*На правах рукописи*

СИДОРИН АНТОН АЛЕКСАНДРОВИЧ

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА – 2006

Работа выполнена в Московском государственном институте стали и сплавов (технологическом университете)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Чиченев Николай Алексеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Нагайцев Александр Александрович

кандидат технических наук, доцент
Щербель Рафаил Давыдович

Ведущая организация: ОАО Ступинский металлургический комбинат

Защита состоится "4" октября 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.09 при Московском государственном институте стали и сплавов (технологическом университете) по адресу:

119049, Москва, Ленинский проспект, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "1" сентября 2006 г.

Справки по телефону: (095) 955-01-27.

Ученый секретарь диссертационного совета Ионов С.М.

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.**

Процесс непрерывного прессования со сваркой металла в очаге деформации (способ Конформ) относится к весьма перспективным способам получения тонкостенных полых профилей из алюминиевых сплавов, используемых в автомобильной, аэрокосмической, кабельной, холодильной и других отраслях промышленности. В отличие от других способов непрерывного прессования, основанных на использовании активных сил трения, способ Конформ имеет наиболее простую кинематическую схему, достаточно высокую технологическую гибкость за счет быстрой смены инструмента, обеспечивает более высокие скорости прессования, не требует предварительного нагрева заготовки.

Непрерывное прессование на установке Конформ обеспечивает высокое качество и точность геометрических размеров готовых изделий без дальнейшей их обработки, практически полное использование материала заготовки благодаря отсутствию пресс-остатка, существенное снижение капитальных вложений и расхода электроэнергии. Однако практическая реализация способа Конформ сдерживается недостаточной технологической разработкой процесса, обусловленной малой изученностью характера течения металла в очаге деформации, отсутствием обоснованных рекомендаций по силовым и температурным условиям прессования, точной настройке инструмента, выбору конструктивных параметров установок.

Поэтому исследование и разработка эффективной технологии непрерывного прессования тонкостенных труб из алюминиевых сплавов является актуальной задачей, которая имеет важное народнохозяйственное значение.

Исследования выполнялись в соответствии с конкурсами грантов в области фундаментальных проблем металлургии и машиностроения Министерства образования Российской Федерации.

**Цель и задачи работы.**

Цель работы — исследование процесса непрерывного прессования способом Конформ и на этой основе разработка эффективной технологии прессования тонкостенных труб из алюминиевых сплавов со сваркой металла в очаге деформации.

Для достижения этой цели в работе решались следующие задачи:

— разработка математической модели напряженного состояния металла при непрерывном прессовании способом Конформ, учитывающей последовательность деформации заготовки по дуге рабочего колеса;

— разработка методики выбора и регулировки зазоров в составном контейнере, образованным рабочим колесом и держателем матрицы, с целью снижения потерь металла в заусенец;

— исследование теплового состояния основных элементов инструментальной оснастки для уточнения технологических режимов нагрева заготовки в процессе непрерывного прессования;

— обоснование рекомендаций по выбору соотношений между основными технологическими параметрами установок непрерывного прессования способом Конформ;

— проведение опытно-промышленных испытаний с целью проверки предложенных технологических и технических решений.

**Научная новизна работы.**

1. Предложена математическая модель напряженного состояния металла при непрерывном прессовании способом Конформ, учитывающая наличие участков захвата, сцепления, осадки и прессования в зоне деформации заготовки, расположенной по дуге рабочего колеса.

2. Установлены соотношения между основными технологическими параметрами составного контейнера в зависимости от давления, необходимого для получения тонкостенного профиля.

3. Разработана методика выбора и регулировки зазоров в составном дугообразном контейнере, обеспечивающая минимальные потери металла в заусенец и учитывающая силовые и температурные условия прессования.

4. Исследованы тепловые состояния инструмента и заготовки в процессе непрерывного прессования тонкостенных труб со сваркой металла в очаге деформации.

5. Разработан экспериментально-аналитический метод выбора соотношений между радиусом рабочего колеса, площадью поперечного сечения составного контейнера и диаметром прутковой заготовки.

**Практическая значимость работы.**

1. На основе исследования теплового состояния основных элементов инструментальной оснастки при непрерывном прессовании тонкостенных труб, даны рекомендации по выбору режимов нагрева заготовки на всех стадиях процесса деформации.

2. С использованием разработанной методики выбора и регулировки зазоров в составном дугообразном контейнере предложена система точной настройки радиальных зазоров между рабочим колесом и держателем матрицы; промышленными испытаниями

установлено, что система обеспечивает получение толщины алюминиевого покрытия на колесе 0,3…0,5 мм и снижение потерь металла в заусенец на 10%.

3. Установлен диапазон рациональных соотношений между диаметром прутковой заготовки и параметрами рабочего колеса, позволяющий оптимизировать выбор установок непрерывного прессования Конформ для получения заданного сортамента изделий.

**Реализация результатов работы.**

Результаты исследований использованы в ОАО «ВИЛС» при разработке технологии непрерывного прессования тонкостенных алюминиевых труб 8х0,5мм из сплава АД1 из прутковой заготовки диаметром 9,5 мм на двухручьевой установке непрерывного прессования способом Конформ с диаметром рабочего колеса 340 мм; выпущена опытная партия труб с высокими показателями качества по геометрии, структуре и механическим свойствам.

**Апробация работы.**

Основные результаты и положения диссертационной работы доложены и обсуждены: на научном семинаре кафедры машин и агрегатов металлургических предприятий и научно-исследовательской лаборатории процессов пластической деформации и упрочнения МИСиС (Москва, 2006 г.); на I-ой Международной конференции молодых специалистов „Металлургия XXI века” (Москва, 2005 г.). на VI Международной научно-технической конференции „Информационные технологии в производственных, социальных и экономических процессах” (Череповец, 2004 г.); на международной научной конференции «Образование, наука, производство и управление в XXI веке» (Старый Оскол, 2004).

**Публикации.**

По основному содержанию диссертации опубликовано 6 работ.

**Объем работы.**

Диссертация изложена на 161 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 31 рисунок, 7 таблиц, список использованных источников из 109 наименований, 6 приложений.

# АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Тонкостенные трубы и профили относительно небольших размеров из алюминиевых сплавов находят широкое применение в автомобильной, аэрокосмической, кабельной, холодильной и других отраслях промышленности. Они изготавливаются из алюминиевых сплавов, обычно из термически не упрочняемых сплавов системы Al-Mg-Mn, которые отличаются хорошей коррозионной стойкостью и свариваемостью.

