



معیارهای طراحی اورینگ‌های تحت فشار در محیط گاز ترش

طلعت خلخالی زاویه^{۱*}، محمدمهدی صالحی^۱، علیرضا دورباش^۱، حسین پیوس^۱، ویدا قائدی^۲

^۱ گروه فرمولاسیون و توسعه کاربرد مواد شیمیایی و پلیمری، پژوهشکده توسعه فناوری‌های شیمیایی، پلیمری و پتروشیمی،

پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

^۲ مرکز پژوهش شرکت پتروشیمی رازی، ایران

دریافت: ۹۴/۵/۶ پذیرش: ۹۴/۹/۱۰

چکیده

تخریب درزگیرهای لاستیکی بر اثر کاهش سریع فشار گاز مسئله‌ای شناخته شده در صنعت نفت و گاز است. این پدیده در شیرها، فوران گیرها و کمپرسورها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لاستیک‌ها به دلیل انعطاف‌پذیری و خواص ارتجاعی، توانایی پاسخ‌دهی به محرک (Self-energize)، و پوشش دهی مناسب شیار، هنوز اولین انتخاب در ساخت درزگیرها هستند. با این حال به دلیل استحکام کششی پایین در معرض تخریب بر اثر کاهش سریع فشار گاز قرار دارند. در این مقاله پس از مرور پارامترهای موثر در طراحی اورینگ‌های تحت فشار، طراحی اورینگ‌های مقاوم به گاز ترش در فشار بالا در شیرهای واحد جذب آب گاز ترش مسجد سلیمان مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر پارامترهای ساختاری و طراحی اورینگ بر عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس ارزیابی کارایی اورینگ‌ها در آزمون میدانی انجام گرفته و اورینگ‌های مناسب جهت کاربرد در شیرهای تحت فشار انتخاب می‌گردند.

کلمات کلیدی: اورینگ، کاهش سریع فشار گاز، گاز ترش، درزگیر، لاستیک، آزمون میدانی.

مقدمه

در تخریب درزگیرها^۱ بر اثر کاهش سریع فشار گاز^۲ که معمولاً به نام تخریب انفجاری (ED)^۳ شناخته می‌شود، کاهش سریع فشار منجر به انبساط گاز جذب شده در درزگیر لاستیکی و خسارت دیدن آن می‌گردد. این خسارت حتی هنگام کاهش تدریجی فشار نیز مشاهده شده و لذا اغلب به جای کلمه انفجاری از کلمه سریع استفاده می‌شود. تخریب درزگیرها بر اثر کاهش سریع فشار گاز، تهدیدی ویژه لاستیک‌ها

* khalkhalit@ripi.ir

¹ Seals

² Rapid Gas Decompression

³ Explosive Decompression

است زیرا استحکام کشسانی^۱ آنها نسبتاً پایین است. این پدیده که در فشارهای عملیاتی حدود ۳۵ بار و بالاتر از آن اهمیت می‌یابد، در دماهای بالا به دلیل کاهش شدید استحکام کشسانی و در دماهای زیر صفر به دلیل شکنندگی لاستیک‌ها، تشدید می‌گردد [۱ و ۲]. در انتخاب درزگیرهای مناسب در صنایع نفت و گاز، جهت جلوگیری از پدیده RGD، شناسایی شرایط عملیاتی پایدار نظیر دماها و فشارهای متعارف، شرایط گذرا نظیر دماها و فشارهای بیشینه و کمینه، فشار درزگیرهای لاستیکی پیش از افت سریع آن، تعداد کل سیکل‌های افت سریع فشار گاز و فشار برگشتی در طی توقف عملیات سیستم ضروری است [۳ و ۴]. در فشار گاز بالاتر از ۳۵ بار، مواد سازنده درزگیر باید مقاوم به پدیده RGD انتخاب شوند. با افزایش فشار گاز به فراتر از ۱۲۰ بار انجام آزمون‌های عملی برای بررسی RGD یا مدل‌سازی برای پیش‌بینی عملکرد درزگیر ضروری می‌گردد [۵-۷]. در صورتی که لاستیک به تنهایی قادر به تحمل شرایط RGD نباشد از مواد جایگزین نظیر تفلون فتری^۲ یا درزگیرهای فلزی استفاده می‌شود. قطر سطح مقطع درزگیرهای لاستیکی که در معرض RGD قرار دارند محدود بوده و معمولاً کوچک‌تر یا مساوی ۵/۳۳ میلی‌متر انتخاب می‌گردد [۱ و ۳]. جهت جلوگیری از پر شدن بیش از حد شیار درزگیر، انبساط حجمی درزگیر با دما و تورم مد نظر قرار می‌گیرد [۶ و ۸]. علیرغم ضرورت استفاده از درزگیرهای نرم در دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد، برای کاربرد در شرایط RGD، سختی لاستیک حتی در دمای پایین ضرورتاً بایستی در محدوده ۸۰ تا ۹۰ IRHD^۳ باشد [۱]. علل تخریب درزگیر در شرایط RGD تخریب بر اثر افت سریع فشار گاز، روزن رانی اورینگ^۴، خسارت دیدن درزگیر در حین نصب، شکنندگی در دمای کم و پر شدن بیش از حد شیار درزگیر در دمای بالا است [۶، ۷ و ۹-۱۲].

