POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

بهینه‌سازی ساختار فین‌های درختی شکل برای بهبود عملکرد ترمودینامیکی در ذخیره‌سازی گرمای نهان

چکیده

فین‌های درختی شکل به طور گسترده‌ای برای افزایش عملکرد انتقال حرارت در زمینه ذخیره‌سازی گرمای نهان تایید شده‌اند. با این حال، ساختار فین‌های درختی شکل باید برای تقویت مزایای عملکردی آن بهینه شود، که به ندرت در مطالعات قبلی به آن پرداخته شده است. مدل عددی ناپایداری برای مطالعه مزایای عملکرد حرارتی فین‌های درختی شکل ایجاد شده است. روش ادغام الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی CFD برای بهینه‌سازی ساختار فین‌های درختی شکل بر اساس فرآیندهای ذوب و انجماد ماده‌ای تغییر فاز دهنده (PCM[1]) استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بهینه‌سازی ساختاری برای کاربرد فین‌های درختی شکل به‌ویژه در سیستم‌های ذخیره‌سازی گرمای نهان مهم و ضروری است. در مقایسه با فین‌های شعاعی، فین‌های درختی شکل بهینه شده زمان انتقال فاز را 38.83 درصد در فرآیند ذوب و 32.71 درصد در فرآیند انجماد کاهش می‌دهند. همچنین، فین‌های درختی شکل بهینه شده، میانگین نرخ انتقال حرارت و میانگین ضریب انتقال حرارت را در فرآیند ذوب 65.7% و 65.54% و در فرآیند انجماد به ترتیب 51.51% و 51% افزایش می‌دهند. همچنین نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد که فین‌های درختی شکل بهینه‌شده بر اساس فرآیندهای مختلف انتقال حرارت، همه ویژگی‌های افزایش تدریجی طول شاخه و کاهش زاویه شاخه یعنی $L_0<L_1<L_2$، $\beta_1>\beta_2$ را نشان می‌دهند. جالب توجه است، ساختار بهینه‌شده فین‌های درختی شکل مبتنی بر ذوب PCM با فرآیند انجماد PCM به دلیل تفاوت در

[1] Phase Change Material

مکانیسم‌های انتقال حرارت متفاوت است. این مطالعه روشی را برای بهینه‌سازی ساختاری فین‌های درختی شکل ارائه نموده و چشم‌انداز کاربرد فین‌های درختی شکل را در زمینه ذخیره‌سازی گرمای نهان افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: ذخیره‌سازی گرمای نهان، فین، شبیه‌سازی CFD، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک.

Keywords: Latent heat storage, Fin, CFD simulation, Optimization, Genetic algorithm.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر روشی با ادغام الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی CFD برای انجام بهینه‌سازی ساختار فین‌های درختی شکل در PCM استفاده می‌شود. به منظور بهبود ذخیره‌سازی گرما و نرخ رهاسازی بین PCM و HTF[2] ، LHSU[3] پوسته سه لوله همراه با فین طراحی شده است. مزایای فین‌های درختی شکل برای افزایش نرخ انتقال فاز PCM با استفاده از روش‌های عددی ارزیابی شده است. ساختارهای فین بهینه شده تحت شرایط فرآیندهای مختلف انتقال حرارت PCM مقایسه شده‌اند. در نهایت، مزایای عملکرد ترمودینامیکی PCM با ساختارهای مختلف فین بررسی و مقایسه می‌شود.

۱) در مقایسه با فین‌های شعاعی، فین‌های درختی شکل دارای مزایای عملکرد ترمودینامیکی آشکار در سیستم ذخیره گرمای نهان هستند. در طول فرآیند ذوب، فین‌های درختی شکل یکنواخت غیر بهینه زمان تغییر فاز را به میزان 15.94% کاهش می‌دهند و میانگین نرخ ذخیره‌سازی گرما و ضریب انتقال حرارت را به ترتیب 20.13% و 25.76% افزایش می‌دهند. در طول فرآیند انجماد، فین‌های درختی شکل یکنواخت غیربهینه زمان تغییر فاز را به

[2] Heat transfer fluid

[3] Latent heat storage unit

میزان 13.08 درصد کاهش می‌دهند و میانگین نرخ آزادسازی گرما و میانگین ضریب انتقال حرارت را به ترتیب 17.30 درصد و 22.76 درصد افزایش می‌دهند.

۲) در مقایسه با فین‌های درختی شکل یکنواخت غیر بهینه، مزایای عملکرد ترمودینامیکی فین‌های درختی شکل پس از بهینه‌سازی ساختار بیشتر تقویت می‌شود که نشان می‌دهد بهینه‌سازی ساختاری برای کاربرد فین‌های درختی شکل در گرمای نهان مهم و ضروری است. سیستم‌های ذخیره‌سازی در طی فرآیند ذوب، فین‌های نوع II-1 زمان تغییر فاز را تا 27.22% کاهش داده و نرخ میانگین ذخیره‌سازی گرما و ضریب انتقال حرارت را به ترتیب 37.93% و 31.63% افزایش می‌دهند. در طی فرآیند انجماد، فین‌های نوع II-2 زمان تغییر فاز را تا 22.58% کاهش داده و نرخ متوسط آزادسازی گرما و ضریب انتقال حرارت را به ترتیب 29.16% و 23.01% افزایش می‌دهند.

