

М463419

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

"Для служебного пользования"

Экз. №1

УДК 621.73.043

Блинов Михаил Владимирович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ШТАМПОВКИ ПОКОВОК С ПЛОСКИМИ СИММЕТРИЧНЫМИ ФЛАНЦАМИ
П-УГОЛЬНОЙ ФОРМЫ РАДИАЛЬНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ В
ЗАКРЫТЫХ ШТАМПАХ

05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1987

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

Научный руководитель - к.т.н., доцент Кондратенко В.Г.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Турин В.А.
к.т.н. Сопочкин С.А.

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного

совета
Защита состоится "14" октября 1987 г. в 14.30 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 одном экземпляре, заверенный печатью,
просим высылать по указанному адресу.

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

Желающие присутствовать на защите
заблаговременно известить
организаций на имя

Телефон для

Автореферат разослан

Ученый секретарь
Совета доктор технических наук
профессор

Подп. и печ. 20.08.87

Типография МВТУ им.

М463419

Актуальность проблемы. Важнейшей проблемой народного хозяйства является повышение эффективности производства за счет увеличения производительности труда, экономии материалов и материальных ресурсов. В основных направлениях экономического и социального развития СССР с 1986-1990 гг. и на период до 2000 года, принятых на XXУП съезде КПСС, признано необходимым "...активнее использовать наиболее экономичные способы обработки, где это возможно проводить замену технологических процессов, основанных на резании металла на ресурсосберегающие методы формообразования".

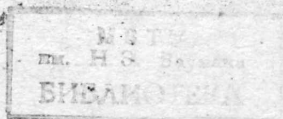
За 12 пятилетку намечено обеспечить экономию проката черных металлов в количестве 12-14 млн. тонн. Тем самым, на данном этапе развития производственной базы целесообразно внедрение в производство таких технологических процессов, которые позволяют приблизить форму поковки к форме получаемой детали, избежать потери металла на заусенец и сократить величины допусков и напусков. К таким процессам, в первую очередь, следует отнести штамповку в закрытых штампах.

Параллельно с решением проблемы экономии металла при использовании процессов штамповки в закрытых штампах возможно решение и другой проблемы - повышение производительности труда за счет уменьшения количества переходов штамповки и дополнительное снижение трудозатрат в результате уменьшения объема последующей механообработки. Сокращение количества переходов может быть достигнуто за счет увеличения предельных степеней деформации, так как данный процесс протекает в условиях благоприятной схемы неравномерного трехосного сжатия.

Успешное решение поставленных XXУП съездом КПСС задач связано с правильной оценкой путей совершенствования прогрессивных технологических процессов, что невозможно без изучения и развития теории их расчета. В этой связи большой научный и практический интерес представляет процесс штамповки радиальным выдавливанием в закрытых штампах.

В данной работе рассматривается процесс получения деталей, имеющих одну или две ступицы, и плоский фланец в виде правильного N-угольника. Этот тип деталей получил большое распространение на предприятиях, относящихся к авиационной, авто-тракторной и другим отраслям промышленности.

Наибольший практический интерес в исследуемом технологи-



ческом процессе представляют определение энерго-силовых параметров по ходу деформирования, а также влияние геометрии инструмента и соотношений размеров выдавливаемого фланца на характер формоизменения заготовки.

В настоящее время с началом выпуска отечественного специализированного оборудования - прессов двойного действия - доля деталей, получаемых с использованием технологических процессов штамповки радиальным выдавливанием, будет неуклонно возрастать.

Данные исследования помогут определить основные технологические параметры процессов штамповки в закрытых штампах радиальным выдавливанием и создать на основе этого методику расчета и проектирования деталей с плоскими фланцами π -угольной формы.

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка научно-обоснованной методики расчета и проектирования технологических процессов штамповки деталей с фланцами π -угольной формы радиальным выдавливанием в закрытых штампах.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать закономерности течения материала при штамповке деталей с фланцами π -угольной формы.

2. Создать математическую модель процесса радиального выдавливания с учетом статических и кинематических граничных условий для различных этапов процесса деформирования.

3. Провести теоретическое исследование напряженного состояния заготовки на различных этапах процесса деформирования и определить влияние геометрических размеров поковки на энерго-силовые параметры штамповки в закрытых штампах.