مکانیسم تخریب درزگیر بر اثر RGD

تخریب درزگیر بر اثر RGD ناشی از پدیده‌های حضور حفره یا ذرات درشت پرکننده^۵ در سطح اورینگ [۵]، [۷، ۹ و ۱۰]، تماس و جذب سیالات به لاستیک [۱۳-۱۵]، نفوذ گاز جذب شده به لاستیک تا رسیدن به حد اشباع [۱۶-۱۸]، کاهش ناگهانی فشار خارجی و هسته‌سازی گاز فشرده شده درون حفرات، انبساط گاز و باد شدن حفره‌ها، ایجاد تنش‌های کششی و کرنش‌های بالا در دیواره حفره‌ها [۵ و ۷] و افزایش تعداد سیکل‌های RGD به فراتر از سیکل‌های خستگی لازم برای تخریب است [۱۹].

¹ Elastic Strength

² Sprung PTFE Seals

³ International Rubber Hardness Degrees

⁴ Extrusion

⁵ Inclusion



اثر ریزدِرزها^۱ و شکست‌های^۲ سطحی

در سطح درزگیرهای لاستیکی تخریب شده بر اثر RGD تاول‌ها یا حباب‌هایی مشاهده می‌گردد. این تاول‌ها که در لحظه خروج درزگیر از شیار قابل مشاهده‌اند پس از طی زمان طولانی از هوا تهی شده و غیرقابل رویت می‌شوند. اغلب بریدن سطح مقطع درزگیر در محل تاول، ترک‌های ریز داخلی ایجاد شده از انبساط حفره را نشان می‌دهد [۱۲ و ۱۳].

سختی

اگر چه افزایش سختی درزگیر لاستیکی موجب افزایش مقاومت آن به RGD می‌شود ولی سختی درزگیر با شرایط عملکردی دیگر نظیر دمای پایین، دشواری نصب، حدود رواداری^۳ اجزای فلزی نیز کنترل می‌گردد. درزگیرهای سخت نیروی نصب بالاتری نیاز دارند و به آسانی کشیده نمی‌شوند.

روزن رانی درزگیر در فشار بالا

لاستیک در معرض فشار به ویژه تحت دمای بالا مانند سیالی بسیار ویسکوز عمل می‌کند و به فضای خالی موجود در وجه کم فشار شیار رانده می‌شود. این عمل روزن‌رانی نامیده می‌شود. حجم لاستیک روزن رانی شده به طور فیزیکی خارج شده و منجر به کاهش قابلیت آب‌بندی درزگیر در هر سیکل فشاری و تخریب نهایی آن می‌گردد. تخریب درزگیر بر اثر روزن‌رانی، وابسته به فشار، میزان لقی شفت^۴، شعاع گوشه‌های شیار و سختی ماده است. با افزایش دما لاستیک‌ها نرم‌تر شده و بیشتر مستعد روزن‌رانی می‌گردند [۲۰].

