

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

АЛЬ-ХАББАЗ МУХАММЕД БАССАМ

УДК 621.965.1:621.774.3

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО РАЗРЕЗАНИЯ ТРУБ

Специальность 05.04.04 - Машины и агрегаты металлургиче-  
ского производства

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск 1993

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового  
Красного Знамени металлургическом институте.

Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Морозенко В.Н.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Гурдиенко А.В.  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Алексееенко Г.Я.

Ведущее предприятие - объединение "Днепропетровский  
комбайновый завод"

Защита диссертации состоится "3" *Марта* 1993 г.  
в *12 30* часов на заседании специализированного совета Д 068.02.02  
при Днепропетровском металлургическом институте по адресу:  
320635, г.Днепропетровск, ГСП, пр.Гагарина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Днепропетров-  
ского металлургического института.

Автореферат разослан "01" *февраля* 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
профессор, доктор технических наук



ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00825621 (0)

## ВВЕДЕНИЕ

Применение труб в различных машинах и технологиях непрерывно расширяется. В мировой практике производство труб различного назначения осуществляется с ограничением их размеров по длине, что приводит к необходимости разрезания труб на заготовки требуемой длины. Существует много способов и устройств для разрезания труб: резаками, дисковыми фрезами и пилами, ленточными пилами, абразивными кругами, клиновыми режущими роликами, сдвигом в штампах и пр. Широко также применяются такие способы разрезания как плазменный, электроэрозионный, лазерный.

Из всех перечисленных методов заслуживает внимания, по нашему мнению, способ разрезания труб клиновыми деформационными роликами (КДР), при котором нет отходов металла в стружку и обеспечивается попутное образование фаски необходимой для последующей сварки труб с фланцами или друг с другом. Поскольку в литературе нет сведений необходимых при конструировании машин предназначенных для резки труб в широком диапазоне диаметров, то нами поставлена задача об определении максимального значения сил действующих на КДР в процессе их внедрения в металл. Постановка и решение этой задачи приводится во второй главе диссертации.

Экспериментальные исследования по резке труб (КДР) и методы обработки результатов экспериментальных исследований приведены в третьей главе. В этой же главе приведены эмпирические формулы необходимые для определения конструктивных параметров устройств для разрезания труб (КДР), а также сведения необходимые для прочностных расчетов клиновых роликов.

Обоснование расчетной схемы устройства, разработка кинематической схемы и конструктивное обоснование важнейших узлов, приведены в четвертой главе. Здесь рассмотрены уравнения центробежного привода (КДР) и выведена формула для определения геометрических параметров рычагов и усилителя, а также выведена формула для определения масс ползуна с роликом и масс создающих при вращении барабана силы инерции, которые приводят в движение ползуны с роликами. Принципиальная схема устройства приведена на рис. 4.1.

В конце диссертационной работы приведены общие выводы и список использованной литературы.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Широкий ассортимент труб подлежащих разрезанию на мерные длины требует использования большого количества разнообразных инструментов и устройств с помощью которых разделение производится, зачастую, малоэффективно, со значительными расходами энергии и материала превращаемого в стружку или в отходы при оплавлении. Внедрение клинового ролика в трубу не приводит к образованию стружки, а только к пластическому оттеснению металла, что существенно снижает энергозатраты, так как разрезание трубы начинается сразу же при достижении уровня напряжений равных пределу текучести и не требует достижения уровня напряжений соответствующих уровню временного сопротивления разрыву. Таким образом обосновать актуальность работы можно тем, что она относится к разряду работ направленных на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий. Актуальность определяется также и тем, что предложенная схема и конструкция устройства позволяют производить разрезку труб практически любых диаметров с толщиной стенки до 8+10 мм, тогда как резка труб (КДР) используется преимущественно для диаметров 5+40 мм. Актуальным является также и то, что использование (КДР) возможно и на металлорежущих станках при нарезании полых тонкостенных деталей.

Цель работы - обоснование и создание нового высокопроизводительного оборудования для разрезания труб в металлообрабатывающих отраслях народного хозяйства.

В соответствии с этой целью в работе решены следующие задачи:

1. Теоретически обоснована и определена рациональная схема автономного привода радиального перемещения каждого КДР, участвующего в разрезании труб.

2. Теоретически обосновано получение формулы для определения усилий действующих на каждый ролик при внедрении его в металл, что позволило рассчитать значение сил инерции и соотношение плеч рычажного механизма для определения движущих сил.

