

М 410964
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

На правах рукописи

Яковлев Сергей Сергеевич

УДК 621.983.3.01

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ
ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО
МАТЕРИАЛА

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки
давлением

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

Москва - 1983

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Головлёв В.Д.

кандидат технических наук, с.н.с.
Чудин В.Н.

Ведущее предприятие – завод "Штамп" имени Б.Л.Ванникова

Защита состоится " " 1983 г. в час.
на заседании специализированного Совета К 053.15.13 в Москов-
ском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5. Ваш отзыв в 1-ом
экземпляре, заверенный печатью, просим высылать по указанному
адресу.

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

Автореферат разослан

Учёный секретарь сп
д.

Л-100157 от 24.II.

Типо

М 410964

Актуальность проблемы. XXVI съезд КПСС и последующие Пленумы ЦК КПСС в качестве одной из главных задач II-ой пятилетки определили интенсификацию производства, повышение эффективности и качества получаемых изделий, создание и широкое применение в промышленности безотходных и энергосберегающих технологий.

В различных отраслях промышленности широкое распространение нашли цилиндрические изделия, получаемые глубокой вытяжкой.

Интенсификация процесса глубокой вытяжки может быть достигнута комбинированной вытяжкой, которая характеризуется одновременным изменением диаметра вытягиваемой заготовки и толщины стенки.

Этот метод позволяет получать изделия с повышенными точностными характеристиками, более упрочненной стенкой, достигать больших степеней деформаций по сравнению с методами вытяжки и вытяжки с утонением, что приводит к значительному сокращению числа операций технологического процесса.

Листовой металл, используемый для глубокой вытяжки, обладает анизотропией механических свойств. Анизотропия оказывает существенное влияние на технологические параметры процесса вытяжки и качество получаемых изделий.

В настоящее время в технической литературе отсутствуют сведения о влиянии свойств анизотропии на процесс комбинированной вытяжки и рекомендации об учете этих свойств при назначении технологических параметров процесса. Отсутствует информация о влиянии технологических параметров процесса на качество изделий, получаемых методом комбинированной вытяжки.

Широкое использование комбинированной вытяжки в промышленности сдерживается недостаточной изученностью этого процесса. Для более эффективного использования комбинированной вытяжки необходимо иметь информацию о влиянии механических свойств исходной заготовки, геометрии инструмента, условий контактного трения на границах заготовки и инструмента, технологических параметров процесса на силовые и энергетические характеристики процесса, предельные степени деформации и качество получаемых изделий.

Цель работы. Изучить напряженное состояние заготовки, силовые параметры, предельные степени деформации и характеристики качес-



ва изделий, получаемых комбинированной вытяжкой, в зависимости от анизотропии механических свойств исходного материала и технологических параметров процесса.

Разработать рекомендации по расчету и проектированию технологических процессов комбинированной вытяжки.

Научная новизна. Впервые инженерным методом на основе полученных приближенных соотношений выполнен анализ процесса комбинированной вытяжки анизотропного материала на первой и последующих операциях. Определены зависимости усилий, осевых напряжений в стенке изделия, предельных степеней деформации и показателей качества от анизотропии механических свойств исходного материала и технологических параметров процесса.

Практическая ценность и реализация результатов. Разработаны рекомендации по проектированию технологических процессов и расчета инструмента для комбинированной вытяжки цилиндрических изделий с учетом анизотропии механических свойств исходного материала. Даны приближенные зависимости для определения силовых параметров, предельных степеней деформации и показателей качества.

Рекомендации работы использованы при совершенствовании технологических процессов изготовления нескольких изделий в ряде отраслей промышленности. Экономический эффект от внедрения разработок в промышленность составляет около 140 тыс. рублей в год. Этот эффект получен за счет уменьшения трудоемкости и энергоемкости изготовления изделия, уменьшения брака, повышения производительности.

Материалы работы также использовались в учебном процессе при разработке конспекта лекций по курсу "Холодная штамповка" и создании методического руководства для курсового и дипломного проектирования специальности 0503 "Методика расчета параметров технологии и штампов для комбинированной вытяжки цилиндрических изделий".

