

которых ширина поровых каналов максимальна, а изменение соотношения крупной и мелкой пористости – минимально.

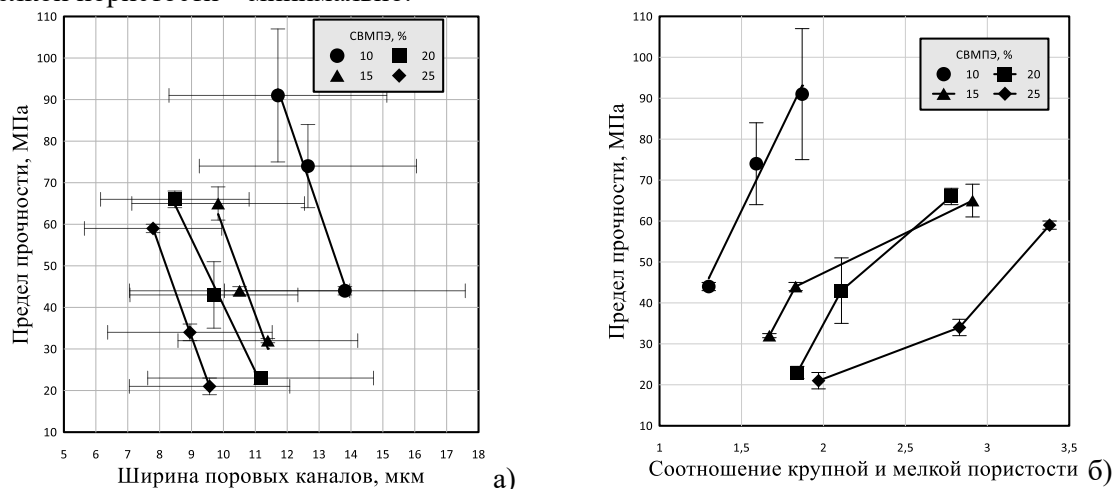


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности образцов, спеченных при 1200-1400 °С: а) от ширины поровых каналов, б) от соотношения крупной и мелкой пористости

Испытания сжатием с циклической нагрузкой по 300 Н позволяют предположить, что в процессе нагружения происходит «подстройка» образцов с блочной структурой к возрастающей нагрузке путем изменения модуля упругости, вызванная перемещением локальных объемов материала в пространство, образованное поровыми каналами.

#### Список литературы

1. Hammel E. C., Ighodaro O. L.-R., Okoli O. I., Processing and properties of advanced porous ceramics: An application based review // *Ceramics International*. 2014 Vol. 40. P. 15351–15370
2. Carlesso M., Giacomelli R., Krause T., Molotnikov A., Koch D., Kroll S., Tushtev K., Estrin Y., Rezwan K., Improvement of sound absorption and flexural compliance of porous alumina-mullite ceramics by engineering the microstructure and segmentation into topologically interlocked blocks // *Journal of the European Ceramic Society*. 2013. Vol. 33. P. 2549–2558
3. Григорьев, М. В., Савченко, Н. Л., Буякова, С. П., Кульков, С. Н. Неупругое поведение при сжатии керамики с иерархической поровой структурой // *Письма в ЖТФ*. – 2017. – Т. 43. – № 15. – С. 79–86.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ 304-L

А.А. СКИПИН, ЮЙ СЯОЛИНЬ, И.Э. ВАСИЛЬЕВА, О.Ю. ВАУЛИНА

Томский политехнический университет

E-mail: [askipper99@mail.ru](mailto:askipper99@mail.ru)

Нержавеющая сталь AISI 304-L обладает превосходной коррозионной стойкостью и формруемостью и, следовательно, широко используется в промышленности в качестве важного конструкционного материала, а также в качестве деталей двигателя в аэрокосмической промышленности [1]. Изделия, изготавливаемые технологией порошковой металлургии, рассматриваются в настоящее время в качестве перспективных конструкционных материалов в области материаловедения [2-3].

