Archive of SID

ارزیابی متالورژیکی و تعیین عمر باقیمانده تیوب HK40 مورد استفاده در کوره هیدروژن

محسن صبوری[۱]
پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده حفاظت صنعتی، گروه پژوهش خوردگی فلزات
sabourim@ripi.ir

چکیده

در این مقاله یک نمونه تیوب HK40 پس از ۱۶۵ هزار ساعت استفاده در یک کوره هیدروژن واقع در یکی از پالایشگاه‌های کشور به منظور تعیین عمر باقیمانده سرویس‌دهی مورد ارزیابی متالورژیکی قرار گرفته است. برای ارزیابی متالورژیکی تیوب آنالیز شیمیایی با روش کوانتومتری، فرآیندهای ماکرواچ و ارزیابی میکروسکوپی ریزساختار تیوب، آزمون‌های کشش، تنش- پارگی و سختی‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تیوب مزبور با روش ریخته‌گری تولید شده و آنالیز شیمیایی آن با استاندارد ASTM A608 انطباق دارد. همچنین فاز σ به مقدار زیاد و غیر پیوسته در ساختار آلیاژ و در محل مرز دانه‌ها تشکیل شده است. نتایج آزمون سختی سنجی نیز افزایش سختی در اثر وجود فاز مخرب σ را نشان می‌دهد. طبق ارزیابی‌های میکروسکوپی، تیوب فقط در سطح خارجی به صورت موضعی تا عمق حدود ۱ mm دچار خوردگی شده است. طبق نتایج آزمون کشش، خواص مکانیکی نمونه در دمای ۸۷۰ °C مطابق استاندارد ASTM A608 است. مدت زمان شکست نمونه‌ها در آزمون‌های تنش-پارگی حدود ۰/۲۲ حداقل زمان پیش‌بینی شده طبق نمودار لارسن-میلر آلیاژ HK40 در دمای ۸۹۲ °C و تنش اعمالی ۴۵ MPa بوده است. طبق نتایج حاصل، عمر باقیمانده تیوب حدود ۴۴۲۵۶ ساعت محاسبه شد. با احتساب فاصله زمانی بین دو دوره تعمیرات اساسی به مدت ۲۵ هزار ساعت، به نظر می‌رسد استفاده از این تیوب برای ۲۵ هزار ساعت دیگر بلامانع باشد.

واژه‌های کلیدی: فولاد مقاوم به حرارت HK40، کوره هیدروژن، ارزیابی متالورژیکی، فاز σ، عمر باقیمانده تیوب

۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از فلزات، پژوهنده ارشد

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

تیوب‌های مورد استفاده در کوره‌های پالایشگاه‌ها عموماً از جنس فولاد ساده کربنی، فولادهای کروم- مولیبدن، فولادهای کروم مولیبدن زنگ نزن ریختگی یا نوردی است. این تیوب‌ها داخل کوره‌ها تحت دما و فشار عملیاتی بالا قرار می‌گیرد. بر اثر شرایط عملیاتی کوره، تیوب‌ها ممکن است با پدیده‌های مختلف متالورژیکی مانند کربوره شدن، دکربوره شدن، خزش، اکسیداسیون و خوردگی مواجه شده که نتیجه آن افت خواص متالورژیکی تیوب خواهد بود.

عموماً این انتظار وجود دارد که تیوب آلیاژی مقاوم به حرارت به مدت ۱۰۰ هزار ساعت بدون بروز مشکل در شرایط سرویس‌دهی باقی بماند. به هر حال با توجه به اینکه این تیوب‌ها در دما و فشار بالا استفاده می‌شود، عموماً دچار پدیده خزش و شکست می‌شود. همچنین ممکن است در اثر خوردگی، شکست تیوب‌ها در مدت زمان‌هایی به مراتب کمتر از ۱۰۰ هزار ساعت حادث شود [۱].

اطلاعات و داده‌های مربوط به کوره‌ها و شرایط عملیاتی و طراحی آن عموماً در دسترس است. اگر دما و فشار عملیاتی کوره‌ها طی دوره بهره‌برداری از دما و فشار طراحی بیشتر نبوده و مشکلات خوردگی وجود نداشته باشد، تیوب‌ها برای مدت ۱۰۰ هزار ساعت قابل بهره‌برداری است. تجربیات صنعتی نشان می‌دهد عموماً دما و فشار عملیاتی کوره‌ها ثابت نیست و دارای نوسانات زیادی است. در واقع وجود این نوسانات شرایط عملیاتی است که منجر به بروز مسائل و مشکلات متالورژیکی در تیوب کوره‌ها و کاهش عمر عملیاتی آن می‌شود [۲]. با توجه به مسائل و مشکلات متالورژیکی و تعیین عمر باقیمانده تیوب کوره‌ها می‌توان علاوه بر دستیابی به کنترل دقیق روی شرایط و وضعیت عملیاتی کوره‌ها و کارخانه، به صرفه جویی اقتصادی قابل توجهی برای واحدهای صنعتی دست یافت. گزارش ارائه شده توسط شرکت ERA در کنفرانس نگهداری تجهیزات عملیاتی که در سال ۲۰۰۰ در آمریکا برگزار شده نشان می‌دهد توجه به مقوله مدیریت عمر تیوب کوره‌ها می‌تواند یک میلیون دلار در سال باعث صرفه اقتصادی شود [۳]. عدم توجه به این موضوع علاوه بر تحمیل هزینه‌های هنگفت حتی می‌تواند به لحاظ ایمنی به ویژه هنگام مواجهه با فشارهای عملیاتی بالا و سیالات ویژه حائز اهمیت باشد. به عنوان مثال می‌توان به حادثه انفجار و آتش‌سوزی یک کوره در پالایشگاه ایروینگ (Irving) در سال ۱۹۹۹ اشاره نمود که منجر به کشته و زخمی شدن چند نفر از پرسنل این پالایشگاه گردید [۴].

