

На правах рукописи

УДК 621.774.63

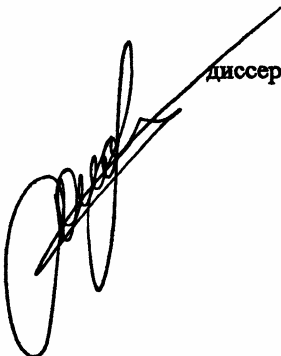
Соловьев Михаил Викторович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОФОРМОВКИ
ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ТИПА
РАСШИРИТЕЛЯ ИЗ ЦИРКОНИЕВЫХ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК**

Специальность 05.03.05 – Технологии и машины обработки давлением

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва 2004

**Работа выполнена в Московском государственном техническом
университете им. Н.Э. Баумана**

Научный руководитель кандидат технических наук, профессор
Кондратенко В.Г.

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
Демин В.А.

кандидат технических наук, доцент
Константинов В.Ф.

Ведущее предприятие ФГУП НИТИ г. Железнодорожный

Защита состоится 06 октября 2004 г. в ____ часов на заседании
диссертационного совета Д.212.141.04 в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу:

105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью,
просим высылать по указанному адресу

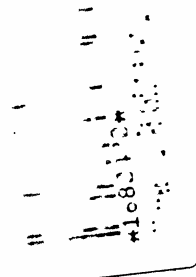
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного технического университета.

Автореферат разослан 02 октября 2004 г.
Телефон для справок 267-09-63

Ученый секретарь
Диссертационного совета
д.т.н., профессор



Семей



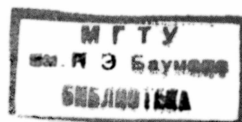
Актуальность работы.

Одним из главных направлений совершенствования производства является поиск и внедрение интенсивных процессов штамповки, которые позволяют снизить трудоемкость изготовления и себестоимость изделий. Для этого из трубных заготовок наряду с классическими методами листовой штамповки используют гидроформовку и штамповку эластичными материалами. Детали, изготавливаемые методом гидроформовки, отличаются выгодным показателем прочность/материалоемкость, высокая точность размеров и минимальная потребность в последующей механической обработке. Изготовленные гидроформовкой детали нашли свое применение в авиационной, автомобильной промышленности и ряде отраслей оборонной промышленности. Особое преимущество гидроформовка имеет при изготовлении полых деталей типа тройников, крестовин, переходников, конусных и эллиптических оболочек с большими степенями деформации и повышенными требованиями к качеству внутренней и наружной поверхностей, шероховатости, точности формы и размеров. Указанное преимущество состоит в возможности создания в заготовке оптимального напряженного состояния, которое позволяет провести процесс деформирования за минимальное число переходов без применения промежуточных отжигов. Для изготовления тонких осесимметричных оболочек с большой длиной деформированной части в настоящее время в основном используется штамповка эластичным пуансоном по жесткой матрице. Основными недостатками данного метода являются:

- проведение процесса штамповки за несколько переходов для компенсации приращения внутреннего объема заготовки;
- введение дополнительного количества материала эластичного пуансона, необходимость рекристаллизационного отжига при использовании материала
- заготовки с умеренными пластическими свойствами;
- трудности с извлечением эластичного пуансона из детали после завершения процесса деформирования.

Вместе с тем простота определения силовых параметров процесса и невысокая стоимость оснастки делает этот метод полезным для изготовления оболочек с небольшой степенью раздачи.

Существенное снижение себестоимости изготовления оболочек с большими степенями раздачи следует ожидать от гидроформовки в случае использования материалов с умеренной пластичностью и трудоемким, дорогостоящим процессом рекристаллизационного отжига. Примером такого материала является сплав Э110 на основе циркония, легированный 1% ниобия. Так для изготовления полого конусообразного осесимметричного переходника (максимальная степень деформации до 50%) с применением эластичного пуансона по жесткой матрице требуется не менее трех



переходов штамповки с двумя промежуточными рекристаллизационными отжигами. Наличие интенсивного сжимающего напряжения при гидроформовке требует определения допустимых силовых параметров для предотвращения потери заготовкой устойчивости.

В связи с этим проведение исследования процесса гидроформовки тонких осесимметричных заготовок с большой длиной деформированной части, обеспечивающего снижение себестоимости изделий, является актуальной задачей.

Цель работы: разработка методики проектирования технологического процесса гидроформовки тонкостенных осесимметричных деталей большой длины из трубчатых заготовок, значительно повышающего производительность за счет уменьшения числа переходов деформирования и исключающего возможность потери устойчивости.

