

Автор выражает искреннюю признательность профессору Чигареву А.В., с которым неоднократно обсуждались основные положения работы. Работа выполнена при частичной поддержке Министерства образования РБ (ГБ 00-123).

**Литература.** 1. Ломакин В.А. Теория упругости неоднородных тел - М., - Изд-во МГУ, - 1976 2. Beran M.J. Statistical Continuum Theories. - New-York, -1968 3. Kroner E. Statistical Continuum Mechanics. - Springer-Verlag, - Wien - New York, -1968 4. Ломакин В.А. Статистические задачи механики деформируемых тел.- М., - Наука,- 1970 5. Шермегор Т. Д. Теория упругости микрон неоднородных сред.- М.: Наука, 1977, 400 с. 6. Lu Xiaoping, Comminou Maria // Eng. Fract. Mech., - 1989, - v. 34, - N3, - p. 649-656. 7. Shukla A., Chona R., Zhu C. // Adv. Fract. Res.: Proc. 7th Int. Conf. Fract. (ICF 7) Houston, Tex., 20 - 24 March 1989, - vol. 1, - Oxford, - 1989, - p. 753-761. 8. Nakasa Keiji // Bull. Jap. Inst. Metals, - 1989, - v. 28, - N9, - p. 753-759. 9. Фокин А.Г., Шермегор Т.Д. // ПМТФ, - 1969, - N1 10. Черепанов Г.П. // Физ-хим. механика материалов,- 1986, N1,- с. 36-44. 11. Миклашевич И.А. Асанович В.Я. Бурьлев В.П. Вопросы микроскопической теории связи в биметаллических соединениях. Деп. в ВИНТИ N 4325-1389. Краснодар, - 1989г., - 65 стр. 12. Миклашевич И.А. Асанович В.Я. Бурьлев В.П. // Адгезия распл. и пайка матер., - 1991г., - в. 25, - с. 69-74. 13. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения М.:Наука, 1985, 504с. 14. Миклашевич И.А. // Материалы 50 научно-технической конференции БГПА, в 2-х ч., ч. 1, Минск: 1994, с. 62 15. Short J.S., Hoepfner D.W. // Eng. Fract. Mech., - 1989, - v.33,- No 2, - p.165-173. 16. Чигарев А.В., Миклашевич И.А. // Доклады АН Беларуси, № 2, т. 39, 1995, с. 114. 17. Блейк Р. Анкивич А. // Физика за рубежом, сер. Б,'88,- Москва,- 1988,- 160с.,- с.33-58. 18. Рашевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ. М.: Наука, 1967, 664с. 19. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1971, 247с. 20. Кадич А., Эделен Д. Калибровочная теория дислокаций и дисклинаций. М.: Мир, 1987, 168с.

УДК 621.762

**Е.Е. Петюшик, А.Ч. Якубовский, Д.В. Божко,  
А.А. Дробыш, В.В. Гармаза**

## **ВЛИЯНИЕ ВИДА СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИСКРЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕХАНИЗМ ИХ ПРЕССОВАНИЯ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Достаточно развитый в настоящее время спектр способов прессования изделий самого разнообразного назначения из дискретных изначально материалов требует систематизации областей их применимости с целью наиболее эффективного использования и прогнозирования направлений развития. Такая систематизация предполагает отдельное рассмотрение взаимовлияния важнейших физико-механических и геометрических показателей исходного дискретного материала и структурных и каркасных свойств прессовок с учетом динамики их изменения в процессе прессования.

Вне зависимости от назначения и физико-механических свойств дискретных материалов кинематические и силовые параметры процессов их прессования, а также структурные и каркасные свойства прессовки, благодаря существованию структурной

составляющей деформации, весьма существенно зависят от вида (формы) структурообразующих элементов (СОЭ). Проведем качественную оценку этой зависимости.

Характерная для порошков равновесная (или приближающаяся к ней) форма СОЭ (рис. 1) обуславливает, по терминологии М.Ю. Бальшина [1], жестко-подвижную связь между ними в процессе консолидации дискретного тела. То есть, наряду с увеличением площадок контакта в одних местах, происходит относительный сдвиг и поворот частиц, сопровождающийся уменьшением площадок вплоть до их полного разрушения и образованием новых. Суммарная контактная поверхность при уплотнении возрастает.

При прессовании материалов из волокон (длина превышает поперечные размеры на 2-3 порядка) (рис. 2) проявляется жестко-гибкий характер их деформирования [1]. Наличие нескольких контактных узлов для каждого волокна затрудняет их относительное смещение. Защемление в контактных узлах приводит к преобладающей обратимой упругой и необратимой пластической изгибной деформации СОЭ, а с увеличением плотности имеет место и жесткая деформация в области контактных узлов. Кроме увеличения контактных площадок за счет изгиба волокон образуется их взаимное механическое зацепление.

