بررسی مقاومت به خوردگی میله های سوخت رآکتور IR-40

سید علیرضا احمدی ، شاهین کتیرایی
شرکت سوخت اتمی راکتورهای ایران (FMP)

چکیده

محیط راکتور بدلیل دما و فشار بالا مستعد به خوردگی می باشد لذا یکی از آزمایش های کنترل کیفی در فرآیند تولید یک مجتمع سوخت ، آزمایش خوردگی در شرایط دما و فشار بالا بوده که بر روی اجزای مجتمع سوخت انجام
می شود. در این تحقیق نتایج این آزمایش برروی آلیاژ EH-110 (Zr- 1% Nb) که برای ساخت میله و قسمت های دیگر مجتمع سوخت استفاده می شود، ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد که بر اساس استاندارد این آلیاژ دارای مقاومت به خوردگی مناسب جهت استفاده در مجتمع سوخت می باشد.

کلید واژه : خوردگی – زیرکونیم – سوخت – اتوکلاو

مقدمه

از آلیاژهای فلز زیرکونیم جهت ساخت میله و مجتمع سوخت استفاده می شود. زیرکونیوم از نظر شیمیایی بسیار فعال بوده ولی به علت لایه اکسید مقاوم , مقاومت به خوردگی خوبی دارد و در مقابل بسیاری از عوامل از فولاد مقاوم به خوردگی ، پایدارتر است همچنین زیرکونیوم دارای سطح مقطع جذب نوترون کمی بوده و لذا نوترون را جذب نمی کند به همین دلیل هم اکنون زیرکونیوم عاری از هافنیوم مناسب ترین فلز برای تولید پوشش سوختهای اورانیومی و قطعات نیروگاههای هسته ای به شمار می آید.

این فلز به دو صورت نوع تجاری و نوع هسته ای در دسترس است. نوع تجاری آن معمولاً از خواص مکانیکی برخوردار نبوده اما نوع هسته ای آن که تحت عنوان آلیاژ زیرکالوی شناخته می شود و در ساخت مجتمع سوخت نیروگاههای هسته ای استفاده می شود، خواص مکانیکی بالاتری دارند و به صورت ورق و لوله در مجتمع سوخت به کار گرفته می شوند. آلیاژهای زیرکونیومی که برای ساخت میله سوخت و قسمتی از مجتمع سوخت IR- 40 و VVER-1000 استفاده خواهد شد، آلیاژهای EH-110 و EH-125 می باشد. این دو آلیاژ مطابق استاندارد روسی بوده و جزء آلیاژهای نیوبیوم دار گروه Zr-Nb می باشند. میزان نیوبیوم در آلیاژ EH-110 در حدود ۱/۱–۰/۹ درصد می باشد. جدول (۱) ترکیب شیمیایی این آلیاژ را نشان می دهد. در این تحقیق مقاومت به خوردگی غلاف (میله) سوخت با ترکیب حدودی Zr- 1% Nb بررسی شده است.

روش تحقیق

جهت ارزیابی رفتار خوردگی آلیاژ میله سوخت در شرایط کاری راکتور از استانداردهای ASTM B811 و ASTM G2M استفاده شده است. بدین منظور از دستگاه اتوکلاو با شرایط کاری دمای ۴۰۰° c و فشار ۱۰۰ bar استفاده شده است.

تعداد ۴ نمونه نیوبیوم دار تهیه شده مطابق استاندارد با محلول زیر اسید شویی شد:

$9\pm1\%HF,\ 30+5\%HNO_3,\ 30\pm5\%H_2SO_4,\ Distilled\ Water$

دمای اسید شویی مطابق استاندارد در محدودهٔ 49^0c-60^0c انتخاب می شود. پس از اسید شویی نمونه ها تحت آب کشی سرد و گرم قرار می گیرد. پس از قراردادن نمونه ها در اتوکلاو و اضافه کردن آب مقطر، با افزایش دما و فشار به $T=400^0c$ و $P=100bar$ به زمان شروع آزمایش می رسیم. از این لحظه به مدت ۷۲ ساعت فشار و دمای اتوکلاو کنترل و در صورت نیاز با تخلیه بخار، دما و فشار در محدودهٔ مجاز حفظ می شود. پس از پایان آزمایش نمونه ها از دستگاه خارج می شوند. پس ازخروج، بلافاصله بررسی چشمی نمونه ها انجام می شود. در این مرحله رنگ و درخشندگی محصولات خوردگی احتمالی تشکیل شده روی نمونه ثبت می شود.

