

4568944

На правах рукоп

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Мустафа СУЛИМАН

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ
ПАРАМЕТРОВ И УСТАНОВЛЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ТЕЧЕНИЯ
РОТАЦИОННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ НА
ТРЕХВАЛКОВЫХ СТАНАХ С ЦЕЛЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ИЗДЕЛИЙ

Специальность 05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва
2000

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана на кафедре "Технологии обработки давлением".

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ
Овчинников А.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Семенов И. Е.
кандидат технических наук, доцент
Маркин П. В.

Ведущее предприятие - ОАО "НИИТАВТОПРОМ".

Защита диссертации состоится "29" 11- 2000 г. в 11⁰⁰ часов на
заседании диссертационного совета К 053.15.13 в Московском государственном
техническом университете им. Н. Э. Баумана по адресу:

107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, зал заседания ученого совета.

Телефон для справок 267-09-63

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
государственного технического университета.

Автореферат разослан "20"

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент

4568944

Подписано к печати 15.06.2000г.

Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современная промышленность широко использует оболочки в виде тонкостенных трубчатых деталей, к которым предъявляют высокие требования по качеству, точности размеров, уровню механических характеристик и шероховатости поверхности.

Один из способов обработки металлов давлением для изготовления тонкостенных трубчатых оболочек деталей нашел процесс ротационного выдавливания (РВ) на трехвалковых станах. Этот процесс характеризуется локализацией очага пластической деформации и занимает значительное место при производстве деталей типа тел вращения.

На протекание процесса ротационного выдавливания тонкостенных оболочек влияют многие факторы, которые можно разделить на технологические и конструкторские. Эти факторы могут оказать существенное влияние на результаты процесса ротационного выдавливания (точности размеров, силовые и деформационные параметры).

В работах, относящихся к исследованию РВ, редко встречаются теоретические и экспериментальные, в которых рассматривают взаимодействие трех роликов и их влияние на результаты.

В связи с этим проведение теоретического анализа и экспериментальных исследований процесса РВ тонкостенных труб на трехвалковых станах с учетом влияния различных факторов (технологические и конструкторские) и их взаимодействия, представляет актуальную научно-техническую задачу, решение которой позволит существенно улучшить технологический процесс ротационного выдавливания и качество изготавливаемых изделий.

Цель работы: решение научно - технической задачи, состоящей в теоретическом и экспериментальном исследовании процесса РВ тонкостенных трубчатых оболочек с утонением при использовании трехвалковых станов и разработке методики определения (выбора) конструкторско - технологических факторов, обеспечивающих ротационное выдавливание труб с заданными эксплуатационными характеристиками.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

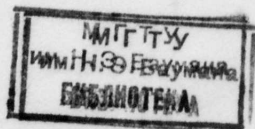
- разработать методику определения энергосиловых параметров ротационного выдавливания тонкостенных труб;
- установить влияние конструкторско - технологических факторов на качество изготавливаемых труб ротационным выдавливанием на трехвалковых станах.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1568944

Супиман М. Разработка мето



- установить влияние степени утонения металла стенки заготовки на механические характеристики изделия;
- установить характер течения металла и определить рациональные степени (глубины) обжатия первым и последующими роликами.

Научная новизна:

- получены основные уравнения и необходимые соотношения для анализа скоростей течения металла в очаге пластической деформации (в продольном, радиальном и окружном направлениях);
- предложена методика экспериментального определения характера течения металла в процессе РВ тонкостенных труб;
- установлено влияние факторов процесса РВ (межосевое расстояние между роликами, осевая подача, скорость вращения оправки и размеры роликов и оправки) на параметры процесса;
- установлены характеристики очага пластической деформации и определены факторы, влияющие на них в зависимости от технологических режимов обработки и основных параметров деформирующего инструмента.

Автор защищает:

- основные уравнения и соотношения, необходимые для исследования процесса течения металла в процессе ротационного выдавливания тонкостенных трубчатых оболочек с утонением на трехвалковых станах;
- определение влияния различных факторов процесса РВ на качество изготавливаемых изделий;
- математический анализ влияния факторов процесса РВ на основании результатов экспериментальных исследований;
- методику определения течения металла с учетом влияния каждого ролика;
- методику определения энергосиловых параметров.

Методы исследования. Теоретическое исследование выполнено для разработанной расчетной модели процесса на основе инженерного метода с использованием положений теории верхней оценки.

Экспериментальные исследования проведены с использованием современных испытательных устройств, машин и регистрирующей аппаратуры.

В результате определены механические характеристики деформируемого металла и влияние технологических и конструкторских факторов при использовании трехвалковых станов в процессах предварительных и планированных экспериментов для разных материалов и деформирующих инструментов.

