{р max}^0$ за счет спрямления элементов, получивших изгиб в зоне отбортовки.

Полученные в результате теоретических исследований формулы и вывод о том, что при равенстве радиусов скругления пуансона и матрицы влияние трения, изгиба и спрямления на рост $\sigma_{р max}$ в каждой из зон может быть принято одинаковым, позволили найти аналитические зависимости, определяющие относительное перемещение края технологического отверстия y при преваливании вытяжки -

$$y^{\frac{\psi_w}{1-\psi_w}} \left[1 - \frac{r_0}{R_{гр}} (1+y) \right] = (1-\psi_w) \left(\ln \frac{R_0}{R_{гр}} \right)^{\frac{1}{1-\psi_w}} \left[\frac{\psi_w (1 + \frac{R_0}{R_{гр}}) R_{гр}}{2 r_0} \right]^{\frac{\psi_w}{1-\psi_w}} \quad (15)$$

и относительное перемещение наружного края заготовки x при преваливании отбортовки -

$$x^{\frac{\psi_w}{1-\psi_w}} \left(\ln \frac{R_0}{R_{гр}} - x \right) = (1-\psi_w) \left(1 - \frac{r_0}{R_{гр}} \right)^{\frac{1}{1-\psi_w}} \left(\frac{2 \psi_w}{1 + \frac{R_0}{R_{гр}}} \right)^{\frac{\psi_w}{1-\psi_w}} \quad (16)$$

Кроме того, нами были определены относительные размеры заготовок, при деформировании которых не будет наблюдаться совмещения операций. Условием прохождения только операции вытяжки является:

$$r_0 < R_{а.н} \left\{ 1 - \frac{\sigma_B}{\sigma_r} \left[\left(\frac{1+K_B}{2} \right)^{\frac{\psi_w}{1-\psi_w}} \left(\ln K_B \right)^{\frac{1}{1-\psi_w}} + \frac{s_0}{2r_n + s_0} + \frac{s_0}{2(2r_n + s_0)} \right] \right\} \quad (17)$$

где: r_0 - радиус центрального отверстия в заданной заготовке ;

K_B - коэффициент вытяжки, определяемый по заданным

параметрам заготовки и инструмента.

Формула же, определяющая наружный радиус заготовки R_0 , имеющей заданное технологическое отверстие, при деформировании которой пройдет только операция отбортовки, имеет вид:

$$R_0 > R_{\text{в.м.}} \cdot \exp \left\{ \frac{\sigma_0}{\sigma_r} \left[(1 - m_0)^{\frac{1}{1-\mu_m}} + \frac{S_0}{2r_m + S_0} + \frac{S_0}{2(2r_m + S_0)} \right] \right\}. \quad (18)$$

Здесь $m_0 = \frac{r_0}{R_0}$ — коэффициент отбортовки, определяемый по заданным параметрам заготовки и инструмента.

На основе приведенных выше результатов анализа, были разработаны методики определения размеров заготовок для штамповки деталей типа втулки с фланцем и стаканчика с отверстием в дне.

В третьей главе описаны экспериментальные исследования совмещения операций вытяжки и отбортовки, проведенные нами в два этапа. На первом этапе деформированию подвергались заготовки, выполненные из стали 08КП, размеры которых выбирались в пределах допустимых справочных для данных толщины материала, размеров и формы инструмента.

В результате экспериментов не был получен образец в виде отрезка трубы, то есть не имел места случай полного завершения обеих операций. В зависимости от относительных размеров заготовок и инструмента в процессе деформирования превалировала какая-либо одна операция. При деформировании заготовок, размеры которых соответствовали случаю максимально возможного совмещения $\sigma_{r \max}^{b(z)} \approx \sigma_{r \max}^{a(z)}$ превалирование операций носило случайный характер.

На втором этапе экспериментальных исследований был использован специально сконструированный и изготовленный нами штамп, снабженный ходографами перемещения наружного края фланца и края технологического отверстия заготовки. Эксперименты на обоих этапах проводились на испытательной машине УИМ — 50, дополнительно оборудованной мессдозой и ходографом траверсы. В качестве тензоусилителя использовался усилитель 8 АНЧ — 71, а регистрирующий прибор — светолучевой шлейфовый

осциллограф К 12-22. Как и на первом этапе экспериментальных исследований деформирование заготовок, выполненных из стали 20, с различным соотношением начальных размеров приводило к различным результатам.

Как и ранее, деформирование весьма близких по размерам заготовок в идентичных условиях приводило к диаметрально - противоположным результатам. Анализ полученных осциллограмм позволил установить, что при совмещении протекание обеих операций начинается одновременно и монотонно продолжается до момента завершения какой-либо одной из них.

Полученные экспериментальные и расчетные данные имеют удовлетворительную сходимость / погрешность не превышает 20 % /. Это подтверждает обоснованность принятых в теоретическом анализе допущений и пригодность найденных зависимостей для практических расчетов. Результаты эксперимента подтверждают выдвинутые в теоретическом анализе гипотезы об условии и характере совместного протекания операций вытяжки и отбортовки.