توزیع حفره و نقیصه^۵

حفرات و ذرات درشت و سخت موجود در ماتریس درزگیرهای لاستیکی از عوامل مهم در تخریب تحت شرایط RGD هستند. اگرچه تعداد حفرات و ذرات جامد درشت (بزرگتر از ۲۰ میکرون) عموماً بسیار کمتر از حفرات و ذرات جامد کوچک‌تر است ولی تأثیر آنها بر مقاومت درزگیر در RGD بسیار حائز اهمیت است زیرا متورم شدن حفرات و ذرات جامد بزرگ‌تر، در فشار گاز بسیار پایین‌تری رخ می‌دهد. چون درزگیرها با سایز مقطع بزرگ‌تر، حفرات بزرگ‌تری دارند بنابراین سایز مقطع درزگیرها محدود است. همچنین در درزگیرهای فشار بالا، سایز حفرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون توصیه می‌گردد [۲۱-۲۳].

¹ Crack

² Fracture

³ Tolerance

⁴ Clearance gap

⁵ Defect

مانایی فشاری^۱

درزگیرهای لاستیکی در معرض بار مکانیکی درازمدت، آسودگی از تنش وابسته به زمان^۲ از خود نشان می‌دهند. با برداشتن بار روی درزگیر، لاستیک بسته به میزان تخریب فیزیکی و شیمیایی، به شکل اولیه خود بر می‌گردد. پدیده‌های افت میزان سختی و برگشت، با طبیعت ویسکوالاستیک لاستیک‌ها و واکنش‌های شیمیایی بین مواد و محیط تعیین می‌شوند. برخی مواد مقاوم به RGD، مانایی فشاری بالایی دارند. این نقیصه بایستی به ویژه در دماهای خیلی پایین (کمتر از -10°C) مد نظر قرار گیرد [۲۴]. عامل مهم دیگر در استحکام یک درزگیر لاستیکی، خواص ارتجاعی آن است. این ویژگی خاصیتی مشابه مانایی فشاری است که اطلاعات بیشتری درباره عملکرد درزگیر با زمان می‌دهد. قابلیت درزگیری در مواد مرتجع^۳ حتی با وجود چندین ترک بخوبی حفظ می‌شود.

پر شدگی شیار

پر شدگی مناسب شیار با افزایش تنش فشاری، تخریب RGD را در درزگیرها کاهش می‌دهد. اگر تنش فشاری محیطی حفره ای بزرگ‌تر از اختلاف فشار اعمال شده به آن باشد، حفره متورم نخواهد شد. این ویژگی در تجهیزات با شیار استاندارد، با قرار دادن حلقه‌های پشتیبان^۴ از جنس تفلون یا پلی اتر اتر کتون (PEEK)^۵ در یک طرف یا هر دو سمت کم فشار و پر فشار، حاصل می‌گردد. فشردگی اولیه بالا و پر شدگی شیار، با اعمال کرنش‌های بالا سبب ایجاد ترک‌های ریز ناشی از تنش^۶ می‌شود [۱].

کنترل کننده‌های روزن رانی اورینگ

حلقه‌های پشتیبان اورینگ‌ها با اندازه‌های استاندارد در دسترس هستند. این حلقه‌ها که از موادی سخت‌تر از اورینگ ساخته می‌شوند، از فلز نرم‌تر بوده و معمولاً از جنس پلاستیک ساخته می‌شوند. حلقه‌های فلزی نرم نیز در این زمینه کاربرد دارند. برای تسهیل جازدن حلقه‌های پشتیبان در شیار از حلقه فنری استفاده می‌شود. کاربرد این قطعات در فشارهای بالاتر از ۳۵۰ بار توصیه نشده و باید قطر داخلی آنها بزرگ‌تر از ۳ میلی‌متر باشد تا ماشین کاری میسر گردد. حلقه‌های پشتیبان تک دوری یا حلقه‌های ساخته شده از مواد سخت نظیر PEEK حد رواداری نسبتاً دقیق‌تری لازم دارند و نصب آنها سخت‌تر است [۳ و ۸].

