

М302 161

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

КОНСТАНТИНОВ Валерий Федорович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОЙ
ВЫТЯЖКИ С ОБЖИМОМ

05.03.05 - "Технология и машины обработки давлением"

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва

1976 г.

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

КОНСТАНТИНОВ Валерий Федорович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОЙ
ВЫТЯЖКИ С ОБЖИМОМ

05.03.05 - "Технология и машины обработки давлением"

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва

1976 г.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1302161
Константинов В.Ф. Исследо



17302161

ИНСТИТУТ
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИМ. Н.Э.БАУМАНА
М.В.С.

Работа выполнена в МВТУ им. Баумана.

Научный руководитель -

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор, лауре-
ат Государственной премии Е.А. ПОПОВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
М.Н. ГОРЕБУНОВ

кандидат технических наук, доцент
С.С. СЛОВЦЕВ

Ведущее предприятие: Мытищинский машиностроительный
завод

Защита диссертации состоится "14" февраля 1976 г.
на заседании специализированного Совета по металловеде-
нию и горячей обработке металлов К-33/13 Московского ор-
дена Ленина и ордена Трудового Красного знамени высшего
технического училища им. Н.Э. Баумана по адресу: Москва,
107005, 2-я Бауманская, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Баумана.

Автореферат разослан "22" дек 1976 г.

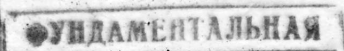
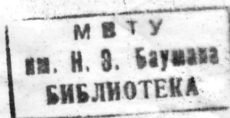
Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук,
доцент

О.А. Беликов.

Объем I п.л. Тип. МВТУ

Зак. 1982 Тип. 100.

Л-74058 от 12/XI-76



Актуальность проблемы. Важнейшей проблемой народного хозяйства является повышение технического уровня и эффективности производства. Задача повышения производительности труда требует новой оценки существующих технологических процессов изготовления деталей с точки зрения интенсификации производственных процессов и повышения точности и качества изделий.

Возможность точно рассчитать параметры операции формоизменения заготовки позволяет сократить затраты времени и средств на освоение и внедрение процесса.

Вытяжка полых цилиндрических, конических и ступенчатых изделий является весьма распространенным процессом в листовой штамповке. Необходимость применения нескольких вытяжных переходов для получения заданных размеров изделия требует большого количества штамповой оснастки, иногда вызывает необходимость проведения межоперационного отжига, затрудняет автоматизацию технологического процесса. Сокращение количества переходов при вытяжке осесимметричных деталей путем интенсификации процесса формоизменения является актуальной задачей.

Цель исследования. Целью диссертационной работы является теоретическое и экспериментальное исследование процесса вытяжки с обжимом, позволяющее оценить степень влияния основных факторов на условия деформирования и на этой основе разработать рекомендации по проектированию процессов штамповки с применением вытяжки с обжимом и отысканию оптимальных условий деформирования.

Методы исследования. Для исследования неустановившегося процесса вытяжки с обжимом цилиндрических заготовок применен метод координатных сеток. Неравномерность механических свойств вдоль образующей заготовки оценивалась испытанием на твердость по Роквеллу. Основные аналитические решения получены методом совместного решения уравнений равновесия и условия пластичности при принятой аппроксимации кривой упрочнения материала заготовки. Экспериментально исследованы характер формоизменения заготовки в очаге пластической деформации, условия и вид потери устойчивости заготовки и влияние технологических факторов на процесс вытяжки с обжимом и на предельную степень деформации.

Научная новизна. Дан анализ неустановившейся стадии деформирования при совмещенной вытяжке с обжимом и получены рекомендации по оптимальному соотношению усилия вытяжки и усилия обжима.

Получено решение задачи о вытяжке с обжимом при принудительном утонении стенки заготовки, из которого следует, что при определенных условиях вытяжки с обжимом можно получать цилиндрические изделия. В результате анализа напряженно-деформированного состояния заготовки за пределами зоны принудительного утонения установлена величина оптимального утонения, обеспечивающая наиболее эффективное использование сил трения на завершающей стадии вытяжки цилиндрических деталей, чем достигается увеличение степени допустимой деформации за один технологический переход вытяжки цилиндрических деталей.

Исследования устойчивости стенки заготовки в процессе вытяжки с обжимом позволили найти связь между критическим напряжением потери устойчивости под действием сжимающего осевого усилия и деформацией, полученной элементами заготовки на предыдущих операциях, а также найти оптимальную форму эластичного прижима для предотвращения образования складок вдоль образующей конического очага пластической деформации, выяснить влияние на процесс складкообразования относительной толщины стенки, вида технологической операции и других факторов.