При деформировании материалов из непрерывных волокон (рис. 3) (в частности, проволоки, сеток) относительное смещение СОЭ практически отсутствует. Структурная деформация всего тела в целом происходит за счет перемещений контактных узлов в направлении приложения нагрузки как результат сближения слоев исходной заготовки [2]. Деформация материала есть результат пластической деформации в местах контактов и изгиба участков волокон на отрезках между контактными узлами, что позволяет квалифицировать характер деформирования структурообразующих элементов также как жестко-гибкий. Механическое зацепление волокон формируется в процессе подготовки дискретного тела к прессованию и на стадии прессования лишь усиливается.

Прессование порошковых дискретных тел приводит к получению материала с неорганизованной структурой независимо от исходного гранулометрического состава, формы частиц порошка и систематичности их исходной укладки. Способность частиц к взаимному перемещению (переукладке), особенно при малых значениях относительной плотности, приводит к снижению силовых затрат процесса прессования на начальной его стадии. Равновесная форма СОЭ порошковых материалов обуславливает их контактное взаимодействие лишь с ближайшими частицами, что приводит к относительной изотропии (в частности, после изостатического прессования) механических свойств неспеченного материала при их невысоком уровне.

При отсутствии специальных приемов упорядоченной ориентации волокон,

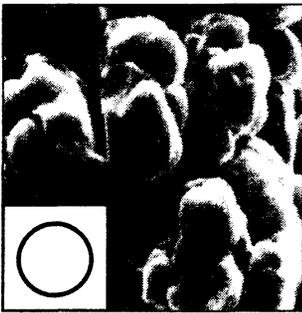


Рис. 1. Структурообразующие элементы порошкового материала:

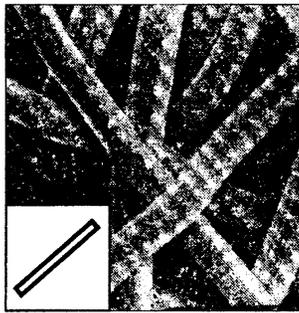


Рис. 2. Структурообразующие элементы волокнистого материала.

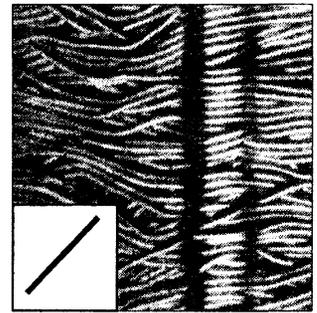


Рис. 3. Структурообразующие элементы материала из непрерывного волокна.

прессование их также приводит к получению материалов с неорганизованной структурой. Произвольная ориентация волокон и более высокое координационное число СОЭ значительно снижает долю межчастичной деформации и способствует получению более высоких прочностных свойств волоконной прессовки по сравнению с порошковой. Изгибная составляющая деформации на начальном этапе прессования с точки зрения сравнения силовых затрат процесса может быть поставлена в соответствие структурной деформации при прессовании порошковых материалов. В порошковых материалах упругое последствие определяется, главным образом, механическими характеристиками материала порошка и в меньшей степени — схемой нагружения. Жестко-гибкий характер деформирования волокон в силу большого количества контактов в волокнистом теле, препятствующих упругой деформации отдельных СОЭ, вызывает значительное упругое последствие в прессовке [3], особенно, в направлении приложения усилия прессования. Таким образом, развитие в теле остаточных деформаций в значительной мере зависит не только от механических свойств материала формируемого тела, но и от вида структурообразующих элементов и схемы его нагружения, что открывает перспективы в разработке рациональных процессов уплотнения.

Несмотря на различающиеся механизмы прессования порошковых и волокнистых материалов, определяющие, соответственно, и некоторое различие в свойствах, общим для этих материалов является исходно неупорядоченное расположение СОЭ, что позволяет формулировать основные научные принципы их консолидации на основе статистических законов, получившие развитие в контактных теориях [1]. Хаотичное расположение структурообразующих элементов явилось и основной причиной принятия в качестве характеристики пористого тела некоторой средней величины пористости или плотности, что вызвало появление ряда теорий пластичности дискретных сред. Общность технологий порошковой металлургии и металлургии волокна состоит и в сходстве используемых способов прессования.

