На правах рукописи

**ГЕРАСИМОВ Владимир Витальевич**

# РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛЫХ СТУПЕНЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКИ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХОЛОДНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

---

Москва 2000

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

Научный руководитель - член-корр. РАН, профессор, доктор технических наук

Дмитриев А.М.

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор Головин В.А.

к.т.н., доцент Малиновский К.П.

Ведущая организация: ГНПП «Темп»

Защита диссертации состоится "17" июня 2000г. в _____ час. на заседании диссертационного Совета К 053.15.13 в МГТУ им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул. д.5.

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

...отеке МГТУ им. Н.Э.Баумана.

_2000г.

1566457

Шубин И.Н.

Зак. 25 Тир. 100экз

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Перспективы развития машиностроения тесно связаны с применением в производстве новых процессов производства деталей и заготовок. К числу прогрессивных способов производства изделий относится обработка металлов давлением и, в частности, один из ее видов, штамповка методом холодного выдавливания. Эта технология позволяет изготовлять поковки, по форме и размерам приближающиеся к машиностроительным деталям, и тем самым сводить к минимуму последующую обработку резанием. Этим обеспечиваются малоотходная и безотходная технологии. Коэффициент использования металла при холодном выдавливании достигает 95-98%. Штамповка холодным выдавливанием обеспечивает высокую производительность труда при значительном повышении надежности деталей в эксплуатации и способна создавать «безлюдные» технологии.

Расширение области применения холодной объемной штамповки является важной задачей для увеличения экономической эффективности изготовления деталей. Решение этой задачи становится возможным в результате разработки новых схем деформирования, которые позволяют снизить удельные деформирующие силы, и более глубокого исследования уже известных схем деформирования.

Для получения сложных деталей, в частности, полых деталей с фланцем применяется холодное комбинированное выдавливание. Этот способ имеет ряд преимуществ:

-снижение удельной деформирующей силы по сравнению с прямым и обратным выдавливанием ;

-сокращение числа переходов,

что приводит к уменьшению трудоемкости изготовления деталей. Применение активных сил трения в процессе выдавливания позволяет снизить деформирующую силу на 20%. Однако, кроме величины деформирующей силы, область производства полых цилиндрических деталей холодным выдавливанием ограничена их разностенностью. Актуальными являются новые процессы штамповки, в которых применяются комбинация нескольких способов снижения удельной силы и уменьшения разностенности выдавленной заготовки.

Одним из направлений расширения области применения холодной объемной штамповки является обратное выдавливание спаренных заготовок, которое позволяет получать не только отдельные детали по безотходной технологии, но и сборочные узлы.

Широкое использование процессов холодного комбинированного выдавливания и обратного выдавливания спаренных заготовок сдерживает ряд причин. К их числу относят отсутствие рекомендаций по

1566457

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1566457
Герасимов В.В. Разработка

МГТУ
им.Н.Э.Баумана

расчету силовых, деформационных и кинематических параметров процесса выдавливания отдельных типов деталей, в частности, рассматриваемых деталей.

Данная работа посвящена расширению области применения холодного выдавливания путем разработки и исследования двух недостаточно изученных ранее процессов. Первый процесс представляет собой комбинированное выдавливание двухполостных цилиндрических деталей со ступенчатой наружной поверхностью и осевым отростком. Второй процесс - изготовление сборочного узла обратным выдавливанием спаренных заранее спрофилированных заготовок.

**Цель и задачи работы.** Цель работы - разработка методики проектирования технологического процесса сборки деталей способом обратного выдавливания спаренных заготовок; установление оптимальных параметров процесса комбинированного выдавливания двухполостных ступенчатых деталей с осевым отростком.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- установить на основе экспериментальных исследований влияние размеров инструмента и величины удельной силы, действующей со стороны матрицы на заготовку, на качество изделия и величину силы при выдавливания полых деталей с фланцем,

- установить на основе экспериментальных исследований влияние относительных размеров и формы деталей, подвергаемых сборке, профиля торцевых поверхностей пуансона и контрпуансона, направления сил контактного трения на качество получаемого соединения при сборке узла штамповкой,

-теоретически определить величину деформирующей силы для получения сборочного соединения и величину силы размыкания получившегося соединения,

-разработать методику проектирования технологического процесса сборки деталей способом обратного выдавливания спаренных заготовок.

