

05.16.05 ЭЛК
Г687

Контрольный
экземпляр

На правах рукописи

Горелова

ГОРЕЛОВА Ирина Александровна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ТРУБНЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «РАЗДАЧА-ОБЖИМ»**

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2006

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете
(г. Челябинск).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Шеркунов Виктор Георгиевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Паршин Владимир Гаврилович;
кандидат технических наук, профессор
Швайгер Александр Михайлович.

Ведущее предприятие – ОАО «Трубодеталь» (г. Челябинск).

Защита состоится «__» _____ 2006 г., в ____ часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.01 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан «__» _____ 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физико-математических
наук, профессор



Д.А. Мирзаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В подавляющем большинстве отраслей народного хозяйства используются разного рода трубопроводные системы. К важнейшим элементам таких конструкций относятся концентрические осесимметричные переходы, позволяющие осуществлять стыковку труб разного диаметра. Трубные переходы являются незаменимыми деталями, используемыми в трубопроводах машин и агрегатов, выпускаемых предприятиями машиностроения, автомобиле-, судо-, самолетостроения и т.д. Без них не может обходиться нефтегазодобывающая, металлургическая и химическая промышленности, строительство, сельское хозяйство. Для иллюстрации факта широкого применения этого вида металлопродукции достаточно привести лишь два примера: трубные переходы применяются во всех гидрогазовых системах летательных аппаратов без исключения, равно как и во всех системах тепло- и водоснабжения, используемых в гражданском и промышленном строительстве.

Номенклатура трубных переходов включает 125 типоразмеров, регламентированных ГОСТ 17378-83. Многообразие сортамента предопределило и достаточно большое количество способов применяемых для получения этого вида продукции. Как показал анализ существующих на сегодняшний день способов, наиболее эффективным, экономичным и безопасным является способ изготовления переходов методом совмещения операций раздачи и обжима. К основным достоинствам данного способа следует отнести:

- возможность получения переходов со значительным отношением диаметров цилиндрических частей;
- исключение предварительного нагрева заготовки;
- получение готового изделия за один ход пресса;
- возможность получения переходов практически на любом прессовом оборудовании;
- низкую трудоёмкость и высокую производительность.

В тоже время, анализ технических и научных публикаций выявил, что совмещенный процесс «раздача-обжим» практически не исследован. В частности, отсутствует методика расчета напряженно-деформированного состояния заготовки в очаге деформации, не определены рациональные условия осуществления процесса, нет рекомендаций по выбору размеров исходной заготовки и проектированию инструмента, нет формул для расчета усилия деформирования при совмещенном процессе «раздача-обжим».

Безусловно, недостаточные теоретические и экспериментальные исследования совмещенного процесса «раздача-обжим» препятствуют его широкому использованию в промышленности. Таким образом, допустимо сделать вывод о том, что теоретическое и экспериментальное исследование процесса получения трубных переходов методом «раздача-обжим», результаты которого позволяют научно-обоснованно проектировать технологию и рабочий инструмент, выбирать заготовку и оборудование, является актуальным, имеет важное народнохозяйственное значение и вносит существенный вклад в ускорение научно-технического прогресса в области обработки металлов давлением.

Цель работы формулируется следующим образом: на основе накопленного опыта, математического и натурного моделирования выполнить комплексное исследование совмещенного процесса «раздача–обжим» и разработать рекомендации по повышению эффективности изготовления трубных переходов.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие *научные задачи*:

- разработать математическую модель совмещенного процесса «раздача–обжим» с целью определения основных энергосиловых параметров процесса, рациональной конструкции инструмента и условий деформирования;

- разработать алгоритм численной реализации предложенной математической модели и на основании численного эксперимента получить инженерные зависимости для нахождения основных технологических параметров;

- для проверки адекватности математической модели провести натурное моделирование совмещенного процесса «раздача–обжим» и сравнить с результатами, полученными с помощью математической модели;

- экспериментально и теоретически исследовать влияние технологических параметров на потерю устойчивости заготовки в ходе процесса деформирования;

- провести экспериментальное исследование и выявить влияние параметров контактного взаимодействия заготовки с рабочим инструментом на изменение условий деформирования в процессе штамповки;

- на основании теоретического и экспериментального исследования разработать научно-обоснованные рекомендации по выбору необходимого оборудования, проектированию технологии и рабочего инструмента.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые разработана математическая модель, позволяющая определить напряженное состояние в очаге деформации при осуществлении совмещенного процесса «раздача–обжим»;

- впервые получены зависимости для расчета усилия деформирования и среднего напряжения в зоне между участками раздачи и обжима, учитывающие геометрию заготовки и рабочего инструмента, механические свойства материала заготовки, условия трения на контакте пуансона и матрицы с заготовкой, кинематику процесса и величину раздачи–обжима;

- впервые разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать потерю заготовкой устойчивости в ходе осуществления процесса раздачи–обжима и определить соотношение технологических параметров, обеспечивающих стабильное протекание процесса деформирования;

Практическая значимость и реализация результатов. Разработанные методики определения энергосиловых параметров совмещенного процесса «раздача–обжим» и прогнозирования устойчивости формоизменения позволяют на стадии проектирования технологических процессов без проведения затратных экспериментов определять рациональные режимы деформирования, разрабатывать технологические карты, осуществлять выбор оборудования и заготовки для реализации процесса получения трубных переходов. Ряд материалов исследования, в частности математическая модель процесса «раздача–обжим», алгоритмы и

программы её реализации, переданы для использования на ОАО «Трубодеталь», кроме того, результаты исследования используются в учебном процессе при подготовке инженеров специальности 15.02.01 – «Машины и технология обработки металлов давлением» в Южно-Уральском государственном университете.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на III Международной конференции «Научно-технический прогресс в металлургии» (Республика Казахстан, г. Темиртау, 2005 г.), XXXIV Уральском семинаре по механике и процессам управления (г. Миасс, 2004 г.), II Международной научно-технической конференции «Механика пластического формоизменения» (г. Тула, 2004 г.), на ежегодных научно-технических конференциях ЮУрГУ (2001–2005 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе одна статья в зарубежном сборнике, 7 статей в российских рецензируемых сборниках научных трудов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 92 наименования и приложений. Работа изложена на 139 страницах без учета приложений и содержит 84 рисунка и 14 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу ситуации сложившейся в области производства трубных концентрических переходов и обоснованию необходимости проведения соответствующих научных исследований.