4. Провести опытно-промышленную апробацию технологического процесса штамповки радиальным выдавливанием деталей с фланцами различной формы из различных материалов на винтовых и кривошипных прессах двойного действия в условиях действующего производства.

Научная новизна. Разработана научно-обоснованная методика проектирования технологических процессов штамповки радиальным выдавливанием поволоков с фланцами π -угольной формы.

Полученные теоретические зависимости, позволяющие определить напряженное состояние в заготовке по всему объему нестационарного очага пластической деформации с учетом нелинейного распределения скоростей в пластической области.

Предложены выражения для определения энерго-силовых параметров процесса, учитывающие влияние формы и геометрических размеров выдавливаемого фланца.

Автор защищает:

- математические модели, описывающие процесс формоизменения при радиальном выдавливании Γ -угольных фланцев на различных этапах деформирования;
- аналитические зависимости для расчета напряженного состояния и определения энерго-силовых параметров процесса;
- зависимости, полученные на основе обработки экспериментальных данных, описывающие форму и размеры выдавливаемого фланца на этапе свободного истечения;
- методику проектирования технологических процессов штамповки радиальным выдавливанием деталей с Γ -угольным фланцем.

Достоверность результатов в ходе проведенных исследований подтверждается удовлетворительной сходимостью полученных теоретических и экспериментальных данных (в пределах 20%). Результаты исследований, при проведении экспериментов, получены с использованием современных приборов и средств измерений.

Практическая ценность. Предложенная методика дает возможность производить выбор технологического оборудования по усилию и работе деформирования для штамповки поковок с Γ -угольными фланцами в закрытых штампах радиальным выдавливанием.

Рекомендации, полученные на основе выполненных исследований, позволяют проектировать малоотходные технологические процессы получения широкой номенклатуры изделий и штамповую оснастку для их осуществления, а также могут быть использованы для выбора параметров вновь проектируемого кузнечно-прессового оборудования - прессов двойного действия.

Реализация работы в промышленности. В ходе разработки технологического процесса штамповки радиальным выдавливанием были получены опытно-промышленные партии деталей из стали и сплавов алюминия в условиях действующего производства на специализированном оборудовании: винтовых и кривошипных прессах двойного действия. Данные, полученные в результате проведенных исследований, были использованы при проектировании техпроцесса и оснастки пяти типоразмеров деталей на ЛКМЗ им.60-летия СССР. Экономия материала за год составила 251 т. Экономический эффект, полученный за счет экономии материала, составил 35 тыс.руб. Ожидаемый эконо-

мический эффект, рассчитанный на основании данных, полученных от результатов внедрения опытно-промышленных серий поковок для АВТОЗИЛ и п/я В-2098, составит 45293 руб.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на республиканских научно-технических конференциях в г.Ереване (1979г.), г.Кишиневе (1984г.), на отраслевом научно-практическом семинаре в г.Свердловске (1980г.), на научно-технических конференциях и семинарах в МДНТ им.Ф.Э.Дзержинского (1986г., 1987г.), в г.Челябинске (1985г.), г.Ярославле (1983г.), на научных семинарах кафедры АМ6 МВТУ им.Н.Э.Баумана (1982-1985 гг.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 132 страницах машинописного текста. Она состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа содержит 68 рисунков, 3 таблицы, список литературы из 100 наименований.

В первой главе приводится обзор работ, выполненный по литературным источникам и посвященный исследованию процессов штамповки выдавливанием в закрытых штампах. Анализируются преимущества и недостатки использования отдельных схем деформирования для получения деталей с фланцами и отrostками различной конфигурации. Приводится сравнительный анализ использования различных методов решения технологических задач, которые обосновывают выбор методики для исследования напряженного состояния при получении фланцев Γ -угольной формы.

На основе анализа теоретических и экспериментальных работ, выполненных советскими и зарубежными учеными такими как Овчинников А.Г., Поляков И.С., Шубин И.Н., Кузнецов А.В., Алиев И.С., Кондратенко В.Г., коллективами авторов НИИ тракторсельхозмаша, НИИ автопрома, ЭНИОмаша, Пью Х., Коган Р. и др.; занимавшихся процессами бокового и радиального выдавливания, а также их сочетаниями с другими видами штамповки по определению напряженно-деформированного состояния показано, что их результаты касались, в основном, деталей типа стержень с отrostками и шестерен с плоским и сложным венцом.

