

М302151

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БА УМАНА

ПОПОВ Игорь Петрович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ ПОЛУСФЕР
ВЫТЯЖКОЙ И ОБЖИМОМ

05.03.05 - Технология и машины обработки давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1976

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БА УМАНА

ПОПОВ Игорь Петрович

На правах рукописи

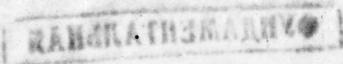
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ ПОЛУСФЕР
ВЫТЯЖКОЙ И ОБЖИМОМ

05.03.05 - Технология и машины обработки давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1976



2.

Работа выполнена на кафедре "Машины и автоматизации обработки давлением" Московского высшего технического училища имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель -
доктор технических наук доцент А.Г.ОВЧИННИКОВ,
научный консультант -
кандидат технических наук доцент В.П.ЧИСТЯКОВ.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук профессор А.Д.МАТВЕЕВ,
кандидат технических наук доцент С.С.СОЛОВЦОВ.

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета.

Защита диссертации состоится "_____" _____ 1977 г.
на заседании специализированного Совета К-33/13 по
металловедению и горячей обработке металлов
Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного
Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана
по адресу:
Москва, 107005, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью,
просим выслать по указанному адресу.

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

Автореферат разослан "_____" _____ 1976 г.

Ученый секретарь специализированного Совета -
- кандидат технических наук доцент О.А.Беликов.

Объем I п.л. Т.л. МВТУ Зак. 16 Тир. 100 № л 102047



Актуальность проблемы. Современное развитие материального производства основано на повышении эффективности и качества.

Успешное выполнение поставленной задачи, как отмечалось на XXV съезде К.С.С., связано в значительной степени" ... с использованием новых, в том числе комбинированных методов ..., позволяющих получать заготовки сложной формы, близкие по размерам к готовой детали, что дает возможность производить изделия практически без потерь металла".

В современных конструкциях широко применяют детали тонкостенных шаровых оболочек ($\delta/R_m \leq 0,07$) высокого давления — полусферы, изготавливаемые листовой штамповкой. При деформировании заготовки в традиционных процессах листовой штамповки неизменно происходит неравномерное изменение её толщины. Для обеспечения наибольшей несущей способности оболочки при минимальном весе во время её эксплуатации необходима постоянная толщина стенок. Удовлетворение этому требованию в технологии изготовления приводит к перерасходу металла и резкому увеличению трудоёмкости в результате применения механической обработки резанием. Разработка технологического процесса штамповки полусфер с постоянной толщиной стенки и методики его проектирования являются актуальными проблемами повышения эффективности производства и качества.

Цель работы. Разработка методики проектирования технологического процесса штамповки полусфер с постоянной толщиной стенки.

Научная новизна. На основе теоретического анализа напряженно-деформированного состояния заготовки с учётом изменения её толщины в процессе штамповки разработана методика проектирования технологического процесса, обеспечивающего получение изделия с постоянной толщиной стенки.

Практическая ценность. Применение процесса штамповки полусфер постоянной толщиной стенки позволяет уменьшить толщину исходной плоской заготовки на 10–40% в сравнении с традиционными способами формообразования (вытяжка в инструментальном штампе, гидроштамповка, обкатка).

Применение разработанной методики проектирования и внедрение нового техпроцесса штамповки на заводе позволило сократить продолжительность обработки, уменьшить трудоёмкость изготовления, улучшить качество изделий и получить экономический эффект в сумме 66 тыс. руб.

Апробация работы. Основные результаты работы положены на научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им. Баумана в 1972, 1976 г.г., на все-

совзной научно-технической конференции "Новое в кузнечно-штамповочном производстве" в г.Запорожье в 1975 г., на научно-технических конференциях Куйбышевского инженерно-строительного в 1973 г. и авиационного в 1972 г. институтов. Результаты работы внедрены на Куйбышевском машиностроительном заводе.

Объём работы. Диссертация изложена на 186 листах машинописного текста, включая 23 таблицы, 70 рисунков и состоит из условных обозначений, введения, 4 глав, выводов, библиографии в количестве 94 источников и приложения.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время полусферические оболочки получают различными способами листовой штамповки (в инструментальных штампах, с применением эластичных сред), формообразованием на давяльно-обкатных машинах и др.