3. Экспериментально в лабораторных, а затем и в производственных условиях подтверждены результаты теоретических исследований и расчетов: расхождение между теоретическими и экспериментальными результатами составляет 10-12%, в сторону занижения последних.

При выполнении настоящей работы автор базировался на трудах: Г.М.Крестешникова, П.М.Гаврилина, Е.М.Кричевского, В.Н.Морозенко,

В.А.Тимошенко, Е.Д.Сабакіна, Ю.Н.Маркіна, В.М.Гребеніка, А.И.Эрліха, А.Е.Матяш, Ю.Н.Александрова и др.

Изучены также многие зарубежные источники.

Диссертация представляет собой обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований выполненных автором за период обучения в аспирантуре Днепропетровского металлургического института с 1989 по 1993 годы. Основные результаты изложены в статьях и тезисах докладов, а также внедрены в производство.

Научная новизна. В диссертационной работе впервые поставлена и решена задача по определению сил сопротивления действующих на ролики при внедрении их в металл трубы. Для получения новых результатов составлены и проанализированы реологические уравнения, которые затем преобразованы в обыкновенные дифференциальные уравнения, в которых учитывалось время действия прилагаемой нагрузки. В результате решения этих уравнений получены формулы для определения сил, затрачиваемых на упругие и на пластические деформации.

Практическая ценность. Использование результатов теоретических и экспериментальных исследований позволило создать устройство для разрезания труб диаметром от 60 до 280 мм с толщиной стенки от 3 до 8 мм. Экспериментально проверена возможность разрезания труб диаметром 500-600 мм. Обоснована и разработана конструкция (рабочий проект) трубоотрезного станка с инерционным приводом роликов в радиальном направлении, что позволяет производить резку труб со значительными отклонениями от круглости формы без нарушения силового режима деформации.

Реализация в промышленности. Рабочий проект трубоотрезного станка передан для изготовления Днепропетровскому объединению "Комбайновый завод", который использует широкий диапазон диаметров труб для изготовления шнеков и других изделий входящих в конструкцию свеклооборочных комбайнов. Ожидаемый экономический эффект от внедрения одного трубоотрезного станка составляет 214 тыс.руб. в год. При этом высвобождается 6 рабочих и 3 станка оснащенных пилами Геллера. Разработанная конструкция трубоотрезного станка может быть рекомендована к внедрению на трубопрокатных заводах.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Республиканских конференциях в г.Днепропетровске и Харькове, на научных семинарах энергомеханического факультета металлургического института, на научных семинарах кафедры технологии машиностроения.

а также на научно-практических конференциях производственного объединения "Днепропетровский комбайновый завод".

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в статьях, приведенных в конце автореферата.

Содержание работы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, обоснование конструкции устройства и его описание изложены в четырех главах диссертации.

Первая глава посвящена краткому анализу способов и устройств для разрезания труб различными способами с применением всевозможных инструментов. Анализ литературных источников показал, что наиболее распространенной технологической операцией является разрезание труб в холодном состоянии на мерные длины в потоке. Изучение различных источников позволило классифицировать применение в промышленности способов разделения труб и полых изделий на мерные длины. Предлагаемая классификация приведена в таблице I.

Таблица I

длины



Подробному анализу были подвергнуты способы разделения труб без снятия стружки, предпочтение было отдано способу разделения клиновыми роликами. Изучение всех достоинств и недостатков способа показало, что основным недостатком является образование наплывов на наружной и внутренней поверхности труб, которые формируются в результате пластического вытеснения металла внедряющимся в него клином. Подавляющее большинство изученных нами работ посвящено разработке методов борьбы с наплывами, которые образуют утолщение стенки трубы прилегающей к торцу, что впрочем выгодно в том случае,

если торцы труб свариваются, так как масса металла подвергнутого нагреву в этом случае увеличивается. Исследованиями различных авторов установлено, что образование наружного напыла происходит при внедрении клина на глубину  $0,45-0,65$  толщины стенки, а после этого начинается образование напыла на внутренней поверхности трубы. В работах А.Е.Матяш исследованы количественные зависимости образования напылов и поставлены задачи для установления оптимальных режимов разрезания при которых эти напылы минимальны. Однако в силу закона постоянства деформируемых объемов можно с уверенностью сказать, что при разделении труб и полых изделий напылы неизбежны и их суммарный объем будет равен объему металла выдавленного клином.