С началом выпуска отечественных специализированных машин, прессов двойного действия, предназначенных для штамповки в зак-

рых штампах, становится возможным перевод все большего числа деталей на штамповку с использованием радиального выдавливания. Поэтому, рассматриваемый в данной работе тип деталей - стержень с плоским фланцем, имеющим в плане одну или несколько осей симметрии, представляющих большой класс деталей, может быть переведен на штамповку в закрытых штампах с использованием радиального выдавливания.

В этой же главе анализируются различные экспериментальные методы исследования напряженно-деформированного состояния и силовых характеристик, которые могут быть использованы для изучения процесса радиального выдавливания. Приводится обоснование выбранного экспериментального метода для изучения энерго-силовых характеристик процесса. Рассматриваются и анализируются различные типы конструкций экспериментальной штамповой оснастки и типы специализированного кузнечно-прессового оборудования, используемого для получения деталей с фланцами и отрезками различных видов.

На основании проведенного литературного обзора, который показал перспективность использования процесса радиального выдавливания для получения деталей различной конфигурации, установлено, что практически отсутствуют рекомендации по разработке технологических процессов получения фланцев в виде правильных Γ -угольников.

В конце главы сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе представлена методика определения напряженного состояния в очаге пластической деформации при выдавливании фланцев в виде правильных Γ -угольников. Полученные соотношения по определению напряженного состояния, согласно методике, позволяют определить силовые характеристики процесса и работу деформирования на различных этапах течения металла во фланец. Анализ полученных формул позволяет выделить основные параметры (N_p/d , $D_{\text{фл}}/d$), влияющие на энерго-силовые характеристики прессы. Весь процесс деформирования заготовки разбивается на характерные этапы.

Первый и второй этапы деформирования - свободная и стесненная осадка заготовки в контейнере. Время протекания этих этапов деформирования непродолжительно. Если на первом этапе условия деформации принимаются как при осадке цилиндрического образца, то на втором этапе за счет изменения условий трения

на боковой поверхности деформируемой заготовки происходит перераспределение застойных зон и зон интенсивного течения. Торможение металла по стенкам контейнера приводит к быстрой локализации очагов пластической деформации около свободных поверхностей. При этом на диаграмме усилие-ход не наблюдается точек пеллегов, а идет возрастание усилия до конца второго этапа, связанного с постоянным увеличением силы трения между заготовкой и контейнером. Несмотря на то, что энергетические затраты на первых двух этапах незначительны по сравнению с последующей штамповкой важно определить энерго-силовые параметры каждого этапа, так как они оказывают влияние на последующий характер формоизменения.

В работах советских ученых Сторожева М.В., Охрименко Я.М., Туркина В.А. и др. эти этапы деформирования хорошо изучены, поэтому в данной работе приводится упрощенный анализ процесса. Получены формулы для определения усилия в начале и конце первого и второго этапов деформирования.

$$\text{Первый этап} \quad P_{10} = \frac{\pi d_0^2}{4} G_s; \quad (1)$$

$$P_{1K} = \frac{\pi d_1^2}{4} \frac{h_2}{h_1} G_s. \quad (2)$$

Второй этап

$$P_{2K} = \frac{\pi d_2^2}{4} G_s \frac{h_2 - h_n}{h_2 - h_n - \Delta h_{1-2}} + \pi d_2 \mu G_s (h_2 - h_n - N_\Phi - \Delta h_{1-2}). \quad (3)$$

Приведенные соотношения усилия штамповки позволяют определить работу деформирования на первом и втором этапах

$$A_{1-2} = \frac{\pi d_2 G_s \Delta h_{1-2}}{2} \left[\frac{d_2}{4} (0,67 + \frac{h_2}{h_n}) + 0,33 \frac{h_2 - h_n}{h_2 - h_n - \Delta h_{1-2}} + \sqrt{\frac{h_2 - h_n}{h_2 - h_n - \Delta h_{1-2}}} \mu (h_2 - h_n - N_\Phi - \Delta h_{1-2}) \right]. \quad (4)$$

Начало третьего этапа деформирования характеризуется окончательной локализацией очага деформации и началом радиального течения осесимметричного фланца. На этом этапе очаг пластической деформации будет псевдостационарным, течение металла в центральной зоне является установившимся, а течение металла в периферийной зоне (во фланце) будет не установившимся. Исследования показали, что на третьем этапе фланец приобретает сложную форму в виде усеченного конуса, сопряженного с цилиндром в основании, что происходит в основном за счет двух факторов:

I. В момент образования фланца, при наличии нижней ступицы, существует сила, действующая на его опорную поверхность со стороны нижней плоскости штампа. При этом будет происходить как бы "проседание" центральной части поковки и пластическое тече-

ние металла во фланец.

