

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՑԹԻ ԵՎ ՄՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԲԱԲԱՅԱՆ ԱՐՄԱՆ ԱՐՏԱԿԻ

ՀՈՐ ԵՎ ՓՈՇԵՆՑՈՒԹԵՐԻՑ ԿԱԶՄՎԱԾ ԵՐԿՄԵՏԱՂՅԱ ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ
ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԴՐԱՆՑ ՊԱՏՐԱՍՏՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾՐԱԹԱՑՆԵՐՈՒՄ

Ե.02.01 - «Մեքենագիտություն» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2024

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ,
КУЛЬТУРЫ И СПОРТА РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

БАБАЯН АРМАН АРТАКОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, СФОРМОВАННЫХ ИЗ СПЛОШНЫХ
И ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ, В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ
ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.02.01 - «Машиноведение»

ЕРЕВАН 2024

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի գիտական խորհրդի կողմից

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ., Բորիս Սերգեյի Բալասանյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ., Կորյուն Աշոտի Կարապետյան
տ.գ.թ., Սիեր Սերյոժայի Թորոսյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 01 հուլիսի 2024թ. -ին, ժ. 11:00 ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող 034 մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2024թ. -ի մայիսի 29-ին:

034 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝ տ.գ.թ.



Մ.Գ. Հարությունյան

Тема диссертации утверждена Ученым советом Национального политехнического университета Армении (НПУА)

Научный руководитель: д.т.н., Борис Сергеевич Баласанян

Официальные оппоненты: д.т.н., Корюн Ашотович Карапетян
к.т.н., Мгер Сережаевич Торосян

Ведущая организация: Национальный университет архитектуры и строительства Армении

Защита состоится 01-го июля 2024г. в 11:00 ч. на заседании Специализированного совета 034, действующего при Национальном политехническом университете Армении по адресу: 0009, Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 29-го мая 2024г.

Ученый секретарь Специализированного совета 034 к.т.н.



Մ.Գ. Արտյունյան

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Биметаллические детали машин широко используются в различных отраслях промышленности в качестве двухслойных прокатанных валов, зубчатых колес, пластин, листовой прокатки, измерительных приборов, биметаллической проволоки, труб различного назначения (в том числе термических) и т.д.

Для их получения используются различные технологические процессы, в том числе обработка заготовок из сплошных, спеченных и неспеченных материалов методом пластической деформации в жесткой конической матрице. Для изучения их напряженно-деформированное состояния (НДС) в основном используются довольно сложные аналитические методы и методы компьютерного моделирования на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Исследования показали, что решение проблем с общей постановкой сопряжено с большими трудностями. Следовательно, исследование НДС биметаллических труб упрощенными методами, позволяющими получить продукт с заданными свойствами и определить энергетические параметры процесса, является актуальной задачей.

Цель и задачи диссертации. Целью диссертации является исследование аналитическим методом НДС процессов экструзии монометаллических и биметаллических труб, состоящих из сплошных и порошкообразных материалов, и моделирование процесса изготовления биметаллических деталей машин в автоматизированной программной среде (АПС).

В соответствии с целью работы были предложены и решены следующие задачи:

1. Моделирование в АПС и исследование аналитическим методом процессов экструзии шести биметаллических труб с различными сплошными и пористыми слоями.

2. Моделирование в АПС процессов экструзии биметаллической заготовки с внутренней трубой с различными пределами текучести, создающими высокие давления, а также процесса прокатки биметаллического слоя, состоящего из трех частей.

3. С точки зрения упрощения эквивалентной деформации, в формуле деформационной теории пластичности пористых материалов (ДТППМ) для определения текущей пористости материала оценивается их связь с интенсивностью деформации.

4. Исследование упрощенным аналитическим методом процесса экструзии в конической матрице внутренней тонкостенной спеченной биметаллической трубы.

5. Исследование процесса экструзии тонкостенной спеченной биметаллической трубы, нагруженной внутренним высоким давлением, при наличии и отсутствии трения, для случая граничного условия на входе в пресс-

форму, а также исследование методом компьютерного моделирования НДС процесса изготовления биметаллических труб.

6. Исследование процессов пластической деформации неспеченных порошковых материалов на модифицированной шляпкообразной модели Друкера-Прагера.

Методы исследования. С помощью упрощенных аналитических методов компьютерным моделированием в программных средах «ABAQUS» и MS EXCEL были исследованы НДС процессов формования монометаллических труб и деталей машин круглого и прямоугольного сечения из биметаллических спеченных и неспеченных материалов.

Для изучения процессов обработки давлением спеченных и неспеченных образцов аналитическим методом использовались формулы ДТППМ и модифицированной шляпкообразной модели Друкера-Прагера. Задача решалась с помощью безразмерных величин напряжений, что позволило по их результатам рассчитать реальные значения напряжений как для сплошного материала, так и для спеченных и неспеченных материалов с любой исходной пористостью.

Научная новизна. В ходе исследования были получены следующие результаты, содержащие научную новизну:

1. Впервые в АПС «ABAQUS» разработаны методы определения компонентов напряженного состояния и текущей пористости ν для следующих процессов:

- для экструзии биметаллов, составленных из труб с различной начальной пористостью;
- для процесса экструзии биметаллических труб с различными пределами текучести, при котором внутренние трубы создают высокое внутреннее давление для наружных;
- для процесса прокатки биметаллической полосы прямоугольного сечения со спеченной стальной частью в центре (по ширине) и фланцевыми алюминиевыми частями.

2. С помощью аналитических методов с использованием уравнений ДТППМ и безразмерных величин напряжений исследовано НДС в процессах пластической деформации биметаллических деталей машин. Был применен метод, согласно которому используются напряжения пределов текучести в зависимости от различной пористости, которые являются функцией напряжения предела текучести вещества и пористости материала.

3. Расчеты, проведенные для случаев отсутствия и наличия пористости, показывают, что в случаях небольших деформаций значения ε_i и ε_{eq} до 50% пластической деформации довольно близки друг к другу, а это означает, что в формуле ДТППМ, определяющей текущую пористость материала, можно использовать более простое значение ε_i , применяемое в расчетах для сплошных материалов.

4. Разработан метод исследования процесса экструзии тонкостенной неспеченной трубы, нагруженной высоким внутренним давлением, согласно

которому довольно сложная формула уравнение пластичности (УП) поверхности, ограниченной изогнутой кривой шляпки на состоящей из двух ветвей шляпкообразной модели Друкер-Прагера для пластической деформации порошкового материала, заменяется соответствующей прямой линией.

Практическое значение работы. Моделированием в АПС «ABAQUS» получены данные для шести случаев экструзии биметаллических составных труб с различной исходной пористостью, а также для случая биметаллической полосы прямоугольного сечения со спеченной стальной частью в центре с исходной пористостью 20% и фланцевыми сплошными алюминиевыми частями. Данные моделирования процессов прокатки могут быть использованы в различных отраслях промышленности.