Поскольку клиновой ролик, а также его рабочая вершина есть треугольник, высота которого равна толщине стенки трубы, то объем выдавленного пластической деформацией металла будет равен  $S \cdot \pi \cdot D$  где  $S$  - площадь треугольника;  $\pi \cdot D$  - длина окружности. Отсюда следует, что уменьшение деформируемого объема может быть достигнуто только при уменьшении угла клина.

Важным фактором влияющим на процесс разделения труб клиновым инструментом является упрочнение вытесняемого металла в результате пластической деформации, которая не учитывается при определении сил сопротивления внедрению. Из обзора литературных источников следует, что до настоящего времени еще не создана методика теоретического расчета сил затрачиваемых на внедрение клинового ролика в упруго пластическую среду конечных размеров.

Все вышеперечисленное позволило поставить следующие задачи:

1. Теоретическое обоснование и постановка задачи для вывода формул определяющих силы сопротивления.
2. Экспериментальное исследование сил сопротивления, пластического течения и упрочнения материала.
3. Разработка принципиальной схемы устройства и конструкции устройства для разделения труб клиновыми роликами с автономным приводом.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ВЫВОД РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Постановка задачи. Из обзора литературных источников следует, что задача о внедрении клина в упругопластическое полупространство известна, однако для рассматриваемого нами случая, когда клин внедряется в трубу с тонкой стенкой, что способствует образованию

деформационных наплывов на наружной и на внутренней поверхностях, эта задача не отражает истинной картины явлений. В настоящей работе сделана попытка к описанию связей между напряжениями и деформациями с помощью реологических уравнений:

$$\begin{aligned} S_{ij}(t) &= E_1 \cdot e_{ij}(t) \\ S_{ij}^*(t) &= E_2 \cdot e_{ij}(t) + \eta \cdot \dot{e}_{ij}(t) \\ e_{ij}(t) &= e_{ij}(t) + e_{ij}(t) \end{aligned} \quad (2.1)$$

где  $S_{ij}$  – девиатор тензора упругих напряжений;  $S_{ij}^*$  – девиатор тензора напряжений равных сил превышающих предел текучести  $\sigma_s$ ;

$e_{ij}$  – девиаторы тензоров деформаций;  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости неупрочненного и упрочненного металла;  $\dot{e}_{ij}$  – тензор скорости необратимой деформации;  $\eta$  – модуль вязкости (пластичности);  $(t)$  – время.

В дополнение к реологическим уравнениям было использовано уравнение сохранения энергии для деформационных процессов

$$U = \frac{1}{\rho} (S_{ij} \cdot e_{ij} + S_{ij}^* \cdot e_{ij}^*) + q_i, \quad (2.2)$$

где  $U$  – внутренняя энергия продеформированного металла;  $\rho$  – плотность;  $q_i$  – количество тепла выделенного в результате внутреннего трения при деформации.

Из (2.1) и (2.2) следует, что задача о нахождении сил вызывающих упругопластические деформации может быть поставлена в линейном варианте. Для нахождения сил действующих в системе инструмент–изделие мы воспользовались широко используемым в реологии методом операционного исчисления и получили систему обыкновенных линейных дифференциальных уравнений второго порядка с правой частью:

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \ddot{x}_1 + C(x_1^* - x_2) &= P_1 \cdot \sin(pt + \psi) \\ m_2 \ddot{x}_2 + \eta \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \cdot \dot{x}_2 + C_2 \cdot x_2 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right] &= P_2 \sin(pt + \psi), \end{aligned} \quad (2.3)$$

где  $m_1$  – масса упруго деформированного металла;  $m_2$  – масса пластически деформированного металла в момент времени  $-t$ ;  $\tau$  – время релаксации;  $\eta$  – модуль пластичности;  $P_1$  и  $P_2$  – силы порождающие упругие и пластические деформации;  $p$  – частота вынужденных колебаний деформирующей силы (частота вращения);  $C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты жесткости;  $\psi$  – фазовый угол;  $x_1^*$  – общая деформация;  $x_2$  – пластическая деформация;  $x_1$  – упругая деформация ( $x_1 = x_1^* - x_2$ ).