Данные способы штамповки имеют один недостаток — значительное местное утонение заготовок.

На ряде предприятий промышленности находит применение способ штамповки полусфер с постоянной толщиной стенки.

Сущность способа состоит в последовательном совмещении операций вытяжки цилиндрического стакана и операции обжима. При вытяжке цилиндрическая заготовка получает утонение в области сопряжения цилиндрической и донной частей заготовки. Дальнейшей операцией, которая заключается в том, что заготовка помещается в глухую полусферическую матрицу с диаметром, равным диаметру заготовки, деформируется при приложении усилия к торцу и в результате приобретает форму полусферы (рис. I). При обжиме происходит утолщение утоненных участков оболочки до первоначальной толщины плоской заготовки.

Распределение деформаций по толщине при обжиме полых цилиндрической заготовки с дном от различных факторов (упрочнения, трения, геометрии заготовки) до настоящего времени не установлено, также отсутствуют обоснованные зависимости силовых, энергетических параметров и параметров предельного формоизменения процесса.

Для изготовления полусфер с отбортованными краями с постоянной толщиной стенки необходимы разработки новых способов штамповки.

В результате проведенного анализа в соответствии с целью исследования поставлены следующие задачи.

I. Установить влияние основных технологических факторов (трения, упрочнения, геометрии исходной заготовки с переменной по образующей толщиной стенки, промежуточной термообработки) на величину

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Теоретический анализ процесса обжима полоё цилиндрической заготовки с дном

Обжим полоё цилиндрической заготовки с дном связан с переменными в процессе её формоизменения в полусферу напряжениями подпора. Это приводит к немонокотности рассматриваемого процесса и исключает применение деформационной теории, широко используемой при обжиме цилиндрической трубной заготовки. С математической точки зрения рассматриваемая задача известна как краевая задача с движущимися границами.

Решение подобных задач теории пластического течения, как показывают исследования Д.М.Ву, В.Кафтаноглу, А.Е.Титлянова, Н.М.Вана, проводится с использованием методов вычислительной математики.

Решение рассматриваемой задачи осложняется тем, что элементы заготовки неравноупрочнены и заготовка имеет переменную исходную толщину в результате предшествующей процессу обжима операции вытяжки.

Уравнения, определяющие деформацию листовой заготовки в пластической области, приведены в безразмерной форме.

Уравнение равновесия с учётом изменения толщины стенки

$$d(\bar{\sigma}_r \bar{\delta} \bar{\tau}) = (\bar{\sigma}_r \cos \theta \bar{\delta} + \mu \bar{p} \bar{\tau}) d\theta, \quad (1)$$

$$\bar{p} = \bar{\tau} (\bar{\sigma}_r + \bar{\sigma}_\theta).$$

Интенсивность приращения деформаций без учёта угловых приращений деформаций ввиду их малости

$$d\bar{\epsilon}_e = \sqrt{(d\bar{\epsilon}_r - d\bar{\epsilon}_\theta)^2 + (d\bar{\epsilon}_r - d\bar{\epsilon}_\delta)^2 + (d\bar{\epsilon}_\theta - d\bar{\epsilon}_\delta)^2}. \quad (2)$$

Физические уравнения (зависимости между напряжениями и приращениями деформаций)

$$\bar{\sigma}_r = -\frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}_e}{d\bar{\epsilon}_e} (d\bar{\epsilon}_\theta + d\bar{\epsilon}_\delta), \quad \bar{\sigma}_\theta = \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}_e}{d\bar{\epsilon}_e} (d\bar{\epsilon}_\theta - d\bar{\epsilon}_\delta). \quad (3)$$

Упрочнение деформируемого металла задаем степенной функцией

$$\sigma_e = A \epsilon_e^n. \quad (4)$$

Условие несжимаемости

$$\epsilon_\delta + \epsilon_\theta + \epsilon_r = 0. \quad (5)$$

Главные деформации через геометрические соотношения

$$\epsilon_\delta = \ln \frac{\bar{\delta}}{\delta_0}, \quad \epsilon_\theta = \ln \frac{\bar{r}}{r_0}, \quad \epsilon_r = \ln \frac{d\theta}{d\theta_0}. \quad (6)$$

