

М489898

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

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

На правах рукописи
УДК 621.983.044

РОЗОВ Юрий Георгиевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ
ПЛОСКИХ ФЛАНЦЕВ ИЗ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК С СОВМЕ-
ЩЕНИЕМ ОПЕРАЦИЙ ОБЖИМА И РАЗДАЧИ

Специальность 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 - 1989

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

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Кондратенко В.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Исаченков Е.И.

кандидат технических наук
Дегтярев Г.М.

Ведущее предприятие - ЦНИТИ

на
ско
107

про

им.

Авто

Учен
канд

Под
Тип

14 ³⁰
час

13 в Москов-
по адресу:

ать,

ке МВТУ

M489898

Н.Шубин

6Тир.100экз.

Актуальность проблемы. Детали типа плоских фланцев являются одними из наиболее распространенных в современном машиностроении. Существующие в настоящее время традиционные способы их изготовления (вырубка из листа, объемная штамповка, точение из прутка и поковок и др.) требуют больших трудо- и энергозатрат и характеризуются низким коэффициентом использования материала (КИМ). Использование цилиндрической трубной заготовки позволяет существенно повысить КИМ и сократить трудоемкость получения таких деталей.

В этой связи большой практический интерес представляет процесс получения плоских фланцев, основанный на совмещении операций обжима и раздачи трубных заготовок, обеспечивающий значительную экономию металла, высокую точность размеров готовых изделий, снижение объема последующей механообработки и т.д. Однако внедрение данного процесса в производство сдерживается отсутствием общепринятой технологической методики, а имеющиеся в литературе рекомендации носят упрощенный и общий характер.

Таким образом, создание научно-обоснованных методик расчета подобных процессов является актуальной задачей и определяет необходимость исследований, направленных на совершенствование расчета технологических параметров совмещенных процессов деформирования трубных заготовок.

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка и освоение в промышленных условиях технологических процессов горячей штамповки трубных заготовок, обеспечивающих значительное повышение КИМ и снижение трудоемкости изготовления плоских фланцев, создание научно-обоснованных рекомендаций по расчету параметров формоизменения на основании теоретических и экспериментальных исследований двухпереходного процесса деформирования с совмещением операций обжима и раздачи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ напряженного состояния трубной заготовки на каждом переходе процесса при различных схемах деформирования с учетом влияния основных факторов, присущих реальным условиям горячего деформирования.
2. Исследовать закономерности формоизменения совмещенного



процесса обжима-раздачи при свободной схеме деформирования (без ограничения одной из операций) и, на основании этого, определить соотношения коэффициентов обжима и раздачи, а также размеров очагов пластической деформации этих операций.

3. Определить закономерности изменения длины образующей заготовки при обжиме и раздаче и их совместном протекании для различных схем деформирования.

4. Провести экспериментальные исследования двухпереходного процесса горячей штамповки плоских фланцев из трубных заготовок с целью проверки достоверности результатов теоретического анализа и разработки рекомендаций по выбору оптимальных параметров процесса.

5. На базе теоретических и экспериментальных исследований определить возможную область использования рассматриваемого процесса и разработать научно-обоснованную методику проектирования технологических процессов горячей штамповки плоских фланцев из трубных заготовок.

6. Опробовать в промышленных условиях технологические процессы горячей штамповки плоских фланцев из трубных заготовок.

Научная новизна работы заключается в разработке методики проектирования с обоснованием возможной области применения двухпереходных технологических процессов горячей штамповки плоских фланцев из трубных заготовок с совмещением операций обжима и раздачи на основании полученных аналитических зависимостей по расчету параметров формоизменения заготовок при различных схемах деформирования на каждом переходе штамповки.

Автор защищает:

- результаты анализа напряженного состояния заготовки при различных схемах горячего деформирования на каждом переходе штамповки;

- аналитические зависимости, выражающие соотношение коэффициентов обжима и раздачи в совмещенном процессе деформирования без ограничения одной из операций;

- аналитические зависимости, выражающие соотношение размеров зон обжима и раздачи от коэффициентов формоизменения в совмещенном процессе деформирования без ограничения одной из операций;

- аналитические зависимости по расчету изменения длины образующей заготовки в операциях обжима и раздачи и их совмест-

ном протекании при различных схемах деформирования; условие постоянства длины образующей в совмещенном процессе обжима-раздачи;

- методику и результаты анализа по определению предельных границ возможного осуществления технологических процессов горячей штамповки плоских фланцев из трубных заготовок с совмещением операций обжима и раздачи для различных схем деформирования;

- методику расчета исходных размеров трубной заготовки для получения деталей типа плоских фланцев.