۳) فین‌های درختی شکل بهینه شده بر اساس فرآیندهای مختلف انتقال حرارت، همه ویژگی‌های $L_0<L_1<L_2$ ، $\beta_1>\beta_2$ را نشان می‌دهند. این امر باعث افزایش یکنواختی توزیع جرم فین‌ها در PCM برای انتقال حرارت بهتر می‌شود.

۴) ساختار فین‌های درختی شکل بهینه شده بر اساس فرآیند ذوب با ساختارهای مبتنی بر فرآیندهای انجماد به دلیل تفاوت در مکانیسم انتقال حرارت متفاوت است. طول بیش از حد بزرگ شاخه دوم باعث تضعیف همرفت طبیعی در PCM می‌شود اما رسانایی گرما را افزایش می‌دهد.

۵) فین درختی شکل یکنواخت غیر بهینه در افزایش عملکرد ترمودینامیکی PCM در فرآیند ذوب موثرتر از فرآیند انجماد است. فین‌های نوع II-1 در افزایش عملکرد ذوب موثرتر از فین‌های نوع II-2 هستند که عملکرد انجماد را افزایش می‌دهند.

Reference:

Shen, Yongliang, et al. "Structure optimization of tree-shaped fins for improving the thermodynamic performance in latent heat storage." *International Journal of Thermal Sciences* 184 (2023): 108003.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.108003

ترجمه و ویرایش: دانیال ابراهیم‌زاده

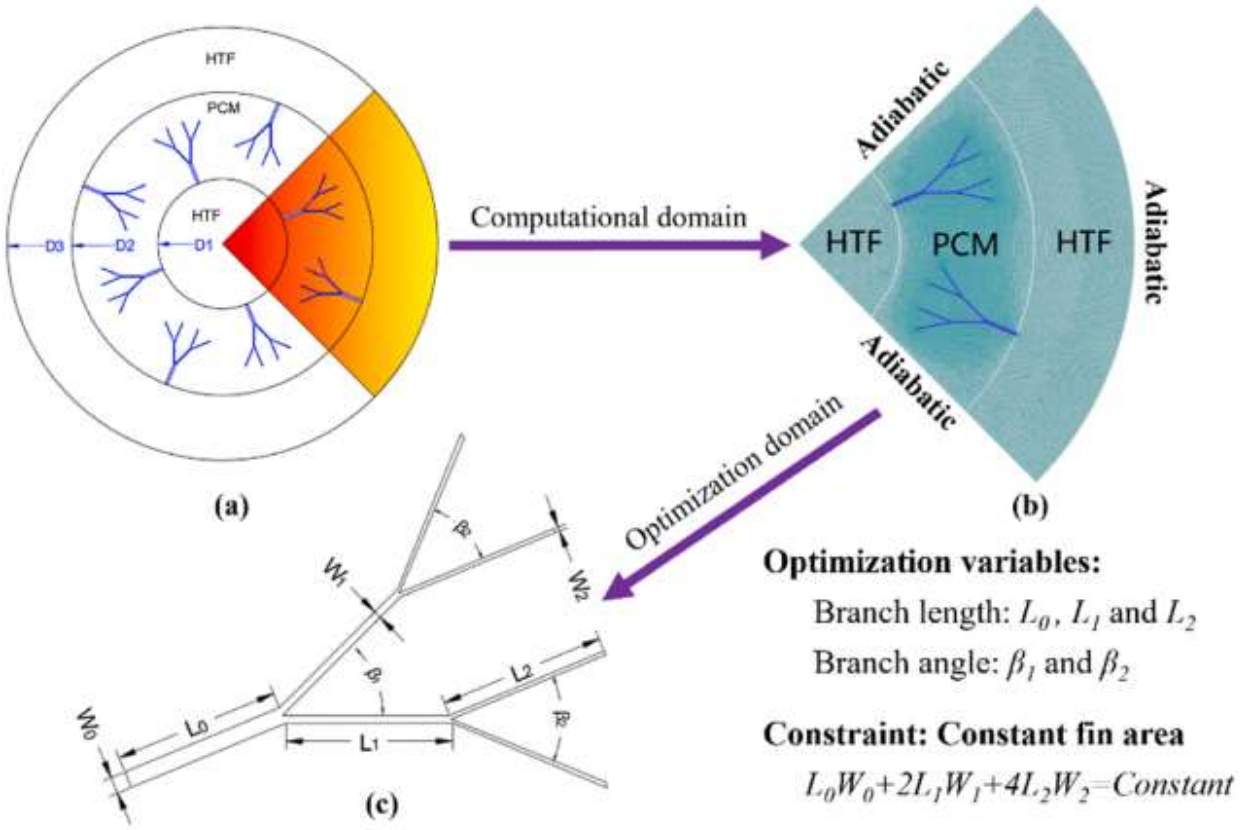

Fig. 1. 2-D physical models of (a) three-tube-shell LHSU, (b) computational domain and (c) tree-shaped fin.