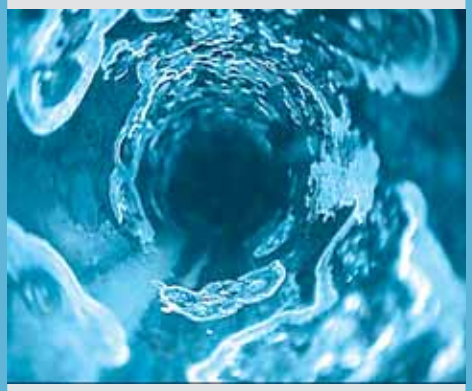
آیا هیدروژن با فولاد مهربان است؟

شناسایی ظرف‌های انتقال و نگهداری هیدروژن



علی اکبرزاده
معلم شیمی آمل

چکیده

هیدروژن فراوان‌ترین عنصرِ جهان است. بسیاری از کارشناسان بر این باورند که در آینده می‌توان این ماده را از منابع فسیلی همچون گاز طبیعی، یا منابعی پاک مانند آب تهیه کرد و به عنوان سوخت مورد استفاده قرار داد. بنابراین، یافتن مواد مناسب برای حمل و نگهداری گاز هیدروژن و آگاهی از خطرهای احتمالی این اقدام، از نیازهای ورود به عصر هیدروژنی به‌شمار می‌رود. در این مقاله، بررسی اثر هیدروژن بر ساختار فلزها، و شرایطی که مواد فلزی در برابر این گاز پیدا می‌کنند، مورد بحث قرار می‌گیرد.

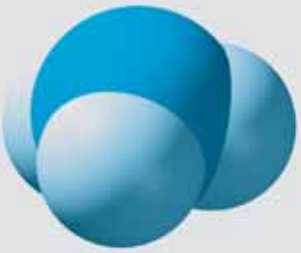
کلیدواژه‌ها: هیدروژن، ساختار فلزی، فولاد زنگ نزن، حمل‌ونقل، نگهداری

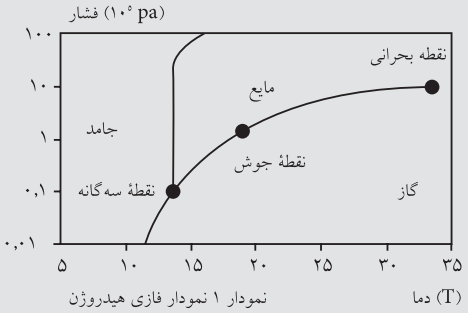
مقدمه

بنـا به آمارهـای جهانی تا ۵۰ سـال آینده، جمعیـت جهان بـه ۱۰ میلیارد نفر می‌رسـد و تأمین سـوخت مورد نیاز سـاکنان جهان، یکی از بحران‌هـای آینـده خواهـد بـود. بنابراین، پژوهشـگران در پی توسعهٔ فناوری‌هایی هستند کـه بتواننـد از منابع هیـدروژن‌دار، انرژی پاک تولید کنند.

گاز هیدروژن محلـول در مایع‌ها به دیوارهٔ مجاری مواد، نفوذ می‌کند. در دما و فشـارهای بالا، هیدروژن به صورت ملایم به فولاد سخت نیـز حمله می‌کند و باعث ایجاد شکسـتگی در آن می‌شـود. از ایـن‌رو، انتخاب مواد مناسـب برای حمل و ذخیره‌سـازی هیـدروژن، یکی از مهم‌تریـن دغدغه‌هـای مربوط بـه فناوری‌های استفاده از هیدروژن است.

مولکول‌های هیدروژن در سطح ساختار فلزی، از یکدیگر جدا می‌شوند و اتم‌های آن به درون فلز نفوذ می‌کنند





نمودار ۱ نمودار فازی هیدروژن

هیـدروژن، سـاختار فلـزی را درهم می‌شکند

هیـدروژن در دمای محیـط می‌تواند باعث شکنندگی در سـاختار فلزها شود. مولکول‌های هیدروژن در سـطح سـاختار فلزی، از یکدیگر جدا می‌شـوند و اتم‌های آن بـه درون فلز نفوذ می‌کننـد. نفوذ هیدروژن به فلـز، نتایجی به این شرح را دربردارد:

- هیدروژن، از یک‌سو در راستایی مشخص به فلز نفوذ کرده، از سوی دیگر آن به بیرون نشت می‌کند.
- هیدروژن، وارد شبکهٔ فلزی می‌شود و شکاف چشـمگیری در فلز ایجاد می‌کنـد یعنی، باعث کاهش خواص فلزی می‌شود.

