

М 474059
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

На правах рукописи

Жакенов Дмитрий Абдугалиевич

УДК 621.7.011

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОТРЕЗКИ
ТРУБЫ ДВУХОСНЫМ СДВИГОМ

05.03.05 - процессы и машины обработки давлением

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1988

Работа выполнена в Карагандинском политехническом институте
и Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель -
доктор технических наук, профессор Е.А.Попов

Официальные оппоненты -
доктор технических наук, профессор А.Д.Матвеев
кандидат технических наук, доцент А.И.Легчилин

Будущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский
институт подлинников промышленности

Защита состоится "30" мая 1988 г.

на заседании специализированного Совета К 053.15.13 МВТУ им.
Н.Э.Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им.
Н.Э.Баумана. Телефон для справок 267-05-14.

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

Автореферат разослан "25" мая 1988 г.

Ученый секретарь
канд. техн. наук

Л - 46130 Под
Тир. 100 экз. Ротал

М474059

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ!

Актуальность проблемы. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986 - 1990 годы и на период до 2000 года предусматривают дальнейшую интенсификацию технологии машиностроения и, в частности, обеспечение наивысшего качества продукции при минимальных затратах общественно необходимого труда. Широкое применение в промышленности конструкционных труб вызвало потребность в высокопроизводительных и безотходных способах разрезки их на заготовки. Существующие способы качественного разделения труб на токарных автоматах не удовлетворяют растущим требованиям производства. Однако широкое применение безотходной разрезки труб в штампах сдерживается из-за образования рваной поверхности торцов и недопустимых отклонений от геометрической точности получаемых заготовок, так как для основной массы деталей обработка торцов при отрезке является окончательной. Недостаточная изученность процесса и отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по проектированию штамповой оснастки препятствуют разработке технологии качественной разрезки труб в штампах. Поэтому для успешного освоения процесса разрезки труб способами обработки давлением необходимы дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

6904574

Цель работы. Исследование условий активного управления формообразованием поверхности раздела трубы при отрезке двухосным сдвигом и разработка рекомендаций по расчёту технологических параметров и штампов, обеспечивающих повышенные требования к качеству заготовок.

Научная новизна. Разработана новая методика исследования напряженно-деформированного состояния трубы при отрезке сдвигом в двух взаимно перпендикулярных направлениях, позволяющая найти поля напряжений и деформаций по всей плоскости отрезки.

На защиту выносятся: 1. Теория разрезки труб сдвигом.

2. Способ разрезки трубы двухосным сдвигом.

3. Результаты теоретических исследований влияния параметров трубы и инструмента на процессы развития деформации и формирования качества заготовок.

4. Методика и результаты экспериментальных исследований.

5. Рекомендации по проектированию технологической оснастки для разрезки труб.

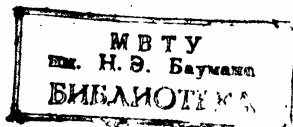
1

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1474059

Жакинов Д. А. Элементы теор.



Практическая ценность. В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

- методика оценки качества трубных заготовок в соответствии с ГОСТ 24642-81 "Допуски формы и расположения поверхностей" ;
- формулы для определения усилия отрезки, хода ножа до полной отрезки, степени предварительного горизонтального надреза в зависимости от материала и размеров трубы;
- математические модели зависимости показателей качества трубной заготовки от пластичности, прочности материала и относительной толщины стенки.

Реализация результатов работы. По результатам исследований разработана новая технология изготовления втулки сайлент-блока автомобиля "Москвич 2140". Спроектированы и изготовлены два штампа : для разрезки трубы $\varnothing$ 38...42 мм на заготовки и последующего их объемного дорнования. Новая технология принята к использованию на заводе "Казахсельмаш". Экономический эффект от внедрения новой технологии составит 70 тыс.рублей в год, при снижении металлоемкости детали на 35 процентов.

Публикация. Основные положения диссертации изложены в пяти работах.

Апробация. Результаты работы неоднократно докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им.Н.Э.Баумана, ЦОТФ КарПИИ и техсовете завода "Казахсельмаш".

Объем работы. Диссертация содержит 88 страниц машинописного текста, 53 рисунка, 18 таблиц. В списке литературы приведено 98 наименований.

Глава I. Состояние вопроса и постановка задач исследования.

Известные способы безотходной разрезки труб на заготовки можно разделить на две группы:

- разрезка вращением трубы или инструмента с использованием металлорежущих станков и специального оборудования;
- разрезка сдвигом в штампах на универсальном прессовом оборудовании.