Из геометрических соотношений имеет место

$$\bar{r} = \bar{\delta} \sin \theta. \quad (7)$$

В уравнениях (1-7) приняты обозначения:

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{R_m}, \quad \bar{r} = \frac{r}{R_m}, \quad \bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{A}, \quad \bar{\sigma}_e = \frac{\sigma_e}{A}, \quad \bar{p} = \frac{p}{A};$$

δ - текущая толщина деформируемой заготовки;

r, θ - текущий радиус и угол деформируемой заготовки;

R_m - радиус матрицы по срединной поверхности заготовки;

$\epsilon_\theta, \epsilon_r, \epsilon_\delta$ - тангенциальная, радиальная деформация и деформация по толщине заготовки;

σ_r, σ_θ - главные радиальные, тангенциальные напряжения заготовки;

σ_e, σ_r - интенсивность деформаций и напряжений;

$d\epsilon_e$ - интенсивность приращения деформаций;

μ - коэффициент трения;

A, n - константы схематизированной диаграммы напряжений.

Решение уравнений (1-7) проводится численным методом, неизвестные величины определяются в конечном числе точек. Для этого заготовка разбивается на кольцевые элементы i , процесс нагружения - на стадии j , внутри которых нагружение считается простым.

В качестве граничных условий на каждой стадии нагружения принимаются величины ($\epsilon_e = 0.2\%$, $\sigma_\theta = -\sigma_e$, σ_r , $\bar{r}$, $\bar{\delta}$), i, j . Значения ($\bar{r}$, $\bar{\delta}$, ϵ_e), i, j определены условиями вытяжки заготовки, значения напряжений определяются из условия деформирования участка свободного изгиба заготовки при обжиме по методике Е.А. Попова.

В соответствии с условиями задачи составлена программа решения системы уравнений (1-7). Расчет проводился на ЭВМ БЭСМ-4 и М-222 с использованием транслятора ТА-1М. Для установления влияния основных технологических факторов просчитано 38 вариантов. Как показывают

результаты определяющим фактором, влияющим на величину деформации по толщине стенки, является радиус сопряжения $\bar{r}_n$ заготовки (рис.2) соотношение среднеинтегральных величин деформаций по толщине и тангенциальных деформаций близко к единице. Последнее условие позволяет определить максимальную деформацию по толщине стенки при обжиге из равенства длины образующей заготовки до и после деформации при $\beta = 48^\circ$

$$\varepsilon_\delta = \ln \left| \frac{1 - 0,255 \bar{r}_n}{\sin(1 - 0,163 \bar{r}_n)} \right|. \quad (8)$$

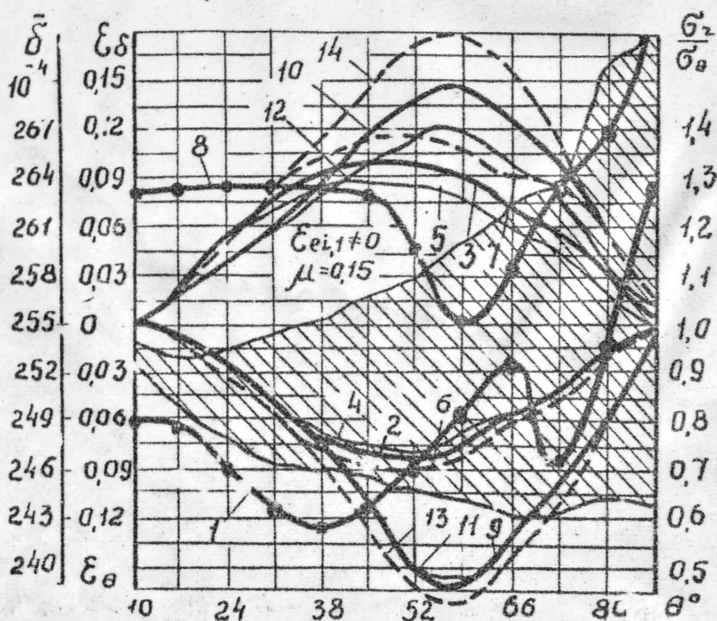


Рис.2. Изменение тангенциальных деформаций ε_θ (2, 4, 6, 9, 11, 13), деформаций по толщине ε_δ (3, 5, 7, 10, 12, 14), соотношения напряжений $\frac{\sigma_1}{\sigma_\theta}$ (заштрихованная область) на заключительной (когда заготовка приняла форму полушара) стадии процесса обжига полых цилиндрических заготовок с различными радиусами сопряжения $\bar{r}_n = 0,6$ (2, 3, 4, 5, 6, 7) и $\bar{r}_n = 0,2$ (9, 10, 11, 12, 13, 14); $\bullet$ — исходная толщина заготовок (1, 8); — — —, — — —, — — — графики изменения деформаций заготовок из материала с показателями схематизированной диаграммы напряжений $\mu = 0,05$; 0,2; 0,4 соответственно.

