

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
КУЙБЫШЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АКОПЯН АШОТ ГАВРОШОВИЧ

УДК 539.374

ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
И КОНИЧЕСКИХ АНИЗОТРОПНЫХ ТЕЛ

(01.02.04 – механика деформируемого твердого тела)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

Куйбышев – 1987

Работа выполнена в Институте механики АН Арм. ССР

Научный руководитель – доктор физико-математических наук,
профессор М.А. ЗАДОЯН

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Б.Д. АННИН
кандидат физико-математических наук,
доцент А.И. ХРОМОВ

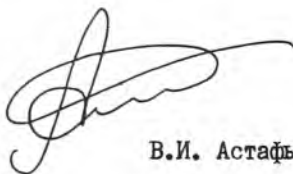
Ведущая организация – Институт механики МГУ

Защита состоится "22" октября 1987 г. в 14 часов
на заседании специализированного Совета К 063.94.01 по присуждению
ученой степени кандидата физико-математических наук при Куйбы-
шевском государственном университете по адресу: 443011,
г. Куйбышев, ул. Академика Павлова I, ауд. 203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Куйбы-
шевского государственного университета.

Автореферат разослан "15" декабря 1987г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
кандидат физико-математических наук,
доцент



В.И. Астафьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объект исследования. Диссертационная работа посвящена теоретическому исследованию пластического напряженно-деформированного состояния анизотропных толстостенных цилиндрических труб при внедрении жесткого цилиндрического тела, конических труб при различных внешних воздействиях на внутренней и внешней боковых поверхностях, конического листа при совместном изгибе и растяжении, течение пластически анизотропной массы между шероховатыми коническими поверхностями, а также упругопластическое состояние анизотропных цилиндрических и конических труб.

Актуальность темы. В современной технике широкое применение получили такие материалы, которые обладают анизотропией механических свойств. В последние годы в изделиях новой техники получил применение новый класс высокопрочных конструкционных волокнистых композиционных материалов, которые также проявляют свойства анизотропии. Решение задач теории пластичности анизотропных тел помимо прикладного имеют и важное теоретическое значение. Эти задачи характеризуются сложностью структур разрешающих уравнений, вследствие чего их исследование сталкивается со значительными трудностями аналитического и вычислительного характера. При этом анизотропия вносит существенные коррективы в напряженно-деформированное состояние. С другой стороны осесимметричные задачи теории пластичности анизотропных тел изучены достаточно мало. Решение этих задач представляет собой актуальную научную проблему, как в теоретическом, так и в прикладном аспекте.

Цель работы.

1. Исследовать пластическое состояние ортотропной цилиндрической трубы при внедрении жесткого цилиндрического тела и дать оценку силы впрессовывания.

2. Получить точные решения для осесимметричных задач анизотропных конических тел и показать влияние анизотропии на напряженно-деформированное состояние.

3. Исследовать упругопластическое состояние анизотропных цилиндрических и конических тел и получить соотношения

устанавливающие связь между внешними силами и границей, разделяющей упругую и пластическую зоны.

Общая методика исследования. Полуобратным методом задаются выражения для скоростей перемещений в неизвестных функциях, которые определяются в ходе решения задач, переменные разделяются и решение сводится к решению системы из обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений с заданными двухточечными краевыми условиями. Решения этих систем получаются численным способом на ЭВМ, методом пристрелки и приводятся в виде графиков.

Применяются соотношения Мизеса-Хилла в жесткопластической схеме.

Задачи первой и второй глав решаются в рамках теории пластического течения, а третьей главы - деформационной теории пластичности.

Научная новизна.

1. Дано решение осесимметричной задачи о пластическом деформировании цилиндрической, ортотропной трубы. Это решение использовано для оценки усилия прессования жесткой трубы в пластический материал, что нашло применение в исследовании процесса клинопрессовой сварки композитных труб.

2. Дано точное решение осесимметричной задачи о пластическом деформировании конических тел из ортотропного материала.

3. Решена упругопластическая задача о деформировании цилиндрических и конических анизотропных труб при различных условиях нагружения.

Практическая ценность. Результаты исследований, полученные в диссертации, необходимы при рассмотрении вопросов деформирования анизотропных труб при клинопрессовой сварке, при расчете на прочность различных узлов и деталей в машиностроении. Они могут быть применены в строительстве трубопроводов. В частности результаты первой главы были использованы в производстве трубчатых соединений из композиционных (анизотропных) материалов методом клинопрессовой сварки, о чем имеются соответствующие акты. Этим и обусловлена практическая ценность работы.