Для устранения одного из недостатков процесса прокатки спеченного стального слоя - неравномерности деформаций по ширине - на обе кромочные части спеченного стального слоя укладывают узкие полосы из сплошного мягкого материала (алюминия) одинаковой толщины и прокатывают полученный биметаллический слой, в результате чего алюминиевые полосы обеспечивают равномерность деформаций по ширине спеченного стального слоя.

Легко определяемая обобщенная характеристика деформированного состояния сплошных материалов - интенсивность деформаций ε_i , имеет решающее значение при исследовании процессов их пластической деформации. В случае порошковых материалов используется довольно сложная эквивалентная величина деформаций ε_{eq} , зависящая от пористости материала, для которой была получена более простая формула, учитывающая компоненты деформированного состояния, которая может быть применена для проектирования технологических процессов.

Используя модель поверхности шляпки шляпкообразной модели Друкера-Прагера и связанный с ней закон течения, были получены связи между приращениями главных пластических деформаций и компонентами главных напряжений, что позволяет проводить исследования компонентов НДС деталей машин из неспеченного порошкового материала в технологических процессах и определять их текущую пористость.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Исследование методом моделирования в АПС «ABAQUS» процессов экструзии биметаллических труб различного назначения, изготовленных из спеченных материалов с различной пористостью, и прокатки полос прямоугольного сечения со спеченной стальной частью в центре (по ширине) и фланцевыми сплошными алюминиевыми частями, определение значений компонентов НДС и текущей пористости материалов и их анализ.

2. Аналитический метод решения задачи биметаллических спеченных труб, внутренняя труба которых находится в плоском напряженном состоянии, а внешняя - в объемном. Для определения компонентов НДС и текущей пористости материала используются соответственно УП Треска-Сен-Венана и УП Мизеса, в

которых легко определяется окружное напряжение внешней трубы, а также получается упрощенное УП.

Задача экструзии биметаллических труб в конической матрице решается упрощенным аналитическим методом, при условии отсутствия трения между составными тонкостенными трубами, путем объединения задач экструзии этих труб в одной матрице. В этом случае соблюдаются очень сложные условия равенства окружных и осевых деформаций труб.

3. Аналитическое исследование процесса экструзии неспеченного стержня круглого сечения в конической матрице, методом тонкого сечения на основе прямолинейного участка, состоящей из двух ветвей шляпкообразной модели Друкера-Прагера для пластической деформации порошкового материала. Используя методы теории пластичности, полученные формулы поверхности шляпки, ограниченной изогнутой линией, а также решение задачи экструзии неспеченной тонкостенной трубы, нагруженной высоким внутренним давлением, путем замены изогнутой линии на прямую линию. Показано, что полученные уравнения позволяют определить не только компоненты НДС заготовок из неспеченного порошкового материала, но и их текущую пористость.

Апробация результатов работы и публикации. Научные результаты и основные положения исследований диссертации были представлены и обсуждены на: ежегодных конференциях НПУА в 2022, 2023 гг., национальных технических университетах Луцка (2019г.) и Донецка (2018г.), а также на международной научной конференции «Актуальные научные исследования в современном мире» в Переяславле (Украина, 2021г.). Участие в программе «Факультетские исследования, услуги» НПУА. Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 14 научных работах, пять из которых – самостоятельные.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы из 102 наименований. Работа изложена на 125 компьютерных страницах, включает 45 рисунков и 26 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены методы исследования, научная новизна работы, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ литературы по теме диссертации: путем анализа напряженных и деформированных состояний приводятся формулы обобщенной характеристики их средних значений (σ_0 , ε_0), интенсивностей (σ_i , ε_i) и квадратного корня из второго инварианта девиатора напряжений (q), на основе которых создаются основные формулы теории пластичности (ТП) сплошных, спеченных и неспеченных порошковых материалов, а также обсуждаются исследования процессов экструзии биметаллических труб аналитическими, компьютерными моделированием и экспериментальными методами.

Для решения задач ТП для деталей машин аналитическим методом необходимо иметь УП материала, а также уравнения равновесия (УР) их элементов.

В диссертации используются следующие УП для сплошных материалов: Губера-Мизеса:

$$\sigma_i = \sqrt{0,5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} = \sigma_T \quad (1)$$

и Треска-Сен-Венана:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T \quad (2)$$

УП ДТТПМ для спеченных материалов имеет следующий вид:

$$\sqrt{0,5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} + v_0^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 = \sigma_T (1 - v)^{(n+0.5)}, \quad (3)$$

где m и n – параметры пористости (v); σ_T – предел текучести вещества пористого материала.

В ДТТПМ изменение начальной пористости v_0 спеченного материала определяется в виде:

$$v = 1 - (1 - v_0) \exp\left(-\frac{9v_0^m \sigma_0 \varepsilon_{eq0}}{(1-v)^{3n} \sigma_{eq0}}\right), \quad (4)$$

где σ_{eq0} и ε_{eq0} – эквиваленты напряжений и деформаций.

Шляпообразная модель Друкера-Прагера для неспеченных материалов имеет вид:

$$f_{CD} = F_c = \sqrt{(p - p_a)^2 + (Rq)^2} - R(d + p_a \operatorname{tg} \beta) = 0, \quad (5)$$

где β – угол внутреннего трения порошковых частиц; d – коэффициент сцепления порошковых частиц; R – эксцентричный параметр, характеризующий свойство материала. Эти величины определяются опытным путем, а p_a – эволюционный параметр, зависящий от параметра упрочнения p_b :

$$p = -\sigma_0, \quad q = \sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}. \quad (6)$$

Внутренняя и внешняя части биметаллической трубы находятся в плоском и объемном напряженном состояниях соответственно.

УР элемента внутренней части биметаллической трубы с осесимметричной нагрузкой, выделенного главными сечениями (рис.1), имеет вид:

$$r \frac{d\sigma_m}{dr} + \sigma_m - \sigma_\theta (1 + f \operatorname{ctg} \gamma) = 0, \quad (7)$$

где σ_m – меридиональное напряжение; σ_θ – окружное; f – коэффициент трения, действующего на внешней поверхности трубы, и γ – угол конусности матрицы.

Если на внешнюю трубу влияет и внутреннее давление, это изменяет УР элемента:

$$r \frac{d\sigma_m}{dr} + \sigma_m - \sigma_\theta (1 + 2f/\sin 2\gamma) = 0. \quad (8)$$

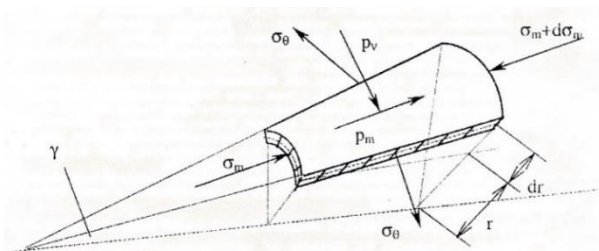


Рис. 1. Выделенный элемент конической трубы в нагруженном состоянии

Во второй главе было выполнено моделирование в АПС «АВАQUS» процессов экструзии наиболее производимых и широко применяемых в отрасли биметаллических труб из сплошных и порошкообразных материалов и прокатки полос прямоугольного сечения.

