بررسی استفاده از غلاف کامپوزیت مس–آلومینا به‌جای آلومینیوم در مجتمع‌های سوخت استاندارد راکتور تحقیقاتی تهران

قوامی،سید محسن* (۱) (۳)– شمسی گوشکی، مهدیه (۲) (۳)

[1]دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، دانشکده برق و کامپیوتر، گروه مهندسی هسته ای –راکتور

[2]دانشگاه شهید باهنر کرمان،دانشکده فنی ومهندسی،گروه مواد و متالورژی

[3]مجتمع مس شهید باهنر کرمان ، کارخانه لوله مسی

چکیده:

غلاف صفحه ای از جنس آلومینیوم در دوطرف صفحه های سوخت از جنس U_3O_8-AL راکتور تحقیقاتی تهران قرار گرفته است.کامپوزیت‌های زمینه مسی با هدایت حرارتی نسبتاً بالا و استحکام زیاد بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.کامپوزیت مس استحکام یافته با ذرات اکسید آلومینیوم پراکنده شده در آن،علاوه بر هدایت گرمایی بالاتر نسبت به آلومینیوم، سختی و استحکام بالایی در دماهای بالا از خود نشان می دهد.در این مقاله به تحلیل استفاده از غلاف کامپوزیت مس–آلومینا در مجتمع های سوخت استاندارد راکتور تحقیقاتی تهران با استفاده از کدهای PARCS2.6 و WIMSD-4 پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: *-کامپوزیت مس آلومینا-غلاف-WIMSD-PARCS-هدایت گرمایی-استحکام*

Investigation of the use of copper-alumina composite clad instead of aluminum in standard fuel of Tehran Research Reactor (TRR)

Ghavami,seyed Mohsen[1, 3];shamsi gooshki,mahdieh[2,3]

[1]Graduate University of Advanced Technology, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Department of Nuclear Engineering

[2]Shahid Bahonar University of Kerman, Faculty of Engineering, Department of Materials Science and Engineering

[3]Shahid bahonar copper industries,directube factory

Abstract:

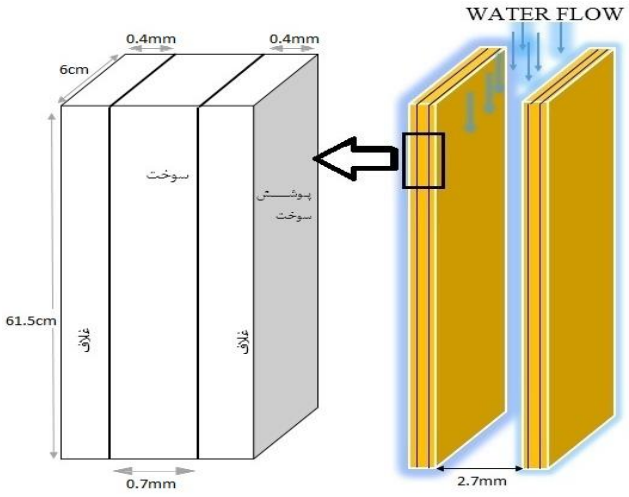
The aluminum plate is located on both sides of the U3O8-AL fuel in Tehran research reactor. The copper matrix composites with high thermal conductivity and high strength are very much considered. Copper composite reinforced with dispersed aluminum oxide particles, in addition to the higher thermal conductivity than aluminum, exhibits high hardness and strength at high temperatures. This paper analyzes the use of copper-alumina composite clads in standard fuel elements of Tehran research reactor using PARCS2.6 and WIMSD-4 codes.