Достоверность результатов, полученных в ходе теоретических исследований, подтверждается хорошим совпадением с опытными данными. Наибольшее расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями основных параметров формоизменения заготовок не превышает 6%. Эксперименты неоднократно дублировались, что показало их высокую воспроизводимость и позволило исключить различные случайности.

Практическая ценность. Теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать методику проектирования с обоснованием предельных границ возможного осуществления малоотходных технологических процессов горячей штамповки деталей типа плоских фланцев. Методика включает определение исходных размеров трубных заготовок по чертежу готового изделия, конструктивных параметров штамповой оснастки на каждом переходе штамповки, расчет силовых параметров процессов и выбор технологического оборудования для их осуществления.

Реализация результатов работы в промышленности. По материалам диссертации разработан и освоен на ПО "Херсонский комбайновый завод им. Г.И.Петровского" технологический процесс изготовления трех типоразмеров плоских фланцев, служащих для соединения трубопроводов дождевальных установок ДДА-100МА и ДД-120. В результате внедрения получен в 1988 г. фактический экономический эффект в размере 8 тыс.рублей. При планируемом увеличении объема внедрения ожидаемый экономический эффект в расчете на 1989 г. составит 30 тыс.рублей (результаты внедрения подтверждены соответствующими актами).

Кроме того, проведена промышленная штамповка опытной партии плоских фланцев из номенклатуры завода "Наука" (г.Москва).

Результаты штамповок показали высокую стабильность разра-

ботанных процессов, обеспечивающих необходимое качество и геометрическую точность готовых изделий.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры МТ-6 МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1988 и 1989 г.г.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в двух печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложений. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков, 29 таблиц и список литературы из 152 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту и определяющие ее научную ценность.

В первой главе проведен обзор научно-технической литературы, включающий анализ существующих способов изготовления плоских фланцев, а также работ, посвященных изучению процессов обжима, раздачи и их совмещения.

Анализ основных способов изготовления плоских фланцев, существующих в настоящее время, позволил сделать вывод о целесообразности применения способа изготовления плоских фланцев, основанного на деформировании трубной заготовки с совмещением операций обжима и раздачи.

Рассмотрению операций обжима и раздачи посвящены труды многих исследователей, работающих как в области обработки металлов давлением, так и в области теории пластичности, среди которых, в первую очередь необходимо выделить работы Е.А.Попов, А.А.Ильющина, А.А.Шофмана, Н.Н.Малинина, В.В.Соколовского, Ю.А.Аверкиева, А.Д.Матвеева, В.И.Ершова, О.В.Попова, М.Н.Горбунова, В.П.Грибановского и других, а также зарубежных ученых В.Джонсона, Э.Марчиньска, Э.Зибели, Г.Закса, Х.Свифта и др.

Результаты исследований совмещенного процесса обжима с раздачей приведены в работах Е.А.Попова, В.Н.Фролова, М.Н.Горбунова, Г.М.Дегтярева, Ю.А.Алюшина, Б.Н.Березовского, Л.К.Кадрова, С.А.Евсюкова и др.

Наиболее полно исследованы энерго-силовые параметры процессов обжима и раздачи трубных заготовок, а также вопросы, связанные с изменением толщины стенки заготовки в этих операциях.

Установлено, что критерием раздела зон обжима и раздачи в совмещенном процессе свободного деформирования является равенство меридиональных напряжений, действующих на их границе. Однако имеющиеся зависимости по определению соотношения размеров очагов пластической деформации этих операций сложны и имеют достаточно низкую точность.

Не достаточно исследовано напряженное состояние трубной заготовки в процессе совмещения обжима с раздачей при ограничении одной из операций.

Известно, что ограничительные бурты, выполненные на соответствующих частях инструмента позволяют регулировать положение нейтральной линии и, таким образом, варьировать соотношение степеней обжима и раздачи. Однако назначение буртов требует строгого научно-обоснованного описания формоизменения при свободном деформировании с совмещением обжима и раздачи.