Введя обозначения:  $\frac{C_1}{m_1} = \omega_1^2$ ;  $\frac{P_1}{m_1} = a_1$ ;  $\frac{C_2}{m_2} = \omega_2^2$ ;  $\frac{\eta}{m_2} = 2h$ ;  $\frac{P_2}{m_2} = a_2$ .

и воспользовавшись методом неопределенных коэффициентов, при нулевых начальных условиях, получили следующие выражения для деформаций упругопластической

$$\chi_1 = \frac{a_1}{\omega^2 - p^2} \cdot \sin(pt + \psi) + a_2 \sin \left[ \frac{1}{\omega^2} - \left( \frac{p}{2t} + \frac{h}{a} \right) \cdot \frac{3}{5} (\text{ctg} \psi - 2h) \right] \quad (2.4)$$

и пластической

$$\chi_2 = t^2 \cdot a_2 \cdot \sin \psi \left[ \frac{1}{2} (D \cdot \text{ctg} \psi - 2h) \right]. \quad (2.5)$$

Из анализа (2.4) и (2.5) следует, что наибольший интерес, с точки зрения определения максимального значения силы сопротивления, представляет первое слагаемое в правой части выражения (2.4). После преобразования его получим

$$P_1 = m \chi_1 (\omega^2 - p^2) \frac{1}{\sin(pt + \psi)}. \quad (2.6)$$

Как следует из анализа этого выражения в нем присутствуют такие фундаментальные характеристики материалов как масса и собственная частота, что позволяет осуществить введение в расчет модулей упругости I-го и 2-го рода. Следует отметить, что в расчетной формуле (2.6) отсутствует такой параметр как угол внедряющегося клина, но как было сказано ранее, объем или масса вытесняемого пластическими деформациями материала зависит непосредственно от угла внедряющегося клина. Из формулы (2.5) и (2.6) рассчитаны значения усилий

$P_1$  для разделения труб с различной толщиной стенки (рис. 2.1). Из графика следует, что сопротивление упругому деформированию почти на порядок больше сопротивлений пластическому деформированию.

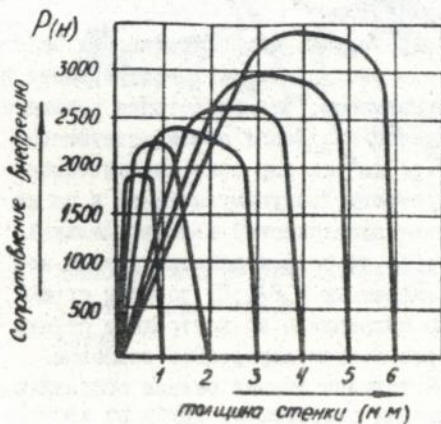


Рис. 2.1

Зависимость изменения усилия, действующего на ролик от толщины стенки

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРУБ КЛИНОВЫМИ ДЕФОРМИРУЮЩИМИ РОЛИКАМИ

Методика проведения эксперимента. Непосредственное измерение усилий действующих на КДР осуществлялось с помощью динамометра конструкции ВНИИ на котором вместо реза крепилась державка с роликом необходимой геометрии и размеров (рис.3.1).

Испытывались ролики диаметром 60, 80 и 120 мм, с углом клина  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $40^\circ$ . Разделялись трубы диаметром 40, 50, 60, 80, 120, 150 и 230 мм, с толщиной стенки от 1 до 8 мм. В зависимости от угла клина рассчитывалась масса выдавленного металла. Собственная частота измерялась резонансным методом с помощью датчиков сопротивления и тензостанции ТА-4. Результаты измерений и вычисленные значения заносились в корреляционные таблицы, а затем обрабатывались методами математической статистики. Из труб, с помощью КДР отделялись кольца (рис.3.2) из которых вырезались заготовки для микрошлифов. По поверхности нетравленных микрошлифов производилось измерение микротвердости на микротвердомере ПМТ-3. По данным измерений строились графики изменения микротвердости (наклеп) по всему сечению стенки трубы и вглубь от поверхности раздела. Результаты приведены на графике (рис.3.3).

После травления микрошлифа изучались на металлографическом микроскопе МИМ-8М.

Фотографирование микроструктуры по кадрам позволило построить деформационную картину от наружной до внутренней стенки трубы.

Установлено, что максимальные пластические деформации наблюдаются на наружном и внутреннем напльвах.