Приведен обзор технологических схем получения труб относительно малого диаметра и толщины стенки из алюминиевых сплавов и оборудования для их реализации. На основе сравнительного анализа наиболее распространенных способов производства подобной продукции показана перспективность процессов непрерывного прессования с активным действием сил трения, в частности процесса Конформ. Он характеризуется высокими показателями выхода годного, высокой производительностью, меньшей энергоемкостью, возможностью полной автоматизации, меньшими капитальными затратами по сравнению со способами прессования на гидропрессах.

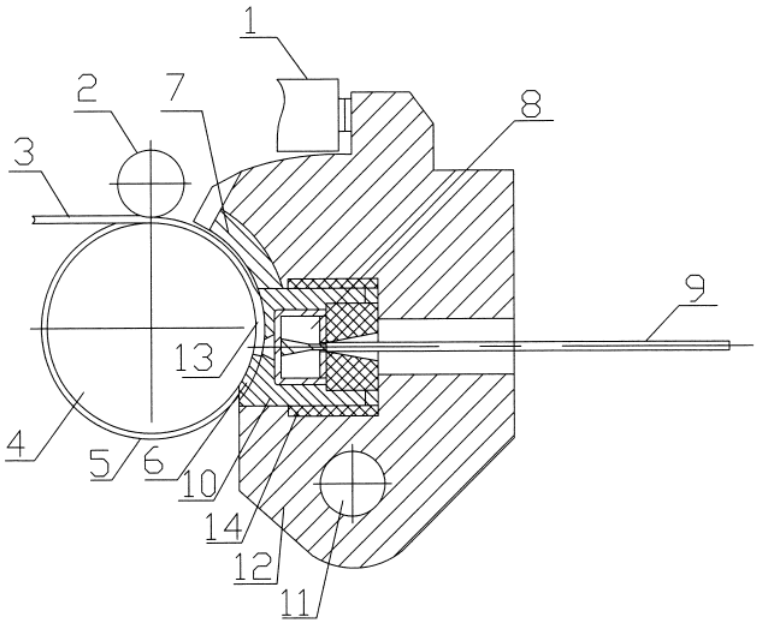
В работах Перлина И.Л., Гильденгорна М.С., Корнилова В.Н., Щербы В.Н., Бережного В.Л., Довженко Н.Н. и др. рассмотрены классификация процессов прессования с использованием активных сил трения и сваркой металла в очаге деформации, методы и подходы к решению технологических задач. Авторами предложены математические модели напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации, исследования теплового состояния заготовки и инструмента при установившихся условиях прессования. Однако практическая реализация преимуществ данного способа непрерывного прессования сдерживается недостаточной технологической разработкой процесса, обусловленная малой изученностью характера течения металла, его силовых и температурных параметров при деформации, сложностью настройки инструмента.

На основе анализа научно-технической и патентной литературы сформулированы цели и задачи работы.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ В ЗОНЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПРЕССОВАНИИ

При разработке математической модели напряженного состояния заготовки будем считать, что для установившейся стадии процесса непрерывного прессования по способу Конформ очаг деформации, расположенный по дуге рабочего колеса от прижимного ролика до упора держателя матрицы, состоит из четырех участков: захвата, сцепления, осадки и прессования (рисунок 1).

Каждому из указанных участков соответствует своя стадия процесса, которая характеризуется степенью деформации прутковой заготовки, величиной ее контакта с поверхностью рабочего колеса, скоростью перемещения металла и его температурой.




1 - ограничитель поворота башмака, 2 - прижимной ролик, 3 - заготовка, 4 - рабочее колесо, 5 - ручей рабочего колеса, 6 - упор держателя матрицы, 7 - входная проводка, 8 - матрица, 9 – пресс-изделие, 10 – держатель матрицы, 11 - ось поворота башмака, 12 - башмак, 13 - полость составного контейнера, 14 - нагреватели.

Рисунок 1 - Схема установки непрерывного прессования способом Конформ.

На начальной стадии (на участке захвата) происходит захват холодной заготовки рабочим колесом посредством её вдавливания в ручей прижимным роликом с образованием контактных площадок на боковых гранях. Профиль ручья имеет форму скругленной трапеции с углом наклона боковых граней около 15°. Процесс захвата заготовки аналогичен прокатке с защемлением в калибре, в котором благодаря клиновому расположению боковых граней улучшается сцепление заготовки с рабочим колесом и создается толкающее усилие, необходимое для последующей осадки заготовки.

На второй стадии (на участке сцепления) только часть периметра ручья рабочего колеса соприкасается с заготовкой, т.е. имеет место неполный контакт между ними. При этом скорость движения заготовки и боковых граней ручья практически совпадают, а теплообмен между ними осуществляется за счет теплопередачи. В конце участка сцепления температура заготовки не должна быть выше 90-100°С, чтобы пруток, зажатый в ручье, сохранил достаточную жесткость для последующей продольной осадки заготовки и полного заполнения ручья рабочего колеса.

По мере перемещения заготовки к упору держателя матрицы, в ней за счет сил сцепления растут напряжения сжатия, которые по достижении предела текучести, приводят к осадке заготовки и заполнению металлом ручья рабочего колеса. Когда поперечное сечение составного контейнера, образованного ручьем рабочего колеса и поверхностью держателя матрицы, будет полностью заполнено металлом, стадия осадки переходит в стадию прессования. В зоне полного контакта скорость движения заготовки отстает от линейной скорости рабочего колеса, и поэтому за счет активного действия сил трения в ней растут напряжения сжатия. Граница, отделяющая зоны полного и неполного контактов заготовки с ручьем рабочего колеса, устанавливается автоматически в зависимости от давления прессования, необходимого для выдавливания металла по радиальным каналам через камеру сварки и матрицу.

Стадии осадки и прессования осуществляются в пределах рабочей длины составного контейнера, которая соответствует расстоянию от передней кромки держателя матрицы до его упора. Поэтому в установках Конформ при определении длины зоны полного контакта необходимо исходить из наибольшего давления прессования в области упора держателя матрицы, требуемого для получения изделий заданного сортамента.

Для установления зависимости напряжения в поперечном сечении составного контейнера на участке прессования от его протяженности рассмотрим условия равновесия элементарного объёма заготовки в очаге деформации при следующих допущениях:

— поперечное сечение профилированного ручья рабочего колеса заменяется эквивалентным прямоугольным сечением той же площади и ширины на наружном радиусе;

— коэффициент трения между заготовкой и контейнером вычисляется по закону Зибеля, при этом его значения считаются одинаковыми для подвижных и неподвижных элементов контейнера;

— сопротивление деформации металла в контейнере принимается постоянным,, соответствующим его средней температуре.