Key words: copper-alumina composite,clad,WIMS-D,PARCS, thermal conductivity, strength

مقدمه :

کامپوزیتهای زمینه فلزی از ادغام دو یا چند ماده با خواص سازگار با یکدیگر تشکیل میشوند که مزایای هر دو فاز زمینهٔ فلزی و تقویت‌کننده دارند.نانوکامپوزیتهای مس– آلومینا شامل ویژگیهای هر دو فاز مس و آلومینا هستند؛ بدین‌معنی‌که هدایت حرارتی بالا از فاز مس، و استحکام زیاد و پایداری شیمیایی و حرارتی بالا از فاز آلومینا تأمین میشود. هدایت حرارتی بالا، مقاومت سایشی مناسب، پایداری دربرابر گرما، رفتار خستگی پرچرخهٔ بهتر نسبت‌به مس تقویت‌نشده مهمترین دلایل برای این کاربردهاست[۱] .در واقع ذرات آلومینا مانع از حرکت نابجاییها میشود و از آن جا که ذرات آلومینا در دمای بالا کلوخه [1] نمیشوند و رشد نمیکنند، این کامپوزیت استحکام مناسبی در دمای بالا دارد [۲].

ساخت راکتور تحقیقاتی تهران در سال ۱۳۴۰ توسط شرکت AMF در منطقه امیرآباد تهران آغاز شده است.غلاف المان سوخت در قلب راکتور هسته‌ای ،در مواقع حادثه از جمله حوادث انسداد در مسیر جریان آب خنک کننده ، دماهای بسیار بالا را تجربه می‌کند[۳].غلاف به‌عنوان یک مانع از آزادشدن مواد رادیواکتیو به خنک‌کننده جلوگیری می‌کند و جلوی تاب خوردگی قلب را نیز می گیرد.غلاف تحت تنش‌های نسبتا شدیدی قرار دارد از پیرامون به خاطر فشار سیال خنک کننده و از داخل به خاطر فشار گازهای حاصل از شکافت و نیز ورم (بادکردگی[2]) المان سوخت.همچنین غلاف تحت تنشهای حرارتی بالایی ناشی از شیب حرارتی زیاد در ضخامت خودش نیز می‌باشد[۴].شکل ۱ غلاف و اندازه‌های آن را در راکتور تحقیقاتی تهران نمایش می‌دهد. برای جلوگیری از نابودشدن غلاف و افزایش استحکام و بهبود انتقال حرارت ، استفاده از کامپوزیت مس-آلومینا به جای آلومینیوم پیشنهاد گردیده‌است.در مقاله پیش‌رو چیدمان قلب اول راکتور تهران با سوخت LEU مورد بررسی و مدلسازی آن در دو حالت غلاف آلومینیومی و کامپوزیت مس-آلومینا انجام گرفته‌است.



شکل شماره (۱): غلاف سوخت در راکتور تحقیقاتی تهران

[1] Agglomerate
[2] Swelling

مشخصات قلب و سوخت راکتور:

قلب دارای ۵۴ محل بالقوه برای قرارگیری مجتمع‌های سوخت می‌باشد. مجتمع های سوخت به دو دسته استاندارد و کنترلی تقسیم می‌شوند.مجتمع سوخت استاندارد از ۱۹ صفحه سوخت که در فضای بین آنها آب می باشد تشکیل شده‌است و همواره به طور ثابت در داخل قلب قراردارند.مجتمع سوخت کنترلی در داخل خود میله‌های کنترل را جای داده‌اند که در دو نوع ایمنی و تنظیمی می‌باشند.نوع ایمنی دارای خاصیت جذب نوترونی بیشتری نسبت به نوع دیگر است لذا از نوع تنظیمی بیشتر برای تنظیم دقیق توان استفاده می‌شود.از ۵ مجتمع کنترلی استفاده شده در قلب ۴ عدد آن ایمنی و یک عدد تنظیمی می‌باشد. محل‌های خالی مناسب برای قراردادن نمونه ها با IR-BOX نمایش داده شده‌اند چیدمان قلب شماره یک در شکل ۲ آمده است. ترکیب شیمیایی سوخت به صورت $U_3O_8 - Al$ می‌باشد.