Из первой группы известно о промышленном применении разрезки труб клиновыми ножами (КДН), остальные (разделение кручением в цанговых зажимах, разрезка с раскаткой, разрезка пилами трения и т.д.) - признаны неперспективными. Разрезка трубы КДН производится внедрением ножей перпендикулярно продольной оси вращающейся трубы. При этом происходит выдавливание металла на наружные и

внутренние поверхности трубы, приводя к образованию заусенцев. Угол наклона торцов достигает $5^{\circ} \dots 10^{\circ}$, что требует их механической обработки, а упрочнение металла в торцовых зонах приводит к дополнительным проблемам. С целью уменьшения дефектов имеются попытки одновременно раскатывать наплыв роликом или срезать его резцом, однако это усложняет конструкцию оборудования, увеличивает усилие и время отрезки.

Разрезка трубы сдвигом в штампах по производительности и качеству поверхности раздела представляется более приемлемым для производства способом, хотя сам процесс недостаточно изучен и нуждается в совершенствовании.

Наиболее перспективными для использования представляются способы разрезки, реализующие прямолинейное перемещение отрезаемой части относительно трубы. Это позволяет использовать штампы и универсальные механические прессы.

Анализ способов разрезки трубы сдвигом показывает, что качество поверхности раздела и геометрическая точность заготовки повышаются по мере ограничения свободы поворота и осевого смещения заготовки. Хотя при разрезке стальных труб с осевым сжатием происходит налипание металла на ножах. Другой путь повышения качества разделения – трансляторная отрезка, когда труба надрезается, затем направление сдвига изменяется. Кроме того, в обоих случаях необходимо обеспечивать подпор стенки трубы. Ввод жестких оправок в разделяемые части трубы приближает процесс к разрезке листового материала.

Перспективными задачами совершенствования процесса разрезки труб сдвигом признаны:

- уточнение требований показателей качества отрезанных заготовок;
- разработка и создание надежных трубоотрезных штампов и ножиц с закрытой отрезкой и повышенной скоростью деформирования;
- изыскание путей устранения схватывания металлов заготовки и ножей при закрытой отрезке с осевым сжатием.

Известные работы, посвященные анализу напряженно-деформированного состояния (НДС) трубы при отрезке сдвигом, основывались на рассмотрении механизма деформирования в характерных сечениях параллельных оси трубы. При этом принималось деформированное состояние плоским, усреднялась переменная толщина сечения и весь

процесс сводился к отрезке полосы. Таким образом исключалась из рассмотрения главная причина образования дефектов: переменная толщина сечения. Для анализа процесса применялись методы линий скольжения и верхних оценок. Имеются также сведения о результатах экспериментов по установлению влияния на качество поверхности раздела пластичности материала, угла заточки ножа, наличия и вида наполнителя трубы. Наилучшее качество изделий получается при разрезке труб из хрупкого материала с хрупким наполнителем с углом заточки ножа 45° .

Анализ литературных источников выявил актуальность совершенствования технологических процессов безотходного разделения труб на заготовки. В настоящее время основная масса трубных заготовок получается на токарных трубоотрезных автоматах с переводом в стружку до 30% металла. Активное внедрение методов разрезки труб КДН, обладающих значительными недостатками, подчеркивает актуальность проблемы. Вместе с тем следует отметить недостаточность теоретических работ по исследованию процессов безотходной разрезки труб.

Таким образом, для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследование условий и определение пути активного управления формообразованием поверхности раздела.
2. Разработка эффективной схемы отрезки трубы сдвигом.
3. Анализ напряженно-деформированного состояния заготовки в зоне отрезки на пластическом этапе.
4. Исследование механизма образования поверхности среза.
5. Установление технологических параметров отрезки, обеспечивающих требуемое качество торца заготовки.
6. Разработка методики проектирования технологического процесса и оснастки для разрезки трубы и освоение их в производстве.

Глава 2. Методика проведения исследования.

Особенность процесса отрезки трубы сдвигом заключается в том, что высота сечения S (рис.1) изменяется в плоскости отрезки от $S = R - z$ до $S = 0$, а при $\ell = z$ даже происходит скачок на графике $S(\ell)$. Отсюда величина относительной деформации, которую можно принять за $G = g/S$, в разных частях кольцевого профиля неодинакова. Неравномерность деформаций, в свою очередь, вызывает неравномерность напряжений сдвига и неоднородность упрочнения по сечению трубы.

Таким образом, для повышения качества поверхности среза тру-

бы необходимо в плоскости отрезки создать условия для выравнивания величины деформации сдвига по всему кольцевому сечению.