عبور هیدروژن از فلزها، در فشـارهای زیاد نکتهٔ مهمی است به‌ویژه، هنگامی که دیواره‌های ظرف فلزی، نسـبتاً نازکند. دامنـهٔ عبورپذیری هیدروژن به جنس فلز بستگی دارد. فلزهایی که ساختار بلوری مکعب با وجوه مرکز پُر (FCC) دارنـد، مانند فـولاد زنگ نزن، مـس، نیکل و آلومینیم، عبورپذیری کمتری در برابر هیدروژن نشـان می‌دهند. اما فلزهایی که سـاختار بلوری مکعبی مرکـز پر (BCC) دارند، مانند فولادهای کربن‌دار و کم آلیاژ، عبورپذیرترند. عبورپذیری به دما نیز وابسـته اسـت. گفتنی است که نفوذ هیدروژن در فولادهای زنگ نزن، مستقل از نوع آلیاژهای موجود در آن است. اما برای فولادهای کربن‌دار یا کم آلیاژ، نفوذپذیری این گاز ممکن است به زیرسـاختارها و مقدار آلیاژ نیز بستگی داشته باشد.

مواد مناسب حمل و نگهداری کدامند؟

در مجموع، همهٔ ساختارهای فلزی در برابر هیدروژن شکسـتگی پیـدا می‌کنند. به هر حال، شـدت شکسـتگی به نوع فلز و محیـط آن نیز وابسته است. شکنندگی ساختار مواد به عواملی از جمله زیرساختارها، اجزای سازنده، فشار گاز هیدروژن، دما و بار الکتریکی بسـتگی دارد. از آنجا که هیچ ماده‌ای کاملاً از اثر مخرب هیدروژن درامان نیسـت، انتخاب مواد مناسب برای تهیهٔ ظرف‌های نگهدارندهٔ این گاز، چندان سـاده به نظر نمی‌رسد. مهم‌ترین نکته در انتخاب ساختار فلزها، توجه به حساسـیت فلز و شکنندگی آن در برابر هیدروژن است؛ هرچه قدرت یک ماده بیشتر باشد شـکنندگی آن کمتر خواهد بود. در ادامـه، به خواص و رفتار برخـی مواد، در برابر هیدروژن اشاره می‌شود.

از آنجا که هیچ ماده‌ای کاملاً از اثر مخرب هیدروژن درامان نیست، انتخاب مواد مناسب برای تهیهٔ ظرف‌های نگهدارندهٔ این گاز، چندان ساده به نظر نمی‌رسد

فولاد زنگ نزن

در میان فولادهای زنگ نزن، نوع آستانیتی[1] آن، مقاوم‌ترین فولادهاسـت کـه در مخزن‌های نگهداری هیدروژن با فشار زیاد، به خوبی عمل کرده است. تاکنون این فولاد، بهترین عملکرد را در حمل و نگهداری گاز هیدروژن داشته است.

اما زیاد بـودن غلظت عنصرهایی همچون نیکل و مولیبدن در آن، باعث بالارفتن قیمت این نوع فولاد می‌شود.

فولادهای کربن‌دار

سال‌هاسـت کـه از فولادهـای کربـن‌دار، در خطـوط لولـهٔ انتقـال گاز هیـدروژن، و به صورت لوله‌های جوش‌خورده استفاده می‌شود. ایـن لوله‌ها برای انتقال هیدروژن تا فشـار ۱۴ مگاپاسـکال مناسبند. محدودکردن فشار و ابعاد خطوط لولـه، برای کاهش احتمال شـکنندگی لولـه و نفوذ هیدروژن بـه آن، مورد توجه قرار گرفته اسـت. به هر حال، حملـهٔ هیدروژن در دماهـای بالاتـر از ۴۷۳K، از احتمـال بالایـی برخوردار اسـت که باید به آن توجه شـود. در جریان این حمله، واکنشـی میان کربن موجود در لولـه، با هیدروژن روی می‌دهد که تشـکیل شکاف در لوله را، در پی دارد. در این حال، گاز متان با فشار زیاد، در شکافی که در فولاد ایجاد شده اسـت، جای می‌گیرد. بنابراین، از افزایش دما در ساختارهای فولادی کربن‌دار جلوگیری می‌شـود

فولادهای کم آلیاژ

فولادهایـی که مقدار کمـی کربن دارند، به شکل استوانه‌ای ساخته می‌شوند و می‌توانند فشار هیدروژن را تا MPa ۳۰-۲۰ تحمل کنند. معمولاً مخزن‌های فولادی کم آلیاژ، بدون درز سـاخته می‌شـوند و آلیاژ مولیبدن ـ کروم نیز در ساختار آنها به‌کار می‌رود.