کامپوزیت مس-آلومینا:

کامپوزیت زمینه مسی، استحکام و پایداری حرارتی زیادی در دمای بالا دارد.به‌عبارتی کامپوزیت مس-آلومینا ، هدایت حرارتی بالای مس و استحکام زیاد و پایداری شیمیایی و حرارتی آلومینا را دارد. مس می‌تواند با پراکنده شدن ذراتی مثل اکسیدها، کاربیدها و بوریدها در آن، استحکام پراکندگی به‌دست آورد. استحکام بخشی مس با توزیع اکسید در آن به عنوان یک روش کارآمد برای افزایش استحکام مس بدون کاهش جدی در هدایت الکتریکی و گرمایی آن، شناخته شده است.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A									
B		IR BOX	SFE	SFE	SFE	IR BOX			
C	IR BOX	CFE*	SFE	CFE	SFE	SFE	IR BOX		
D	IR BOX	SFE	CFE	SFE	CFE	SFE	IR BOX		
E	IR BOX	SFE	SFE	CFE	SFE	IR BOX			
F		IR BOX	SFE	SFE	IR BOX				

شکل شماره (۲): چیدمان قلب شماره یک راکتور تحقیقاتی تهران: * مجتمع کنترلی نوع تنظیمی

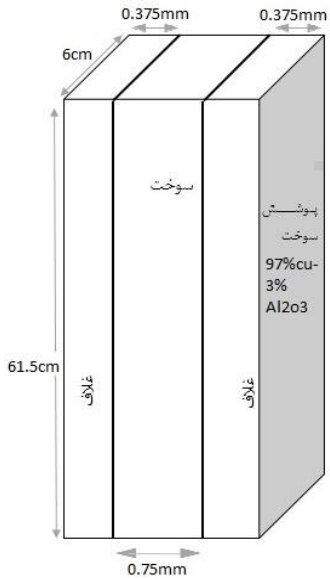
مس تقویت شده با توزیع اکسید در آن، در کنار هدایت حرارتی بالا، مقاومت خود را در برابر نرم شدن در دمای بالا حفظ می‌کند[۵]. در [۶] ، امکان تولید ذرات نانوآلومینای پراکنده در زمینه‌ی مسی با روش آلیاژسازی مکانیکی محلول جامد مس- آلومینیوم در اتمسفر اکسیژن مورد بررسی قرار گرفته‌است. آلومینا به‌دلیل خواص خوب مانند تافنس[1] بالا، سختی بالا و دانسیته‌ی حجمی پایین به‌عنوان ماده‌ی تقویت‌کننده

[1] Toughness

استفاده می‌شود، علاوه براین آلومینا از بسیاری از مواد سرامیکی و فلزی دیگر که به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شوند، ارزان‌تر بوده و پایداری حرارتی بالا در دماهای بالا از ویژگی‌های آن است [۷]. اثبات شده است که این کامپوزیت‌ها مقاومت بالایی را در مقابل نرم شدن حتی بعد از قرارگیری در دماهای نزدیک به نقطه‌ی ذوب مس از خود نشان می‌دهند که ناشی از وجود ذرات تقویت‌کننده‌ی پایدار است، که مرزدانه‌ها را قفل کرده است [۸].تحقیقات نشان داده که سختی، از ۱۹ برینل[1] برای آلومینیوم خالص در فشار 50MPa [9] به ۱۵۲ برینل برای نانوکامپوزیت‌های تولیدشده به روش مکانیکی افزایش می یابد[9]. اینجا از محلول جامد مس به‌همراه ۳ درصد آلومینیوم استفاده شده‌است که با اکسیداسیون داخلی آلومینیوم موجود ، ذرات نانو آلومینا در زمینه مسی تشکیل شدند. نانوکامپوزیت حاوی ۳ درصد وزنی آلومینا، بهترین نتایج مربوط به سختی و هدایت حرارتی را از خود نشان داده است[10].