به هر حال تعیین عمر دقیق تیوب کوره‌ها عملاً امکان‌پذیر نیست و صرفاً در این خصوص داده‌های تخمینی ارائه می‌شود. تجربه نشان داده برخی تیوب‌ها به مراتب کمتر از ۱۰۰ هزار ساعت و برخی بیشتر از ۱۰۰ هزار ساعت مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه شرایط بهره‌برداری و عملیاتی کوره‌ها همواره ثابت نیست، ضروری است در هر دوره تعمیرات اساسی مجموعه صنعتی، نمونه‌ای از تیوب کوره‌ها تهیه شده و با انجام ارزیابی‌های متالورژیکی روی آن، میزان عمر باقیمانده تیوب مشخص شود [۱]. در ادامه روش انجام بررسی‌های متالورژیکی و تعیین عمر باقیمانده یکی نمونه تیوب مورد استفاده در کوره هیدروژن یکی از پالایشگاه‌های کشور ارائه می‌شود.

۲- مواد و روش‌های آزمایش

در این تحقیق برای ارزیابی متالورژیکی تیوب، شناسایی ترکیب شیمیایی با روش اسپکترومتری نشری (کوانتومتری)، ارزیابی‌های ریزساختاری، تعیین خواص مکانیکی با انجام آزمون‌های سختی‌سنجی، کشش دما بالا و تنش-پارگی مورد توجه قرار گرفت. آنالیز شیمیایی با دستگاه PMI Master PLUS در سطح مقطع عرضی تیوب انجام شد. فرآیند ماکرواچ (Macroetch) با محلول شیمیایی حاوی ۱۰ ml اسید نیتریک، ۱۰ ml اسید استیک، ۱۵ ml اسید کلریدریک و ۵ قطره گلیسرول روی سطح مقطع عرضی تیوب انجام شد. برای این کار ابتدا یک نمونه رینگ از تیوب برش داده شد. سطح رینگ با شماره سمباده‌های ۸۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۲۰، ۳۲۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ صیقل‌کاری شد. سپس سطح رینگ با آب مقطر شستشو، با استن چربی‌گیری و با دمش هوای گرم خشک شد. پس از آن سطح صیقل خورده با غوطه‌وری در محلول شیمیایی مذکور به مدت حدود ۲۰ ثانیه تحت فرآیند ماکرواچ قرار گرفت. در ادامه برای تهیه تصاویر، سطح تیوب با آب مقطر شستشو و با دمش هوای گرم خشک شد. ارزیابی ریزساختار تیوب با میکروسکوپ نوری انجام شد. برای این کار دو نمونه

www.SID.ir

Archive of SID

از بدنه تیوب که رو به شعله بوده برش داده شد. ریزساختار تیوب در سطح مقطع عرضی و همچنین در امتداد طولی تیوب مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مشاهده ریز ساختار، ابتدا نمونه‌های برش خورده مانت گرم شد. سپس سطح نمونه‌ها با شماره سمباده‌های ۸۰ تا ۲۵۰۰ صیقل‌کاری شد. در ادامه، سطح نمونه‌ها با نمد و خمیر الماسه تا زبری سطح ۰/۲۵ µm پرداخت شد. نمونه‌ها در ادامه طبق استاندارد ASTM E407 با محلول شیمیایی ۲/۵ نرمال KOH در ولتاژ ۲/۵ ولت برای مدت ۱۰ ثانیه الکترواچ (Electroetch) شد. در ادامه ریزساختار تیوب با میکروسکوپ نوری بررسی شد و تصاویر مورد نظر تهیه گردید. برای سختی‌سنجی آلیاژ تیوب، یک عدد رینگ از تیوب برش داده شد. سختی‌سنجی در چهار موضع شامل ناحیه رو به شعله، ناحیه پشت به شعله، و طرفین تیوب در حد فاصل بین ناحیه رو به شعله و پشت به شعله انجام شد. سختی در هر موضع در بخش مغز آلیاژ، نزدیک به سطح خارجی و نزدیک به سطح داخلی رینگ با روش راکول نوع B (HRB) توسط دستگاه سختی‌سنج FRANK اندازه‌گیری شد. خواص کششی تیوب مطابق استاندارد ASTM A 608/A 608M در دمای ۸۷۰ °C انجام شد. نمونه‌های کشش طبق استاندارد ASTM E8M به صورت گرد با طول سنجه ۲۵ mm و قطر ۶/۲۵ mm از بدنه تیوب و دور از ناحیه جوش تهیه شد. آزمون کشش با دستگاه INSTRON مدل ۶۰۲۷ انجام شد. با توجه به استاندارد ASTM A 608/A 608M، کشش نمونه‌ها از لحظه شروع تا زمان شکست با کنترل حرکت فک‌های دستگاه کشش به میزان ۳ mm/min انجام شد. جهت بررسی خواص نمونه های ارسالی از استاندارد API STD 530-2004 استفاده شد و شرایط انجام آزمون تنش- پارگی استخراج گردید. نمونه‌های تنش- پارگی طبق استاندارد ASTM E8M به صورت گرد با طول سنجه ۴۵ mm و قطر ۹ mm از بدنه تیوب تهیه شد. نمونه‌های تنش پارگی به گونه‌ای ساخته شد که گرده جوش در وسط طول سنجه قرار گیرد. عمر باقیمانده سرویس‌دهی تیوب طبق استاندارد API STD 530-2004 و با توجه به داده‌های مدت زمان شکست در آزمون‌های تنش-پارگی محاسبه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی‌های متالورژیکی