Не достаточно изучены закономерности изменения длины образующей трубной заготовки в процессах обжима и раздачи и их совмещения при различных схемах деформирования.

Опубликованные рекомендации по выбору исходных размеров (высоты и диаметра) трубной заготовки не предусматривают запаса устойчивости по предельным состояниям обжима и раздачи. Не обоснованы предельные границы возможного осуществления данного процесса. В конце главы сформулированы цель и задачи настоящей работы.

Во второй главе разработана методика теоретических и экспериментальных исследований двухпереходного процесса горячей штамповки трубных заготовок с совмещением обжима и раздачи.

На основании проведенного анализа существующих в теории обработки металлов давлением (ОМД) методов исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) сделан вывод, что для решения поставленных в работе задач наиболее приемлемым является метод совместного решения дифференциальных уравнений равновесия (с учетом влияния изменения толщины стенки заготовки) с условием пластичности Треска-Сан-Венана. Замкнутые аналитические решения задач в теории ОМД при использовании этого метода

позволяют получить удобные для инженерных расчетов функциональные зависимости элементов НДС, с учетом влияния основных факторов, присущих реальным условиям деформирования.

В качестве исходной зависимости, выражающей изменение толщины заготовки в процессе деформирования, принята формула Е.А.Попова (здесь и далее обозначения согласно рис. 1 и 2):

$$S = S_0 \left(\frac{R_0}{\varphi} \right)^{\frac{\sigma_\theta + \sigma_\varphi}{2\sigma_s - \sigma_\varphi}}, \quad (1)$$

которая при допущении линейной схемы напряженного состояния ($\sigma_\varphi = 0$) преобразуется к виду:

$$S = S_0 \sqrt{\frac{R_0}{\varphi}}, \quad (2)$$

где σ_s , σ_θ — меридиональное и тангенциальное напряжения, соответственно; φ — текущий радиус.

При анализе НДС трубной заготовки в совмещенном процессе деформирования учитывается изгиб и спрямление заготовки на входе в очаг деформации путем увеличения меридионального напряжения на величину $\Delta\sigma_\varphi$ по методике Е.А.Попова. Для этого в работе используются предложенные В.И.Вершининым выражения для конечного соотношения сил и моментов для операций обжима и раздачи, соответственно:

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{S^2}{4\sigma_s} (\sigma_s^2 - \sigma_\varphi^2) \\ \sigma_\theta &= -\sigma_s \end{aligned} \right\}; \quad \left. \begin{aligned} M &= \frac{S^2}{4\sigma_s} (\sigma_s^2 - \sigma_\varphi^2) \\ \sigma_\theta - \sigma_\varphi &= \sigma_s \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где σ_s — напряжение текучести.

С учетом этого, для определения радиуса свободного изгиба на входе в очаг деформации в операциях обжима и раздачи, получено выражение в виде:

$$R_0 = \frac{S_0}{4(1 - \cos\alpha)} \frac{1 - (\sigma_\varphi/\sigma_s)^2}{\sigma_\varphi/\sigma_s}. \quad (4)$$

На основании проведенного анализа экспериментальных методов теории НДС разработана методика экспериментальных исследований рассматриваемого процесса, основанная на методе координатных сеток, позволяющая с минимальной трудоемкостью оценить формоизменение заготовки в процессе штамповки, непосредственно (без проведения каких бы то ни было вспомогательных обработок) осуществить сопоставление теоретических и экспериментальных данных.

