مقاله

بررسی دلائل شکست شیر دروازه‌ای در مخزن تی ۹۰۱

مهدی صوفی، کارشناس مهندسی مکانیک، واحد تحقیق و توسعهٔ شرکت نفت پارس
m.soufi@parsoilco.com

چکیده
در این مقاله عواملی که منجر به شکست شیر کشوئی یا دروازه‌ای[1] مخزن ذخیرهٔ اکسترکت فورفورال[2] می‌شود، بررسی می‌شود. شکست شیر در مخزن‌های ذخیره می‌تواند به بروز خسارت‌های سنگین اقتصادی، زیست محیطی و جز این‌ها بیانجامد. برای این منظور لازم است سه عامل مهم ساختار درونی شیر، تنش‌های ناشی از نشست مخازن در دراز مدت و نهایتاً عوامل بروز شکست در مواد ترد بررسی شود. این عوامل در کنار هم، شرایط مساعد برای بروز پدیدهٔ شکست در این گونه شیرها را فراهم می‌کنند.

واژگان کلیدی: شیرآلات صنعتی، مخازن ذخیرهٔ سیالات، شکست، شیر دروازه‌ای، شیر کشوئی، فرسایش شیرآلات صنعتی، تنش حرارتی

مقدمه

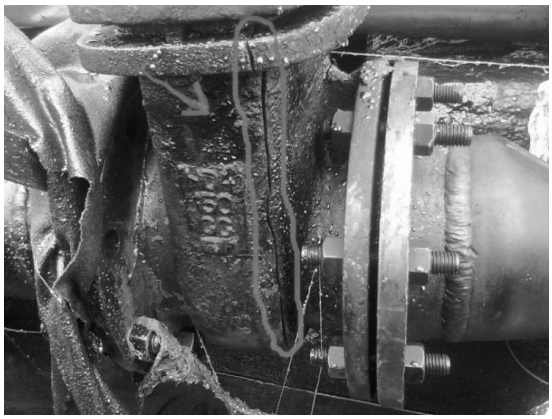
بروز پدیدهٔ شکست در شیرآلات صنعتی همواره خسارت‌های زیادی به واحدهای پالایشگاهی می‌رساند. لذا بررسی عواملی که در بروز این پدیده تأثیرگذارند، خود می‌تواند مهم‌ترین اقدام در جهت جلوگیری از وقوع چنین حوادثی به‌حساب آید. شیری که در این مقاله به آن می‌پردازیم، شیر صنعتی از نوع دروازه‌ای، با متریال چدن و کلاس ۱۵۰ می‌باشد که به تانک ذخیره متصل است و وظیفهٔ تخلیه‌کردن بعد از عملیات شستشو با بخار را برعهده دارد. این شیر با عمر کارکرد تقریبی ۳۰ الی ۴۰ سال، از ناحیهٔ مرکزی بدنه می‌شکند. در شکل ۱، ناحیهٔ شکست این شیر نمایش داده شده است. مخزن مورد بررسی در این مقاله، مخزن تی ۹۰۱[3]، دارای سیال داخلی اکسترکت فورفورال و دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی گراد، با حجم ۲۴۸۴/۵۷۰ متر مکعب و ظرفیت ۲۰۷۰ می‌باشد. این مخزن سقف‌مخروطی از نوع اتمسفریک و استوانه‌ای بوده، دارای قطر ۱۴/۶۳ متر و ارتفاع ۱۴/۷۸ می‌باشد. برای بررسی این موضوع، در ابتدا انواع شیرها و اجزاء شیر دروازه‌ای بررسی خواهد شد، سپس به عوامل بروز شکست در فلزات ترد همچون چدن خواهیم پرداخت.