در جدول ۱ اطلاعات دریافتی از پالایشگاه برای تیوب مورد نظر ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تیوب از آلیاژ مقاوم به حرارت HK40 معرفی شده است. طبق اطلاعات جدول ۱، تیوب مذکور به مدت ۱۶۵۰۰۰ ساعت (معادل حدود ۱۸ سال) در کوره‌های هیدروژن مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱- مشخصات و اطلاعات دریافتی تیوب مورد ارزیابی

پارامتر	مشخصه/مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
جنس تیوب	HK40	**حداکثر دمای پوسته**	۹۰۵ °C	**حداکثر فشار عملیاتی**	۲۰ barg
قطر خارجی تیوب	۱۴۸/۳ mm	**حداکثر دمای طراحی**	۹۱۴ °C	**مدت کارکرد**	۱۶۵۰۰۰ ساعت
ضخامت پوسته تیوب	۱۷/۳ mm	**حداکثر فشار طراحی**	۲۲/۸ barg	**موقعیت تیوب‌ها**	عمودی

ترکیب شیمیایی آلیاژ نمونه دریافتی در مغز آن با روش اسپکترومتری نشری (کوانتومتری) تعیین شد (جدول ۲). طبق نتایج حاصل، ترکیب شیمیایی آلیاژ تیوب با ترکیب شیمیایی ذکر شده برای آلیاژ HK40 در استاندارد ASTM A608/A608M مطابقت دارد.

در شکل ۱-الف یک نمونه رینگ برش خورده از تیوب نشان داده می‌شود. قطر خارجی و ضخامت تیوب به ترتیب ۱۴۸/۳۵ و ۱۸/۴۵ میلیمتر اندازه‌گیری شد. البته ضخامت اندازه‌گیری شده بدون در نظر گرفتن عمق حفره‌های موضعی در سطح خارجی تیوب است. بیشترین عمق تخریب در سطح خارجی تیوب ۰/۷ mm اندازه‌گیری شد. البته روی سطح خارجی تیوب آثار خوردگی شدید مشاهده نشد.

در شکل ۱-ب بخشی از سطح رینگ تهیه شده از تیوب پس از عملیات ماکرواچ ارائه شده است. در بخش خارجی ضخامت، ساختار درختی (denderitic) و در بخش داخلی آن ساختار با دانه‌های هم محور مشاهده می‌شود. این نوع ساختار مشخصه تیوب‌های تولید شده با روش ریخته‌گری است. با توجه به اینکه حفره‌های خزشی از بخش داخلی ضخامت تیوب به سمت بیرون گسترش می‌یابد، باید ساختار تیوب به گونه‌ای باشد که در ثلث داخلی به صورت دانه‌های هم محور و در دو ثلث خارجی به صورت درختی باشد [۵]. نتایج عملیات

www.SID.ir

Archive of SID

ماکرواچ ساختار مناسبی از این حیث برای آلیاژ تیوب را نشان می‌دهد. پس از عملیات ماکرواچ هیچگونه آثار غیریکنواختی، ناهمگنی و پدیده کربوره شدن قابل ملاحظه‌ای روی سطح تیوب مشاهده نشد.

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی تیوب و مقایسه آن با آنالیز شیمیایی ارائه شده برای فولاد HK40 طبق استاندارد ASTM A608/A608M

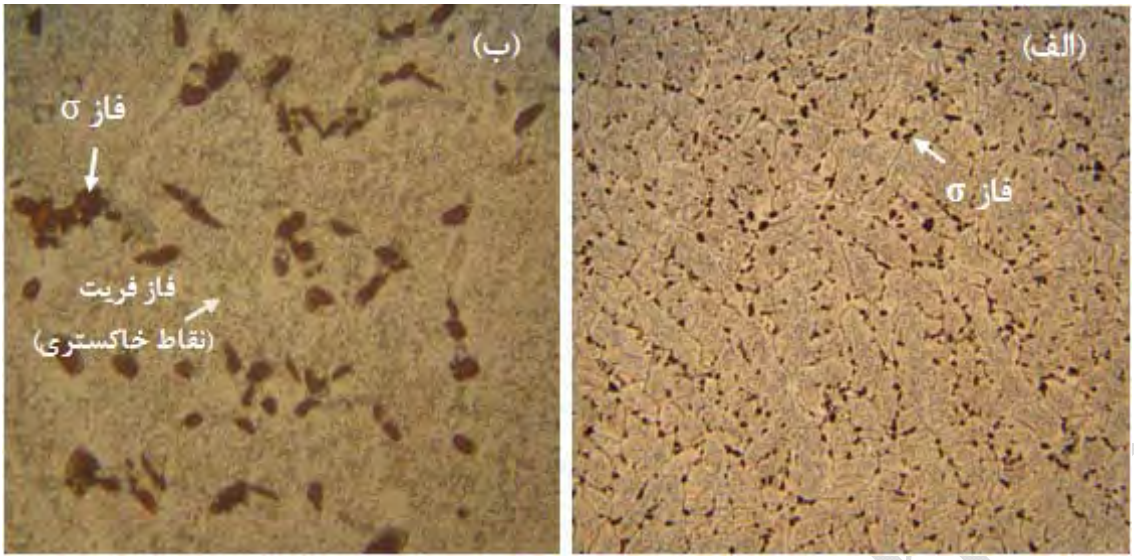
عنصر شیمیایی	درصد وزنی (استاندارد)	درصد وزنی (تیوب)	عنصر شیمیایی	درصد وزنی (استاندارد)	درصد وزنی (تیوب)
کربن	/۳۵-۰/۴۵	۰/۳۶	**فسفر**	ماکزیمم ۰/۰۴	۰/۰۱
منگنز	ماکزیمم ۱/۵	۱/۱۶	**سولفور**	ماکزیمم ۰/۰۴	< ۰/۰۰۳
سیلیسیم	۰/۵-۲	۱/۴	**مولیبدن**	ماکزیمم ۰/۵	۰/۰۵
کروم	۲۳-۲۷	۲۴/۵	**آهن**	باقیمانده	باقیمانده
نیکل	۱۹-۲۲	۱۹/۶	-	-	-