Методы исследований: теоретическое исследование процесса гидроформовки выполнено совместным решением уравнений пластичности и равновесия для фасонной части заготовки. Исследование напряженного деформированного состояния для всей заготовки в процессе деформирования выполнено решением уравнения равновесия, полученного из уравнения движения оболочки под действием внешних сил. Влияние изгибающих моментов учтено на основе решения уравнения положения образующей полый цилиндрической оболочки нагруженной внутренним давлением и осевой сжимающей силой.

Экспериментальные исследования потери устойчивости проводились на гидравлической универсальной испытательной машине (УИМ-50) в лаборатории кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Исследования процесса гидроформовки проводились на гидравлическом прессе ПГШФ-40 М2 с установленной дополнительной оснасткой на базе опытного производства ФГУП НИТИ г. Железнодорожный.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- методика проектирования процесса гидроформовки тонкостенных осесимметричных деталей с длиной деформируемой части, значительно превосходящей диаметр исходной трубчатой заготовки, с учетом упрочнения материала, трения о матрицу, действия изгибающего момента в месте выхода материала из матрицы;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса гидроформовки, позволяющие объяснить механизм образования поперечной складки в месте выхода материала заготовки из цилиндрической части матрицы.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- результаты исследований, определяющие оптимальные соотношения силовых параметров процесса и количество переходов деформирования для

изготовления тонкостенных осесимметричных деталей гидроформовкой с требуемым качеством;

— технологический процесс изготовления тонкостенных осесимметричных деталей методом гидроформовки, позволяющий значительно повысить производительность за счет уменьшения числа переходов деформирования и исключения рекристаллизационных отжигов. Кроме этого, предложенный технологический процесс позволяет получить изделие с более высоким качеством внутренней поверхности по сравнению с классическими методами листовой штамповки;

— упрощенные зависимости для проведения технологических расчетов и подбора оборудования;

— на основании результатов, полученных в ходе теоретических и практических исследований спроектирована и изготовлена опытная установка для изготовления тонкостенных осесимметричных деталей гидроформовкой.

Публикации. По материалам диссертационной работы сделаны 4 публикации.

Структура и объем диссертации: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа выполнена на 159 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 8 таблиц, список литературы из 67 наименований, приложение.

Автор защищает:

— математические модели процесса деформирования тонкостенных осесимметричных деталей большой длины, определяющие напряженно-деформированное состояние материала заготовки в условиях гидроформовки;

— методику определения начальных силовых параметров процесса гидроформовки на основании моделирования напряженного состояния заготовки в момент начала пластических деформаций;

— результаты экспериментальных и теоретических исследований изготовления тонкостенной осесимметричной детали большой длины;

— методику проектирования технологических процессов гидроформовки, позволяющих значительно интенсифицировать производство тонкостенных осесимметричных деталей большой длины из трубчатых заготовок.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю кандидату технических наук, профессору Кондратенко Владимиру Григорьевичу, кандидату технических наук Колотову Юрию Васильевичу, кандидату технических наук Девкину Сергею Сергеевичу и кандидату технических наук Савельеву Анатолию Алексеевичу за помощь и поддержку при выполнении работы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы и изложены основные положения, выносимые на защиту

В первой главе выполнен обзор научных работ, посвященных гидравлической штамповке деталей из трубчатых заготовок. Показано, что основная часть опубликованных работ посвящена деформированию деталей с боковыми отводами из толстостенных заготовок. Рассматриваемые в данных работах процессы гидроформовки предполагают наличие относительно небольшого неопертого о поверхность матрицы участка деформирования. Размер этого участка обычно не превышает диаметра исходной трубчатой заготовки. В работах, освещающих вопросы деформирования тонкостенных осесимметричных деталей из трубчатых заготовок, внимание уделяется определению напряженно-деформированного состояния и определению энергосиловых параметров процесса. В основном рассматриваются процессы деформирования заготовок с толщиной стенки $s_0 = 0,1...0,2d_0$ и длиной деформируемой фасонной части $L = 1,6d_0$. В теоретических исследованиях принимаются допущения о безмоментном состоянии материала заготовки, что не позволяет достоверно определить напряженно-деформированное состояние непосредственно в месте выхода из цилиндрической в фасонную часть матрицы.

