

ДЕФОРМАЦИЯ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ МНОГОФАЗНОСТИ УПЛОТНЯЕМОЙ СИСТЕМЫ

Первухина Д.Н.

Профессор, доктор технических наук Логинов Ю.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.

Ельцина, г. Екатеринбург

da.babailova@mail.ru

j.n.loginov@urfu.ru

В работе представлен анализ возможных сочетаний многофазных состояний порошковой заготовки. Даны примеры таких сред. Определены необходимые условия и уравнения для описания напряженно-деформированного состояния в порошковой заготовке.

Уплотняемые среды чаще всего обладают свойством многофазности. Действительно, уплотнению подвергают только пористые среды, но в этом случае, в порах содержится как минимум газ, например, воздух, который представляет собой вторую фазу. Такая двухфазная система обладает свойствами, унаследованными от первой (пористая среда) и второй (газовая среда) фазы. Но деформация такой среды протекает неодинаково для каждой из фаз. Например, газ может вытесняться за пределы деформируемого объема, чего не скажешь о самой пористой среде. Вместе с тем, для совокупности этих двух сред и для каждой в отдельности действуют законы неразрывности [1, 2].

Дивергенция вектора скорости для газовой среды не равна нулю:

$$\operatorname{div}(\vec{v}) = \xi = \xi_{ii} \neq 0, \quad (1)$$

где \vec{v} - вектор скорости перемещения. Поскольку сумма компонентов шарового тензора скорости деформации не равна нулю, то и скорость изменения объема ξ тоже не равна нулю. Именно поэтому создается возможность уплотнения такого двухфазного тела. Следует отметить, что во многих случаях такую двухфазную систему в качестве допущения считают однофазной, наделяя ее свойством общей сжимаемости [3, 4]. Это позволяет применить математический аппарат теории пластичности в общей постановке, не усложняя значительно систему дифференциальных уравнений.

Отказ от равенства нулю первого инварианта тензора скорости деформации для сжимаемой среды приводит к необходимости введения в систему уравнений дополнительного равенства, иначе система окажется недоопределена. В качестве такого равенства выступает связь первого инварианта тензора напряжений со степенью деформации объема или с плотностью вещества. В какой-то мере это задается и нормативными документами на описание характеристики сжимаемой среды – свойства

уплотняемости. В таком опыте материал сжимают увеличивающейся нагрузкой с фиксацией изменения плотности и построением соответствующего графика.

Второй случай анализа поведения многофазной системы при деформации сыпучей среды – это учет наличия не газа, а жидкости (схема на рисунке). С позиции физики жидкость не может необратимо изменять свой объем. Она способна заполнять поры, деформация материала в целом может привести либо к вытеснению жидкости за пределы очага деформации, либо к замыканию в порах. В первом случае материал в целом выглядит как пластически сжимаемый, а во втором – пластически несжимаемый. В качестве примера развития событий по первому варианту можно сослаться на эффект выдавливания жидкой фазы из заготовки из сплава празеодим-железо-бор при ее горячей осадке: жидкая фаза вытекает из материала, сохраняющего свойства твердой фазы [5]. Еще один пример: горячая деформация вольфрамкобальтовых твердых сплавов, доведенных до компактного состояния. Легкоплавкий кобальт легко переходит при нагреве в состояние жидкой фазы, оставаясь внутри системы, и тем самым оправдывая применение свойства несжимаемости