2. Металл из приемника, расположенного под фланцем, поступает во фланец только сверху. При этом его течение можно считать происходящим по нормали к контуру застойной зоны, образующейся в начальный момент деформации.

В зависимости от формы и размеров выдавливаемого фланца третий этап деформирования может быть одним из самых энергоемких.

Получена качественная картина влияния такого явления как "проседание" центральной части заготовки на характер формоизменения, которое связано с наличием скосов на торце заготовки. Получены зависимости, позволяющие определить текущий диаметр, возникающий от действия силы реакции дна полости, а также получить зависимости изменения диаметра фланца от влияния таких факторов как высота выдавливаемого фланца и диаметров верхнего и нижнего контейнера. Дана приближенная оценка перемещения центральной части заготовки относительно фланца.

Очаг* пластической деформации разбивается на пять участков. Участки четыре и пять являются жесткими. Первый участок можно рассматривать как цилиндр, который деформируется с подпором со стороны участков два и два штрих, которые в свою очередь могут рассматриваться как труба, деформируемая под действием внутреннего давления. В результате проведенного исследования напряженного состояния определяем удельное усилие деформирования

$$p_s = G_s \left[1 + \frac{d_s}{6H_p} + \frac{G_{p-p}}{G_s} + \frac{4\mu(h_s - \Delta h)}{d_s} \right]. \quad (5)$$

Значение работы деформирования на любом ходе пуансона третьего этапа можно получить, интегрируя выражение удельного усилия и умножая его на площадь пуансона

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4} \int_{h_1}^{h_2} p_s dh. \quad (6)$$

Заканчивается третий этап деформирования в момент касания выдавливаемого фланца боковой стенкой полости.

Четвертый этап начинается с момента касания выдавливаемого фланца боковой поверхности вертикальных стенок штампа и завершается в момент полного заполнения металлом полости штампа. На этом этапе теоретический анализ процесса штамповки сводится к анализу течения металла в сходящийся канал, образуемый двумя боковыми сторонами фланца.

Для определения компонентов тензора напряжений и скорос-

тей деформации используется методика, разработанная А.Г.Овчинниковым, которая включает в себя следующие этапы: очаг деформации разбивается на несколько зон, с учетом применения в них гипотезы плоских сечений. Скорость течения металла в направлении одной оси задается в общем виде. Решая уравнение с учетом условия постоянства объема определяем скорости течения в направлении других координат. Получив значения скоростей деформаций подставляем их в уравнения связи напряжений со скоростями деформаций. Полученные выражения подставляем в уравнение равновесия, интегрируя которые определим напряженное состояние. Все линейные размеры, для удобства вычислений, отнесены к радиусу контейнера, все значения напряжений отнесены к напряжению текучести σ_s материала поковки, а все скорости - к скорости движения пуансона. При этом заготовку разбивают на пять зон, три из которых (первая, вторая и третья) представляют собой очаг пластической деформации, а две - четвертая и пятая, находящиеся в полости верхнего и нижнего контейнера, в процессе деформации рассматриваются как жесткие.

Первая зона расположена непосредственно между жесткими зонами, четыре и пять в центре полости фланца и принимается как цилиндр, который в процессе выдавливания не изменяет свою форму.

Скорость течения частиц металла задаем в общем виде

$$V_z = -A \cdot \varphi(z); \quad V_r = \frac{1}{2} r A \varphi'(z) \quad (7)$$

Данные выражения удовлетворяют граничным условиям $V_z = -1$, $z = H_{\text{ф}}$; $V_z = 0$; $z = 0$.