¹ Compression Set

² Relaxation

³ Resilient

⁴ Back Up Rings

⁵ Poly ether ether ketone

⁶ Stress Cracking



بخش تجربی

اورینگ‌های واحد جذب آب گاز ترش مسجد سلیمان در شرایط بسیار حاد (دمای 250°C و فشار ۸۰ بار) به کار گرفته می‌شوند. این اورینگ‌ها در شیرهای^۱ POV در معرض دما و فشار بالا در حضور بخار آب، گاز ترش و شرایط دینامیک ناشی از باز و بسته شدن مداوم شیرها قرار می‌گیرند و بایستی در شرایط مذکور عملیات درزگیری را به طور مناسبی انجام داده، مانایی فشاری حداقل (حتی الامکان پایین تر از ۳۵ درصد) داشته و در برابر افت فشار سریع گاز ناشی از باز و بسته شدن شیرها، مقاوم باشند. در طراحی این اورینگ‌ها علاوه بر در نظر گرفتن پارامترهای معمول طراحی، نوع لاستیک مورد استفاده و خواص ویژه آن نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. این لاستیک‌ها بایستی مقاوم به بخار آب و گاز ترش در دمای بالا (250°C) باشند و طراحی آمیزه آن‌ها به گونه‌ای صورت بگیرد که در برابر افت فشار سریع گاز مقاوم باشند. جدول ۱ ترکیب درصد گاز خروجی از واحد جذب آب گاز ترش مسجد سلیمان را نشان می‌دهد. جریان ورودی به این واحد حاوی حدود ۱۰ درصد آب و مقداری هیدروکربن‌های سنگین‌تر است که در برج جذب با استفاده از غربال-های مولکولی جدا می‌شوند به طوری که جریان خروجی عاری از آب و هیدروکربن‌های سنگین‌تر از متان است.

جدول ۱. مشخصات گاز خروجی از واحد جذب آب گاز ترش مسجد سلیمان

نوع ماده	H ₂ S	N ₂	C ₁	CO ₂	C ₂	C ₃	IC ₄	NC ₄
درصد مولی	۲۴	۰/۲	۶۳/۳	۱۱	۰/۸	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۰۸

مواد

در ساخت اورینگ‌های مقاوم به گاز ترش و بخار آب در فشار بالا لازم است از لاستیک‌های پرفلئورینه ویژه استفاده گردد. برای این منظور در طراحی و ساخت اورینگ‌ها از لاستیک‌های پرفلئورینه تکنوفلون PFR95T^۲ (محصول شرکت سالوی^۳) و لاستیک پرفلئورینه کالرز ۰۰۹۰ (محصول دپونت^۴) استفاده گردید. این لاستیک‌های پرفلئورینه هر دو مقاوم به دمای بالا تا 250°C می‌باشند.

طراحی اورینگ‌ها

در طراحی اورینگ شیرهای POV واحد جذب مسجد سلیمان پارامترهای ذیل مد نظر قرار گرفت: سختی آمیزه‌ها برای مقاومت در برابر تخریب در شرایط تناوبی افت فشار سریع گاز حداقل IRHD ۹۰ انتخاب گردید. لاستیک سازنده درزگیرها از مواد مقاوم به بخار آب و گاز ترش با غلظت H₂S حدود ۲۴ درصد و CO₂ حدود ۱۱ درصد انتخاب گردید. قطر سطح مقطع درزگیرها برابر ۵/۳۳ میلی‌متر که حداکثر قطر پیشنهادی در مراجع برای مقاومت درزگیر در شرایط RGD است، انتخاب شد [۱]. قطر داخلی