**В работе установлены следующие, имеющие научную новизну, положения**. Холодное комбинированное выдавливание двухполостных цилиндрических деталей с фланцем и осевым отростком из ступенчатой заготовки при активном действии сил контактного трения, натяжения за фланец и использовании разгрузочной полости происходит при удельных силах на пуансоне, равных $(1,9....2,5)\sigma_s$.

Теоретически и экспериментально обоснован способ получения сборочного соединения способом обратного выдавливания спаренных заготовок.

Силовые и кинематические параметры процессов обратного выдавливания пуансоном, имеющим форму рабочего торца в виде

усеченного конуса, могут с достаточной для практического использования точностью быть рассчитаны по полученным диссертантом зависимостям.

Автор защищает:

-математические модели для прогнозирования качества и определения силовых параметров процесса изготовления двухполостных деталей с фланцем и осевым отростком на разных этапах комбинированного выдавливания ступенчатой заготовки в зависимости от размеров инструмента и давления, оказываемого матрицей на торец фланца;

- математическую модель для прогнозирования качества выполнения сборочного соединения способом обратного выдавливания спаренных заготовок;

-математическую модель процесса формоизменения заготовки при обратном выдавливании пуансоном с рабочим торцом в форме усеченного конуса;

-разработанный технологический процесс сборки изделия «стакан-дно переходное» с гарантированной силой разъема.

**Практическая ценность**. Разработана научно-обоснованная методика, которая обеспечивает проектирование технологических процессов изготовления сборочных узлов способом обратного выдавливания спаренных заготовок. Эта методика включает в себя расчет силовых параметров процесса сборки и разъединения узлов, оценку качества получаемого соединения в зависимости от профиля заготовок, формы рабочего торца пуансона и направления сил контактного трения.

**Достоверность результатов**, полученных в ходе теоретических исследований подтверждена экспериментальными данными. Расхождение расчетных и экспериментальных данных находится в пределах 20%.

**Использование результатов.** Результаты работы в виде методики проектирования технологического процесса сборки деталей способом обратного выдавливания спаренных заготовок предполагается использовать в технологической практике НПО «ЗВЕЗДА».

**Апробация работы.** Основные положения диссертации были доложены на международной научно-технической конференции «100 лет Российскому автомобилю. Промышленность и Высшая школа" (г. Москва, МАМИ, 1996), международном научно-техническом симпозиуме «Моделирование и критерии подобия в процессах развитого пластического формоизменения» (г. Орел, 1996), Всероссийской научно-технической конференции «Машиностроительные технологии» (г. Москва, 1998), на научных семинарах кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 3 печатных работы.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 90 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения, содержит 78 рисунков, 24 таблицы, список литературы из 46 наименований.

## Содержание работы

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

В первой главе выполнен обзор способов изготовления деталей сложной формы. В частности, приведены существующие методы изготовления стаканов и втулок с внешним фланцем, который располагается у основания детали или в срединной части. Отмечено, что исследованию формоизменения заготовки при холодном выдавливании для получения деталей с внешним фланцем посвящены работы В.А.Головина, В.А.Евстратова, Ф.А.Коммеля, Х.Мянда, Л.Д.Оленина, Л.А.Шофмана и др. Рассмотрены работы, посвященные исследованию штамповки полых деталей с дном сложной формы.

В этой главе проведен обзор работ, посвященных исследованию процесса обратного выдавливания спаренных заготовок. Данный процесс предназначен для безотходного изготовления сквозных втулок. Как показал обзор, качество получаемых изделий во многом зависит от формы рабочего торца пуансона.

Также был проведен анализ влияния отдельных технологических и конструкционных параметров на величину деформирующей силы при холодном выдавливании. Отмечено что, этим исследованиям посвящены работы В.Я. Даниленко, Ф.Боудена и Д.Тейбора, В.Е.Фаворского и др.