Изучение научной и технической литературы показало, что в настоящее время известно около 20 способов получения трубных переходов, причем степень их исследованности существенно различается и находится в пределах от идеи на уровне изобретения, до глубокой проработки, позволяющей производить продукцию в промышленных масштабах.

Достигнутые результаты в значительной степени предопределены работами отечественных ученых, среди которых следует отметить исследования В.М. Сапожникова, М.Н. Горбунова, С.И. Губкина, В.П. Романовского, В.Н. Федорова, Ю.С. Летникова, М.А. Барановского, А.Ю. Аверкиева.

Анализ литературных данных позволил сформулировать требования, которым должны удовлетворять применяемые технологии и используемое оборудование. К ним следует отнести:

- возможность использования типового неспециализированного штамповочного оборудования;
- осуществление деформации заготовки в холодном состоянии;
- получение готового изделия за один ход рабочего инструмента;
- исключение доделочных операций.

Из всей гаммы известных способов получения концентрических переходов наиболее полно перечисленным требованиям удовлетворяет совмещенный процесс одновременной раздачи и обжима заготовки. В тоже время, этот процесс

практически не исследован и отсутствуют какие-либо наработки, позволяющие научно-обоснованно проектировать технологический процесс. Итогом первой главы диссертации помимо обоснования актуальности явилась формулировка целей и задач исследования в том виде, как это представлено в соответствующем разделе общей характеристики работы.

Во второй главе приведены результаты теоретического исследования совмещенного процесса «раздача–обжим». Поскольку очаг деформации не стационарен по времени, процесс деформирования можно условно разделить на четыре стадии. На первой стадии происходит только раздача коническим участком пуансона (рис. 1). На второй стадии осуществляется не только раздача, но и обжим заготовки (рис. 2). Третья стадия – обжим и раздача с выходом верхнего торца заготовки на цилиндрический участок пуансона. Данная стадия заканчивается, когда верхний торец заготовки упрется в поясок пуансона (рис. 3). Четвертая стадия – обжим, выход нижнего торца заготовки в цилиндрическую часть матрицы (рис. 4).

На каждой стадии предлагается разбить заготовку на зоны. Схемы напряженного состояния в каждой зоне будут разные (рис. 5). На первой стадии можно выделить 3 зоны, на второй – 5, на третьей – 7 зон, на четвертой – 9 (см. рис. 1–4).

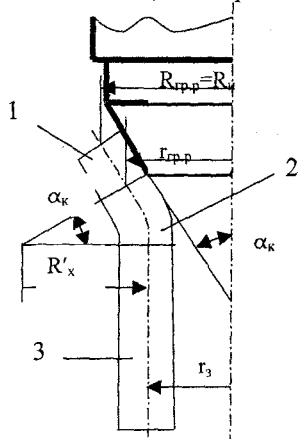


Рис. 1. Схема для расчета напряженного состояния для первой стадии

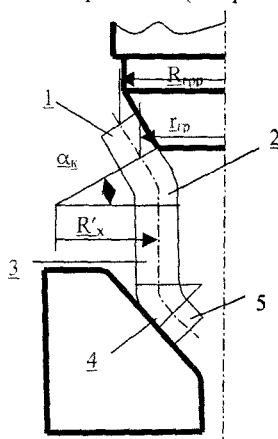


Рис. 2. Схема для расчета напряженного состояния для второй стадии

При этом в процессе деформирования протяженность зон либо меняется, либо какой-то промежуток времени остается неизменной. Причем протяженность зон зависит от выбранной заготовки и от конфигурации пуансона и матрицы.

При исследовании процесса были приняты следующие допущения:

- процесс пластической деформации протекает монотонно,
- металл не сжимаем, это позволяет использовать условие постоянства объема,

– материал заготовки представляет собой упругопластическую упрочняемую среду.

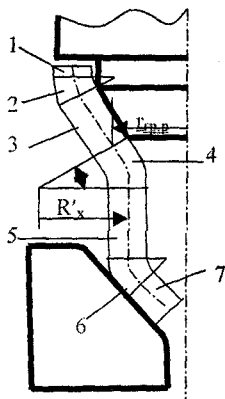


Рис. 3. Схема для расчета напряженного состояния для третьей стадии

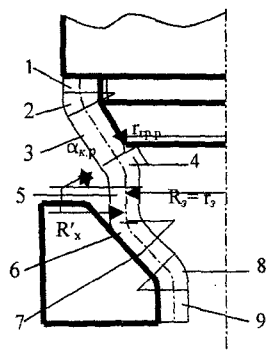


Рис. 4. Схема для расчета напряженного состояния для четвертой стадии

Схема направления осей координат представлена на рис. 6.

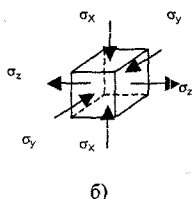
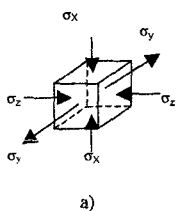


Рис. 5. Схемы напряженного состояния: а) верхнего торца заготовки, б) нижнего торца заготовки

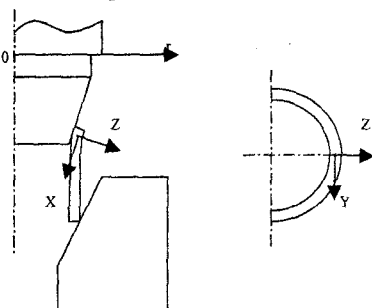


Рис. 6. Схема расположения осей координат

Деформации в зонах, где происходит обжим и раздача пластические, а в стенках заготовки упругие, пока заготовка не потеряет устойчивость.