Сопоставление данных тензометрических, микроскопических исследований, а также изучение характера распределения микротвердости по сечению вдоль поверхности реза показывает, что нарастание усилия сопротивления (КДР) наблюдается до глубины внедрения соответствующего 0,55-0,6 толщины стенки трубы, т.е. до тех пор пока пластическое вытеснение металла происходит навстречу движущемуся клину и на наружной поверхности трубы образуется пластический напльв. Дальнейшее перемещение клина в стенку трубы не сопровождается резким нарастанием усилия. При достижении значения 0,8-0,85 толщины стенки, пластическое вытеснение полностью направлено на внутренние стенки трубы, которое сопровождается образованием внутренних напльвов. При углублении клина на 0,95-0,98 толщины стенки осевые составляющие силы внедрения создают напряжения разрывающие трубу по кромкам внутреннего напльва.

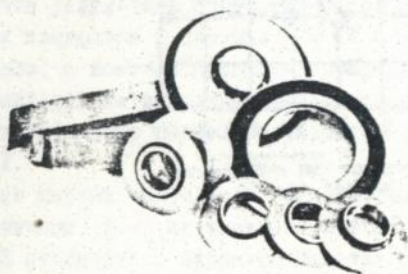
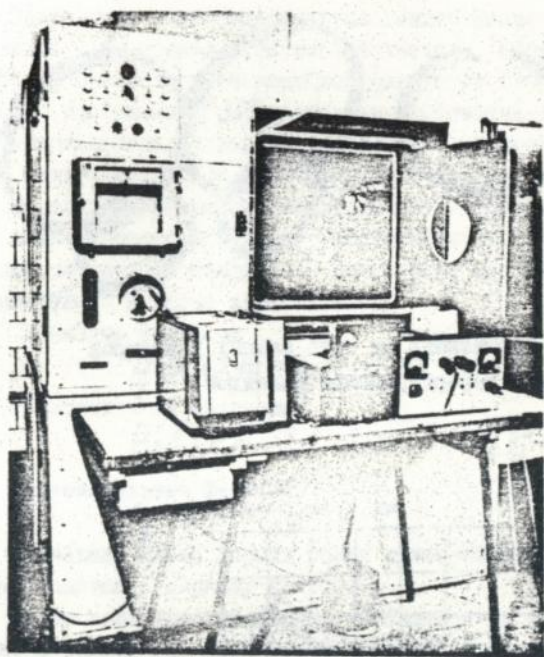


Рис. 3.1. Комплект аппаратуры тензостанции и набор клиновых роликов для проведения экспериментальных исследований

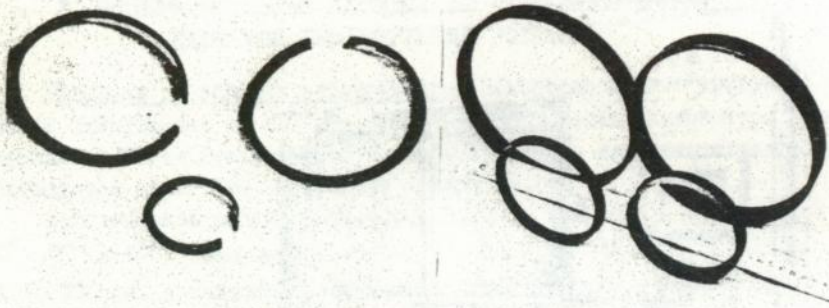


Рис.3.2. Кольца отрезанные от труб разных диаметров  
клиновыми деформирующими роликами

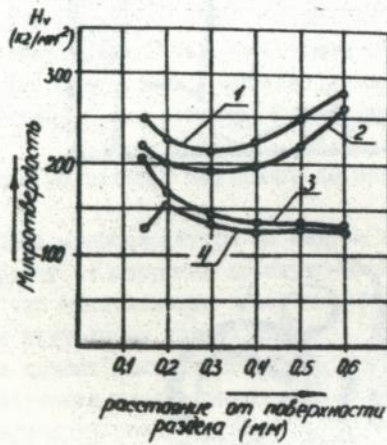


Рис.3.3. Характер изменения микротвердости по толщине  
стенки и вглубь по стенке

Полученные экспериментальные данные после пересчета ригтесенной массы и измерения собственной частоты, обработаны с помощью программы множественной линейной регрессии (*REGRE*) на ЭВМ ЕС-1061. Программа *REGRE* позволяет произвести комплексную обработку экспериментальных данных и получить информацию для корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализов.