Выполнен обзор теоретических исследований процессов обратного выдавливания пунсоном с различной формой рабочего торца. Этим исследованиям посвящены работы С.И Губкина, В.А.Евстратова, Х.Кудо, А.Г.Овчинникова, А.М.Дмитриева, И.Я.Тарновского и др. Кратко рассмотрены методы теоретического анализа процессов объемной штамповки. В главе также сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе изложена методика проведения теоретических и экспериментальных исследований. Описана методика определения силовых параметров процесса обратного выдавливания заготовок энергетическим методом. Анализ операции осуществляется при помощи двух основных уравнений:

$$P_д = \frac{1}{v_0}\left[\sum_{h=1}^{H}\iiint_V \sigma_s \xi_i \, dV + \sum_{m=1}^{M}\iint_F \tau_k \sqrt{v_k^2 + v_l^2}\, dF + \sum_{n=0}^{N}\iint_G \tau_s |v_k - v_l| dG\right]. \quad (1)$$

$$\frac{\partial P_д}{\partial R_p} = 0. \quad (2)$$

Здесь $P_д$- сила деформации; $V_0$ - скорость перемещения инструмента (в нашем случае $V_0$ =1); H - количество областей, на которые разбит очаг пластической деформации; M- количество поверхностей трения; N - количество поверхностей разрыва скоростей; V - объем области в очаге пластической деформации; k;l - обобщенные координаты; $\sigma_s$ - предел текучести деформируемого материала; $\xi_i$ - интенсивность скоростей деформации; $\tau_k$- контактное касательное напряжение; F - площадь поверхности трения; $\tau_s$ - предел текучести деформируемого металла на сдвиг; G - площадь поверхности разрыва скоростей течения; $R_p$ - любая координата, определяющая положение поверхности раздела течения.

Область пластической деформации в заготовке делим на зоны, для которых можно подобрать простейшие поля скоростей. Строим поля скоростей, которые удовлетворяют граничным условиям, и записываем энергетическое уравнение (1) в развернутом виде.

Предложена схема изготовления двухполостной детали с фланцем и отростком способом комбинированного выдавливания. Она заключается в следующем. Ступенчатую заготовку 1 с диаметрами ступеней $d_1$ и $d_4$ устанавливают в полость матрицы 2 (рис.1). Затем матрицу с заготовкой перемещают вверх до соприкосновения торцевой поверхности заготовки с рабочим торцом пуансона. Для предотвращения отрыва фланца заготовки от основания в процессе деформирования выдавливание начинается контрпуансоном 3, который передвигается вверх. При внедрении контрпуансона 3 в заготовку 1 часть металла течет в зазор между контрпуансоном и матрицей, образуя стенку нижней втулки. Другая часть металла, которая контактирует с пуансоном, течет вверх, образуя стенку верхней втулки и осевой отросток.

Представлен способ получения сборочного соединения полых деталей холодным выдавливанием спаренных заготовок. Он заключается в том, что одновременно выдавливаются заранее спрофилированные

заготовки. Профиль заготовок, полученный в результате экспериментов, представлен на рисунке 2.

Также во второй главе изложена методика определения силы, необходимой для разъединения сборочного соединения. Она заключается в определении силы раздачи трубной заготовки коническим пунсоном, где в качестве конического пуансона принята внутренняя деталь, а в качестве раздаваемой - наружная деталь. При этом принят ряд допущений: внутренняя деталь представляет собой абсолютно твердое тело, наружная деталь представляет собой жесткопластическое тело, боковая поверхность контакта обеих деталей друг с другом представляет собой боковую поверхность усеченного конуса, толщина части наружной детали, которая подвергается раздаче, постоянная по всей длине.

Приведена методика статистической обработки результатов эксперимента на основе регрессионного анализа.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования процесса выдавливания металла полым пунсоном в подвижной ступенчатой матрице. Для установления степени влияния исследуемых факторов на качество получаемого изделия, а также на величину деформирующей силы применялась методика многофакторного эксперимента.

В качестве варьируемых параметров были приняты следующие соотношения (см. рис.1): $d_1/d_0$- относительный внешний диаметр нижней втулки; $d_4/d_0$- относительный диаметр фланца; $d_3/d_0$- относительный внутренний диаметр нижней втулки; $d_2/d_0$-относительный диаметр осевого отростка; $h_2/d_0$- относительная толщина донышка; $h_1/d_0$- относительная высота фланца; $d_0$-диаметр пуансона; p-удельная сила, прикладываемая со стороны матрицы к торцу фланца заготовки.

