

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОРООБРАЗОВАНИЯ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ СИНТЕЗА ВЫСОКОПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ

✉ Е. В. Ушакова¹, М. В. Алонова¹, С. С. Волчков¹, Д. А. Зимняков^{1,2}

¹ Саратовский государственный технический университет
им. Ю. А. Гагарина, Саратов, Россия

² Институт проблем точной механики и управления РАН, Саратов, Россия

✉ katushakova96@yandex.ru

Разработка методов синтеза биосовместимых функциональных материалов является важной задачей в современных науках о жизни, включая биомедицинскую диагностику, косметологию, тканевую инженерию и регенеративную медицину. В многообразии этих материалов, предназначенных для решения различных задач, особое место занимают высокопористые биорезорбируемые матрицы. Эти матрицы, созданные на основе биосовместимых и биоразлагаемых полимеров, могут применяться как основа для создания скаффолдов, используемых в тканевой инженерии и регенеративной медицине [1].

В связи с этим разработка методов дистанционной диагностики полимеров в условиях синтеза является актуальной задачей, которая позволит оптимизировать процесс синтеза и повысить эффективность производства материалов с заданными свойствами.

Для синтеза высокопористых полимерных матриц применяют сверхкритическую флюидную технологию, основанную на вспенивании в реакторе высокого давления исходного полимера, предварительно пластифицированного в атмосфере сверхкритического пластифицирующего/вспенивающего агента (например, двуокиси углерода). В результате сброса давления по заданному сценарию формируется полимерная пена с заданными структурными характеристиками. В процессе синтеза высокопористых полимерных матриц вследствие сброса давления в системе «пластифицированный полимер — пластификатор / вспенивающий агент»

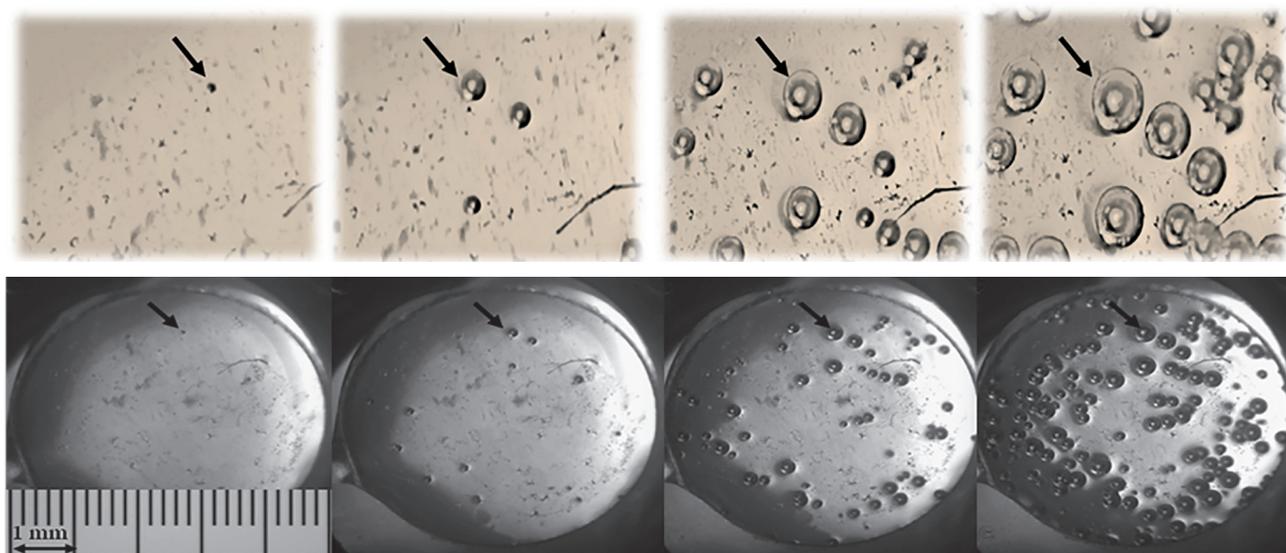


Рис. 1. Отображение процесса поробразования и развития отдельных пор в пластифицированном полимере (полилактиде)