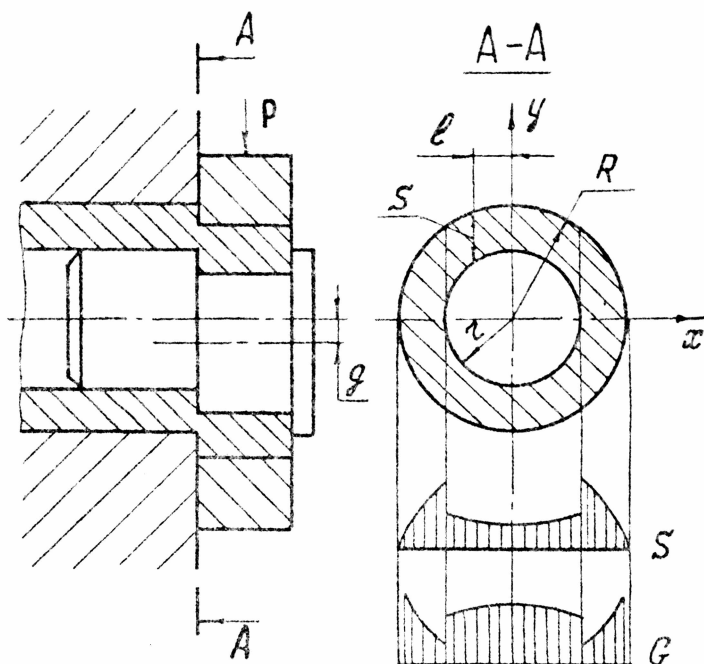


Рис. 1. Схема отрезки трубы сдвигом

Эти условия должны быть идентичны или приближены к условиям вырубки-пробивки листового материала. В идеальном случае такие условия возникают при концентричном перемещении ножа внутрь или наружу.

Реальные условия для управления формообразованием поверхности среза можно создать последовательным перемещением ножа в горизонтальном и вертикальном направлениях. Двухосное движение ножа, во-первых, позволит выровнять величину сдвигающего напряжения по сечению трубы в этих направлениях. Во-вторых, предварите-

льная горизонтальная деформация предопределяет одновременность начала разделения на участках с наименьшей и наибольшей высотами сечения за счёт равных суммарных деформаций, получаемых этими участками. В-третьих, предварительный надрез боковых участков за счёт упрочнения металла создаст здесь условия развития трещин перпендикулярно оси трубы при последующей вертикальной отрезке.

Разделительные процессы протекают в условиях нестационарного пластического течения, вызываемого совокупностью деформаций вдавливания инструмента, изгиба и сдвига разделяемых частей. При отрезке трубы с внутренним подпором указанные деформации на разных участках плоскости сдвига проявляются неодинаково. В средней части преобладают деформации вдавливания и сдвига, на боковых участках - вдавливание, сдвиг и изгиб. Двухосная отрезка приближает механизм деформирования боковых участков к деформации средней части. При точной отрезке с зажимом подаваемой части трубы и жестким креплением внутренней передней вставки - деформации изгиба отрезаемой части будут минимальными. К тому же сама объемная форма трубы, определяющая необходимость двух, диаметрально расположенных, пар ножей, препятствует изгибу отделяемой части. Отсутствие изгиба уменьшает и сводит до минимума деформации вдавливания, так как увеличивается площадь контакта ножей с материалом трубы. Итак, с достаточной степенью приближения можно принять, что при отрезке трубы двухосным сдвигом единственной деформацией является деформация сдвига. Отсюда главными напряжениями будут касательные напряжения в плоскости отрезки. Равномерность распределения касательных напряжений будет определять качество поверхности среза. В связи с этим нужно исследовать изменение касательных напряжений в плоскости отрезки, выбрав систему координат XOY (рис.1). При анализе распределения касательных напряжений τ надо учесть зависимость величины τ от двух переменных X и Y . То есть геометрически функцию $\tau = f(X, Y)$ можно представить как уравнение поверхности, где τ есть высота, а X и Y координаты точки.

Качество отрезанной заготовки является комплексным понятием, включающим геометрическую точность, состояние поверхности среза и состояние металла в приторцовых зонах. Требования к качеству трубных заготовок зависят от их назначения и последующей обработки. В подавляющем большинстве случаев дополнительная механическая обработка торцов трубных заготовок после разрезки не прово-

дится. Поэтому заготовка, отрезанная в штампе, должна иметь минимальные утяжки и вмятины и незначительные отклонения от круглости и перпендикулярности. Такая заготовка после незначительной зачистки торцов и снятия фасок может конкурировать с заготовкой, отрезанной на токарном автомате.