Качество полученных образцов оценивалось по отсутствию наиболее типичных дефектов, которые были обнаружены. К ним можно отнести:

-наплыв металла в зазор между торцевыми поверхностями фланца детали и ступени матрицы;

-трещина на боковой поверхности полости;

-неполное оформление нижнего отростка;

-отклонение от прямолинейности торцевой поверхности ступени фланца.

В качестве материала для изготовления заготовок взят алюминиевый сплав Д16.

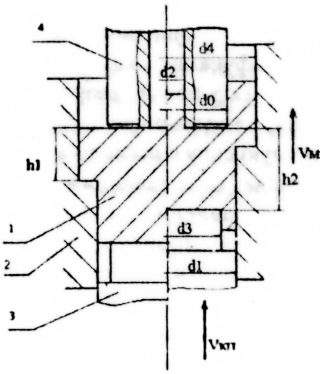


Рис.1 Схема изготовления двухполостной детали с фланцем и отростком способом комбинированного выдавливания

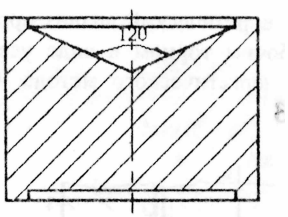


Рис.2 Профиль заготовок, подвергаемых сборке обратным выдавливанием

Эксперименты проведены на специализированном гидравлическом прессе для выдавливания с активными силами трения, разработанном в МГТУ им. Н.Э.Баумана. Для сокращения количества опытов использован дробный факторный эксперимент $3^3 \times 2^4//16$.

Получены уравнения регрессии с учетом эффектов взаимодействия в виде:

$$Y=b_0+b_1x_1+b_{11}z_1+b_2x_2+b_3x_3+b_4x_4+b_{44}z_4+b_5x_5+b_6x_6+b_7x_7+$$

$+ b_{77}x_7 + b_{71}x_7 x_1 + b_{74}x_7 x_4 + b_{75}x_7 x_5$,

где Y- функция отклика; x - линейная функция варьируемых параметров; z - квадратичная функция варьируемых параметров; b- коэффициенты модели. После обработки результатов экспериментов получены уравнения регрессии, связывающие появление перечисленных выше дефектов и деформирующую силу с исследуемыми факторами.

Установлено, что фактором, оказывающим наибольшее влияние на качество деталей, является давление матрицы на нижний торец фланца детали. С ростом давления происходит уменьшение наплыва металла, увеличение интенсивности течение металла в стенку нижней втулки, уменьшение трещины на боковой поверхности полости и одновременное уменьшение отклонения торцевой поверхности ступени фланца от плоскостности.

Наилучшее качество деталей можно получить, если давление на торец заготовки будет иметь значение, находящееся в диапазоне 22 - 32 МПа.

Также установлено, что к снижению деформирующей силы приводят уменьшение наружного диаметра пуансона, увеличение диаметра полости пуансона, уменьшение диаметра фланца заготовки, уменьшение ширины ступени контрпуансона.

В четвертой главе выполнен теоретический анализ процесса обратного выдавливания пунсоном с рабочим торцом в виде усеченного конуса. Анализ проводили на основе энергетического метода. Схема операции выдавливания приведена на рис.3.

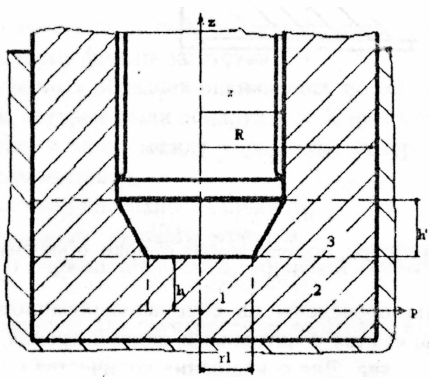


Рис.3. Расчетная схема операции выдавливания пуансоном с рабочим торцом в виде усеченного конуса