پس از بررسی ظاهر نمونه وزن نمونه با ترازوی دیجیتال دقیق اندازه گیری شده و افزایش وزن بر واحد سطح با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta m=\frac{m_2-m_1}{A}$$

$\Delta m: mass\ \ gain.{}^{gr}\!/_{m^2}$

$m_1: \Pr e-Test\ \ mass\ \ of\ \ the\ \ Specimen.gr$

$m_2: Post-Test\ \ mass\ \ of\ \ the\ \ Specimen.gr$

$A: Total\ \ Surface\ \ area\ \ of\ \ the\ \ Specimen.m^2$

پس از محاسبه افزایش وزن و ثبت وضعیت ظاهری نمونه، این نتایج با معیارهای قابل قبول استاندارد مقایسه می شود.

نتایج

در شکل (۱) و (۲) تغییرات فشار و دما با زمان در طول زمان آزمایش، در شکل (۳) نمونه ها پس از آزمایش و در شکل (۴) دستگاه اتوکلاو مورد استفاده دیده می شوند. نتایج آزمایش نمونه ها در جدول (۲) ارائه شده است.

بحث و نتیجه گیری

در مورد آزمایش خوردگی در اتوکلاو، معیار قبولی ارائه شده در استاندارد ASTM B811-90 عبارت است از اینکه میزان افزایش وزن در واحد سطح نمونه ها کمتر از $2.2 gr/m^2$ باشد. همچنین سطح نمونه ها باید شامل لایه اکسید سیاه رنگ و براق بوده و لایه سفید اکسید روی سطح دیده نشود. در چهار نمونه آزمایش خوردگی که مطابق استاندارد تهیه شده اند به ترتیب اعداد 1.29، 1.34، 1.31 و 1.33 محاسبه شده که همگی از 2.2 کمتر بوده و به طور متوسط میانگین افزایش وزن مشاهده شده حدود $1.32 gr/m^2$ می باشد که این مقدار براساس استاندارد مورد قبول می باشد. در مورد بررسی سطح ظاهری، نمونه های آزمایش همگی دارای لایه اکسید سیاه چسبنده و براق بوده و عاری از لکه یا لایه سفید رنگ می باشند. در مجموع نتایج آزمایش نشان میدهد این آلیاژ از نظر مقاومت به خوردگی مورد قبول می باشد.