Апробация работ. По основным разделам работы сделаны доклады на научных семинарах кафедры "Машины и автоматизация обработки давлением" МВТУ им. Н.Э.Баумана и на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Тульского политехнического института и Тульского областного правления НТО Машпром 1981-1983 гг.

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 12 научных статей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Она изложена на 99 страницах машинописного текста, содержит 99 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 165 наименований, 9 страниц приложений. Общий объем работы 220 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, ее цель, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние вопроса по исследованию и технологии вытяжки, вытяжки с утонением, комбинированной вытяжки, а также влияние анизотропии механических свойств исходного материала на технологические параметры процессов глубокой вытяжки.

Большой вклад в развитие теории вытяжки, вытяжки с утонением и их применения в промышленности внесли С.И.Губкин, Г.Закс, Р.Хилл, И.А.Норицын, Е.А.Попов, Л.А.Шофман, А.Г.Овчинников, И.П.Ренне, В.Д.Головлев и другие. Вопросы теории и технологии комбинированной вытяжки рассмотрены в работах Г.Закса, В.Селлина, Ш.Гелеи, А.М.Малова, У.Баудера, И.П.Обозова, С.А.Валиева и других.

Однако, в них при исследовании силовых и деформационных параметров комбинированной вытяжки не учитывались анизотропия механических свойств исходного материала, влияния изменения толщины заготовки на размеры очага деформации в зоне утонения, принималось во внимание упрочнение усредненно по всему очагу деформации, предельные степени деформации определялись, как правило, на последней стадии процесса. Кроме того, в настоящее время отсутствует информация о влиянии технологических параметров процесса на качество изделий, получаемых методом комбинированной вытяжки.

Поэтому в работе поставлены следующие основные задачи:

I. Получить приближенные уравнения и соотношения для определения напряжений при пластическом деформировании анизотропного материала в условиях плоского напряженного и плоского деформированного состояниях.

2. Выполнить теоретические исследования первой и последующих операций комбинированной вытяжки анизотропного материала с учетом факторов, не рассмотренных в предыдущих исследованиях. Установить влияние анизотропии, геометрии инструмента, условий трения, упрочнения, технологических параметров на силовые режимы и предельные степени деформации комбинированной вытяжки.

3. Провести экспериментальные исследования с целью проверки и уточнения полученных теоретических решений. Определить параметры анизотропии и упрочнения ряда материалов, необходимые для оценки их способности к комбинированной вытяжке.

4. Определить влияние технологических параметров процесса на качество изделий, получаемых комбинированной вытяжкой.

5. На основе результатов исследований разработать рекомендации по проектированию технологических операций комбинированной вытяжки. Проверить их в условиях производства.

Вторая глава посвящена теоретическому анализу силовых параметров и предельных степеней деформации комбинированной вытяжки анизотропного материала в конических и радиальных матрицах.

Процесс комбинированной вытяжки как на конической так и на радиальных матрицах характеризуется четырьмя стадиями и наличием двух зон: плоского напряженного I и плоского деформированного II состояний заготовки. На первой стадии осуществляется обычная вытяжка (без утонения) и реализуется плоское напряженное состояние в заготовке. На второй стадии происходит формирование зон утонения (зоны плоского деформированного состояния). На третьей стадии имеет место процесс комбинированной вытяжки с наличием двух зон. На четвертой стадии исчезает зона I и происходит утонение краевой части заготовки. Наибольший интерес представляет третья и четвертая стадии процесса, когда, собственно, и реализуется комбинированная схема деформации.

При теоретических исследованиях материал принимался идеальным, жестко-пластическим, неупрочняющимся, анизотропным, для которого справедливы условие пластичности Мизеса-Хилла и ассоциированный закон течения.