Анализ существующих работ показал отсутствие исследования механизма образования поперечной складки, возникающей в месте выхода материала заготовки из цилиндрической части матрицы. В связи с этим в работах недостаточно исследуется вопрос о соотношении силовых параметров для проведения устойчивого процесса деформирования. Это затрудняет определение наиболее эффективного соотношения меридионального и тангенциального напряжений на стадии проектирования технологического процесса.

На основании вышесказанного и в соответствии с поставленной целью определены следующие задачи исследования:

- установить силовые параметры процесса гидроформовки тонкостенных полых осесимметричных деталей с большой длиной деформируемой части из трубчатых заготовок;
- определить соотношение между меридиональным и тангенциальным напряжениями для изготовления осесимметричных деталей типа расширителя с максимальным коэффициентом раздачи;
- исследовать механизм возникновения зоны потери устойчивости с образованием складки;
- провести экспериментальные исследования механизма образования поперечной складки и проверить справедливость результатов, полученных в ходе теоретических исследований.

Во второй главе проведено исследование напряженно-деформированного состояния заготовки и разработана методика учета действия изгибающего момента в процессе гидроформовки.

Для определения допустимых значений меридионального (σ_z) и тангенциального (σ_θ) напряжений при гидроформовке с осевым сжимающим усилием была использована методика, основанная на решении уравнений равновесия и пластичности:

уравнение для отсеченной части с учетом действия осевой силы имеет вид:

$$2\pi \int_{r_0}^{r_{\max}} r_i q dr - Aq = \sigma_z s_i \cos \beta 2\pi r_i,$$

где r_i — текущий радиус заготовки, q — давление жидкости в полости заготовки, A — условная площадь, позволяющая, учитывать соотношение σ_θ/σ_z , s_i — текущая толщина стенки заготовки, $r_{\max}$ — максимальный достигнутый радиус заготовки; уравнение пластичности: $\sigma_\theta - \sigma_z = \beta \sigma_z$.

Соотношение тангенциального и меридионального напряжений определялось на основании критерия мягкости схемы нагружения, предложенного Г.А. Смирновым-Аляевым:

интенсивность напряжения в данной точке заготовки определялась как:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_z^2 - 2\sigma_z\sigma_\theta + \sigma_\theta^2};$$

максимально допустимая степень деформации в данной точке при данном напряженном состоянии, определяемом напряжениями σ_θ и σ_z :

$$\delta_{\max} = 2\delta_{np} e^{\frac{-0.75\sigma_z + \sigma_\theta}{\sigma_i}}.$$

Выбирались предварительные значения меридионального (σ_z) и тангенциального (σ_θ) напряжений на торце фасонной части, удовлетворяющие уравнению пластичности. Определялось изменение толщины стенки детали, интенсивность деформации (δ_i), значения меридионального (σ_z) и тангенциального (σ_θ) напряжений и допустимая степень деформации ($\delta_{\max}$) в купольной части. Если имело место неравенство $\delta_i > \delta_{\max}$ в купольной части, σ_z и σ_θ уменьшались и проводилась следующая итерация. Критерием для остановки итерационного процесса являлось выполнение условия: $|\delta_i - \delta_{\max}| \leq 0,01$ в купольной части детали.

Для исследования формоизменения заготовки под действием внутреннего давления, осевой силы и трением между поверхностью матрицы

и материалом было решено уравнение равновесия оболочки, которое в проекциях на оси r и v в Эйлеровых координатах (рис. 1) имеет вид:

$$\left(\frac{\sigma_z \sin \varphi}{(1+e)} \right)_x - \frac{\sigma_\theta}{r} + \frac{q \cos \varphi r(1+e)}{s_0 r_0} + f_r = 0,$$

$$\left(\frac{\sigma_z \cos \varphi}{(1+e)} \right)_x - \frac{q \sin \varphi r(1+e)}{s_0 r_0} + f_v = 0,$$

где $e = \sqrt{(r'_x)^2 + (v'_x)^2} - 1$.

Ограничение, налагаемое рельефом матрицы:

$$r(v) \leq R_m(v).$$

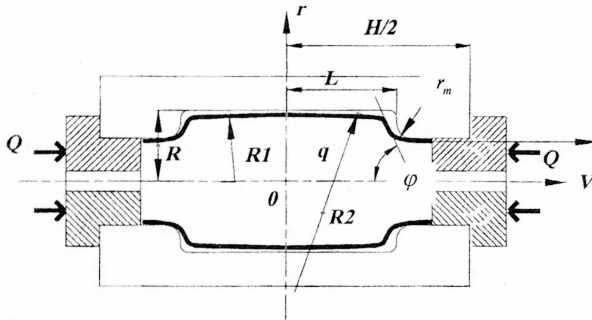


Рис. 1. Расчетная схема

Решение уравнений осуществлялось численно. Для реализации вычислительного процесса число шагов по лагранжевой координате x (рис. 1) задавалось $N=100$.