Для определения напряжений σ_x , σ_y и σ_z использовались уравнения связи между напряжениями и результирующими деформациями:

$$\frac{e_x - e_y}{e_x - e_z} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{\sigma_x - \sigma_z}, \quad (1)$$

где e_x , e_y , e_z – деформации по соответствующим осям, определяемые следующими выражениями:

$$e_x = \ln \frac{\Delta r_H}{\Delta r_k}; \quad e_y = \ln \frac{r_H}{r_k}; \quad e_z = \ln \frac{S_H}{S_k}. \quad (2)$$

Здесь Δr_n и Δr_k – начальные и конечные размеры рассматриваемого элемента в продольном направлении; r_n и r_k – начальные и конечные значения радиуса, определяющего расстояние рассматриваемого элемента от оси симметрии; S_n и S_k – начальные и конечные значения толщины стенки заготовки рассматриваемого элемента.

Уравнения равновесия для бесконечно малого элемента толщиной S , выделенного в торевидном участке очага деформации:

$$\frac{P}{S} - \frac{\sigma_x}{R_x} - \frac{\sigma_y}{R_y} = 0, \quad (3)$$

где P – нормальное напряжение, действующее на контактной поверхности; σ_x и σ_y – напряжения, равномерно распределенные по толщине заготовки; R_x и R_y – радиусы кривизны по соответствующим направлениям.

Уравнения пластичности по условию постоянства максимальных касательных напряжений:

а) для зоны раздачи: $\sigma_x - \sigma_y = -\sigma_T$; (4)

б) для зоны обжима: $\sigma_y = -\sigma_T$,

где σ_T – предел текучести металла.

В виду ограниченного объема автореферата, методику построения математической модели приведем лишь для первой стадии процесса. Так величина напряжения σ_x в первой зоне (см. рис. 1) определяется выражением:

$$\sigma_x = -\sigma_{st} \left\{ \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_k}{\mu} \right) \left[1 - \left(\frac{r}{R_{sp,p}} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha_k}} \right] \right\}, \quad (5)$$

где σ_{st} – сопротивление деформации с учетом упрочнения;

$$\sigma_{st} = \frac{\sigma_6}{1 - \psi_w} \left(\frac{\psi}{\psi_w} \right)^{\frac{\psi_w}{1 - \psi_w}}, \quad (6)$$

σ_6 – предел прочности на разрыв; ψ_w – относительное уменьшение площади поперечного сечения в момент образования шейки; $\psi = \frac{\delta}{1 - \delta} = \frac{\varepsilon_y}{1 - \varepsilon_y}$ – относительное

уменьшение площади поперечного сечения образца; $\varepsilon_y = 1 - \frac{r}{R_r}$ – величина окружающей деформации элемента; δ – относительное удлинение образца; μ – коэффициент трения; r – текущий радиус; R'_x – радиус свободного изгиба заготовки (см. рис. 1) равен

$$R'_x = \frac{\sqrt{R_n \times S_k}}{\sqrt{2} \times \sin \alpha_k}. \quad (7)$$

Толщина стенки заготовки в любом поперечном сечении участка раздачи определяется выражением

$$S_k = S_H \left(\frac{r_3}{r} \right)^2 \left[1 - 2 \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_k}{\mu} \right) \left[1 - \left(\frac{r}{R_u} \right) \left(\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha_k} \right) \right] \right] / \left[2 - \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_k}{\mu} \right) \left[1 - \left(\frac{r}{R_u} \right) \left(\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha_k} \right) \right] \right] \quad (8)$$

Здесь r_3 — средний радиус заготовки (см. рис. 1).

Величина напряжения σ_x , действующего в первой зоне на границе со второй, может быть найдена по формуле

$$\sigma_x = -\sigma_{Si} \left\{ \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_x}{\mu} \right) \left[1 - \left(\frac{r_{sp,p}}{R_{sp,p}} \right) \left(\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha_x} \right) \right] \right\}, \quad (9)$$

Величина напряжения σ_x во второй зоне очага деформации определяется по формуле

$$\sigma_x = -\sigma_{Si} \cdot \left(\ln \frac{r_{sp,p}}{r} + B_3 \right). \quad (10)$$

Величина произвольной постоянной B_3 находится из граничного условия, по которому при $r = r_{sp}$, напряжение σ_x должно быть равно напряжению σ_x'' плюс приращение напряжения $\Delta \sigma_x$, имеющей применительно к условиям изгиба и спрямления на границах первой и второй зон очага деформации следующий вид:

$$\Delta \sigma_x = -\sigma_{Si} \cdot \frac{S}{4R'_x}, \quad (11)$$

$$\sigma_x'' + \Delta \sigma_x = -\sigma_{Si} \cdot \left(\ln \frac{r_{sp,p}}{r} + B_3 \right), \quad (12)$$

где σ_x'' — напряжение в первой зоне на границе со второй.

Используя это граничное условие, после определения B_3 и преобразований имеем

$$\sigma_x = -\sigma_{Si} \cdot \left(\ln \frac{r_{sp,p}}{r} + \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_x}{\mu} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{r_{sp,p}}{R_{sp,p}} \right) \left(\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha_x} \right) \right] + \frac{S}{4R'_x} \right), \quad (13)$$

где $R'_x = \frac{r_{sp,p} - r_3}{1 - \cos \alpha_x}$.