В результате решения уравнений равновесия выделенного элемента (рисунок 2) зависимость напряжения в поперечном сечении заготовки по длине составного контейнера получит вид:

$$\sigma_{\varphi} = 0{,}5 \cdot \sigma_S \cdot \left[ \left( \frac{R_B + R_H}{b} - 1 \right) \cdot \varphi + 2 \right], \qquad (1)$$

где $\sigma_{\varphi}$ - напряжение в поперечном сечении заготовки;

$\sigma_S$ - сопротивление деформации металла при средней температуре по длине составного контейнера;

$R_H$, $R_B$ - наружный и внутренний радиусы ручья рабочего колеса;

$b$ — ширина ручья на наружном радиусе рабочего колеса;

$\varphi$ — текущее значение угла дуги составного контейнера.

Если поперечное сечение ручья рабочего колеса представить в виде квадрата такой же площади, то после преобразований уравнение (1) получит вид:

$$\varphi = \left( \frac{\sigma_{\varphi}}{\sigma_S} - 1 \right) / \left( \frac{R_H}{\sqrt{A}} - 1 \right), \qquad (2)$$

где A - расчетная площадь ручья рабочего колеса;

$R_H / \sqrt{A}$ — относительный радиус рабочего колеса.

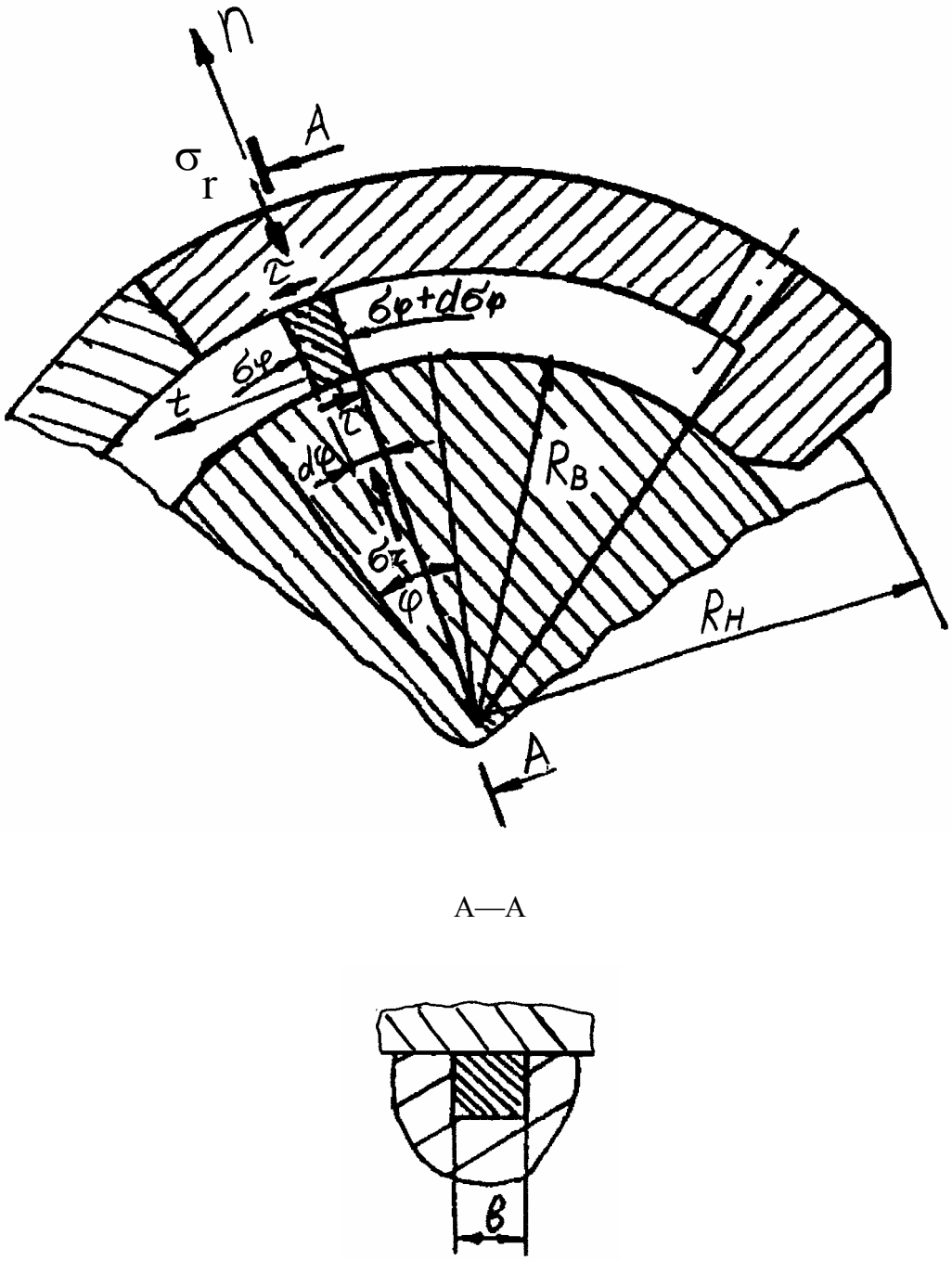



Рисунок 2 - Схема для расчета силовых параметров непрерывного прессования.

Подставив в выражение (2) значение напряжения $\sigma_\varphi$ перед упорами держателя матрицы, равное давлению выдавливания металла по радиальным каналам через камеру сварки и матрицу, можно получить формулу для определения угловой длины составного контейнера $\varphi_k$ в зависимости от относительного радиуса рабочего колеса. На рисунке 3 представлены соответствующие зависимости для прессования тонкостенных труб из

алюминиевого сплава АД1 наружным диаметром 8 мм с вытяжками $\lambda$ = 80 и $\lambda$ = 320. Из графиков следует, что с увеличением площади поперечного сечения ручья рабочего колеса необходимо увеличивать длину составного контейнера, чтобы с помощью сил трения обеспечить заданные давления перед упорами матрице держателя.