شکل ۱- رینگ تهیه شده از آلیاژ تیوب ارسالی الف- ابعاد رینگ، ب- بخشی از سطح مقطع عرضی تیوب پس از عملیات ماکرواچ

در تصاویر شکل ۲ ریزساختار سطح مقطع عرضی آلیاژ تیوب از سمت رو به شعله در بزرگنمایی X ۱۰۰ و X ۸۰۰ ارائه شده است. طبق استاندارد ASTM E407، الکترواچ با محلول KOH باعث می‌شود فاز σ به رنگ قهوه‌ای متمایل به آجری و فریت به رنگ خاکستری یا خاکستری متمایل به آبی در ریزساختار مشاهده شود. همانطور که در تصاویر شکل ۲ مشاهده می‌شود، فاز σ به مقدار زیاد و ناپیوسته در ساختار آلیاژ و در محل مرز دانه‌ها تشکیل شده است. فاز σ در محدوده دمایی ۹۰۰-۵۰۰ °C در فولادهای زنگ‌نزن فریتی دارای کروم بیشتر از ۱۴٪ تشکیل می‌شود [۶]. فولاد HK40 نیز از جمله فولادهای مستعد به تشکیل فاز σ است. وجود این فاز در ساختار فولاد باعث افزایش سختی، کاهش چقرمگی و کاهش مقاومت به خوردگی فولاد می‌شود. فاز فریت نیز به صورت نقاط خاکستری در زمینه روشن آستنیت قابل مشاهده است.

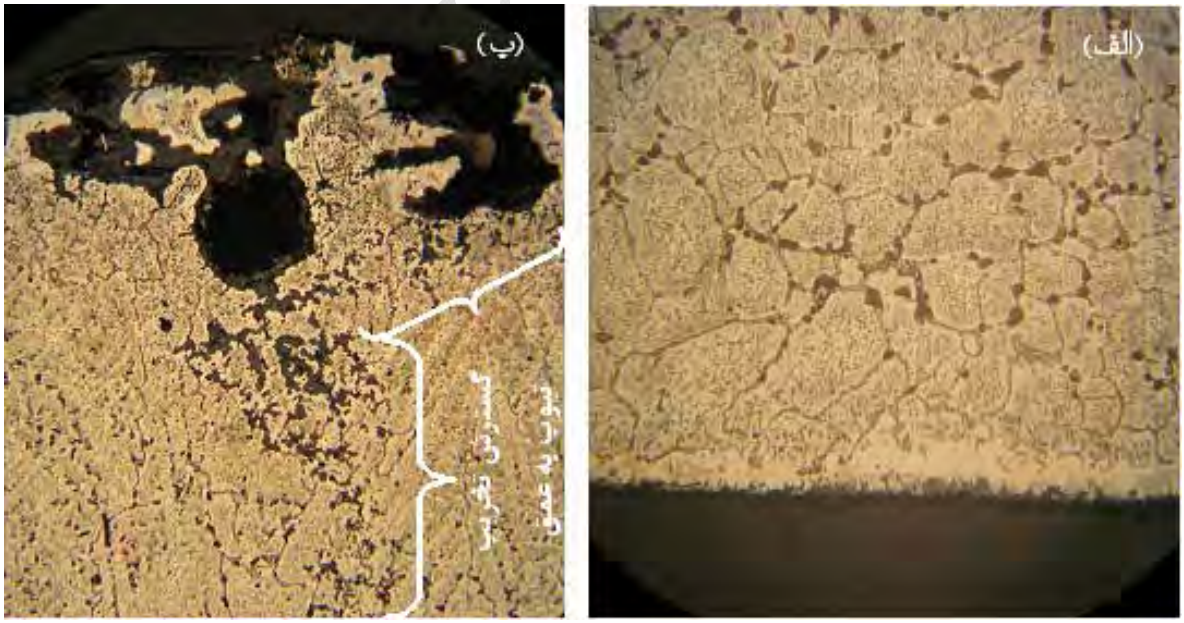
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- ساختار میکروسکوپی سطح مقطع عرضی تیوب ارسالی (الف) بزرگنمایی X ۱۰۰، (ب) بزرگنمایی X ۸۰۰؛ نقاط قهوه‌ای فاز σ و نقاط خاکستری فاز فریت در زمینه آستنیت است.