مدل شبیه‌سازی شده :

درتحقیق پیش‌رو برای انجام شبیه‌سازی عملکرد از کدهای PARCSv2.6 و WIMSD-4 استفاده شده‌است.قلب راکتور در ارتفاع به ۱۰۰ ناحیه تقسیم شده‌است.برای حل معادله پخش نوترون داشتن ثوابت گروهی مورد نیاز است که در این تحقیق این ثوابت توسط کد WIMS تولید می‌شوند.حالتهای مختلف بسته‌های سوخت استاندارد ، کنترلی نوع تنظیمی ، کنترلی نوع ایمنی و IR-BOX جداگانه در کد WIMS اجرا گردیدند. ثوابت گروهی اخذ شده در بلوک XSEC از کد PARCS وارد می‌شوند.به‌منظور بحرانی شدن راکتور حین استفاده از غلاف کامپوزیت مس-آلومینا ، عرض سوخت هر بسته سوخت استاندارد از ۰,۷ میلیمتر به ۰,۷۵ میلیمتر افزایش (افزایش ۷,۱ درصدی) و عرض غلاف از ۰,۴ میلیمتر به ۰,۳۷۵ میلیمتر کاهش داده شد(کاهش۶,۲۵ درصدی).شکل شماره۳ مشخصات صفحه سوخت پیشنهادی را نمایش می‌دهد.



[1] Brinell hardness

شکل شماره (۳): صفحه سوخت پیشنهادی

نتایج :

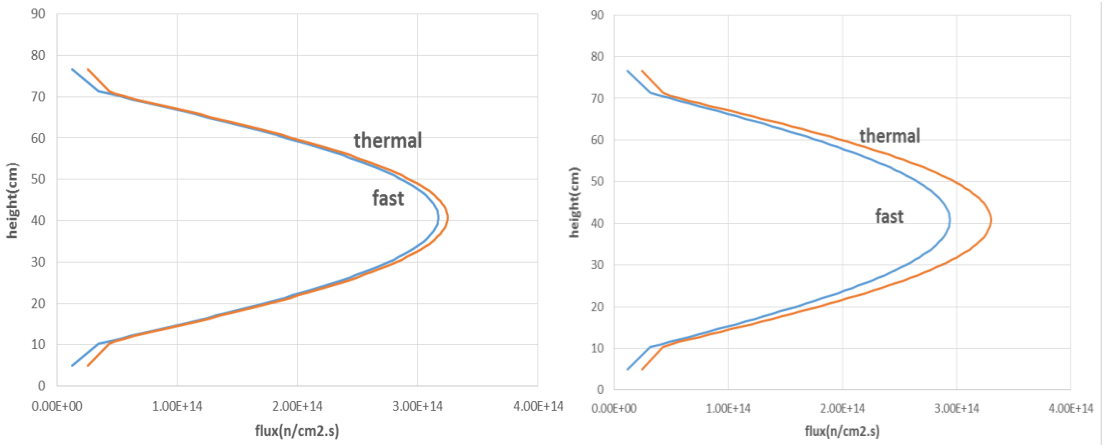
در جدول ۱ ثوابت گروهی یسته‌های سوخت استاندارد در دو حالت غلاف آلومینیومی و غلاف کامپوزیت مس-آلومینا ، کنترلی نوع تنظیمی ، کنترلی نوع ایمنی و IR-BOX بدست‌آمده از کد WIMS آورده شده‌است. نوع کنترلی بدون جاذب به عنوان معرف ناحیه‌هایی که صفحه‌های کنترلی بالا رفته‌اند ، می‌باشد.