Для зон плоского напряженного и плоского деформированного состояний получены приближенные условия пластичности в линейном виде:

$$\sigma_p - \sigma_\theta = \gamma_1 \sigma_{sI}, \quad \gamma_1 = \frac{2}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{r+1}{1,31+2r}}; \quad (I)$$

$$\sigma_p - \sigma_k = 2T \delta_{II}, \quad \delta_{II} = \sqrt{\frac{1-C}{1-C \sin^2 \alpha}}, \quad (2)$$

где σ_p , σ_θ и σ_k — соответственно, меридиональные, тангенциальные и контактные напряжения;

γ — средний коэффициент анизотропии;

σ_{sI} — среднее значение сопротивления деформации в зоне I; T — предел текучести при сдвиге в условиях плоской деформации; α — угол конусности матрицы; C — характеристика анизотропии в условиях плоской деформации.

Анализ напряженного состояния на характерных участках, указанных выше зон, при комбинированной вытяжке в радиальных и конических матрицах реализован путем совместного решения приближенных уравнений равновесия и условий пластичности.

На границах сопряжения участков принимается равенство нормальных напряжений и добавляется приращение его на изгиб, спрямление, изменение направления течения материала от зоны к зоне.

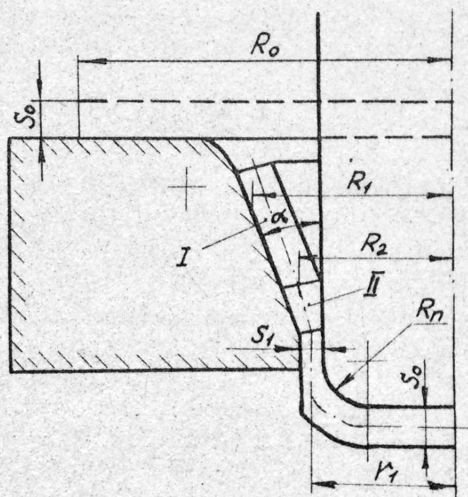


Рис. I. Схема процесса комбинированной вытяжки.

Получены формулы для определения усилий P и осевых напряжений в стенке изделия σ_z в зависимости от перемещения пуансона.

Приведем выражения для вычисления их в частном случае, показанном на рис. I:

$$P = \pi d_s \sigma_z + \mu_n \pi d_n / \sigma_k / \frac{S - S_1}{\sin \alpha}; \quad (3)$$

$$\sigma_z = 2 T \delta_{II} \left\{ \frac{1+M}{M} \left[1 - \left(\frac{S_1}{S} \right)^M \right] + \frac{\sigma_{pH}}{2 T \delta_{II}} \left(\frac{S_1}{S} \right)^M + 0,5 \cdot \right. \\ \left. \times (1 + \sqrt{1 - C \sin^2 \alpha}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right\}, \quad (4)$$

где

$$\sigma_{pH} = \delta_I \sigma_{SI} \left[\left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\mu_m} \right) \left[1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{\frac{\mu_n}{\operatorname{tg} \alpha}} \right] \right]; M = - \frac{\mu_n - \mu_m}{\operatorname{tg} \alpha};$$

μ_n и μ_m — коэффициенты трения на контактных поверхностях пуансона и матрицы; d_n — диаметр пуансона; S — текущая толщина материала при входе в зону II.

Величина контактного напряжения σ_k находится из условия пластичности (2).

На четвертой стадии процесса комбинированной вытяжки (начало утонения краевой части заготовки) осевое напряжение находится по выражению:

$$\sigma_z = 2 T \delta_{II} \left\{ \frac{1+M}{M} \left[1 - \left(\frac{S_1}{S} \right)^M \right] + 0,5 \sqrt{1 - C \sin^2 \alpha} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right\}. \quad (5)$$

В расчетах приближенно учитывалось изменение толщины стенки заготовки при входе в зону утонения II по формуле:

$$S = S_0 \left(\frac{r_1}{R_{1,0}} \right)^f, \quad f = \frac{\sigma_p + \sigma_s}{\sigma_p r - \sigma_s (1+r)}, \quad (6)$$

а также упрочнение с использованием функции вида

$$\sigma_s = A (\psi)^n, \quad (7)$$

где $R_{1,0}$ — начальное положение точки, которая в данный момент находится на границе зон I и II; A и n — характеристики кривой упрочнения материала; ψ — текущее среднее значение изменения площади поперечного сечения заготовки в очаге деформации.