Постоянная A и функция $\varphi(z)$ определяется в случае необходимости из последующих преобразований. Согласно изложенной выше методике получим следующее выражение:

$$\sigma_{z,1} = \frac{r^2}{2 H_{\text{ф}}} - \frac{1}{2 H_{\text{ф}}} + \sigma_{\text{ср}}. \quad (8)$$

Неизвестное $\sigma_{\text{ср}}$, действующее на границе первой и второй зон, определяем из условия равенства в интегральной форме, составляющей от радиального напряжения во второй зоне

$$\int_{F_{1,2}} \sigma_{r,2} dF_{1,2} = \sigma_{\text{ср}}.$$

Для определения напряжений, действующих во второй зоне, принимаются следующие допущения:

1. Схема деформированного состояния принимается плоской, деформация по оси z отсутствует.

2. Трение на контактных поверхностях равно 0.

3. Касательное напряжение τ_{θ_2} зависит только от θ .

Решая совместно уравнения равновесия и условие пластичности, получим значения напряжений во второй зоне. Решение проводится в параметрическом виде, принимая

$$\bar{\tau}_{\theta_2} = k \sin 2\psi, \quad \bar{\sigma}_{\theta_2} - \bar{\sigma}_{\sigma_2} = 2k \cos 2\psi. \quad (9)$$

Параметр ψ зависит только от угла θ . Условие пластичности удовлетворяется тождественно. После преобразований получим выражение, определяющее зависимость угла θ от параметра ψ . Полагая, что на осях симметрии касательные напряжения $\tau_{\theta_2} = 0$, выберем граничные условия, удовлетворяющие начальным условиям, и определим значения постоянных интегрирования. Граничные условия запишутся так:

для трехугольных	$\theta = 0, \quad \psi = 0, \quad \theta = \pi/3, \quad \psi = \pi/2;$
четыреугольных	$\theta = 0, \quad \psi = 0, \quad \theta = \pi/4, \quad \psi = \pi/2;$
шестиугольных	$\theta = 0, \quad \psi = 0, \quad \theta = \pi/6, \quad \psi = \pi/2.$

После преобразований получим выражения напряжений для второй зоны

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{r_2} &= -k [c_2 \ln(c_2 - \cos 2\psi) - c_2 - \cos 2\psi - 2c_2 \ln r - 2c_3]; \\ \bar{\sigma}_{\theta_2} &= -k [c_2 \ln(c_2 - \cos 2\psi) - c_2 + \cos 2\psi + 2c_2 \ln r - 2c_3]. \end{aligned} \quad (10)$$

В уравнениях неизвестной является постоянная c_3 , которая определяется из равенства в интегральной форме радиального напряжения во второй зоне и нормального напряжения в третьей зоне

$$\int_r \bar{\sigma}_{r_2} dF_2 = \int_r \bar{\sigma}_{n_3} dF_3.$$

Анализ напряженного состояния в зоне три проводится в полярной системе координат с полюсом при вершине n -угольника. Для анализа третьей зоны принимаем следующие допущения:

1. Течение металла в сходящийся призматический канал принимается происходящим в условиях плоской деформации.

2. Трение на боковой поверхности принимается максимальным $\tau = k$.

3. При течении металла во фланец перед окончательным выполнением сходящегося канала в угловой части остается свободная поверхность. Решение проводится по методике, принятой для второй зоны. Постоянные определяем, используя граничные условия

для трехугольных	$\psi = 0, \quad \phi = 0, \quad \psi = \pi/6, \quad \phi = \pi/4.$
четыреугольных	$\psi = 0, \quad \phi = 0, \quad \psi = \pi/4, \quad \phi = \pi/4.$
шестиугольных	$\psi = 0, \quad \phi = 0, \quad \psi = \pi/3, \quad \phi = \pi/4.$

Напряжения для третьей зоны запишутся

$$\bar{\sigma}_{r_3} = -k [c_s \ln(c_s - \cos 2\varphi) - c_s + 2c_s \ln r - \cos 2\varphi - 2c_s]; \quad (11)$$

$$\bar{\sigma}_{\varphi_3} = -k [c_s \ln(c_s - \cos 2\varphi) - c_s + 2c_s \ln r + \cos 2\varphi - 2c_s].$$

Постоянную c_s определим из равенства $\bar{\sigma}_{r_{c_6}} = 0$ в интегральной форме

$$\int_r \bar{\sigma}_{r_{c_6}} dF = 0.$$

Выражения для определения постоянных c_s и c_θ приводятся в тексте диссертации.

Таким образом определяются поля напряжений во всех зонах. Соблюдение граничных условий в интегральной форме вполне допустимо, что обосновывается в работах советских ученых.