Меридиональное напряжение определялось как:

$$(\sigma_z)_i^{(k)} = \sigma_z^{(k)} \Big|_{x=H/2} + f_v (v_N^{(k-1)} - v_i^{(k-1)}) \text{ на цилиндрическом участке и}$$

$$\frac{1}{\Delta x} \left(\frac{(\sigma_m)_{i+1}^{(k)} (\cos \phi)_{i+1}^{(k)}}{1+e_{i+1}^{(k)}} - \frac{(\sigma_z)_i^{(k)} (\cos \phi)_i^{(k)}}{1+e_i^{(k)}} \right) = \frac{q^{(k)} r_i^{(k-1)} (1+e_i^{(k)}) (\sin \phi)_i^{(k)}}{s_0 r_0} - f_v^{(k-1)}$$

на фасонном участке.

Тангенциальное напряжение определялось как:

$$(\sigma_\theta)_i^{(k)} = \frac{r_i^{(k-1)}}{\Delta x} \left(\frac{(\sigma_z)_{i+1}^{(k)} (\sin \phi)_{i+1}^{(k)}}{1 + e_{i+1}^{(k)}} - \frac{(\sigma_z)_i^{(k)} (\sin \phi)_i^{(k)}}{1 + e_i^{(k)}} + \right. \\ \left. + \frac{q^{(k)} r_i^{(k-1)} (1 + e_i^{(k)})}{s_0 r_0} (\cos \phi)_i^{(k)} - f_v^{(k-1)} \right).$$

Нагрузка задавалась поэтапно:

$$q^j = j \Delta q, \quad j = 10.$$

Для первого шага процедуры счета принималось:

$$r_i = r_0, \quad v_i = \Delta x(i-1), \quad e_i = 0.$$

Меридиональное напряжение на торце цилиндрической части определялось как:

$$\sigma_z^k \Big|_{x=H/2} = -Aq^j / 2\pi r_0 s^k.$$

Условием выхода из итерационного процесса по k является отсутствие значительного изменения модуля интенсивности деформации на следующей итерации:

$$\|\varepsilon_i^k - \varepsilon_i^{k-1}\| = \max[\varepsilon_i^k - \varepsilon_i^{k-1}] \leq 0.001.$$

Для учета действия момента в зоне выхода материала из цилиндрической части матрицы было решено уравнение положения образующей цилиндрической оболочки под действием внутреннего давления и сжимающей осевой силы:

$$\frac{d^4 h}{dx^4} + 4k^4 h = \frac{q}{D} - \frac{fAq}{r_0 D},$$

где $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$, $4k^4 = \frac{Eh}{R^2 D} = \frac{12(1-\mu^2)}{R^2 h^2}$, h – увеличение радиуса заготовки.

При рассмотрении окрестности точки выхода материала из цилиндрической части решение такого уравнения может быть найдено в виде:

$$h = e^{-kx} (C_1 \sin kx + C_2 \cos kx) + h^*, \\ h = \left(\frac{q}{D} - \frac{fAq}{r_0 D} \right) \frac{1}{4k^4} [1 - e^{-kx} (\sin kx + \cos kx)].$$

где h^* — частное решение, которое находится в зависимости от закона изменения давления вдоль образующей.

Поперечная сила определяется как:

$$T = D \frac{d^3 h}{dx^3}.$$

Переходя к размерности давления, получим:

$$\tau = -0.1(10qr_0 + 3Aq)e^{-kx} \frac{\cos(kx)}{kr_0 s_0}.$$

Главные напряжения определялось как:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_z + \sigma_\theta}{2} \pm 0,5 \sqrt{(\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + 4\tau_{z\theta}^2}.$$

Графики распределения напряжений приведены на рис. 2.