Апробация. Основные результаты диссертации докладывались: - на конференции молодых ученых Института механики АН Арм. ССР, Арзакан, 1985г.

- на УІ-ом всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике, Ташкент, 1986г.

- на У-ой научно-технической конференции молодых ученых специалистов района им. 26-и комиссаров г. Еревана, Цахкадзор, 1986г.

- на общем семинаре Института механики АН Арм. ССР, Ереван, 1987г.

- на семинаре отдела механики деформируемого твердого тела Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО АН СССР, Новосибирск, 1987г.

- на семинарах отдела "Прочности соединений и теории пластичности" Института механики АН Арм. ССР, 1982-1987гг.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано семь работ [1-7].

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и двух приложений. Работа изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунка, библиографический список из 164 наименований отечественных и зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан краткий обзор работ советских и зарубежных авторов, в которых в какой то мере затрагиваются в реферруемой работе вопросы. Существенный вклад в их исследование внесли из советских исследователей Б.Д. Аннин, Г.И. Быковцев, Л.А. Галин, Г.А. Гениев, В.О. Геогджаев, С.С. Григорян, М.А. Задоян, Д.Д. Ивлев, А.А. Ильшин, А.Ю. Ишлинский, В.Д. Клишников, Н.Н. Малинин, М.Ш. Микаладзе, В.В. Соколовский, Л.А. Толоконников, Г.П. Черепанов, С.А. Христианович, В.И. Шемякин, и др., а из зарубежных - Р. Мизес, А. Надаи, В. Ольшак, В. Прагер, Л. Прандтль, В. Урбановский, Р. Хилл, Ф. Ходж, Р. Шилд и др.

Кроме этого, дается обоснование выбора темы исследования, оценка ее актуальности и степени разработанности. Дается также краткое содержание диссертации.

Первая глава посвящена исследованию пластического состояния ортотропных цилиндрических труб при внедрении жесткого цилиндрического тела. Отличаются два случая: внутреннее и внеш-

нее внедрение, в зависимости от того, что жесткий элемент впрессовывается с внутренней или с внешней стороны по отношению к элементу из более мягкого материала, без вращения и с вращением жесткого элемента для обоих случаев. В первом параграфе приводятся основные соотношения теории анизотропного идеального жесткопластического течения Мизеса-Хилла в цилиндрических координатах. На основе этих соотношений во втором параграфе рассматривается внутреннее внедрение.

Пусть в абсолютно жесткой цилиндрической прессформе плотно помещена цилиндрическая труба из ортотропного идеального жесткопластического материала с внутренним и внешним радиусами a и b , соответственно, а в нее соосно впрессовывается цилиндрическая труба из значительно более твердого материала с переменным внешним радиусом $R(z) = a + u_1 e^{\gamma z/2}$, где γ , u_1 - заданные малые параметры (рис. I). Материал этой трубы считаем недеформируемым. Подобная картина пластического деформирования встречается при клинопрессовой сварке.

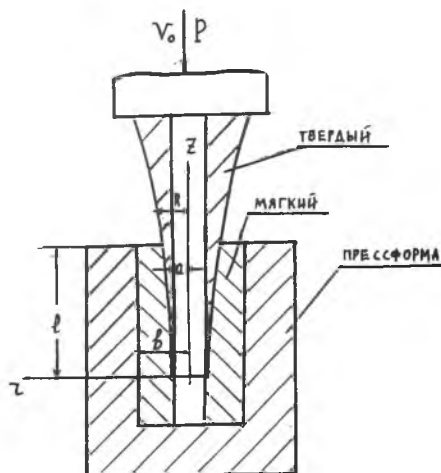


рис. I

Цилиндрическую координатную систему закрепляем с жесткой трубой так, чтобы плоскость $z = 0$ прошла через торцевое сечение, а положительное направление оси z - по оси труб против

направления движения. Главные оси анизотропии совпадают с этими осями. Считаем, что материал деформируемой трубы по всей толщине в области $Z > 0$ переходит в чисто пластическое состояние, а торец $Z = l$ этой трубы считаем свободным от внешних сил.

