

بررسی خواص حرارتی و مکانیکی کامپوزیت‌های کربن-اپوکسی

فاطمه سادات جلالی *^۱، جواد کریمی ثابت^۲، احمد ذوالفقاری^۳

۱- دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه چرخه سوخت

۲- سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

چکیده:

سانتریفوژهای گازی در جداسازی ایزوتوپ‌های اورانیوم و فرآیند غنی‌سازی در میان روش‌های غنی‌سازی از جایگاه مطلوبی برخوردارند، لذا بررسی عوامل موثر بر کارکرد سانتریفوژهای گازی به منظور بالا بردن راندمان جداسازی از اهمیت بالایی برخوردار است، از جمله عوامل موثر بر راندمان جداسازی در سانتریفوژهای گازی ارتفاع و سرعت چرخش روتور سانتریفوژ گازی است، با بالا بردن این دو پارامتر میتوان راندمان جداسازی در سانتریفوژ گازی را افزایش داد، یکی از عوامل موثر در افزودن سرعت روتور، جنس ماده سازنده روتور است، در حال حاضر مواد کامپوزیتی بدلیل استحکام ویژه بالای خود، جایگزین مناسبی بجای آلیاژهای فلزی محسوب می‌شوند. باتوجه به موارد ذکر شده، بررسی خواص فیزیکی ترکیبات کامپوزیتی در ساخت بدنه روتور از اهمیت بالایی برخوردار است. در مقاله حاضر، خواص حرارتی و مکانیکی کامپوزیت‌های کربن اپوکسی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج جهت ساخت کامپوزیت بهینه ارائه شده است.

کلید واژه: کامپوزیت، خواص حرارتی، خواص مکانیکی، اپوکسی، کربن

مقدمه:

خواص فیزیکی کامپوزیت‌ها تابع عواملی چون میزان کسر حجمی افزودنی‌ها و چگونگی توزیع آن‌ها در کامپوزیت است، لذا اندازه گیری خواص حرارتی و مکانیکی ترکیبات کامپوزیتی جهت بهینه سازی کسر حجمی و توزیع افزودنی، به منظور ساخت ماده کامپوزیتی مناسب در فرآیندهای صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعات نشان می‌دهد، کامپوزیت‌های کربن اپوکسی از استحکام مکانیکی به نسبت بالایی برخوردارند ولی این ترکیبات نیز همچون بسیاری از ترکیبات کامپوزیتی، خواص حرارتی ضعیفی دارا هستند. مواد کامپوزیتی باتوجه به داشتن استحکام ویژه بالا در ساخت بدنه روتور از جایگاه مناسبی برخوردارند، از سوی دیگر نظر به اهمیت انتقال حرارت در روتور، باید میزان ضریب انتقال حرارت در این ترکیبات را با

استفاده از افزودنی های مناسب تا حد ممکن افزود، عامل محدودکننده در این راستا استحکام مکانیکی کامپوزیت است. در این مقاله ضریب هدایت حرارتی و استحکام مکانیکی کامپوزیت های کربن اپوکسی با هدف تعیین درصد بهینه افزودنی در ساخت بدنه روتور بررسی شده است. [۱ و ۲ و ۳]

اندازه گیری خواص حرارتی:

همانطور که پیش از این بیان شد در ساخت بدنه روتور، به ماده ای با انتقال حرارت بالا نیاز داریم، برای این منظور ضریب هدایت حرارتی در کامپوزیت کربن اپوکسی را اندازه گیری می کنیم، جهت اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی از روش مقایسه ای بر مبنای استاندارد ASTM E1225 استفاده شده است. سیستم اندازه گیری از سه بلوک تشکیل شده است، بلوک بالایی و پایینی از موادی با خواص حرارتی معلوم انتخاب می شوند، ماده مورد استفاده در این کار، در ساخت دو بلوک بالا و پایین، فولاد ضدزنگ می باشد، بلوک میانی از ماده کامپوزیتی که قصد اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی آن را داریم، ساخته می شود، ستون بلوک ها از بالا، توسط یک هیتر الکتریکی که متصل به برق شهر است، گرم می شوند، حرارت پس از عبور از ستون بلوک ها از بخش پایینی سیستم اندازه گیری به بیرون دفع می شود، به منظور کاهش تلفات حرارتی ستون بلوک ها از اطراف توسط ماده عایقی احاطه شده است، ماده عایق مورد استفاده در این سیستم تفلون می باشد. ضریب هدایت حرارتی با اندازه گیری درجه حرارت در دو سمت هر کدام از بلوک ها و با استفاده از رابطه (۱) تعیین می شود، در این رابطه، λ_{Ref1} , λ_{Ref2} , λ_{Comp} بترتیب ضریب هدایت حرارتی در نمونه کامپوزیتی ساخته شده، ضریب هدایت حرارتی در دو بلوک فولادی بالا و پایین، T_2, T_1 درجه حرارت در سمت بالا و پایین بلوک فولادی بالایی، T_6, T_5 درجه حرارت در سمت بالا و پایین بلوک فولادی تحتانی، T_4, T_3 درجه حرارت در سمت بالا و پایین نمونه کامپوزیتی، Z_2, Z_1 فاصله محل قرارگیری ترموکوپل در بخش بالایی و پایینی بلوک فولادی فوقانی، Z_4, Z_3 فاصله محل قرارگیری ترموکوپل در بخش بالایی و پایینی بلوک کامپوزیتی و Z_6, Z_5 فاصله محل قرارگیری ترموکوپل در بخش بالایی و پایینی بلوک فولادی تحتانی از سطح تراز را نشان می دهند. [۴ و ۵]