فولادهای شامل آلیاژ زیاد

در مجموع، احتمال نفـوذ هیدروژن به این نـوع فولادها ـ کـه تقریباً کمتـر از ۹۰ درصد آهن دارند ـ زیاد اسـت و از این‌رو، برای انتقال هیدروژن مناسب شناخته نشده‌اند.

آلیاژهای آلومینیمی

در استفاده از این آلیاژها، تجربه‌های زیادی وجود ندارد. اما بنا به آزمایش‌ها، مقاومت خوبی از آنها در برابر گاز هیدروژنِ خشـک، مشاهده شـده است. هر گازی که دارای بخار آب باشد، می‌توانـد شـرایط شـکنندگی را در آلیاژهـای آلومینیمی فراهم کند. انحلال‌پذیری هیدروژن در آلومینیم کم اسـت اما اتم‌های هیدروژن موجود در بخار آب، می‌توانند در سـطح آلومینیم، آزاد شوند و درون آن نفوذ کنند.

آلیاژهای غیرآهنی دیگر

این آلیاژها برای کاربردهای سـاختمانی گاز هیدروژن متداول نیسـت امـا از آنجا که طلا و مس، نفوذپذیری کمی نسبت به هیدروژن دارند، می‌تواننـد برای آب‌بنـدی مخزن یـا لوله‌های انتقال هیدروژن، گزینه‌های خوبی باشـند. مسِ حاوی اکسـیژن می‌تواند در گاز هیدروژن دچار شکسـتگی شـود؛ واکنش هیدروژن با اکسیژن موجود، به تشـکیل آب و ایجاد حفره‌های ریز می‌انجامد که باعث افزایش شـکنندگی خواهد شد. بنابراین باید از مس بدون اکسیژن در انتقال گاز هیدروژن اسـتفاده کرد. اکسیژن موجود در طلا هم، مشـابه مس رفتـار می‌کند. پس، مقدار اکسـیژن در طلا نیز باید در حـد امکان کاهش یابد.

نتیجه‌گیری

هیـدروژن مایـع، سـازگاری بهتـری بـا محیط‌زیسـت دارد و بهتریـن گزینـهٔ اقتصادی برای ذخیره است.

انتخـاب مـواد مناسـب بـرای حمـل و ذخیره‌سـازی هیـدروژن، یکـی از مهم‌تریـن دغدغه‌های مربوط به فناوری‌های استفاده از این گاز است. در عین حال، روش‌های ساده‌ای برای حل این مسئله وجود ندارد و شناخت هیدروژن، شرایط محیطی و گزینش مواد مناسب برای حمل هیدروژن، از محدودیت‌های شناسایی و انتخاب خواهد بود. بنا به داده‌های آزمایشـگاهی، نیکل و فولادهای ضدزنگ آسـتانیتی، بـازهٔ عملکرد مناسب‌تری از خود نشان داده‌اند.

فلزهایی که ساختار بلوری مکعب با وجوه مرکز پُر (FCC) دارند، مانند فولاد زنگ نزن، مس، نیکل و آلومینیم، عبورپذیری کمتری در برابر هیدروژن نشان می‌دهند. اما فلزهایی که ساختار بلوری مکعبی مرکز پر (BCC) دارند، مانند فولادهای کربن‌دار و کم آلیاژ،عبورپذیرترند

1. austenite
آلیاژی از آهن، شامل ۱۸ درصد کروم و ۸ درصد نیکل.

1. Jones, R. H. and Thomas, G. J. Taylor & Francis, Group, Boca Raton, In Materials for the Hydrogen Economy, FL, 2008, PP. 157-179.
2. Thompson, A.W. and Moody, N. R. Hydrogen Effects in Materials, Eds., TMS, warrendale PA, 1996.
3. Hydrogen Effects on Material Behavior and corrosion Deformation Intercatins, Moody, N. R.; Thompson, A. W.; Ricker, R. E.; Was, G. S. warrendale PA, 2003.