مراجع

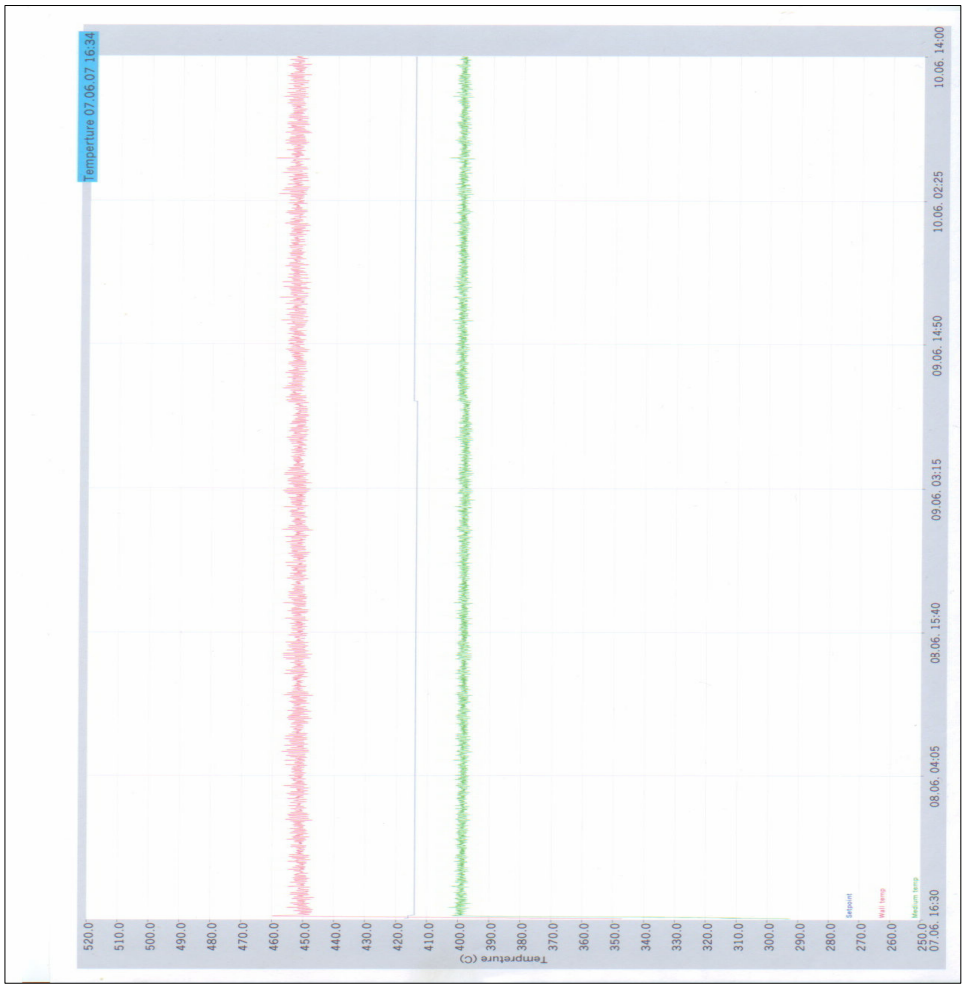
1. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02, ASTM G2M, Test Method for Corrosion Testing Of Product of Zirconium, Hafnium and Their Alloys in Water at 633K or in Steam at 673K.
2. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 02.04, ASTM B811-90, Standard Specification for Wrought Zirconium Alloy, Seamless Tubes for Nuclear Reactor Fuel Cladding.
۳ . مجموعه گزارشات موجود در مرکز اسناد شرکت سوخت اتمی راکتورهای ایران

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ EH-110

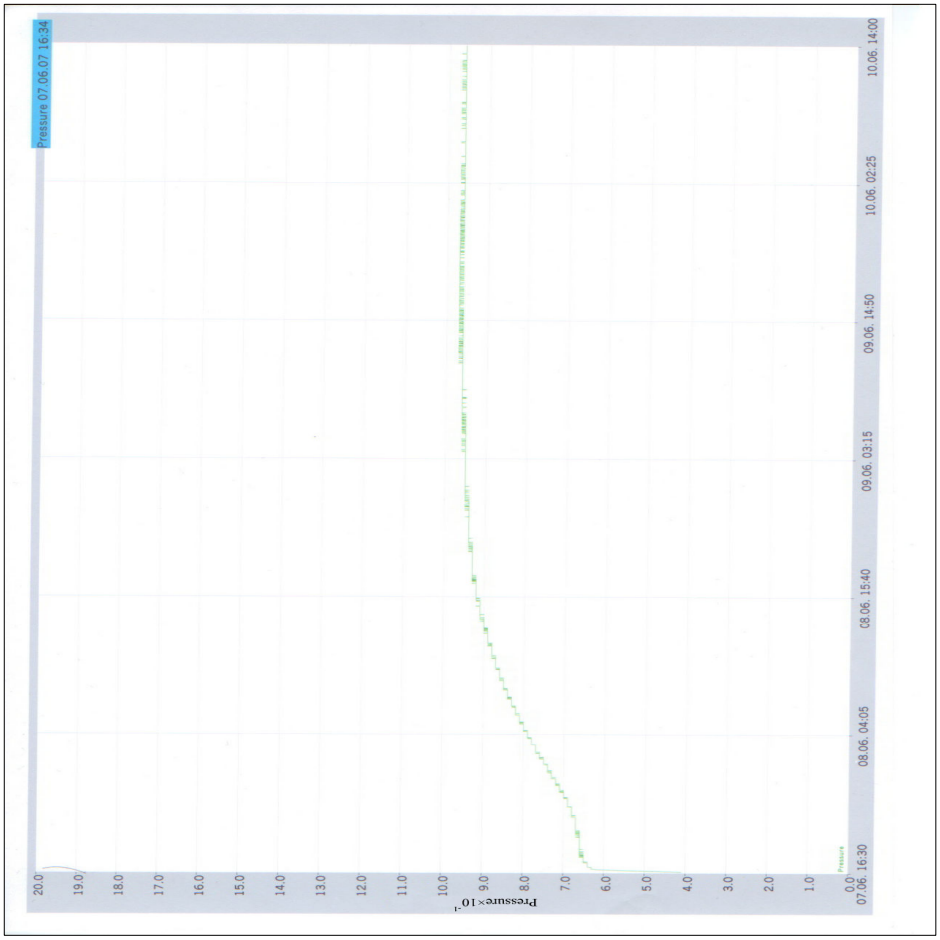
Element	Weight percent
Hf	0.01
Fe	0.05
Ca	0.03
O	0.11-0.14
Si	0.02
Ni	0.02
Pb	0.005
Ti	0.007
C	0.02
Cl	0.003
Cr	0.02
F	0.003
Nb	0.9-1.1
Zr+Nb+Hf	99.5