Усилие деформирования можно представить в виде

$$P_{\text{дк}} = P_1 + P_2, \quad (12)$$

где P_1 - усилие, требуемое для деформирования металла;

P_2 - усилие, затрачиваемое на преодоление сил трения.

Для определения усилия штамповки проинтегрируем по площади полученное выражение $\bar{\sigma}_{r_1}$, полагая, что $z = H_{\text{оп}}$

$$P_1 = \frac{\pi \bar{\sigma}^2}{2} \bar{\sigma}_1 \int_0^1 \bar{\sigma}_{r_1} r dr; \quad (13)$$

$$P_2 = \mu \pi \bar{\sigma}_1 \bar{\sigma} h_s. \quad (14)$$

где μ - коэффициент трения в контейнере.

Общее усилие распора запишется

$$P_{\text{расп}} = P_3 + P_2, \quad (15)$$

где P_3 - сумма усилий, действующих во второй и третьей зоне;

P_2 - трение в контейнере.

Так как фланец разбивается на две зоны, то

$$P_3 = \int_{r_2} \bar{\sigma}_{r_2} dF_2 + \int_{r_3} \bar{\sigma}_{r_3} dF_3. \quad (16)$$

Откуда

$$\bar{\sigma}_{r_2} = \frac{\bar{\sigma}_{r_2} + \bar{\sigma}_{\theta_2}}{2}, \quad (17)$$

$$\sigma_{\theta 3} = \frac{\sigma_{r3} \cdot \sigma_{\phi 3}}{2}$$

(18)

Значения радиальных и тангенциальных напряжений для зон 2 и 3 находятся из IО и II.

Трение в контейнере определяем по формуле I4.

По итогам экспериментального и теоретического исследования составлена программа на ЭВМ СМ-3, которая позволяет определить усилие штамповки и усилие распора при выдавливании фланцев различной формы и геометрических размеров, изменяя при этом коэффициент трения и предел текучести.

В третьей главе представлена методика экспериментального исследования процесса штамповки радиальным выдавливанием n -угольных фланцев. Согласно методике определены основные варьируемые параметры (N_{ϕ} / d ; $D_{\phi n} / d$; n) и их влияние на энерго-силовые характеристики штамповки. В качестве основного материала в экспериментах использовался свинец. Кроме того, для изучения кинематики течения применялся алюминевый сплав АД1. При проведении экспериментов по оценке сил контактного трения использовались такие смазки как графит в смеси с минеральным маслом, ЦИАТИ, смесь дисульфида молибдена и минерального масла. Для определения энерго-силовых параметров использовался метод тензометрирования, а метод координатной сетки - для определения формы и размеров очага пластической деформации. При определении верхней и нижней границы очага деформации применялась методика, предложенная Семеновым Е.И., в которой использовались составные свинцовые образцы с нанесенной координатной ортогональной сеткой. Для исключения возможности раскрытия стыка образцы до деформации сплавлялись. Выдавливание осуществлялось в специальной штамповой оснастке с использованием комплекта матриц с варьируемым соотношением N_{ϕ} / d . Граница очага деформации находилась по точкам перегиба вертикального семейства линий координатной сетки. Практический интерес представляет задача по определению размеров фланца на промежуточных этапах формоизменения, которая решалась экспериментальным путем. Получены уравнения, которые позволяют определить размеры заготовки в зависимости от перемещения пуансона, как функцию от относительной высоты полости под фланец. Составлена методика по оп-

ределению влияния геометрических размеров и формы выдавливаемого фланца на силовые параметры процесса. Определение распорных усилий осуществлялось с помощью динамометрических болтов с наклеенными на них тензодатчиками. В качестве регистрирующей аппаратуры использовали усилитель 8АИИ-7М, осциллограф К12-22. Измерения линейных размеров проводили с помощью инструментального микроскопа с ценой деления 0,001 микрометра, используемое оборудование УИМ-50, УИМ-100.