Напряжения σ_x , возникающие в третьей зоне определяются выражением

$$\sigma_x = -\sigma_{Si} \cdot \left(\ln \frac{r_{sp,p}}{r_3} + \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_x}{\mu} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{r_{sp,p}}{R_{sp,p}} \right) \left(\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha_x} \right) \right] + \frac{S}{4R'_x} \right). \quad (14)$$

Напряжения σ_y и σ_z находятся из совместного решения уравнений равновесия и условия постоянства объёмов.

$$\sigma_y = \frac{\sigma_x \cdot e_z - \sigma_x}{1 + \frac{2e_x}{e_y}} \quad (15)$$

На первой стадии напряжение σ_z на торце заготовки равно σ_T , так как в этот момент деформации уже пластические.

Таким образом, получены выражения для определения напряжений σ_x , σ_y и σ_z в любой точке участка деформации с учетом сил трения и изменения толщины стенки. Аналогично были получены выражения для определения напряжений на второй, третьей и четвертой стадиях процесса.

Усилие деформирования определяется выражением

$$P = \pi \cdot D \cdot S \cdot \sigma_{x \max} \quad (16)$$

где $\sigma_{x \max}$ – наибольшее по очагу деформации сжимающее напряжение; D – средний диаметр в наиболее нагруженном сечении; S – толщина стенки в данном сечении.

На рис. 7 представлен алгоритм расчета напряжений и усилия деформирования по разработанной автором математической модели.

На рис. 8–11 приведены эпюры напряжений, полученные в результате реализации модели для конкретного примера.

Выводы по главе

1. В процессе деформирования максимальные напряжения σ_x в заготовке возникают в зоне между участками раздачи и обжима. Наиболее интенсивный рост σ_x наблюдается, когда происходит одновременно раздача и обжим заготовки. Максимального значения σ_x достигает в момент, когда раздача закончилась и происходит окончательный обжим заготовки в матрице. Коэффициент трения оказывает существенное влияние на рост напряжения σ_x в цилиндрической части заготовки. Как показали расчеты, при увеличении угла конусности пуансона и матрицы в 2 раза, напряжение σ_x меж-

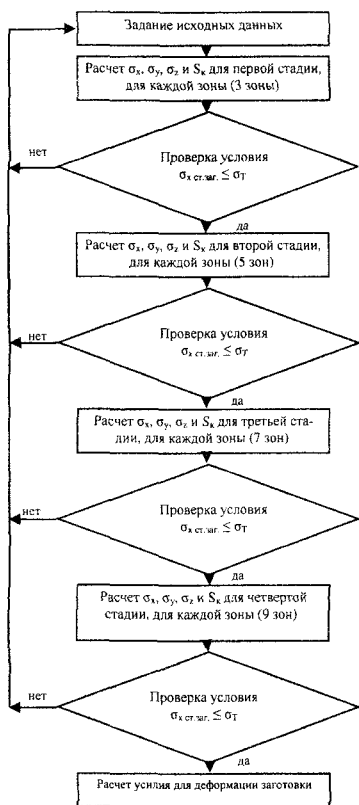


Рис. 7. Алгоритм расчета напряжений и усилия для совмещенного процесса «раздача–обжим»

ду участками раздачи и обжима и усилие деформирования увеличиваются в 1,7 раза.

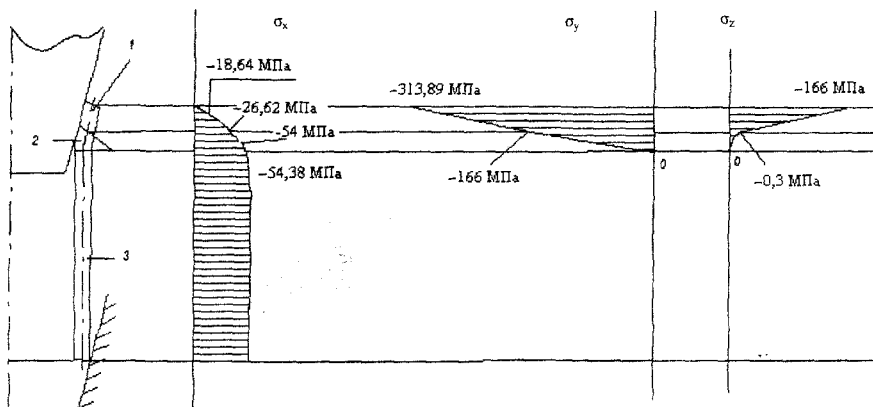


Рис. 8. Эпюры напряжений для первой стадии

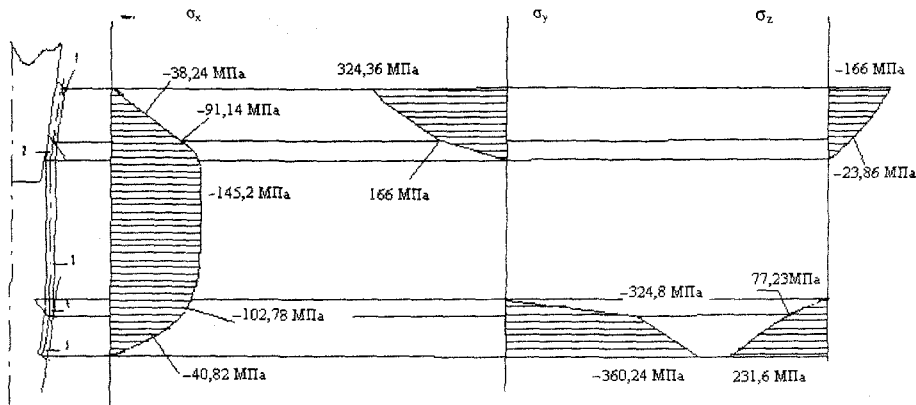


Рис. 9. Эпюры напряжений для второй стадии

2. Потеря устойчивости в виде поперечной складки возникает, когда напряжения σ_x в цилиндрической части заготовки между зонами раздачи и обжима превысит σ_T – предел текучести материала заготовки. Поэтому, при проектировании инструмента и выборе смазочного материала, нужно подобрать такие значения коэффициента трения и угла конусности пуансона и матрицы, чтобы напряжения σ_x в цилиндрической части заготовки на 1,2 и 3 стадиях процесса не превышали σ_T .