Достоверность результатов обеспечена обоснованным использованием основных допущений и ограничений теоретических исследований – метода верхней оценки энергосиловых параметров, корректностью постановки, применением известных математических методов статистики при планировании экспериментов и обработке их результатов, оценкой адекватности расчетных моделей реальным процессом; сходимостью данных расчета и эксперимента.

Практическая значимость и реализация работы. На основе теоретических исследований предложена методика расчета глубины обжатия заготовок, деформирующих сил и энергосиловых параметров привода. Результаты экспериментальных исследований позволяют оценить качество изготавливаемых изделий и режимов обработки на стадии проектирования без проведения каких-либо наладочных работ.

Использование результатов исследований позволит ускорить сроки подготовки производства и улучшить качество изделий (точность размеров, шероховатость поверхности и механические характеристики).

Результаты исследований использованы в учебном процессе (курсовое проектирование и лабораторные работы), будут на машиностроительных предприятиях в Сирии и металлургических заводах России.

Апробация работы. Результаты работы доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры «Технологии обработки давлением» Московского государственного технического университета (МГТУ) им. Н. Э. Баумана.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликованы 3 печатные работы.

Структура и объема диссертации: диссертация состоит из общей характеристики работы, трех глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа выполнена на 192 страницах машинописного текста, содержит 120 рисунков, 17 таблиц и список литературы из 22 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, ее научная новизна и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор научных публикаций, посвященных вопросу изготовления тонкостенных трубчатых деталей ротационным выдавливанием на трехвалковых станах, а также анализ современного состояния теории и технологии процессов РВ осесимметричных тел.

Большой вклад в развитие теории и практики деформирования труб ротационным выдавливанием дан в работах: А. И. Целикова, И. И. Казакевича, В. В. Смирнова, В. Avitzur, W. Johnson, М. Hayama, S. Kobayashi, S. Kalpakgioglu, Ч. Янга, Э. Томсона, Ш. Кобаяши, А.Г. Овчинникова, Н.И. Могильного, П.К. Тетерина, Л.Г. Юдина, В.Н. Королева, Я.Л. Ваткина, Ю.М. Матвеева, С.И. Борисова, И.Н. Потапова, П.И. Полухина, и др.

На основании обзора литературных данных сформулированы цель и задачи исследования.

Цель работы - исследовать технологический процесс РВ тонкостенных осесимметричных оболочек на трёхроликовой ротационной машине и разработать методику расчета энергосиловых параметров с учётом технологических и конструкторских факторов, обеспечивающих заданные точность размеров и качество поверхности, а также управляющих ведением процесса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить влияние конструкторских факторов: радиуса скругления гребня деформирующего ролика, его переднего и заднего углов, а также расстояний между деформирующими роликами вдоль оси оправки на точность размеров и качество поверхности изготовленных тонкостенных оболочек.
2. Установить влияние глубины обжатия каждым роликом за 1 оборот оправки, подачи ролика вдоль оси, частоты вращения оправки на характер течения, точность размеров и качество поверхности.
3. Установить влияние технологических факторов на величину потребляемой мощности (силы тока), что бы использовать в качестве параметра, управляющего процессом РВ.
4. Установить зависимость между величиной обжатия каждым роликом за 1 оборот оправки и осуществляемой деформацией, а также упрочнением.

5. Разработать методику проектирования технологического процесса РВ с учётом результатов решения вышепоставленных задач.
6. Найти кинематически возможные поля скоростей течения и деформации в ОПД, интенсивности кинематически возможного поля скоростей деформации.
7. Определить верхнюю оценку удельной деформирующей силы каждым роликом и мощности, необходимых для ведения процесса РВ тонкостенных труб на трехвалковых станах, а также глубину обжатия первым и последующими роликами.

Вторая глава посвящена теоретическому анализу процесса РВ с утонением полых заготовок на трехвалковых станах и определению энергосиловых параметров процесса. При этом были исследованы и определены форма и размеры очага пластической деформации (ОПД), шероховатость поверхности изделия, исследовано течение металла при обжатии заготовки первым и последующими роликами, исследованы скорости течения металла в ОПД и определены энергосиловые параметры процесса РВ.

При исследовании "пятна контакта" рассмотрено влияние таких факторов процесса РВ как конструкторские (форма и размеры деформирующего инструмента: – радиус скругления гребня R , (мм); передний и задний углы α° , β° ; наружный диаметр ролика и оправки D_p и $D_{оп}$, мм) и технологические (относительная осевая подача $f = V_s/n_{оп}$ (мм/об), где V_s (мм/мин) – осевая подача оправки вдоль оси, $n_{оп}$ (об/мин) – частота вращения заготовки или оправки; глубина обжатия каждым роликом δ (мм/ролик); межосевое расстояние между роликами L_1-L_2 (мм-мм); наружный диаметр и толщина заготовки $D_{оз}$, S_o (мм).

