

Петюшик Е.Е., Дробыш А.А., Реут О.П., Макаруч Д.В.

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОРИСТЫХ ТЕЛ НА ОСНОВЕ КВАРЦА ПРИ РАДИАЛЬНОМ ПРЕССОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь.*

Рассмотрены особенности структурообразования поверхностей пористых изделий на границе с деформирующим инструментом в процессах их прессования из порошков с ограниченным ресурсом пластичности.

Процессы обработки материалов давлением сопровождаются пластическим течением во всем объеме деформируемого материала и (или) в его локальных областях. При обработке давлением порошковых уплотняемых материалов общая деформация складывается из структурной, происходящей за счет относительного сдвига и поворота частиц, и локальной (контактной) деформации [1]. В локальных деформируемых областях различают микро- и макропластическую деформацию [2, 3].

У пластичных материалов микропластическая деформация наблюдается при напряжениях на 4 порядка меньших их теоретической прочности [2]. По данным [3] в металлических и ионных кристаллах барьер для перемещения дислокаций в 10^3 - 10^4 раз меньше энергии межатомной связи и преодолевается дислокациями при напряжении (10^3 - 10^4) G, а в ковалентных (хрупких) кристаллах потенциальный барьер для движения дислокаций по порядку величины приближается к энергии химических связей. Последнее обстоятельство обусловлено более высоким, чем у металлов, потенциальным барьером Пайерлса хрупких кристаллов, который необходимо преодолеть дислокациям при их движении. Этим объясняется высокая твердость и прочность при сжатии керамических материалов. Например, предел прочности кварца составляет порядка 2 ГПа [4]. Считают, что предел текучести кварца близок к пределу прочности, поэтому пластически деформироваться он может лишь при разрушающих напряжениях [4].

Хрупкое макроразрушение при сжатии, как правило, связано с перераспределением сжимающих напряжений, вызванных приложенными нагрузками, в окрестностях неоднородностей структуры материала (таких как поры, включения и т.п.) [5]. Исходно дискретная порошковая заготовка изобилует такими неоднородностями. Каждая пора представляет потенциальный источник зарождения микротрещин в направлении сжатия. Вблизи неоднородностей в некоторых зонах частиц возникают растягивающие и изгибные напряжения. В силу того, что прочность на

растяжение керамики на 2 порядка ниже прочности на сжатие (так, для монокристаллов кварца приводятся значения прочности на растяжение – 85 МПа [6], прочности при изгибе по разным данным [6, 7] 70 – 140 МПа), имеет место механическая деструкция дискретных частиц кварца при приложении к деформируемому пористому телу сжимающей внешней нагрузки [8].

Формообразование пористых тел из порошков малопластичных материалов характеризуется группой особенностей, обусловленных реологическими свойствами материала порошков и состоящих в следующем:

- невозможность получить связное пористое тело из порошков с низким ресурсом пластичности при его прессовании без применения вспомогательных связующих материалов [9];
- существование структурной перестройки дискретного тела, когда доминирующим процессом объемной деформации становится относительный сдвиг и поворот частиц с изменением размера и формы контактных площадок вплоть до их полного разрушения и образования новых [8];
- склонность частиц порошка малопластичного материала к разрушению (деструкции) при деформировании при относительно невысоком уровне внешнего давления, приложенного к уплотняемому макротелу [5];
- зависимость степени и вида деструкции частиц порошка от реологических и механических свойств контактирующей с ним среды [8].

При выборе конкретного способа формообразования пористых изделий из уплотняемых материалов среди их многообразия предпочтение отдают тем, которые удовлетворяют следующим требованиям [10];

- способность обеспечивать заданный комплекс свойств изделий;
- простота в осуществлении и технологичность, возможность механизации и автоматизации при промышленном использовании;
- минимально возможное энергопотребление;
- технологическая и экологическая безопасность.

Исходя из сказанного и имея в виду, что к пористым изделиям предъявляются требования по таким параметрам как плотность (пористость), регулярность распределения пор и минимальный их разброс по размерам, отсутствие поверхностного закрытия пор, возможность получения изделий длинномерных, тонкостенных и сложной геометрической формы, одним из наиболее эффективных способов формообразования пористых тел представляется сухое изостатическое (радиальное) прессование [10].

Из шихты [9, 11] на основе порошка природного кварца (ГОСТ 22551-77) фракции $(+100)\pm(-200)$ мкм на установке для сухого радиального прессования УРП 02.00 [10] при давлении 60 МПа прессовали пористые

изделия в виде труб (рис. 1) с размерами:

диаметр
внутренний – 61 мм, толщина
стенки – 2,5 мм, длина – до 620
мм. Использовали схему
радиального нагружения при
уплотнении на жесткую
(стальную) оправку через
эластичный деформирующий
инструмент (полиуретан марки
«Адипрен Л-167» ТУ 38-
1051240-88).