На основании анализа напряженно-деформированного состояния, используя методы статистического исследования, получена зависимость, определяющая усилие обжима полой цилиндрической заготовки с дном на заключительной стадии

$$P = 2,59 R_m \delta_0 A (-0,735 + 0,258 X_1 - 0,117 X_2 - 0,074 X_3 - 0,046 X_1 X_3), \quad (9)$$

$$X_1 = \frac{\eta - 0,256}{0,175}, \quad X_2 = \frac{\mu - 0,15}{0,15}, \quad X_3 = -\frac{\varepsilon_0 + 0,215}{0,215}.$$

Величина работы, затраченной на деформирование

$$\bar{A} = 0,23(1 - \bar{\eta}_n) P. \quad (10)$$

Следует отметить, что значения усилия и работ, полученных в результате анализа напряженно-деформированного состояния без учета изменения толщины заготовки, занижены на 15-20%.

2. Выбор оптимальных геометрических параметров штамповой оснастки

Получение полусферы с постоянной толщиной стенки в значительной степени зависит от разнотолщинности, образующейся на операции вытяжки с прижимом.

Максимальная разнотолщинность для вытяжки, определяемой коэффициентами $K = 1,55 - 1,6$ и применяемой в данном способе штамповки, зависит от начальной стадии вытяжки.

Анализ напряженно-деформированного состояния свободной кольцевой части проводится на основе решения систем уравнений (1,3,4). Схема деформирования принимается плоской. Решение системы с принятым допущением с граничными условиями на наружном контуре кольцевой части $\delta_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \delta_{0,2}$ имеет вид

$$\varepsilon_0^n \exp \varepsilon_0 \delta = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{\delta_{0,2}}{A} \exp \left[-\frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\delta_{0,2}}{A} \right)^{\frac{1}{n}} \sqrt{\frac{1}{1 - \bar{\eta}_n}} \right]. \quad (11)$$

Анализ левой части уравнения (II) показывает, что предельная величина угонения соответствует условию

$$\xi \delta = -n.$$

Для установления оптимальных геометрических параметров штамповой оснастки $\bar{l}_n$ и $\bar{l}_0$, связанных соотношением $\bar{l}_0 = 1 - \bar{l}_n$, при штамповке полусфер с постоянной толщиной стенки, необходимо выполнить условия равенства нулю суммарной по толщине деформации, полученной на операциях вытяжки и обжима. Принятое условие реализуем, подставив в уравнение (II) вместо деформаций их выражения, определяемые равенством (8).

Решение полученного трансцендентного уравнения представлено графически в виде номограммы $\bar{l}_0, \bar{l}_n = f(n, \frac{G_{0,2}}{G_c})$ (рис.3).

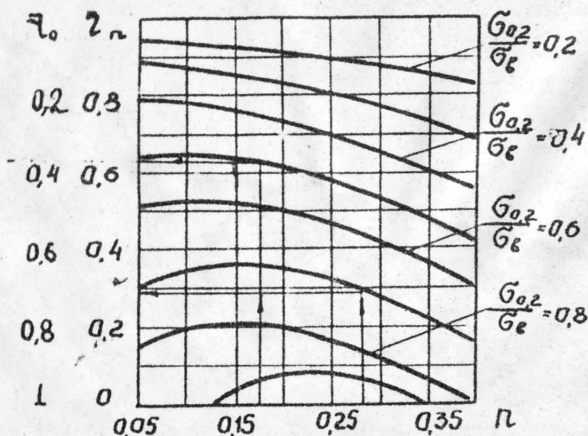


Рис. 3. Номограмма определения оптимальных геометрических параметров

3. Устойчивость формоизменения заготовки в процессе обжима

Пределные параметры формоизменения заготовки в процессе обжима считаем обусловленными потерей устойчивости заготовки в её цилиндрической части. Устойчивость определяется по энергетическому критерию С.П.Тимошенко.