На рис. 1 и 2 представлена форма "пятна контакта", ее длина $l_{оч}$ и ширина $b_{оч}$.

$$l_{оч} = r_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \arccos \left(1 - \frac{4 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \alpha}{r_p \left(\frac{r_p}{r_{оз} + f \cdot \operatorname{tg} \alpha - \delta} \right) + 1} \right), \quad (1)$$

где r_p – радиус ролика, $f = V_s/n_{оп}$ (мм/об) – относительная осевая подача, δ – глубина обжатия, $r_{оз}$ – наружный диаметр заготовки, V_s – осевая подача (мм/мин) и $n_{оп}$ – частота вращения оправки (об/мин).

Ширину ОПД разбивали на две зоны деформации $b_{оч1}$ и $b_{оч2}$ (рис. 3). При определении ширины ОПД $b_{оч}$ пренебрегали образованием наплыва и влиянием упругой деформации металла.

В результате исследований первой зоны получено выражение

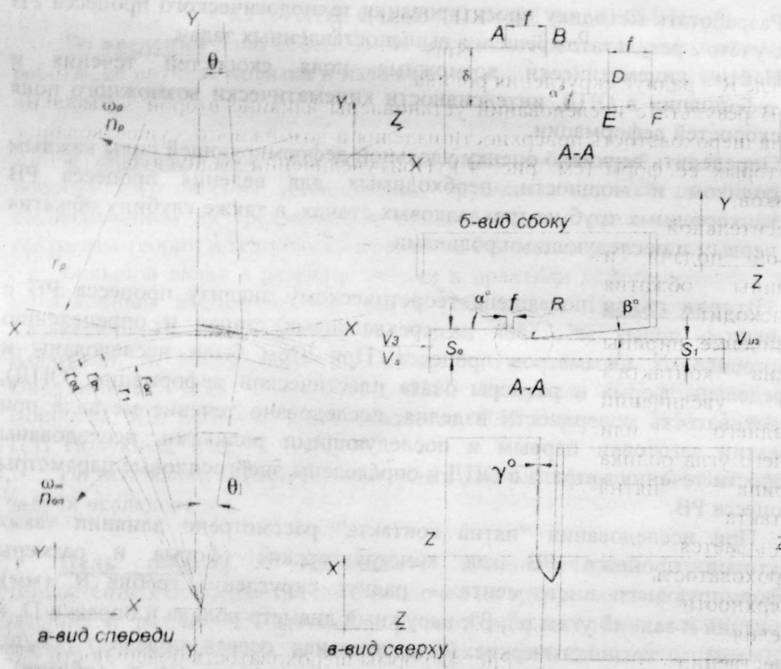


Рис. 1. Проекция ОПД относительно оси оправки.

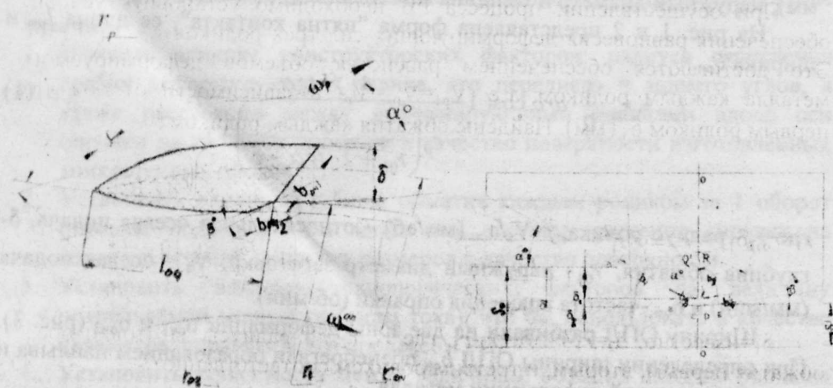


Рис. 2. Форма ОПД.

Рис. 3. Ширина очага пластической деформации.

$$b_{\text{оч1}} = \frac{\delta - R(1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha} + R \cdot \alpha, \quad (2)$$

где R – радиус скругления ролика.

В результате исследований установлены влияние второй зоны ОПД $b_{\text{оч2}}$ на шероховатость поверхности изделия и возможность существования некоторых ее форм (см. рис. 4.). При увеличении радиуса скругления роликов,

относительной осевой подачи и глубины обжатия происходит

увеличение ширины “пятна контакта”. При увеличении переднего или заднего угла ролика ширина “пятна контакта”

уменьшается.

Шероховатость поверхности изделия

существенно

зависит от

параметров третьего ролика. При возрастании β и f и уменьшении R шероховатость увеличивается.