Уравнением регрессии называют математическую формулу выбранного вида, параметры которой рассчитываются для данной статистики методом наименьших квадратов. Поиск вида зависимости производился для следующих классов зависимостей:

1. Линейные полиномы

$$P_y = A_0 + A_1 m_1 + A_2 X_1 + A_3 \omega. \quad (3.1)$$

2. Квадратичные полиномы

$$P_y = A_0 + A_1 m_1 + A_2 X_1 + A_3 \omega + A_4 m_1^2 + A_5 X_1^2 + A_6 \omega^2. \quad (3.2)$$

3. Показательные функции

$$P_y = C \cdot m^{am} \cdot X^{ax} \cdot \omega^{aw}. \quad (3.3)$$

Последний класс формул после линеаризации путем логарифмирования сводится к первому классу.

Выбор этих классов формул обусловлен их универсальным характером, а также, это касается 3-го класса, близостью процесса разделения зуб КЛР к процессу резания, при описании которого используется такой вид формул.

Получив результаты обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов с помощью *REGRE*, можно провести корреляционный анализ, с помощью которого определяются характер и степень влияния факторов на зависимую величину. Показателем взаимосвязи является коэффициент парной корреляции, принимающим значение от  $-1$  до  $+1$ .

Анализ парных корреляций показал, что все коэффициенты корреляции значимы, т.е. их значения больше критического значения для данной стойкости и отражает наличие существенного влияния выделенных факторов на условие. Все факторы положительно коррелированы с усилием внедрения клина. Наибольшее влияние оказывает перемещение вращающегося дискового клина.

Получены следующие уравнения регрессии (для усилия внедрения КЛР) для трех классов зависимостей:

$$P_y = -1603,06 - 6,3859 m_1 + 76360 X_1 + 2,4073 \omega; \quad (3.4)$$

$$= 1287,13 - 154950m_1 + 4568,2X_1 - 1,2281\omega + 893140m_1^2 + 165460X_1^2 + 1371200\omega^2 \quad (3.5)$$

$$= 794,03 \cdot m_1^{1,4358} \cdot X_1^{1,0018} \cdot \omega^{1,1941} \quad (3.6)$$

Все полученные уравнения адекватны по критерию Фишера, имеют высокую долю объясняемой вариации (более 97%) и коэффициент множественной корреляции (больше 0,98). Коэффициенты уравнений регрессии значимы по критерию Стьюдента.

Однако, сопоставление результатов расчета по полученным уравнениям регрессии показало, что в случае линейной регрессии существует область значений факторов, в которой уравнение регрессии дает отрицательное значение, что противоречит физической природе процесса. Квадратное уравнение регрессии устраняет этот недостаток линейного уравнения, однако имеет более сложную и громоздкую форму. Поэтому целесообразно использовать для описания зависимости усилия ( $P$ ) от выделенных факторов выражение (3.6).

Полученное выражение использовано для расчета деталей при проектировании устройства для разделения труб КДР, а также для выбора оптимальных технологических и геометрических параметров процесса. Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает, что экспериментальные результаты превышают теоретические на 10–12%, что, по-видимому, объясняется тем, что при постановке теоретических исследований не учитывалось влияние сил трения.

#### 4. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ КДР

Изучение многочисленных конструкций устройств для разрезания труб клиновыми роликами показали, что во всех, без исключения, используется групповой привод радиального перемещения роликов. Используются механический, гидравлический, пневматический приводы, с помощью которых при многороликовых конструкциях все КДР перемещаются в радиальном направлении от периферии к центру одновременно. Это, как показывает опыт, является серьезным недостатком, так как при разрезке разнотолщинных по периметру труб, или эксцентрично смещенных труб, наступит ситуация, когда один ролик уже внедрился в трубу, а другой продолжает деформировать трубу расклинивая прорезь и заземля ролик вышедший своей вершиной в отверстие трубы.

Чтобы исключить этот недостаток, мы предложили использовать инерционный привод, который приведен на схеме (рис.4.1) и работает

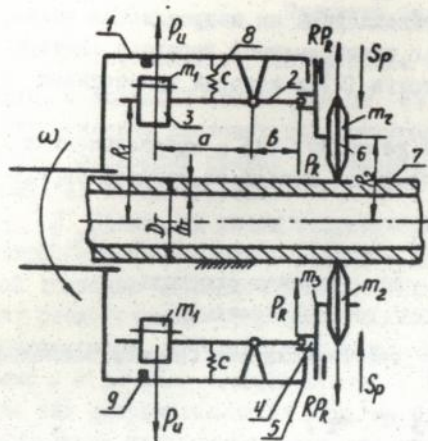


Рис. 4.1

Принципиальная схема устройства для разрезания труб клиновыми деформирующими роликами

следующим образом.