Практическая ценность. Настоящая работа является составной частью исследований кафедры "Машины и автоматизация обработки давлением" МВТУ им. Баумана в области технологии штамповки и посвящена исследованию одного из путей интенсификации процесса листовой штамповки, обеспечивающего за один переход получение значительно большего сокращения диаметра заготовки, чем за один переход вытяжки.

В результате проведенных исследований разработаны рекомендации по проектированию технологических процессов штамповки с применением вытяжки с обжимом. Способ совмещения вытяжки с обжимом и принудительным утонением для получения цилиндрических изделий признан изобретением и защищен авторским свидетельством. Разработаны конструкция штампа и технология получения детали "конус", сокращающая 4 штамповочных перехода и 16 вспомогательных операций: обезжиривание, отжиг, промывка и покрытие лаком для смазки.

Апробация работы. По основным разделам работы сделано два доклада на научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им. Баумана, доклады на 2-ой республиканской научно-технической конференции "Прогрессивные технологические процессы штамповки", Рига, 1974, на IX и XI научно-технических конференциях Тульского политехнического института в 1973 и 1975 г.г.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 177 страницах машинописного текста, включающих введение, четыре главы, заключение, выводы по каждой главе и общие выводы по работе. Содержит три таблицы, 81 рисунок и список литературы из 97 наименований.

ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

Обзор литературы охватывает работы методического характера, связанные с рассмотрением напряженно-деформированного состояния трубчатой заготовки, и работы, посвященные вопросам интенсификации операций листовой штамповки и потери устойчивости заготовки. Математически строгие решения для операций вытяжки и обжима, как правило, учитывают ограниченное число факторов и приводят к сложным функциональным зависимостям, для решения которых в каждом конкретном случае требуется выполнение численного интегрирования. Метод анализа технологических процессов, основанный на совместном решении приближенных уравнений равновесия и пластичности, приводит к использованию сравнительно простого математического аппарата, в решении отражается функциональное влияние всех факторов, существенно влияющих на процесс деформирования и деформирующее усилие.

Решения, выполненные для операций вытяжки совмещенной с обжимом, описывают установившуюся стадию деформирования. Исследований неустановившейся стадии как последующих переходов вытяжки, так и совмещенных операций вытяжки с обжимом в конечных матрицах до настоящего времени проведено недостаточно.

Вопросам интенсификации операций листовой штамповки уделяется большое внимание /Горбунов М.Н., Попов Е.А., Фролов В.Н. Норицын И.А., Вершинин В.И., и др./ Мероприятия, дающие возможность значительно повысить величину допустимого формоизменения за одну операцию, сводятся к трем направлениям: уменьше-

ние вредных сопротивлений; совмещение нескольких операций в одном штамповом переходе; местное изменение сопротивления материала деформированию. Существенный эффект дает рациональное совмещение операций при незначительном усложнении технологической оснастки и возможности использовать высокопроизводительные листштамповочные прессы.

В работах Попова Е.А. показана возможность получения глубоких конических деталей с углом конусности $\alpha = 10-30^\circ$, относительной толщиной стенки $\frac{s}{D} = 0,02-0,04$ и отношением диаметров $\frac{D}{d} = 0,49-0,50$ за одну операцию из цилиндрической заготовки без появления продольных или поперечных складок и без отрыва дна заготовки вытяжкой совмещенной с обжимом. В литературе нет конкретных рекомендаций по выбору оптимальных соотношений усилий вытяжки и обжима при совмещении операций, не достаточно рассматривается вопрос использования совмещенных операций для получения цилиндрических деталей, не достаточно освещаются вопросы потери устойчивости стенки заготовки.

В соответствии с изложенным были поставлены следующие задачи:

1. Основной задачей настоящего исследования является анализ процесса вытяжки с обжимом с целью отыскания полей напряжений и деформаций в заготовке на разных стадиях формоизменения. Выяснение характера формоизменения заготовки и влияние на него профиля матрицы, степени деформации и соотношения между усилиями вытяжки и обжима. Решение этой задачи должно привести к разработке достаточно точной и удобной для практики методики расчета силовых параметров процесса.

2. Для удовлетворения точности и простоты аналитических формул необходимо обосновать схематизацию процесса, выбор исходных зависимостей и допущений.

3. Необходимо исследовать возможность расширения области использования вытяжки с обжимом по конфигурации получаемых деталей.