تصاویر شکل ۳ ساختار سطح مقطع عرضی تیوب را در محل سطح داخلی و خارجی نشان می‌دهد. طبق مشاهدات ظاهری نیز در سطح داخلی تیوب هیچگونه محصولات خوردگی و ناپیوستگی مشاهده نشد ولی در سطح خارجی آثار خوردگی و تخریب تیوب و گسترش آن به ضخامت تیوب مشاهده شد. عمق گسترش تخریب در سطح خارجی که در تصویر ۳-ب مشاهده می‌شود، توسط میکرومتر میکروسکوپ نوری بطور متوسط ۰/۷ mm اندازه‌گیری شد. همچنین مشاهده می‌شود فاز σ تا نزدیکی سطح داخلی تیوب گسترش یافته است.



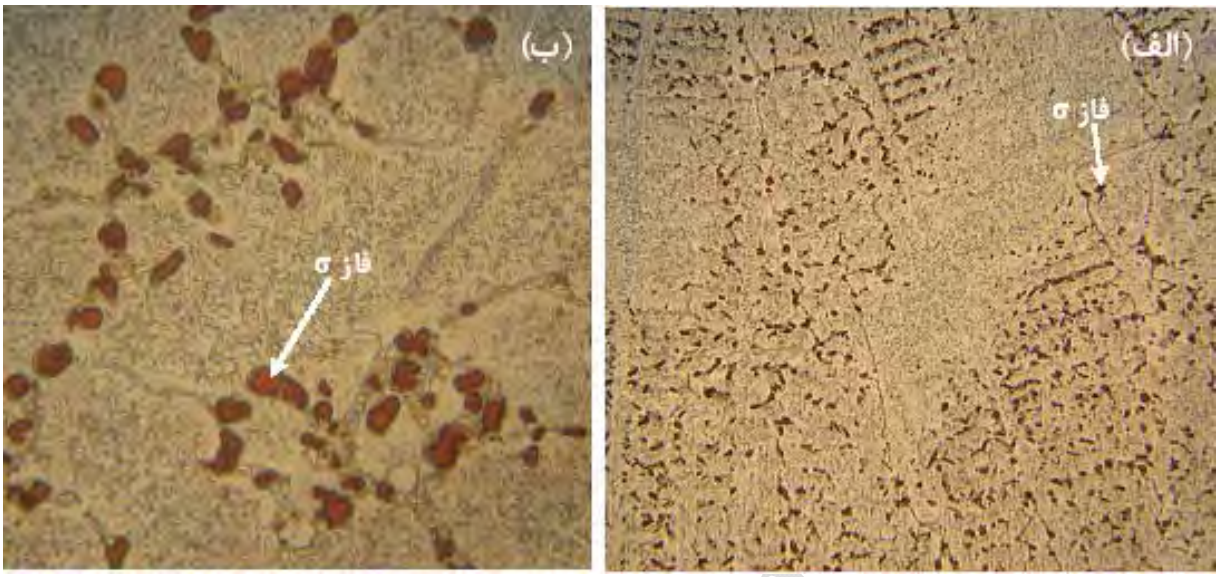
شکل ۳- تصویر میکروسکوپی آلیاژ تیوب از سطح مقطع عرضی (الف) سطح داخلی در بزرگنمایی X ۲۰۰، (ب) سطح خارجی در بزرگنمایی X ۱۰۰؛ فاز σ در ساختار آلیاژ تیوب و گسترش تخریب موضعی تیوب از سطح خارجی به داخل ضخامت تیوب به وضوح مشاهده می‌شود.

در شکل ۴، تصاویر میکروسکوپی تیوب در مقطع طولی در بزرگنمایی X ۱۰۰ و X ۵۰۰ ارائه شده است. وضعیت ریز ساختار تیوب در مقطع طولی مشابه مقطع عرضی است و تشکیل فاز σ در محل مرز دانه‌ها مشهود است. در شکل ۴-الف، مشاهده می‌شود که در

www.SID.ir

Archive of SID

بخشهایی از ساختار هنوز فاز σ تشکیل نشده است. به هر حال به نظر می‌رسد در صورت ادامه سرویس‌دهی تحت شرایط دمایی ۵۰۰-۹۰۰ °C فرآیند تشکیل فاز σ ادامه یابد.



شکل ۴- ساختار میکروسکوپی سطح مقطع عرضی تیوب ارسالی (الف) بزرگنمایی X ۱۰۰، (ب) بزرگنمایی X ۵۰۰ که با محلول ۲/۵ نرمال KOH در دمای محیط و ولتاژ ۲/۵ ولت برای مدت ۱۰ ثانیه الکترواچ شده است. فاز σ در محل مرز دانه‌ها به وضوح مشاهده می‌شود.

در جدول ۳ نتایج آزمون سختی‌سنجی تیوب ارائه شده است. مقدار سختی آلیاژ در مقایسه از ماکزیمم مقدار ذکر شده در منابع برای آلیاژ HK40 (۸۷ HRB) بیشتر است. مقدار سختی در بخش‌های مختلف ضخامت تیوب می‌تواند نتیجه وجود فاز σ در ساختار تیوب باشد که مطابق ارزیابی‌های متالوگرافی بطور کامل در کل ضخامت تیوب تشکیل شده است [۶].