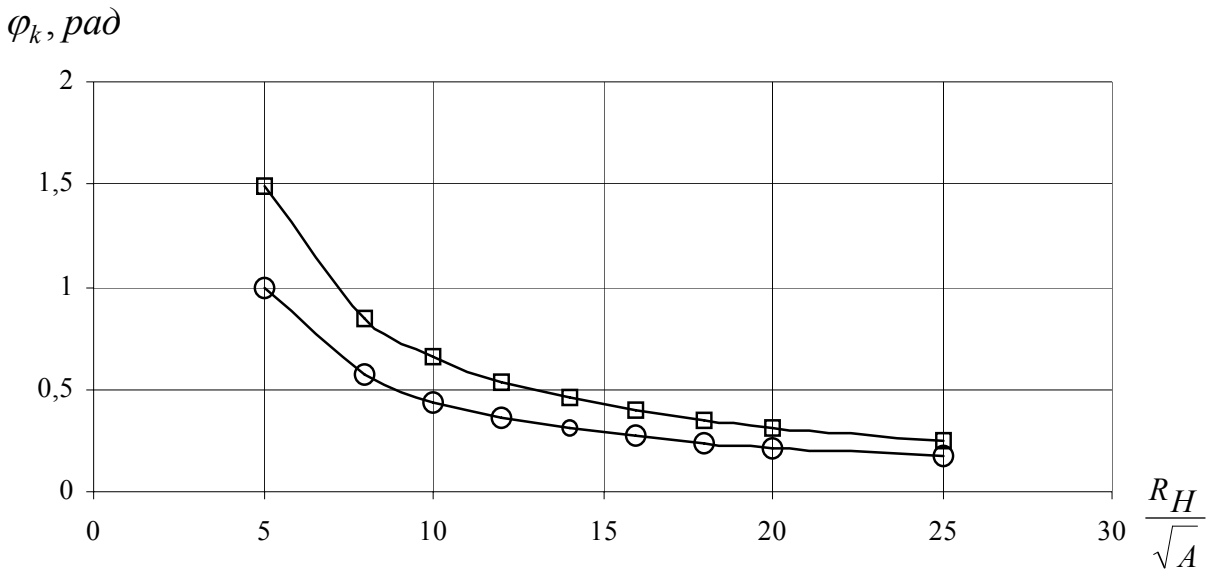



Рисунок 3 - Зависимость угловой длины составного контейнера $\varphi_k$ от относительного радиуса рабочего колеса $\frac{R_H}{\sqrt{A}}$ при вытяжке $\lambda$ = 80 (О) и $\lambda$=320 (□)

Выполнение этого условия возможно либо путем увеличения радиуса рабочего колеса, либо за счет увеличения угловой длины контейнера. В последнем случае необходимо учитывать, что увеличение длины составного контейнера существенно усложняет настройку зазоров между рабочим колесом и держателем матрицы, которая необходима для предотвращения истечения металла в заусенец. Поэтому в действующих установках Конформ угол дугообразного контейнера, как правило, не превышает 0,5 радиан, что соответствует значениям относительного радиуса рабочего колеса в интервале $R_H / \sqrt{A} = 9\ldots13$.

Поскольку увеличение радиуса рабочего колеса приводит к росту требуемого крутящего момента и соответственно мощности привода и габаритов установки, то полученное соотношение для данных условий прессования можно считать более рациональным.

# МЕТОДИКА ВЫБОРА И РЕГУЛИРОВКИ ЗАЗОРОВ В СОСТАВНОМ КОНТЕЙНЕРЕ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Разработка методики выбора и регулировки зазоров основана на допущении о том, что давление, создаваемое контактными силами трения рабочего колеса, достигает наибольшей величины у выступов башмака и определяется величиной давления, необходимого для выдавливания металла по радиальным каналам через матрицу. Чтобы свести к минимуму образование заусенцев, это давление должно быть существенно меньше давления, требуемого для выдавливания прессуемого металла в зазоры между подвижными и неподвижными элементами контейнера, расположенными в зоне выступов башмака (рисунок 4). Это означает, что сопротивление течению металла в заусенец должно превышать сопротивление течению металла через матрицу.

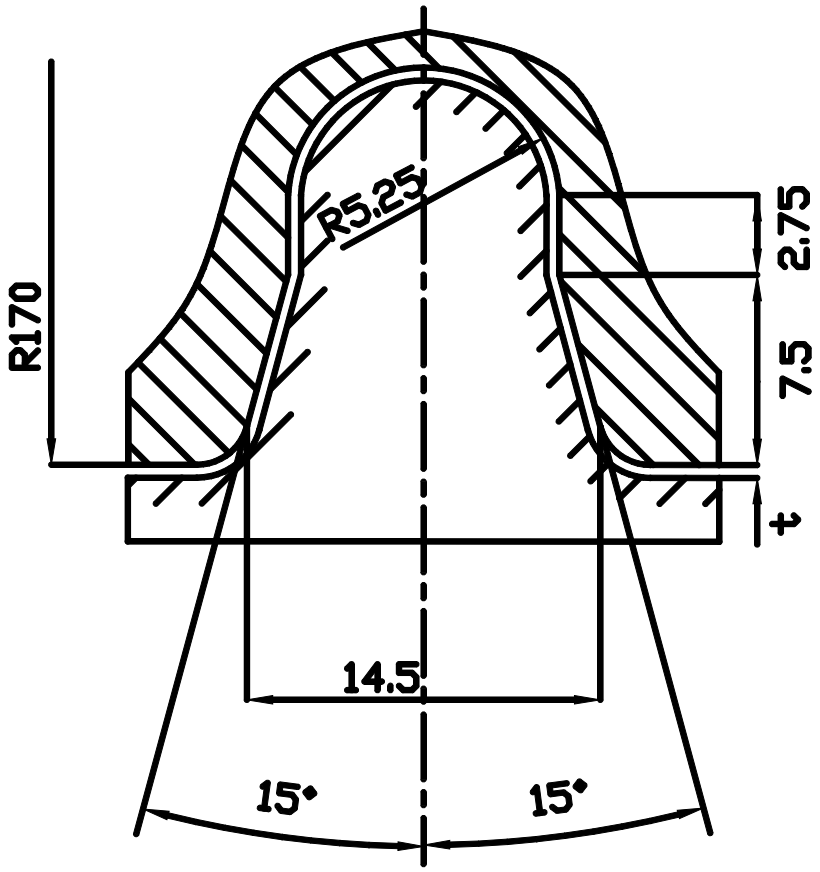



Рисунок 4 - Профиль ручья рабочего колеса и упора башмака.

Процесс выдавливания металла в зазоры составного контейнера можно рассматривать как процесс обратного прессования, в котором роль пресс штемпеля с матрицей выполняет выступ башмака. При этом в качестве канала матрицы следует в

дополнение к контуру выступа учесть также зазор между ободом рабочего колеса и дугообразной поверхностью башмака в зоне выступа, где давление достигает наибольшей величины, равной давлению прессования. Тогда периметр канала матрицы будет состоять из периметра выступа и примыкающих к нему боковых дуг башмака, длина которых соответствует диаметру питающего канала. Давление $p_{зсц}$, необходимое для выдавливания металла в заусенец, может быть определено по методике И.Л. Перлина, в соответствии с которой можно записать:

$$p_{ЗСЦ} = \frac{F_{ДЕФ} + F_{тр1} + F_{тр2}}{A}, \qquad (3)$$

где $F_{ДЕФ}$ —усилие для осуществления основной деформации при выдавливании без учета трения;

$F_{тр1}$ —усилие для преодоления трения на участке контейнера, соответствующем высоте пластической зоны;

$F_{тр2}$ — усилие для преодоления трения по поверхностям выступа и примыкающих к нему боковых дуг башмака;

$A$ — площадь сечения ручья рабочего колеса.