Введем обозначения $u_0 = u_1/b$, $\lambda = v/b$, $\rho_0 = a/b$, безразмерные координаты $\rho = r/b$, $\xi = z/b$ и функции $f(r) = b^2 f_*(\rho)$, $R(z) = b R_*(\xi)$ где

$$R(\xi) = \rho_0 + u_0 e^{\lambda \xi}$$

Компоненты скоростей перемещений выражаем через произвольную функцию $f_*(\rho)$ (знак * опущен)

$$u = v f(\rho) e^{\lambda \xi}, \quad w = -\frac{1}{\rho} (\rho f)' e^{\lambda \xi} + D, \quad v = 0$$

Компоненты напряжений также выражены через эту функцию, для определения которого получено обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка

$$f'' + \frac{f'}{\rho} - \frac{1 + \nu^2 \rho^2}{\rho^2} f + \frac{\nu \tau_{zz}}{\sqrt{M(M - \tau_{zz}^2)}} \sqrt{(F+H) f'^2 + 2H \frac{f' f}{\rho} + (G+H) \frac{f^2}{\rho^2}} = 0 \quad (I.1)$$

Исходя из допущения о недеформируемости вдавливаемой трубы и прессформы, а также принимая за нормальную скорость перемещения на поверхности $\rho = R(\xi)$ радиальную скорость $u(\rho_0, \xi)$ и $\cos \alpha \approx R'(\xi)$, где α - угол между нормалью к поверхности $\rho = R(\xi)$ и осью Z , для функции $f(\rho)$, с некоторым приближением, будем иметь граничные условия (V_0 - скорость внедрения)

$$f(\rho_0) = u_0 V_0 = u_*, \quad f(1) = 0 \quad (I.2)$$

Решение двухточечной краевой задачи (I.1), (I.2) получено численно, на ЭВМ методом пристрелки.

Для вычисления силы впрессовывания получена следующая формула

$$P = 2\pi b^2 \xi_0 (\rho_0 + u_0) (m_1 + \nu u_0 Q) \quad (I.3)$$

где m_1 - степень шероховатости на внутренней поверхности мягкой трубы, а Q - выражается через функцию $f(\varphi)$. На рис.2 построены графики силы впрессовывания для изотропной и анизотропной (сплошная линия) труб.

Во втором параграфе рассматривается внешнее внедрение.

Пусть теперь цилиндрическая труба из ортотропного материала плотно насажена на недеформируемую трубу (прессформу), на которую с наружной стороны соосно впрессовывается труба из значительно более твердого материала с внутренним радиусом $R = 1 - u_0 e^{\frac{1}{2}} \nu$ (рис.3). В этом случае в выражениях внутреннего внедрения следует заменить знак функции $f(\varphi)$. Вместо граничных условий (I.2) будем иметь

$$f(\varphi_0) = 0, \quad f(1) = u_0 \nu_0 = u_* \quad (I.4)$$

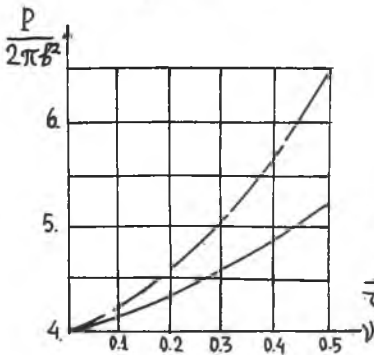


рис.2

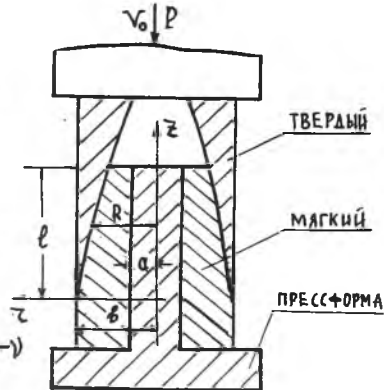


рис.3

Для определения силы впрессовывания имеем формулу

$$P = 2\pi b^2 \int_0^1 (1 - u_0) (m_2 + \nu u_0) Q \quad (I.5)$$

В четвертом параграфе полученные решения распространяются на случай внедрения цилиндрических анизотропных слоев. В пятом параграфе выводятся основные соотношения описывающие пластическое состояние ортотропной цилиндрической трубы. Шестой параграф посвящен внутреннему винтообразному внедрению. В этом случае