4. Следует изучить условия потери устойчивости заготовки в процессе деформирования, образование продольных и поперечных складок, найти пути дополнительного увеличения устойчивости заготовки.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ В КО- НИЧЕСКОМ МАТРИЦЕ

Точное решение задачи по отысканию распределения напряжений в заготовке с учетом особенностей ее деформирования и влияния всех факторов представляет значительные трудности и не может быть получено в замкнутом виде. Поэтому следует уделить особое внимание схематизации очага пластической деформации.

Эксперименты проводились на специальном штампе со сменными пуансонами и матрицами, имеющем гидравлическое буферное устройство для создания регулируемого усилия обжима. В качестве образцов использовались цилиндрические полые заготовки, полученные вытяжкой из плоской заготовки из стали 08кп, стали 20, сплава АМцАМ, имеющие параметры: относительная толщина стенки $\frac{S}{D} = 0,020-0,025$; относительная высота $\frac{H}{D} = 0,40-1,75$; относительный радиус сопряжения дна и стенок $\frac{R_s}{S} = 5,0$, на которые с помощью корундовой иглы наносилась координатная сетка.

Поэтапным деформированием с замерами координатной сетки на инструментальном микроскопе МИР-12 установлен характер изменения формы и размеров очага в конической матрице при вытяжке, обжиме и вытяжке с обжимом цилиндрической заготовки на неустановившейся стадии деформации. На неустановившейся стадии вытяжки с обжимом в очаге пластической деформации образуется участок, имеющий соприкосновение с матрицей и повторяющий форму рабочей полости матрицы, участок очага, деформируемый вне контакта с матрицей, который располагается в зоне вытяжки. Деформация, которую получают элементы заготовки в тангенциальном направлении, изменяются вдоль образующей конического очага деформации от нуля на кромке пуансона до максимума на участке сопряжения дна и стенок исходной заготовки и до нуля на границе с недеформированными цилиндрическими стенками. Упрочнение материала необходимо учитывать отдельно для элементов донной части и цилиндрических стенок исходной заготовки.

Обжим цилиндрического стакана в конической матрице характеризуется изгибом и спрямлением элементов заготовки при их перемещении в очаг деформации из донной части и цилиндрических стенок. Влияние донной части на распределение меридиональных напряжений в очаге деформации можно учитывать поправкой на изгиб и спрямление элементов заготовки в граничных условиях.

При обжиме донышко лишь незначительно выпучивается под действием изгибающего момента на границе с очагом деформации.

ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ С ОБЖИМОМ

При анализе приняты следующие основные допущения. Справедлива безмоментная теория оболочек. Все элементарные силы отнесены к срединной поверхности заготовки. Напряженное состояние принято плоское, напряжения σ_r и σ_θ являются главными нормальными напряжениями, равномерно распределенными по толщине заготовки. Используются уравнения равновесия элемента заготовки, имеющего конечные размеры по толщине, выделенного в коническом очаге деформации:

$$\rho \frac{d\sigma_r}{d\rho} + \sigma_r - \sigma_\theta (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) = 0, \quad (1)$$

где μ — коэффициент трения.

Совмещение двух операций обуславливает наличие в очаге пластической деформации участка, деформируемого по схеме напряженного состояния соответствующей обжиму, и участка, соответствующего операции вытяжки. Условия пластичности по гипотезе максимальных касательных напряжений для участка вытяжки

$$1/r \leq \rho \leq R_{rp} / : \quad \sigma_r - \sigma_\theta = \sigma_s, \quad (2)$$

$$\text{для участка обжима } / R_{rp} \leq \rho \leq R_z / : \quad -\sigma_\theta = \sigma_s, \quad (3)$$

На границе названных участков / при $\rho = R_{rp}$ / меридианальное напряжение $\sigma_r = 0$.

В работе показано, что достаточно простое замкнутое решение для неустановившегося процесса вытяжки с обжимом цилиндрической заготовки в конической матрице может быть получено при линейной аппроксимации кривой упрочнения:

$$\sigma_s = \frac{1 - 2\psi + \psi}{(1 - \psi)^2} \sigma_0. \quad (4)$$

Тангенциальная деформация $\epsilon_\theta = \psi$, которая является максимальной, выражается в функции координат:

$$\epsilon_\theta = 1 - \frac{\rho}{R_z} \quad (5)$$

Начальная координата элемента заготовки ρ_0 находится из условия равенства поверхностей для исходной заготовки и участка очага деформации, не имеющего контакта с матрицей при деформировании, так как изменением толщины заготовки в зоне вытяжки можно пренебречь. А для конического участка очага, соприкасающегося с

матрицей $\rho_i = R_i$.