В четвертой главе определены возможные пути совершенствования технологических процессов и освещено внедрение результатов работы в промышленность. По результатам теоретического и экспериментального исследований представилось возможным заключить, что для эффективной реализации на практике совмещения операций вытяжки и отбортовки необходимо обеспечить стабильность результатов штамповки, или, другими словами, найти способы управления процессом формоизменения в соответствующих зонах заготовки. К ним относятся: реализация при штамповке наперед заданного формоизменения в зонах заготовки, отличного от возможного по условию совместного протекания операций - $\sigma_{r \max}^b(z) \approx \sigma_{r \max}^o(z)$; исключение возможного, но не желательного формоизменения в какой-либо из зон.

В ходе выполнения данной работы было разработано пять новых технологических процессов / способов штамповки /, при реализации которых осуществляются либо управление формоизменением в зонах заготовки, либо исключается возможное, но не желательное пластическое формоизменение в какой-либо одной из них. Четыре способа признаны изобретениями и приоритет на них защищен авторскими свидетельствами.

Процесс изготовления отводов трубопроводов и двухпереходный процесс штамповки конических переходов внедрены в промышленность: первый на Барановичском хлопчатобумажном комбинате им. ЛКСМБ, Запорожском платино-магнелиевом комбинате и Ташкентском тракторном заводе им. 50-летия СССР; второй - на Белгородском заводе энергетического машиностроения /"Энергомаш"/.

Суммарный экономический эффект от внедрения указанных процессов в 1979 г. составил 30 000 рублей.

Общие выводы:

1. При совмещении операций вытяжки и отбортовки очаг пластических деформаций охватывает все сочение заготовки и разделяется на две зоны с соответствующими этим операциям схемами напряженно-деформированного состояния.

2. Условием совместного протекания операций /совмещения/ вытяжки и отбортовки является равенство в каждый момент деформирования максимальных меридиональных растягивающих напряжений на границе зон очага пластических деформаций заготовки.

3. Границей, разделяющей очаг пластических деформаций на зоны, является окружность, величина радиуса которой в начальный момент деформирования равна среднему геометрическому значению радиусов фланца и технологического отверстия $R_{гр.н} = \sqrt{R_0 r_0} /$.

4. При совместном протекании операций граница лежит на свободном от контакта с инструментом участке заготовки в зазоре между пуансоном и матрицей.

5. Процесс деформирования плоской кольцевой заготовки посредством совмещенных вытяжки и отбортовки идет в два этапа. Первым является этап, соответствующий периоду роста максимальных меридиональных растягивающих напряжений - этап совместного протекания обеих операций, а вторым - этап протекания лишь одной /превалирующей/ операции. На практике не наблюдалось полного завершения обоих процессов.

6. Для определения характера формоизменения плоской кольцевой заготовки, деформируемой посредством совмещения операций вытяжки и отбортовки, достаточно сравнить величины экстремальных значений меридиональных растягивающих напряжений, могущих возникнуть в ее зонах.

7. В случае наиболее эффективного использования совмещения операций вытяжки и отбортовки /при выборе размеров заготовки по условию допустимого формоизменения в соответствующих зонах и выполнения равенства - $\sigma_{\rho \max}^{(\rho)} = \sigma_{\gamma \max}^{(\gamma)}$ / конечный результат деформирования носит случайный характер.

8. Полученные в результате теоретического анализа зависимости и разработанные на их основе методики сделали возможным определение формы и размеров изделия, получаемого в результате деформирования данной заготовки, и определение размеров заготовки, в результате деформирования которой будет получено требуемое изделие.

9. Основным направлением совершенствования технологических процессов листовой штамповки, базирующихся на совмещении операций вытяжки и отбортовки в одном технологическом переходе, является управление формоизменением в соответствующих зонах деформируемой заготовки, которое может быть реализовано на практике.

10. Совмещение операций вытяжки и отбортовки расширяет технологические возможности, и, в частности, позволило предложить принципиально новые процессы штамповки полых осесимметричных изделий. Использование совмещения данных операций при штамповке деталей типа стаканчика с отверстием в дне приводит к экономии металла, а в случае штамповки деталей типа втулки с фланцем - к сокращению числа штамповочных переходов.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. А.с. 370993 (СССР). Способ изготовления отводов трубопроводов /Е.Н.Мошнин, В.К.Парахин, Г.А.Матвеев - Оpubл. в Б.И., 1973, № 12 .

2. А.с. 390853 (СССР). Штамп для одновременного изготовления двух отводов из листовых заготовок / Е.Н.Мошнин, В.К.Парахин, Г.А.Матвеев - Оpubл. в Б.И., 1973, № 31.

3. А.с. 464361 (СССР). Способ изготовления полых конических изделий без дна / Е.Н.Мошнин, В.К.Парахин, Г.А.Матвеев, Н.С.Воронов - Оpubл. в Б.И., 1975, № 11.

4. А.с. 619252 (СССР). Способ изготовления изделий типа втулок / Г.А.Матвеев, В.Г.Кондратенко, Е.П.Хориков - Оpubл. в Б.И., 1978, № 30 .

5. Матвеев Г.А. Совмещение в одном переходе операций вытяжки и отбортовки. - В кн.: Прогрессивные методы обработки металлов давлением: Тез. докл. Республиканской конф., посвященной 150-летию вхождения Армении в состав России. Ереван, 1979, с. 18-19.

6. А.с. 889205 (СССР). Способ изготовления полых изделий / Г.А.Матвеев, В.Г.Кондратенко, Д.П.Чиркин, В.И.Грищенко - Оpubл. в Б.И., 1981, № 46.