жесткая труба впрессовывается, совершая одновременно вращательное движение вокруг своей оси. Компоненты скоростей перемещений и напряжений представляются через произвольные функции $f(\rho), \psi(\rho)$

$$u = \sqrt{f(\rho)} e^{jz}, \quad v = 2\psi(\rho) e^{jz} + K\rho, \quad w = -\frac{1}{\rho}(f\rho)' e^{jz} + T \quad (I.6)$$

которые определяются из системы обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений

$$f'' + \frac{f'}{\rho} - \frac{1+\nu^2\rho^2}{\rho^2} f + \frac{\nu\tau_{z2}}{M\sqrt{1-\tau_{z2}^2/M-\tau_{z0}^2/N}} \sqrt{(F+H)f'^2 + 2H\frac{f'f}{\rho} + (G+H)\frac{f^2}{\rho^2} + 4L\psi^2} = 0 \quad (I.7)$$

$$\psi' - \frac{\psi}{\rho} - \frac{\nu\tau_{z0}}{2N\sqrt{1-\tau_{z2}^2/M-\tau_{z0}^2/N}} \sqrt{(F+H)f'^2 + 2H\frac{f'f}{\rho} + (G+H)\frac{f^2}{\rho^2} + 4L\psi^2} = 0$$

Степени шероховатости контактных поверхностей принимаем одинаковыми по всем направлениям и равными, соответственно, m_1 и m_2 . Тогда можно положить $\tau_{z0} = -\frac{m_1 v}{\sqrt{v^2 + w^2}}$, $\tau_{z2} = \frac{m_2 w}{\sqrt{v^2 + w^2}}$ при $\rho = \rho_0$.

Считая $K = T = 0$ и учитывая значения τ_{z0} и τ_{z2} , из формул (I.6) находим

$$\frac{m_1 \rho_0^2 \psi(\rho_0)}{\sqrt{\psi^2(\rho_0) + \frac{1}{4} [f'(\rho_0) + u_x/\rho_0]^2}} = \frac{m_2 \psi(1)}{\sqrt{\psi^2(1) + \frac{1}{4} f'^2(1)}}$$

Последнее равенство и (I.2) являются граничными условиями для системы (I.7), численное решение которого получено методом пристрелки. В седьмом параграфе рассмотрено внешнее винтообразное внедрение. Дана оценка силы прессования и крутящего момента.

Во второй главе рассматривается пластическое состояние анизотропных конических тел. В первом параграфе выводятся основные соотношения, описывающие пластическое состояние конических тел. Главные оси анизотропии совпадают с осями сферической системы координат, центр которой помещен в вершине конуса.

Во втором параграфе рассматривается кручение пластически ортотропной длинной конической трубы распределенными кольцевыми касательными силами действующими на внутренней и на внешней по-

верхностях: $\tau_{\theta\varphi} = q_1$, $\tau_{\theta\varphi} = q_2$ при $\theta = \alpha, \beta$. Задача сводится к решению нелинейного дифференциального уравнения первого порядка

$$\tau'_{\theta\varphi} + 2\tau_{\theta\varphi} \operatorname{ctg} \theta + 3 \sqrt{\frac{M'}{L}} \sqrt{L - \tau_{\theta\varphi}^2} = 0$$

которое решается численным способом.

Третий параграф посвящен рассмотрению пластического состояния анизотропной конической трубы под совместным воздействием нормальных давлений и кольцевых касательных сил

$$\sigma_{\theta} = -p_1, \tau_{\theta\varphi} = q_1 \quad \text{при } \theta = \alpha, \quad \sigma_{\theta} = -p_2, \tau_{\theta\varphi} = q_2 \quad \text{при } \theta = \beta$$

Решение сводится к системе дифференциальных уравнений первого порядка

$$\begin{aligned} \tau'_{r\theta} = -\tau_{r\theta} \operatorname{ctg} \theta - \frac{1}{\eta\phi} \left\{ [2(G+F) - H]\varphi + [2(H+F) - G] \operatorname{ctg} \theta \right\} \\ \varphi' = -\varphi^2 + \frac{1}{\sin^2 \theta} + \frac{\tau_{r\theta}}{N} \eta\phi \end{aligned} \quad (2.1)$$

с граничными условиями

$$\tau_{r\theta} = 0 \quad \text{при } \theta = \alpha, \beta \quad (2.2)$$

Решение получено численно, методом пристрелки.

Отметим, что в случае изотропного материала касательное напряжение $\tau_{r\theta}$ не возникает.