В работе исследовали сталь 304-L (Российский аналог 03X18H11), полученную с помощью порошковой металлургии. Порошковую смесь смешивали в механическом смесителе со смещенной осью в течение 24 часов. Формовали образцы методом холодного одноосного прессования при давлении 255 МПа. Спекание проводили при температуре 1300 °С в течение 2 часа в вакууме. Пористость образцов определяли с помощью «Анализатора фрагментов микроструктуры твердых тел SIAMS 700™». Металлографический анализ проводили на лабораторном микроскопе «ЛабoМет-И». Рентгеноструктурный анализ проводили с помощью дифрактометра типа ДРОН. Микротвердость образцов измеряли на микротвердомере ПМТ-3.

Исследование нетравленной полированной поверхности образцов позволяют оценить наличие пор, их количество, размер, форму и распределение в объеме изделия (образца). На рисунке 1а видно, что образец имеет определенную остаточную пористость после спекания. Распределение пор в спеченных образцах довольно равномерное, встречается скопление пор. Гистограмма распределения размеров пор по внешнему диаметру представлена на рисунке 1б. Видно, что 80 % имеет размер до 20 мкм. Средняя пористость образцов после спекания при температуре 1300 °С в течение 2 часов –  $(11 \pm 1,5) \%$ .

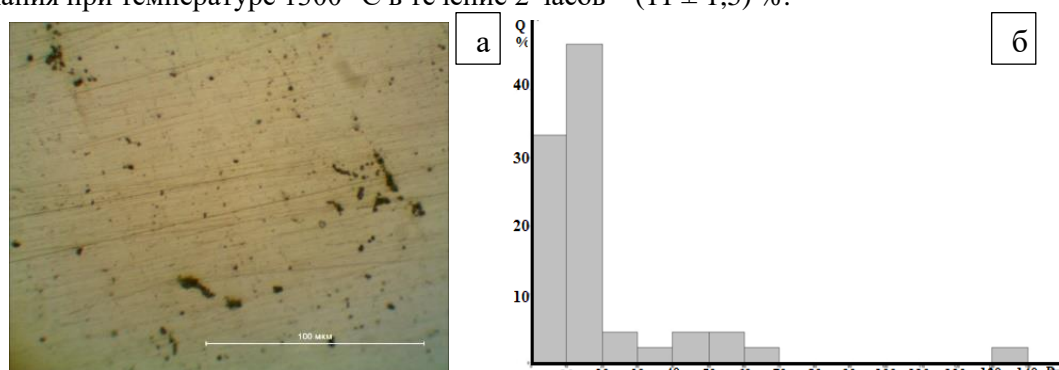


Рисунок 1 – а) Оптическое изображение нетравленной поверхности порошковой стали 304-L; б) гистограмма распределения размеров пор по внешнему диаметру

На травленной поверхности, рисунок 2, наблюдаются аустенитные зерна с большим количеством двойников и светлые ферритные зерна. Ферритных зерен намного меньше, чем аустенитных. Методом случайных секущих определили средний размер зерна -  $(62 \pm 10)$  мкм.

На рентгенограмме образца порошковой стали 304-L, рисунок 2, наблюдаются пики аустенитной  $\gamma$ -фазы, образованной железом, и ферритной  $\alpha$ -фаза, образованной хромом. Рассчитаны значения параметра решетки образца:  $\gamma$ -фазы – 3,524 Å,  $\alpha$ -фаза – 2,87 Å.