На рис. 2 штриховыми линиями показаны теоретические графики "усилие - путь" при комбинированной вытяжке в конических матрицах стали 08 КП при различных сочетаниях технологических параметров процесса.

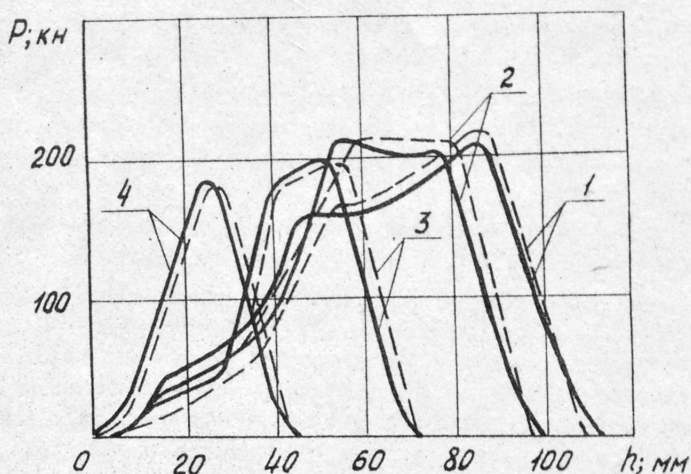


Рис. 2. Графики зависимости "усилие - путь" при комбинированной вытяжке стали 08 КП на конической матрице:

- | | | |
|----------------------|--------------------|-----------------------|
| 1 - $m_{d1} = 0,5$, | $m_{s1} = 0,825$, | $\alpha = 10^\circ$; |
| 2 - $m_{d1} = 0,5$, | $m_{s1} = 0,825$, | $\alpha = 20^\circ$; |
| 3 - $m_{d1} = 0,6$, | $m_{s1} = 0,614$, | $\alpha = 20^\circ$; |
| 4 - $m_{d1} = 0,7$, | $m_{s1} = 0,500$, | $\alpha = 20^\circ$. |

Отмечается, что при комбинированной вытяжке максимальная величина усилия может быть как в начале третьей, так и в начале четвертой стадий процесса.

Предельный коэффициент утонения при комбинированной вытяжке определяется из неравенства:

$$\sigma_x \leq 2 T_b \sqrt{1-C}, \quad (8)$$

где T_b - предел текучести на сдвиг в выходном сечении заготовки.

Неравенство (8) не разрешается в явном виде относительно коэффициента утонения m_{s1} , поэтому зависимости предельного коэффициента утонения от механических свойств материала, геометрии инструмента, условий трения на инструменте и коэффициента вытяжки устанавливались путем численных расчетов по этому неравенству с применением ЭВМ.

Приводятся графические зависимости изменения предельного коэффициента утонения от анизотропии механических свойств исходного материала и технологических параметров процесса в широком диапазоне их изменения.

Показано существенное влияние характеристик анизотропии исходного материала на предельный коэффициент утонения.

Аналогичные исследования силовых и деформационных параметров выполнены на последующих операциях комбинированной вытяжки. В результате исследований установлено, что максимальные величины осевого напряжения σ_z и усилия P , в основном, имеют место в момент совпадения центра скругления пуансона с верхней кромкой рабочего пояса матрицы (преодоление "донного барьера") в отличие от первой операции комбинированной вытяжки.

В третьей главе приводятся результаты экспериментальных исследований первой и второй операций комбинированной вытяжки анизотропного материала в конических и радиальных матрицах.

Исследования проведены с целью проверки полученных теоретических соотношений.

Эксперименты выполнены на кривошипном прессе двойного действия модели К 471Б усилием 1000 кН. Комбинированная вытяжка осуществлялась без прижима в специальном штампе на радиальных и конических матрицах.