1. Моделирование в АПС процесса экструзии биметаллических труб различной пористости с внутренним и внешним слоями для упрочняющегося материала. Были рассмотрены два случая.

В первом случае начальная пористость материала внутренних труб одинакова ($v_0 = 0,3$), а для внешних труб - $v_0 = 0; 0,1$ (рис.2) и 0,2.

На основе данных о восьми квадратных элементах поперечных сечений при входе биметалла в матрицу и выходе из нее была построена табл.1- по высоте.

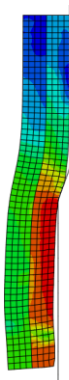
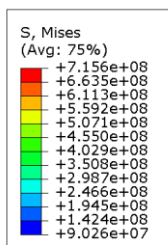


Рис. 2. Данные по напряжению Мизеса σ_i в процессе экструзии биметаллической заготовки при

$$v_{0в} = 0,3 \text{ и } v_{0н} = 0,1$$

Произведено сравнение данных 5-й строки табл.1, полученных путем моделирования в АПС «АВАQUS» (табл.2), с результатами определения пористости по формуле ДТППМ (4) ($v_1 = 0,290$) и с данными, полученными по функций α и β для пористости сферической формы, представленных Р.Дж. Гринном ($v_2 = 0,295$).

Таблица 1
Значения величин v и σ_i при $v_{0в} = 0,3$ и $v_{0н} = 0$

N	На входе в матрицу		На выходе из матрицы	
	v	$\sigma_i, \text{МПа}$	v	$\sigma_i, \text{МПа}$
1	0	684	0	730
2	0	728	0	730
3	0	724	0	730
4	0	709	0	730
5	0.253*	413	0.237*	465
6	0.260	420	0.253	449
7	0.267	416	0.269	426
8	0.265	413	0.275	433

Таблица 2

Данные компонентов НДС (S_{22} – осевое, S_{11} – радиальное, S_{33} – окружное и S_{12} – касательное) в узле с пористостью $v = 0,237^*$

S, Mises МПа	S_{11} МПа	S_{22} МПа	S_{33} МПа	S_{12} МПа	PEEQ -	VVF -
465	-207	125	-157	-199	0,025	0,237*

Данные v_1 и v_2 показывают, что пористости, определенные с помощью теоретических формул, достаточно близки друг к другу, а данные полученные с помощью компьютерного моделирования, разнятся на 18%. Сказанное можно было бы объяснить, если бы было известно, какой метод использовался при компьютерном моделировании.

Во втором случае путем моделирования в АПС процесса экструзии биметаллической трубы со сплошным внешним слоем ($v_0 = 0$) и определения очевидных приблизительных данных были исследованы пористости внутренних слоев при $v_0 = 0,1; 0,2$ и $0,3$. Были исследованы значения компонентов НДС и v - пористости материала (VVF), σ_1 - напряжений Мизеса, ϵ_{eq0} - эквивалентной деформации (PEEQ). Данные моделирования для последних трех компонентов при $v_0 = 0,3$ приведены на рис.3.

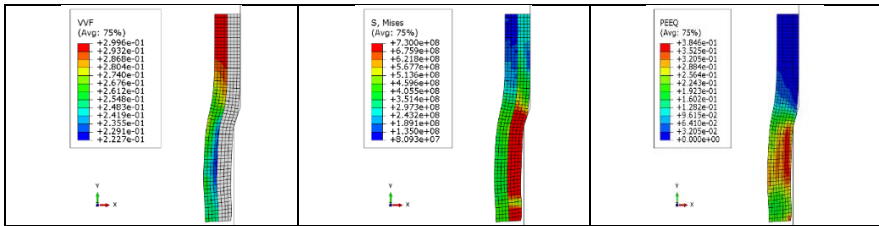


Рис.3. Данные моделирования биметаллического образца при $v_{0n} = 0, v_{0b} = 0,3$

2. Компьютерное моделирование процесса экструзии тонкостенных биметаллических труб в конической матрице (рис.4). Показано, что в случаях значений предела текучести $\sigma_h = 350$ МПа внешнего слоя биметаллической трубы и $\sigma_h = 950$ и 1050 МПа - для внутреннего слоя усредненные значения σ_r и σ_θ радиальных и окружных зон напряжений внешней трубы довольно близки друг к другу, что позволяет легко определить окружное напряжение внешней трубы, получить упрощенное условие пластичности и исследовать НДС аналитическим методом.

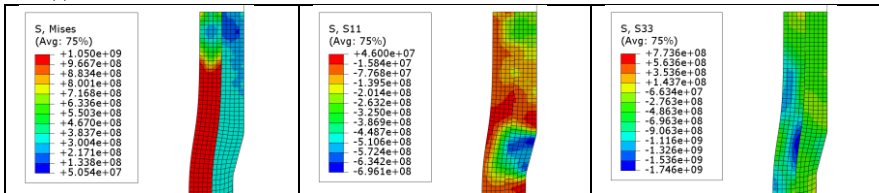


Рис.4. Данные о напряжениях Мизеса, σ_r и σ_θ , при компьютерном моделировании процесса экструзии биметаллических труб

3. Моделирование в АПК «ABAQUS» и исследование НДС процесса прокатки биметаллической полосы из стали 45 (в центре) и сплошного алюминия (рис.5 и 6, табл.4). Пластические свойства материалов приведены в таблице 3.

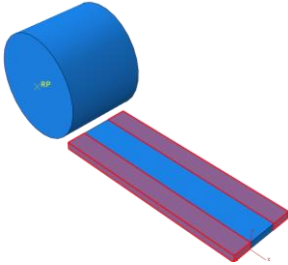


Рис.5. Модель прокатки биметаллического слоя

Таблица 3

Свойства пластической деформации спеченной стали 45 и сплошного алюминия

Сталь 45		Алюминий	
σ_{eq} , МПа	ϵ_{eq}	σ_{eq} , МПа	ϵ_{eq}
370	0	50	0
650	0,05	75	0,05
750	0,10	90	0,10
780	0,15	100	0,15
800	0,20	110	0,20

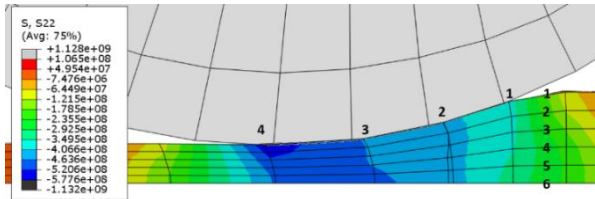


Рис.6. Зоны распределения основного контактного нормального давления в полосе с постепенным увеличением S22 в направлении 1-4 и уменьшением слева от точки 4, что соответствует данным, известным из литературы

Таблица 4

Данные о компонентах НДС и пористости в точках касания 1-4 промежуточного стального слоя (рис. 6)

N	S11, МПа	- S22, МПа	- S33, МПа	$-\sigma_o$, МПа	Напряжение Мизеса, МПа	ϵ_{eq}	V_k , комп. мод.	V_a , анал. мет.
1	168,75	387,84	63,62	94,24	552,24	0,241	0,176	0,127
2	289,92	429,93	19,39	53,13	635,24	0,510	0,133	0,124
3	328,89	442,47	14,15	42,58	671,65	0,768	0,105	0,114
4	-173,36	540,88	204,47	306,2	623,80	0,940	0,091	-

Третья глава посвящена аналитическим методом исследованию НДС биметаллических труб. Обсуждаются рассмотренные по отдельности внутренние и внешние трубы, условия их совместной работы, а затем выполняется их объединение.