شیرآلات صنعتی

شیرها بخش حیاتی سیستم‌های لوله‌کشی‌اند که با توجه به نوع طراحی‌شان، قادر به انتقال انواع سیالات می‌باشند. در یک کارخانهٔ فرایندی، ارزش شیرها از نظر تجاری و عملکردی بسیار حائز اهمیت است. این ادوات عناصر کنترل جریان فرایند هستند. شروع، توقف، تنظیم و ممانعت از عبور سیال توسط شیرها انجام می‌شود و در انواع متنوعی

وجود دارند. متداول‌ترین شیرهای مورد استفاده در پروژه‌ها با توجه به کد ASME B31 به شرح زیر می‌باشد:

۱. شیرهای دروازه‌ای
۲. شیرهای ساچمه‌ای[۴]
۳. شیرهای یک‌طرفه[۵]
۴. شیرهای توپی[۶]
۵. شیرهای درپوشی یا مجرابند[۷]
۶. شیرهای پروانه‌ای[۸]
۷. شیرهای گیره‌ای یا دیافراگمی[۹]
۸. شیرهای کنترلی[۱۰]
۹. شیرهای تخلیهٔ فشار[۱۱]



شکل ۱. ناحیهٔ شکست شیر دروازه‌ای

چون در این مقاله پدیدهٔ شکست در شیرهای دروازه‌ای بررسی شده است، توضیحات ارائه‌شده صرفاً دربارهٔ این نوع شیر بیان می‌شود.

شیرهای دروازه‌ای

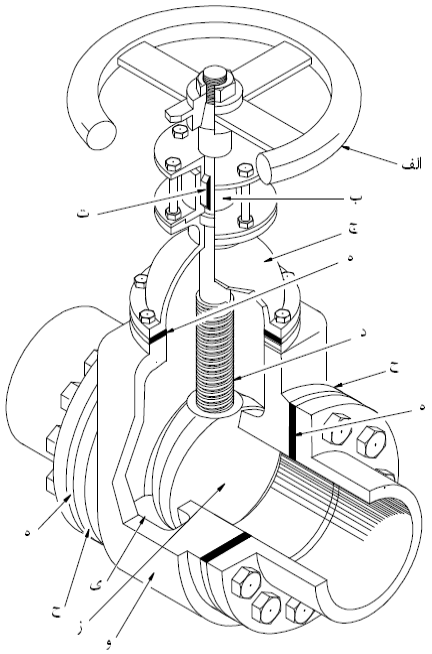
پرمصرف‌ترین و شاید بهترین نوع شیر برای قطع و وصل‌کردن کامل جریان مایعات و گازها، شیر دروازه‌ای است. ساختمان این نوع شیر به‌گونه‌ای است که اگر کاملاً باز باشد، مایع یا گاز، بدون برخورد با مانع، در خط مستقیم با حداقل افت فشار (نسبت به شیرهای دیگر) عبور می‌کند. البته باید توجه داشت که از این نوع شیر برای تنظیم مقدار دلخواه سیال عبوری استفاده نمی‌شود؛ زیرا اگر این شیر در حالت نیمه‌باز باقی بماند، چون مسیر عبور عمود بر کشو (پلاگ) شیر است، دائم به آن ضربه می‌زند و سبب لرزش کشویی شیر و سایر قطعات متصل به آن می‌شود و در نتیجه اجزایی چون دسته، گلند و لایی خیلی زود فرسوده می‌شوند. درواقع این موضوع سبب به‌وجود آمدن آشفتگی[۱۲] در شیر خواهد شد. همچنین اگر مایع یا گاز عبوری پرسرعت با کشو نیمه‌باز تماس داشته باشد، حالت برندگی به آن می‌دهد و سبب ساییدگی زودرس قطعات شیر می‌شود [۲]. باتوجه به شکل ۲، ساختار اصلی یک شیر دروازه‌ای عبارت است از:

الف: دستگیره[۱۳]
ب: گیرندهٔ دسته
ج: کلاهک[۱۴]
د: دسته[۱۵]
ه: واشر درزبند
و: بدنه[۱۶] یا یا
ز: جزء کنترلی سیال[۱۷]
ح: فلنج
ت: آب‌بند[۱۸]
ی: نشیمنگاه[۱۹]

نشیمنگاه‌ها

سایش تدریجی تنها در شیرهایی که قطعات نشیمنگاهی آن نرم هستند به‌وجود نمی‌آید؛ بلکه در نشیمنگاه‌های فلزی نیز ایجاد می‌شود. مخصوصاً اگر مایع عبوری از شیر خورنده باشد یا ذرات جامد و ساینده در خود داشته باشد. محل نشیمنگاه در شیرها در معرض آسیب‌های ناشی از خوردگی[۲۰]، فرسایش[۲۱] و خراشیدگی[۲۲] هستند. اگر ذرات ساینده‌ای که روی سطح نشیمنگاه قرار می‌گیرند یا از روی آن عبور می‌کنند، بزرگ‌تر از اندازهٔ ناهمواری‌های سطح فلزی باشند، این سطح را تخریب می‌کنند. اما اگر اندازهٔ این ذرات ساینده در مقایسه با زبری و ناهمواری‌های سطح کوچک‌تر باشد، کیفیت پرداخت سطح در اثر سایش با این ذرات بهبود می‌یابد. بنابراین جنس مادهٔ نشیمنگاه باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که در برابر خوردگی، فرسایش و خراش مقاوم باشد. اگر جنس نشیمنگاه در برابر یکی از این

عوامل ضعیف باشد، ممکن است کاملاً در انجام وظیفه‌اش ناتوان شود. مثلاً ممکن است یک ماده مقاومت زیادی در برابر خوردگی و فرسایش داشته باشد، ولی مقاومت آن در برابر عوامل خراش‌دهنده پایین باشد. لذا این عامل سبب رشد ترک و نهایتاً شکست خواهد شد.



شکل ۲. اجزاء داخلی شیرهای کشوئی یا دروازه‌ای

بازکردن و بستن مکرر این‌گونه شیرها ممکن است سبب سایش سطوح نشیمنگاه و دیسک شود. البته این موضوع به‌میزان فشار سیال، پهنای سطوح تماس، میزان روانکاری سیال عبوری و مقاومت سطوح فلزی در برابر سایش بستگی دارد. این دلیل کافی است که از شیرهای دروازه‌ای در مواردی که نیاز به باز و بسته‌کردن مکرر باشد، استفاده نشود [۴].

مخازن

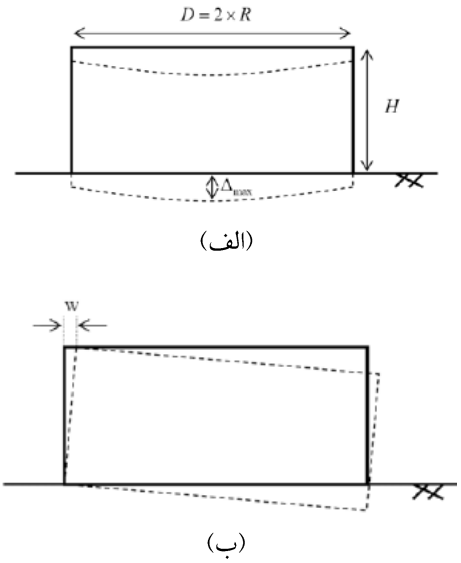
مخازن ذخیره معمولاً جهت ذخیره‌نمودن نفت خام[۲۳]، فرآورده‌های متنوع نفتی در پالایشگاه‌ها، واحدهای پتروشیمی، انبارهای نفت، نیروگاه‌ها و سایر صنایع به‌کار می‌روند. برای تقسیم‌بندی مخازن، معمولاً با توجه به پارامترهای گوناگون، تقسیم‌بندی‌های متفاوتی صورت می‌پذیرد. مخازن ذخیره از لحاظ شکل ظاهری به‌صورت استوانه‌ای افقی، استوانه‌ای عمودی، کره‌ای و یا شکل‌های دیگر می‌باشد و از نظر محل نصب به مخازن روزمینی[۲۴] و زیرزمینی[۲۵] تقسیم‌بندی می‌شوند. مخازن استوانه عمودی و روزمینی خود از نظر نوع سقف به مخازن سقف شناور و مخازن بدون سقف و سقف ثابت و سقف ثابت با شناور داخلی تقسیم می‌شوند. از نظر فشار کارکرد نیز به مخازن پرفشار، فشار پایین و فشار اتمسفریک تقسیم‌بندی می‌شوند [۳].