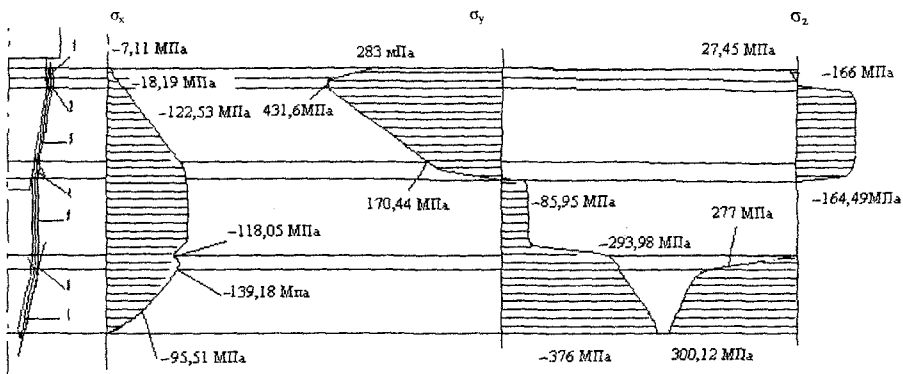


Рис. 10. Эпюры напряжений для третьей стадии

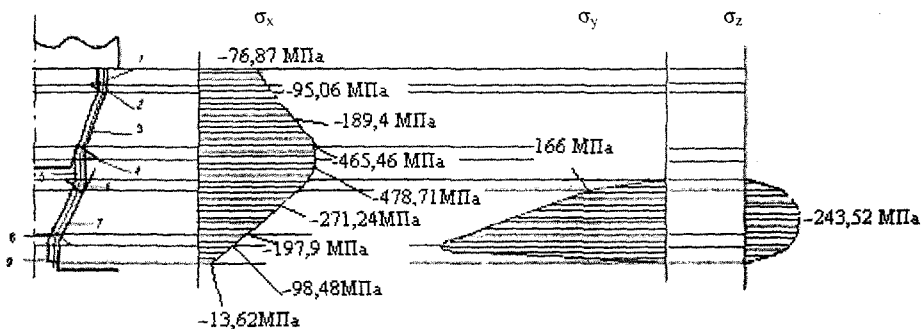


Рис. 11. Эпюры напряжений для четвертой стадии

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям процесса раздача-обжим.

Первая серия экспериментов проводилась с целью изучения особенностей формоизменения заготовки. В качестве деформирующего агрегата использовалась гидроустановка (рис. 12), установленная в лаборатории кафедры МиТОМД ЮУрГУ. Для штамповки использовались медные заготовки (материал – М1). В качестве смазки поверхностей пуансона и матрицы использовалось машинное масло. Ход пуансона разбили на 6 приблизительно одинаковых участков. Последовательное изменение формы заготовки в процессе деформирования представлено на рис. 13.

В процессе эксперимента осуществлялся замер перемещения верхнего (Δ_n) и нижнего (Δ_n) торцов заготовки, толщины стенки (t_n , t_n) заготовки (рис. 14) и высота (H) в целом. На рис. 15–17 представлены экспериментальные кривые, характеризующие изменение этих параметров от величины хода пуансона.

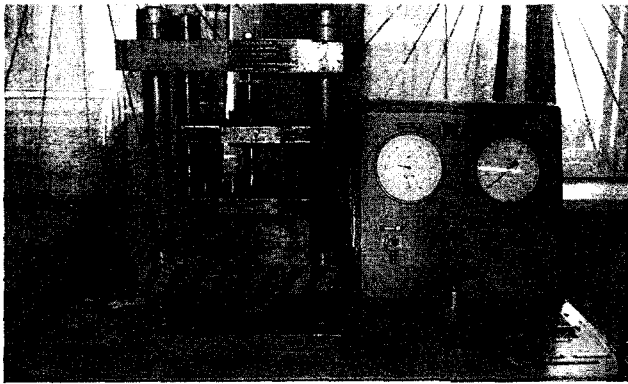


Рис. 12. Фотография внешнего вида гидроустановки

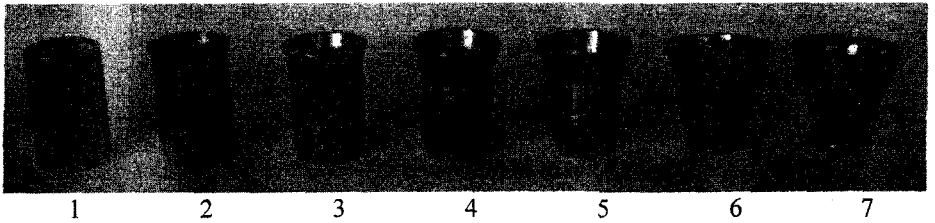


Рис. 13. Формоизменение заготовки

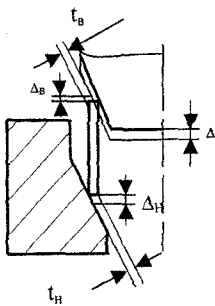


Рис. 14. Схема совмещенного процесса «раздача-обжим»

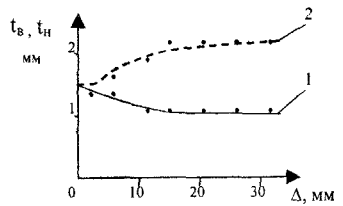


Рис. 15. График зависимости изменения величин t_n и t_b от хода пуансона Δ : 1 – кривая изменения толщины стенки верхнего края заготовки; 2 – кривая изменения толщины стенки нижнего края заготовки