Качество заготовок при отрезке сдвигом зависит от множества факторов. Наиболее существенными из них признаны: свойства материала, размеры заготовки и параметры инструмента. Характеристики пластичности и прочности материала значительно влияют на качество заготовок и на процесс отрезки в целом. Из размеров заготовки главным параметром считается относительная толщина стенки трубы. Основные изменяемые параметры втулочных ножей — это радиальные и осевые зазоры. Влияние осевых зазоров описано во многих работах по листовой штамповке, поэтому осевой зазор при отрезке трубы можно назначать по справочнику В.П.Романовского исходя из наименьшей толщины стенки трубы.

Таким образом, качество отрезаемых трубных заготовок будет определяться функцией

$$\Omega = f(X_1, X_2, X_3).$$

где X_1 — фактор свойств материала трубы,

X_2 — фактор размеров профиля заготовки,

X_3 — фактор радиальных зазоров между трубой и ножами.

Причём, учитывая что наружный и внутренний ножи образуют две пары ножей в диаметрально противоположных областях и что равномерность деформаций обеспечивается одновременным взаимодействием ножей в обеих парах, надо выполнить условие равенства наружных и внутренних зазоров. Поэтому принимаем в дальнейшем $Z_n = Z_v = Z$, обозначив радиальные зазоры одной буквой без индекса.

Необходимым условием для решения поставленной задачи является использование численных методов и применение ЭВМ. Кроме того, так как процесс разделения состоит из двух этапов: пластического деформирования и разрушения — нужно рассмотреть ещё механизм разрушения в зоне отрезки.

Глава 3. Теоретическое исследование процесса разрезки труб двухосным сдвигом

В начале главы приводится уточненный анализ однонаправленной отрезки, сдвигом, который выявил следующее:

-увеличение пластичности металла приводит к большей неравномерности напряжений;

-с уменьшением толщины стенки напряжения увеличиваются по центру сечения, а на боковых участках отмечается уменьшение напряжений по всей толщине стенки;

-с увеличением радиального зазора уменьшаются напряжения сдвига на границах между средним и боковым участками, а также в периферийных зонах боковых участков.

Далее рассмотрены особенности механизма двухосной отрезки трубы. Равные суммарные деформации в плоскости отрезки вызовут равномерные напряжения сдвига и создадут предпосылки для одновременного начала разрушения в этих областях. К началу завершающей стадии как боковые, так и средние участки кольцевого профиля трубы должны быть охвачены равномерной пластической деформацией критического значения. Максимальные касательные напряжения равномерно распределены на наружных и внутренних окружностях сечения трубы в плоскости отрезки. Поэтому завершающая стадия начнется с образования трещин одновременно по всему кольцу. Для прогнозирования поведения развивающихся трещин применен энергетический критерий, согласно которому разрушение происходит при минимуме мощности. Тогда трещины, образовавшиеся вблизи режущих кромок наружных и внутренних ножей будут развиваться по линиям наименьшего сопротивления, то есть в радиальных направлениях. Поэтому механизм деформирования при двухосной отрезке будет приближаться к процессам пробивка-вырубка листа.

Для установления напряженного состояния в зоне отрезки принимаем материал жестко-пластическим с нелинейным упрочнением, подчиняющимся закону Мизеса, а также, что нормальные напряжения в плоскости отрезки отсутствуют, а касательные напряжения будут изменяться по двум координатам. В этом случае уравнения равновесия сводятся к двум уравнениям

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} = 0, \quad (1) \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0. \quad (2)$$

Продифференцируем первое уравнение по X , а второе по Y и объединим их в одно уравнение, предварительно опустив индексы у τ

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} = 0. \quad (3)$$

Таким образом, получено уравнение Лапласа, решение которого можно осуществить методом конечных разностей. Проведем на кольцевой плоскости (рис.2) прямые, параллельные осям X и Y , с одинаковым шагом h и заменим функцию $\tau(x, y)$ сеточной функцией $\tau_h(X_i, Y_j)$.