¹ Pressure Operated Valve

² Technoflon PFR95T

³ Solvey Solexis, S. P. A. Italy

⁴ Dupont

اورینگ‌ها برابر ۷۵/۵۷ میلی‌متر انتخاب شد. اعمال کشیدگی مماسی^۱ بالا (بالتر از ۵ درصد) منجر به تخریب سریع لاستیک می‌شود. اگر شرایط سرویس به سوی حد دمای بالای کاربرد لاستیک میل کند این تخریب قابل توجه خواهد بود. با توجه به کاربرد اورینگ مورد نظر در دمای °C ۲۵۰ و نزدیکی آن به حد بالای دمای کاربرد لاستیک، به این ترتیب درصد کشیدگی اورینگ با شفت برابر ۱/۳ درصد و در محدوده توصیه شده برای اورینگ‌های مصرفی در شرایط RGD (پایین تر از ۵ درصد) در نظر گرفته شد. اورینگ‌ها پس از نصب، عمود بر جهت جریان افت فشار سیال، فشرده می‌شوند. معمولاً تنها ۱۰ تا ۱۵ درصد فشردگی در اورینگ‌ها توصیه می‌شود زیرا فشردگی اولیه بالا، تنش تماس درزگیر را افزایش داده و تنش کششی داخلی درزگیر را در جهت عمود به ویژه در درزگیرهایی که پس از RGD انبساط حجمی دارند می‌افزاید. لذا فشردگی اولیه بالاتر از ۱۵ درصد مطلوب نیست [۱]. بنابراین میزان فشردگی اولیه اورینگ ۱۳ درصد انتخاب شد. جهت پوشش دهی ارتفاع شیار از دو حلقه پشتیبان تفلونی استاندارد برای پشتیبانی اورینگ‌های لاستیکی با سایز ۵/۳۳ استفاده شد. با توجه به اندازه بوش و شفت، لقی مجاز برابر ۰/۱۵ میلی‌متر محاسبه گردید. جهت ساخت اورینگ‌ها آمیزه‌هایی از دو نوع لاستیک پرفلئورینه تکنوفلون PFR95T و لاستیک پرفلئورینه کالرز ۰۰۹۰ تهیه گردید. عملیات تهیه آمیزه‌ها با استفاده از غلطک ۶ اینچی در دمای °C ۵۰ و طی زمان ۲۵ دقیقه انجام گرفت. جدول ۲ مشخصات آمیزه‌های ساخته شده از این دو لاستیک را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات لاستیک‌های مورد استفاده در ساخت اورینگ‌ها و حلقه پشتیبان

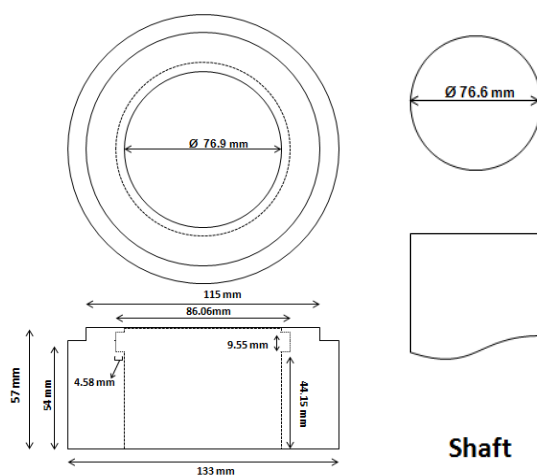
نوع ماده	درصد فلتور	سختی Shore A	مانایی فشاری ۷۰ h, ۲۰۰ °C (%)	دمای حداکثر سرویس (°C)	استحکام کششی در پارگی (MPa)	ازدیاد طول در پارگی (%)
استاندارد	-	ASTM D2240	ASTM D395B	-	ASTM D412, D638	ASTM D412
تکنوفلون PFR95HT	> ۷۲%	۹۳	۶۵	۲۸۰-۳۰۰	۱۸	۷۰
کالرز ۰۰۹۰	> ۷۲%	۹۵	۳۳	۲۵۰	۱۹/۴۹	۸۰
تفلون	۷۵%	۹۸	-	۲۶۰	۲۷	۳۰۰

پس از تهیه آمیزه‌ها با مشخصات درج شده در جدول ۲ و با توجه به اندازه شیار و شفت بوش شیر واحد جذب آب گاز ترش مسجد سلیمان (شکل‌های ۱ و ۲)، ابعاد اورینگ مورد نظر محاسبه و تعیین گردید. مشخصات بوش و شفت در جدول ۳ درج شده است. جدول ۴ ابعاد اورینگ مناسب و حلقه پشتیبان را نشان می‌دهد.

با توجه به اندازه اورینگ مورد نظر و میزان انقباض آمیزه‌های لاستیکی، قالب مناسب اورینگ جهت دستیابی به ابعاد درج شده در جدول ۴ طراحی و ساخته شد. عملیات پخت و قالبگیری اورینگ‌ها در دمای °C ۱۷۰

⁴ Hoop Stress

به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت و پخت تکمیلی در آن $240-290^{\circ}\text{C}$ در طی ۲۴ ساعت صورت پذیرفت. در تهیه آمیزه و قالبگیری اورینگها توجه خاصی به آمیزه‌سازی لاستیک، توزیع مناسب افزودنی‌ها در لاستیک و انجام دقیق عملیات پخت و قالبگیری لازم است تا سطح ظاهری اورینگها کاملا صاف و عاری از حفره، ذرات جامد درشت و هرگونه نقصی باشد. زیرا نقیصه‌ها نقاط شروع ترک‌های ریز در شرایط RGD هستند.