نشست مخازن نفتی[۲۶]

نشست مخازن از جمله پدیده‌هایی است که در درازمدت خود را نشان داده،همه‌ساله خسارت‌های زیادی را به صنایع نفت وارد می‌نماید. در شکل ۳ دو نوع رایج نشت در مخازن نمایش داده شده است. متأسفانه حذف کامل این پدیده امکان‌پذیر نیست. طراحی فوندانسیون، شرایط خاک، هندسهٔ تانک و بارگذاری‌ها همگی از جمله عوامل قابل توجه در بروز نشست مخازن به‌شمار می‌آیند [۸]. این پدیده، نه تنها تهدیدی برای عمر مخزن محسوب می‌شود، که آثار مخربی را بر اجزاء درگیر با تانک، از جمله سیستم لوله‌کشی مجموعه، دارد. به‌طوری‌که با اعمال تنش‌های زیاد از طرف تانک به سیستم لوله‌کشی، سبب شکسته‌شدن این مجموعه و در نهایت تخلیهٔ سیال درون تانک خواهد شد. دستاوردهای این موضوع در المان‌های بزرگ می‌تواند منجر به خاموشی بخشی از مجموعهٔ پالایشگاهی برای مدت طولانی شود.

در اینجا بجاست به خسارتی که به‌علت نشست یک مخزن به مجموعهٔ پالایشگاهی وارد شده است، اشاره کنیم. در سال ۱۹۷۴ م، نشست تانک ذخیرهٔ روغن داغ[۲۷] در یک پالایشگاه ژاپنی، پیامدهای گوناگونی را درپی داشت. محتویات این تانک، پس از نشست لبریز شده و وارد دریای مجاور شد. این حادثه خسارت‌های زیادی به صنعت ماهیگیری آن منطقه وارد کرد. این پالایشگاه به‌دلیل اعتراضات مردمی، با تولید روزانه ۲۷۰،۰۰۰ بشکه، برای ۹ ماه، تعطیل شد. چنین اتفاقی حدود ۱۵۰،۰۰۰،۰۰۰ دلار

خسارت به این مجموعه وارد کرد [۶]. این حادثه، نشان‌دهندهٔ اهمیت موضوع و همچنین خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم به چنین مجموعه‌هایی است. بنابراین در طراحی مخازن ذخیره‌سازی واحدهای پالایشگاهی، تمام استانداردهای بین‌المللی مهندسی می‌بایست لحاظ شود.



(الف)

(ب)

شکل ۳. الف) نشست مخزن، ب) کج‌شدگی مخزن

انعطاف‌پذیری کافی در طراحی سیستم لوله‌کشی متصل به مخزن برای تحمل جابه‌جایی نقاط اتصال در زمان زلزله و یا نشست مخزن باید در نظر گرفته شود تا در لوله و اتصالات شکست رخ ندهد و سیال از آن خارج نشود. لولهٔ متصل به مخزن نباید بار قابل توجهی به قطعات متصل به جدارهٔ مخزن وارد کند؛ زیرا نیروهای موضعی در محل اتصالات لوله در طراحی جدارهٔ مخزن باید در نظر گرفته شوند. برای این منظور می‌بایست از ادوات مکانیکی انعطاف‌پذیر همچون اتصالات آکاردئونی[۲۸] و مفصل انبساط در طراحی سیستم لوله‌کشی استفاده نمود [۷].