Усилия определяются по следующим формулам:

$$F_{ДЕФ} = 2 \cdot A \cdot \sigma_{s1} \cdot \ln \frac{A}{A_{зсц}}; \qquad (4)$$

$$F_{тр1} = 0{,}5 \cdot П_{зсц} \cdot h_n \cdot \frac{A}{A_{зсц}} \cdot f_k \cdot \sigma_{s1}; \qquad (5)$$

$$F_{тр2} = П_{зсц} \cdot L_п \cdot \frac{A}{A_{зсц}} \cdot f_n \cdot \sigma_{s2}, \qquad (6)$$

где $A_{зсц}$—площадь зазоров в зоне выступа башмака;

$П_{зсц}$—периметр зазоров в зоне выступа башмака;

$\sigma_{s1}$—сопротивление деформации металла в зоне выступа башмака;

$h_n$—высота пластической зоны;

$L_П$—длина выступа башмака;

$f_k$ и $f_n$—коэффициенты контактного трения на поверхности контейнера и выступе башмака соответственно;

$\sigma_{s2}$—сопротивление деформации металла при выдавливании в заусенец.

Поскольку потери металла в отходы при непрерывном прессовании должны быть минимальны, то при определении $p_{зсц}$ будем рассматривать начальный этап выдавливания металла в заусенец при следующих допущениях:

— зазоры между подвижными и неподвижными элементами составного контейнера в зоне выступа башмака имеют постоянную величину $t_{зсц}$, и, следовательно, площадь зазоров в зоне выступа башмака $A_{зсц} = П_{зсц} \times t_{зсц}$;

— величина заусенца не должна превышать величины зазора, т.е. Lп= $t_{зсц}$

— коэффициенты трения между деформируемым металлом и поверхностями контейнера и выступа башмака определяются по формуле Зибеля, при этом коэффициенты трения будем считать одинаковыми и равными $f_k = f_n = 0{,}5$;

— вследствие небольшой протяженности заусенца сопротивление деформации металла при его выдавливании приравниваем среднему значению $\sigma_{s_{ср}}$;

— высоту пластической зоны принимаем по приведенному (эквивалентному) диаметру сечения ручья рабочего колеса, т.е. $h_n = \sqrt{A}$.

С учетом принятых допущений выражение (3) для момента начала выдавливания прессуемого металла в заусенец получит вид:

$$p_{ЗСЦ} = \sigma_{S_{ср}} \cdot \left( 2 \cdot \ln \frac{A_{ЗСЦ}}{П_{ЗСЦ} \cdot t_{ЗСЦ}} + \frac{\sqrt{A_{ЗСЦ}}}{4 \cdot t_{ЗСЦ}} + 0{,}5 \right) \qquad (7)$$

Зависимость давления в зоне выступа башмака, соответствующего началу образования заусенца, от зазора между подвижными и неподвижными элементами составного контейнера при температуре 300ºС и 350ºС соответственно показана на рисунке 5 (графики построены для сплава АД1 применительно к профилю ручья рабочего колеса, показанному на рис. 4).

Сравнение этих данных показывает, что для предотвращения выдавливания прессуемого металла в заусенец необходимо, чтобы зазор в составном контейнере с

учетом теплового расширения инструмента находился в диапазоне $t_{зсц}$ = 0,3…0,4 мм, поскольку меньшее значение зазора с учетом допусков на изготовление профиля рабочего колеса и выступа башмака может привести к образованию задиров. Разработанные рекомендации по выбору зазоров в составном контейнере были использованы при настройке инструментальной оснастки для прессования труб диаметром 8 мм и толщиной стенки 0,5 мм из сплава АД1 на машине непрерывного прессования с диаметром рабочего колеса 340 мм.

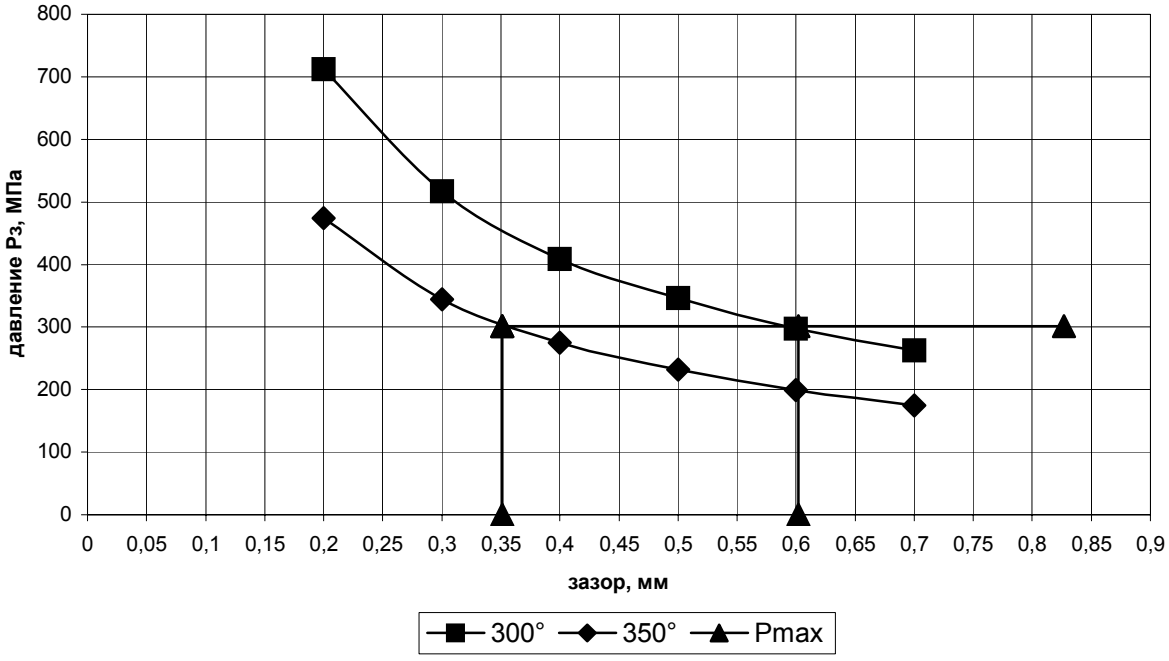



Рисунок 5 - Зависимость давления $p_{зсц}$ начала образования заусенца от зазора в составном контейнере при температуре 300°С и 350°С.

Регулировка зазоров осуществлялась с помощью прокладок I, II в держателе матрицы и прокладок III в башмаке (рисунок 6).