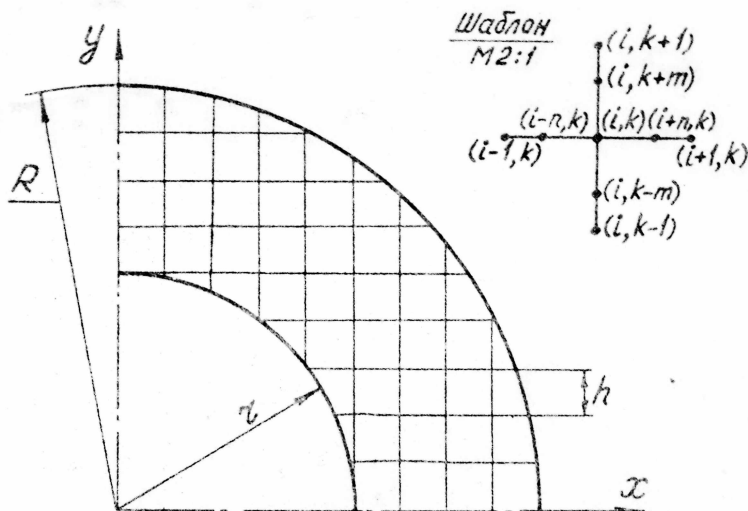


Рис. 2. Сетка и шаблон конечных разностей

Применив девятиточечный шаблон для разностной аппроксимации в произвольной точке с координатами (i, k) получим для узлов, удаленных от границ кольца, алгебраическое уравнение

$$4T_{i,k} - T_{i-1,k} - T_{i,k-1} - T_{i,k+1} = 0. \quad (4)$$

Если часть узлов попадает за внутреннюю или наружную окружности, то для точек, прилежащих к этим границам, применим разложение функций в ряд Тейлора. Ограничиваясь при этом членами содержащими вторые производные, после алгебраических преобразований получим следующие уравнения:

- для точек, прилежащих к наружной окружности,

$$m n (m+1) T_{i-k,k} + m n (n+1) T_{i,k-1} + m (m+1) T_{i+n,k} + n (n+1) T_{i,k+m} - (n+1)(m+1)(m+n) T_{i,k} = 0; \quad (5)$$

- для точек, прилежащих к внутренней окружности,

$$m n (m+1) T_{i+i,k} + m n (n+1) T_{i,k+1} + m (m+1) T_{i-n,k} + n (n+1) T_{i,k-m} - (n+1)(m+1)(m+n) T_{i,k} = 0, \quad (6)$$

где m - расстояние от точки с координатами (i, k) до точек с координатами $(i, k+m)$ или $(i, k-m)$;

n - расстояние от точки с координатами (i, k) до точек с координатами $(i+n, k)$ или $(i-n, k)$.

В точках расположенных на окружностях, значения функции определим, используя уравнение кривой упрочнения Е.А.Попова.

$$\tau = (1/\sqrt{3}) [\sigma_s / (1 - \psi)] (G/\psi) \quad (7)$$

где G - суммарная деформация сдвига,

$$G = (g_x/S_x) + (g_y/S_y); \quad (8)$$

g_x, g_y - деформации по осям X, Y ;

S_x, S_y - высота сечения в направлениях X, Y .

Величину деформации g_x определяем из геометрических зависимостей:

- для произвольной точки наружной окружности

$$g_x = g_{ux} + x_n - \sqrt{2R \cdot z + z^2 + x_n^2}; \quad (9)$$

- для произвольной точки внутренней окружности

$$g_x = g_{ux} + x_n + \sqrt{z^2 - 2z \cdot z + x_n^2}, \quad (10)$$

где g_{ux} - перемещение инструмента по оси X .

Ввиду наличия зазора, ножевая вставка не охватывает всю внутреннюю поверхность трубы, поэтому формула (10) имеет ограничение для $x_n \geq \sqrt{2z \cdot z - z^2}$. В противном случае g_x определяется по формуле (9), для которой $x_n = \sqrt{R^2 - y_n^2}$.

Аналогично находится значение деформации по оси Y :

- для наружной окружности

$$g_y = g_{uy} + y_n - \sqrt{2R \cdot z + z^2 + y_n^2}; \quad (11)$$

- для внутренней окружности

$$g_y = g_{uy} + y_n + \sqrt{z^2 - 2z \cdot z + y_n^2}. \quad (12)$$

Величина предварительного перемещения инструмента по оси X состоит из двух составляющих $g_{ux} = g_{xo} + z$, где g_{xo} - перемещение точек, расположенных на оси X . Оптимальную величину g_{xo} установим, используя деформационный критерий разрушения В.А.Огородникова. Приравнивая суммарные деформации точек, расположенных на осях X и Y , характеристике материала ψ , получим формулу для определения деформации по оси X

$$g_{xo} = \psi(R^2 - z^2)/2z. \quad (13)$$

Из условия $g_{ux} = g_{uy}$, в момент начала разделения, определим, как распределяются напряжения сдвига по всей площади колыша. Определяя по формуле (7) значения τ на граничных окружностях и подставляя их в уравнения (4), (5), (6) для внутренних узлов, получим систему линейных алгебраических уравнений от-

носителем неизвестных $\tau_{i,k}$. Решая систему уравнений, получим значения τ в каждом узле сетки.