تنش‌های حرارتی

تنش‌های حرارتی اصطلاحاً تنش‌هایی هستند که به‌دلیل تغییرات دما در یک جسم پدید می‌آیند. درک منشأ و ماهیت این دسته از تنش‌ها مهم است؛ زیرا سبب شکست قطعه یا تغییر مومسان نامطلوب آن می‌شوند. اگر یک میلهٔ جامد از دو طرف آزاد نبوده، یک‌سر درگیر باشد، ولو به‌صورت یکنواخت سرد و گرم شود که شیب دمایی وجود نداشته باشد، انبساط یا انقباض سبب ایجاد تنش حرارتی در آن می‌شود. دامنهٔ این تنش در تغییر دما از T_0 به T_f عبارت است از:

$$\sigma = E\alpha_1(T_0 - T_f) \Rightarrow \sigma = E\alpha_1 \Delta T \qquad (۱)$$

به‌طوری‌که در این رابطه E مدول کشسانی و α_1 ضریب خطی انبساط حرارتی است.

در حین گرم‌شدن تنش فشاری است؛ زیرا از انبساط میله جلوگیری می‌شود. اما در حین سردشدن تنش کششی ایجاد می‌شود. شوک حرارتی می‌تواند ناشی از شیب دمایی در جسم باشد. وقتی جسم جامدی گرم یا سرد می‌شود، توزیع دمای درونی به اندازه و شکل آن، هدایت حرارتی جسم و سرعت تغییر دما بستگی دارد. تفاوت سرد و گرم‌شدن باعث می‌شود که تغییرات دمایی بیرونی بسیار سریع‌تر از تغییرات درونی باشد. بنابراین تنش‌های فشاری سطحی ایجاد و با تنش‌های کششی درونی موازنه می‌شود. در حین سردشدن، اتفاقی معکوس رخ خواهد افتاد و سطح در معرض کشش خواهد بود. به‌همین دلیل است که اجسام در حین سردشدن سریع، که تنش اعمالی به آنها به‌صورت کششی است، بیشتر در معرض خطر تشکیل و رشد ترک و درپی آن وقوع شکست خواهند بود. بر خلاف فلزات نرم و پلیمرها که با تغییرشکل مومسان خطر شکست ترد را ندارند.

اصولاً به ظرفیت یک ماده به مقاومت در برابر این نوع شکست، مقاومت در برابر شوک حرارتی گفته می‌شود و داریم:

$$TSR \cong \frac{\sigma_f K}{E\alpha_1} \qquad (۲)$$

به‌طوری‌که در این رابطه σ_f استحکام شکست است. هرچه استحکام شکست و هدایت حرارتی جسمی مانند سرامیک بسته و یا مدول کشسانی و ضریب انبساط حرارتی کمتر باشد، مقاومت در برابر شوک حرارتی آن بیشتر خواهد بود. البته باید توجه داشت که محدودیت‌های مواد ترد