Эксперименты показали, что в процессе выдавливания фланцев π -угольной формы наиболее интенсивной деформации подвергается центральная часть поковки. Это объясняется тем, что полость из верхней ступицы смещает уже выдавленный металл к нижней границе очага деформации. Периферийные слои металла деформируются в радиальном направлении. Установлено, что при соотношении размеров $H_{\text{ф}}/d \geq 0,27$ границы очага деформации двояковогнутые, а при $H_{\text{ф}}/d \leq 0,23$ - двояковыпуклые. При соотношениях $0,23 < H_{\text{ф}}/d < 0,27$ очаг принимает форму цилиндра и его границы становятся плоскими. Форма очага учитывается размером h_0 , характеризующим величину выпуклости (вогнутости) границ. По результатам эксперимента получена графическая зависимость изменения $h_0/H_{\text{ф}}$. Подтверждена применимость расчетной модели с прямолинейными границами очага деформации, так как детали с фланцами, имеющие соотношение размеров $H_{\text{ф}}/d \geq 0,23$, получили наибольшее распространение в промышленности.

Из экспериментальных данных были получены аналитические зависимости, характеризующие изменение формы фланца в процессе деформирования

$$\begin{aligned} k &= 1 - \alpha_1 \frac{\Delta h}{d}; \\ \alpha &= \frac{\alpha_2}{\frac{\Delta h}{d}} + \beta_2; \\ h_1 &= \alpha_3 \frac{d^2}{\Delta h} + \beta_3 \cdot d. \end{aligned} \quad (20)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_2, \beta_3$ - коэффициенты, которые являются функцией отношения $H_{\text{ф}}/d$ и определялись с помощью метода наименьших квадратов

$$\alpha_1 = 0,4 \left(\frac{H_{\text{ф}}}{d} \right)^2 + 0,41 \frac{H_{\text{ф}}}{d} - 0,053;$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= 0,268 \left(\frac{H_{\text{сп}}}{d} \right)^2 + 0,295 \frac{H_{\text{сп}}}{d} - 0,05; \\
 \beta_2 &= 1,9 \left(\frac{H_{\text{сп}}}{d} \right)^2 - 1,14 \frac{H_{\text{сп}}}{d} + 0,367; \\
 \alpha_3 &= 2,05 \left(\frac{H_{\text{сп}}}{d} \right)^2 - 1,653 \frac{H_{\text{сп}}}{d} - 0,4075; \\
 \beta_3 &= -4,34 \left(\frac{H_{\text{сп}}}{d} \right)^2 + 4,783 \frac{H_{\text{сп}}}{d} + 0,9905.
 \end{aligned}
 \tag{2I}$$

Подставляя в полученные зависимости (20) вычисленные коэффициенты (2I), получим геометрические размеры выдавливаемого фланца на различных этапах деформирования.

Исследуя характер протекания процесса радиального выдавливания, необходимо провести анализ влияния различных факторов на силовые характеристики процесса. Для этого было проведено несколько серий опытов, где варьируемыми параметрами были форма выдавливаемого фланца (исследовались три основных вида трех-, четырех- и шестиугольник), геометрические размеры фланца ($H_{\text{сп}}/d$, $D_{\text{вн}}/d$), высота заготовки (h_3). Получена сравнительная характеристика влияния перечисленных факторов на усилие деформирования и усилие распора при одностороннем радиальном выдавливании.

В четвертой главе приводится методике проектирования технологического процесса штамповки деталей с Π -угольными фланцами радиальным выдавливанием, в которой, наряду с расчетом энерго-силовых параметров процесса, даны рекомендации: по выбору технологической схемы штамповки, составлению чертежа поковки, выбору размеров заготовки. Результаты штамповки опытно-промышленных партий в горячем состоянии показали хорошее совпадение с данными, полученными теоретическим и экспериментальным путем. Приводятся примеры по промышленному опробованию методики проектирования процесса штамповки на кривошипном прессе двойного действия усилием 5х3,15 мн пяти типоразмеров стальных деталей, а также применение полученных рекомендаций при технологическом испытании модернизированных винтовых прессов двойного действия ФА1732 и Ф1730А с номинальным усилием соответственно 1,6 и 1 мн. Получены опытные партии деталей 2I наименования. Экономический эффект от внедрения разработок составил 35 тыс.рублей. Предполагаемый эффект составит 45293 рубля.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложены схематизации процесса, которые позволяют создать математические модели с учетом статических и кинематических граничных условий, учитывая при этом особенности течения металла при штамповке деталей с фланцами Γ -угольной формы радиальным выдавливанием в закрытых штампах.

2. В результате проведенных исследований установлено, что основными параметрами процесса, определяющими кинематику течения металла и напряжению - деформированное состояние поковки, являются относительные высота полости фланца и диаметр вписанной окружности, а также число сторон выдавливаемого фланца. Полученные данные позволили определить влияние этих геометрических размеров и формы получаемого фланца на силовые характеристики процесса.