Для случая деформирования цилиндрической части заготовки критический параметр

$$\left(\frac{\delta}{R_m}\right)^2 = 9 \frac{\int_F \left[\left(\frac{\partial w}{\partial h}\right)^2 + 0,5 \left(\frac{\partial w}{\partial \theta}\right)^2 \right] dh d(R_m \theta)}{R_m \int_F \left[\chi_h^2 + \chi_\theta \chi_h - (1-n)(\chi_h - 0,5 \chi_\theta) \right] dh d(R_m \theta)}, \quad (12)$$

функция прогиба $w = w_0 \sin^2 \frac{\pi \bar{m} h}{h_0}$, где $\bar{m}$ — число возможных складок по образующей заготовки с относительной толщиной $\bar{\delta} \geq 0,020$; $h_0 = 2b$; w_0 — величина максимального прогиба. Выбранная функция удовлетворяет граничным условиям: при $h=0$ и $h=h_0$ $w=0$, $w'=0$ (13)

Значения кривизн для осесимметричной цилиндрической оболочки равны

$$\chi_h = 2w_0 \frac{(\bar{m}\pi)^2}{h_0^2} \cos\left(2 \frac{\bar{m}\pi h}{h_0}\right), \quad \chi_\theta = \frac{w_0}{R_m} \sin^2\left(\frac{\bar{m}\pi h}{h_0}\right).$$

После ряда преобразований выражение (12) приводится к виду

$$\bar{\delta} = \bar{\delta}_0 \exp\left(\frac{\pi^2 n}{3}\right).$$

С учётом последнего равенства величина критического усилия

$$P_{кр} = \frac{4}{3} A \pi R_m \bar{\delta}_0 \left(\frac{\pi^2 n}{0,5 \cdot 3}\right)^n \exp\left(\frac{\pi^2 n}{3}\right). \quad (14)$$

Для относительных толщин заготовок $0,005 \leq \bar{\delta} \leq 0,02$ критерием неустойчивости является условие $\bar{\delta}_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\delta}_{0,2}$, тогда

$$P_{кр} = \frac{2}{\sqrt{3}} P_{0,2} \quad (15)$$

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика проведения экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния процесса обжима полой цилиндрической заготовки с цном состоит в следующем. Величины деформации определяются по искажению сетки, нанесенной на заготовку механическим путем в виде ряда концентрических окружностей. Замер радиусов и толщин кольцевых элементов заготовки производится на приборах механическо-

го типа (индикаторные стойки, бинокулярный микроскоп БИМ-1). Использование тензометрической аппаратуры (шлейфовый осциллограф МН-02, усилитель ТА-5, меспозы с тензопатчиками) связано с замером нормальных усилий, действующими на границе контактного участка с участком свободного изгиба. Предварительно тарированные меспозы размещаются в гнездах матрицы, воспринимая нормальные контактные усилия. Используя тарировочный график, зная размеры элементов, площадь контакта в зоне расположения меспоз и используя уравнение Лапласа с учетом, что $\delta_{\text{в}} = \delta_{\text{с}}$, рассчитывается радиальное напряжение $\delta_{\text{ч}}$ подпора для участка обжима.

Устойчивость заготовки в процессе обжима определена её цилиндрической частью. Экспериментальному исследованию подвергался процесс осадки цилиндрической оболочки в жестком контейнере. Для этой цели использовалась специальная оснастка, позволяющая легко вынимать деформированную заготовку. Критический параметр δ замерялся индикаторным устройством в месте образования резко выраженной кольцевой складки.

В работе схематизируется процесс вытяжки на начальную и конечную стадии. Расчетами установлено, что максимальная величина утонения для коэффициентов вытяжки $K = 1,55-1,6$ определена начальной стадией вытяжки. Экспериментальное подтверждение принятой схемы вытяжки устанавливается по соотношению высоты и перемещению торца вытягиваемой детали. Фиксирование перемещений производится в процессе вытяжки индикаторными приспособлениями, установленными на вытяжном штампе. Начальная стадия ограничивается моментом начала движения торца заготовки (до 3-5%). Для сравнения величин утонения на начальной и конечной стадиях производится замер толщин заготовки индикаторным устройством.