Постоянными для всех опытов были следующие параметры: радиус закругления кромки пуансона $R_n = 10$ мм; диаметр матрицы $d_m = 50$ мм; высота рабочего пояса матрицы $h_p = 3$ мм.

В процессе эксперимента изменялся угол конусности матрицы α или радиус закругления матрицы R_m , коэффициент вытяжки m_{d1} , коэффициент утонения m_{s1} .

Коэффициент вытяжки варьировался в пределах 0,5÷0,7 за счет увеличения начального диаметра заготовки, а коэффициент утонения – в диапазоне 0,25÷1 путем изменения диаметра пуансона.

Радиус закругления матрицы изменялся в пределах 16÷32 мм, а угол конусности – в диапазоне 10÷30°.

Исследования проводились на стали 08 К1 и латуни Л63 в состояниях поставки. Величины коэффициентов анизотропии и параметры кривых упрочнения этих материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики механических свойств исследуемых материалов

Материал	Коэффициент анизотропии	Характеристика анизотропии	Константы кривой упрочнения вида: $\sigma_s = A(\psi)^n$	
	r	„C”	A, МПа	n
Сталь 08 К1	0,884	0,09	561,1	0,134
Латунь Л63	0,766	-0,11	618,5	0,18

Усилие процесса комбинированной вытяжки фиксировалось с помощью шлейфового осциллографа Н117.

Для каждой группы фиксированных параметров проводилось по три опыта. За основу брались среднеарифметические данные усилия.

На рис. 2 сплошной линией показаны экспериментальные кривые "усилие – путь" комбинированной вытяжки стали 08 К1.

Предельный коэффициент утонения определялся путем последовательного увеличения диаметра пуансона до разрушения изделия. Наличие обрыва наблюдалось визуально и подтверждалось особенностью осциллограммы.

За предельную величину коэффициента утонения принималась его наименьшая величина, при которой устойчиво проходил процесс вытяжки без разрушения.

С целью реализации различных технологических параметров второй операции исходные колпачки для вытяжки изготавливались из латуни Л63 Ø 105,4 мм комбинированной вытяжкой в матрицах с углом конусности 15° и диаметрами 62 мм, 67 мм, 72 мм с последующим отжи-

гом. Механические свойства отожженного материала были следующие: $A=1019 \text{ МПа}$, $\mu = 0,667$, $\gamma = 0,92$, $C = -0,11$.

При исследованиях второй операции комбинированной вытяжки технологические параметры процесса изменялись в пределах: коэффициент вытяжки $md_2 = 0,7 \div 0,8$; суммарный коэффициент утонения на предыдущих операциях $ms_1 = 0,7 \div 1$; угол конусности матрицы $\alpha = 10 \div 20^\circ$. Силовые режимы и предельные степени деформации определялись аналогичным образом, как и на первой операции. Обнаружено хорошее согласование теоретических и экспериментальных данных.

Четвертая глава посвящена экспериментальному изучению показателей качества получаемых изделий на первой операции комбинированной вытяжки латуни, стали, алюминиевого сплава от технологических параметров процесса и геометрии инструмента.

Исследовались относительные поперечная $\Delta \bar{S}_n$ и продольная $\Delta \bar{S}_{np}$ разнотолщинности:

$$\Delta \bar{S}_n = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_n} 100\% \text{ и } \Delta \bar{S}_{np} = \frac{S'_{\max} - S'_{\min}}{S_n} 100\%, \quad (9)$$

где $S_{\max}$ и $S_{\min}$, $S'_{\max}$ и $S'_{\min}$ - максимальная и минимальная толщин стенки изделия в поперечном и продольном сечениях соответственно; $S_n = S_1$.

Кроме того, оценивались относительные конусообразность и овальность по СТ 380-71 СЭВ.

В качестве основных факторов выбраны коэффициент вытяжки md_1 и коэффициент утонения ms_1 , угол конусности матрицы α или относительный радиус закругления матрицы $\bar{R}_m = R_m/S_0$. Эти факторы изменялись в следующих пределах: $md_1 = 0,6 \div 0,8$; $ms_1 = 0,6 \div 0,8$ и $\alpha = 10 \div 30^\circ$ или $\bar{R}_m = 4 \div 8$.