جدول شماره (۱) : ثوابت گروهی حاصل از اجرای کد WIMSD-4

نوع	گروه	D	Sigma-a	Nu-sigma-f	Sigma-s
سوخت استاندارد غلاف آلومینیومی	1	۵,۳۶۷۱۶۱E-01	۶,۷۶۸۶۳۹E-03	۵,۱۱۳۴۷۱E-03	۱,۵۴۰۳۱۸E-01
	2	۴,۷۸۶۰۶۵E-02	۱,۵۴۸۵۷۲E-01	۱,۸۶۰۲۴۱E-01	۰,۰۰۰۰۰۰E+00
سوخت استاندارد غلاف کامپوزیت مس-آلومینا*	1	5.393460E-01	7.972747E-03	5.470964E-03	1.539186E-01
	2	4.675270E-02	1.812112E-01	2.036713E-01	0.000000E+00
سوخت کنترلی تنظیمی	1	۵,۴۶۰۱۳۲E-01	۶,۱۵۴۴۴۴E-03	۴,۳۷۸۴۶۳E-03	۱,۴۶۶۳۲۷E-01
	2	۵,۱۳۳۲۷۸E-02	۱,۴۱۴۴۸۶E-01	۱,۴۶۱۵۹۷E-01	۰,۰۰۰۰۰۰E+00
سوخت کنترلی ایمنی	1	۵,۵۴۸۸۰۴E-01	۱,۶۶۵۴۷۵E-02	۴,۴۹۳۸۸۹E-03	۱,۳۶۲۳۸۴E-01
	2	۴,۷۶۶۵۴۵E-02	۱,۹۱۶۸۶۴E-01	۱,۹۳۰۵۲۵E-01	۰,۰۰۰۰۰۰E+00
سوخت کنترلی بدون جاذب	1	۵,۱۲۸۵۲۷E-01	۶,۳۳۸۶۱۵E-03	۴,۶۶۵۶۹۴E-03	۱,۶۴۶۵۰۷E-01
	2	۴,۵۳۸۸۹۸E-02	۱,۳۳۹۱۲۸E-01	۱,۳۶۵۰۷۸E-01	۰,۰۰۰۰۰۰E+00
IR-BOX	1	۳,۴۰۰۶۷۳E-01	۲,۰۲۸۳۶۲E-03	۵,۴۳۳۸۸۴E-05	۲,۷۴۰۷۱۳E-01
	2	۲,۷۵۳۱۱۴E-02	۱,۰۵۴۴۳۶E-01	۸,۰۵۷۲۱۱E-05	۰,۰۰۰۰۰۰E+00

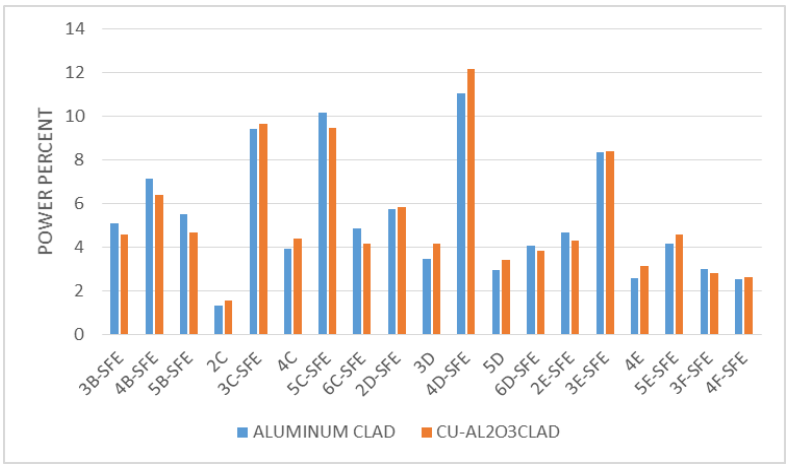
*97%Cu-3%Al_2O_3

با استخراج ثابت‌های گروهی بدست‌آمده از غلاف‌های آلومینیوم و مس-آلومینا در دو گروه سریع و حرارتی ، مربوط به اولین چیدمان قلب سوخت‌های غنای پایین راکتور تحقیقاتی تهران توسط کد WIMS-D4 و ورود آن‌ها در کد PARCSv2.6 ، ضریب تکثیر نوترون برای هنگام بالابودن میله‌های کنترل برای غلاف آلومینیوم ۱,۰۵۶۴۴۶ و برای غلاف مس-آلومینا ۱,۰۰۸۸۱۹ می‌باشد.توزیع شار محوری نوترون در شکل ۴ برای دو حالت غلاف مقایسه شده‌است.در شکل ۵ ، میزان سهیم بودن هر مجتمع در توان کل قلب آورده شده و با هم مقایسه شده‌اند.