جدول ۳ - نتایج سختی سنجی تیوب ارسالی با روش HRB

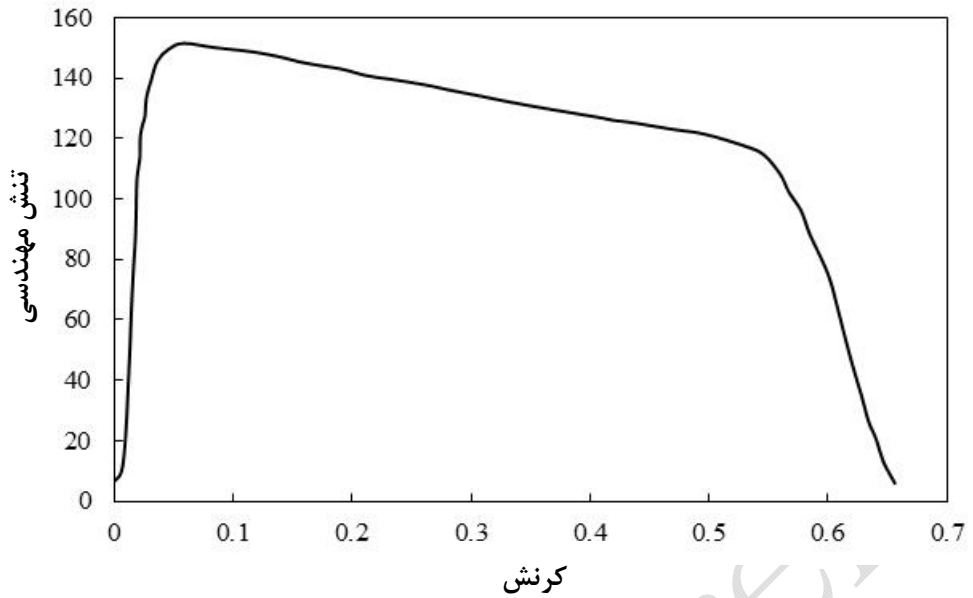
سمت	ثلث داخلی	ثلث میانی	ثلث خارجی
رو به شعله	۹۶/۶	۹۶	۹۶/۲
پشت به شعله	۹۳/۴	۹۳/۷	۹۴/۶
متوسط عدد سختی در طرفین تیوب	۹۵/۸	۹۵/۷	۹۴/۵

آزمون کشش روی آلیاژ تیوب در دمای ۸۷۰ °C انجام شد. به دلیل کاربرد آلیاژ HK40 در دما بالا، طبق استاندارد ASTM A 608/A 608M ضرورتی برای ارزیابی خواص کششی در دمای محیط دیده نمی‌شود. در شکل ۵ نمودار تنش-کرنش و در جدول ۴ استحکام نهایی و درصد ازدیاد حاصل از تحلیل نمودار تنش –کرنش ارائه شده و با مقادیر ارائه شده در استاندارد ASTM A 608/A 608M مقایسه شده است.

طبق نتایج حاصل، استحکام نهایی و درصد ازدیاد طول آلیاژ تیوب از مینیمم مقادیر ذکر شده در استاندارد ASTM A 608/A 608M بیشتر است. به عبارت دیگر آلیاژ تیوب در دمای ۸۷۰ °C مطابق استاندارد ASTM A 608/A 608M دارای خواص کششی مناسبی است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- نمودار تنش-کرنش مهندسی برای آلیاژ تیوب در دمای ۸۷۰ °C

جدول ۴- نتایج آزمایش کشش در دمای ۸۷۰ °C

خواص کششی / نمونه	استحکام کشش نهایی (MPa)	درصد ازدیاد طول نسبی
آلیاژ تیوب	۱۵۳/۹	۳۶/۲۶
ASTM A 608/A 608M	۱۱۴	۶

شرایط آزمون‌های تنش-پارگی و نتایج حاصل در جدول ۵ ارائه شده است. شرایط انجام آزمون‌های تنش-پارگی طبق نمودارهای لارسون میلر آلیاژ HK40 (نمودار ۴ در شکل ۶) استخراج شد. در واقع انتظار این است در صورتی که آلیاژ تیوب سالم باشد، در دمای ۸۹۲ °C برای مدت ۱۴۷ ساعت در تنش اعمالی ۴۵ MPa بدون شکست باقی بماند. نتایج آزمون‌های تنش-پارگی به هر حال نشان می‌دهد سه نمونه آزمون در مدت زمانی به مراتب کمتر از حداقل عمر پیش‌بینی شده (۱۴۷ساعت) دچار پارگی شده است. این مطلب بیانگر سپری شدن بخش زیادی از عمر مفید تیوب‌ها و وجود مشکل خزش برای آلیاژ تیوب است. از نتایج آزمون تنش-پارگی برای تعیین عمر باقیمانده تیوب‌ها استفاده می‌شود [۲].

جدول ۵- نتایج آزمون‌های تنش- پارگی

شرایط آزمایش / نمونه	درجه حرارت (°C)	تنش اعمالی (MPa)	حداقل عمر پیش بینی شده در شرایط آزمایش براساس نمودار مینیمم استحکام شکست در نمودار لارسون میلر فولاد HK40	مدت زمان شکست (ساعت)
۱	۸۹۲	۴۵	۱۴۷	۳۱
۲	۸۹۲	۴۵	۱۴۷	۲۷
۳	۸۹۲	۴۵	۱۴۷	۳۷

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳- تعیین عمر باقیمانده تیوب

پس از انجام آزمون‌های تنش-پارگی، دو حالت مختلف وجود دارد.

الف- زمان شکست نمونه‌ها از حداقل عمر پیش‌بینی شده برای آلیاژ نو بیشتر باشد.

ب- زمان شکست نمونه‌ها از حداقل عمر پیش‌بینی شده برای آلیاژ نو کمتر باشد.