Далее
осуществляли спекание
прессовок при температуре
850°C в окислительной
атмосфере. При этом
формирование связного тела
осуществлялось за счет
консолидации частиц порошка
кварца посредством

образования межчастичных контактов из силиката натрия с мелкодисперсным наполнителем (карбонат кальция), что установлено рентгеноспектральным микроанализом, проведенным с использованием энергодисперсионного SiLi – полупроводникового детектора фирмы «Röntec» (ФРГ). В результате получали трубу из пористого материала со средним размером пор 37 мкм.

Оценку формы исходных частиц кварца производили с помощью оптического микроскопа Leica INM100 (ФРГ) (рис. 2). Заметно, что большинство частиц имеют округлую форму, анизотропия формы частиц незначительна, имеются потенциально «дефектные» частицы (с внешне выраженными двойниковыми образованиями).

Исследование морфологии внутренней и наружной поверхности (рис. 3) пористой трубы проводили с помощью растрового электронного микроскопа марки LEO 1455VP фирмы «Карл Цейс» (ФРГ). Анализ различий структуры на наружной и внутренней поверхности трубы позволил установить следующее.

Наружная поверхность трубы (рис. 3 а, б) образована плакированными силикатом натрия частицами кварца, форма которых практически не отличается от исходной (см. рис. 2). Граница раздела «поверхность эластичного инструмента (оболочки) – поверхность уплотняемой заготовки» в результате упругой деформации оболочки «фиксируется» и при радиальном прессовании, когда происходит



Рис. 1. Вид пористой трубы на основе кварца

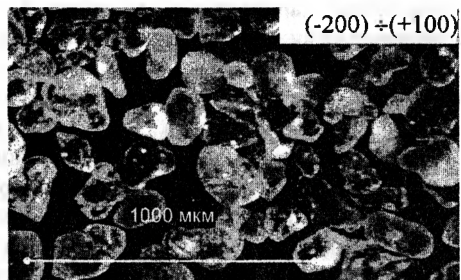


Рис. 2. Вид формы исходных частиц природного кварца

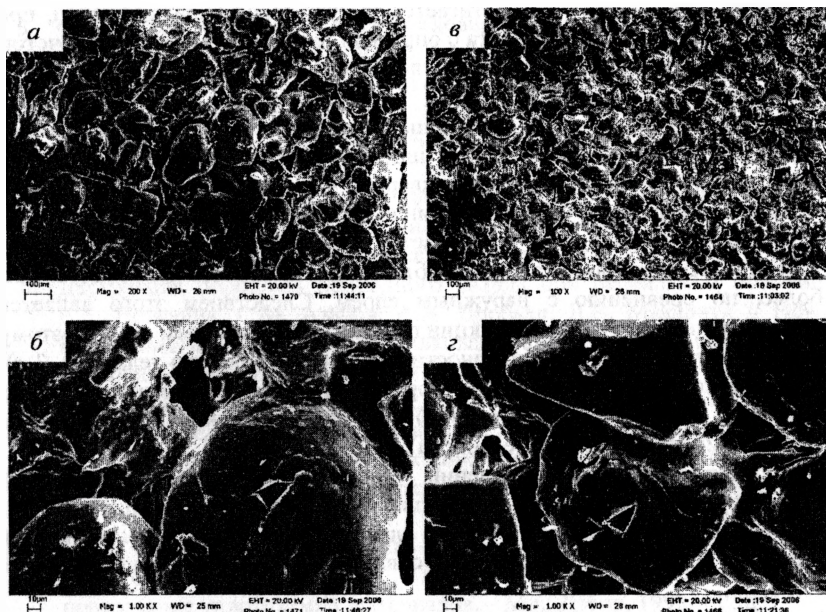


Рис. 3. Вид поверхности пористой трубы:
а, б – наружной; *в, г* – внутренней

уменьшение наружного диаметра уплотняемой заготовки (и, соответственно, оболочки), перемещается в радиальном направлении с относительно небольшой равномерной тангенциальной деформацией (в частности, для тонкостенных труб). При этом частицы, контактирующие с оболочкой, находятся в напряженном состоянии, близком к гидростатическому. Как следствие – деструкция частиц кварца в поверхностном слое минимальна и проявляется лишь в области контактов с нижележащими частицами кварца. Кроме того, «фиксация» частиц в поверхностном слое заготовки препятствует его структурной деформации, то есть тангенциальному и осевому смещению частиц, а также их повороту.