شکل ۱. نقشه بوش و شفت شیر POV



شکل ۲. تصویر اورینگ در بوش سمت راست و تصویر حلقه پشتیبان سمت چپ (بزرگنمایی ۱X)

جدول ۳. مشخصات بوش و شفت شیر POV واحد جذب آب گاز ترش مسجد سلیمان

ارتفاع شیار H (mm)	عمق شیار W (mm)	لقی شفت (mm)	قطر خارجی شفت D_s (mm)	قطر خارجی شیار D_o (mm)	قطر داخلی شیار D_i (mm)
۹/۵۵	۴/۵۸	۰/۱۵	۷۶/۶	۸۶/۰۶	۷۶/۹

جدول ۴. مشخصات اورینگ و حلقه پشتیبان

ضخامت حلقه پشتیبان (mm)	قطر حلقه پشتیبان (mm)	درصد فشردگی اورینگ	درصد کشیدگی اورینگ	قطر مقطع اورینگ (mm)	قطر خارجی اورینگ (mm)	قطر داخلی اورینگ (mm)
۲	۵/۳۳	۱۱	۱/۳	۵/۳۳	۸۶/۲۳	۷۵/۵۷

بررسی کارایی اورینگ‌ها در تست میدانی

پس از نصب اورینگ‌ها در سایت، جهت انجام آزمون کاربردی، تخریب اورینگ‌های ساخته شده از آمیزه تکنوفلون با سختی ۹۳ پس از ۳ ساعت قرارگیری در معرض گاز ترش، بخار آب و باز و بسته شدن‌های متوالی شیر^۱ بر اثر RGD مشاهده گردید. این تخریب با ایجاد تاول‌های بزرگ و ترک‌های بسیار در اورینگ همراه بود. شکل‌های ۳ و ۴ تصاویر سطح اورینگ پخت شده را قبل از انجام آزمون کاربردی و پس از آن نشان می‌دهند. حضور ترک‌ها و کندگی‌ها در سطح نمونه‌های پخت شده پیش از آزمون کاربردی به وضوح نشانگر پخت و قالبگیری نامناسب اورینگ‌ها است. پخت و قالبگیری نامناسب اورینگ‌ها منجر به ایجاد حفرات و ذرات جامد درشت و سخت در سطح نمونه‌ها شده و موجبات تخریب سریع اورینگ‌ها در شرایط RGD را فراهم می‌آورد.

همچنین نقیصه ناشی از روزن رانی اورینگ مشاهده شد (شکل ۵). جهت حذف نقایص ناشی از قالبگیری و پخت اورینگ، عملیات قالبگیری دقیق با هواگیری مناسب و انجام عملیات پخت تکمیلی با افزایش دیفرانسیلی دما با نرخ 20°C در هر نیم ساعت جهت خروج آرام محصولات فرار ناشی از پخت انجام گرفت به این ترتیب حفره‌های ناشی از خروج سریع مواد فرار حذف و سطح اورینگ‌ها اصلاح گردید. نمونه‌های جدید به مدت ۱۳ روز در آزمون کاربردی مقاوم بودند و پس از ۱۳ روز مجدداً نشت گاز گزارش شد. بررسی سطح اورینگ‌ها نشان داد که نمونه‌ها نسبتاً عاری از تاول و ترک بوده و علت نشت گاز، مانایی فشاری بالای آمیزه به میزان ۶۵ درصد و نشست اورینگ‌ها تحت فشار بوده است. این نقیصه با بررسی سطح مقطع اورینگ‌ها که از دایره به مربع تبدیل شده بود تایید گردید (شکل ۶). به این ترتیب آمیزه تکنوفلون PFR95T به دلیل مانایی فشاری بالا، نامناسب شناخته شد و قابلیت کاربرد در شیرهای واحد جذب آب در شرایط مذکور را نداشت.