Математическая модель формирования показателей качества в зависимости от технологических параметров и геометрии инструмента построена с использованием методов математической статистики и теории планирования эксперимента и реализована с помощью плана Хартли.

Эксперименты проводились на кривошипном прессе двойного действия модели К 47ИБ в специальном штампе на радиальных и конических матрицах без прижима.

Комбинированной вытяжке подвергались заготовки из стали 08 КП, латуни Л63 и сплава АМг2М.

В качестве смазок применялись фосфатирование с последующим омыливанием для стали 08 КП и омыливание для латуни Л63 и сплава АМг2М.

Для замеров толщин и диаметров изделий использовались специальные приборы с индикаторами. Цена деления индикатора составляла 0,01 мм.

Определение толщины и диаметров в верхней части заготовки производилось на расстоянии 3 мм от края.

Для каждой группы фиксированных параметров проводилось по пять опытов. Уровень значимости принимался 0,05. Обработка экспериментальных данных выполнена на ЭВМ по программе, составленной на языке **FORTRAN-IV** в ОС ЕС.

Приведем выражения для определения ожидаемой относительной поперечной $\Delta \bar{S}_n$ и относительной продольной разнотолщинности $\Delta \bar{S}_{пр}$ изделий из латуни Л63 при вытяжке в конических матрицах:

$$\Delta \bar{S}_n = 2,531 - 0,982 X_1 - 0,677 X_3 - 1,871 X_1 X_2 - 1,569 X_1 X_3 + 2,54 X_2 X_3 + 0,899 X_1^2 + 1,226 X_2^2 + 1,085 X_3^2 \quad (10)$$

и

$$\Delta \bar{S}_{пр} = 2,858 - 1,161 X_1 - 0,863 X_2 - 0,972 X_3 + 0,460 X_1 X_2 + 0,312 X_1^2 - 0,641 X_2^2 + 0,59 X_3^2 \quad (11)$$

$$\text{где } X_1 = \frac{\alpha - 20^\circ}{10^\circ}; \quad X_2 = \frac{m d_1 - 0,7}{0,1}; \quad X_3 = \frac{m s_1 - 0,7}{0,1}$$

Подобные зависимости получены также при комбинированной вытяжке других материалов на радиальных и конических матрицах.

В пятой главе на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по проектированию технологических процессов комбинированной вытяжки.

Для удобства использования теоретических данных по предельным коэффициентам утонения в практике получены приближенные формулы, отражающие в явном виде их изменение от технологических параметров и механических свойств материала. Расчеты выполнены на ЭВМ ЕС 1033.

Приведем эти зависимости в случае комбинированной вытяжки в конических матрицах на первой и последующих операциях.

На первой операции комбинированной вытяжки в конических матрицах предельный коэффициент утонения M_{sinp} определяется по формуле:

$$M_{\text{sinp}} = (40,2I + 3,67 X_1 - 7,33 X_2 - 5,74 X_3 - 3,5 X_4 - 2,25 X_5 + 0,34 X_6 - 0,92 X_1 X_2 + 2,75 X_1 X_3 - 0,5 X_1 X_4 - 0,25 X_1 X_5 - 0,084 X_1 X_6 + 0,5 X_2 X_3 + 1,5 X_2 X_5 + 0,42 X_2 X_6 - 0,33 X_3 X_4 + 0,42 X_3 X_5 - 0,42 X_3 X_6 + 0,17 X_4 X_5 + 0,83 X_4 X_6 - 0,42 X_5 X_6 - 0,92 X_1^2 + 1,08 X_2^2 + 0,49 X_3^2 - 0,59 X_6^2) \cdot 10^{-2}, \quad (12)$$

$$\text{где } X_1 = \frac{\alpha - 15^\circ}{5^\circ}; \quad X_2 = \frac{m d_1 - 0,65}{0,15}; \quad X_3 = \frac{\mu_n}{\mu_m} - 2;$$

$$\mu_n = 0,05; \quad X_4 = \frac{n - 0,3}{0,2}; \quad X_5 = \frac{r - 1}{0,5} \quad \text{и} \quad X_6 = \frac{c}{0,5}.$$