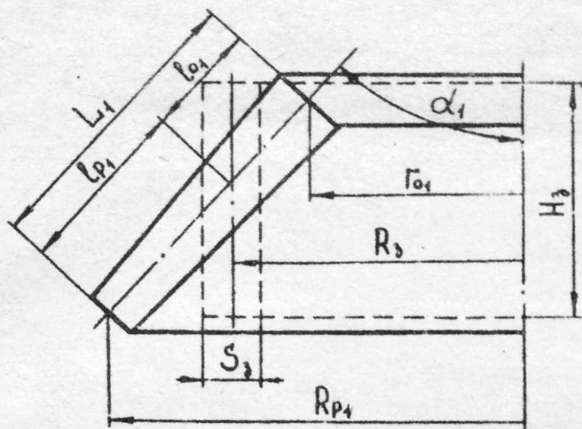


Рис.1 Расчетная схема определения размеров зон обжима и раздачи

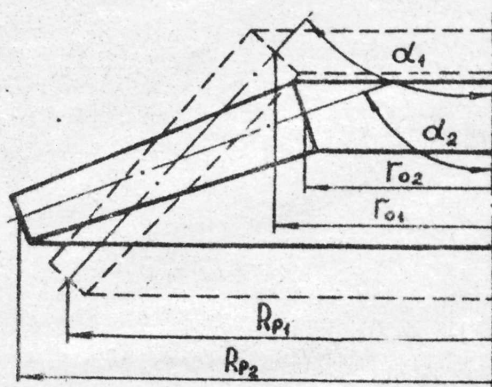


Рис.2 Расчетная схема формоизменения заготовки на втором переходе штамповки

В конце главы сделаны выводы.

В третьей главе проведен теоретический анализ двухпереходного процесса горячего деформирования трубной заготовки с совмещением операций обжима и раздачи.

При анализе использованы следующие исходные предпосылки:

- а) схема напряженного состояния — плоская;
- б) материал заготовки не упрочняется, т.е. используется модель жестко-пластического тела в изотермических условиях ($\sigma_s = \text{const}$);
- в) распределение главных (меридиональных и тангенциальных) напряжений по толщине стенки заготовки считается равномерным и в расчетах используются их осредненные по толщине значения;
- г) в контакте заготовки с инструментом реализуется закон трения Амонтона-Кулона.

С целью получения аналитических зависимостей, удобных для практического пользования, в расчетах используется упрощенная формула, выражающая закон изменения толщины заготовки в виде:

$$S = \frac{1}{2} S_s \left(\frac{q + R_s}{q} \right), \quad (5)$$

полученная из выражения (2) с использованием разложения в ряд. Погрешность, вносимая разложением в ряд, в пределах возможных коэффициентов формоизменения не превышает 6%.

Решая совместно уравнения равновесия с условием пластичности Треска-Сен-Венана, с учетом выражений (4), (5) и граничных условий ($\sigma_q = 0$ при $q = R_{o1}$ и $q = R_{p1}$), получены расчетные зависимости для максимальных меридиональных напряжений, действующих в стенках заготовки на первом переходе штамповки:

$$\sigma_{q_{\max}}^{\text{об}} = -\frac{\sigma_s}{2} (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1) \left(\ln \frac{R_s}{R_{o1}} + 1 - \frac{R_{o1}}{R_s} \right) (3 - 2 \cos \alpha_1); \quad (6)$$

$$\sigma_{q_{\max}}^{\text{раз}} = -\frac{\sigma_s}{2} (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1) \left(\ln \frac{R_{p1}}{R_s} + 1 - \frac{R_{p1}}{R_s} \right) (3 - 2 \cos \alpha_1), \quad (7)$$

где μ — коэффициент трения.

Из равенства формул (6) и (7), после упрощений получена зависимость, выражающая связь коэффициентов обжима k_o и раздачи k_p при свободном деформировании в виде:

$$k_o = \frac{1}{2} (k_p^2 - k_p + \sqrt{(k_p^2 - k_p)^2 + 4k_p}). \quad (8)$$

Эту зависимость можно аппроксимировать линейной функцией

и получить упрощенную формулу для определения соотношения коэффициентов формоизменения с погрешностью, не превышающей 3%:

$$k_0 = 1,25 k_p - 0,25. \quad (9)$$

С учетом очевидного равенства (рис. I):

$$\frac{\ell_{p1}}{\ell_{01}} = \frac{k_0 (k_p - 1)}{k_0 - 1}, \quad (10)$$

а также формулы (9), получена зависимость соотношения размеров зон обжима и раздачи от коэффициента раздачи (аналогично от коэффициента обжима):

$$\frac{\ell_{p1}}{\ell_{01}} = (k_p - 1) \frac{k_p^2 - k_p + \sqrt{(k_p^2 - k_p)^2 + 4 k_p}}{k_p^2 - k_p - 2 + \sqrt{(k_p^2 - k_p)^2 + 4 k_p}}. \quad (11)$$