Для выявления приемлемости предлагаемой технологии используются разнообразные по механическим свойствам сплавы (30ХСА, 25ХГСА, латунь Л62, углеродистая сталь, ВТ-14). Механические свойства определяются на растяжение согласно ГОСТ 7855-55 и ГОСТ 1497-61. Аппроксимация кривой упрочнения производится с использованием метода статистического анализа и ЭВМ.

При исследовании и промышленном внедрении предлагаемой технологии для получения изделий $D_m = 50, 100, 141, 437, 563$ мм используются вытяжные и обжимные штампы, гидропресс усилием 100 тс, и гидропресс тройного действия "Н.З.Т.С.Г." усилием 630 тс.

Экспериментальные данные приведены в виде зависимостей, параметры которых определены методом наименьших квадратов. Произведена оцен-

ка погрешности экспериментальных данных.

ГЛАВА IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ПОЛУСФЕР С ПОСТОЯННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ

Задача экспериментальных исследований состоит в проверке полученных аналитических зависимостей и разработанной методики проектирования процесса.

Сравнение расчетных зависимостей процесса обжима, полученных при численном решении с экспериментальными данными, показывает об удовлетворительной сходимости принятой математической модели с реальным процессом.

Определение усилия процесса по уравнению регрессии (9) позволяет установить, что разница числовых значений с экспериментальными данными не превышает 10%.

Эксперименты подтвердили, что максимальная величина утонения определена начальной стадией вытяжки, которая составляет 90-85 % от максимальной величины утонения вытянутой детали (табл. I). Мас-сив экспериментальных данных по утонению в начальной стадии вытяжки при различных параметрах процесса обрабатывался с использованием метода наименьших квадратов на ЭВМ. Представленные расчетные и экспериментальные данные совпадают с точностью 80%.

Таблица I

Сравнение величин утонения на начальной и
конечной стадиях вытяжки

(Материал Бр Х 08, $D_3 = 160$ мм, $\gamma_m = 5\delta_0$, $\delta_0 = 1,3$ мм;
смазка — водный 2% раствор мыла, P приж. = 500 кгс)

$\bar{\epsilon}_n$	Деформация по толщине заготовки	
	на начальной стадии вытяжки	: на конечной стадии вытяжки
I	0,085	0,097
0,6	0,043	0,0439
0,3	0,022	0,022

Проведением экспериментов в промышленных условиях выявлено также пригодность полученных результатов теоретического анализа.

Основные положения по неустойчивости формообразования заготовок с относительной толщиной $\bar{\delta} \geq 0,020$ в процессе обжима сводятся к следующему :

1. Неустойчивость наблюдается в цилиндрической части заготовки в виде резко выраженных кольцевых складок, удовлетворяющих граничным условиям (13).

2. Величина критического параметра $\bar{\delta}$ определена свойствами материала заготовки.

На основании проведенных исследований разработана методика проектирования процесса штамповки полусфер с постоянной толщиной стенки, основные положения которой заключаются в следующем :

1. Устанавливаются параметры операции вытяжки : коэффициент трения $\mu \leq 0,2$, усилие прижима из условия возможного складкообразования, механические свойства материала плоской заготовки в состоянии вытяжки (δ_8 ; $\delta_{0,2}$; δ_r), радиус сопряжения матрицы $r_m = (8-10)\delta_0$ пуансона r_n (рис.3), диаметр заготовки $D_z = (1,5 - 1,6)D_m$, величина зазора между матрицей и пуансоном, равная $1,25\delta_0$.

2. Рассчитывается величина максимальной деформации по толщине заготовки $\xi_{\delta}(8)$. Проверяется возможность операции вытяжки плоской заготовки : $\xi_{\delta} < -n$.

3. Устанавливаются параметры процесса обжима : коэффициент трения $\mu \leq 0,15$, механические свойства и по ним константы схематизированной диаграммы напряжений σ и ϵ материала исходной плоской заготовки. Ввиду относительно небольших деформаций и благоприятной схемы обжима - сжатия заготовки в полусферу формообразование целесообразно проводить в холодном состоянии.

4. Рассчитываются силовые и энергетические параметры процесса (9,10).