$$\lambda_{comp} = \left(\frac{Z_4 - Z_3}{T_4 - T_3} \right) \times \left(\lambda_{Ref1} / 2 \times \frac{T_2 - T_1}{Z_2 - Z_1} + \lambda_{Ref2} / 2 \times \frac{T_6 - T_5}{Z_6 - Z_5} \right) \quad (1)$$

برای اندازه‌گیری درجه حرارت در دو سمت هرکدام از بلوک‌ها از ترموکوپل‌های Pt100 استفاده شده است، برای افزودن سطح تماس بهتر در محل اتصال ترموکوپل با بلوک‌ها، سطح ترموکوپل‌ها به ژل سیلیکون آغشته شده است. [۶]

اندازه‌گیری خواص مکانیکی:

جهت تعیین خواص مکانیکی نمونه‌های کامپوزیتی، استحکام کششی نمونه‌های کامپوزیتی اندازه‌گیری می‌شود، این کار با استفاده از استاندارد ASTM 03039-76 انجام شده است، نمونه کامپوزیتی در ابعاد مطلوب به شکل بلوک‌های مکعب مستطیلی از دو سمت انتهایی، در دستگاه اندازه‌گیری ثابت می‌شود و پس از تنظیم سرعت از دو سمت کشیده می‌شود، در این کار سرعت کشش $5 \frac{mm}{min}$ تنظیم شده است. [۷]

انتخاب افزودنی و ساخت نمونه‌های کامپوزیتی جهت اندازه‌گیری حرارتی و مکانیکی:

برطبق مطالعات انجام شده کامپوزیت‌های کربن اپوکسی، ضریب هدایت حرارتی چندان بالایی ندارند، لذا جهت استفاده از آن‌ها در ساخت بدنه روتور باید ضریب هدایت حرارتی آن‌ها را با استفاده از افزودنی مناسب بالا برد، انتخاب این افزودنی در ساخت روتور، تابع عواملی چون دانسیته افزودنی، ضریب هدایت حرارتی و خصوصیات مکانیکی افزودنی است، درکنار عوامل مذکور برقراری پیوند خوب افزودنی با مواد زمینه کامپوزیت نیز حائز اهمیت می‌باشد. [۸]

نظر به عوامل فوق پودر آلومینیوم به‌عنوان افزودنی مناسب در ساخت کامپوزیت تشخیص داده شده است. نمونه‌های کامپوزیتی به روش پیچش الیاف ساخته شده و در مرحله بعد جهت اندازه‌گیری خواص حرارتی و مکانیکی برش داده می‌شوند، نمونه‌های کامپوزیتی در دو حالت توزیع الیاف با زاویه صفر و ۹۰ درجه مورد بررسی قرار داده می‌شوند، حالت اول، یک نمونه کامپوزیت طولی و حالت دوم، یک نمونه کامپوزیت عرضی خوانده می‌شود. جهت اندازه‌گیری حرارتی از بلوک‌های مکعب مستطیل به ابعاد $20 \times 20 \times 15 \text{ mm}^3$ و جهت اندازه‌گیری مکانیکی از بلوک‌هایی به $22.86 \times 1.27 \times 0.3175 \text{ cm}^3$ استفاده شده است. جدول (۱) مشخصات ترکیبات سازنده نمونه‌های کامپوزیتی را ارائه می‌کند.