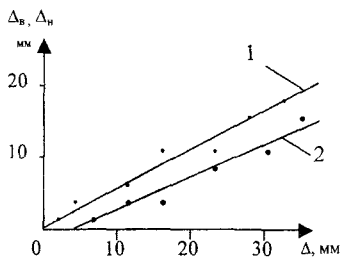


Рис. 16. График зависимости изменения величин Δ_b и Δ_n от хода пуансона Δ : 1 – кривая изменения величины Δ_b ; 2 – кривая изменения величины Δ_n

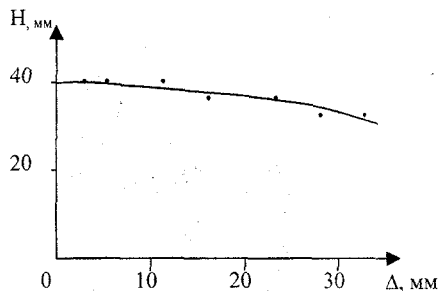


Рис. 17. График зависимости изменения высоты заготовки H от хода пуансона Δ

В результате экспериментов установлено, что действительно изначально при опускании пуансона наблюдается только процесс раздачи. Заготовка начинает обжиматься в матрице, только при опускании пуансона на 9,06 % от полного хода. Это подтверждает, что на обжим требуется большее усилие, чем на раздачу.

На рис. 15 представлены экспериментальные кривые изменения толщины стенки верхнего торца заготовки t_b и нижнего торца t_n от хода пуансона Δ . Из графиков видно, что увеличение толщины стенки нижнего торца заготовки происходит только при опускании пуансона на 9,06 % от полного хода.

Как видно из рис. 17 наиболее интенсивно высота заготовки – H уменьшается, когда происходят одновременно раздачи и обжим.

Вторая серия экспериментов проводилась с целью изучения влияния контактного трения на усилие деформирования. При проведении эксперимента использовались два штампа. Один с обработанными поверхностями матрицы и пуансона до шероховатости $Ra\ 3,2$, а второй с отшлифованными рабочими поверхностями инструмента до шероховатости $Ra\ 0,2$. Использовались четыре вида смазки: «Росойл-222», «Росойл-503», машинное масло и мыло. Штамповались медные заготовки (материал – М1). Исходные размеры заготовки: высота $H=40$ мм, внешний диаметр заготовки $D_3=24$ мм, толщина стенки заготовки $t_3=1,5$ мм. Свойства материала: $\sigma_b=200$ МПа, $\sigma_{0,2}=60$ МПа, $\delta=45\%$, $\psi=85\%$.

При штамповке в штампе с обработкой поверхностей рабочего инструмента $Ra\ 3,2$ заготовка уже на второй стадии теряет устойчивость. Появление дефекта в виде поперечной складки хорошо видно на рис. 18.

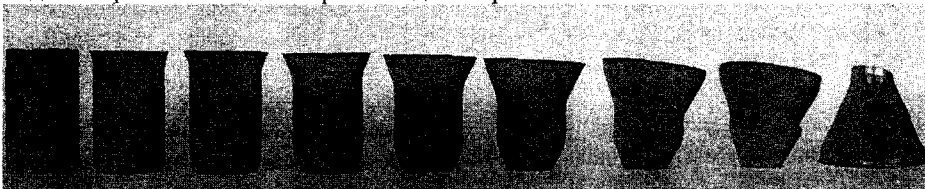


Рис. 18. Формоизменение заготовки в штампе с обработкой поверхностей рабочего инструмента $Ra\ 3,2$

При штамповке в штампе с отполированными поверхностями заготовка устойчивее не теряет (см. рис. 13). На рис. 19 показаны две заготовки, отштампованные в штампах с разной обработкой поверхностей рабочего инструмента.

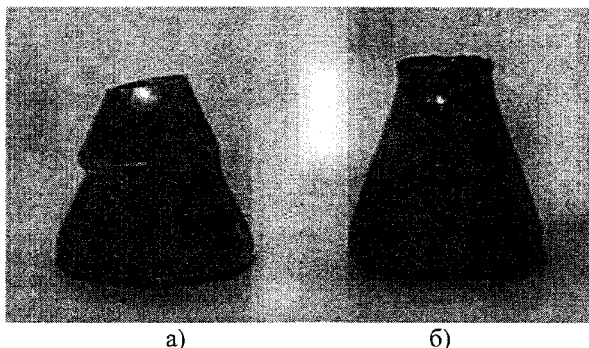


Рис. 19. Форма деталей, полученных в штампах с разной обработкой поверхностей рабочего инструмента: а) с чистой поверхности Ra 3,2; б) с отшлифованными поверхностями до шероховатости Ra 0,2

Эксперимент показал, что чистота обработки поверхностей инструмента оказывает большое влияние на качество получаемых изделий. При грубой обработке вероятность появления дефекта в виде поперечной складки весьма высока.

Эксперимент с различными видами смазок проводился на гидравлическом прессе усилием 500 тонн. Деформировались медные заготовки (М1). Внешний диаметр исходной заготовки $D_3 = 24$ мм, высота $H = 40$ мм, толщина стенки исходной заготовки $t_3 = 1,5$ мм. Общий коэффициент обжима раздачи $K_{об.р} = K_p \cdot K_{об} = 2,23$, $t_3/d_3 = 0,142$, $\sigma_t = 166$ МПа. Изготовить деталь с таким коэффициентом только обжимом или только раздачей, не применяя нагрев или штамповку в нескольких переходах нельзя, так как она потеряет устойчивость. Заготовки штамповались в холодном состоянии. Использовались следующие виды смазок: «Росойл-222», «Росойл-503», мыло и машинное масло. Для замера усилия, возникающего в процессе штамповки, использовалась тензостанция и месдоза.