شکل ۴. تصویر ترک‌های سطحی اورینگ ساخته شده از آمیزه تکنوفلون PFR95T پس از ۳ ساعت اعمال شرایط عملیاتی در آزمون کاربردی (بزرگنمایی ۱X)

^۱ مطابق دستورالعمل بررسی کارایی اورینگ‌ها در شیرهای POV موجود در واحد جذب مسجده سلیمان

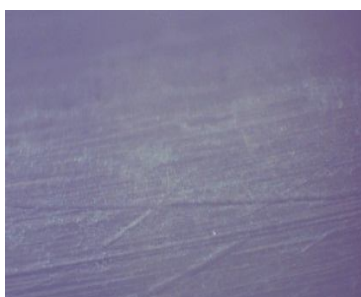


شکل ۵. تصویر نقیصه روزن رانی در اورینگ ساخته شده از آمیزه تکنوفلون PFR95T پس از ۳ ساعت اعمال شرایط عملیاتی در آزمون کاربردی (بزرگنمایی ۱X)



شکل ۶. تصویر اورینگ ساخته شده از آمیزه تکنوفلون PFR95T با پخت اصلاح شده پس از ۱۳ ساعت اعمال شرایط عملیاتی در آزمون کاربردی (نشست نمونه بر اثر مانایی فشاری بالا) (بزرگنمایی ۱X)

با استفاده از آمیزه کالرز ۰۰۹۰ اورینگ‌هایی با سطح عاری از حفره و انباشت ذرات جامد تهیه شد. این امر با اصلاح فرایندپذیری و پخت آمیزه جهت دستیابی به سطح کاملاً هموار و عاری از نقیصه میسرگشت. شکل ۷ تصویر سطح عاری از نقیصه این اورینگ‌ها را نشان می‌دهد. این اورینگ‌ها با برخورداری از سختی بالا ۹۵ IRHD به شرایط RGD مقاوم بوده و مانایی فشاری ۳۳ درصد دارند و به دلیل طراحی مناسب قالب و سایز اورینگ، روزن‌رانی نمی‌کنند و در آزمون میدانی کاربرد موفقی داشتند (بیش از ۱۲ ماه بدون نقیصه در آزمون میدانی). شکل ۸ تصویر سطح اورینگ‌های ساخته شده از کالرز ۰۰۹۰ را نشان می‌دهد.



شکل ۷. تصویر سطح صاف اورینگ‌های کالرز ۰۰۹۰ پس از پخت و قالب‌گیری (بزرگنمایی ۵X)



شکل ۸. تصویر اورینگ‌های کالرز ۰۰۹۰ با مانایی مناسب (بزرگنمایی ۱X)

نتیجه گیری

بررسی پارامترهای موثر در طراحی اورینگ‌های لاستیکی تحت فشار گاز و به‌کارگیری این پارامترها در طراحی اورینگ شیرهای POV واحد جذب آب گاز ترش مسجد سلیمان نشان داد که علاوه بر لزوم مقاومت شیمیایی مناسب لاستیک‌های به‌کار رفته در ساخت اورینگ‌های تحت فشار گاز در برابر اجزای تشکیل دهنده گاز در فشار بالا، عدم حضور هر گونه تاول و ذرات جامد با سایز بالاتر از ۱۰ میکرون در اورینگ پس از قالبگیری و پخت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. میزان مانایی فشاری اورینگ در دمای بالا نیز از پارامترهای مطرح دیگر در طراحی اورینگ‌ها است. طراحی مناسب سایز اورینگ، درصد کشیدگی آن پس از نصب، درصد پرشدگی شیار و میزان لقی شفت نیز از اهمیت بالایی در دستیابی به مقاومت اورینگ در شرایط RGD برخوردارند. بررسی‌های انجام شده بر روی دو آمیزه تکنوفلون PFR95T و کالرز ۰۰۹۰ نشان داد که آمیزه تکنوفلون PFR95T علی‌رغم برخورداری از مقاومت شیمیایی مناسب به دلیل مانایی بالا جهت کاربرد در اورینگ شیرهای POV واحد جذب آب مسجد سلیمان نامناسب است در حالی که آمیزه کالرز ۰۰۹۰ با برخورداری از مقاومت شیمیایی و مقاومت به نشست لازم، گزینه مناسبی برای ساخت این اورینگ‌ها است.