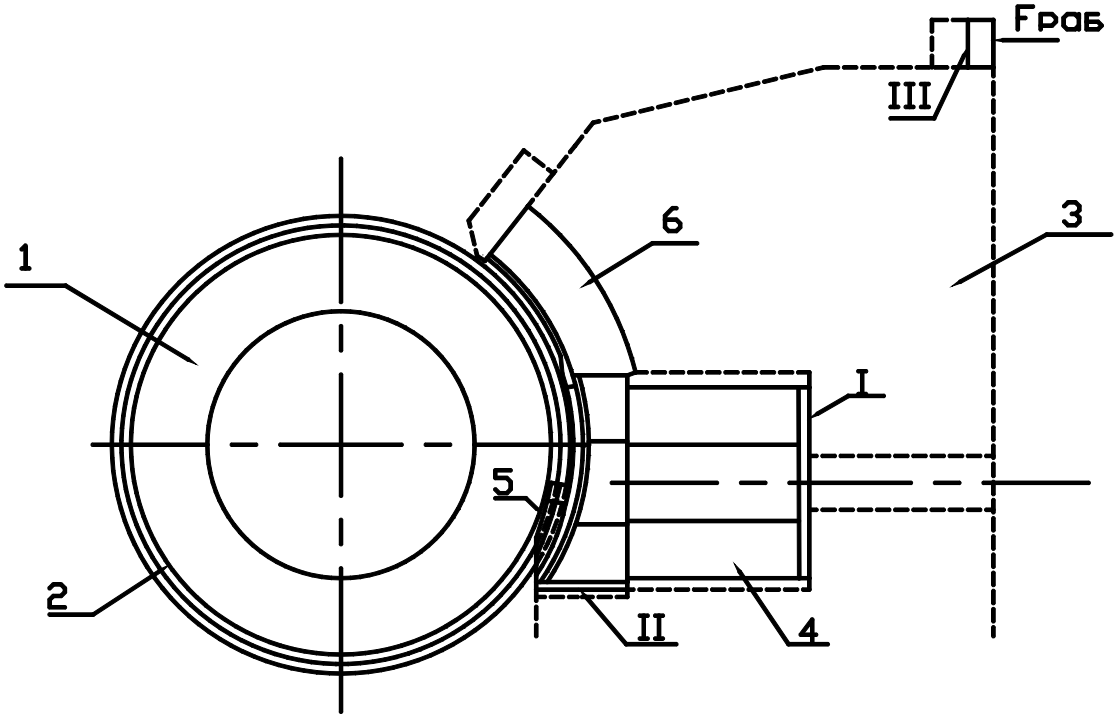



Рисунок 6 – Схема расположения регулировочных прокладок.

1 - рабочее колесо, 2 - канавка рабочего колеса, 3 - башмак, 4 – держатель матрицы, 5 - упоры, 6 - входная проводка; I, II, III - места установки прокладок.

Прокладки I позволяют перемещать держатель матрицы в выемке башмака в радиальном направлении и тем самым регулировать зазор между рабочим колесом и держателем матрицы. Прокладки II позволяют регулировать положение держателя матрицы по вертикали. С помощью прокладок I и II осуществляется грубая настройка держателя матрицы относительно рабочего колеса.

Прокладками III в башмаке производится точная настройка инструмента, т.к. они одновременно оказывают влияние, как на горизонтальное, так и вертикальное положение держателя матрицы. Практика показывает, что при нагреве держателя матрицы происходит его тепловое расширение и радиальное перемещение в выемке башмака на величину 0,7…0,8 мм. Данный факт следует учитывать при первоначальной установке зазоров в калибре.

Данная методика расчета позволила определить минимальную величину зазора в калибре, при этом с целью предотвращения механических повреждений инструмента в процессе работы эта величина должна быть не менее 0,3 мм.

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

На основе проведенных исследований предложена технологическая схема получения труб 8х0,5 мм из сплава АД1 на двухручьевой установке непрерывного прессования „Конформ-350” на ОАО „ВИЛС”.

В качестве заготовки используется катанка 9,5±0,3 мм, полученная методом непрерывного литья и прокатки. Прессование труб 8х0,5 мм ведется через камерные матрицы с вытяжкой λ=326.

При разработке технологии приняты рекомендации Гильденгорна М.С., на основании которых в качестве исходных параметров процесса непрерывного прессования полых профилей и труб из сплава АД1 через камерные матрицы принята температура прессования в диапазоне 450-500 °С, а минимальная длительность деформации в камере сварки, обеспечивающая получение сварных изделий с удовлетворительным качеством сварного шва – 0,25 с.

Пользуясь формулой для расчета длительности деформации в камере сварки, учитывающей ее конструктивные параметры, установлена максимальная скорость истечения трубы из матрицы - $V_{И} = 72$ м/мин. Затем из равенства расходов металла заготовки и трубы определена скорость поступления прутковых заготовок в два ручья рабочего колеса – $V_{З} = 6$ м/мин. Так как в зоне захвата линейные скорости рабочего колеса и заготовок совпадают, то частота вращения рабочего колеса равна $n \approx 6$ об/мин.

На начальном этапе прессования частоту вращения рабочего колеса 6 об/мин ограничивают из-за необходимости протягивания трубы через лоток охлаждения и заправки ее переднего конца в устройство намотки. Температура на упорах держателя матрицы должна быть достаточной для нагрева заготовки в зоне прессования и в то же время не создавать условий для избыточного образования заусенца. По формуле Корнилова В.Н. определен прирост температуры в камере сварки от работы пластической деформации. Учитывая также прирост температуры от трения заготовки в каналах держателя матрицы, суммарное увеличение температуры на пути заготовки от упоров держателя матрицы до матрицы принято равным 30-40°С. Таким образом, для установившегося режима работы температура металла в зоне прессования, а следовательно и упоров держателя матрицы принята равной $T_{УП} = 420 – 430$ °С.

При прессовании происходит разогрев заготовки в составном контейнере в результате теплообмена с горячей инструментальной оснасткой и диссипации работы сил

трения. На входе в зону осаживания заготовка уже имеет прирост температуры в результате теплопередачи от рабочего колеса и трения о входную проводку. Максимальная температура $T_{кол}$ рабочего колеса ограничена 250-300 °С, что обусловлено вероятностью изменения его механических свойств при более высокой температуре. Измерения температуры на входе в зону осаживания, проведенные с помощью контактных хромель-алюмелевых термопар типа ТП0198ХА, показали, что температуру заготовки $T_{вх,пр}$ с помощью охлаждаемой проводки удается поддерживать на уровне 90-100 °С. Поддержание такой относительно низкой температуры заготовки на входе в зону осаживания обусловлено необходимостью сохранения жесткости заготовки, которая в зоне сцепления играет роль прессштемпеля.

