

بررسی مکانیسم تشکیل منافذ از طریق تکنیک VIPS-NIPS برای ساخت غشا

چکیده

در این تحقیق مکانیسم تشکیل منافذ غشاها از طریق تکنیک جداسازی فاز ناشی از بخار^۱ (VIPS) مورد بررسی قرار گرفته است. غشاهای میکروفیلتراسیون پلی‌وینیلیدین‌فلوراید^۲ (PVDF) با موفقیت با ترکیبی از روش VIPS و جداسازی فاز غیرحلال القا شده^۳ (NIPS) که به روش VIPS-NIPS شناخته می‌شود، ساخته می‌شوند و تأثیر زمان قرارگرفتن در معرض رطوبت بررسی می‌شود. ویژگی‌های غشاهای ساخته شده غشاها با تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ (SEM)، تخلخل، حداکثر شعاع حفرات، توزیع اندازه حفرات^۵ (PSD)، فشار ورودی مایع آب^۶ (LEPW)، استحکام مکانیکی و شار اتانول با استفاده از غشا مشخص می‌شوند. نتایج نشان داد که شعاع منافذ غشاها افزایش یافته، سپس کاهش یافته و با افزایش زمان قرار گرفتن مجدداً افزایش می‌یابد. زمانی که فیلم پلیمری به مدت پنج دقیقه در معرض محیط مرطوب قرار گرفت، باریک‌ترین توزیع اندازه منافذ برای غشاها به دست آمد. نتایج توزیع اندازه منافذ مکانیسم چهار مرحله‌ای برای تشکیل منافذ در فرآیند VIPS را تأیید کرد. نقاط هسته در مرحله VIPS بر روی سطح غشا تشکیل می‌شوند. در زمان‌های نوردهی کم، تعداد هسته‌ها کم است و در حمام انعقادی رشد کرده و منافذ بزرگی را تشکیل می‌دهند. با افزایش زمان نوردهی، تعداد هسته‌ها افزایش یافته و به حداکثر مقدار می‌رسد. در این مرحله، رشد هسته‌ها در حمام انعقادی حداقل است و منجر به ایجاد غشایی با شعاع منافذ کمتر می‌شود. پس از آن، با افزایش زمان VIPS، هسته‌ها بزرگ‌تر می‌شوند و برای ایجاد منافذ بزرگ‌تر به یکدیگر می‌پیوندند، بنابراین، توزیع اندازه منافذ گسترده‌تر با شعاع متوسط منافذ غشاء انتظار می‌رود.

کلمات کلیدی: مکانیسم تشکیل منافذ، جداسازی فاز ناشی از بخار، توزیع اندازه منافذ، مکانیسم هسته و رشد.

¹ Vapor-Induced Phase Separation

² Polyvinylidene Fluoride

³ Non-Solvent Induced Phase Separation

⁴ Scanning Electron Microscope

⁵ Pore Size Distribution

⁶ Liquid Entry Pressure of Water

Keywords: Pore formation mechanism, Vapor-induced phase separation, Pore size distribution, Nucleation and growth mechanism.

نتیجه گیری

در کار حاضر، مکانیسم تشکیل منافذ غشایی از طریق تکنیک VIPS مورد مطالعه قرار گرفت. غشا PVDF در زمان‌های مختلف قرار گرفتن در معرض رطوبت ساخته شد. توزیع اندازه منافذ به دست آمده برای غشا در زمان‌های مختلف نوردهی نشان داد که اندازه منافذ غشا ابتدا افزایش یافته، سپس کاهش یافته و در نهایت با افزایش زمان نوردهی (VIPS time) افزایش می‌یابد. هسته و رشد به عنوان مکانیسم تشکیل غشا توسط تکنیک VIPS شناخته می‌شود. در تکنیک VIPS با افزایش زمان نوردهی تعداد هسته‌ها افزایش می‌یابد. این هسته‌ها محل‌های منافذ غشایی را در پایان فرآیند وارونگی فاز تشکیل می‌دهند و مرحله رشد اندازه منافذ را تنظیم می‌کند. در زمان‌های قرار گرفتن در معرض رطوبت کمتر، تعداد نقاط هسته کم است و هسته شروع به رشد در حمام انعقادی و ایجاد منافذ بزرگ می‌کند. با افزایش زمان نوردهی، تعداد نقاط هسته به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این مرحله، تعداد منافذ تشکیل شده بیشترین میزان را دارد و منافذ از نظر اندازه کوچکتر هستند. در این مرحله، جداسازی فاز جزئی رخ می‌دهد و غشا منجر به تشکیل منافذ کوچک با توزیع اندازه منافذ باریک می‌شود. پس از آن، با افزایش بیشتر زمان قرار گرفتن در معرض رطوبت، قطرات آب (نقاط هسته‌زایی) بزرگ‌تر می‌شوند و به هم می‌پیوندند و منافذ بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند، بنابراین، اندازه متوسط منافذ غشا بزرگ‌تر می‌شود. این نتایج همراه با نتایج مطالعه قبلی در این مقاله در زمینه ساخت غشاهای اولترافیلتراسیون PPSU مکانیسم چهار مرحله‌ای پیشنهادی برای تشکیل منافذ در روش VIPS-NIPS برای ساخت غشا را تایید می‌کند. علاوه بر این، نشان داده شد که مکانیسم پیشنهادی کلی است و برای غشاهای میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون و سیستم‌های مختلف پلیمری/حلال/غیر حلال معتبر است.

Reference

Dehban A, Saeedavi FH, Kargari A. A study on the mechanism of pore formation through VIPS-NIPS technique for membrane fabrication. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2022 Apr 25;108:54-71.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.12.023>

مترجم: علیرضا کرفی

Drying PVDF powder at 80 °C



1.80 g PVDF



Dissolution of PVDF at 60 °C



Degassing at 60 °C

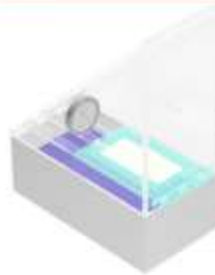


Preparation of the PVDF polymeric solution

Fabrication of the PVDF membrane



Immersing the polymeric film into the non-solvent (water and ethanol) coagulation bath



Exposing the wet polymeric film into the humid environment (RH=95% and T=35 °C)



Casting the polymeric solution with a 300- μ m casting knife