По описанной методике был проведен расчет с постоянными параметрами $R = 25$ мм; $\sigma_0 = 650$ МПа, $h = 2,5$ мм и изменяемыми параметрами $z = 0; 0,1$ мм; $0,2$ мм;

$\tau = 15$ мм; $17,5$ мм; 20 мм;

$\psi = 0,3; 0,44; 0,5$.

Расчет выполняется на микро-ЭВМ "Электроника ДЗ-28" (язык "Бейсик"). Результаты вычислений показали следующее распределение напряжений по кольцевому сечению трубы:

- максимальные значения напряжений возникают в точках, расположенных по осям X, Y на внешней окружности и под углом 45° на внутренней окружности, а минимальные значения выявились в области, прилегающей к наружной границе под углом 45° к осям X, Y ;

- с увеличением радиального зазора, пики напряжений по осям X, Y сглаживаются, однако, при дальнейшем увеличении зазора (до $0,2$ мм) напряжения в этих направлениях наоборот уменьшаются;

- изменение толщины стенки на величину напряжений не влияет, однако с возрастанием толщины стенки, в направлении к наружной поверхности под углом 45° , величина τ заметно снижается; с уменьшением толщины стенки напряжения по всему сечению выравниваются;

- с увеличением интенсивности упрочнения металла напряжения по осям X, Y значительно возрастают, а под углом 45° - наоборот падают; с уменьшением пластичности напряжения по всему сечению падают и выравниваются.

Для расчета усилия отрезки использована методика Е.А.Попова, для кольцевого сечения она применена на бесконечно малом участке длиной Δl

$$\Delta P = 0,58(S - X)\sigma_0 / (1 - \psi)(G/\psi)^{\psi/(1-\psi)} \cdot \Delta l; \quad (14)$$

чтобы получить суммарное усилие отрезки, выражение (14) проинтегрируем, учитывая, что ψ, σ_0 - постоянные, а X не зависит от l

$$P(x) = 0,58 / (1 - \psi) 2\sigma_0 (x/\psi)^{\psi/(1-\psi)} \times \int_0^R [S^{(1-2\psi)/(1-\psi)} - x/S^{\psi/(1-\psi)}] dl, \quad (15)$$

где $S(l) = \begin{cases} \sqrt{R^2 - l^2} - \sqrt{z^2 - l^2}, & \text{при } 0 \leq l \leq z; \\ 2\sqrt{R^2 - l^2}, & \text{при } z \leq l \leq R; \end{cases}$

ℓ - расстояние от центра кольца до элементарного сечения.

Подстановка (16) в (15) приводит к четырем различным интегралам от иррациональных функций. Все эти иррациональные интегралы вычисляются в элементарных функциях лишь при $\psi = 0,5$. Для остальных значений ψ использованы методы численного интегрирования, при этом параметр ψ должен удовлетворять ограничению $\psi \leq 2/3$.

Вычисления проводились для различных G , ψ , R и z . Результаты вычислений показали незначительное влияние величины ψ на усилие отрезки, так например, увеличение ψ от 0,3 до 0,55 вызывает падение усилия отрезки на 10-12%. Таким образом, влиянием ψ на усилие отрезки можно пренебречь. С помощью линейной интерполяции результатов получена формула

$$P = 1,568 \cdot D \cdot t (1 - t/D), \quad (17)$$

где $D = 2R$, $t = R - z$.

Аналогично из условия $P(x) = 0$ при $X = X_p$, получена формула для определения хода ножа до полной отрезки

$$X_p = (3 + t/D) t \cdot \psi. \quad (18)$$

Глава 4. Экспериментальное исследование процесса отрезки труб сдвигом.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе определялись механические характеристики материалов труб (стали 35, 6ХН, 65Г; Бр.АМц 9-2; АЛ-12; ЛС-59-1) и проверялись расчётные технологические параметры при помощи специально изготовленного устройства и записью параметров на самопишущем приборе Н 338-6П. Эксперименты проводились на гидравлическом прессе П-50 и подтвердили правильность расчётов.