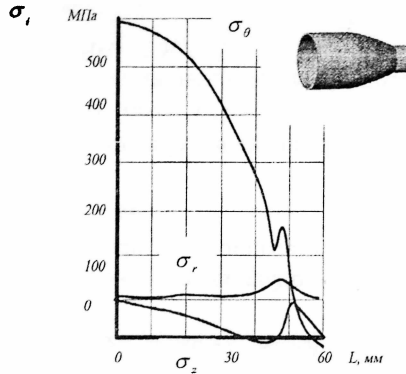


Рис. 2. Распределение главных напряжений и деформаций в заготовке

Влияние действия момента выражается в появлении зоны, в которой пластическая деформация наступает в первую очередь. Зона расположена у места выхода материала заготовки из цилиндрической в фасонную часть матрицы. Рассмотрев компоненты напряжения (рис. 2) в данной зоне можно сказать, что условие возможности пластического деформирования $\sigma_1 = \sigma_\theta - \sigma_z$ реализуется здесь в первую очередь, причем при таких значениях σ_z и σ_θ при которых деформация материала в остальной части заготовки невозможна. В соответствии с этим цилиндрическая заготовка под действием внешних осевых сил в области пластических деформаций может принять форму одинарной или двойной выпуклости в зависимости от длины цилиндрического участка. Определено, что для первого перехода должно выполняться $\frac{\sigma_\theta}{\sigma_z} > -1$. Для второго перехода должно выполняться $\frac{\sigma_\theta}{\sigma_z} < -1$.

Точное соотношение $\frac{\sigma_\theta}{\sigma_z}$ возможно определить в ходе эксперимента.

В третьей главе приведена методика экспериментального исследования получения детали типа полый эллипсоид со степенью раздачи $K_D = \frac{D_l}{d_0} = 1,83$ и относительной длиной фасонной части $K_L = \frac{L_{\text{фасон}}}{d_0} = 4,54$ из трубчатой заготовки с $s_0 = 1 \text{ мм}$, $d_0 = 24 \text{ мм}$. Основными исследуемыми факторами

являлись: внутреннее давление и осевая сила. Для исследования влияния силовых параметров процесса на формирование складки в зоне выхода материала заготовки из цилиндрической части матрицы был проведен виртуальный эксперимент. В ходе эксперимента производилось моделирование нагружения оболочки внутренним давлением и осевой сжимающей силой в зоне упругих деформаций. Расчетные модели заготовки и пуансонов были выполнены в среде «SOLIDworks», решение в среде «COSMOSworks».

Результаты эксперимента позволили подтвердить возникновение значительной интенсивности касательных напряжений в небольшой зоне у выхода материала заготовки из цилиндрической части матрицы и определить влияние силовых параметров на положение и длину данной зоны (рис. 3). Было установлено, что при $\sigma_z/\sigma_x \geq 1,2...1,3$ интенсивность касательных напряжений в месте выхода заготовки из цилиндрической в фасонную часть матрицы значительно уменьшается и формирование зоны не наблюдается. При моделировании нагружения заготовки на втором переходе было установлено, что формирование зоны не происходит уже при $\sigma_z/\sigma_x \geq 0,8...0,9$.

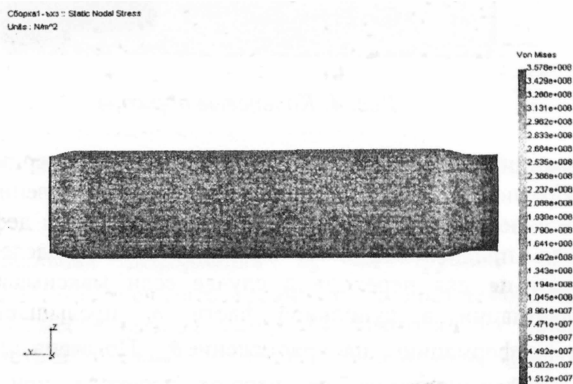


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений

Для исследования движения материала заготовки в ограниченной зоне под действием осевого сжимающего усилия был проведен эксперимент с кольцевыми образцами. В ходе эксперимента кольцевые образцы с разными высотами нагружались осевой сжимающей силой, обеспечивающей $\sigma_z = \sigma_{0,2}$.

Полученные результаты (табл. 1, рис. 4) позволили установить, что материал, находящийся в локальной зоне при достижении пластического

состояния от действия осевого сжимающего напряжения будет вытесняться наружу и образовывать складку.

Таблица 1.