Из совместного решения уравнения равновесия (1) и условия пластичности (2) находится распределение напряжений и величина наибольшего растягивающего меридионального напряжения:

$$\sigma_{p\max}^{\text{от}} = \frac{\sigma_B}{(1-\psi_u)} \left\{ 2(1-\psi_u) \ln \sqrt{1 + \left(\frac{R_i^2}{r^2} - 1\right) \sin^2 \alpha_i} - \sqrt{\sin^2 \alpha_i} \ln \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{R_i^2}{r^2} - 1\right) \sin^2 \alpha_i} + \frac{R_i}{r} \sqrt{\sin^2 \alpha_i}}{1 + \sqrt{\sin^2 \alpha_i}} + \right. \\ \left. + (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left[2(1-\psi_u) - \frac{r}{R_i} \sqrt{1 + \left(\frac{R_i^2}{r^2} - 1\right) \sin^2 \alpha_i} \right] \ln \frac{R_{rp}}{r \sqrt{1 + \left(\frac{R_i^2}{r^2} - 1\right) \sin^2 \alpha_i}} \right\}. \quad (6)$$

Величина наибольшего сжимающего меридионального напряжения может быть найдена по формуле:

$$\sigma_{p\max}^{\text{об}} = -\frac{\sigma_B}{(1-\psi_u)} \left\{ (1-2\psi_u) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{R_{rp}}{R_i} \right) \left(1 - \frac{R_{rp}}{R_i} \right) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left(1 + \sqrt{\frac{R_i}{R_{rp}}} \right) (3 - 2 \cos \alpha) \right\}. \quad (7)$$

Для практических расчетов в качестве параметра времени более удобно использовать перемещение пуансона h_n , чем переменный угол конусности внеконтактного участка неустановившегося очага деформации α_i . Связь перемещения пуансона с изменением угла конусности установим из условия постоянства поверхности заготовки на участке вытяжки $r \leq \rho \leq R_{rp}$:

$$\frac{h_n}{r} = \frac{\left[\sqrt{1 + \left(\frac{R_i^2}{r^2} - 1\right) \sin^2 \alpha_i} - 1 \right] \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_i}}{\sin \alpha_i} + \left[\frac{R_i}{r} - \sqrt{1 + \left(\frac{R_i^2}{r^2} - 1\right) \sin^2 \alpha_i} \right] \operatorname{ctg} \alpha \quad (8).$$

Нормальное деформирование заготовки при совмещении вытяжки с обжимом возможно, если растягивающее напряжение $\sigma_{p\max}^{\text{от}}$ не превышает предела прочности материала заготовки, а сжимающее напряжение $\sigma_{p\max}^{\text{об}}$ не превышает предела текучести.

При заданных параметрах заготовки, матрицы, пуансона и коэффициенте трения в текущий момент деформирования значения напряжений $\sigma_{p\max}^{\text{от}}$ и $\sigma_{p\max}^{\text{об}}$ взаимосвязаны величиной координаты R_{rp} . Приняв $\sigma_{p\max}^{\text{от}} = \sigma_B$, из (6) получаем функцию координаты границы участков вытяжки и обжима от синуса угла α_i , а с помощью (8) от величины перемещения пуансона. Полученная функция позволит рассчитывать требуемую величину $\sigma_{p\max}^{\text{об}}$, изменяющуюся по ходу процесса и обеспечивающую деформирование заготовки без разрушения.

При незначительном усилии вытяжки на начальной стадии процесс деформирования идет аналогично обжиму стакана, влияние донной части на величину меридионального напряжения в опасном сечении при $\frac{S}{D} < 0,05$ с достаточной точностью можно оценивать введением в граничные условия для очага деформации поправки, учитывающей изгиб и спрямление элементов заготовки, без отыскания распределения напряжений в донной части. Наибольшее сжи-

имеющее меридиональное напряжение при линейной аппроксимации (4) кривой упрочнения для обжима стакана:

$$\sigma_{rmax}^{os} = -\frac{\sigma_0}{(1-\psi_0)^2} \left(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha \right) \left(1 - \frac{r}{R_1} \right) \left[2 \left(1 - \psi_0 \right) - \frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{r}{R_1} \right) + \left(1 - \frac{r}{R_1} \right) \sin \alpha \right] \right] - \frac{\sigma_r}{\sqrt{2}} \frac{r}{R_1} \sqrt{\frac{S}{r}} \cos \alpha. \quad (9)$$