Первая серия экспериментов проводилась для каждой из четырех перечисленных выше смазок. Так в первом опыте заготовки, матрица и пуансон смазывались смазкой «Росойл-222». Во втором – «Росойл-503», в третьем – машинным маслом, в четвертом – мылом. При последующих опытах использовались варианты, когда на пуансон и матрицу наносились различные виды смазки.

Графики зависимостей усилия от применяемой смазки представлены на рис. 20.

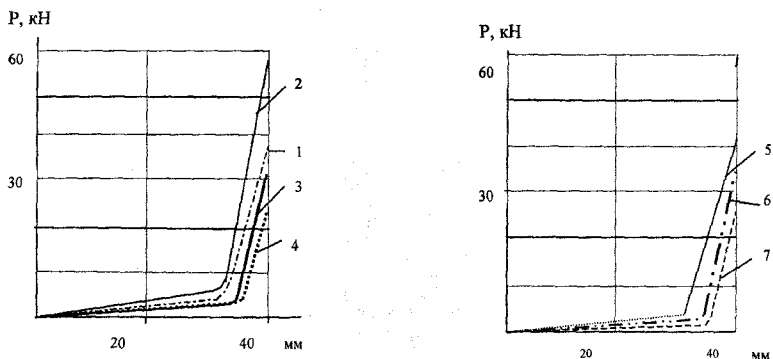


Рис. 20. Графики зависимостей усилия от применяемых смазок:

- 1 – матрица – «Росойл-222», заготовка – «Росойл-222», пуансон – «Росойл-222»;
- 2 – матрица – «Росойл-503», заготовка – «Росойл-503», пуансон – «Росойл-503»;
- 3 – матрица – машинное масло, заготовка – машинное масло, пуансон – машинное масло
- 4 – матрица – мыло, заготовка – мыло, пуансон – мыло
- 5 – матрица – «Росойл-222», заготовка – «Росойл-503», пуансон – «Росойл-503»;
- 6 – матрица – «Росойл-222», заготовка – машинное масло, пуансон – машинное масло
- 7 – матрица – «Росойл-222», заготовка – мыло, пуансон – мыло

После проведения эксперимента и обработки осциллограмм были получены следующие результаты:

- в процессе деформации ни одна из заготовок не потеряла устойчивость;
- наименьшее усилие деформирования ($P=23,69$ кН) возникает при использовании в качестве смазки жидкого мыла. При этом смазка наносилась и на заготовку и на инструмент;
- наибольшее усилие деформации ($P=59,22$ кН) возникает при использовании смазки «Росойл-503». При данном опыте ею смазывались и заготовка и инструмент;
- при всех комбинациях смазок наблюдалось частичное прилипание заготовки к инструменту, в основном, к пуансону.

Таким образом, из рассмотренных четырех видов смазок для операции совмещенного обжима и раздачи может быть рекомендована смазка – жидкое мыло (для штамповки медных заготовок), поскольку, её использование обеспечило наименьшее усилие деформирования и хорошее качество получаемых изделий.

Поскольку проведение натурных исследований связано с объективными трудностями, вызванными значительной стоимостью изготовления штамповой оснастки, был проведен численный эксперимент с использованием пакета программ «DEFORM-2D». Целью эксперимента были:

- проверка адекватности разработанной в диссертации математической модели;

– получение статистических зависимостей для определения усилия деформирования и величины среднего напряжения.

Исследования проводились с использованием дробного факторного эксперимента 1/8 реплики от ПФЭ типа 2^{7-3} .

Математическая модель процесса выводилась в виде

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j. \quad (17)$$

Как видно, в реплике учитываются кроме линейных и эффекты парных взаимодействий. В результате статистической обработки данных эксперимента получены зависимости:

для расчета усилия деформирования:

$$P = 356,43 - 2420,6\mu_{n_3} - 0,16\sigma_s - \alpha + 207,7S_3/d_3 - 244\mu_{m_3} - 183,59K_{p,об} - 0,7V + 7080\mu_{n_3}\mu_{m_3} + 0,19\sigma_s K_{p,об} + 0,006\alpha V + 768,9\mu_{n_3}K_{p,об} + 2,14\sigma_s\mu_{m_3} + 1,94S_3/d_3 V + 2,3\mu_{n_3}V + 28,7\alpha\mu_{m_3} + 716,7S_3/d_3 K_{p,об} + 0,0002\sigma_s V + 2727S_3/d_3 \mu_{m_3} + 0,97\alpha K_{p,об}, \quad (18)$$

для расчета величины среднего напряжения:

$$\sigma_{cp} = 222 - 279\mu_{n_3} + 0,26\sigma_s + 3,5\alpha + 875,2S_3/d_3 + 2025\mu_{m_3} - 32K_{p,об} - 0,26V + 8240\mu_{n_3}\mu_{m_3} + 0,2\sigma_s K_{p,об} + 0,007\alpha V + 877,7\mu_{n_3}K_{p,об} + 2,4\sigma_s\mu_{m_3} + 2,2S_3/d_3 V - 1,48\mu_{n_3}V - 183\alpha\mu_{m_3} - 483,7S_3/d_3 K_{p,об} - 0,00015\sigma_s V - 1980,9S_3/d_3 \mu_{m_3} - 0,67\alpha K_{p,об}. \quad (19)$$

Сравнительный анализ результатов, полученных по методике автора, статистическим зависимостям и экспериментальным данным показал, что расхождение не превышает 15 %.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что при штамповке переходов наблюдаются четыре стадии процесса, подробно описанные во второй главе.

Следует отметить, что на процесс деформирования существенное влияние оказывает чистота обработки поверхностей и соосность пуансона и матрицы. Эти два фактора в значительной степени определяют стабильность протекания процесса деформирования.

Влияние трения на контакте деформируемый металл – рабочий инструмент существенно, поэтому использование смазки при осуществлении процесса является необходимым условием.