В четвертом параграфе изучается пластическое состояние анизотропной конической трубы под воздействием нормальных давлений и продольных касательных сил

$$\sigma_{\theta} = -p_1, \tau_{r\theta} = q_1 \quad \text{при } \theta = \alpha, \quad \sigma_{\theta} = -p_2, \tau_{r\theta} = q_2 \quad \text{при } \theta = \beta$$

Решение сведено к дифференциальному уравнению первого порядка

$$\tau'_{r\theta} + \tau_{r\theta} \operatorname{ctg} \theta + \frac{G-H}{\sqrt{N(G+H)}} \sqrt{N - \tau_{r\theta}^2} = 0$$

которое решается численным способом.

В пятом параграфе рассматривается ортотропная коническая труба под совместным воздействием нормальных давлений, продольных и кольцевых касательных сил. Шестой параграф этой главы посвящен изучению совместного изгиба с растяжением пластически ортотропного длинного листа в виде сектора конической трубы. Определены величины растягивающего усилия и изгибающего момента.

В седьмом параграфе рассмотрено сжатие пластически анизотропной массы между шероховатыми коническими поверхностями, которые сближаются с поперечными скоростями, изменяющимися по экспоненциальному закону по кольцевой координате

$$v = \nu_1 z e^{-\nu_1 |\varphi|} \quad \text{при } \theta = \alpha, \quad v = -\nu_2 z e^{-\nu_2 |\varphi|} \quad \text{при } \theta = \beta$$

Решение сведено к системе из пяти обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, решение которого получено численно, методом пристрелки.

В третьей главе рассматривается упругопластическое состояние анизотропных цилиндрических и конических труб под воздействием различных сил.

В первом параграфе приводятся исходные уравнения и граничные условия для ортотропной толстостенной цилиндрической трубы, которая находится под совместным воздействием равномерных распределенных нормальных и касательных сил действующих на внутренней и внешней цилиндрических поверхностях, растягивающих осевых сил и крутящих моментов приложенных на торцевых сечениях.

Ось Z цилиндрической координатной системы проводим по оси трубы так, чтобы плоскость $z = 0$ прошла по срединному поперечному сечению. Положительное направление θ считаем против вращения часовой стрелки. Главные оси анизотропии совпадают с осями этой системы. На внутренней $r = a$ и на внешней $r = b$ цилиндрических поверхностях задаем, соответственно, значения внешних сил

$$\bar{\sigma}_r = -p, -q; \quad \tau_{r\theta} = t, t_1; \quad \tau_{rz} = S, S_1$$

На торцевых сечениях $z = \pm l$ приложены осевые растягивающие силы N^* и крутящие моменты M^* .

Соответственно принимаем интегральные условия

$$2\pi \int_a^b \sigma_z z dz = N^* \quad , \quad 2\pi \int_a^b \tau_{\theta z} z^2 dz = M^*$$

В зависимости от вклада крутящего момента в интенсивности внешних сил, пластические деформации могут впервые появляться на внутренней или на внешней поверхностях трубы. Полагаем, что начиная с некоторого уровня интенсивности внешних сил и при небольшом крутящем моменте с внутренней стороны $z = a$ трубы распространяется пластическая зона.

Во втором параграфе решается задача об упругопластическом состоянии ортотропной цилиндрической трубы. Исходя из характера деформирования трубы, полагается, что тензор деформаций как в пластической, так и в упругой зонах не зависит от продольной координаты z и граничная поверхность между пластической и упругой зонами, естественно принимается цилиндрической, на которой следует соблюдать условия сопряжения решений двух соседних зон. Свойства материала считаются анизотропными и в упругой, и в пластической зонах.

В третьем параграфе рассматривается совместное действие нормальных и окружных касательных сил. В итоге приходим к уравнению определяющему зависимость между ϱ и внешними силами

$$p - q \quad \text{и} \quad t$$

$$p - q = \frac{\mu}{2} \frac{\sqrt{1 - \tau^2(\varrho)/N}}{\sqrt{\Delta[F(\mu - \chi)^2 + G\chi^2 + H\mu^2]}} \left(1 - \frac{\varrho^2}{b^2}\right) +$$

$$+ \frac{\sqrt{F+G}}{2} \left(2 \ln \frac{\varrho}{a} + \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \tau^2(\varrho)/N}}{1 + \sqrt{1 - t^2/N}} + \sqrt{1 - t^2/N} - \sqrt{1 - \tau^2(\varrho)/N}\right)$$

Из полученных формул предельным переходом можно получить решение задачи об упругопластическом состоянии вокруг круговой полости в бесконечной ортотропной среде.

