Quelle: TÜV-Verband-Merkblatt MB WERK 1276, Schädigung metallischer Werkstoffe durch den Einfluss von gasförmigem Wasserstoff, Einführung für Sachverständige,
Version: 2025-09-01

Zusammenfassung (Seiten: 29-30)

Das vorliegende Merkblatt soll den Sachverständigen der TÜV einen Überblick über die Schädigungsmechanismen geben, die bei der Fertigung und beim Anlagenbetrieb mit Wasserstoff unter bestimmten Betriebsbedingungen auftreten können. Die zum Veröffentlichungsdatum geltenden wasserstoffspezifischen Anforderungen und deren Bewertung bezüglich der Wasserstofftauglichkeit von Metallen werden aufgeführt. Außerdem wird kurz auf die Besonderheiten bei der Entwurfsprüfung und bei der schweißtechnischen Verarbeitung eingegangen sowie der Umgang mit bruchmechanischen Analysen und die Erkennbarkeit der Schädigung durch Wasserstoff mittels zerstörungsfreier Prüfung betrachtet. Die Thematik der Wasserstoffschädigung von Kunststoffen wird im vorliegenden Merkblatt noch ausgespart.

Wasserstoff hat einen vielfältigen Einfluss auf die Eigenschaften der Metalle. So werden die Bruchzähigkeit, das Ermüdungsrisswachstum und die Schwingfestigkeit erheblich herabgesetzt, während es kaum einen Einfluss auf die Festigkeit und Härte gibt. Um die Effekte des Wasserstoffs auf die Materialien beschreiben zu können, haben sich fünf Schlüsselmodelle herauskristallisiert. Dabei handelt es sich zum einen um die Drucktheorie, wonach atomarer Wasserstoff in Spannungsfeldern, Einschlüssen und Poren zu Molekülen rekombinieren kann, damit eine Druckerhöhung im Material erzeugt und die strukturelle Stabilität beeinträchtigt wird.

Das HEDE-Modell beschreibt die Abnahme der Kohäsionskräfte zwischen den Atomen des Materials aufgrund des vorhandenen Wasserstoffs und der damit einhergehenden erhöhten Anfälligkeit für Brüche und Rissbildung.

Die Begünstigung der lokalen Fließprozesse und die dadurch erleichterte Ausbreitung von Rissen durch den Wasserstoff werden mit Hilfe des HELP-Modells beschrieben. Beim AIDE-Modell wird die Annahme getroffen, dass vor einer Rissspitze entstehende Poren zu einer Adsorption von Wasserstoff an der neu entstehenden Oberfläche führen und es dadurch zu einer Abnahme der Oberflächenenergie und begünstigter Rissausbreitung kommt.

Das HESIV-Modell bezieht sich hauptsächlich auf hochfeste martensitische Gefüge. Hierbei führt interstitiell gelöster Wasserstoff zur beschleunigten Bildung von Leerstellen, wodurch die Materialintegrität geschwächt und Rissbildung gefördert wird. Diese fünf Schädigungsmodelle zeigen bei den Metallen unterschiedliche Ausprägungen, die von der Art des Metalls, der Temperatur, dem Druck und weiteren Faktoren abhängen.

Eine typischerweise in Raffinerien auftretende Schädigung durch Wasserstoff ist die wasserstoffinduzierte Rissbildung, die immer dann auftritt, wenn keine oder nur geringe äußere oder materialeigene Spannungen vorliegen.

Bei der wasserstoffinduzierten Spannungsrisskorrosion müssen mehrere Faktoren zusammenspielen. Zum einen muss ein für wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion anfälliger Werkstoff vorliegen sowie ein lokaler Korrosionsangriff gepaart mit dem Vorhandensein von atomarem Wasserstoff unter Einwirkung mechanischer Zugspannungen gegeben sein.

Die Hochtemperatur-Wasserstoff-Schädigung tritt in der Regel bei Temperaturen über 170 °C auf. Dabei reagiert der Wasserstoff mit dem Kohlenstoff im Stahl, dekarbonisiert diesen und es entsteht Methan in der Kornstruktur des Stahls. Die Methanblasen wachsen mit der Zeit, führen zu Rissbildung, dem Verlust der Festigkeit und können Ursache für ein plötzliches katastrophales Versagen sein.

Bezüglich der Berücksichtigung der Wasserstoffversprödung in der Entwurfsprüfung sind im Abschnitt 6 des vorliegenden Merkblatts die relevanten technischen Regeln aufgelistet, die für den Entwurf von Druckgeräten bedeutsame Wasserstoffspezifika nach aktuellem Erkenntnisstand enthalten.

Die Besonderheit bei der schweißtechnischen Verarbeitung liegt vor allem in der Ausführung der Schweißnähte, da diese bei Druckgeräten unter betrieblichem Wasserstoffangriff eine

besondere Gefährdungszone darstellen. Die Normen und Regeln für die Vermeidung fertigungsbedingter Wasserstoffschäden sind zu beachten.

Voraussetzung für die sicherheitstechnische Bewertung wichtiger Komponenten und Systeme unter Wasserstoffeinfluss ist zum einen die Kenntnis der Details der Konstruktion und zum anderen muss das Verhalten der in Frage kommenden Werkstoffe bei diesen Beanspruchungen und Temperaturen unter Berücksichtigung des Mediumeinflusses bekannt sein. Für Konstrukteure stehen momentan nur wenige verlässliche Hilfsmittel für die Werkstoffsuche/Materialauswahl für wasserstoffspezifische Fragestellungen zur Verfügung. Dies liegt unter anderem auch daran, dass für ansonsten bewährte Werkstofflösungen im Wasserstoffbetrieb kaum belastbare Erfahrungen vorliegen.

Die zerstörungsfreie Prüfung zur Erkennung von Wasserstoffschäden ist prinzipiell mit allen gängigen ZfP-Verfahren möglich. Wichtig ist auch hier, das richtige Verfahren für den jeweiligen Anwendungsfall zu finden.