При осуществлении процесса РВ необходимо установить условие обеспечения равновесия деформирующих сил трех роликов т.е. $F_1 = F_2 = F_3$. Это достигается обеспечением равенства объемов деформируемого металла каждым роликом, т.е. $V_{p1} = V_{p2} = V_{p3}$ в зависимости от обжатия первым роликом δ_1 (мм). Найдены обжатия каждым роликом.

$$r_1 = r_{\text{ог}} - \delta_1; \quad r_2 = \sqrt{r_1^2 - \frac{r_{\text{ог}}^2 - r_1^2}{1 + \frac{r_{\text{ог}}^2 - r_1^2}{r_1^2 - r_1^2}}}; \quad r_3 = \sqrt{r_2^2 - \frac{\left(1 + \frac{r_{\text{ог}}^2 - r_1^2}{r_1^2 - r_1^2}\right) \left(r_{\text{ог}}^2 - r_1^2\right)}{1 + \left(1 + \frac{r_{\text{ог}}^2 - r_1^2}{r_1^2 - r_1^2}\right) \frac{r_1^2 - r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}}}, \quad (3)$$

δ_1 – известно, $\delta_2 = r_1 - r_2$, $\delta_3 = r_2 - r_3$, где r_1, r_2, r_3 – радиусы заготовки после обжатия первым, вторым, и третьим роликом соответственно.

Анализ результатов показал, что необходимо уменьшение глубины обжатия вторым и третьим роликами δ_2 и δ_3 для определенного значения δ_1 , т.е. $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$. Оказалось, что чем больше толщина стенки заготовки $S_{\text{ог}}$,

тем меньше ее влияние на течение металла между роликами, т.е. уменьшается разница величин $\delta_1, \delta_2, \delta_3$.

Для исследования формообразования оболочковых изделий с обеспечением выдвигаемых конструкторами требований необходимо изучить: - кинематику течения металла и энергосиловые параметры в условиях РВ; - контактное взаимодействие заготовки и рабочего инструмента (роликов); - влияние формы и размеров рабочего инструмента, обеспечивающих оптимальные условия контактного взаимодействия для устойчивого протекания процесса и влияние технологических режимов обработки.

Для решения поставленной задачи перейдем к анализу кинематического и деформационного состояний заготовки в очаге пластической деформации. Наиболее приемлемым и общедоступным является метод верхней оценки деформирующей силы, разработан на основании теоремы. Математическая запись этой теоремы.

$$\int_{F_p} q V_0 dF \leq \sigma_s \int_V \dot{\gamma}_i^* dV - \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \sum_{i=1,2} \int_{f_i} (\dot{V}_1^* + \dot{V}_2^*) df + \mu_s \sigma_s \sum_{F_p} (\dot{X} V_x^* + \dot{Y} V_y^* + \dot{Z} V_z^*) dF \quad (4)$$

где q - действительная удельная сила деформирования, приложенная со стороны рабочего инструмента; V_0 - заданная скорость течения частиц деформируемой заготовки на контактной поверхности; F_p - часть поверхности заготовки, на которой заданы скорости течения частиц металла; $\sigma_s = \text{const}$ - напряжение текучести; $\dot{\xi}_i^*$ - кинематически возможная скорость деформации (деформация) заготовки; V - объем деформируемой части заготовки; $\dot{V}_1^*$ - и $\dot{V}_2^*$ - кинематически возможные скорости течения на границах разрыва сдвиговых скоростей течения; f_i - площадь поверхности разрыва сдвиговых скоростей течения; μ_s - фактор трения на контактных поверхностях заготовки и инструмента; X, Y, Z - составляющие заданных сил на поверхности заготовки; F_p - часть поверхности заготовки, на которой заданы силы.

«Пятно контакта» инструмента и заготовки (очага пластической деформации) представим в виде эллипса.

При установлении скоростей течения частиц заготовки в радиальном направлении на «пятне контакта» ОПД, установлено, что скорость обжатия заготовки на контактной поверхности распределена по поверхности контакта неравномерно.

Кинематическая возможная скорость течения частиц заготовки в очаге пластической деформации в радиальном направлении описывается

$$V_p^* = -V_{o3}^{okp} \left(1 + \frac{r_{o3}}{r_p} \right) \theta \cdot \frac{\rho - r_{on}}{r_{o3} - r_{on}} \quad (5)$$

Кинематически возможная скорость течения V_z^* в направлении оси Z,

$$V_z^* = V_{o3}^{okp} \left(1 + \frac{r_{o3}}{r_p} \right) \cdot \theta \cdot \frac{\left(2 - \frac{r_{on}}{\rho} \right) \cdot b}{(r_{o3} - r_{on})} \cdot \left(\frac{Z}{b} + \sqrt{1 - \frac{\theta^2}{\gamma_{o3}^2}} \right) \quad (6)$$

Затем были найдены кинематически возможные скорости деформации и их интенсивности.