Более полно учитывает механические свойства материала аппроксимация кривой упрочнения вида:

$$\sigma_s = \sigma_0 \left[\frac{\sigma_r}{\sigma_0} + \left(\frac{1}{1-\psi_0} - \frac{\sigma_r}{\sigma_0} \right) \sqrt{\frac{\psi}{\psi_0}} \right]. \quad (10)$$

Наибольшее сжимающее меридиональное напряжение в этом случае определяется выражением:

$$\sigma_{rmax}^{os} = - \left\{ \sigma_r \left(1 - \frac{r}{R_1} \right) + \left(\frac{\sigma_0}{1-\psi_0} - \sigma_r \right) \frac{1}{\sqrt{\psi_0}} \left[\frac{2}{3} \left(1 - \sqrt{\left(\frac{r}{R_1} \right)^2 (1 - \sin \alpha)} + \sin \alpha \right) \sqrt{1 - \sqrt{\left(\frac{r}{R_1} \right)^2 (1 - \sin \alpha)} + \sin \alpha} + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\sqrt{\left(\frac{r}{R_1} \right)^2 (1 - \sin \alpha)} + \sin \alpha - \frac{r}{R_1} \right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r}{R_1} \right) \sin \alpha \right] \right\} \left(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha \right) - \frac{\sigma_r}{\sqrt{2}} \frac{r}{R_1} \sqrt{\frac{S}{r}} \cos \alpha. \quad (11)$$

Для материалов, имеющих $\frac{\sigma_r}{\sigma_0} \geq 0,7$ формулы (10) и (11) дают значения σ_{rmax}^{os} , отличающиеся не более чем на 10%. При обжиме заготовок с меньшим значением отношения $\frac{\sigma_r}{\sigma_0}$ для расчета напряжений предпочтительнее формула (11), которая учитывает наличие предела текучести у материала.

В работе анализируется напряженно-деформированное состояние элементов протянутой сквозь очко матрицы части заготовки, когда зазор между матрицей и пуансоном меньше толщины стенки заготовки. Показано, что контактное напряжение между заготовкой и боковой поверхностью пуансона, которое возникает как следствие сжатия заготовки в тангенциальном направлении в результате разгрузки ее элементов на выходе из зоны утонения и сжатия под действием осевого растягивающего усилия от действия пуансона на доннышко при протягивании заготовки через матрицу, может быть выражено следующей аналитической функцией:

$$\sigma_k = \frac{S}{d} \left[\frac{d}{d_1} + 2\mu \left(1 - \frac{d}{d_1} \right) \right] \sigma_r^* \quad (12)$$

где S - толщина утоненной стенки, d_1 и d - диаметр заготовки до деформирования и после, μ - коэффициент Пуассона, σ_r^* - меридиональное напряжение, действующее в текущий момент деформирования в сечении заготовки на выходе из очка матрицы.

Исследована на экстремум функция (12). При значениях коэффициента формоизменения $\frac{d_1}{d} = 1,3-2,0$, $\mu = 0,28$ и для оптимальных углов кочусности матрицы $\alpha = 18-25^\circ$ наибольшее контактное

напряжение возникает при утонении стенки заготовки $\frac{z}{S_0} = 0,7-0,9$. В указанном диапазоне утонения стенки обеспечивается наибольшее значение активной силы трения $\tau = \mu \sigma_n$ между заготовкой и пуансоном, способствующей протягиванию заготовки через матрицу.

В результате неравномерной деформации элементов заготовки механические свойства упрочняющейся при деформировании протянутой через матрицу заготовки переменны вдоль образующей. Напряжение текучести оценивается в этой части заготовки функцией, которая получена при использовании степенной аппроксимации кривой упрочнения:

$$\sigma_z = \sigma_0 \left\{ \frac{\sigma_z}{\sigma_0} + \left(\frac{1}{1-\psi_n} - \frac{\sigma_z}{\sigma_0} \right) \left[1 - \frac{1}{\frac{2z}{d} + \frac{z}{S_0}} \right] \frac{1}{\psi_n} \right\}^{\frac{\psi_n}{1-\psi_n} \frac{1}{\sigma_0(1-\psi_n)}}, \quad (13)$$

где z — расстояние элемента заготовки от доньшка вытянутой заготовки. По мере удаления от очага пластической деформации растягивающее напряжение в стенках протянутой части заготовки уменьшается вследствие действия касательного напряжения $\tau = \mu \sigma_n$:

$$\sigma_z = \left\{ 1 - \frac{H-z}{d} \left[\frac{d}{d_1} + \left(1 - \frac{d}{d_1} \right) 2\mu_p \right] \mu_n \right\} \sigma_p^*, \quad (14)$$

где H — длина протянутой части заготовки, μ_n — коэффициент трения.