1. Определение деформаций и упрощение формулы текущей пористости.

Принимая значения главных деформаций: $\epsilon_1 = \epsilon_m = -\epsilon_\theta$, $\epsilon_2 = \epsilon_v = 0$ и $\epsilon_3 = \epsilon_\theta$ (где ϵ_θ , ϵ_m и ϵ_v - деформации в окружном, меридиональном и в направлении нормали к поверхности трубы), ϵ_i определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon_i = \left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right) \sqrt{(\varepsilon_m - \varepsilon_v)^2 + (\varepsilon_v - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_m)^2} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) |\varepsilon_\theta| = (1,155) \ln(r_0/r). \quad (9)$$

Что касается определения значений изменения исходной пористости материала трубы, то используются (4) и следующая формула для ε_{eq} :

$$\varepsilon_{eq} = \frac{2\beta^{3n}\sigma_{eq}\varepsilon_\theta}{3[\sigma_\theta - (1-2\nu_0^m)\sigma_0]}. \quad (10)$$

Сравнение значений эквивалентных деформаций и полученных значений интенсивности деформаций показывает, что при малых деформациях ($r/r_0 \approx 0,65$) значения ε_i (кривая 4) и ε_{eq} достаточно близки друг к другу (рис.7).

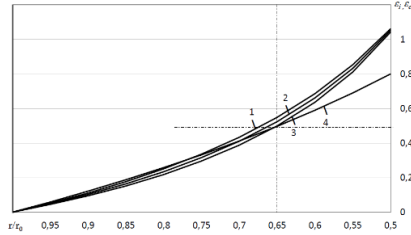


Рис.7. Кривые ε_i и ε_{eq} при разной степени деформации трубы

Для численных расчетов по формуле (4) примем, что материал является неупрочняемым, т.е. $\sigma_{eq} = \sigma_{TV}$, и заменим эквивалентную величину деформаций на величину интенсивности деформаций $\varepsilon_{eq} = \varepsilon_i$. Фактически получается следующая упрощенная формула для определения пористости:

$$v = 1 - (1 - v_0) \exp\left(-\frac{9\nu_0^m \sigma_0 \varepsilon_i}{(1-\nu)^{3n} \sigma_{TV}}\right), \quad (11)$$

где $\sigma_{TV} = \sigma_T(1 - v)^{(n+0.5)}$.

2. Исследование упрощенным методом процесса экструзии в конической матрице внутренней тонкостенной спеченной трубы биметалла. Исследование проводится с использованием УП Треска-Сен-Венана (2) и УР (7) с учетом следующего граничного условия для экструзии:

$$r = r_1, \bar{\sigma}_m = 0. \quad (12)$$

Безразмерные величины меридионального $\bar{\sigma}_m$ и окружного $\bar{\sigma}_\theta$ напряжений определяются с помощью (13), а для случая $f = 0$ результаты решения задачи приведены в табл.5.

$$\bar{\sigma}_m = -(1 + fctg\alpha)(1 - r_1/r) \text{ и } \bar{\sigma}_\theta = -1. \quad (13)$$

Таблица 5

Данные экструзии внутренней трубы биметалла при $f = 0$

r	r/r_0	$\bar{\varepsilon}_\theta$	$\bar{\varepsilon}_i$	r_1/r	$\bar{\sigma}_m$	$\bar{\sigma}_\theta$	v_1	v_2	v_3
12,50	1	0	0	0,8	-0,200	-0,400	0,1	0,2	0,3
12,25	0,98	-0,020	0,023	0,816	-0,184	-0,395	0,092	0,184	0,277
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10,25	0,82	-0,198	0,229	0,976	-0,024	-0,341	0,029	0,055	0,078
10	0,8	-0,223	0,258	1	0,000	-0,333	0,021	0,039	0,052

3. Исследование процесса экструзии спеченной тонкостенной трубы, нагруженной высоким внутренним давлением при значениях трения $f \neq 0$ и $f = 0$ и граничном условии на входе в матрицу (рис.8).

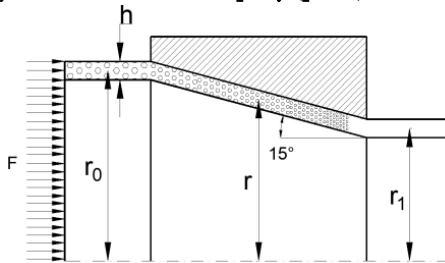


Рис.8. Схема экструзии тонкостенной трубы

Для решения задачи экструзии тонкостенной трубы, нагруженной внутренним высоким давлением, при наличии трения ($f \neq 0$) используются УР (8) и УП Мизеса (1). Принимается равенство давлений p_v и p_r , действующих на трубу: $p_v = p_r$. В этом случае из модифицированного уравнения Лапласа для окружного напряжения σ_θ получается: $\sigma_\theta = -p_v = -p_r$.

Оценивая главные напряжения, УП Мизеса с безразмерными напряжениями примет следующий вид:

$$\bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_\theta = 1. \quad (14)$$

Полученная система уравнений, состоящая из УР (8) и УП (14), решается с использованием следующего граничного условия:

$$r = r_0, \quad \bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{m0} \quad (15)$$

при напряжении $\bar{\sigma}_{m0}$ на входе в матрицу.

Получается формула для определения меридионального напряжения $\bar{\sigma}_m$:

$$\bar{\sigma}_m = \frac{1+k}{k} + \left(\bar{\sigma}_{m0} - \frac{1+k}{k} \right) \left(\frac{r}{r_0} \right)^k, \quad (16)$$

где $k = 2f/\sin 2\gamma$:

Решение задачи экструзии тонкостенной трубы, нагруженной внутренним высоким давлением при отсутствии трения.

Задача не может быть решена с помощью формулы (16), так как k находится в знаменателе. Рассматриваемая задача решается двумя способами.

В первом случае используется упрощенный основной метод УР (8) при $f = 0$, а во втором случае - путем преобразования формулы (16), в экспоненциальную функцию с натуральным основанием и дальнейшего преобразования ее в ряд, получим следующую формулу для решения задачи при отсутствии трения:

$$\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{m0} + \ln \left(\frac{r_0}{r} \right). \quad (17)$$

Было выполнено компьютерное моделирование процесса экструзии наружной трубы при различных значениях безразмерных начальных меридиональных напряжений сжатия и отобрано такое начальное значение меридионального напряжения $\bar{\sigma}_{m0}$ из соответствующих процессу экструзии трубы

$\bar{\sigma}_m$, которое при выходе из матрицы будет равно нулю (табл.6). В этом случае получается $\bar{\sigma}_{m0} = -0,223$.