Деформируемое тело считается жесткопластическим. Очаг пластической деформации разделен на три зоны. Размеры первой области определены границами: $0 \le \rho \le r_1$ - в радиальном направлении и $0 \le z \le h$ - в вертикальном направлении; размеры второй области: $r_1 \le \rho \le R$ - в радиальном направлении и $0 \le z \le h$ - в вертикальном направлении; размеры третьей области определены границами: $r \le \rho \le R$ - в радиальном направлении и $h \le z \le h_1$ - в вертикальном направлении. $V_\theta=0$ в силу осевой симметрии задачи. Выбраны следующие функции для описания скоростей течения

Область 1:

$$V_\rho = -\frac{\rho}{2h}(Ah - 2Az - 1),$$

$$V_z = -\frac{z}{h} + Az\left(1-\frac{z}{h}\right),$$

где $A= 0{,}19R^2 - 0{,}58R + 0{,}053h^2 - 0{,}34h - 0{,}58\mu + 0{,}11Rh + 0{,}26R\mu + 0{,}38$

Область 2:

$$V_{\rho 2}= -\frac{R^2 - \rho^2}{2\rho h(R^2 - \rho^2)}(Ah - 2Az - 1),$$

$$V_{z2}=\frac{z}{h(R^2-1)} - \frac{Az}{R^2-1}\left(z-\frac{z}{h}\right),$$

где $A= 0{,}19R^2 - 0{,}58R + 0{,}053h^2 - 0{,}34h - 0{,}58\mu + 0{,}11Rh + 0{,}26R\mu + 0{,}38$

Область 3:

$$V_{\rho 3} = \frac{[1-(z' - h')\,\mathrm{ctg}\alpha](R^2 - \rho^2)\,\mathrm{ctg}\alpha}{\rho\,[R^2 -(1+( z' - h')\,\mathrm{ctg}\alpha)^2]^2},$$

$$V_{\rho 3} = \frac{1}{R^2 -(1+( z' - h')\,\mathrm{ctg}\alpha)^2},$$

где $z'=z+h$.

Для определения деформирующей силы записываем выражение (1) в развернутом виде.

Для облегчения взятия интегралов получившееся выражение заменено полиномом вида:

$$(q/\sigma_s) = b_0+b_{11}h^2+b_1h+b_{22}\alpha^2+b_2\alpha+b_3\mu+b_{12}h\alpha+b_{13}h\mu \qquad (3)$$

После определения коэффициентов полинома принимает вид

$$(q/\sigma_s) = 2{,}8813+0{,}39h^2-1{,}631h+0{,}0186\alpha-0{,}0007\alpha^2+0{,}0011\mu+$$
$$+0{,}0087h\alpha+0{,}0001h\mu \qquad (4)$$

Выражение для определения высоты очага пластической деформации в зависимости от угла конусности торца пуансона и коэффициента трения определяется из условия минимизации мощности внешних сил:

$$\frac{\partial(q/\sigma_s)}{\partial h}=0,$$

откуда следует, что

$$h=2{,}091-0{,}011\alpha-0{,}00014\mu. \qquad (5)$$

<u>В пятой главе</u> проведено исследование влияния различных факторов на качество сборки деталей обратным выдавливанием. В ходе анализа было установлено, что на качество сборочного соединения оказывают влияние следующие факторы:

- диаметр полости верхнего торца заготовок,
- форма донышка верхней полости заготовок,
- диаметр нижней полости заготовок,
- наличие активных сил трения,
- наличие буртика на стенке полости матрицы,
- форма рабочего торца контрпуансона.

При исследовании применяли сталь 10. Для сокращения количества опытов использован план дробного факторного эксперимента $2^6//8$. Статистическая обработка результатов эксперимента проводилась на основе регрессионного анализа. Задано уравнение регрессии, связывающее оценку качества получаемого соединения с исследуемыми факторами, в виде:

$$y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_4x_4+b_5x_5+b_6x_6.$$

В результате обработки данных эксперимента установлено, что основное влияние на качество сборки соединения оказывают относительный диаметр полости верхнего торца заготовок и относительный диаметр полости нижнего торца заготовок. Также установлено, что качественная сборка осуществляется в случае, когда рабочий торец контрпуансона имеет плоскую форму. Негативное влияние на качество сборки соединения оказывает наличие активных сил трения в

процессе выдавливания заготовок. Причем разрушение заготовок происходит при наличии буртика на стенке полости матрицы.