Использование принудительного утонения приводит к изменению положения опасного сечения, причем это связано с изменением величины напряжения, которое может быть передано через это сечение без разрушения. Усилие обжима обеспечивает деформирование заготовки без разрушения в начальной стадии, когда при малой длине протянутой части заготовки эффективность силы трения между заготовкой и пуансоном невелика. На заключительной стадии вытяжки цилиндрических деталей силы трения обеспечивают деформирование с большей степенью деформации, чем для обычной вытяжки.

Заготовкой для последующих переходов вытяжки служит цилиндрический стержень, получаемый вытяжкой из плоской заготовки. При учете упрочнения материала, решая задачу по отысканию напряжений в очаге деформации, можно учитывать деформацию каждого элемента в процессе предварительной вытяжки и в текущий момент деформирования, используя свойства аддитивности логарифмических деформаций. Растягивающее меридиональное напряжение в опасном сечении заготовки с переменными исходными механическими свойствами в процессе вытяжки с обжимом в зависимости от перемещений пуансона определяется:

$$\sigma_{\text{протяг}} = \frac{\sigma_0}{1-\psi_0} (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) (1 + \mu \alpha) \left\{ \left[1 - \frac{1 - \left[2 \left(\frac{h_0}{r} - \left(\frac{R_0}{r} - 1 \right) \operatorname{ctg} \alpha \right) - \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 + 1 \right] \sin \alpha}{\left[2 \left(\frac{h_0}{r} - \left(\frac{R_0}{r} - 1 \right) \operatorname{ctg} \alpha \right) + \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 + 1 \right] \sin \alpha - 1} + \ln \left(1 - \frac{R_0}{r} \right) \right] \ln \frac{R_{\text{пр}}}{r} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left[1 + \frac{1 - \left[2 \left(\frac{h_0}{r} - \left(\frac{R_0}{r} - 1 \right) \operatorname{ctg} \alpha \right) - \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 + 1 \right] \sin \alpha}{\left[2 \left(\frac{h_0}{r} - \left(\frac{R_0}{r} - 1 \right) \operatorname{ctg} \alpha \right) + \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 + 1 \right] \sin \alpha - 1} \right] \ln \frac{\left(\frac{R_{\text{пр}}}{r} \right)^2 + \left[2 \left(\frac{h_0}{r} - \left(\frac{R_0}{r} - 1 \right) \operatorname{ctg} \alpha \right) + \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 + 1 \right] \sin \alpha - 1}{\left[2 \left(\frac{h_0}{r} - \left(\frac{R_0}{r} - 1 \right) \operatorname{ctg} \alpha \right) + \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 + 1 \right] \sin \alpha} \right\}. \quad (15)$$

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫТЯЖКИ С ОБЖИМОМ.

Исследования выполнялись на универсальной испытательной машине УИМ-50 со скоростью движения траверсы 5-20 мм/мин, а также в заводских условиях на гидравлическом прессе усилием 1000 т. Экспериментальный штамп, снабженный комплектом сменных матриц с углом конусности $\alpha = 10-15-20-25-30-35-45^\circ$ и с различными диаметрами цилиндрического очка $d_n = 22-25-32$ мм и пуансонов, был оснащен гидросистемой, обеспечивающей регулирование усилия обжима.

Усилие вытяжки регистрировалось тензометрической месседжой, на которую опирался пуансон. Усилие обжима записывалось по давлению в гидросистеме с помощью датчика давления. Перемещение матрицы и заталкивающего кольца регистрировалось двумя реостатными ходографами включенными по схеме потенциометра. Сигналы датчиков через тензоусилитель 8АНЧ и сигналы от ходографов записывались на светочувствительную бумагу магнитоэлектрическим осциллографом Н-700.

Особенности процесса изучались на цилиндрических образцах, полученных вытяжкой из плоской заготовки за один или несколько переходов и прошедших отжиг после предварительной вытяжки с целью выравнивания механических свойств вдоль образующей. Использовались также и образцы не прошедшие отжиг. Материалом для заготовок служили сталь 08кп, сталь 20, дуженая белая кость, медь М1 и сплав АМЦАМ толщиной 1-0,5-0,25 мм.