Номер заготовки	Исходная длина мм.	Форма потери устойчивости образцами
1	4	Неопределенно
2	30	двумя волнами
3	30	двумя волнами
4	24	Неопределенно
5	9	одной волной
6	15	одной волной

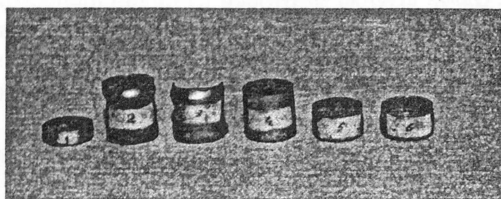


Рис. 4. Кольцевые образцы

На основании анализа результатов виртуального эксперимента и осадки кольцевых образцов была показана необходимость существенного изменения соотношения силовых параметров в процессе проведения деформирования. Было сделано предположение о необходимости разделения процесса гидроформовки на два перехода в случае если максимальная заданная степень деформации в купольной части δ_i превышает предельную допустимую деформацию на растяжение δ_{max} . Показана необходимость исследовать деформирование на первом переходе при соотношении $\sigma_\theta / \sigma_z = 1,2 \dots 1,3$. На втором переходе соотношение силовых параметров должно быть в пределах $\sigma_\theta / \sigma_z = 0,8 \dots 0,9$

Полученная деталь и распределение деформаций δ_z , δ_θ , δ_r для детали представлено на рис. 5 и рис. 6 соответственно. Осевая деформация δ_z на цилиндрической части заготовки объясняется наличием осевой сжимающей силы. Осевая деформация убывает от торца заготовки к центру детали.

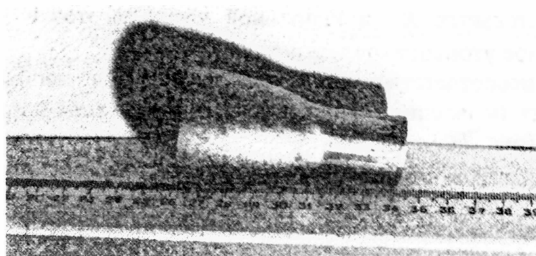


Рис. 5. Готовая деталь

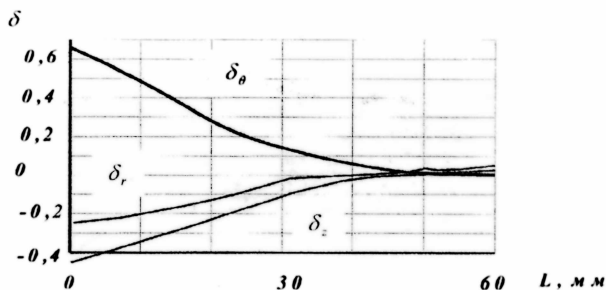


Рис. 6. Распределение деформаций по длине полый осесимметричной заготовке $K_D = 1,83$

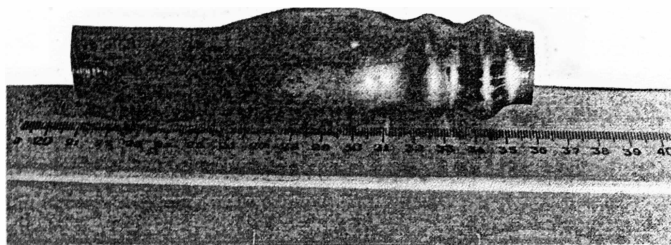
Тангенциальная деформация δ_θ на трубной части заготовки незначительна и может считаться равной нулю. Рост деформации интенсивно начинается в месте выхода материала заготовки из цилиндрической в фасонную часть матрицы. Деформация δ_r зависит от K_D . Деформация стенки детали по толщине вдоль образующей является неравномерной. Толщина стенки в трубной части заготовки увеличена, что объясняется действием осевой силы. Утолщение стенки относительно невелико и зависит в основном от K_D , так как для достижения большей раздачи заготовки необходимо создать большее сжимающее осевое напряжение. Наибольшее утолщение стенки заготовки происходит в месте радиусного перехода материала заготовки из цилиндрической части в фасонную часть матрицы. С увеличением K_D растет и δ_r .

Стенка раздаваемой части заготовки также имеет переменную величину. С приближением к купольной части детали толщина стенки уменьшается.

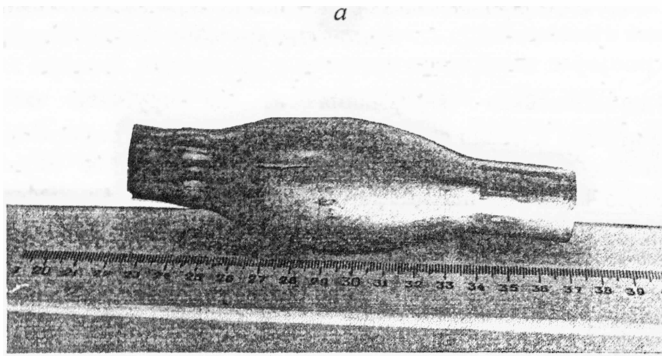
При значительных K_D в купольной части заготовки может наблюдаться значительное утонение стенки детали.