В данной главе проведен расчет силы, раскрывающей разъем сборочного соединения. Схема операции размыкания представлена на рис.4. Из схемы видно, что боковую стенку детали, которая подвергается деформированию, можно представить в виде участка трубы с внутренней конусной поверхностью. Деформируемая область детали состоит из двух участков: 1- боковая стенка, 2- участок перехода боковой стенки к основанию детали.

При размыкании узла детали начинают перемещаться в противоположных направлениях. При этом боковые стенки детали подвергаются растяжению. Это перемещение приводит к возникновению растягивающих меридиальных и тангенциальных напряжений $\sigma_\rho$ и $\sigma_\theta$. Причем $\sigma_\rho=0$ на переходе от очага деформации к основанию детали в исходном состоянии и возрастает до максимального значения $\sigma_{\rho\ max}$ в конце разделения деталей.

Для участка 1 дифференциальное уравнение имеет вид:

$$r\frac{d\sigma_r}{dr}+\sigma_r-\sigma_s(1+\mu ctg\alpha)=0$$

Решение дифференциального уравнения приводит к следующей формуле для описания распределения напряжений в первом участке:

$$\sigma_r=\sigma_s[(1+\mu ctg\alpha)(1-r_{1p}/r)+B_1\, r_{1p}/r].$$

Произвольная постоянная $B_1$ может быть найдена из граничного условия, согласно которому при

$$r=r_{1p}\quad \sigma_r=0.$$

Используя это условие, можно вывести формулу для определения величены напряжения $\sigma_r'$, действующего в первом участке на границе его со вторым участком, которая имеет вид:

$$\sigma_r'=\sigma_s[(1+\mu ctg\alpha)(1-\frac{r_{1p}}{R_{1p}})+\frac{s}{4R_1}\frac{r_{1p}}{R_{1p}}].$$

Распределение напряжений во втором участке очага деформации может быть охарактеризовано следующей формулой.

$$\sigma_r=\frac{\sigma_s}{\cos\alpha-в}[\cos\alpha-2\mu\sin\alpha-(\cos\alpha_к-2\mu\sin\alpha_к)[1+\mu(\alpha_к-\alpha)]+$$
$$+B_2(\cos\alpha_к-в)[1+\mu(\alpha_к-\alpha)]]. \qquad (6)$$

Постоянная интегрирования $B_2$ может быть найдена из условия,

что при $\alpha=\alpha_к$ $\sigma_r=\sigma_r''+\sigma_s\dfrac{s}{4r_ц}$,

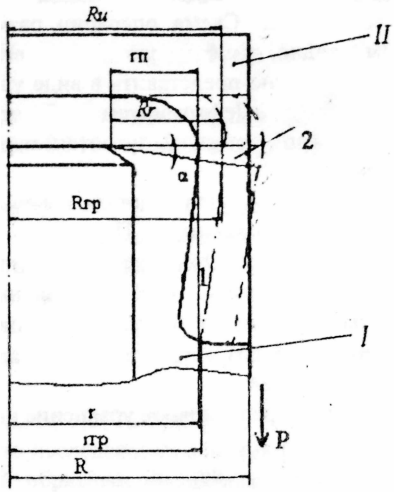


Рис.4. Расчетная схема для определения силы размыкания сборочного узла:

I - внутренняя деталь, II - внешняя деталь

где $r_п$ - радиус скругления кромки детали на переходе от его конической части к торцевой поверхности. При относительно малых значениях $r_ц$ точнее было бы подставлять радиус срединной поверхности детали во втором участке величиной

$$R_r=r_п+\frac{s}{2}.$$

Значение напряжения $\sigma_r''=\sigma_{r\,max}$ действующего во втором участке очага пластической деформации на границе с недеформированной частью основания детали может быть получено при подстановке в формулу 6 значения $\alpha=0$. Тогда формула для определения $\sigma_r''$ после отыскания значения $B_2$ и несложных преобразований с учетом того, что

$$1-в=1-\frac{a}{r_п}=1-\frac{r_п-R_u}{r_п}=\frac{R_u}{r_п}, \text{ а } \cos\alpha_к-в=\frac{R_{гр}}{r_п} \text{ примет вид:}$$

$$\sigma_{r\,max}=\sigma_r''=\frac{\sigma_s r_п}{R_u}\left[1-(\cos\alpha_к-2\mu\sin\alpha_к)(1+\mu\alpha_к)+\left((1+\mu ctg\alpha_к)\left(1-\frac{r_{гр}}{R_{гр}}\right)+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{s}{4r_п}\right)(1+\mu\alpha_к)\frac{R_{гр}}{r_п}\right].$$