Аппроксимируя эту зависимость линейной функцией, получена упрощенная формула (с погрешностью до 3%):

$$\frac{\ell_{p1}}{\ell_{01}} = \frac{k_p + 1}{2}. \quad (12)$$

Решая уравнение связи напряжений и деформаций применительно к плоской схеме напряженного состояния, получены формулы для определения величины изменения первоначальной длины заготовки в операциях обжима и раздачи, соответственно:

$$\frac{\ell_{01}}{H_0} = 1 + (k_0 - 1) \frac{4 - 2(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(\ln k_0 + \frac{k_0 - 1}{k_0})}{8 - (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(\ln k_0 + \frac{k_0 - 1}{k_0})}, \quad (13)$$

$$\frac{\ell_{p1}}{H_p} = 1 - \frac{k_p - 1}{k_p} \frac{4 + (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(\ln k_p + k_p - 1)}{8 - (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(\ln k_p + k_p - 1)}, \quad (14)$$

где H_0 и H_p — начальные значения длины образующей.

Используя дополнительные допущения, удалось получить упрощенные формулы (с погрешностью, не превышающей 3...5%), выражающие изменение длины образующей заготовки в простом виде:

$$\frac{\ell_{01}}{H_0} = \frac{3k_0 - 1}{2k_0}; \quad \frac{\ell_{p1}}{H_p} = \frac{3 - k_p}{2}, \quad (15)$$

которые, по существу, являются аппроксимирующими функциями зависимости $\ell = f(k)$ и могут быть использованы с достаточной точностью для последующего анализа.

С учетом выражений (10) и (11), а также очевидных равенств ($H_2 = H_0 + H_p$; $L_1 = \ell_{01} + \ell_{p1}$), получена формула для определения изменения длины образующей заготовки в совмещенном процессе:

$$\frac{L_1}{H_2} = \frac{(3k_0 - 1)(3 - k_p)}{4k_0}. \quad (16)$$

С учетом формул (9) и (16), получена зависимость, выражающая изменение длины образующей заготовки в совместном процессе при свободном деформировании:

$$\frac{L_1}{H_3} = \frac{(3,75k_p - 1,75)(3 - k_p)}{5k_p - 1} \quad (17)$$

Приняв в выражении (16) $L_1 = H_3$, получено условие постоянства длины образующей заготовки, выраженное через коэффициенты формоизменения:

$$k_p = \frac{5k_0 - 3}{3k_0 - 1} \quad (18)$$

Напряженное состояние трубной заготовки при деформировании с ограничением одной из операций определялось по величине формоизменения заготовки.

Для этого, согласно рис. I, с учетом зависимостей (10) и (15), получены формулы, выражающие связь коэффициентов формоизменения в зависимости от размеров исходной заготовки и геометрических параметров инструмента:

$$k_0 = \frac{4 - (H_3/R_3) \sin \alpha_1 (3 - k_p)}{4k_p - 3(H_3/R_3) \sin \alpha_1 (3 - k_p)} \quad (19)$$

Тогда, с учетом зависимостей (6) и (7), максимальные меридиональные напряжения выразятся

— при ограничении раздачи:

$$\sigma_{q \max}^{\text{об}} = -\frac{\sigma_s}{2} (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1) \left(\ln k_0 + \frac{k_0 - 1}{k_0} \right) (3 - 2 \cos \alpha_1), \quad (20)$$

где $k_0 = \frac{4 - (H_3/R_3) \sin \alpha_1 (3 - R_5/R_3)}{4R_5/R_3 - 3(H_3/R_3) \sin \alpha_1 (3 - R_5/R_3)}$;
 R_5 — радиус ограничительного бурта матрицы;

— при ограничении обжима:

$$\sigma_{q \max}^{\text{раз}} = -\frac{\sigma_s}{2} (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1) (\ln k_p + k_p - 1) (3 - 2 \cos \alpha_1), \quad (21)$$

где $k_p = \frac{4 + 3(H_3/R_3) \sin \alpha_1 (3R_3/r_8 - 1)}{4R_3/r_8 + (H_3/R_3) \sin \alpha_1 (3R_3/r_8 - 1)}$;

r_8 — радиус ограничительного бурта пуансона.