Предполагая, что работа на преодоление сил контактного трения на поверхности ручья рабочего колеса и держателя матрицы полностью преобразуется в тепло, то выражение для определения количества тепла, выделяющегося за счет трения на установившейся стадии процесса, получит вид:

$$Q = \mu \cdot \sigma_r \cdot \varphi_k \cdot R_H \cdot \sqrt{A} \cdot V_m \cdot \left( \frac{3 \cdot A}{S_3} - 2 \right), \qquad (12)$$

где $\mu$—коэффициент контактного трения между металлом и инструментом, принимаемый по закону Зибеля;

$\sigma_r$ —среднее радиальное напряжение по длине контейнера;

$V_m = V_P \cdot S_3 / A$ —скорость заготовки в контейнере;

$V_P$ —окружная скорость ручья рабочего колеса;

$S_3$ —площадь поперечного сечения исходной заготовки.

Количество тепла, необходимое для нагрева металла в контейнере, определяется выражением:

$$Q_m = C \cdot \Delta T \cdot A \cdot \rho \cdot V_m, \qquad (13)$$

где С—удельная теплоемкость материала заготовки;

ρ—плотность материала;

$\Delta T$ —изменение температуры металла вследствие работы сил трения в контейнере.

Считая, что количество тепла, полученное заготовкой за счет сил контактного трения, и потери тепла, отдаваемые через инструмент, равны, получим формулу для определения прироста температуры:

$$\Delta T = \frac{\mu \cdot \sigma_r \cdot \varphi_k \cdot R_H \cdot \sqrt{A} \cdot V_m \cdot \left( \frac{3 \cdot A}{S_3} - 2 \right)}{C \cdot A \cdot \rho \cdot V_m} \qquad (14)$$

Полученные зависимости использованы для предварительной оценки температуры заготовки. Расчеты показали, что количества тепла, выделяемого в результате диссипации работы сил трения, достаточно для увеличения температуры заготовки до уровня 400-450°С.

Для проверки представленных выше расчетных зависимостей проведена серия экспериментов по прессованию труб 8х0,5 мм из сплава АД1. Сначала проводили предварительный нагрев камеры сварки до температуры 440-450 °С с помощью ТЭН в „башмаке” общей мощностью около 4 кВт. При этом температура упоров держателя матрицы достигала 350-370 °С. Затем включали вращение рабочего колеса и прижимали к нему „башмак” с инструментальной оснасткой давлением порядка 30% от номинального. Трением упоров о поверхность рабочего колеса увеличивали их температуры до 420-430 °С и 240-260 °С соответственно. Во время разогрева трением, с целью снижения истирания покрытия на рабочем колесе, в его канавки время от времени задавались короткие отрезки заготовки. После разогрева рабочего колеса и упоров трением до требуемых температур, увеличивали давление прижима „башмака” до номинального, снижали частоту вращения рабочего колеса до 6 об/мин и задавали в ручьи рабочего колеса заготовки (рис 7). Труба появлялась из матрицы через 10-15 с после начала прессования. Прессование при данной частоте вращения рабочего колеса осуществлялось в течение 2-3 мин до момента заправки трубы в барабан устройства намотки.. При этом нагрузка на привод рабочего колеса была на уровне номинальной и не превышала предельно допустимого значения. Для подтверждения расчетной максимальной скорости истечения трубы осуществляли прессование в рабочем режиме с постепенным увеличением частоты вращения рабочего колеса до момента начала расхождения сварного шва. При этом первые 20-30 мин прессование проводили при частоте вращения рабочего колеса на уровне 30% от номинальной с целью достижения установившегося режима работы установки. Заданные температуры упоров держателя матрицы, рабочего колеса,

камеры сварки и входной проводки поддерживались автоматически регулируемой подачей воды в каналы охлаждения.

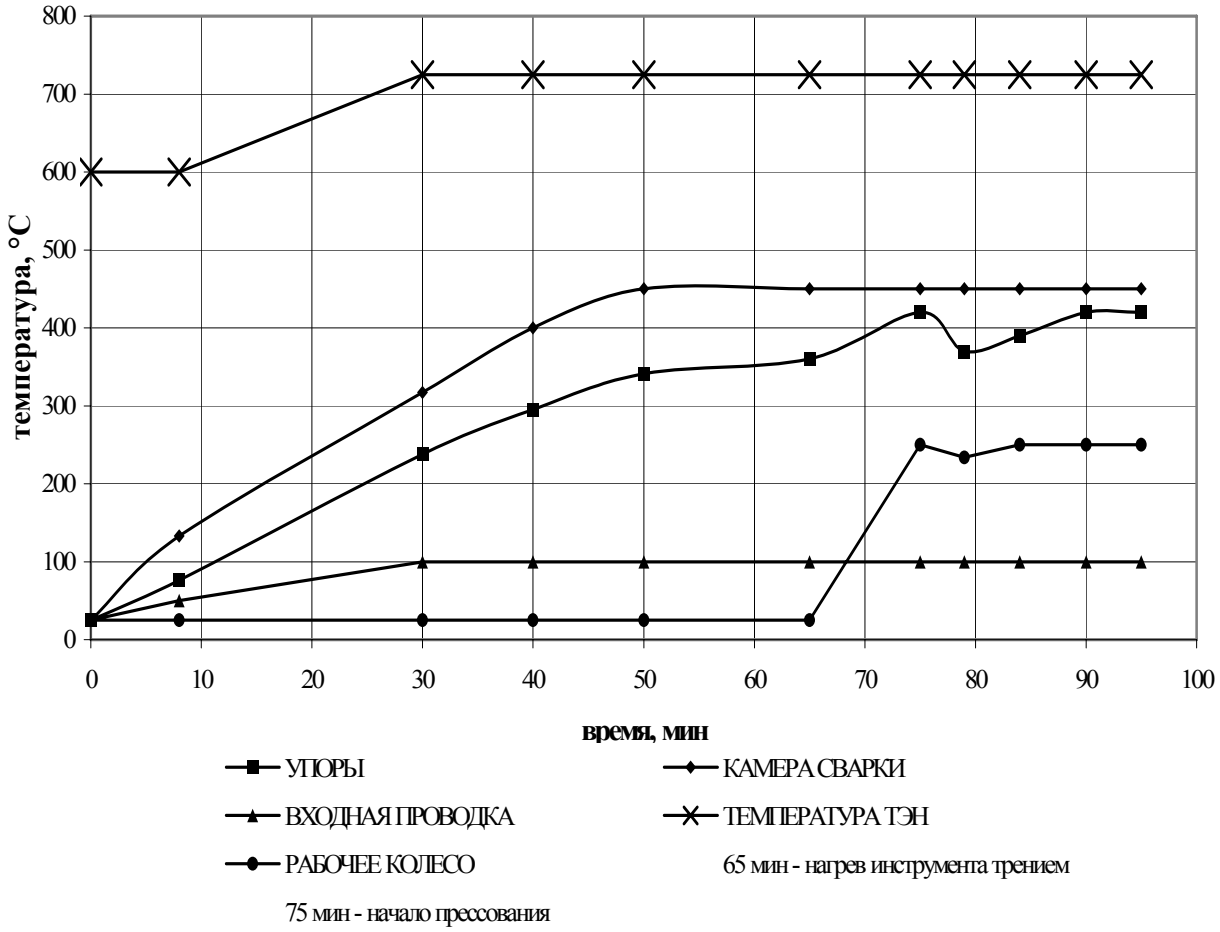



Рисунок 7 - Изменение температуры нагрева инструмента при запуске установки непрерывного прессования.