Общее усилие деформирования при вытяжке совмещенной с обжимом меньше усилия обжима, но превышает усилие вытяжки подобной заготовки в конической матрице. Характер изменения усилия деформирования существенно зависит от изменения усилия обжима по ходу процесса на неустановившейся стадии деформирования. Расчетные значения усилия вытяжки, найденные в соответствии с формулой (6), соответствуют изменению усилия вытяжки, полученного опытным путем, причем расхождение не превышает 10-12% в начале процесса деформирования и 5-8% в конце неустановившейся стадии. Для углов конусности $\alpha = 15-25^\circ$ полученные зависимости могут

быть использованы и для расчета изменения усилия обычной вытяжки конических деталей из цилиндрической заготовки, когда не столь существенно влияние на меридиональное напряжение изгиба и спрямления, не учтенного при выводе формулы (6).

Получены конические детали с помощью вытяжки совмещенной с обжимом из отожженной заготовки при постоянном усилии обжима с размерами $\frac{D}{d} = 2,13$; $\frac{S}{D} = 0,02$; из неотожженной заготовки с увеличивающимися по ходу усилии обжима с размерами $\frac{D}{d} = 2,44$;

$\frac{S}{D} = 0,02$. при сравнении экспериментально найденного усилия обжима цилиндрического стакана в конической матрице лучшую сходимость дает усилие рассчитанное по формуле (II) при больших степенях обжима, а по формуле (IO) - при малых степенях. Некоторое систематическое отклонение расчетных графиков усилия от действительного значения изменения усилия обжима не превышает 10-15% и объясняется более сложными процессами формоизменения стакана, чем принято при схематизации очага деформации. Применение вытяжки с обжимом и принудительным утонением позволило получить цилиндрическую деталь с параметрами: $\frac{S}{D} = 0,85$; $\frac{d_1}{d} = 1,6$ при длине протянутой части заготовки к моменту прекращения обжима $\frac{H}{d} = 0,96$. Механические свойства, оцененные замерами твердости по Роквеллу, хорошо согласуются с расчетной зависимостью (13) изменения напряжения текучести вдоль образующей заготовки. Влияние неравномерности механических свойств заготовки на устойчивость при сжатии изучалось осадкой колец, полученных при разрезке цилиндрической заготовки, вытянутой за два перехода из плоской заготовки. Материал: сталь 08кп, медь М1, сплав АМц. Кольцевые образцы теряют устойчивость с образованием резко выраженной складки по периметру. Критическое напряжение потери устойчивости цилиндрической заготовки, полученной вытяжкой, под действием сжимающего усилия соответствует истинному напряжению текучести материала в данном сечении.

Возможность получения изделий с относительной толщиной стенки $\frac{S}{D} \leq 0,01-0,02$ ограничена образованием складок вдоль образующей конического очага деформации. Условия возникновения продольных складок определяется относительной толщиной, схемой деформирования, коэффициентом формоизменения $\frac{D}{d}$ и наличием прижима заготовки к матрице. Регулируя соотношение усилия обжима и вытяжки удается избежать образования складок при $\frac{S}{D} > 0,010-0,008$. Экспериментально найдена оптимальная форма эластичного вкладыша, обеспечивающего равномерный прижим заготовки в кони-

ческой полости матрицы. Вытяжкой с обжимом с применением прижима были получены конические детали малоуглеродистой стали и сплава АМц с параметрами $\frac{S}{D} = 0,0055$; $\frac{D}{d} = 1,75-2,15$; $\alpha = 20-30^\circ$.

Изменением соотношения между усилиями вытяжки и обжима удается в некоторых пределах регулировать изменение толщины стенки в процессе деформирования. Наибольшее значение деформации по толщине при замене операции вытяжки обжимом в конической матрице увеличивается в два раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Совмещение в одном переходе операций вытяжки и обжима может быть использовано для интенсификации формоизменения и для получения заданной толщины стенки изделия.

Интенсификация формоизменения достигается одновременным приложением усилия деформирования к донной части и к стенке заготовки. Общий коэффициент формоизменения при вытяжке с обжимом равен произведению коэффициентов вытяжки и обжима. Наиболее эффективно использование совмещенных операций для изготовления конических деталей с углом конусности $\alpha = 10-35^\circ$ и деталей с криволинейной образующей, имеющих скругленную или плоскую вершину, $\frac{d}{D} = 7,3-0,5$ и $\frac{S}{D} = 0,010-0,020$.