Была проведена оценка предельной степени деформации при обжиме и раздаче трубной заготовки по условию возникновения локальной потери устойчивости с образованием кольцевой складки. Момент начала образования кольцевой складки рассматривался как начало возникновения пластического изгиба в меридиональном сечении недеформируемой части заготовки. В результате было полу-

чено, что величина меридиональных напряжений, вызывающих потерю устойчивости с образованием кольцевой складки, по абсолютному значению может быть принята равной напряжению текучести материала деформируемой заготовки, что согласуется с экспериментальными данными, полученными Ю.А.Аверкиевым и В.Н.Фроловым. Тогда, с учетом выражений (6) и (7), после возможных преобразований, получены формулы, позволяющие определить значения предельных коэффициентов обжима и раздачи:

$$k_{оп} = 1 + \frac{0,5 + (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)}{[(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)]^2}; \quad (22)$$

$$k_{рр} = 1 + \frac{1}{(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)}. \quad (23)$$

Кроме возможного образования кольцевой складки в очаге деформации при деформировании с ограничением одной из операций возможно нарушение необходимых формы и размеров поковки, связанное с недоходом соответствующего края заготовки до ограничительного бурта инструмента.

В работе получены аналитические зависимости для определения исходных размеров трубной заготовки, обеспечивающих получение качественного изделия:

1. При свободной схеме деформирования

— по условию образования кольцевой складки

$$\frac{H_2}{R_3} < \frac{4}{3 \ln \alpha_1} \frac{\left(1 + \frac{0,5 + (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)}{[(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)]^2} \right) / \left(1 + \frac{1}{(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)}\right) - 1}{\left(2 - \frac{1}{(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)}\right) / \left(3 \frac{0,5 + (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)}{[(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)]^2} + 2\right)}. \quad (24)$$

2. При ограничении операции раздачи

— по условию образования кольцевой складки

$$\frac{H_2}{R_3} < \frac{4}{3 \ln \alpha_1 (3 - k_p)} \frac{k_p \left(1 + \frac{0,5 + (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)}{[(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)]^2} \right) - 1}{3 \frac{0,5 + (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)}{[(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1)]^2} + 2}, \quad (25)$$

— по условию недохода края заготовки до ограничительного бурта

$$\frac{H_2}{R_3} > \frac{4}{3 \ln \alpha_1 (3 - k_p)} \frac{k_p (k_p^2 - k_p + \sqrt{(k_p^2 - k_p)^2 + 4 k_p}) - 2}{3 (k_p^2 - k_p + \sqrt{(k_p^2 - k_p)^2 + 4 k_p}) - 2}. \quad (26)$$

3. При ограничении операции обжима

-- по условию образования кольцевой складки

$$\frac{H_3}{R_3} < \frac{4}{\sin \alpha_1 (3k_0 - 1)} \frac{(k_0 - 1)(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1) + k_0}{2(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1)(3 - 2 \cos \alpha_1) - 1}; \quad (27)$$

-- по условию недохода края заготовки до ограничительного бурта

$$\frac{H_3}{R_3} > \frac{4k_0}{\sin \alpha_1 (3k_0 - 1)} \frac{\sqrt{(k_0 - 1)^2 + 4k_0^3} + k_0 - 3}{5k_0 + 1 - \sqrt{(k_0 - 1)^2 + 4k_0^3}}; \quad (28)$$

Таким образом, полученные зависимости, по существу выражают предельные границы возможного осуществления исследуемого процесса.

Второй переход штамповки имеет некоторые особенности, которые учитывались при анализе процесса деформирования.

Угол α_2 между касательной к срединной поверхности заготовки в меридиональном сечении в рассматриваемой точке очага деформации и осью симметрии в процессе деформирования изменяется в пределах от α_1 до $\pi/2$, и без учета изменения длины образующей заготовки может быть найден из выражения (см. рис. 2):

$$\alpha_2 = \arcsin \left(\sin \alpha_1 \frac{R_{p2} - r_{02}}{R_{p1} - r_{01}} \right). \quad (29)$$

В зависимости от размеров заготовки, деформирование может осуществляться без возникновения или с возникновением пластического изгиба в меридиональном сечении заготовки.