На втором этапе исследовалось качество трубных заготовок при двухосной отрезке. Было разработано и изготовлено устройство с возможностью заданного перемещения отрезного ножа во взаимно перпендикулярных направлениях. Для определения оптимальной степени предварительного горизонтального сдвига проводились опыты по разрезке труб из разных материалов, с разной толщиной стенки и с нарастанием степени предварительного сдвига. Качество заготовок оценивалось показателями: смятие, утяжка, угол охвата блестящим пояском, отклонения от круглости и перпендикулярности, шероховатость и упрочнение торца.

С целью сокращения числа опытов и осуществления активного эксперимента был проведён двухфакторный эксперимент с планированием и оценкой достоверности результатов.

Результаты эксперимента представлены уравнением регрессии

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^2 a_i x_i + a_{12} x_1 x_2, \quad (19)$$

где a_0 - характеризует средний уровень y ; a_i - показывает силу и направленность влияния изучаемых факторов; a_{12} - учитывает эффект взаимодействия факторов.

$$a_i = (\sum_{k=1}^4 x_{ik} \Omega_k) / 4, \quad (20)$$

где k - номер опыта в матрице планирования; x_{ik} - кодированное значение i - того фактора в k - том опыте; Ω_k - принятое значение параметра качества.

$$a_{12} = (\sum_{k=1}^4 x_{1k} \cdot x_{2k} \cdot \Omega_k) / 4. \quad (21)$$

Подставляя значения коэффициентов a_0 , a_i и a_{12} и переходя от кодированных значений факторов к натуральным, получили математические модели зависимости каждого показателя от двух переменных факторов: характеристики материала и толщины стенки трубы. Учитывая, что переменные факторы варьируются на двух уровнях, при установлении математических моделей определяли значения этих факторов по формуле

$$x_i = 2[x_i - (x_i^{\max} + x_i^{\min})/2] / (x_i^{\max} - x_i^{\min}). \quad (22)$$

Статистическую оценку достоверности полученных данных провели проверкой гипотезы о нормальном распределении по критерию асимметрии и определением доверительных интервалов коэффициентов регрессии с использованием критерия Стьюдента.

Результаты экспериментов выявили следующее:

- угол охвата торца заготовки блестящим пояском увеличивается с увеличением прочности, пластичности материала и уменьшением толщины стенки трубы;
- смятие и утяжка уменьшаются с увеличением прочности, уменьшением пластичности материала и уменьшением толщины стенки;
- шероховатость поверхности торца уменьшается с увеличением прочности, уменьшением пластичности материала и увеличением толщины стенки и достигает $R_z = 320$ мкм;
- отклонение от круглости и перпендикулярности уменьшаются с увеличением прочности, уменьшением пластичности материала и

уменьшением толщины стенки для всех металлов и соответствуют 7-8 степеням точности;

- твердость поверхности торца повышается для стали - на 15-20%, для цветных металлов - на 40-60%.

Глава 5. Внедрение результатов исследования в производство

Результаты исследования позволяют предложить две схемы технологических процессов разрезки труб на заготовки. По первой схеме труба проталкивается через неподвижный и отрезной ножи до упора, внутрь трубы вводятся две оправки, после чего отрезной нож сдвигается вбок, производит надрез трубы и затем окончательно отрезает трубную заготовку вниз по вертикали. По завершении отрезки одна оправка выводится из трубы, при этом заготовка выпадает из отрезного ножа, выполненного незажмнутым, и нож поднимается в исходное положение. Вторая оправка остается в трубе, и при последующем ходе, проталкивается первой оправкой до плоскости отрезки. Отрезной нож имеет две степени свободы в плоскости отрезки и поддерживается в исходном положении подпружиненными направляющими.

Открытая форма отрезного ножа позволяет упростить операцию удаления заготовки. Так как отрезной нож должен иметь режущие кромки по двум осям, то разъем в нем выполняется под углом 45° . При этом оставшаяся криволинейная часть должна охватывать трубу под углом не менее 180° , иначе заготовка может иметь искажения формы. Радиус рабочей части ножа не должен превышать радиус трубы более, чем на 0,2 мм.

Желательно, чтобы первая оправка имела отдельный привод (гидравлический или пневматический), потому что клиновой, рычажный, либо другой механический привод от верхней плиты усложнит конструкцию штампа почти вдвое.

Подачу трубы в штамп также лучше осуществлять отдельным механизмом. Более всего здесь подходит роликовая подача от электродвигателя, с установкой конечного выключателя в упоре. Такая подача позволяет автоматизировать процесс и гибко перенастраивать длину отрезки. Независимые приводы подачи трубы и оправки дают возможность выполнять эти операции до опускания ползуна пресса, обеспечивая таким образом безопасность работы штампа.