При этом теоретически впервые установлено существование угловых скоростей деформации на пятне контакта и определены η_{0z} , η_{zp} , что подтверждено экспериментально.

Удельная деформирующая сила, определена следующим выражением.

$$\begin{aligned} \frac{q}{\sigma_s} \leq & \frac{\sqrt{2} \cdot \pi}{\gamma_{o3} \cdot \left(1 - \frac{r_{on}}{r_{o3}} \right)} \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \left(1 - \frac{r_{on}^2}{r_{o3}^2} \right) \cdot \left[\frac{3\gamma_{o3}^2}{16} \left(3 + 3 \frac{r_{on}^2}{r_{o3}^2} - 6 \frac{r_{on}}{r_{o3}} + 2 \frac{r_{on}^2}{r_{o3}^2} \ln \frac{r_{o3}}{r_{on}} \right) + \right.} \\ & \rightarrow + \frac{3b^2}{2r_{o3}^2} \left[\left(4 \cdot \ln \frac{r_{o3}}{r_{on}} + 4 \frac{r_{on}}{r_{o3}} - \frac{1}{2} \frac{r_{on}^2}{r_{o3}^2} - \frac{7}{2} \right) \cdot \left(\frac{9}{16} - \frac{2}{3\pi} \right) + \frac{7}{16} \frac{r_{on}^2}{r_{o3}^2} \ln \frac{r_{o3}}{r_{on}} \right] + \rightarrow (7) \\ & \rightarrow + \frac{1}{4\sqrt{3}} \frac{r_{o3}}{b} \frac{\left(2 + \frac{r_{on}^3}{r_{o3}^3} - 3 \frac{r_{on}}{r_{o3}} \right)}{\left(1 - \frac{r_{on}}{r_{o3}} \right)} + \frac{9}{8} \mu_s \frac{\left(3 - \frac{r_{on}}{r_{o3}} \right) b}{\left(1 - \frac{r_{on}}{r_{o3}} \right) r_{o3}} \end{aligned}$$

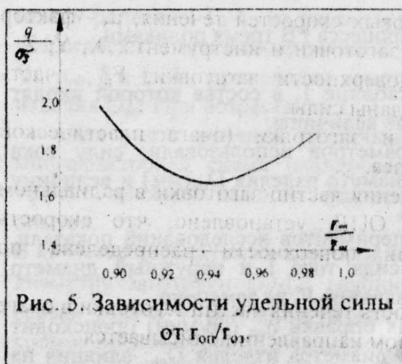


Рис. 5. Зависимости удельной силы

от r_{on}/r_{o3}

Зависимость q/σ_s от отношения диаметров оправки и заготовки (r_{on}/r_{o3}) свидетельствует о наличии минимума удельной силы (см. рис.5)

Сравнения результатов расчета мощности при теоретических и экспериментальных исследований показало хорошую сходимость - 3,75 и 4,05 kW.

В третьей главе приведены методика и результаты экспериментальных исследований. При этом рассмотрено влияние конструкторских и технологических факторов процесса РВ: межосевое расстояние роликов L_1-L_2 , мм; осевая подача оправки V_s , мм/мин; частота вращения заготовки $n_{он}$, относительная осевая подача f , глубина обжатия каждым роликом δ , наружные диаметры ролика и заготовки D_p и $D_{оз}$, радиус скругления кромок ролика R , передний и задний углы ролика α° и β° (рис. 6).

Предварительные эксперименты проводили при варьировании одного из перечисленных факторов и постоянстве остальных.

Эксперименты проводили на двух группах роликов с наружным диаметром $D_p=240$ мм. Первая группа размеры: $R_1=6$ мм, $R_2=4$ мм, $R_3=2$ мм; $\alpha_{1,2,3}^\circ=30^\circ$; $\beta_{1,2,3}^\circ=5^\circ$. Вторая – $R_1=8$ мм, $R_2=6$ мм, $R_3=4$ мм; $\alpha_{1,2,3}^\circ=30^\circ$, $\beta_{1,2,3}^\circ=5^\circ$.

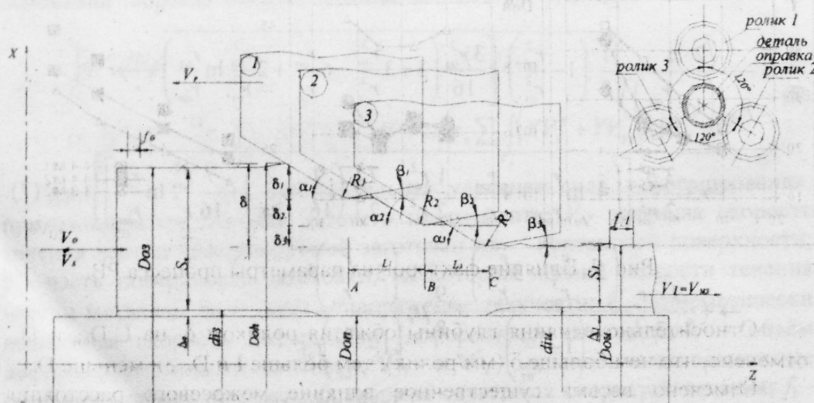


Рис. 6. Факторы и параметры процесса РВ тремя роликами.