Выражение для определения силы размыкания сборочного соединения следующее:

$$P=\pi(R^2-r^2)\frac{\sigma_s r_п}{R_u}\left[1-(\cos\alpha_к-2\mu\sin\alpha_к)(1+\mu\alpha_к)+\left((1+\mu ctg\alpha_к)\left(1-\frac{r_{гр}}{R_{гр}}\right)+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{s}{4R_r}\frac{r_{гр}}{R_{гр}}+\frac{s}{4r_п}\right)(1+\mu\alpha_к)\frac{R_{гр}}{r_п}\right].$$

В данной главе также изложена методика проектирования технологического процесса получения сборочного соединения способом обратного выдавливания спаренных заготовок.

Для получения деталей, подвергаемых сборке, предполагается использование цилиндрических заготовок. Диаметр заготовки должен быть равен наружному диаметру собираемых деталей. Форма и размеры собираемых деталей выбираются при помощи построенной математической модели исходя из условия получения высококачественного соединения.

Деформирующая сила обратного выдавливания спаренных заготовок, при котором происходит сборка, определяется характером течения на заключительной стадии штамповки. При этом происходит заполнение всех полостей, образованных профилями собираемых деталей. Поэтому можно считать, что на конечной стадии процесса производится обратное выдавливание одной заготовки. Значение деформирующей силы подсчитывается с учетом значения напряжения текучести материала, которое определяется по кривой упрочнения

Результаты работы в виде методики проектирования технологического процесса сборки деталей способом обратного выдавливания спаренных заготовок предполагается использовать в технологической практике НПО «ЗВЕЗДА».

## Общие выводы

1 Предложенная новая схема изготовления полых деталей с фланцем позволяет в 1,5 раза снизить удельную силу деформирования за счет использования активных сил трения, подтяжки за фланец, наличия осевого отростка при одновременном снижении увода пуансона в процессе деформирования.

2 Экспериментальные исследования выдавливания двухполостных ступенчатых деталей с фланцем по предложенной схеме позволили установить ряд наиболее типичных дефектов. Наибольшее влияние на качество получаемого изделия оказывает давление матрицы на торцевую поверхность фланца заготовки. Анализ полученного качества деталей (отсутствие типичных дефектов) в зависимости от относительных размеров инструмента, относительной высоты фланца заготовки, относительной величины хода контрпуансона, давления на торец фланца заготовки позволил установить оптимальные параметры процесса.

3 Предложенный способ получения сборочного соединения полых деталей является разновидностью применения известного метода обратного выдавливания спаренных заготовок, который ранее применяли только для безотходного выдавливания сквозных втулок.

4. Экспериментальные исследования сборки заранее спрофилированных заготовок позволили установить оптимальную форму заготовок и инструмента, при которых происходит соединение деталей.

5 Полученные в результате теоретических исследований выражения для определения относительной удельной силы обратного выдавливания пунсоном с рабочим торцом в виде усеченного конуса и формулы для определения силы размыкания сборочного соединения позволяют использовать их при проектировании технологического процесса сборки деталей способом обратного выдавливания спаренных заготовок.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Дмитриев А.М., Огаджанян О.И., Герасимов В.В. Применение активных сил контактного трения в операциях холодного выдавливания цилиндрических деталей // 100 лет Российскому автомобилю. Промышленность и Высшая школа: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Москва, 1996.-С.39.

2. Дмитриев А.М., Герасимов В.В. Кинематика течения при выдавливании пуансоном с усеченным коническим торцом // Моделирование и критерии подобия в процессах развитого пластического формоизменения: Тезисы докладов международного научно-технического симпозиума. - Орел, 1996.- С.22.

3. Герасимов В.В., Дмитриев А.М Комбинированное выдавливание сложных деталей // Машиностроительные технологии: Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-технической конференции. - Москва, 1998. - С.134-135.