Определено, что усилие деформирования значительно зависит от соотношения S_3/d_3 (что в какой-то степени тривиально) и от величины угла конусности пуансона. Анализ показал, что для обеспечения минимального усилия следует проектировать пуансон с углом $\alpha=20^\circ$.

В тоже время скорость перемещения пуансона не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на этот силовой параметр, что не накладывает ограничений на тип используемого деформирующего оборудования.

В четвертой главе приводятся исследования и методика построения промышленной технологии. Разработан алгоритм и получены зависимости, обеспечивающие следующую последовательность действий:

1) расчет среднего диаметра заготовки;

- 2) расчет толщины заготовки;
- 3) расчет длины заготовки и выбор трубы;
- 4) проверка заготовки на возможность потери устойчивости по одному из вариантов:

по методике разработанной во второй главе;

по номограмме, без выполнения расчетных операций;

- 5) расчет размеров матрицы;
- 6) расчет размеров пуансона;
- 7) составление технологической карты изготовления трубного перехода с применением совмещенного процесса «раздача–обжим».

Разработанная методика достаточно проста и при отсутствии дорогостоящих компьютерных программ, которые есть не на всех заводах, позволяет построить технологический процесс, проверить заготовку на устойчивость и определить рациональные условия процесса штамповки.

Простота расчетов при подготовке производства, а также экономичность процесса совмещенных «раздачи–обжима» выгодно отличают его от других, рассмотренных в первой главе способов изготовления переходов. Так использование процесса «раздача–обжим» при изготовлении перехода Э 426×16–159×10–09Г2С ГОСТ 17378–83 в сравнении с применяемым на ОАО «Трубодеталь» способом изготовления переходов сваркой из двух половинок, позволяет экономить 2082,5 руб. на одном изделии.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Анализ имеющихся литературных источников показал, что процесс изготовления переходов с $K_{p. об} \geq 1,47$ методом совмещения «раздачи–обжима» является наиболее выгодным, производительным, безопасным и экономичным. В то же время, процесс «раздача–обжим» не исследован ни теоретически, ни экспериментально, поэтому отсутствуют какие-либо рекомендации, позволяющие применить его в промышленности.

В работе представлена впервые разработанная математическая модель процесса «раздача–обжим», позволяющая определить энергосиловые и деформационные характеристики и выполнить анализ влияния на них основных технологических параметров.

Полученные теоретические зависимости позволяют рассчитать напряжения на любой стадии процесса, в любой точке заготовки, что в свою очередь позволяет прогнозировать потерю устойчивости заготовки и образование дефекта в виде поперечной складки. Разработанная методика и математическая модель расчета напряженного состояния позволяет путем варьирования параметров, характеризующих материал заготовки, условия на контактных поверхностях, геометрию инструмента определить условия осуществления процесса, обеспечивающие его стабильное протекание и получение качественно изделия.

Результаты реализации математической модели представлены в виде номограммы, с помощью которой можно осуществить проверку заготовки на возможность потери устойчивости, без проведения вычислительных операций.

В результате статистической обработки данных реализации математической модели и численного эксперимента получены инженерные зависимости, позволяющие определить силовые характеристики процесса с учетом условий на контактных поверхностях, параметров деформирующего инструмента, материала и размеров заготовки.

Комплекс экспериментальных исследований подтвердил теоретические предположения и выводы, что в совокупности позволило разработать рекомендации по проектированию технологического процесса и прессоснастки, обеспечивающие получение качественных трубных переходов. Анализ технологии изготовления переходов способом совмещения раздачи и обжима выявил, что при его применении сокращается себестоимость и время изготовления изделия, что в настоящее время немаловажно для любого производителя.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах

1. Горелова И.А., Погорелов Ю.М., Шеркунов В.Г. Особенности получения трубных концентрических приварных бесшовных переходов// Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2003. – Вып. 4. – № 4 (25). – С. 60–62.

2. Горелова И.А., Погорелов Ю.М., Шеркунов В.Г. Анализ способов получения трубных концентрических приварных бесшовных переходов// Механика и процессы управления. Серия технология и машины обработки давлением: Труды XXXIII Уральского семинара. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2003. – С. 51–53.

3. Горелова И.А., Шеркунов В.Г. К вопросу определения напряжений при совмещении процессов обжима и раздачи // Вестник КГУ. – Курган: КГУ, 2005. – С. 122–126.

4. Горелова И.А., Шеркунов В.Г., Погорелов Ю.М. Экспериментальное исследование влияния коэффициента трения на величину усилия для совмещенного процесса «раздача–обжим»// Научно-технический прогресс в металлургии: Сборник научных трудов.– Алматы: РИК, 2005. – С. 406–409.

5. Горелова И.А., Шеркунов В.Г. Исследование напряженного состояния совмещенного процесса «обжим–раздача» // Наука и технологии. Серия технологии и машины обработки давлением: Избранные труды российской школы. – М.: РАН, 2005. – С. 45–54.

6. Горелова И.А., Шеркунов В.Г. Анализ напряженного состояния для операции совмещения обжима и раздачи // Наука и технологии. Серия технологии и машины обработки давлением: Избранные труды российской школы.– М.: РАН, 2005. – С. 55–65.

7. Горелова И.А., Погорелов Ю.М. Экспериментальное исследование процесса формоизменения при штамповке трубных переходов при совмещенном об-

жиме и раздаче // Наука и технологии. Серия технологии и машины обработки давлением: Избранные труды российской школы.– М.: РАН, 2005. – С. 102–103.

8. Горелова И.А., Шеркунов В.Г. Применение пакета DEFORM–2D для моделирования процесса совмещенного обжима и раздачи // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвузовский сборник научных трудов. – Магнитогорск, 2005. – С. 62 – 67.

ГОРЕЛОВА Ирина Александровна

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ТРУБНЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «РАЗДАЧА-ОБЖИМ»

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 10.04.2006. Формат 60×84 1/16. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 83/24.

Группа МЭНП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.