План эксперимента приведен в таблице 1, в состав которой входят факторы и их переменные и постоянные величины.

В качестве регистрируемых параметров использовали: силу тока главного двигателя I (А); наружный диаметр изделия $D_{он}$ (мм) и величину наплыва $D_{он}$ (мм). Результаты на рис. 7.

Результаты предварительных экспериментов исследований показали, что при увеличении V_s возрастают сила тока I и наружный диаметр изделия $D_{он}$. На образование наплыва влияние V_s не замечено.

При изменении частоты вращения оправки $n_{он}$ (об/мин) происходит уменьшение силы тока I и наружного диаметра изделия $D_{он}$; влияния на наплыв $D_{он}$ заметно больше при малых значениях межосевого расстояния между роликами L_1-L_2 , а $D_{он}$ уменьшается при возрастании $n_{он}$.

Исследуемые факторы и их значения

Осевое расстояние между роликами L_1-L_2 (мм)	Осевая подача V_s (мм/мин)	Скорость вращения оправки $n_{оп}$ (об/мин)	Глубина бжятия каждым роликом δ (мм/ролик)	Характеристики двух групп роликов $R, \alpha^\circ, \beta^\circ$
3-1	40, 55, 70, 85	100	0.9	$R_1=8, 6$
4-2	60	70, 90, 10, 130	0.9	$R_2=6, 4$
5-3	60	100	0.7, 0.8, 0.9, 1.0	$R_3=4, 2$ $\alpha_{1,2,3}^\circ=30^\circ$ $\beta_{1,2,3}^\circ=5^\circ$

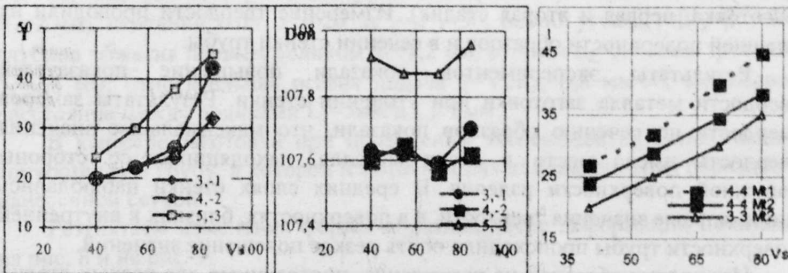


Рис. 7. Влияние факторов на параметры процесса РВ.

Относительно влияния глубины обжятия роликом δ на I , D_{oh} и D_{oh} отмечено, что чем больше δ (мм/ролик), тем больше I и D_{oh} , и меньше D_{oh} .

Отмечено весьма существенное влияние межосевого расстояния между роликами L_1-L_2 на параметры процесса РВ. При увеличении L_1-L_2 , возрастает I , а при одновременном увеличении значений других факторов V_s , $n_{оп}$, δ и L_1-L_2 происходит заметное уменьшение наружного диаметра изделия D_{oh} . При возрастании L_1-L_2 увеличиваются значения D_{oh} .

Для учета влияния различных факторов процесса РВ применена многофакторная схема планирования эксперимента, согласно которой эффект влияния каждого фактора оценивается по результатам всех опытов.

В качестве варьируемых факторов приняты: отношение диаметра ролика к диаметру заготовки $D_r/d_{оз}$; глубина обжятия каждым роликом δ (мм); осевая подача V_s (мм/мин); передний угол ролика α° ; радиус скругления кромок роликов R_r (мм); межосевое расстояние роликов L_1-L_2 .

Выходными параметрами являлись: сила тока главного двигателя I , (А); твердость изделия после деформирования (НВ); наружный диаметр изделий $D_{\text{он}}$ (мм); диаметр заготовки в зоне образования наплыва $D_{\text{он}}$ (мм); внутренний диаметр изделия $d_{\text{ин}}$ (мм) и растягивающие напряжения $\sigma_{\text{в}}$ (Н/мм²).

Установлено, что наибольшее влияние на $D_{\text{он}}$, $D_{\text{он}}$ оказывает фактор $D_p/D_{\text{он}}$. Величина $d_{\text{ин}}$ в рамках предложенной модели оказывается зависимой от величины $D_p/D_{\text{он}}$. На твердость и силу тока I оказывают влияние все выбранные факторы. Увеличение $D_p/D_{\text{он}}$, осевой подачи V_s , межосевого расстояния L_1-L_2 приводит к росту значений твердости НВ. А увеличение δ , α° и R приводит к снижению показателей НВ.