© Е. В. Ушакова, М. В. Алонова, С. С. Волчков, Д. А. Зимняков, 2024

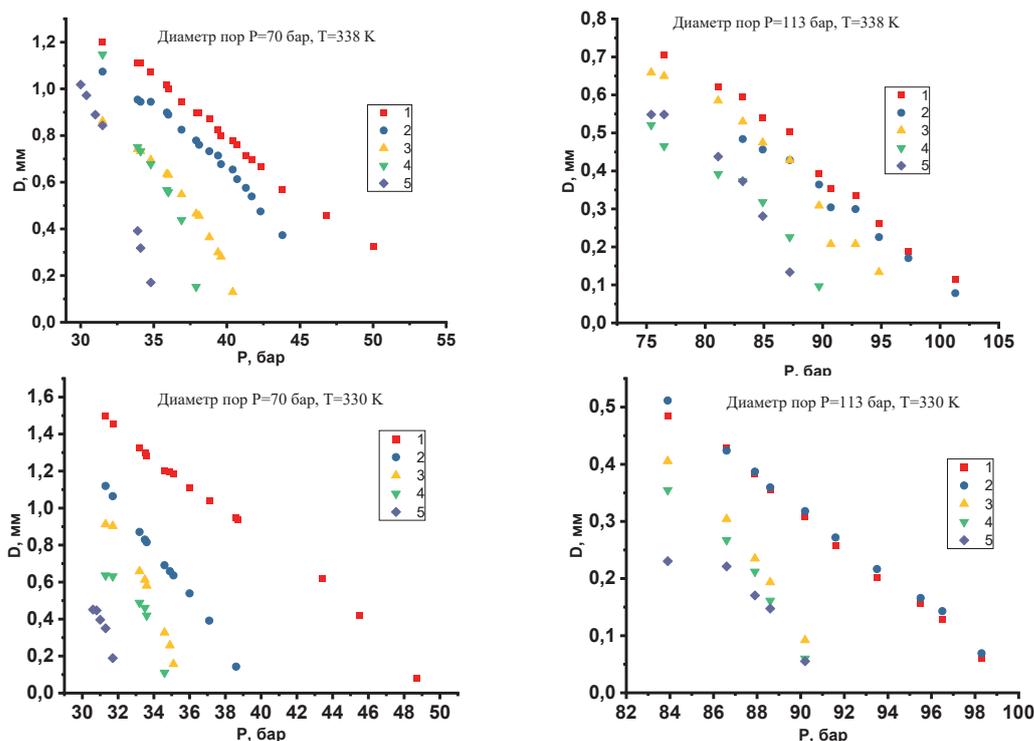


Рис. 2. Динамика роста отдельных пор в зависимости от текущего давления в реакторе. Под каждым номером на графиках представлены отдельные поры

происходят сложные нестационарные процессы, управляемые множеством внешних и внутренних параметров. Вспенивание полимеров включает три основные стадии: 1) образование ансамбля зародышей пор в результате нуклеации; 2) интенсивный рост пор и формирование структуры пены в процессе ее расширения; 3) стабилизация структуры пены [2].

Анализ стадии нуклеации и последующего расширения зародышей пор (рис. 1) до стадии интенсивного расширения пены играет важную роль в выборе параметров процесса вспенивания, обеспечивающих требуемые структурные характеристики синтезируемых пористых матриц.

Результаты анализа динамики порообразования и развития пор для различных начальных условий (давление и температуры) представлены на рис. 2 в форме зависимостей текущего значения диаметра пор от текущего давления при сбросе давления со скоростью 0,06 бар/с (квази-изотермический режим сброса давления).

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что процесс роста отдельных пор на начальной стадии синтеза имеет особенность, заключающуюся в значительном увеличении начальной скорости расширения поры с убыванием давления. Таким образом, были получены зависимости, соответствующие появлению и расширению отдельных зародышей пор, которые могут быть применимы для оценки, прогнозирования и контроля структурных и функциональных свойств синтезируемых образцов.

Литература

1. Zimnyakov D., Alonova M., Ushakova E. et al. Dynamic Light Scattering by Foamed Polymers during Preparation of Scaffold Prototypes: Events Statistics Analysis versus Evaluation of Correlation Time in Data Interpretation // Photonics. 2021. Vol. 8, No. 12.
2. Zimnyakov D., Alonova M., Ushakova E. et al. Speckle-based sensing of microscopic dynamics in expanding polymer foams: Application of the stacked speckle history technique // Sensors. 2021. Vol. 21 (20). P. 6701.