С учетом этого, придерживаясь разработанной методики теоретического анализа, получены расчетные зависимости для максимальных меридиональных напряжений, действующих в стенках деформируемой заготовки:

-- без возникновения пластического изгиба

$$\sigma_{g_{\max}}^{\text{об}} = -\sigma_s (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1) \frac{R_3 \ln \frac{q_H}{r_{02}} + q_H - r_{02}}{q_H + R_3}; \quad (30)$$

$$\sigma_{g_{\max}}^{\text{раз}} = -\sigma_s (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1) \frac{R_3 \ln \frac{R_{p2}}{q_H} - q_H + R_{p2}}{q_H + R_3}, \quad (31)$$

$$\text{где} \quad q_H = \frac{1}{4} (2 \sqrt{R_{p2} r_{02}} + R_{p2} + r_{02}); \quad (32)$$

- с возникновением пластического изгиба

$$\sigma_{q_{\max}}^{\text{об}} = -\sigma_s \left[(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1) \frac{R_3 \ln \frac{q_H}{r_{02}} + q_H - r_{02}}{q_H + R_3} + \frac{\sqrt{S_3(R_3 + q_u)}}{2 q_u} \cos \alpha_2 \right]; \quad (33)$$

$$\sigma_{q_{\max}}^{\text{раз}} = -\sigma_s \left[(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_1) \frac{R_3 \ln \frac{R_{p2}}{q_H} - q_H + R_{p2}}{q_H + R_3} + \frac{\sqrt{S_3(R_3 + q_u)}}{2 q_u} \cos \alpha_2 \right], \quad (34)$$

где q_H — определяется по формуле (32);

$$q_u = r_{02} + \frac{\sigma_s S_3 \cos \alpha_2}{4 \sigma_{q_{\max}}} \quad - \text{ для обжима; } \quad (35)$$

$$q_u = R_{p2} - \frac{\sigma_s S_3 \cos \alpha_2}{4 \sigma_{q_{\max}}} \quad - \text{ для раздачи; } \quad (36)$$

$\sigma_{q_{\max}}$ в выражениях (35) и (36) определяется, соответственно, по формулам (30) и (31).

Далее, придерживаясь принятой ранее последовательности теоретического анализа, получены зависимости элементов НДС заготовки для различных схем деформирования на втором переходе штамповки, аналогичные выражениям для первого перехода.

В конце главы сделаны выводы.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований рассматриваемого процесса.

Эксперименты проводились на заготовках, полученных из бесшовных и сварных труб различного диаметра с различной толщиной стенки. В качестве материала заготовок использовались стали 20, 12Х18Н9Т, 30Х1СН, Ст.3, алюминиевый сплав АМг-6. Для замера геометрических размеров использовались штангенциркуль с ценой деления 0,05 мм и резьбовой микрометр с ценой деления 0,01 мм.

Перед каждым переходом осуществлялся нагрев заготовок для материалов сталь 20 и Ст.3 до температуры деформирования 800...850°C, для сталей 12Х18Н9Т и 30Х1СН — до 850...900°C и для сплава АМг-6 — до 400...450°C. Затем заготовки деформировались в предварительно нагретом штампе до температуры 500...550°C — для сталей и до 250...300°C — для сплава А-6. Контроль температур осуществлялся несколькими платино-родий-платиновыми и хромель-алюмелевыми термопарами.

Установлено, что отношение размеров зоны раздачи к зоне обжима при свободной схеме деформирования всегда больше единицы и возрастает с увеличением суммарного коэффициента формо-

изменения, в связи с чем, длина образующей заготовки в процессе деформирования уменьшается на величину до 10...12% от первоначальной длины.

Введение ограничительных буртов позволяет, за счет регулирования соотношения степеней обжима и раздачи, варьировать изменение длины образующей деформируемой заготовки (уменьшение или увеличение) в пределах $\pm 10...15\%$ от первоначальной длины.

Установлено, что величина максимального формоизменения заготовок ограничивается локальной потерей устойчивости с образованием кольцевой складки, которая происходила только на первом переходе штамповки. При этом, предельный коэффициент суммарного формоизменения при свободном деформировании равен произведению предельных коэффициентов обжима и раздачи. При ограничении одной из операций определяющим является предельный коэффициент формоизменения операции, осуществляемой без ограничения.

Проверка адекватности теоретических исследований по определению основных параметров формоизменения заготовки в исследуемом процессе показала достаточную достоверность полученных при этом результатов (в пределах 6%).

В конце главы сделаны выводы.

В пятой главе представлена методика проектирования технологических процессов горячей штамповки плоских фланцев, включающая определение исходных размеров трубной заготовки, с учетом предельных условий процесса по условиям образования кольцевой складки и недохода края заготовки до бурта (при ограничении одной из операций), а также конструктивных параметров штамповой оснастки, расчет силовых параметров процесса и выбор технологического оборудования для его осуществления. Большая часть разработанной методики реализована в виде программы для ЭИМ.