Существенно иная картина наблюдается на внутренней поверхности трубы (рис. 3 *в, г*). В результате контакта внутреннего слоя уплотняемого материала с жестким формообразующим инструментом (стальной оправкой) одновременно происходят два тесно взаимосвязанных процесса.

- Имеет место структурная деформация внутреннего слоя частиц, сопровождающаяся их переориентацией в пространстве таким образом, чтобы напряжения на границе контакта слоя порошка и оправки

минимизировались (это достигается за счет такой укладки частиц, при которой площадь их контакта с оправкой наибольшая (рис. 3 з) с учетом защемления частиц внутреннего слоя вышележащими);

- Происходит разрушение частиц внутреннего слоя за счет высоких контактных напряжений на границе с оправкой (которые или достигают предела прочности при сжатии или трансформируются в напряжения растяжения и изгиба в частицах кварца), что усугубляется защемлением частиц внутреннего слоя частицами вышележащих слоев.

Во внутреннем слое наблюдается деструкция большого количества частиц по сравнению с остальным объемом уплотняемого материала и, тем более, по сравнению с наружным слоем. Следствием этого является снижение нижней границы фракции порошка во внутреннем слое. Поэтому происходит нарушение регулярности структуры пористого тела (рис. 3 в), уменьшается пористость, размер пор (в 2 и более раз в зависимости от давления прессования заготовки) с соответствующим снижением проницаемости (производительности).

Избежать таких явлений можно применением жесткой формообразующей оправки, плакированной эластичным материалом [12], например, полиуретаном. В этом случае получаемые изделия имеют структуру внутренней поверхности, совпадающую с изображенной на рис. 3 а, б.

Возможно и использование интенсивной деструкции частиц во внутреннем слое прессовки для целенаправленного формирования неоднородностей поровой структуры пористых тел как на основе порошков с ограниченным ресурсом пластичности, так и пластичных порошков. В последнем случае при уплотнении дискретной заготовки на оправку имеет место поверхностное закрытие пор, также способствующее уменьшению пористости и размера пор на внутренней поверхности изделия.

Таким образом, выявленные особенности структурообразования пористых порошковых тел на границе с деформирующим инструментом в зависимости от реологических свойств материалов последнего, с одной стороны, накладывают некоторые технологические ограничения на реализацию процессов прессования, а с другой стороны, являются предпосылками для разработки принципов технологического управления структурными характеристиками пористых проницаемых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданович, Г.М. Сопротивление порошковых материалов.– Мн.: Бестпринт, 1999.– 340 с.
2. Дударев, Е.Ф. Микропластическая деформация и предел текучести поликристаллов. – Томск: изд. Том. ун-та, 1988. – 256 с.

3. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
4. Шубников А.В. Избранные труды по кристаллографии. М.: Наука, 1975. – С. 359-366.
5. Гольдштейн Р.В. Разрушение при сжатии // Успехи механики. – 2003. – № 2. – С. 3-20.
6. Дэна Дж., Дэна Э.С., Фрондель К. Система минералогии. Т.3: Минералы кремнезёма / Пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 432 с.
7. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
8. Деструкция порошков природного кварца при радиальном обжати / Е.Е. Петюшик, С.М. Азаров, А.А. Дробыш, Д.В. Макачук // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: Матер. VII междунар. научно-техн. конф. – Минск: НИИ ПМ НАН Б, 16-17 мая 2006. – С. 121-122.
9. Петюшик Е.Е., Азаров С.М., Дробыш А.А. Шихта на основе природного кварца для получения спеченных фильтрующих элементов // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: Матер. междунар. научно-практ. конф. / Под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – С. 286-291.
10. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Мн.: Дзбор, 1998. – 258 с.
11. Заявка на патент РБ № а20050850 МПК⁷ С 04 В 38/00. Состав пористого керамического материала / Ратько А.И., Азаров С.М., Петюшик Е.Е., Дробыш А.А. – Заявл. 30.08.2005.
12. Пат. I С1 ВУ, МПК⁷ В 22F 3/02. Форма для прессования пористых изделий из порошка / Петюшик Е.Е., Реут О.П. Якубовский А.Ч., Дробыш А.А., Гармаза В.В.— № 8060; Заявл. 18.02.2003; Опубл. 30.06.2006 // Официальный бюллетень / Изобретения, полезные модели, промышленные образцы.— 2006.— № 2 (49).— С.58.

УДК 621.762.4

Петюшик Е.Е., Романенков В.Е., Дробыш А.А., Азарова Т.А.
СПЕКАНИЕ ПОРИСТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО КВАРЦА

*Белорусский национальный технический университет,
 Минск, Республика Беларусь.*

Questions agglomerations of porous products are discussed. Process is realized by eutectic way. Skeleton of porous products is molding by liquid glass.