При несоответствии силовых параметров необходимым возникает вероятность появления складки на первом переходе и продольной трещины на втором (рис. 7).

В четвертой главе предложены упрощенные зависимости для определения энергосиловых параметров процесса и расчета исходных размеров заготовки применение которых позволяет без значительных затрат времени произвести технологический расчет процесса и выбрать оборудование.



а



б

Рис. 7. Форма детали при несоблюдении соотношений силовых параметров:

- а) образование поперечной складки;*
- б) разрыв в купольной части*

Показано, что при ориентировочных расчетах можно допустить осевую деформацию ε_2 равномерной. Из этого следует:

$$\varepsilon_1 = \frac{r_i}{r_0} - 1,$$

$$\varepsilon_2 = \frac{L}{H} - 1,$$

где L — длина образующей готовой детали, H — длина заготовки.

Решение уравнения равновесия совместно с уравнением пластичности и равновесия отсеченной части заготовки дает:

$$q = \frac{2 \frac{r_0}{r_i} s_0 \frac{H}{L} \beta \sigma_s}{\left(R_1 - \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) K \right)},$$

где $K = \frac{(r_i^2 - r_0^2) R_1}{r_i^2} - A \frac{R_1}{\pi r_i^2}.$

Таким образом для определения необходимого давления, кроме указания текущей формы детали (R_1 , R_2 , r_i) следует задать соотношение $\frac{H}{L}$, которое определяет степень осевой деформации заготовки.

Показано, что для расчета деталей типа эллипсоид напряжение σ_s для упрощения можно выразить через текущий радиус заготовки r_i . На основании полученных ранее результатов было предложено принять для купольной части заготовки $\delta_\theta = \delta_i$. После подстановки ε_θ в уравнение для σ_s получим:

$$\sigma_s \approx \sigma_{0.2} + \Pi \left(\frac{r_i}{r_0} - 1 \right).$$

Подставляя полученные значения для внутреннего давления q в уравнения для напряжений σ_z и σ_θ можно получить значения соответствующих напряжений.

Выражение для осевой силы учитывает противодействие со стороны рабочей жидкости на торец пуансона, поверхность заготовки и сил трения материала заготовки о внутреннюю поверхность матрицы:

$$Q = q \left[\pi(r_i - s_i)^2 + \pi(r_0 - s_0)^2 + \mu q_k \Delta L \frac{1}{s_0} \right] - \frac{\frac{q}{s_i} R_1 - \beta \sigma_s}{\frac{R_1}{R_2} + 1} \frac{r_i}{R_1} \pi(r_i - 0.5s_i)s_i.$$

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований была сформулирована методика проектирования гидроформовки осесимметричных тонкостенных изделий типа расширителя из циркониевых трубчатых заготовок. Входными параметрами для расчета параметров технологического процесса являются геометрические размеры детали и механические свойства материала заготовки. На основании имеющихся данных следует определение напряженно-деформированного состояния, определение количества и пределов переходов штамповки. Затем следует определение исходных размеров заготовки и выбор оборудования.

На основании полученных данных и анализа литературных источников для интенсификации производства осесимметричных деталей большой длины из трубных заготовок была предложена и изготовлена опытная установка. Особенностью конструкции установки является возможность изменять соотношение давления рабочей жидкости внутри заготовки и осевой сжимающей силы.

Установка (рис. 3.) состоит из: основания (1), блока полуматриц (3), правого и левого гидроцилиндров (3), штоков (4) и выполненным отдельно мультипликатором (5). Мультипликатор предназначен для обеспечения подачи рабочей жидкости высокого давления в прямые полости боковых гидроцилиндров и в полость заготовки.

Конструкция боковых гидроцилиндров позволяет существенно менять соотношение давления рабочей жидкости внутри заготовки и осевой сжимающей силы. Это достигается путем подачи жидкости высокого давления в обратные полости гидроцилиндров.

Для уплотнения торцов заготовки используется принцип некомпенсированной площади. Для этого шток гидроцилиндра сделан составным. При действии жидкости высокого давления на внутреннюю часть штока действует результирующая сила, уменьшая размер полости между внутренней и внешней частями штока. Эластичное кольцо, установленное в полость, сжимаясь, уплотняет торец заготовки по внутренней поверхности. Установка может применяться для изготовления полых осесимметричных деталей из трубных заготовок с $K_b \geq 1,83$ и $K_L \geq 4,54$, толщиной стенки до $s_0 = 2,0 \dots 0,5 \text{ мм}$ и длиной фасонной части до 350 мм .