Рассмотрены результаты внедрения новой технологии для получения плоских фланцев трех типоразмеров на ПО "Херсонский комбайновый завод им. Г.И.Петровского", позволившей повысить КИМ в 3...4 раза и, таким образом, сэкономить большое количество металлопроката за счет чего фактический экономический эффект в 1988 г. составил 8 тыс.рублей. При планируемом увеличении объема внедрения ожидаемый экономический эффект в расчете на 1989г. составит 30 тыс.рублей. Результаты внедрения подтверждены соответствующими актами.

Предложенная методика расчета исходной заготовки явилась основой при разработке нового технологического процесса получения плоских фланцев четырех типоразмеров из номенклатуры завода "Наука" (г.Москва).

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Анализ существующих в настоящее время способов изготовления плоских фланцев показал, что наиболее целесообразным является использование способа, основанного на деформировании трубной заготовки с совмещением операций обжима и раздачи, позволяющего добиться высокой эффективности производства.

2. Разработанная методика теоретических и экспериментальных исследований позволяет наиболее полно изучить особенности НДС трубной заготовки в двухпереходном процессе горячего деформирования с совмещением обжима и раздачи и получить аналитические зависимости в виде сравнительно простых формул, учитывающих влияние основных факторов, присущих реальным условиям деформирования.

3. Полученные в результате теоретического анализа зависимости и их экспериментальная проверка показали, что при деформировании без ограничения одной из операций отношение размеров зоны раздачи к зоне обжима всегда больше единицы и возрастает с увеличением суммарного коэффициента формоизменения. В результате происходит уменьшение длины образующей заготовки в процессе деформирования на величину до 10...12% от первоначальной длины.

Ограничение одной из операций позволяет, за счет регулирования соотношения степеней обжима и раздачи, варьировать изменение длины образующей деформируемой заготовки (уменьшение или увеличение) в пределах $\pm 10...15\%$ от первоначальной длины.

Изменение длины образующей трубных заготовок в условиях горячей деформации не зависит от свойств материала и относительной толщины стенок в исследованном диапазоне ($S_3/D_3 = 0,03...0,09$), а определяется в основном конечной величиной формоизменения.

4. Приведенные сопоставления теоретических и экспериментальных данных по определению соотношения зон обжима и раздачи, а также значений по изменению длины образующей при различных

схемах деформирования, показали их сходимость в пределах 3...5%.

5. Полученные в ходе теоретического анализа значения по определению предельных границ возможного осуществления исследуемого процесса по условию локальной потери устойчивости с образованием кольцевой складки на первом переходе штамповки и недоходу края заготовки до ограничительного бурта инструмента — подтверждены экспериментальными исследованиями.

Предельный суммарный коэффициент формоизменения заготовок при свободной схеме совмещенного процесса деформирования равен произведению предельных коэффициентов обжима и раздачи. При ограничении одной из операций определяющим является предельный коэффициент формоизменения операции, осуществляемой без ограничения.

6. Проверка адекватности теоретических исследований по определению предельных границ рассматриваемого процесса показала достаточную достоверность полученных при этом результатов (в пределах 6%), что подтверждает правомерность разработанной методики анализа и принятых при этом допущений.

7. Разработанная на основании теоретических и экспериментальных исследований методика проектирования технологических процессов горячей штамповки плоских фланцев из трубных заготовок включает научно-обоснованные рекомендации по расчету размеров исходной заготовки и рабочих частей штампов на обоих переходах процесса.

8. Результаты работы внедрены на ПО "Херсонский комбайновый завод им. Г.И.Петровского", в результате чего в 1988 г. получен фактический экономический эффект в размере 8 тыс.рублей. При планируемом увеличении объема внедрения ожидаемый экономический эффект в расчете на 1989 г. составит 30 тыс.рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Кондратенко В.Г., Розов Ю.Г. К анализу напряженно-деформированного состояния трубной заготовки при горячей штамповке с совмещением операций обжима и раздачи // Известия вузов. Машиностроение.—1988.—№9.—С.117-122.

2. Кондратенко В.Г., Розов Ю.Г. Экспериментальное исследование процесса горячей штамповки плоских фланцев из трубных заготовок // Известия вузов. Машиностроение.—1989.—№4.—С.107-111.