منابع

1. Ho E., Elastomeric seals for rapid gas decompression applications in high pressure services, BHR Group, Research Report 485, 2006.
2. Jagels S., Low Temperature Sealing in High Pressure Applications, IDEX Corporation, Technical Paper Doc. TP00113.14, 2010.
3. Embury P., High-pressure gas testing of elastomer seals and a practical approach to designing for explosive decompression service, Sealing Technology, Vol. 6, 2004, pp 6–11.
4. Hertz D.L., Sealing High Pressures under Sour Conditions, Am. Soc. Mech. Eng., Vol. 84, 1984, pp 157-169.



5. Atkinson S., Decompression modelling of elastomer seals promises to eliminate downtime, *Sealing Technology*, Vol. 12, 2002, pp 8–11.
6. Haworth. P., Elastomer seals taking the pressure, *World Pumps*, no. 1, 2007, pp 34–35.
7. Routh J. and Ho E., Modelling of decompression in elastomeric systems, *Sealing Technology*, Vol. 47, 1997, pp 10–12.
8. Douglas S.W., Extrusion resistance of elastomers: a study of factors that affect performance in High Performance Elastomers and Polymers for Oil and Gas Applications, Aberdeen, Scotland, 2012.
9. Major Z. and Lang R.W., Characterization of the fracture behavior of NBR and FKM grade elastomers for oilfield applications, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 17, 2010, pp 701–711.
10. Fujiwara H. and Nishimura S., Evaluation of hydrogen dissolved in rubber materials under high-pressure exposure using nuclear magnetic resonance, *Polymer Journal*, Vol. 44, 2012, pp 832–837.
11. Fujiwara H., Yamabe J., and Nishimura S., Evaluation of the change in chemical structure of acrylonitrile butadiene rubber after high-pressure hydrogen exposure, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 37, 2012, pp 8729–8733.
12. Briscoe B.J. and Zakaria S., Gas-induced damage in elastomeric composites, *Journal Material Science*, Vol. 25, 1990, pp 3017–3023.
13. Morgan G.J. and Thomson B., Observing rapid gas decompression damage: a novel technique, in *High Performance Elastomers and Polymers for Oil and Gas Applications*, Aberdeen, Scotland, 2012.
14. Fuller R.E., Advanced polymer architecture sealing solutions for oil and gas applications, *Sealing Technology*, Vol. 9, 2006, pp 6–11.
15. Fuller R.E., Fluoroelastomers made with Advanced Polymer Architecture for Oil & Gas Applications, *Oilfield Engineering with Polymers*, 2006.
16. Koga A., Uchida K., Yamabe J., and Nishimura S., Evaluation on High-Pressure Hydrogen Decompression Failure of Rubber O-ring Using Design of Experiments, SAE International, Warrendale, PA, SAE Technical Paper 2011-39-7259, 2011.
17. Hertz D.L., Elastomers in CO₂, in *High Performance Elastomers and Polymers for Oil and Gas Applications*, Aberdeen, Scotland, 2012.
18. Nasreddine V., Kulbaba K., Mueller C., Bischoff A., James B., Chen L., Gerrard D., Goodson J., Fluid ageing and explosive decompression resistance of Therban/HNBR, in *High Performance Elastomers and Polymers for Oil and Gas Applications*, Aberdeen, Scotland, 2012.
19. Schrittester B., Pinter G., Schwarz T., Nagy T. and Urbán M., Fracture and fatigue behavior of elastomers used in the oil and gas industry, in *High Performance Polymers for Oil and Gas*, The Westin Houston, Houston, TX, USA, 2013.
20. Warren P., Low temperature sealing capability of elastomer O-rings, *Sealing Technology*, Vol. 9, 2008, pp 7–10.
21. NACE Standard-TM0187-2011, Evaluating Elastomeric Materials in Sour Gas Environments, NACE Standard, 2011.
22. NACE Standard-TM0192-2012, Evaluating Elastomeric Materials in Carbon Dioxide Decompression Environments, NACE Standard, 2012.
23. NACE Standard-TM0297-2008, Effects of High-Temperature, High-Pressure Carbon Dioxide Decompression on Elastomeric Materials, NACE Standard, 2008.



24. Gadkari A.C., High performance polymers for a variety of oil & gas applications in harsh and demanding conditions, in High Performance Polymers for Oil and Gas, The Westin Houston, Houston, TX, USA, 2013.