در حالت اول، می‌توان نتیجه گرفت که آلیاژ تیوب به لحاظ خزش مشکلی نداشته و حداقل برای ۷۵۰۰۰ ساعت طبق شرایط عملیاتی کوره قابل استفاده است. در صورت برقراری شرایط حالت دوم، نتیجه می‌شود که نمونه به لحاظ خزش مشکل دارد. هر چه اختلاف زمان شکست با حداقل زمان پیش‌بینی شده در آزمون تنش-پارگی بیشتر باشد، بیانگر این است که میزان خزش بیشر است. لذا تحت این شرایط لازم است با انجام یکسری محاسبات ریاضی، میزان عمر باقیمانده تیوب‌ها محاسبه شود.

۱-۲-۳- محاسبات ریاضی تعیین عمر باقیمانده

مرحله اول: در این مرحله، با توجه به دمای آزمون تنش‌پارگی و کمترین زمان شکست نمونه‌ها در این آزمون‌ها، و با احتساب رابطه لارسون میلر آلیاژ تیوب[1]، پارامتر LMP محاسبه شده و LMP1 نامگذاری می‌شود.

مرحله دوم: با توجه به میزان تنش اعمالی در آزمون‌های تنش-پارگی و نمودار مینیمم استحکام شکست در منحنی‌های لارسون میلر، مجدد پارامتر LMP محاسبه شده و LMP2 نامگذاری می‌شود.

مرحله سوم: اختلاف پارامترهای LMP1 و LMP2 محاسبه شده و LMP Δ نامگذاری می‌شود.

مرحله چهارم: با استفاده از رابطه (۱)، مقدار تنش محیطی اعمالی به تیوب در اثر فشار عملیاتی داخل تیوب محاسبه می‌شود.

$$S = \frac{P}{2} \times \left(\frac{D_O}{t} - 1) \right) = \frac{P}{2} \times \left(\frac{D_i}{t} + 1 \right) \qquad (۱)$$

در رابطه مذکور، پارامترهای S، P، D_0، D_i و t به ترتیب S: تنش بر حسب psi (MPa)، فشار بر حسب psi (MPa)، قطر خارجی تیوب بر حسب in (mm)، قطر داخلی تیوب بر حسب in (mm) ، ضخامت واقعی تیوب بر حسب in (mm) است.

تعیین عمر باقیمانده تیوب HK40

$LMP_1 = (892+273)(15+\log 27)\times 10^{-3} = 19.14$

$LMP_2 = 20$

$\Delta LMP = LMP_2 - LMP_1 = 20 - 19.14 = 0.86$

با توجه به اطلاعات طراحی و عملیاتی کوره هیدروژن و با احتساب قطر خارجی و ضخامت واقعی اندازه‌گیری شده برای تیوب در آزمایشگاه، پارامتر S محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{P}{2} \times \left(\frac{Do}{t} - 1) \right) = \frac{2.28}{2} \times \left(\frac{148.35}{17.75} - 1 \right) = 8.29 MPa$$

با انتقال داده تنش به نمودار لارسون-میلر فولاد HK40، مقدار LMP_S حدود ۲۴/۱۸ محاسبه خواهد شد. در نتیجه:

$LMP_{New} = LMP_S - \Delta LM = 24.18 - 0.86 = 23.32$

حال با جاگذاری دمای طراحی ۹۱۴°C و LMP_{New} در رابطه (۲)، مقدار عمر باقیمانده محاسبه می‌شود:

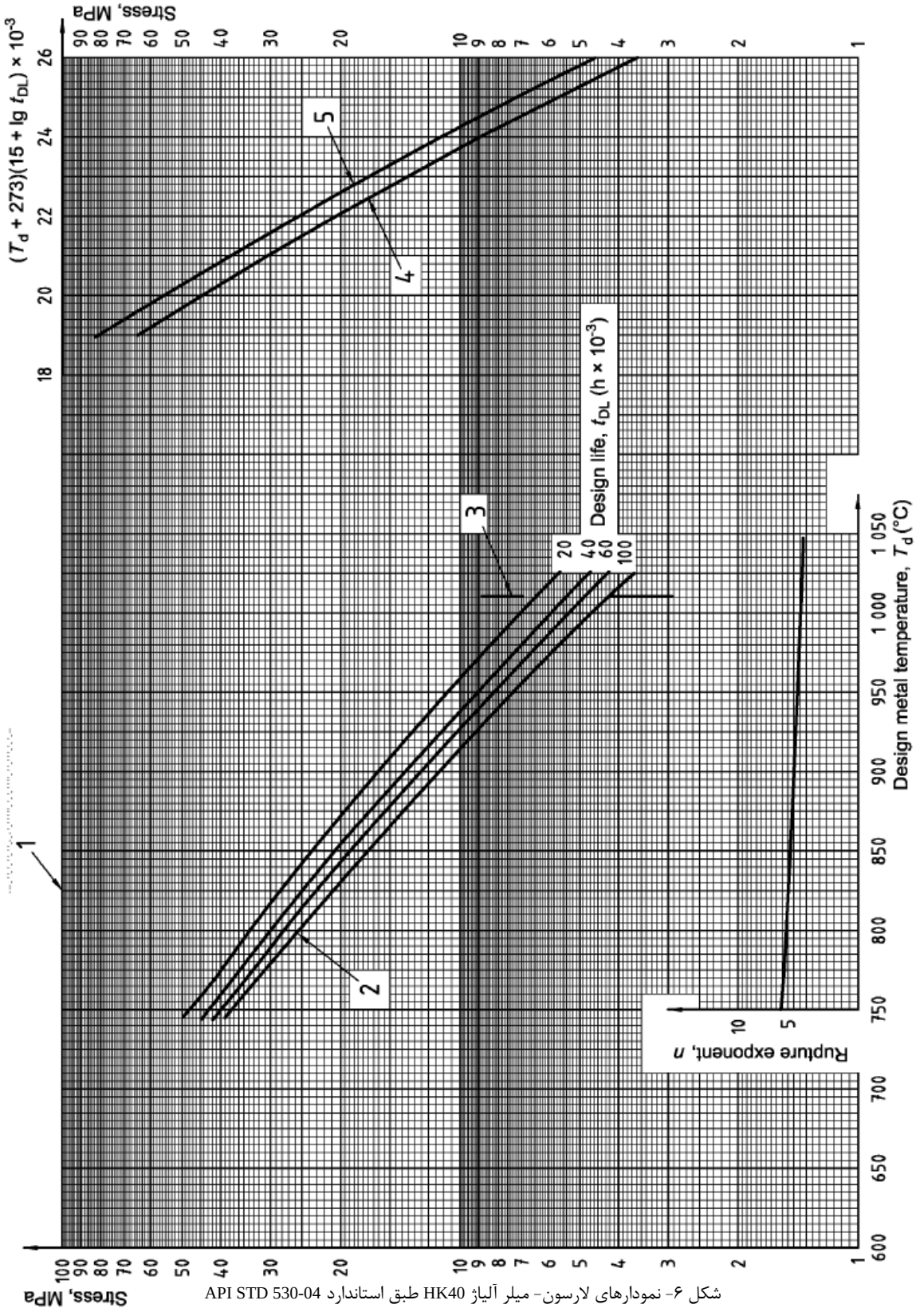
$23.32 = (914+273)\times(15+\log L_d) \times 10^{-3}$