Для дополнительного увеличения скорости истечения трубы использовали гомогенизированные заготовки, которые непосредственно перед подачей в установку прессования проходили очистку поверхности от оксидов в растворе NaOH с применением эффекта барботирования в ультразвуковой системе очистки. В результате максимальная скорость прессования трубы составила 90-100 м/мин, при этом частота вращения рабочего колеса бала равна 8-10 об/мин, а длительность деформации составила 0,18 с.

Были проведены исследования микроструктуры, испытания на растяжение, раздачу конусом и замеры геометрических размеров образцов трубы, взятых из середины и на заднем конце трубы.

Исследования микроструктуры образцов методом секущих показали наличие полностью рекристаллизованной равноосной зеренной структуры трубы. Средний размер зерна в поперечном и продольном шлифах составил 40-45 мкм. Сварной шов не обнаруживался. Испытания на раздачу проводили на оправке с углом конусности 30° при скорости 20 мм/мин. Ни на одном из образцов трещина по сварному шву не была обнаружена. Измерения геометрических размеров трубы показало их соответствие многим используемым стандартам (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение геометрических размеров тонкостенных труб из алюминиевых сплавов с требованиями стандартов

| Наименование стандарта или фирмы производителя | Наружный диаметр, мм | | Толщина стенки, мм | |
|---|---|---|---|---|
| | номинальный | Предельное отклонение | номинальный | Предельное отклонение |
| BS 1474, 1987 | 12…18 | ±0,25 | 1,0 | ±0,15 |
| EN 755-8, 1988 | 8…18 | ±0,25 | 1,0 | ±0,07 |
| ТУ-1-3-041-91, КМПО | 8…10 | +0,1…-0,15 | 1,0 | ±0,1 |
| ТУ-1-3-118-77, КМПО (холоднопрессованные) | 5…20 | -0,15 | 1,0 | ±0,1 |
| Ф. Бабкок Уайр | 5…10 | ±0,06 | 1,0 | ±0,05 |
| Экспериментальные средние значения | 8,0 | ±0,05 | 0,5 | ±0,05 |

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложена математическая модель напряженного состояния металла при непрерывном прессовании способом Конформ, основанная на представлении очага деформации, расположенного по дуге рабочего колеса, в виде участков захвата, сцепления, осадки и прессования. Выведены зависимости напряжения $\sigma_\varphi$ в поперечном сечении составного контейнера на участке прессования от его угловой длины $\varphi_k$ и относительного радиуса рабочего колеса, учитывающие влияние сил трения и изменение средней температуры металла в очаге деформации.

2. Разработана методика выбора и регулирования зазоров между подвижными и неподвижными элементами составного дугообразного контейнера, образованного профилированными ручьями приводного рабочего колеса и поверхностями неподвижного держателя матрицы. Полученные зависимости учитывают размеры контейнера, силовые и температурные условия непрерывного прессования.

3. Предложена промышленная система точной настройки радиальных зазоров в составном контейнере между рабочим колесом и держателем матрицы для создания алюминиевого покрытия на колесе толщиной 0,3…0,4 мм, обеспечивающего снижение потерь металла в заусенец и исключающего повреждения поверхности инструмента.

4. Изучено распределение температуры в основных элементах инструментальной оснастки при непрерывном прессовании тонкостенной трубы 8х0,5 мм из сплава АД1 и разработан экспериментально-аналитический метод расчета температуры, которая должна составлять: на рабочем колесе 240…260°С, на входной проводке 90…100°С, на упоре держателя матрицы 420…430°С и в камере сварки 440..450°С.

5. Установлены оптимальные соотношения между основными параметрами установок для непрерывного прессования способом Конформ: радиусом рабочего колеса, площадью поперечного сечения составного контейнера и диаметром прутковой заготовки, которые подтверждены характеристиками существующих установок.

6. Разработана и прошла опытно-промышленные испытания в ОАО „ВИЛС” технология непрерывного прессования тонкостенных алюминиевых труб 8х0,5 мм сплава АД1 из прутковой заготовки диаметром 9,5 мм на двухручьевой установке непрерывного прессования с диаметром рабочего колеса 340 мм. Установлено, что характеристики полученных труб удовлетворяют требованиям отечественных и зарубежных стандартов.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Сидорин А.А., Чиченев Н.А., Шур И.А. Методика расчета зазоров в составном контейнере процесса непрерывного прессования // Образование, наука, производство и управление в XXI веке: Сборник трудов международной научной конференции. В 4-х томах. Том 2. Металлургия XXI века. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2004. – С. 172-175.

2. Сидорин А.А., Чиченев Н.А., Шур И.А. Определение усилий выдавливания металла в процессе «Конформ» // Информационные технологии в производственных, социальных и экономических процессах (ИНФОТЕХ - 2004): Материалы IV международной научно-технической конференции.– Череповец, ЧГУ, 2005. – С. 79-83

3. Сидорин А.А., Чиченев Н.А., Шур И.А. Силовые параметры процесса непрерывного прессования // Цветные металлы. 2005. №2. С. 76-78.

4. Сидорин А.А. Анализ процесса непрерывного прессования полых изделий // Металлургия XXI века. Сборник трудов 1-й Международной конференции молодых специалистов. – М.: ВНИИМЕТМАШ, 2005. – с. 306.

5. Сидорин А.А., Чиченев Н.А., Шур И.А. Регулирование положения инструмента для процесса непрерывного прессования // Электроэнергетика, автоматизация производства, технологические машины: Сборник научных трудов. – Норильск, Норильский индустриальный институт, 2005. - С. 79-81.

6. Сидорин А.А., Чиченев Н.А., Шур И.А. Экспериментальное исследование температуры инструмента и заготовки при непрерывном прессовании // Металлургические машины и оборудование: Сборник научных трудов МИСиС. – М.: МИСиС, 2005. - С. 44-49.