В четвертом параграфе выводятся основные уравнения, описывающие упругопластическое состояние ортотропной конической трубы. Полагаем, что при определенных комбинациях внешних сил вокруг конической поверхности $\theta = \alpha$ образуется пластическая зона, ограниченная поверхностью $\theta = \gamma$, подлежащая определению. На граничной поверхности между пластической и упругой зонами имеются условия сопряжения, а на внутренней и на внешней поверхностях заданы, соответственно

$$\sigma_{\theta} = -P_1, -P_2; \quad \tau_{z\theta} = m_1, m_2; \quad \tau_{\theta r} = q_1, q_2 \quad \text{при } \theta = \alpha, \beta$$

Задача сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений.

Пятый параграф этой главы посвящен изучению упругопластического состояния трансверсально изотропной конической трубы под совместным воздействием нормальных и кольцевых касательных сил. Для определения граничной поверхности между упругой и пластической зонами получено следующее соотношение

$$P_1 - P_2 = \frac{\chi + \mu}{2A_0} \sqrt{1 - \frac{q_1^2}{L} \frac{\sin^4 \alpha}{\sin^4 \gamma}} \frac{\sin^2 \gamma}{\cos \gamma} \left(\ln \frac{\operatorname{tg} \gamma/2}{\operatorname{tg} \beta/2} + \frac{\cos \gamma}{\sin^2 \gamma} - \frac{\cos \beta}{\sin^2 \beta} \right) +$$

$$+ \sqrt{\frac{G}{2}} \left(2 \ln \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} + \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{q_1^2}{L} \frac{\sin^4 \alpha}{\sin^4 \gamma}}}{1 + \sqrt{1 - q_1^2/L}} + \sqrt{1 - q_1^2/L} - \sqrt{1 - \frac{q_1^2}{L} \frac{\sin^4 \alpha}{\sin^4 \gamma}} \right)$$

Рассматривается также случай, когда угол стенки трубы больше прямого угла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

I. Впервые рассмотрены осесимметричные задачи пластически ортотропных цилиндрических труб, когда тензор скоростей деформации является функцией от радиальной и продольной координат. Решена важная, с точки зрения прикладного значения, задача о внедрении жесткого тела в пластически ортотропную цилиндричес-

кую трубу.

2. Впервые решены задачи осесимметричного течения пластически анизотропных конических тел.

3. Получены решения, которые соответствуют упругопластическому состоянию ортотропных цилиндрических и конических труб.

4. Выявлены качественные влияния анизотропии на напряженное состояние конической трубы.

5. С помощью проведенных численных исследований полученных результатов показано существенное влияние анизотропии на напряженно-деформированное состояние цилиндрических и конических тел.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Акопян А.Г. Предельное состояние пластически анизотропной конической трубы // Известия АН Арм. ССР. Механика.- 1985.- Т. 38.- № 1.- С. 20-32.

2. Акопян А.Г. Изгиб и растяжение пластически анизотропного конического листа // Механика деформируемого твердого тела,- Ереван: Изд. АН Арм. ССР.- 1986.- С. 35-41.

3. Акопян А.Г. Течение пластически анизотропной массы между шероховатыми коническими поверхностями // Механика деформируемого твердого тела.- Ереван: Изд. АН Арм. ССР.- 1986.- С. 42-51.

4. Акопян А.Г., Задоян М.А. Внедрение жесткого цилиндрического тела в пластически анизотропную трубу // Известия АН Арм, ССР. Механика.- 1986.- Т. 39.- № 5.- С. 27-36.

5. Акопян А.Г., Задоян М.А. Осесимметричные задачи идеально пластических анизотропных тел // VI-ой Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотации докладов.- Ташкент, 1986.- С. 22-23.

6. Акопян А.Г. Ввинчивание жесткого цилиндрического тела в пластически анизотропную трубу // Известия АН Арм.ССР. Механика.- 1986.- Т. 39.- № 6.- С. 25-38.

7. Акопян А.Г., Задоян М.А. Упругопластическое состояние анизотропных цилиндрических и конических труб // Известия АН Арм. ССР. Механика.- 1987.- Т. 40.- № 2.- С. 26-37.