Цилиндрический корпус (1) установленный на направляющие ролики с ребрами вращается относительно неподвижной трубы (7) и угловой скоростью  $\omega$ . Внутри корпуса на шарнирах установлены штанги (2). Количество штанг равно числу КДР. На данных рычагах штанг ( $m_1$ ) помещены подвижные грузы (3), которые можно перемещать вдоль штанг и изменять тем самым длину плеча "а". В нужном положении грузы фиксируются винтами. На правых, коротких плечах штанг (2) размещены роликовые толкатели, которые входят в пазы ползунов (4). При вращении цилиндрического корпуса (1) грузы (3) отклоняются от оси к стенкам под действием сил инерции. Отклонение грузов происходит до тех пор, пока они не встретятся с упорами (9). Эти упоры настраиваются так, чтобы перемещение роликов (6) прекращалось автоматически после выхода каждого из них во внутреннюю полость трубы. Толкатель короткого плеча штанги (2) перемещает ползун (4) по направляющим (5), которые расположены на правом торце цилиндрического корпуса (1). К этим ползунам присоединены КДР, которые могут свободно вращаться относительно собственных осей.

Таким образом каждый КДР имеет автономный привод радиальной подачи -  $S_p$  и все макрогеометрические отклонения, такие как эксцентриситет, разнотолщинность, окружная волнистость и пр., будут отслеживаться каждым инструментом независимо и при равных условиях.

Нами рассматривается случай разрезания неподвижной трубы тремя роликами, которые совершают переносное круговое движение, собственное вращение и поступательное движение в радиальном направлении под действием сил инерции (рис. 4.1).

Цилиндрический корпус (1), установленный на направляющие ролики, приводится во вращение с помощью клиноременной передачи. Внутри корпуса, на шарнире, установлена штанга (2), к которой присоединен груз (3) и ползун (4).

При вращении корпуса на груз и на ползун (4) с присоединенным к нему роликом (6) действуют силы инерции, каждая из которых определяется по формуле:

$$P_u = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (4.1)$$

где  $m$  — соответствующая масса;  $\omega$  — угловая скорость;  
 $R$  — расстояние от центра массы до осей вращения.

Перемещение ролика к центру от действующих сил инерции возможно лишь в том случае, если:

$$\begin{aligned} m_1 \omega^2 R_1 &> m_2 \omega^2 R_1 + m_3 \omega^2 R_2, \\ m_1 \omega^2 R_1 &> \omega^2 (m_2 R_1 + m_3 R_2). \end{aligned} \quad (4.2)$$

Для расчета необходимо знать то значение силы, которое будет учитывать противодействие справа, т.е.

$$P_{\text{действ.}} = m_1 \omega^2 R_1 - \omega^2 (m_2 R_1 + m_3 R_2) \quad (4.3)$$

В том случае, если  $R_1 = R_2$ , а  $m_{\text{пр}} = \frac{m_2 \cdot m_3}{m_2 + m_3}$

$$P_{\text{действ.}} = m_1 \omega^2 R_1 - m_{\text{пр}} \omega^2 R_1 \quad (4.4)$$

Таким образом значение радиальной силы внедряющей ролик в трубу для приведенной схемы можно определить по формуле:

$$P_R = \frac{a}{b} \omega^2 R_1 (m_1 - m_{\text{пр}}) \quad (4.5)$$

Подставляя численные значения из реальной конструкции, получим

$$P_R = \frac{0,28}{0,08} \cdot 625 \cdot 0,25(15-5) = 5458,75 \text{ Н} = 546,88 \text{ кг}$$

Развиваемое усилие достаточно, чтобы производить разрезку труб КДР с толщиной стенки до 5 мм. В случае необходимости получения больших усилий производят поднастройку путем смещения грузов влево по штанге изменяя тем самым плечо "а". Местоположение роликов (6) изменяется автономной установкой ползунов.