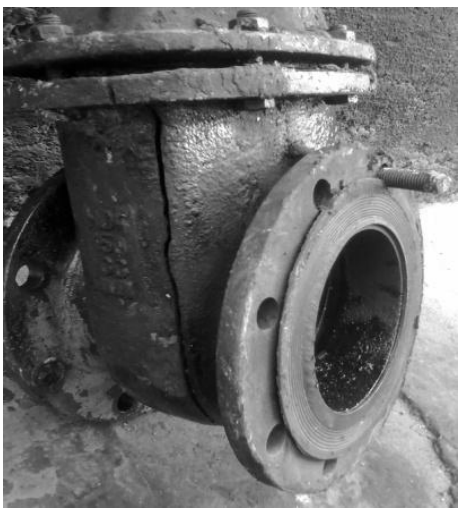
کاربرد آنها را محدود نمی‌کند. چدن، سیمان، بتن و آجر نمونه‌هایی از مواد تردی هستند که معمولاً استفادهٔ زیادی دارند. البته طراحی و کار با این مواد دقت بالایی را می‌طلبد. بدنهٔ موتور خودرو عموماً از چدن ساخته می‌شود، اما نیروی وارد بر آن معمولاً به‌قدری پایین است که مانع پیشرفت ترک می‌شود. اگر آب سرد روی موتوری که بیش از اندازه گرم شده است ریخته شود، ماهیت ترد ماده معلوم خواهد شد. در اثر انقباض حرارتی، تنش حرارتی تولید می‌شود که این تنش ممکن است برای ایجاد شکست ترد کافی باشد. لذا بدنهٔ موتور می‌شکند. علت استفاده از چدن امکان به‌کارگیری روش‌های ارزان تولید است، اما هنگام طراحی باید ماهیت ترد این ماده در محاسبه منظور شود [۱].

تأثیر ترک در مواد ترد

منشأ ترک می‌تواند عواملی همچون مجموعهٔ نابجایی‌ها، حضور ناخالصی در هنگام انجماد یا خراش سطحی باشد. به‌طوری‌که وقتی مادهٔ جامد تحت تأثیر تنش کششی قرار گیرد، ذخیرهٔ انرژی کشسانی در اثر ازدیاد طول ماده خواهد بود. با افزایش تنش در مادهٔ جامد، انرژی کشسانی ذخیره شده در واحد حجم ماده افزایش می‌یابد. در تنش‌های به اندازهٔ کافی بالا، ترک پیشرفت می‌کند و ماده می‌شکند. افزایش طول ترک سبب ازدیاد انرژی سطح آن شده، در نتیجه انرژی سطح نمونه افزایش می‌یابد. در همین حال، آزادشدن انرژی در جهت خنثی‌کردن این پدیده صورت می‌گیرد. لذا با ازدیاد طول ترک، دو طرف ماده قابلیت جذب انرژی خود را از دست می‌دهد؛ زیرا کششی از محل ترک منتقل نمی‌شود. در نتیجه، ازدیاد طول ترک سبب آزادشدن انرژی کشسانی می‌شود (شکل ۴). بنابر نظریه گریفیث[۲۹] هنگامی‌که انرژی کشسانی آزاد شده در اثر پیشرفت ترک با انرژی سطح مورد نیاز برای پیشرفت ترک برابر شود، ترک پیشرفت حاصل می‌کند. لذا اگر در قطعه‌ای ترد ترک شروع به پیشرفت کند، غالباً تا حد شکست ادامه می‌یابد. پیشرفت ترک سریع و شکست ترد آن ناگهانی است و هیچ‌گونه اخطاری پیش از وقوع شکست وجود ندارد [۵].

خستگی

خستگی نوعی از شکست است که در سازه‌ها و قطعات ماشین‌آلات، که در معرض تنش‌های دینامیکی و نوسانی قرار دارند، رخ می‌دهد. تحت این شرایط امکان دارد در تنش‌های بسیار کمتر از استحکام کششی یا تسلیم برای یک بارگذاری استاتیکی، شکست رخ دهد. واژهٔ خستگی را به این دلیل به‌کار می‌برند که معمولاً این نوع شکست پس از مرحله‌ای طولانی از سیکل پیاپی تنش یا کرنش به‌وقوع می‌پیوندد. اهمیت خستگی بدین دلیل است که علت تقریباً ۹۰ درصد شکست فلزات است. شکست خستگی بسیار مخرب است و بدون هیچ‌گونه هشداری ناگهان رخ می‌دهد. حتی در فلزات نرم ماهیت شکست ناشی از خستگی، ترد است؛ زیرا تغییرشکل مومسان اندکی همراه با شکست وجود دارد. فرایند جوانه‌زنی و رشد ترک انجام می‌شود و سطح شکست عمود بر جهت تنش اعمالی است.