Для определения характеристик металла до и после деформации были проведены испытания на твердость в разных стадиях деформирования (заготовка, первая и вторая стадия). Измерение твердости проводили на внешней поверхности образцов и в сечении стенки трубы.

Результаты экспериментов показали повышение показателей твердости металла заготовки при утонении стенки. Результаты замеров твердости по сечению образцов показали, что максимальные значения твердости имела место в слоях металла, находящихся со стороны наружной поверхности изделия. В средних слоях стенки наблюдались минимальные значения твердости, а в поверхностях, близких к внутренней поверхности трубы происходило опять резкое повешение значений.

Испытания образцов на растяжение, проведенные для разных стадий деформирования показали, что с уменьшением толщины стенки заготовок увеличиваются значения растягивающих напряжений, а интенсивность возрастания $\sigma_{\text{в}}$ достигает примерно 20...40% при $\epsilon\% \approx 75\%$.

Вопрос течения материала при пластическом деформировании металла в процессе ротационного выдавливания тонкостенных трубчатых заготовок на трехвалковых станах, когда в качестве деформирующих инструментов используются ролики, имеющие скругленный гребень, является одним из наиболее сложных вопросов.

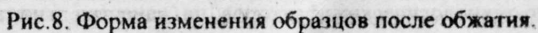
Эти трудности возникают из-за характера движения очага пластической деформации ("пятна контакта") относительно поверхности.

Учитывая закон течения металла в направлении наименьшего сопротивления, можно говорить, что в условиях процесса РВ возникает возможность течения металла как в продольном, так и в радиальном и окружном направлениях. Кроме того, существует возможность течения металла в зоне, прилежащей к ОПД. Следовательно, происходит увеличение наплыва, которое является нежелательным вследствие его отрицательного влияния на размеры "пятна контакта" и на большинство параметров процесса РВ: на точность и шероховатость поверхности изделия.

Характер течения металла определяли путем закрепления образца с сеткой в стенке заготовки (трубы). После осуществления деформирования по формоизменению образцов оценивали параметры течения металла в процессе РВ.

При проведении экспериментов были выбраны необходимые параметры и факторы процесса РВ: наружный диаметр роликов $D_{p1}=D_{p2}=D_{p3}=150$ мм; радиус скругления кромок роликов $R_1=6$, $R_2=4$, $R_3=2$ мм; передний угол $\alpha_1=20^\circ$, $\alpha_2=\alpha_3=30^\circ$; задний угол $\beta_1=\beta_2=\beta_3=5^\circ$; глубина обжатия первым роликом $\delta_1=1,2$ мм, вторым $\delta_2=0,9$ мм и третьим $\delta_3=0,8$ мм; относительная осевая подача $f=V_s/n_{оп}=0,8$ мм/об; межосевое расстояние между роликами $L_1=5$ мм и $L_2=3$ мм.

Результаты изменения формы образцов после деформации показаны на рис. 8 и на рис. 9.



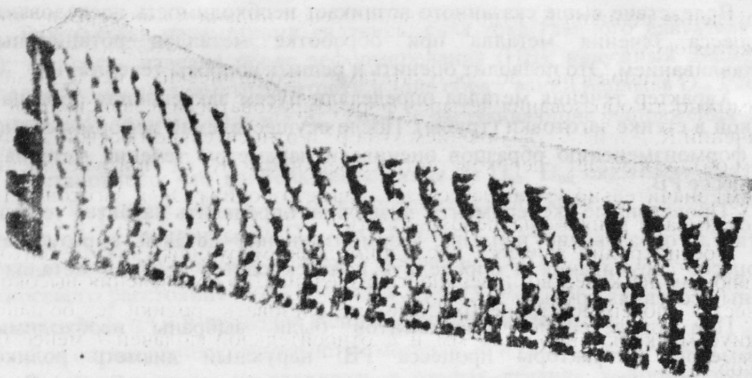


Рис. 9. Образцы экспериментов течения металла.

Изменение формы образцов происходило следующим образом. Наружная поверхность образца имела деформацию в касательном направлении (по окружности), в зоне ОПД наблюдалось скручивание заготовки в противоположном направлении по отношению к вращению оправки, а в изделии наблюдалось скручивание согласно направлению вращения оправки.

Форма изменения линий сетки является критерием для оценки течения металла, при этом можно наблюдать течения металла в продольном и радиальном направлениях.