جدول (۱) ترکیبات سازنده نمونه های کامپوزیتی

مواد	ضریب هدایت حرارتی $\left(\frac{w}{m \cdot k}\right)$	ابعاد (μm)	دانسیته $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
رزین اپوکسی	۹/۳۶	—	۱۱۰۰
پودر آلومینیوم	۰/۱۹	۴۵	۲۲۰۰
الیاف کربن	۱۷۰	۷	۲۷۵۰

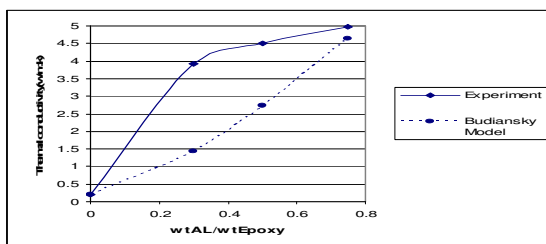
نتایج حاصل از اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی در نمونه های کامپوزیتی:

ضریب هدایت حرارتی در نمونه های کامپوزیتی با استفاده از سیستم اندازه گیری توضیح داده شده در ۴ نمونه اندازه گیری شده است، جدول (۲) میزان درصد وزنی نمونه های کامپوزیتی را نشان می دهد.

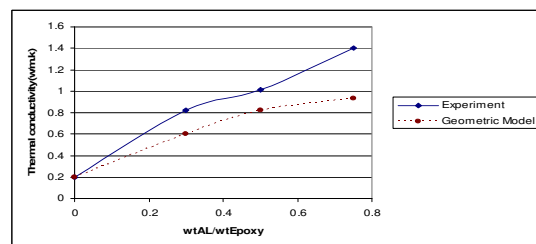
جدول (۲) درصد وزنی نمونه های کامپوزیتی جهت اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی

شماره نمونه	کسر وزنی رزین (wt)	کسر وزنی آلومینیوم (wt)	کسر وزنی کربن (wt)
۱	۱	۰	۰
۲	۰/۶۵	۰/۲۱	۰/۱۶
۳	۰/۶۳	۰/۲۱۵	۰/۳۵۵
۴	۰/۴۳	۰/۲۳۳	۰/۴۵۷

نتایج حاصل از اندازه گیری درجه حرارت پس از رسیدن سیستم به حالت پایا، خوانده شده و با استفاده از رابطه (۱) ضریب هدایت حرارتی نمونه کامپوزیتی تعیین می شود. اشکال (۲) و (۳) مقادیر ضریب هدایت حرارتی در نمونه های کامپوزیتی طولی و عرضی را ارائه می کنند، افزون بر آن، ضریب هدایت حرارتی کامپوزیت نوع عرضی، با ضریب هدایت حرارتی حاصل از مدل Budiansky [۹] و ضریب هدایت حرارتی کامپوزیت نوع طولی، با ضریب هدایت حرارتی حاصل از مدل Geometry [۹] مقایسه شده است، بطوریکه ملاحظه می شود، نتایج اندازه گیری تجربی با نتایج حاصل از مدل های تئوری تطابق خوبی دارد.



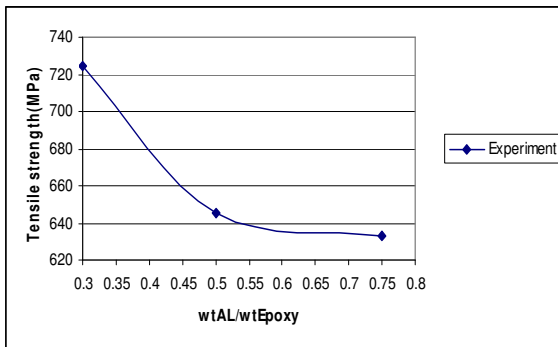
شکل (۳) ضریب هدایت حرارتی کامپوزیت عرضی با افزودن کسر حجمی افزودنی



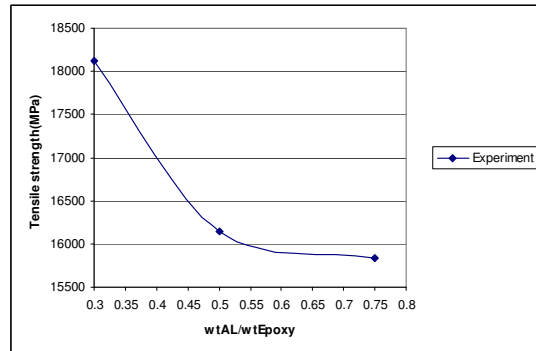
شکل (۲) ضریب هدایت حرارتی کامپوزیت طولی با افزودن کسر حجمی افزودنی

نتایج حاصل از اندازه گیری استحکام مکانیکی در نمونه های کامپوزیتی:

استحکام مکانیکی در نمونه های کامپوزیتی با استفاده از سیستم اندازه گیری توضیح داده شده در نمونه های دوم تا چهارم ارائه شده در جدول (۲) در دو حالت طولی و عرضی اندازه گیری شده است. نتایج حاصل از اندازه گیری استحکام کششی در نمونه های کامپوزیتی، در اشکال (۳) و (۴) ارائه شده است.