$$\operatorname{div}(\vec{v}) = \xi = \xi_{ii} = 0. \quad (2)$$

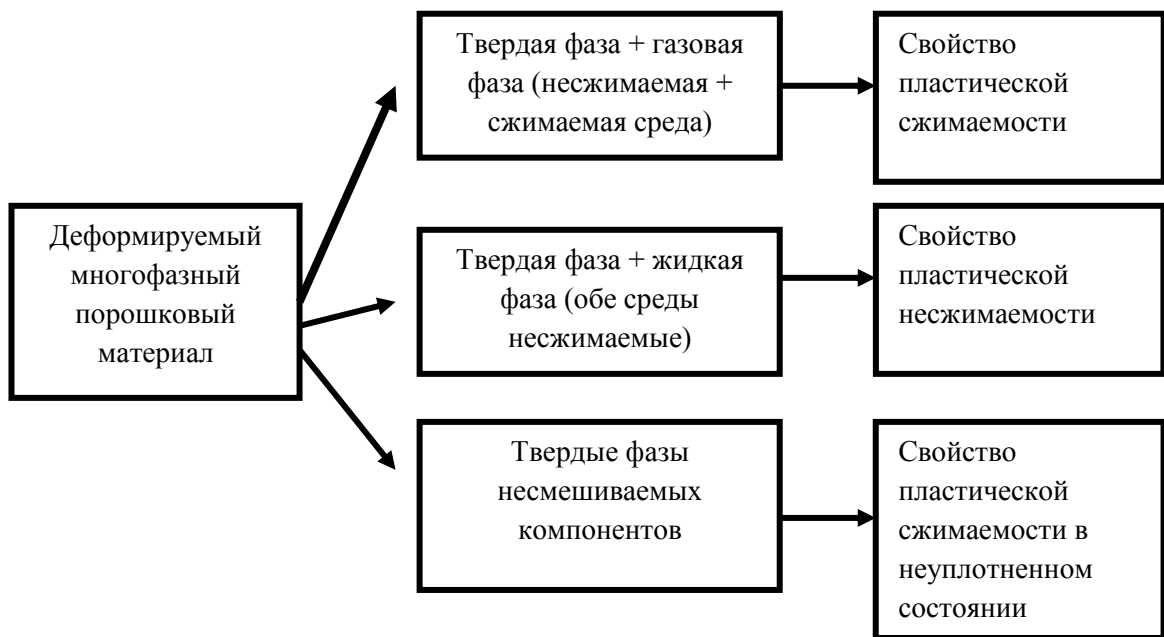


Схема возможных сочетаний многофазных состояний порошковой деформируемой заготовки

Можно отметить, что уравнение (2) позволяет замкнуть систему дифференциальных уравнений теории пластичности, в результате чего достигается возможность ее однозначного решения.

Дополнительный пример из этой области. Многофазной системой являются материалы, предназначенные для брикетирования: в сыпучую среду для лучшего схватывания добавляют склеивающие добавки в жидком состоянии. Теперь деформировать придется среду, сжимаемую на стадии ликвидации пор и несжимаемую с жидкой компонентой на стадии полного уплотнения.

Еще более сложным образом выглядит состояние порошковой заготовки, когда наряду с газовой и жидкой фазами, сам материал представляет собой многофазную систему. Это композиции несмешиваемых компонентов [6], для которых как минимум придется описывать свойства каждого из компонентов, а также свойство заполняющей поры среды. В упрощенном варианте создается обобщенная феноменологическая модель реологических свойств, усредняющая свойства каждой из фаз [7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Логинов Ю.Н. Применение условия неразрывности для анализа деформации газонаполненных пористых сред. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2002. № 11. С. 24-28.

2. Логинов Ю.Н. Влияние газовой фазы на процессы брикетирования. Сталь. 2000. № 8. С. 80-82.

3. Дегтярев И.С., Логинов Ю.Н., Колмогоров В.Л. Прессование некомпактного материала через коническую матрицу. Технология легких сплавов, 1975, №6. С. 24-27.

4. Логинов Ю.Н. Развитие методов математического моделирования пластической деформации металлических пористых сред. Научно-технические ведомости СПбГТУ, 2005, №2(40) С.64-70.

5. Логинов Ю.Н., Уймин М.А. Горячая осадка заготовок в присутствии жидкой фазы. Известия вузов. Черная металлургия, 2001, №1. С.18-21.

6. Loginov Y.N., Uimin M.A., Skorodumov A.V. Investigation of compaction of powder mixtures of insoluble components with combined loading. Steel in translation. 1996. V. 26. Iss. 12. P. 54-57.

7. Логинов Ю.Н., Шарафутдинов Н., Колмогоров В.Л. Об уравнениях связи напряжений и деформаций для сжимаемого жестко-пластического материала. Технология легких сплавов. 1977. № 4. С.20-25.