На последующих операциях комбинированной вытяжки в конических матрицах предельный коэффициент утонения M_{sinp} находится по выражению:

$$M_{\text{sinp}} = (54,07 - 4,07 X_1 - 8,27 X_2 - 10,02 X_3 - 9,94 X_4 - 2,35 X_5 + 0,91 X_6 - 0,16 X_1 X_2 - 0,66 X_1 X_3 - 0,24 X_1 X_4 - 0,08 X_1 X_5 + 0,95 X_1 X_6 + 1,44 X_2 X_3 + 1,1 X_2 X_4 + 0,77 X_2 X_5 + 1,6 X_3 X_4 + 0,52 X_3 X_5 + 0,94 X_4 X_5 - 0,07 X_4 X_6 + 0,09 X_5 X_6 - 1,16 X_1^2 + 1,93 X_2^2 + 0,85 X_3^2 + 0,27 X_6^2) \cdot 10^{-2}, \quad (13)$$

$$\text{где } X_1 = \frac{\alpha - 15^\circ}{5^\circ}; \quad X_2 = \frac{m d_1 - 0,75}{0,1}; \quad X_3 = \frac{m_s - 0,85}{0,15};$$

$$X_4 = \frac{n - 0,3}{0,2}; \quad X_5 = \frac{r - 1}{0,5}; \quad X_6 = \frac{c}{0,5}.$$

В расчетах принималось $\mu_n = 2\mu_m = 0,1$.

Эти формулы получены в предположении изменения учтенных факторов в следующих диапазонах:

$$\alpha = 10^\circ \div 20^\circ; \quad M_{d1} = 0,5 \div 0,8; \quad N = 0,1 \div 0,5; \quad r = 0,5 \div 1,5; \\ \Gamma = -0,5 \div 0,5; \quad M_{d2} = 0,65 \div 0,85; \quad m_s = 0,7 \div 1.$$

В главе дана последовательность расчета параметров технологии и штампов для комбинированной вытяжки цилиндрических изделий из анизотропного материала.

Разработанные рекомендации использовались при интенсификации технологических процессов получения ряда изделий на заводах отрасли.

Внедрение новых технологических процессов позволяет уменьшить трудоемкость и энергоемкость изготовления изделий, улучшить качество их, повысить производительность и достигнуть экономического эффекта 140 тыс. рублей в год.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Получены основные соотношения для анализа процесса комбинированной вытяжки инженерным методом. Установлено, что основными характеристиками анизотропии при комбинированной вытяжке являются коэффициент анизотропии Γ , предел текучести σ_s , характеристика анизотропии „C“ и предел текучести на сдвиг T , из которых три являются независимыми.

2. Найдены выражения для определения усилий и напряжений на первой и последующих операциях комбинированной вытяжки анизотропного материала на радиальных и конических матрицах.

Теоретическими расчетами показано и экспериментальными данными подтверждено, что в зависимости от сочетания технологических параметров и свойств материала график "усилие – путь" первой операции может иметь максимальную величину усилия как в момент совпадения центра скругления пуансона с верхней кромкой рабочего пояса матрицы, так и на последней стадии комбинированной вытяжки. На последующих операциях максимум усилия имеет место в момент совпадения центра скругления пуансона с верхней кромкой рабочего пояса матрицы. Максимум усилия не означает

максимум осевого напряжения в стенке изделия. Величина осевого напряжения существенно зависит от характеристик анизотропии и условий трения на пуансоне.

Величины максимальных усилий при расчетах не отличаются от экспериментально определенных более чем на 10%.