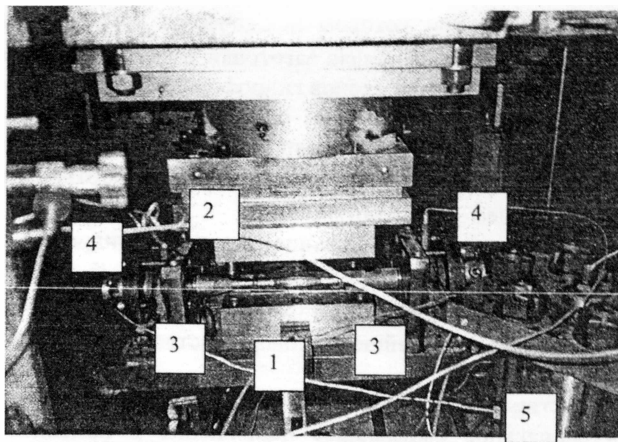


Рис. 8. Опытная установка

Основные выводы

1. Экспериментальные исследования и анализ напряженно-деформированного состояния при гидроформовке осесимметричных изделий большой длины показали, что в процессе изготовления детали возможно образование двух видов брака.

Первый — разрушение заготовки в купольной части под действием внутреннего давления в заготовке. Величина предельной степени деформации δ_0 в этом случае зависит от механических свойств материала. При действии только внутреннего давления q окружная деформация δ_θ не превышает предельной степени деформации при растяжении. Введение осевого сжимающего напряжения может повысить предельную степень деформации, т.е. сделать схему деформации более мягкой.

Второй — потеря устойчивости заготовкой у выхода из цилиндрической в фасонную часть матрицы из-за действия сжимающего осевого напряжения.

2. Теоретически установлено, что размер зоны локальной потери устойчивости и интенсивность напряжений в ней зависят от соотношения σ_θ / σ_z на начальном этапе деформирования. Установлено, что формирование складки в месте выхода материала заготовки из цилиндрической в фасонную часть матрицы происходит в момент перехода материала заготовки из упругого в пластическое состояние.

3. Предложенная методика проектирования процесса гидроформовки позволяет на основе анализа влияния текущей формы заготовки определить

соотношение σ_θ/σ_z , при котором исключается возможность образования складки в зоне выхода материала заготовки в фасонную часть матрицы, и количество необходимых переходов гидроформовки.

4. Предложена методика определения размеров заготовки, учитывающая неравномерность толщины в изготавливаемом изделии в зависимости от механических характеристик и соотношения σ_θ/σ_z на различных этапах деформирования.

5. На основании исследования процесса гидроштамповки полых осесимметричных деталей большой длины с $K_D \geq 1,83$ и $K_L \geq 4,54$ установлено перспективное направление работ, которые можно рекомендовать для дальнейшего совершенствования данного метода, а именно:

— проектирование специального оборудования, позволяющего создавать радиальное сжимающее напряжение и изменять соотношение внутреннего давления q и осевого усилия в процессе деформирования таким образом, чтобы обеспечивалось $|\sigma_\theta/\sigma_z| \geq 1,2...1,3$ и $|\sigma_\theta/\sigma_z| \approx 0,8...0,9$ на первом и втором переходе соответственно.

Список опубликованных работ

1. Соловьев М.В. Потеря устойчивости осесимметричной заготовки при гидроформовке // Студенческая весна — 98: Сб. научных трудов. — М., 1998. — С. 5-11
2. Соловьев М.В. Исследование напряженно-деформированного состояния при гидроформовке осесимметричных изделий // Студенческая весна-98: Сб. научных трудов. — М., 1998. — С. 12 — 18.
3. Соловьев М.В., Кондратенко В.Г., Колотов Ю.В. Разработка методики проектирования технологических процессов гидроформовки осесимметричных изделий // Машиностроительные технологии: Сб. тез. докл. Всерос. научн.—техн. конф. — М., 1998. — С. 130 — 132.
4. Кондратенко В.Г., Соловьев М.В. Проблема локальной потери устойчивости трубной заготовкой в операциях гидроформовки // Технология металлов (М.). — 2001. — №6. — С. 8 — 10.