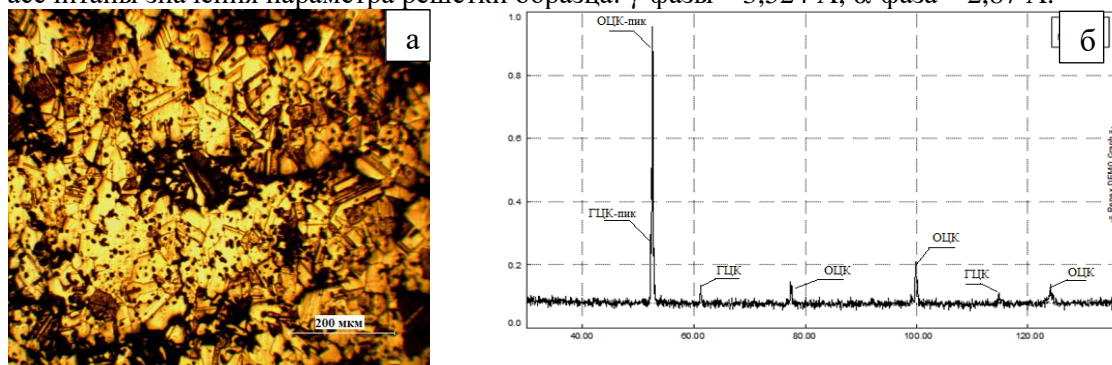


Рисунок 2 – а) Микроструктура травленных образцов порошковой стали 304-L; б) Рентгенограмма образца порошковой стали 304L

Для оценки механических свойств спеченных образцов проводили измерение их микротвердости с нагрузкой 50 г. Микротвердость составила  $(1506 \pm 386)$  МПа, что

соответствует 1520 НВ (по Бринеллю). Это несколько ниже табличного значения литой стали 304-L (1700 МПа). Скорее всего, это связано с пористостью порошкового образца.

#### **Список литературы**

1. Peng Wang, Jinzan Zhang, Yang Zhang, Haitao Wang, Wentao Hu, Dongli Yu. Preparation of high-performance ultrafine-grained AISI 304L stainless steel under high temperature and pressure. *Progress in Natural Science: Materials International*, Volume 26, Issue 4, 2016, p. 404-410.
2. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии: учеб. Пособие в 2-х т. Т. 1. / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий. – М.: «МИСИС», 2001. – 368 с.
3. Structure and properties of steel produced by metal injection molding / Yu. V. Myachin [et al.] // *Inorganic Materials: Applied Research*. - 2017. - Vol. 8, iss. 2. — [P. 331–334].

### **ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ КОМПОЗИТНОГО ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ НА ЕГО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ТГц ДИАПАЗОНЕ**

*А.В. БАДЬИН, П.П. СМЫГАЛИНА, Д.А. ПИДОТОВА, Е.А. ТРОФИМОВ*

Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: thzlab@mail.tsu.ru

В связи с возрастающим интересом к использованию ТГц диапазона возникает задача исследования материалов, которые могли бы быть пригодны для использования на этих частотах. В представленной работе для того, чтобы создать пригодный для ТГц исследований образец, используется 3D принтер, основанный на методе послойного наплавления [1]. Одним из простых способов получения филамента для печати является технология бесшнековой горячей экструзии [2]. Данная технология критична к исходному сырью, наличие неоднородностей в котором сказывается на конечном качестве филамента. Основной проблемой при изготовлении филамента является пористость структуры, которая влияет на электрофизические свойства материала. Таким образом, актуальным является исследовать влияние пористости и плотности на диэлектрические свойства филамента в ТГц диапазоне.

Первым этапом работы было создание методом горячего экструдирования композитного филамента на основе АБС-пластика и 2% многостенных углеродных нанотрубок со средним диаметром 18,6 нм [3]. Для исследования были изготовлены прутки филамента с различным количеством итераций экструдирования. Минимизирование неоднородностей достигается с помощью многократной экструзии.

Далее была определена корреляция плотности и пористости. Измерения плотности проводились для шести тестовых образцов каждого филамента, таблица 1. С ростом числа итераций от 1 до 24 происходит увеличение плотности от 0,7039 до 0,9956 г/см<sup>3</sup>, рисунок 1. Для определения пористости материала срез прутка наблюдался под микроскопом, а затем по полученной фотографии в фоторедакторе определялось процентное соотношение пор к общей площади среза. Для каждого образца было рассмотрено шесть срезов. С ростом числа итераций от 1 до 24 происходит уменьшение пористости от 39,33% до 14,17%. Зависимость пористости от порядка итераций экструдирования представлена на графиках, рисунок 3. По графику зависимости пористости от плотности наблюдается прямая зависимость этих величин, рисунок 2.

Следующим этапом была произведена печать шайб толщиной от 0,37 мм до 1,17 мм для исследования диэлектрических свойств материалов на спектрометре СТД-21 в диапазоне частот 115-258 ГГц. Приведенные в таблице 1 значения диэлектрической