شکل ۴. گسترش ترک

شکست

شکست[۳۰] ساده عبارت است از جدایش یک قطعه به دو یا چند پاره به‌دلیل تنشی که به آن اعمال می‌شود. این تنش ایستاست؛ یعنی نسبت به زمان ثابت است یا آهسته تغییر

می‌کند، و در دمایی اتفاق می‌افتد که نسبت به دمای ذوب ماده نسبتاً پایین است. تنش اعمالی می‌تواند کششی، فشاری، برشی یا پیچشی باشد. در مواد مهندسی، دو نوع شکست محتمل است:

۱. شکست نرم[۳۱]
۲. شکست ترد[۳۲]

این تقسیم‌بندی بر پایهٔ توانایی ماده در برابر تغییرشکل مومسان استوار است. مواد نرم عموماً تغییرشکل زیاد مومسان همراه با جذب انرژی بسیار قبل از شکست از خود نشان می‌دهند. در شکست ترد تغییرشکل مومسان وجود ندارد و یا کم است و جذب انرژی نیز اندک است. فرایند شکست در برابر اعمال تنش شامل دو مرحله است: تشکیل ترک و رشد آن. نوع شکست به سازوکار رشد ترک بستگی دارد. مشخصهٔ شکست نرم، تغییرشکل بسیار زیاد مومسان در مجاورت ترک در حال رشد است. علاوه بر آن، با افزایش طول ترک، گسترش فرایند نسبتاً آرام می‌شود. چنین ترکی را پایدار می‌گویند. این بدان معناست که ترک در برابر هرگونه گسترش بعدی مقاومت می‌کند، مگر آنکه تنش اعمالی افزایش یابد. شواهد تغییرشکل شدید مانند گسیختگی و پیچ‌خوردگی در سطح شکست دیده می‌شود. در شکست ترد، ترک بسیار سریع گسترش می‌یابد، که با تغییرشکل مومسان کمی همراه است. این نوع ترک را ناپایدار می‌گویند. در این نوع ترک، تداوم رشد ترک با افزایش همزمان دامنهٔ تنش اعمالی همراه نیست.

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که اشاره شد، دلائل بسیاری برای وقوع پدیدهٔ شکست در این نوع شیر با متریال چدن وجود دارد. لذا با توجه به عمر کارکرد، مادهٔ سازنده و جز این‌ها عوامل زیر مشهود است:

۱. خراش‌های بسیار ریز یکی از عوامل رشد ترک و نهایتاً شکست شیرهای چدنی است که تنش‌های حرارتی این رشد ترک را تسریع می‌کنند. با توجه به شکل ۴، رشد ترک در ناحیهٔ میانی شیر دیده می‌شود که این معنی وجود ترک‌های سطحی داخلی به‌علت تماس های مکرر دروازه با بدنهٔ شیر، در طی ۳۰ سال، است. تاریخچهٔ مخزن این‌گونه بیان می‌کند که در آغاز به‌کار این واحد پالایشگاهی، مادهٔ ذخیره‌شده در این مخزن لوبکات[۳۳] بوده و طی دو سال اخیر، لوبکات جای خود را به اکسترکت فورفورال داده است. با توجه به لزجت بالای اکسترکت نسبت به لوبکات و فشار هیدوراستاتیکی ناشی از ارتفاع سیال داخل تانک ذخیره، سطح تماس بیشتری بین دروازه (کشوئی) و بدنهٔ شیر برقرار می‌شود که خود خراش‌های بیشتری را تولید می‌کند.
۲. دمای نگه‌داری این ماده در ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، سبب به‌وجود آمدن تنش‌های حرارتی در این شیر می‌شود.
۳. تنش خارجی ناشی از نشست مخزن و یا ساپورت‌های لوله‌های متصل به شیر وجود داشته و این تنش خارجی سبب ایجاد این شکست شده است. عدم استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر، نامناسب‌بودن سیستم لوله‌کشی را تأیید می‌کند.
۴. با توجه به اینکه این شیر به‌صورت متناوب در سرویس قرار گرفته و از سرویس خارج شده است؛ یعنی دمای کاری آن به تناوب افزایش و کاهش یافته است، تنش‌های حرارتی مربوطه و خستگی ناشی از آن در طول ۳۰ تا۴۰ سال کارکرد، در ایجاد این شکست مؤثر بوده است.
۵. با توجه به عملکرد روشن و خاموش این‌گونه شیرها، استفاده از آنها در فرایند تخلیه[۳۴] تأثیری در بروز پدیدهٔ شکست نخواهد داشت. لذا در صورتی که این شیر از ابتدا تاکنون همچنان وظیفهٔ خود را تنها به‌عنوان تخلیه انجام می‌داد و هیچ‌گونه تغییر کاربری در سیستم لوله‌کشی این مجموعه به‌وجود نمی‌آمد، بی‌شک شکست شیر به نیز تعویق می‌افتاد.
۶. در صورت کاملاً بازبودن شیر، همچنین در نظر گرفتن اصول صحیح مهندسی و رعایت استانداردها در طراحی لوله‌کشی، استفاده از این نوع شیر برای مکش سیال بلامانع است.

قدردانی

در پایان بجاست تا از زحمات ویراستار ارشد *مجلهٔ مهندسی مکانیک*، جناب آقای مهندس محمد اسدزاده، که در تنقیح و تصحیح متن مرا یاری نمودند؛ همچنین از راهنمایی‌های ارزندهٔ مدیریت محترم واحد تحقیق و توسعهٔ شرکت نفت پارس، جناب آقای مهندس فرهنگی، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم.

مآخذ

[۱] حائریان، علی. *آشنایی با خواص مکانیکی مواد*، مرکز نشر دانشگاهی.

[۲] شیرخورشیدیان، اکبر. *هندبوک انتخاب شیرهای صنعتی*، تهران: طراح، ۱۳۸۷.

[۳] نوری قمشه، مرتضی، روزبه منصوری. *طراحی مخازن ذخیرهٔ اتمسفریک با نرم‌افزار TANK*، اندیشه‌سرا.

[۴] مولوی، حامد، محسن خورسند. *طراحی Piping* ، اندیشه سرا، ۱۳۸۴.

[۵] بینش، مسعود. *تئوری و عملی علم مواد*، تهران: طراح، ۱۳۸۶.

[6] Akhavan-Zanjani، Ali, "Settlement Criteria for steel Oil Storage Tanks", Research Student, 2009

[7] Skousen, Philip L., *Valve Handbook*, McGraw-Hill, 2004.

[8] Myers, Philip E., *Aboveground Storage Tanks*, McGraw-Hill, 1997.

[9] Petrospection Home Page, http://www.petrospection.com.au (accessed 25 Feb 2013)

پی‌نوشت

1. Gate Valve
2. Furfural Extract
3. T-901
4. Globe Valve
5. Check Valve
6. ball cock valve
7. Plug Valve
8. Butterfly Valve
9. Diaphragm Valve
10. Control Valve
11. Pressure Relief Valve
12. Turbulence
13. Hand wheel
14. Bonnet
15. Stem
16. Shell, Body or Casing
17. plug or gate
18. Packing
19. Seat
20. Corrosion
21. Erosion
22. Abrasion
23. Feed
24. Above Ground
25. Under Ground
26. Oil Storage Tank Settlement
27. Hot-oil
28. Expansion joint
29. Gruffith, Trans
30. Fracture
31. Ductile
32. Brittle
33. Lub (Lubrication) Cut
34. Drain