مقدار عمر باقیمانده تیوب (L_d) حدود ۴۴۲۵۶ ساعت محاسبه می‌شود. با احتساب فاصله زمانی ۲۵ هزار ساعت برای دوره تعمیرات اساسی، این تیوب برای یک دوره دیگر (۲۵ هزار ساعت) از زمان نمونه‌برداری جهت سرویس‌دهی قابل استفاده خواهد بود.

۱- رابطه لارسون میلر آلیاژ تیوب

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- نمودارهای لارسون- میلر آلیاژ HK40 طبق استاندارد API STD 530-04

همایش مشعل و کوره های صنعتی www.koureh.ir تلفن: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

۹- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج آنالیز شیمیایی کوانتومتری جنس آلیاژ تیوب ارسالی با ترکیب شیمیایی ارائه شده در استاندارد ASTM A608/A608M برای فولاد HK40 مطابقت دارد. طبق مشاهدات ظاهری، هیچگونه آثار خوردگی یا ناپیوستگی در سطوح داخلی و خارجی تیوب مشاهده نشد. فرآیند ماکرواچ نیز ساختار دندریتی در نیمه بیرونی ضخامت و ساختار با دانه‌های هم محور در بخش‌های داخلی ضخامت تیوب را نشان داده است.

طبق بررسی‌های متالوگرافی هیچگونه آثاری از حفرات خزشی داخل ساختار مشاهده نشد. ولی فاز σ به صورت ناپیوسته در همه بخش‌های پوسته تیوب تشکیل شده است. همچنین، تیوب از سطح خارجی دچار آسیب شده و عمق تخریب تا حدود ۰/۷ mm اندازه‌گیری شد.

آزمون‌های سختی نیز افزایش عدد سختی در بخش‌های مختلف تیوب را نشان داده است. سختی تیوب تقریباً در همه قسمت‌های آن یکسان بوده است. افزایش عدد سختی می‌تواند نتیجه تشکیل فاز σ در ساختار آلیاژ تیوب باشد.

طبق نتایج آزمون کشش دما بالا، خواص مکانیکی تیوب در دمای ۸۹۲ درجه سانتی‌گراد از حداقل مقادیر ذکر شده در استاندارد ASTM A608/A608M بیشتر است.

عمر باقیمانده تیوب، با احتساب حداقل ضخامت باقیمانده و شرایط عملیاتی تیوب حدود ۴۴۲۵۶ ساعت محاسبه شد. با در نظر گرفتن احتمال بالاتر بودن دما در برخی نقاط دیگر کوره و همچنین تغییر شرایط عملیاتی، استفاده از تیوب‌های کوره H-701 برای مدت ۲۵ هزار ساعت دیگر بلامانع است.

www.Koureh.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1]- S. Chaudhuri, Remaining life assesment of aged components in thermal power plants and petrochemical industries, Vol. 2, 2008, pp. 85-114.
[2]- Calculation of heater-tube thickness in petroleum refineries, API STD 530, 2004.
[3]- Timothy Hill, Koch Refining and Pine Bend, Heater Tube Life Management, National Petroleum Refiners Association, Plant Maintenance Conference, May 22-25, 2000, ERA Technology, Houston, TX.
[4]- Accident Investigation report on the explosion and fire at the Irving oil refinery Saint John, WHSCC of New Brunswick, 1999.
[5]- Rolf Kirchheiner and Peter Woelpert, Niobium in centrifugally cast tubes for petrochemical applications, Schmidt + Clemens GmbH + Co. (S + C), 51779 Lindlar, Germany.
[6]- D. J. Tillack and J. E. Guthrie, Wrought and cast heat-resistant stainless steels and nickel alloy for the refining and petrochemical industries, Nickel Development Institute.

www.Koureh.ir

www.SID.ir