Таблица 6

Данные экструзии наружной трубы биметалла ($f = 0$) при начальном значении меридионального напряжения $\bar{\sigma}_{m0} = -0,223$

r	r/r_0	$-\bar{\epsilon}_\theta$	$\bar{\epsilon}_i$	$-\bar{\sigma}_m$	$-\bar{\sigma}_\theta$	$-\bar{\sigma}_\rho$	v_1	v_2	v_3
12,5	1	0	0	0.223	1.223	0.890	0.100	0.200	0.300
12,25	0.98	0.020	0.023	0.203	1.203	0.869	0.082	0.165	0.248
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
11,25	0.9	0.105	0.122	0.118	1.118	0.784	0.012	0.020	0.020
11	0.88	0.128	0.148	0.095	1.095	0.762	-0.004	-0.016	-0.041
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	0.8	0.223	0.258	0.000	1.000	0.667	-0.064	-0.153	-0.283

Объединение биметаллических составных труб. Материалы биметаллических составных труб могут быть сплошными и пористыми, что позволяет получать биметаллические трубы с различной структурой, одна из которых (пористо-пористая) показана на рис.9. Важное практическое значение имеет рассмотрение биметаллической трубы пористо-пористой конструкции с одинаковой начальной пористостью 10, 20 и 30%.

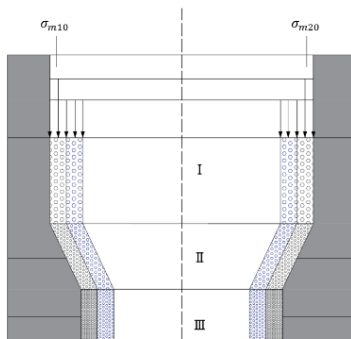


Рис.9. Схема экструзии биметаллической трубы

Сопоставляя данные для 10% пористости из табл. 5 и 6, видим, что при $\bar{\epsilon}_i = 0,148$ наружной трубы она уже полностью уплотнена, а внутренняя труба после выхода из пресс-формы все еще имеет пористость 2,1%.

Таким образом, для решения задачи экструзии цилиндрических биметаллических труб в конической матрице упрощенным аналитическим методом, был выбран случай отсутствия трения между входящими в состав тонкостенными трубами, решены задачи их экструзии для одной и той же пресс-матрицы, а затем проведено их объединение.

В четвертой главе проведено исследование процессов пластической деформации неспеченных порошковых материалов в соответствии с модифицированной моделью Друкера-Прагера состоящей из двух ветвей.

Методом тонких сечений было исследовано напряженное состояние процесса экструзии неспеченного порошкового образца в жесткой конической матрице: на основе прямолинейного участка модифицированной модели Друкера-Прагера получены формулы для определения осевого и нормального контактных давлений, из которых следует, что осевое и нормальное контактные давления постепенно уменьшаются по высоте порошкового образца.

Используя закон текучести, связанный с поверхностью шляпки на шляпкообразной модели Друкера-Прагера:

$$d\varepsilon_{ij} = d\lambda \frac{\partial F_{cij}}{\partial \sigma_{ij}}, \quad (18)$$

получены связи между увеличением главных пластических деформаций и компонентами главных напряжений:

$$d\varepsilon_1 = d\bar{\varepsilon}_i \left[\frac{2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3}{\sqrt{2}q} - \frac{\sqrt{2}(p+p_a)}{R^2q} \right]. \quad (19)$$

Полученные результаты позволяют не только проводить исследования компонентов НДС деталей машин из неспеченных порошковых материалов в технологических процессах, но и определять их текущую пористость по следующей формуле:

$$\frac{d(1-v)}{1-v} = \frac{2\sqrt{2}}{3R} d\bar{\varepsilon}_i \quad (20)$$

Упрощение формулы изогнутой части шляпкообразной модели Друкера-Прагера для пластической деформации неспеченных порошковых материалов. Приведем вид замены кривой BD (рис.10а), ограничивающей основную поверхность видоизмененной шляпкообразной модели пластической деформации порошкового материала Друкера-Прагера, на прямую BD, введением коэффициента m_1 :

$$Rq_s + p = m_1 p_b, \quad (21)$$

где q_s - упрощенный квадратный корень из второго инварианта девиатора напряжения, имеющий следующий вид:

$$q_s = (m_1 p_b - p)/R. \quad (22)$$

В программной среде MS EXCEL было выполнено компьютерное моделирование процесса, а в табл. 7 представлены данные q и q_s , рассчитанные по формулам (22) и (5), при различных значениях p для случая объемных пластических деформаций $\varepsilon_{vol}^p = 0,6$.

Таблица 7

Данные q_s и q , полученные по формулам (5) и (22)

$\varepsilon_{vol}^p = 0,6$ ($p_b = 100$; $p_a = 32$; $d = 2,5$) МПа; $\beta = 71,6$; $R = 0,69$											
p	32,0	38,8	45,6	52,4	59,2	66	72,8	79,6	86,4	93,2	100
q_s	113,0	103,2	93,3	83,5	73,6	63,8	53,9	44,1	34,2	24,3	14,5
q	98,7	98,2	96,7	94,2	90,5	85,5	79,0	70,6	59,4	43,3	5,3

На основе полученных значений объемных пластических деформаций был построен фактический график, приведенный на рис.10б.



Рис.10 Приблизительный вид шляпкообразной модели Друкера-Прагера, состоящей из двух частей (а), и фактический график типичной шляпкообразной модели Друкера-Прагера при $p_b = 100$ МПа (б)

Для определения m_1 можно использовать метод наименьших квадратов, но проще использовать условие выравнивания поверхностей, ограниченной кривой (B1D1) на шляпкообразной модели Друкера-Прагера и заменяющей эту кривую (B2D2) на прямую линию: в результате получаем $m_1 = 1,17$.

Исследование процесса экструзии тонкостенной неспеченной трубы под высоким внутренним давлением, проводилось с использованием УР (8) ($f = 0$), формулы (6), упрощенного уравнения (22) для основной изогнутой поверхности (5) на шляпкообразной модели пластической деформации порошкового материала Друкера-Прагера и значения объемной пластической деформации $\varepsilon_{vol}^p = 0,6$, полученного с использованием данных четырех основных параметров порошкового материала. Для этого сначала с помощью формулы закона сохранения массы была определена начальная пористость вещества: $v_0 = 0,45$ (см. первую строку табл.8).