جدول ۲- مشخصات و نتایج آزمایش خوردگی در اتوکلاو فشار بالا

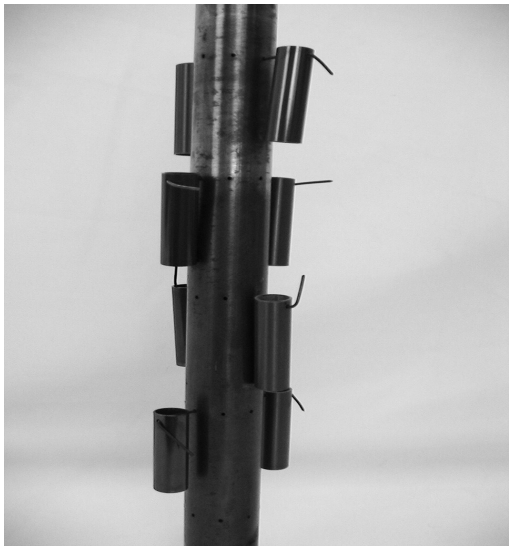
شماره نمونه	ابعاد نمونه (mm)			مساحت $(m^2) \times 10^{-3}$	وزن (gr)		افزایش وزن $(gr) \times 10^{-3}$	افزایش وزن بر واحد سطح (gr/m^2)	ظاهرنمونه پس از آزمایش
	طول	قطر داخلی	قطر خارجی		اولیه	نهایی			
Nb-1	44.40	11.80	13.60	3.3169	9.26223	9.26652	4.29	1.29	لایه اکسید سیاه و براق
Nb-2	44.22	11.80	13.60	3.302	9.33885	9.34326	4.41	1.34	لایه اکسید سیاه و براق
Nb-3	42.92	11.80	13.60	3.2786	9.07301	9.07732	4.31	1.31	لایه اکسید سیاه و براق
Nb-4	44.76	11.80	13.60	3.0264	8.38603	8.39006	4.03	1.33	لایه اکسید سیاه و براق



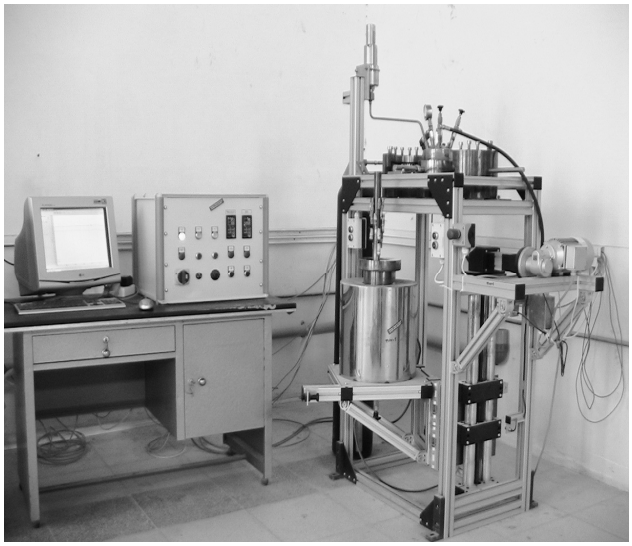
شکل (۱) – تغییرات دما و زمان



شکل (۲) – تغییرات فشار و زمان



شکل (۳) – نمونه های آزمایش خوردگی پس از خروج از اتوکلاو



شکل (۴) – دستگاه اتوکلاو جهت آزمایش خوردگی