3. В результате исследований получены данные, показывающие, что с изменением геометрических размеров выдавливаемого фланца изменяется форма и размеры очага пластической деформации. Проведенный анализ существующей номенклатуры поковок позволил сделать выбор схемы процесса и определить напряженное состояние поковки.

4. Исследованное теоретически напряженное состояние поковки, позволило получить аналитические выражения, которые учитывают влияние формы геометрических размеров фланца, величину коэффициента контактного трения, а также значение предела текучести исходного материала на энерго-силовые параметры процесса, используя которые можно выбрать технологическое оборудование и получить исходные данные для расчета инструмента на прочность.

5. Созданная модель процесса и проведение экспериментально-теоретического исследования позволили разработать методику проектирования технологического процесса штамповки выдавливанием фланцев Γ -угольной формы и дать рекомендации по выбору технологической схемы штамповки, составлению чертежа поковок, выбору размеров заготовки, а также рассмотреть конструктивные особенности штамповой оснастки, применяемой на специализированном оборудовании прессах двойного действия. Данная методика позволяет определить силовые и энергетические параметры процесса на различных этапах деформирования. Сравнение результатов эксперимента с проведенными теоретическими исследованиями по-

казало их удовлетворительную сходимость (погрешность в пределах 20%), что подтверждает возможность использования данной методики для анализа технологического процесса.

6. Технологический процесс радиального выдавливания с использованием специализированного оборудования опробован в условиях действующего производства. На ЛКМЗ им. 60-летия СССР внедрены в производство рекомендации по проектированию процесса радиального выдавливания в закрытых штампах на КИШ К 8637 двойного действия. Экономический эффект от внедрения разработок составил 35 тыс.руб. На ММЗ "Знамя Революции" получены опытные партии поковок на разработанной штамповой оснастке двадцати наименований деталей из алюминиевых сплавов. Разработана оснастка для штамповки корпуса электрического разъема из стали 45 для предприятия п/я В-2098 на модернизированном прессе Ф1730А. Ожидаемый экономический эффект от внедрения одного наименования составит 13180 руб.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Кондратенко В.Г., Блинов М.В., Илинич М.А. Штамповка деталей в закрытых штампах с элементами выдавливания. // Высокопроизводительные металлосберегающие процессы обработки металлов: Тез. докл. республиканской науч.-технич.конференции. - Кинешев, 1984. - С.61-63.

2. Технологические процессы изготовления поковок с фланцами на прессах для штамповки в разъемных матрицах. / В.Г.Кондратенко, М.В.Блинов, М.А.Илинич и др. // Кузнечно-штамп.произ-во. - 1985. - № 4. - С.11-14.

3. Кондратенко В.Г., Илинич М.А., Блинов М.В. Исследование напряженного состояния при штамповке деталей со сферическими утолщениями односторонним радиальным выдавливанием. // Труды МВТУ. - № 1985. - № 441. - С.46-52.

4. Кондратенко В.Г., Блинов М.В., Илинич М.А. Разработка и освоение технологических процессов горячей штамповки выдавливанием на прессах двойного действия. // Прогрессивные технологические процессы, средства автоматизации объемной и листовой штамповки: Материалы всесоюзного семинара. - М.: МДНТП, 1986. - С.41-45.

5. Исследование напряженно-деформированного состояния в закрытых штампах с выдавливанием в кольцевую полость. /В.Г.Кон-

дрятенко, Ф.С.Абдуллаев, М.В.Блинов и др. // Прогрессивные и методы обработки металлов давлением: Тез.докл.республиканской научн.-техн.конференции. - Ереван, 1979. - С.43-44.

6. Определение формы заготовки при штамповке. / В.Г.Кондрятенко, Ф.С.Абдуллаев, А.И.Кузьмин, М.В.Блинов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 1979. - № 8. - С.121-123.

7. Штамповка шестерен в закрытых штампах. / В.Г.Кондрятенко, М.В.Блинов, Д.А.Илинич и др. // Технология машиностроения для легкой и пищевой промышленности и бытовых приборов: Научн.-технич.реферативный сборник. - М.: ЦНИИТЭИлегпищемаша, 1982. - Вып.8. - С.4-6.

