

РАЗВИТИЕ И ТОРМОЖЕНИЕ ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕЖДУ ЖЕСТКИМИ ЦИЛИНДРАМИ

А. А. Буренин, Л. В. Ковтанюк, А. С. Устинова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук,
ustinova@iacp.dvo.ru*

Задачи о прямолинейных и вискозиметрических течениях вязкопластических сред в зазоре между жесткими цилиндрами рассматривались неоднократно [1-4]. Нелинейные краевые задачи механики таких движений являются простейшими, и имеется возможность получить их аналитические решения. Потребность же в последних связана не только с их самостоятельным значением для теории, но и с возможностью тестирования алгоритмов численных расчетов. Упругими свойствами интенсивно деформируемых материалов при этом обычно пренебрегают, считая в областях, где течение отсутствует, их недеформированными. В таком случае неизбежно пренебрегается эффектами упругого последствия, которые определяют уровень и распределение остаточных напряжений. Последние определяющим образом влияют на эксплуатационные качества готовых изделий и потому требуют технологических приемов (отпуск, отжиг и др.) их снятия. Отказ от предположения о недеформируемости материала в условиях, когда напряжения в нем не достигают поверхности нагружения, существенно усложняют постановочную часть задачи и накладывают дополнительные требования к методам ее решения. Главным здесь оказывается выбор и разработка математической модели больших деформаций, когда в деформируемом материале присутствуют как обратимые, так и необратимые деформации. Но общепризнанной теории больших упругопластических деформаций до настоящего времени не создано.

Разработанные до начала 1990-х годов теории главным образом основывались на гипотезе о взаимнооднозначном соответствии каждому актуальному напряженно-деформированному состоянию другого единственного состояния того же тела, называемого состоянием полной разгрузки, которое оно принимает после снятия нагружающих усилий. Предложение ученых-дальневосточников А.А. Буренина, Г.И. Быковцева, Л.В. Ковтанюк, В.П. Мясникова, А.В. Шитикова состояло в принципиально ином определении для обратимых и необратимых деформаций: для них постулировались уравнения изменения (переноса) [5-7]. Основными предположениями данной модели являются гипотезы: при разгрузке компоненты тензора необратимых деформаций изменяются так же, как и при жестком движении; обратимые деформации полностью задают поле напряжений в среде. Оказалось, что таких естественных для классической упругопластичности положений достаточно для составления математической модели, в рамках которой можно поставить и решить краевые задачи теории.

В настоящей работе в рамках такой модели, обобщенной на случай учета вязких свойств среды в [8], исследуются вискозиметрические течения несжимаемого упруговязкопластического материала между жесткими коаксиальными цилиндрами, когда деформирование осуществляется за счет поворота одного из жестких цилиндров (на подвижном цилиндре задается либо момент закручивания, либо угловая скорость).

Рассматриваются упругое деформирование материала, развитие и торможение вязкопластического течения, разгрузка материала и повторное течение при повороте жесткого цилиндра в обратном направлении.

Сначала при увеличении угла поворота жесткого цилиндра происходит только упругое деформирование. С выходом напряженного состояния на поверхность нагружения в окрестности внутренней жесткой стенки будет развиваться область вязкопластического течения. Интегрируя уравнения равновесия (квазистатическое приближение) и используя граничные условия на внутреннем и внешнем жестких цилиндрах, можно найти распределение напряжений, деформаций и перемещений в момент начала пластического течения. Показано, что вязкопластическое течение во всех рассматриваемых случаях начинается на внутренней поверхности. Рассчитаны параметры напряженно-деформированного состояния, как в области течения, так и в области обратимого деформирования. Закон движения упругопластической границы следует из решения дифференциального уравнения, которое вытекает из условий совпадения скоростей, напряжений и деформаций на этой границе. Показано, что область вязкопластического течения развивается одинаково как при повороте внутреннего цилиндра, так и при повороте внешнего. При постоянной угловой скорости поворота жесткого цилиндра упругопластическая граница с течением времени выходит на асимптоту, и область вязкопластического течения далее не развивается. Далее изучается торможение вязкопластического течения при уменьшении скорости поворота жесткой поверхности, процесс разгрузки и повторное вязкопластическое течение при повороте жесткого цилиндра в обратном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Быковцев Г.И., Чернышов А.Д.* О вязкопластическом течении в некруговых цилиндрах при наличии перепада давления // ПМТФ. 1964. № 4. С. 94 – 96.
2. *Мясников В.П.* Некоторые точные решения для прямолинейных движений вязкопластической среды // ПМТФ. 1961. № 2. С. 79 – 86.
3. *Огибалов П.М., Мирзаджанзаде А.Х.* Нестационарные движения вязкопластичных сред. М.: Изд-во МГУ. 1970. 415 с.
4. *Резунов А. В., Чернышев А.Д.* Задача о чистом сдвиге вязко-пластического материала между двумя цилиндрическими поверхностями // Механика деформируемого твердого тела. Межвузовский сборник. 1975. С. 32-36.
5. *Буренин А.А., Быковцев Г.И., Ковтанюк Л.В.* Об одной простой модели для упругопластической среды при конечных деформациях // ДАН. 1996. Т.347. №2. С.199-201.
6. *Быковцев Г.И., Шитиков А.В.* Конечные деформации упругопластических сред // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311, № 1. С. 59 – 62.
7. *Мясников В.П.* Уравнения движения упругопластических материалов при больших деформациях // Вестн. ДВО РАН. 1996. № 4. С. 8 – 13.
8. *Ковтанюк Л.В., Шитиков А.В.* О теории больших упругопластических деформаций материалов при учете температурных и реологических эффектов // Вестник ДВО РАН, 2006. №4. С.87-93.