Особенности технологии изготовления и прочностных свойств материалов с организованной структурой из непрерывного металлического волокна вызваны, наряду с жестко-гибким характером их деформирования, высокой связностью материала еще до деформирования благодаря существованию дальнего порядка взаимодействия СОЭ. Этим обусловлена выраженная анизотропия прочностных свойств (максимальная прочность совпадает с направлением волокна) и более высокая прочность неспеченных прессовок по сравнению с волокнистыми материалами. В ряде случаев прочность бывает достаточной для эксплуатации прессованных материалов из непрерывных волокон без последующего спекания. Регулярность структуры обеспечивает не только равномерное распределение структурных и каркасных свойств по объему, но и позволяет использовать расчетные модели, в большей степени адекватные реальным телам, чем в случае порошковых и волокнистых материалов. Наряду с применением феноменологических теорий [4] используется и микромеханический подход, основанный на изучении контактных явлений в узлах и изгиба между ними [5]. Важен способ предварительной организации непрерывного волокна в деформируемое тело, определяющий форму и количество контактных узлов, а также выбор того или иного способа деформирования. Отметим, что для деформирования проницаемых материалов (ПМ) на основе непрерывного волокна используют преимущественно способы прессования порошковой металлургии [4].

Применение проведенного анализа влияния вида СОЭ на механизм прессования для практического использования продемонстрируем на примере.

Развитие современных отраслей науки и техники, использующих пористые проницаемые материалы, требует, наряду с разработкой новых, и совершенствования свойств существующих материалов, а также создания новых эффективных технологи-

ческих процессов их изготовления. В частности, актуальна проблема создания новых технологических процессов изготовления проницаемых изделий с повышенными прочностными свойствами и строго регламентируемыми структурными характеристиками. Как следует из вышеизложенного, перспективно изготовление таких изделий из непрерывных металлических волокон. Наиболее технологичными при изготовлении и в процессе последующей эксплуатации представляются длинномерные изделия в виде тел вращения. Этим обеспечивается увеличение их рабочей поверхности при одновременном упрощении конструкции устройств, использующих ПМ в качестве рабочего элемента (фильтры, глушители, тепловые трубы и др.), и отсутствие потребности в дополнительных операциях резки, гибки, сварки при использовании листовых материалов [4].

Решение задачи по предварительной организации СОЭ в деформируемое тело цилиндрической формы известно [6]. Заготовка формируется послойной крестообразной намоткой проволоки на формообразующую оправку. Использование в качестве СОЭ непрерывного волокна, а также форма изделия, ограничивает выбор способа последующего деформирования заготовки группой способов, реализующих схему изостатического (радиального) прессования. Это обусловлено тем, что изостатическое прессование по сравнению с другими схемами нагружения характеризуется наименьшими перемещениями уплотняемого материала в направлении приложения нагрузки. Таким образом, взаимное перемещение СОЭ минимизируется. С другой стороны, наличие дальнего порядка взаимодействия СОЭ в материалах на основе непрерывного волокна (тела намотки) затрудняет их взаимное перемещение в процессе деформирования, что также ставит необходимым условие минимизации таких перемещений.

Различие механизмов уплотнения дискретных заготовок, сформированных на базе структурообразующих элементов различных видов, требует учета вида СОЭ при осуществлении технологических расчетов, выборе оптимальной схемы и способа прессования заготовок ПМ.

**Литература.** 1. Бальшин М.Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. — М: Металлургия, 1972. — 335 с. 2. Main Aspects of the Theory and Technology of Producing Permeable Materials with the Organized Porous Structure Through Deformation Processing / Y. Piatsiushyk, O. Reut, A. Yakubouski, L. Boginsky // 15 International Plansee Seminar, Austria, Reutte. — 2001. — V. 3. — S. 285 – 299. 3. Косторнов А.Г., Скороход В.В., Шевчук М.С. Исследование деформации пористых материалов из металлических волокон при прессовании и спекании // Порошковая металлургия. — 1972. — № 2. — С. 7 – 14. 4. Пористые сетчатые материалы. Синельников Ю.И., Третьяков А.Ф., Матурин Н.И. и др. — М.: Металлургия, 1983. — 64 с. 5. Петюшик Е.Е., Якубовский А.Ч., Якубовский Ч.А. Пластическое деформирование проволочного тела намотки // Вестник БГПА. — 2002. — № 1. — С. 31 – 34. 6. Заявка на патент РБ № и20001101 МПК<sup>6</sup> В 01D 27/06. Фильтрующий элемент и способ его изготовления / Петюшик Е.Е., Якубовский А.Ч. — Заявл. 12.12.2000; Оpubл. 30.06.2001 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. — 2001. — № 2 (29). — С. 17.