الف:قلب با غلاف آلومینیوم ب: قلب با غلاف مس-آلومینا

شکل شماره (۴): توزیع شار محوری نوترون



شکل شماره (۵): مقایسه توان هر مجتمع (درصد توان)

نتیجه گیری :

کامپوزیت مس-آلومینا دارای خواص استحکام ، پایداری حرارتی و هدایت گرمایی بهتری نسبت به آلومینیوم می‌باشد. ازآنجایی که غلاف المان سوخت در قلب راکتور هسته‌ای،در مواقع حادثه ازجمله حوادث انسداد در مسیر جریان آب خنک‌کننده ، دماهای بسیار بالا را تجربه می‌کند، به‌منظور افزایش تبادل حرارت سوخت به خنک‌کننده و کاهش احتمال تغییر شکل غلاف در راکتور ، استفاده از این کامپوزیت برای استفاده در غلاف مجتمع‌های سوخت استاندارد به‌جای آلومینیوم در راکتور تحقیقاتی تهران پیشنهاد گردید.با استفاده‌از ترکیب جدید دستیابی به نقطه ذوب بیش‌از نقطه ذوب مس امکان‌پذیر می‌شود که افزایش جالب توجهی نسبت به نقطه ذوب آلومینیوم بدنبال دارد. برخی‌از پارامترهای نوترونیکی قلب مربوطبه اولین چیدمان قلب سوخت‌های غنای پایین با غلاف آلومینیوم محاسبه و با غلاف مس-آلومینا ۳ درصد AL2O3 مقایسه گردید که حاکی از عملکرد مطلوب راکتور با غلاف سوخت پیشنهادی می‌باشد. دیده‌شد سهم مجتمع‌های سوخت استاندارد در تامین توان قلب ۲,۳۹ درصد کاهش یافت.

مراجع :

[۱] اشکان موتمن ، اسماعیل صلاحی ، سنتز پودر نانوکامپوزیتی پایه فلزی مس– آلومینا از پودرهای اکسید مس و آلومینیوم بااستفاده از آسیاب سیاره ای پرانرژی ، مجله مواد مهندسی ، جلد ا ، شماره ۴ ، آبان ۱۳۸۸ ، صفحات ۴۰۱-۴۱۰

[۲] فهیمه شجاعی پور ، پروین عباچی ، کاظم پور آذرنگ ، امیرحسین مغنیان ، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت مس/ اکسیدکروم تولید شده به روش آلیاژسازی مکانیکی و اکسیداسیون داخلی ، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی / سال پنجم / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۰

[۳] رحمان قراری ،نعیم الدین متاجی کجوری ،امید صفرزاده ، مطالعه حادثه انسداد موضعی مسیر جریان در مجتمع سوخت گرم راکتور قدرت با استفاده از کد RELAP5، بیست و سومین کنفرانس هسته ای ایران ،اسفندماه ۱۳۹۵

[4] Jams J.Duderstadt,Louis J.Hamilton ,Nuclear Reactor Analysis

[5] S. Suresh, A. Mortensen, A. Needleman, Fundamentals of Metal Matrix Composites, USA, Butterworth-Heinemann, 1993.

[٦] مهدیه شمسی گوشکی ،امکان تولید ذرات نانو آلومینای پراکنده در زمینه‌ی مس با روش آلیاژسازی مکانیکی محلول جامد مس–آلومینیوم در اتمسفر اکسیژن ، دانشگاه شهید باهنر کرمان ، دانشکده فنی و مهندسی ، گروه مواد و متالورژی۱۳۹۲

[7] Zhang, F.L., Wang, C. Y., Zhu, M, Nanostructured WC/Co composite powder prepared by high energy ball milling, Scripta Materialia, 2003 , 49 , 11 , 1123-1128

[8] M. Besterci, J. Ivan, K. Ladislav, "Influence of Al2O3 Particles Volume Fraction on Fracture Mechanism in the Cu-Al2O3 System", J. Materials Letters, 46, 2000, pp. 181-184.

[۹] فرهاد صارمی ، تولید و مشخصه‌یابی کامپوزیت زمینه آلومینیوم به روش رخنه‌دهی تحت فشار مذاب در پیش‌ساخته‌های پوشش داده شده فولادی، دانشگاه صنعتی اصفهان ،۱۳۹۰

[۱۰]احسان جمال ریحان ،ساخت و بررسی نانوکامپوزیت مس–آلومینا ، دانشگاه تبریز ، دانشکده مکانیک و هوا فضا ،۱۳۹۳