Коэффициент вытяжки для цилиндрических деталей определяется возможностью деформировать без разрушения конический участок заготовки, который остался в полости матрицы, когда заталкивающее кольцо упирается в матрицу, и дальнейшее деформирование происходит только усилием пуансона. Этот коэффициент зависит от длины протянутого через матрицу к этому моменту участка заготовки, величины неравномерности механических свойств материала, степени утонения и коэффициента трения между заготовкой и пуансоном.

При конструировании штампов для вытяжки с обжимом необходимо учитывать изменение длины заготовки при деформировании, поэтому требуется, чтобы две из трех рабочих частей штампа, оказывающих силовое воздействие на заготовку, имели возможность перемещаться относительно третьего неподвижного элемента.

Общие выводы

1. Разрушение или потеря устойчивости стенки заготовки при вытяжке с обжимом в конической матрице могут произойти на неуставившейся стадии деформирования, раньше, чем окончание де-

формации достигнет наибольших размеров, если произвольно выбран характер изменения соотношения между усилиями вытяжки и обжима. Значения меридиональных напряжений, определяющих указанное соотношение, в опасных сечениях заготовки могут быть установлены с помощью аналитических зависимостей, приведенных в работе.

2. Оптимальными усилиями вытяжки с обжимом на неустановившейся стадии, когда монотонно возрастающее усилие обжима обеспечивает постоянное по величине и не превышающее предел прочности материала значение меридионального напряжения в сечении заготовки возле кромки пуансона.

3. Максимального значения меридиональные напряжения на участках вытяжки и обжима очага пластической деформации достигают на неустановившейся стадии при наибольших размерах очага.

4. При вытяжке с обжимом и принудительным утонением тангенциальное напряжение, действующее на элементы заготовки в зазоре между пуансоном и матрицей, растягивающее, поэтому при выходе из очага матрицы, вследствие разгрузки, заготовка сжимается в окружном направлении и охватывает пуансон. Силы трения, действующие между заготовкой и осевой поверхностью пуансона, снижают растягивающее напряжение вдоль образующей стенки протянутой части заготовки и смещают опасное сечение от наименее упрочненного сечения у кромки пуансона к краю заготовки, что позволяет без разрушения заготовки увеличивать напряжение, передаваемое через это сечение, и повышать коэффициент вытяжки для цилиндрических изделий.

5. Для получения цилиндрических деталей вытяжкой с обжимом необходимо применять зазор в калибрующем пояске между пуансоном и матрицей $(0,7-0,9) S_0$, тогда усилие обжима в начале процесса; а активные силы трения на заключительной стадии обеспечивают увеличение коэффициента вытяжки на 25-60% по сравнению с обычной вытяжкой.

6. Установленная опытным путем величина критического напряжения потери устойчивости под действием сжимающего осевого усилия изменяется вдоль образующей цилиндрической заготовки, поэтому усилие обжима может монотонно увеличиваться в соответствии с тем упрочнением, которое получено на предыдущей операции вытяжки элемент заготовки, находящийся в зоне действия максимального сжимающего меридионального напряжения.

7. Применение эластичного прижима, форма которого найдена экспериментально, повышает устойчивость заготовки от продольных складок и при вытяжке с обжимом сокращает 4-5 технологических переходов для изделий конической формы с параметрами: $\frac{s}{D} = 0,0055$; $\alpha = 20-30^\circ$; $\frac{d}{D} = 0,45-0,40$.

8. Удовлетворительная сходимость теоретических и экспериментальных результатов свидетельствует о приемлемости принятых допущений и достаточной точности полученных расчетных формул.

Основное содержание диссертации опубликовано в
следующих работах:

1. Попов Е.А., Константинов В.Ф. Сжатая вытяжка с обжимом. Тезисы докладов 2-ой республиканской научно-технической конференции. Рига, 1974.

2. Константинов В.Ф. Вытяжка с обжимом цилиндрических изделий. "Изв. ВУЗ. Машиностроение", 1975, № II.

3. Константинов В.Ф. Вытяжка с обжимом тонкостенных конических деталей. Тезисы докладов XI научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава. Тула, 1975.

4. Константинов В.Ф. Устойчивость цилиндрической заготовки, полученной вытяжкой. Новое в обработке металлов давлением. Научные труды ВЗМИ № 46, 1976.

5. Константинов В.Ф., Попов Е.А. Способ изготовления цилиндрических изделий. Авторское свидетельство № 517360. Бюллетень № 22 1976.

6. Константинов В.Ф., Назарян Э.А. Неуставившийся процесс деформирования цилиндрической заготовки при вытяжке, сжатой с обжимом. В сб. "Машины и технология обработки металлов давлением". Выпуск П. Труды МВТУ № 229, 1976.