Для подтверждения этих результатов осуществляли экспериментальные исследование макроструктуры металла, в ходе которых удалось подтвердить, что волокнистость дает возможность оценивать интенсивность процесса и предположить характер течения. Результаты макроструктуры металла согласовались с результатами экспериментов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ:

1. На основании исследований решена актуальная научно-технологическая задача, состоящая в разработке методики определения энергосиловых параметров процесса ротационного выдавливания тонкостенных труб на трехвалковых станах, и дана оценка влияния конструкторско-технологических факторов на качество изготавливаемых изделий, внедрение этих результатов в производство повышает конкурентную способность продукции на рынке сбыта.

2. Уточнены форма и размеры ОПД в процессе РВ, длина $l_{оп}$, ширина $b_{оп}$ и толщина $(r_{ос} - r_{оп})$ и их зависимость от углов ролик α° и β° , радиуса

скругления роликов R , относительной осевой подачи f (мм/об) и глубины обжатия δ (мм).

3. Установлены по результатам теоретических исследований возможности образования четырех форм шероховатости в зависимости от значений R , f и β° . С увеличением угла β° и относительной осевой подачи f (мм/об) возрастает шероховатость поверхности R_a , а при увеличении R (мм) значительно уменьшается. α° , диаметр ролика D_p , и заготовки D_{03} не оказывают влияние на шероховатость.

Третий ролик является последним деформирующим инструментом, влияющим на качество поверхности изделия. Для обеспечения высокого качества поверхности необходимо использовать ролики с большим радиусом скругления $R > 4$ мм и с относительной подачей f менее 0,5 мм/об.

4. Установлена необходимость уменьшения обжатия вторым δ_2 и третьим δ_3 роликами при определенных значениях δ_1 : чем больше толщина стенки заготовки S_0 , тем меньше различие величин δ_1 , δ_2 , δ_3 , но следует выбрать обжатия $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$.

5. На основе предварительного и планированного многофакторного эксперимента построены модели. Установлено - наибольшее влияние на D_{01} и на образование наплыва D_{0h} оказывает отношение D_p/D_{03} . Величина d_{11} в рамках предложенной модели оказывается зависимой от величины D_p/D_{03} , сила тока I главного двигателя и твердости по шкале HB, зависит от всех факторов. Повышение прочности σ_b вызвано увеличением таких показателей как L_1-L_2 , D_p/D_{03} , δ и R . Все остальные величины снижают показатели прочности.

6. Установлены количественные оценки повышения твердости заготовки от степени утонения стенки ($\epsilon\%$). Максимальные значения твердости по сечением образцов, наблюдаются в стороне от наружной поверхности изделия. В средних слоях стенки наблюдаются минимальные показатели твердости, а в близких к внутренней поверхности трубы опять резкое повышение.

С увеличением степени утонения, возрастают растягивающие напряжения, а интенсивность возрастания σ_t достигает примерно 20...40% при $\epsilon\% \approx 75\%$.

7. Результаты экспериментального исследования течения металла показали, что на наружной поверхности образцов деформация в касательном направлении противоположна направлению вращения оправки, а в зоне ОПД заметно скручивание в противоположном направлении по отношению к вращению оправки, но в изделии отмечено только скручивание в направлении вращения оправки, что согласуется с данными теории.

8. Установлены кинематические возможные скорости течения металла в условиях РВ, что позволило найти кинематические возможные скорости деформации и интенсивность скоростей деформации. С использованием этих данных найдена верхняя оценка деформирующей силы при обжатии первым роликом.

9. Предложена методика определения мощности электропривода трехвалкового стана.

10. На основе анализа удельной деформирующей силы, необходимой для РВ, показана возможность рационального выбора переднего угла ролика, обеспечивающего возможность обработки толстостенных труб.

Публикации.

1. М. Сулиман, Г. Мусса, Н.В. Коробова. Экспериментальное исследование точности размеров изготавливаемых тонкостенных оболочек в зависимости от технологических и конструкторских факторов при холодном ротационном выдавливании на трёхвалковых машинах // Кузнечно-штамповочное производство. - 2000. - №7. - С. 7-9.

2. М. Сулиман, Г. Мусса, Н.В. Коробова. Экспериментальное исследование точности размеров изготавливаемых тонкостенных оболочек при холодном ротационном выдавливании (РВ) на трехвалковых ротационных станах. (принята к опубликованию в журнале "Кузнечно-штамповочное производство").

3. А. Г. Овчинников, М. Сулиман, Г. Мусса. Теоретический исследования определения очага пластической деформации в процессе ротационного выдавливания тонкостенных оболочек на трехвалковых станах. Принята в качестве доклада на 3-ей научной технической конференции механика и новые технологии, проводимой научном советом по механике деформируемого твердого тела при президиуме НАН Украины и Севастопольским государственным технологическим университетом, а севастопль, 12-15 сентября 2000.