## Основные выводы

1. Установлено, что наиболее экономичным способом разделения труб, с толщиной стенки 1-8 мм, на мерные длины является разрезка с применением клиновых деформирующих роликов, которые должны иметь автономный привод для предотвращения их преждевременной поломки из-за перегрузок.

2. Предложен метод теоретического определения и анализа сил сопротивления внедрению (КДР) в упругопластическую среду конечной толщины. Математическая модель процесса внедрения клина содержит реологические уравнения от которых совершен переход к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами и с помощью которых получены расчетные формулы для определения сил затрачиваемых на упругие и пластические деформации. При этом также установлено, что пластические деформации и напряжения при которых они протекают существенно зависят от времени действия деформирующей силы.

3. Теоретическими исследованиями установлено, что на преодоление упругих сопротивлений затрачивается усилие составляющее примерно 97-98% от общей силы сопротивления, а оставшаяся часть используется для поддержания напряжений вызывающих пластическое течение металла в данных конкретных условиях нагружения. Установлено также, что упругие сопротивления возрастают по мере роста собственной частоты разрезаемой трубы, что напрямую связано с контактной жесткостью деформационного объема, т.е. с физико-механическими свойствами материала трубы.

4. Разработана методика экспериментальных исследований по определению радиальных усилий действующих на трубу и на ролик в процессе деформационного внедрения. Методика включает в себя тензометрические измерения сил и тока двигателя, металлографический анализ характера деформаций по толщине стенки трубы, измерение микротвердости вглубь от поверхности разделения клином по всей длине контакта с роликом.

5. Результаты экспериментальных исследований обработаны с помощью методов математической статистики на ЭВМ по стандартной программе "REGRE" в результате чего получены эмпирические формулы для определения усилий действующих на ролик при его внедрении в стенку трубы. Сравнительный анализ показал, что определение силы по эмпирическим формулам на 10-15% превышает значение сил определяемых по формулам теоретическим. Такое расхождение, по-видимому,

объясняется тем, что в постановке теоретической части не учитывались силы трения.

6. Предложено и разработано устройство для разрезания труб диаметром до 300 мм с помощью КДР. При этом выполнено условие соблюдения автономности радиального перемещения каждого КДР. Наиболее подходящим для этих условий оказался инерционный привод. Основные параметры привода рассчитывались из условия необходимости преодоления сил сопротивления, которые определялись из полученных эмпирических формул. Проведенные испытания подтвердили правильность сделанных выводов и работоспособность предложенной конструкции.

7. Выполнен рабочий проект трубоотрезного устройства, который принят объединением "Днепропетровский комбайновый завод" для внедрения. Ожидаемый экономический эффект от внедрения составляет 214 тыс. рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В.Н.Морозенко, М.Б.Аль-Хаббаз. Разделение труб с индивидуальным приводом инструмента // Металлургическая и горнорудная промышленность, - 1992, - № 2(164). - С.55-56.
2. В.Н.Морозенко, А.Г.Ясев, М.Б.Аль-Хаббаз. Определение силы сопротивления деформации при разрезании труб // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1992. - № 2(164). - С.24-26.
3. М.Б.Аль-Хаббаз, Е.П.Шилов. Экспериментальные исследования труб вращающимися дисковыми клиньями. - К., 1991. - 7с. - Деп. в УкрНИИТИ, № 828-1К91.
4. В.Н.Морозенко, М.Б.Аль-Хаббаз. Определеие силы сопротивления деформации при разрезании труб: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Прогрессивная технология машиностроения": - Днепропетровск. 1992. - С.20-21.
5. В.Н.Морозенко, М.Б.Аль-Хаббаз. Устройство для разрезания труб клиновыми деформирующими роликами: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Прогрессивная технология машиностроения": - Днепропетровск. 1992. - С.24-26.
6. Положительное решение на заявку № 4829940/02/059579. Способ комбинированной обработки роликами / В.Н.Морозенко, Э.В.Троско, М.Б.Аль-Хаббаз. Принято 29.10.91.

Подписано к печати 22.01.1993.  
Формат 60x84/16. Бумага типогр. № 2. Печать офсетная.  
Физ.л.л. 1,0. Уч.-изд.л. 0,84. Усл.л.л. 0,83.  
Тираж 100 экз. Заказ 28. Бесплатно.

Днепропетровский металлургический институт,  
320635, Днепропетровск, пр. Гагарина, 4

ОЗ ДМетИ, 320008, Лодманское шоссе, 3-б.

AB 26.526

SECRET