شکل (۴) استحکام کششی کامپوزیت عرضی با افزودن کسر حجمی افزودنی



شکل (۳) استحکام کششی کامپوزیت طولی با افزودن کسر حجمی افزودنی

بحث و نتیجه گیری :

همانطور در اشکال (۱) و (۲) ملاحظه می شود، ضریب هدایت حرارتی کامپوزیت، با افزودن میزان آلومینیوم روندی روبه رشد را طی می کند، از سوی دیگر با بررسی اشکال (۳) و (۴) ملاحظه می شود، استحکام کششی کامپوزیت، با افزودن میزان افزودنی روندی نزولی را طی می کند، میزان استحکام همانند ضریب هدایت حرارتی، در نمونه های کامپوزیت طولی بیشتر از نمونه های کامپوزیت عرضی است، لذا اگر کامپوزیتی از استحکام مکانیکی مطلوبی در جهت عرضی برخوردار باشد، استحکام طولی خوبی نیز دارا خواهد بود، در جدول (۳) استحکام مکانیکی کامپوزیت نوع عرضی و برخی از ترکیبات فلزی و آلیاژی متداول در ساخت روتور ارائه شده است. [۲]

همانطور که ملاحظه می شود، نمونه های کامپوزیتی ساخته شده در مقایسه با آلیاژهایی چون آلومینیوم استحکام ویژه بالاتری برخوردارند. با توجه به اهمیت افزودن ضریب هدایت حرارتی، میزان افزودنی را باید بیشتر کرد، نظر به محدودیت مکانیکی، آزمایشات نشانگر آن است که بهترین مقدار، $wtAL / wtEpoxy = 0.5$ است.

جدول (۳) مقایسه استحکام مکانیکی نمونه‌های کامپوزیتی و برخی از ترکیبات فلزی و آلیاژی متداول

Material	Tensile Strength (kg/cm^2)	Density (gr/cm^3)	($Tensile\ strength / Density$)
Aluminum alloys	4,570	2.8	1632.143
High tensile steel	14,080	7.8	1805.13
Maraging steel	19,700	7.8	2526.64
Titanium	9,150	4.6	1989.13
Glass fiber	5,000	1.8	2777.78
Carbon fiber/Resin	8,450	1.6	5281.25
Carbon /AL/Resin $wAL/wR = 0.3$	7393.266	1.4	5280.904
Carbon /AL/Resin $wAL/wR = 0.5$	6583.08	1.6	4114.425
Carbon /AL/Resin $wAL/wR = 0.75$	6458.64	1.75	3690.65

مراجع:

- [1] Uranium enrichment by gas centrifuge, D.G.Avery, 1973, chapter 4.
- [2] D. A. de Andrade, J. L F.Bastos, Ann, Thermal Hydrodynamical Analysis of a Countercurrent Gas Centrifuge, Nucl. Energy, Vol. 25, No. I 1, p. 859-888, 1998.
- [3] Young Seok Song, Jae Ryouun Youn, Influence of dispersion states of carbon nanotubes on Physical properties of epoxy nanocomposites, carbon, vol. 43, p. 1378-1385, 2005.
- [4] Young Seok Song, Jae, Ryouun Yon, Evaluation of effective thermal conductivity for Carbon nano tube polymer composites using control Volume finite element method, Carbon, vol. 44, p. 710-717, 2006.
- [5] Designation: E1225-87, Annual book of ASTM standards, vol 14.03, 1988.
- [6] Fangming Du, Caaba Guthy, Takashi Kashiwagi, E.Fisker, Karen I.Winey John, An Filtration method for preparing single wall nanotube epoxy composites with improved Thermal conductivity, journal of Polymer science, part, polymer physics, vol.44, P.1513-1519, 2006.
- [7] George.H.Staab, Laminar composites, Butter worth Heinemann publisher, 1999, chapter4.
- [8] H.M.Rosenberg, The thermal conductivity of epoxy -resin/metal-powder Composite Materials from 1.7 to 1300 k, journal applies physics, vol.9, 1976.
- [9] Hu Zhou, Shimin Zhang, Mingshu Yang, The effect of heat-transfer passages on the Effective thermal conductivity of high flier loading composite materials, Composites Science and Technology, vol.67, p.1035-1040, 2007.