Вторая предлагаемая схема разработана с расчетом приблизить качество заднего торца заготовки к качеству переднего торца. По данному способу при горизонтальной надрезке отрезаемая

часть неподвижна, а перемещается труба со стороны подачи. В остальном процесс соответствует первой схеме. Вторая схема по сравнению с первой позволяет упростить конструкцию и повысить эксплуатационную надежность штампа с одновременным повышением качества заготовок. В первой главе установлено, что качество отрезанной заготовки неодинаково у переднего и заднего торцов. Это происходит по причине разной степени ограничения отрезаемой и остающейся частей, поэтому, чем больше степеней свободы у отрезного ножа, тем более низкое качество у заднего торца. По предложенной схеме отрезной нож имеет только одну степень свободы, а при горизонтальном смещении заднего ножа, он неподвижен. Поэтому, при надрезке трубы со стороны подачи, на заднем торце заготовки будут заложены более высокие точность и качество среза, чем при обычной отрезке. Труба со стороны подачи имеет большую степень ограничения благодаря своей массе, механизму подачи и массе корпуса, отчего качество торца ее также будет высоким. Величина горизонтального смещения трубы конструктивно должна обеспечиваться упругим ее изгибом. По второму способу и устройству имеется положительное решение ВНИИПЗ.

Практическая реализация выполненной работы была осуществлена при разработке технологического процесса изготовления втулки сайлент-блока автомобиля "Москвич-2140". Автором разработаны чертежи двух штампов: для разрезки трубы и последующего объемного дорнования по наружному и внутреннему диаметрам. Испытания изготовленных штампов показали хорошее качество заготовок. Внедрение новой технологии позволит сэкономить 70 тыс.руб. в год и снизить металлоемкость изделий на 35 процентов.

Выводы

1. Проведен уточненный анализ причин образования дефектов на поверхности среза трубы при отрезке сдвигом в штампах и аргументированно доказана возможность повышения качества заготовок при последовательном перемещении отрезного ножа в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

2. Установлена теоретически и экспериментально подтверждена оптимальная величина предварительного горизонтального перемещения отрезного ножа в зависимости от характеристик материала, размеров трубы и параметров института.

3. Выполнено решение задачи распределения касательных напряжений в плоскости отрезки методом конечных разностей.

4. Численным методом получены и экспериментально подтверждены формулы для определения усилия отрезки и хода ножа до полной отрезки в зависимости от характеристик материала и размеров трубы.

5. Разработана методика оценки качества трубных заготовок и получены математические модели зависимости показателей качества заготовки от характеристик материала и толщины стенки трубы для стали и цветных металлов.

6. Разработаны способ и устройство для разрезки труб, обеспечивающие выравнивание качества переднего и заднего торцов заготовки, на которые имеется положительное решение ВНИИПЭ о выдаче авторского свидетельства.

7. Разработана методика определения основных технологических параметров процесса разрезки трубы сдвигом в зависимости от характеристик материала и размеров трубы.

8. Разработаны рекомендации по проектированию трубоотрезных штампов для разрезки труб двухосным сдвигом, обеспечивающих заданное качество заготовок.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Исследование, разработка и внедрение технологических процессов качественной и безотходной резки сортового и трубного металлопроката: Отчет о НИР /Карагандинский политехнический институт; руководитель А.Б. Байгаринов - 10.00.01; № ГР 0183.0033527; инв. № 0284.0046680. - Караганда, 1983. - 69с.

2. Теоретическое и экспериментальное исследование очага деформации при резке труб сдвигом: Отчет о НИР /Карагандинский политехнический институт; руководитель А.Б. Байгаринов - 10.00.01; № ГР 0183.0033527; инв. № 0285.018385. - Караганда, 1984. - 49с.

3. Попов Е.А., Ли В.А., Жакенов Д.А. Определение технологических параметров процесса резки трубы сдвигом // Труды МВТУ им. Баумана. - 1985. - Вып. 441. - С. 40-46.

4. Попов Е.А., Жакенов Д.А. Оценка влияния двухосного сдвига на качество отрезки трубы // Кузнечно-штамповочное производство. - 1987. - № 12. - С. 19-21.

5. Исследование, разработка и внедрение металлосберегающих технологических процессов: Отчет о НИР /Карагандинский политехнический институт; руководитель В.И. Булах. - 10.00.04; № ГР 0186.0103317; инв. № 0288.021387. - Караганда, 1987. - 63с.

Жуков