Таблица 8

Данные компонентов НДС и пористости материала в процессе экструзии тонкостенной неспеченной трубы, нагруженной высоким внутренним давлением

r_0/r	Γ/r_0	$-\bar{\varepsilon}_\theta$	$\bar{\varepsilon}_i$	$\bar{\sigma}_m$	$\bar{\sigma}_\theta$	p	q	$d\varepsilon_\theta$	dv_i	v_i
1,000	1	0	0	-0,181	-1,044	0,756	0,498	0,000	0,000	0,450
1,020	0,98	0,020	0,023	-0,166	-1,043	0,751	0,506	-0,020	-0,034	0,416
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1,220	0,82	0,198	0,229	-0,022	-1,034	0,697	0,584	-0,024	-0,067	0,017
1,250	0,8	0,223	0,258	0,000	-1,033	0,689	0,596	-0,025	-0,073	-0,056

В программной среде MS EXCEL было выполнено компьютерное моделирование процесса экструзии трубы для различных случаев безразмерных исходных меридиональных напряжений $\bar{\sigma}_m$. В результате была отобрана такая начальная величина $\bar{\sigma}_m$ меридионального напряжения, соответствующая процессу экструзии трубки, которая на выходе трубы из матрицы будет равна нулю. В этом случае получается $\bar{\sigma}_{m0} = -0,181$.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Исследования процессов экструзии биметаллических труб различной пористостью с внутренним и внешним слоями показывают, что пористости, определенные теоретическими формулами, довольно близки друг к другу ($v_1 = 0,290 \approx v_2 = 0,295$), но имеют разницу с показателями, полученными с помощью компьютерного моделирования в 18%.

2. Моделирование процессов экструзии в конической матрице для биметаллических труб в АПС «ABAQUS» в случае неупрочняемых материалов при пределе текучести для внешней трубы $\sigma_T = 350$ МПа с различными пределами текучести σ_T внутренних слоев показало, что при $\sigma_T = 950$ и 1050 МПа усредненные значения по зонам радиальных и окружных напряжений σ_r и σ_θ внешней трубы достаточно близки друг к другу, что позволяет упростить окружное напряжение внешней трубы, получить упрощенное условие пластичности для дальнейшего исследования аналитическим методом.

3. Исследования, проведенные с использованием компьютерного моделирования распределения компонентов НДС и пористости материала v_h в процессе прокатки заготовки с узкими полосами алюминия одинаковой толщины по краям и спеченным стальным сердечником, показывают довольно высокую степень совпадения при небольших эквивалентных деформациях ε_{eq} с результатами, рассчитанными с использованием аналитического метода ДТППМ.

4. Для пластической деформации тонкостенной трубы в конической матрице было проведено определение интенсивности (ε_i) и эквивалента (ε_{eq}) деформаций. Показано, что при малых деформациях (50%) их значения довольно близки друг к другу ($\varepsilon_{eq} \approx \varepsilon_i$), а в случае неупрочняемого материала, когда $\sigma_{eq} = \sigma_h$, формула ДТППМ для определения пористости упрощается.

5. Аналитическое исследование НДС процесса экструзии в конической матрице биметаллических труб, при котором внутренняя и внешняя трубы находятся в плоском и объемном напряженном состоянии, соответственно, проводилось при условии отсутствия трения между трубами с применением соответствующих граничных условий, а затем проводилось их объединение. Компьютерное моделирование процесса экструзии наружной трубы показывает, что изменения в материале труб с исходной пористостью 10, 20 и 30% при отсутствии контактного трения указывают на приравнение пористости к нулю (полностью уплотняется) в случаях с интенсивностью деформаций 0,142; 0,137 и 0,132 соответственно, а в случае внутренней трубы изменения материала трубы с исходной пористостью 10, 20 и 30% указывают на то, что в конце процесса экструзии пористость не становится равной нулю и составляет 2,1; 3,9 и 5,2% соответственно.

6. Имея значения безразмерных напряжений и пределы текучести материалов, можем определить фактические напряжения, имеющие большое практическое значение как для сплошных, так и для пористых материалов.

7. Компьютерным моделированием процесса экструзии тонкостенной неспеченной трубы при различных значениях безразмерных начальных меридиональных напряжений сжатия определена такая начальная величина $\bar{\sigma}_{m0}$ меридионального напряжения, соответствующая значениям процесса экструзии трубы $\bar{\sigma}_m$, которая при выходе из пресс-матрицы будет равна нулю ($\bar{\sigma}_{m0} = -0,181$). При этом путем определения значений увеличения пористости неспеченного порошкового материала на основе методов теории течения спеченных материалов установлено, что в конце процесса экструзии неспеченного порошкообразного материала труба полностью уплотняется.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях:

1. Պետրոսյան Գ.Լ., Մարգարյան Մ.Ա., Վարդանյան Գ.Գ., Բարսյան Ա.Ա. Բարակալատ եռակալված խողովակի կոնական մասնախորտով կորզանման գործընթացի հետազոտում // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխ. գիտ. սերիա. -2019.- Հատոր 72, N1.- էջ 5-14:
2. **Петросян Г.Л., Бабаян А.А., Маргарян М.А.** Компьютерное моделирование и аналитическое исследование процесса экструзии тонкостенной трубы, нагруженной внутренним высоким давлением // Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение. – Ереван, 2020. - №2. – С. 9-22.
3. **Петросян Г.Л., Арзуманян М.Г., Бабаян А.А.** Исследование напряженного состояния процесса прессования брикетов из неспеченного порошка в жесткой конической матрице // Труды ИРМ-2018: 1-st International conference.- Ереван, Армения, 2018.- С. 106-110.
4. **Бабаян А.А.** Исследование процесса прессования спеченной тонкостенной трубы в конической матрице упрощенным методом // Межвузовский сборник «НАУКОВИ НОТАКИ» / ЛНТУ.- ЛУЦК, Украина, 2019.-Вып. 68.-С.6-11.
5. **Маргарян М.А., Бабаян А.А.** Моделирование процессов прессования биметаллических труб через коническую матрицу в автоматизированной программной среде // Студенческий научно-технический журнал "ИНЖЕНЕР" Донецкий национальный технический университет-Донецк, 2018.-№ 1(25)-2(26).- С. 127-129.
6. **Бабаян А.А.** Компьютерное моделирование процесса экструзии биметаллической трубы // Актуальные научные исследования в современном мире. – Переяславль, Украина, 2021. – Вып. 4(72), часть 2. – С. 273-277.
7. **Бабаян А.А.** Компьютерным моделированием и аналитическим методом исследование процесса прессования спеченной биметаллической трубы с внутренним пористым слоем // Актуальные научные исследования в современном мире. – Переяславль, Украина, 2021. – Вып. 4(72), часть 2. – С. 277-282.
8. **Մարգարյան Մ.Ա., Բարսյան Ա.Ա.** Երկմետաղական շերտի զլոցման գործընթացի մոդելավորումը ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխ. գիտ. սերիա. -2020.- Հատոր 73, N4.- էջ 365-377:

9. **Петросян Г.Л., Арзумян М.Г., Бабаян А.А.** Особенности модифицированной шляпкообразной модели Друкера-Прагера в процессах деформирования неспеченных порошковых материалов // Вестник Инженерной академии Армении. – Ереван, 2021. – Т.18, №2. – С. 211-218.
10. **Babayan A.A.** Studying the extrusion process of a sintered thin-wall pipe loaded with internal high pressure in case of a boundary condition in the die inlet // Proceedings of NAS RA and NPUA. Series of Tech. Sci.-2022.- Vol 75, N2.- P. 169-180.
11. **Бабаян А.А.** Исследование процесса экструзии спеченной тонкостенной трубы, нагруженной внутренним высоким давлением, при отсутствии трения и с учетом с граничного условия при входе в матрицу // Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение. – 2022. - №2. – С. 23-34.
12. **Петросян Г.Л., Бабаян А.А.** Особенности построения шляпкообразной модели Друкера-Прагера для неспеченных порошковых материалов // Известия НАН РА, Механика.-2023. – Т.76, №2. – С. 59-66.
13. **Петросян Г.Л., Бабаян А.А.** Исследование процесса экструзии неспеченной тонкостенной трубы, нагруженной внутренним высоким давлением // Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение. - 2023. - №1. - С. 44-53.
14. **Բարսյան Ա.Ա., Բալասանյան Բ.Ս., Պետրոսյան Գ.Լ.** Երկմետաղական խողովակների լարվածադեֆորմացիոն վիճակի հետազոտումը համակարգչային մոդելավորմամբ // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխ. գիտ. սերիա.-2023.- Հատոր 76, N3.- էջ 257-268:

ԲԱԲԱՅԱՆ ԱՐՄԱՆ ԱՐՏԱԿԻ

ՀՈՑ ԵՎ ՓՈՇԵՆՑՈՒԹԵՐԻՑ ԿԱԶՄՎԱԾ ԵՐԿՄԵՏԱԴՅԱ ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԴՐԱՆՑ ՊԱՏՐԱՍՏՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑՆԵՐՈՒՄ

ԱՍՓՈՓԱԳԻՐ

Երկմետաղական մեքենամասերը լայնորեն օգտագործվում են արդյունաբերության տարբեր ոլորտներում: Դրանց ստացման համար օգտագործում են տարբեր տեխնոլոգիական գործընթացներ, ներառյալ հոծ, եռակալված և չեռակալված նյութերից նախապատրաստվածքների կոշտ կոնական մամլամայրում պլաստիկ դեֆորմացմամբ մշակումը: Ատենախտությունը նվիրված է հոծ եվ փոշենյութերից կազմված երկմետաղյա մեքենամասերի լարվածադեֆորմացիոն վիճակների հետազոտմանը, դրանց պատրաստման տեխնոլոգիական գործընթացներում, ինչը շատ արդիական է:

Ատենախտության նպատակն է և փոշենյութերից կազմված միամետաղ և երկմետաղ խողովակների արտամոման գործընթացների վերլուծական մեթոդով ԼԴՎ հետազոտումը և երկմետաղական մեքենամասերի պատրաստման ԱՕՄ-ում մոդելավորումը:

Նախաբանում հիմնավորվել է խնդրի արդիականությունը, ձևակերպվել են հետազոտության նպատակն ու խնդիրները, ներկայացվել են հետազոտման մեթոդները, աշխատանքի գիտական նորույթը, գործնական նշանակությունը և պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները:

Առաջին գլխում կատարվել է ատենախոսության թեմայի վերաբերյալ գրականության վերլուծություն: Ուսումնասիրվել են կետի լարվածային ու դեֆորմացիոն վիճակների վերլուծության հիման վրա բերված գլխավոր լարումներով ու դեֆորմացիաներով աստիճանաված դրանց միջին արժեքների, ինտենսիվությունների ու քառակուսի աստիճանի արմատ լարումների դեվյատորնի երկրորդ ինվարիանտից ընդհանրացված բնութագրերի բանաձևերը: Քննարկվել են երկմետաղական խողովակների արտամղման գործընթացների վերլուծական, համակարգչային մոդելավորման ու փորձարարական մեթոդներով կատարված հետազոտությունները:

Երկրորդ գլխում կատարվել է արդյունաբերության ամենաարտադրողական և շատ կիրառվող՝ հոծ և փոշենյութերից կազմված երկմետաղական խողովակների արտամղման և ուղղանկյուն հատույթով շերտի գլոցման գործընթացների «ABAQUS» ԱՕՄ-ում մոդելավորում:

Ստացվել են վեցը տարբեր սկզբնական ծակոտկենություններով երկմետաղի բաղադրիչ խողովակների դեպքերում դրանց արտամղման, ինչպես նաև ուղղանկյուն հատույթով կենտրոնական 20% սկզբնական ծակոտկենությամբ եռակաված պողպատյա և եզրային այլումինե մասերով երկմետաղական շերտի գլոցման գործընթացների մոդելավորման տվյալները, որոնք կարող են օգտագործվել արդյունաբերության տարբեր բնագավառներում:

Ներքին և արտաքին տարբեր ծակոտկենությամբ շերտերով երկմետաղական խողովակների արտամղման գործընթացների համար կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ տեսական բանաձևերով որոշված ծակոտկենությունները բավականին մոտ են միմյանց ($\nu_1 = 0,290 \approx \nu_2 = 0,295$), իսկ համակարգչային մոդելավորմամբ ստացվածի հետ ունեն 18% տարբերություն:

Երրորդ գլուխը նվիրված է երկմետաղյա խողովակների ԼԴՎ հետազոտմանը՝ քննարկվում է դիտարկելով ներքին և արտաքին խողովակները առանձին-առանձին, օգտագործելով դրանց համատեղ աշխատելու պայմանները, իսկ հետո կատարվում է դրանց միավորում:

Ուսումնասիրվել է եռակաված տարբեր նյութերից բարակապատ խողովակների կոնական մամլամայրում արտամղման գործընթացի ԼԴՎ-ը՝ շփման բացակայության և առկայության դեպքերում՝ օգտագործելով դրանց տարբեր ծակոտկենությունների դեպքերում հոսունության սահմանների σ_{hv} լարումները՝ արտահայտված եռակաված նյութերից խողովակների հիմնանյութի σ_h - ով և ՇՆՊԴՏ ծակոտկենության երկրորդ ֆունկցիայով:

Կատարվել է դեֆորմացիաների, դրանց ինտենսիվության (ε_i) և համարժեքայինի (ε_{eq}) որոշում: Ցույց են տրվել, որ փոքր դեֆորմացիաների դեպքում (50%) ε_i և ε_{eq} արժեքները բավականին մոտ են մեկը մյուսին ($\varepsilon_{eq} \approx \varepsilon_i$) և չամրացող

նյութի դեպքում, երբ $\sigma_{eq} = \sigma_h$, պարզեցվել է ծակոտկենության որոշման ՄՆՊՏ բանաձևը:

Երկմետաղական խողովակների կոնական մամլամայրում արտամղման գործընթացի վերլուծական մեթոդով ԼԴՎ հետազոտումը, երբ ներքին և արտաքին խողովակները գտնվում են համապատասխանաբար՝ հարթ և ծավալային ԼՎ-ում, կատարվել է դրանց միջև շփման բացակայության դեպքում՝ համապատասխան եզրային պայմաններ կիրառելով, իսկ այնուհետև կատարվել է դրանց միավորում:

Չորրորդ գլխում կատարվել է չեռակալված փոշենմուշների պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների հետազոտումը, ըստ Դրուկեր-Պրագերի երկու ճյուղերից բաղկացած ձևափոխված մոդելի:

Բարակ հատույթների մեթոդով հետազոտվել է կոշտ կոնական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակը՝ Դրուկեր-Պրագերի ձևափոխված մոդելի ուղղագծային մասի հիման վրա, ստացվել են առանցքային ու նորմալ հպակային ճնշումների որոշման բանաձևերը, որոնցով հաշվարկված արդյունքներից հետևում է, որ առանցքային և նորմալ հպակային ճնշումները փոշենմուշի բարձրությամբ աստիճանաբար նվազում են:

Օգտագործելով ՊՊ և դրա հետ կապված հոսունության օրենքը՝ Դրուկեր-Պրագերի գլխակաձև մոդելի գլխարկի մակերևույթի համար ստացվել են գլխավոր պլաստիկ դեֆորմացիաների աճերի և գլխավոր լարումների բաղադրիչների միջև կապերը: Ստացված բանաձևերը հնարավորություն են տալիս ոչ միայն կատարել տեխնոլոգիական գործընթացներում փոշենյութից մեքենամասերի ԼԴՎ բաղադրիչների հետազոտում, այլ նաև որոշել դրանց ընթացիկ ծակոտկենությունները:

Վերլուծելով Դրուկեր-Պրագերի ձևափոխված մոդելը, ցույց է տրվել, որ խնդիրներ լուծելու համար նպատակահարմար է պարզեցնել Դրուկեր-Պրագերի փոշենյութի պլաստիկ դեֆորմացման գլխարկաձև մոդելի կոր մասը, այն վերածելով ուղիղ գծի:

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում իրականացվել է խողովակի արտամղման գործընթացի համակարգչային մոդելավորում՝ $\bar{\sigma}_m$ սկզբնական միջօրեական չափագուրկ լարումների տարբեր դեպքերի համար: Արդյունքում ընտրվել է խողովակի արտամղման գործընթացին համապատասխանող միջօրեական լարման $\bar{\sigma}_m$ սկզբնական այնպիսի մեծություն, որը խողովակի մամլամայրից դուրս գալիս կհավասարվի գրոյի:

Չեռակալված փոշենյութի ծակոտկենության աճի արժեքների որոշումը կատարվել է եռակալված նյութերի հոսունության տեսության մեթոդների հիման վրա, մասնավորապես, չեռակալված նյութի արտամղման դեպքում հիմնական դեֆորմացիայի (շրջանային) աճը կատարվել է եռակալված նյութի $d\varepsilon_\theta$ հիման վրա: Ցույց է տրվել, որ չեռակալված փոշենյութի արտամղման գործընթացի ավարտին խողովակն ամբողջությամբ խտացված է:

Investigating the stress-strain state of bimetallic machine parts made of solid and powder materials in the technological processes of their production

SUMMARY

Bimetallic machine parts are widely used in various industries. Various technological processes are used for their production, including the processing of solid, sintered and non-sintered materials by plastic deformation in a rigid conical die. The dissertation is devoted to the research of the stress-strain states (SSS) of bimetallic machine parts made of solid and powder materials, in the technological processes of their production, which is highly relevant.

The goal of the dissertation is to investigate the SSS of the extrusion processes of solid and powder monometallic and bimetallic pipes by the analytical method, and to model the production of bimetallic machine parts in the CAE.

In the introduction, the relevance of the problem is substantiated, the purpose and objectives of the research are formulated, the research methods, the scientific novelty of the work, the practical significance and the main statements presented for the defense are presented.

In Chapter 1, an analysis of the literature on the topic of the dissertation is performed. Formulas of the average values, intensities and square root of the deviator of the stresses and the formulas of the generalized characteristics from the second invariant of the deviator of the main stresses and deformations derived on the basis of the analysis of the stress-strain states of the point are studied. Analytical, computer modeling and experimental studies of extrusion processes of bimetallic pipes are discussed.

In Chapter 2, modeling of the most productive and widely used processes in the industry for extrusion of bimetallic pipes consisting of solid and powdery materials and rolling of a rectangular strip is performed in the "ABAQUS" NMS.

In the case of six different initial porosity bimetallic component tubes, their extrusion, as well as the simulation data of bimetallic layer rolling processes with sintered steel and edge aluminum parts with central 20% initial porosity of rectangular section are obtained, which can be used in various fields of industry.

The research conducted for the extrusion processes of bimetallic pipes with layers with different internal and external porosity shows that the porosities determined by theoretical formulas are quite close to each other, and have an 18% difference from the ones obtained by computer simulation.

The Chapter 3 is devoted to the investigation of SSS of bimetallic pipes. It is discussed considering the inner and outer pipes separately, using the conditions of their joint operation, and then they are combined.

The SSS of the process of extrusion of thin-walled pipes made of various sintered materials in a conical die is studied in the absence and presence of contact, using the stresses σ_{hv} of the yield limits in the cases of their different porosities expressed by the

base material σ_h of the pipes made of sintered materials and the second function of porosity of the plastic deformation theory of porous materials (PDTPM).

Deformations, their intensity (ε_i) and equivalent (ε_{eq}) are determined. It is shown that in the case of small deformations (50%) ε_i and ε_{eq} values are quite close to each other ($\varepsilon_{eq} \approx \varepsilon_i$), and in the case of a non-reinforced material, when $\sigma_{eq} = \sigma_h$, the formula for porosity determination is simplified.

When the inner and outer tubes are in the state of plane and volume stress, respectively, the SSS investigation of the extrusion process of bimetallic tubes in a conical die was performed in the absence of contact between them, applying appropriate boundary conditions, and then they were combined.

In Chapter 4, the investigation of plastic deformation processes of non-sintered powder samples is carried out according to the modified Drucker-Prager model consisting of two branches.

Using the method of thin sections, the stress state of the pressing process of non-sintered powder sample in a rigid conical die is investigated, based on the linear part of the modified Drucker-Prager model, and the formulas for determining the axial and normal contact pressures are obtained. The calculated results show that the axial and normal contact pressures gradually decrease with the height of the powder sample.

Using the plasticity condition and the associated yield law, the relationships between principal plastic strain increments and principal stress components are derived for the cap surface of the Drucker-Prager cap model. The obtained formulas allow not only to perform research of the SSS components of machine parts from dust in technological processes, but also to determine their current porosities.

Analyzing the modified Drucker-Prager model, it is shown that to solve the problems, it is appropriate to simplify the curved part of the Drucker-Prager hat-shaped model of plastic deformation of dust, turning it into a straight line.

Computer modeling of the pipe extrusion process is carried out in the MS EXCEL software environment for different cases of initial meridional dimensionless stresses $\bar{\sigma}_m$. As a result, an initial value of the meridional stress $\bar{\sigma}_m$ corresponding to the tube extrusion process is selected, which will equal zero when the tube leaves the die.

The determination of the porosity growth values of non-sintered powder is performed based on the methods of the fluidity theory of sintered materials, in particular, the increase in the main deformation (circular) in the case of extrusion of the non-sintered material is carried out on the basis of the $d\varepsilon_\theta$ sintered material. It has been shown that at the end of the extrusion process of the non-sintered powdery material, the pipe is completely compacted.