3. Установлено, что величины предельного коэффициента утонения уменьшаются с ростом коэффициента вытяжки и коэффициента трения на контактной поверхности пуансона, с увеличением коэффициента анизотропии γ , показателя кривой упрочнения n и радиуса закругления кромки матрицы, а также с уменьшением характеристики анизотропии ζ и угла конусности матрицы α . Показано, что полученные теоретические зависимости предельного коэффициента утонения от перечисленных выше параметров качественно хорошо согласуются с экспериментальными данными. Подчеркнуто, что величины предельных коэффициентов утонения, определенные экспериментально, больше рассчитанных на 10-15%.

4. Определены зависимости показателей качества — относительной конусности и относительной овальности, относительных продольной и поперечной разнотолщинностей — от технологических параметров процесса и геометрии инструмента при комбинированной вытяжке изделий наружным диаметром 50 мм из стали 08 КП, латуни Л63 и сплава АМг2М толщиной 4 мм. Установлено, что первые два показателя качества по величине на два порядка меньше двух других. Приведены формулы для количественной оценки относительных продольной и поперечной разнотолщинности в зависимости от коэффициента вытяжки, коэффициента утонения и геометрии матрицы.

5. Разработаны рекомендации по проектированию технологических процессов комбинированной вытяжки, которые использовались при совершенствовании технологических процессов получения ряда изделий на предприятиях отрасли. Экономическая эффективность составляет 140 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Попов Е.А., Валиев С.А., Яковлев С.С. Исследование первого перехода комбинированной вытяжки на конической матрице. — Тула, 1981. — 23 с. — Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 14 декабря 1981 г., № 293-81.

2. Попов Е.А., Валиев С.А., Яковлев С.С. Исследование первого перехода комбинированной вытяжки на радиальной матрице. - Тула, 1981 г. - 23 с. - Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 14 декабря 1981, № 294-81.

3. Попов Е.А., Валиев С.А., Яковлев С.С. Комбинированная вытяжка анизотропного материала. - Тула, 1982. - 58 с. - Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 30 июля 1982 г., № 207-82.

4. Валиев С.А., Яковлев С.С. Последующие переходы комбинированной вытяжки. - Тула, 1982. - 13 с. - Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 30 июля 1982 г., № 204-82.

5. Попов Е.А., Валиев С.А., Яковлев С.С. Характеристики анизотропии и кривые упрочнения сталей 08КП и ЗСП, латуни Л63, сплава АМг2М. - Тула, 1982. - 26 с. - Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 10 декабря 1982 г., № 284-82.

6. Попов Е.А., Валиев С.А., Яковлев С.С. Силовые параметры процесса комбинированной вытяжки на радиальной матрице. - Известия вузов. Машиностроение, 1982, № II, с. 126-130.

7. Силовые параметры и предельные степени деформации при комбинированной вытяжке анизотропного материала на конической матрице / Е.А.Попов, С.А.Валиев, С.С.Яковлев и др. - Тула, 1982. - 36 с. - Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 10 декабря 1982, № 285-82.

8. Попов Е.А., Валиев С.А., Яковлев С.С. Предельные степени деформации при комбинированной вытяжке. - В кн.: Исследования в области пластичности и обработки металлов давлением. Тула, ТПИ, 1982, с. 35-39.

9. Силовые параметры и предельные степени деформации при комбинированной вытяжке анизотропного материала на радиальной матрице / Е.А.Попов, С.А.Валиев, С.С.Яковлев и др. - Тула, 1982. - 35 с. - Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 17 января 1983, № 311-82.

10. Валиев С.А., Яковлев С.С. Последующие переходы комбинированной вытяжки анизотропного материала. - Тула, 1983. - 12 с. -

Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 10 мая 1983, № 146-83.

II. Влияние технологических параметров комбинированной вытяжки на показатели качества изделий / Е.А.Попов, С.А.Валиев, С.С.Яковлев и др. - Тула, 1983. - 30 с. - Рукопись представлена Тульским политехническим институтом. Деп. в НИИМАШ 10 мая 1983, № 147-83.

12. Валиев С.А., Яковлев С.С., Новиков С.С. Анизотропия механических свойств материалов для комбинированной вытяжки. - В кн.: Исследование в области пластичности и обработки металлов давлением. Тула, ТПИ, 1983, с. 34-37.

С.Яковлев