5. Проверяется возможность операции обжима полой цилиндрической заготовки с пном : $P < P_{kf}$ (14,15). Для повышения устойчивости обжим целесообразно производить из упрочненной после вытяжки заготовки.

Проверка основных положений разработанной методики произведена в производственных условиях на промышленных деталях $D_z = 710$ мм; $\delta_0 = 3,9$ мм; $D_z = 917$ мм, $\delta_0 = 5,5$ мм материала БрХ 08; $D_z = 225$ мм, $\delta_0 = 3$ мм материала 30 ХГСА. Замеренные величины деформаций на операциях вытяжки и обжима совпадают с расчетными (8,11) с погрешностью по 15%. Оптимальные геометрические параметры штамповой оснастки при получении полусфер с постоянной толщиной стенки совпадают со значениями, определяемыми по номограмме (рис.3).

По новой технологии отштампована партия промышленных деталей

удовлетворительного качества.

В работе предложены и опробованы способы штамповки полусфер с отбортованными люками с постоянной толщиной стенки. Способ штамповки полусфер с отбортованными наружн. люками признан изобретением.

ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

В результате анализа напряженно-деформированного состояния установлено:

1. Основным фактором, влияющим на величину деформации утолщения при обжиме, являются геометрические параметры $\bar{r}_n$, $\bar{r}_0$ поллой цилиндрической заготовки с дном. Определены максимальные значения деформации утолщения заготовки.

2. Вытяжка, определяемая коэффициентом $K = 1,5 - 1,6$, имеет две стадии: начальную и конечную. Величина максимальной деформации утонения определена начальной стадией вытяжки, которая составляет 85-90% от максимальной величины утонения вытянутой детали.

3. Условием, позволяющим штамповать полусферы с постоянной толщиной стенки (с погрешностью до 10%), является равенство нулю суммарной величины максимальных деформаций, полученных заготовкой при вытяжке и обжиме.

4. Пределные параметры процесса обжима ограничены потерей устойчивости в цилиндрической части заготовки. Определены их значения в соответствии с относительными толщинами заготовок.

5. На основании теоретического анализа разработана методика проектирования процесса штамповки полусфер с постоянной толщиной стенки, методика определения силовых и энергетических параметров, которые позволяют выбрать необходимые технологические параметры при заданных механических свойствах материала.

6. Установлена точность расчета по аналитическим зависимостям, полученным в результате теоретического анализа. Расхождение теоретических и экспериментальных данных для деформаций по толщине заготовки составляет 15%, силовых и энергетических - 10%, предельных параметров обжима - 20%.

7. Установлена практическая пригодность предлагаемой технологии, в результате ее более высоких технико-экономических показателей в сравнении с другими инструментальными способами штамповки. Экономический эффект от внедрения деталей двух типоразмеров составил 66 тыс.руб. в год.

8. Предложены и опробованы способы штамповки полусфер с отбортованными внутрь и наружу локсами с постоянной толщиной стенки.

Основные положения диссертации изложены в работах:

1. Чистяков В.П., Попов И.П. Штамповка сферических днищ без утонения стенки, XXIX научно-техническая конференция. Материалы докладов, КуИСи, Куйбышев, 1972, 106 с.

2. Чистяков В.П., Попов И.П. Исследование процесса штамповки полусфер. Материалы научно-технической конференции, КуАИ, Куйбышев, 1972, 357-359 с.

3. Попов И.П. Исследование силовых параметров процесса калибровки полусфер. Сб. "Стали и сплавы цветных металлов", Куйбышев, КуАИ, 1974, 46-52 с.

4. Попов И.П. Экспериментальное исследование вытяжки титановых сплавов при коэффициенте вытяжки $m = 0,62$. Сб. "Стали и сплавы цветных металлов", Куйбышев, КуАИ, 1974, 57-61 с.

5. Попов И.П. Влияние коэффициента трения на процесс осадки тонкостенной трубы в жестком контейнере. Сб. "Теория и технология обработки металлов давлением", Куйбышев, КуАИ, 1975, 65 - 68 с.

6. Овчинников А.Г., Чистяков В.П., Попов И.П. Штамповки полусфер без утонения стенки. Сб. "Машины и технология обработки металлов давлением". Труды МВТУ, №229, 1976, 60 - 64 с.