

Schade door waterstofbroosheid, een te voorkomen fenomeen?

25 september 2020, 02:00

Walter Lauwerens

In 2015 vielen opeens drie megabouten uit een 225 m hoge wolkenkrabber in hartje London. Niemand raakte daarbij gewond, maar de schrik zat er in dat de 3.000 andere bouten mogelijk hetzelfde scenario zouden volgen. De belasting op de knooppunten waarmee de staalconstructie gemaakt werd was ca. 6.000 ton. Wat was de oorzaak van deze plotse breuken en hoe kon een dergelijke ramp voorkomen worden?

Waterstof in metaal

Het kleine atoom waterstof is één van de meest voorkomende elementen in de ruimte. Op aarde komt waterstof voor in chemische verbindingen zoals water en vele organische verbindingen zoals koolwaterstoffen. Waterstof is dus een noodzakelijk element voor het leven op aarde, maar voor metalen kan het gevaarlijk zijn. De reden hiervan is 'waterstofbroosheid', een zeldzaam maar desastreus fenomeen dat een nachtmerrie is voor iedere constructeur.

Zoals de naam doet vermoeden, kan de aanwezigheid van waterstof een metaalverbrossing doen ontstaan, wat betekent dat metalen zonder waarschuwing plots kunnen breken. Er zijn verschillende andere mechanismen van broosheid bekend, zoals de blauwbroosheid van constructiestaal bij temperaturen rond 300°C, lage temperatuurbroosheid, ... Waterstofbroosheid is één van de meest gevreesde, omdat men het optreden meestal niet kan voorspellen.

Hoe komt waterstof in het metaal terecht? Dit is een cruciale vraag en het antwoord is zeer divers. Het doet zich voor bij processen waarbij atomaire waterstof uit waterstofverbindingen gevormd wordt. De belangrijkste bronnen van atomaire waterstof zijn chemische reacties zoals corrosie, beitsen met zuur, maar ook elektrolytische processen, zoals verzinken en de ontbinding van vocht door warmte, bijvoorbeeld bij lassen, gieten, ... Al deze reacties kunnen potentiële bronnen zijn van atomaire waterstof. Ook bij een warmtebehandeling zoals carboneren wordt waterstof gevormd die zich kan ophopen in het staal. Het kleine waterstofatoom kan gemakkelijk in het metaalrooster doordringen ('diffunderen') en zich op bepaalde plaatsen nestelen. Hier kunnen atomen zich verenigen tot waterstofmoleculen, die niet meer diffunderen, en lokaal een gasdruk opbouwen die boven de vloeigrens kan stijgen. Als dit gebeurt, ontstaat een microscheurtje dat zich na verloop van tijd kan uitbreiden tot een fatale breuk.

Er is echter nog een tweede factor nodig om waterstofbroosheid te doen ontstaan, namelijk een hoge sterkte. Uit proeven is immers gebleken dat zacht staal geen last heeft van waterstofbroosheid, in tegenstelling tot hoge-sterkte-staal met hardheid boven 32 HRC (en treksterkte groter dan 1.000 MPa). Deze vaststelling is vooral voor bouten van belang, omdat deze

meestal een dergelijke hardheid hebben (denk aan bouten 10.9 en 12.9). Ook bepaalde roestvrije stalen zijn gevoelig, bijvoorbeeld AISI 300, maar niet de klassieke AISI 304 en 316. Austenitische metalen zoals RVS, aluminium en koper hebben immers een ander kristalrooster dan staal en blijken niet vatbaar te zijn voor waterstofbroosheid. Bij aluminium zou waterstofbroosheid enkel bij hoge temperatuur kunnen optreden.



Uit voorzorg werden de oorspronkelijke bouten van het staalskelet voorzien van een valbeveiliging

Herkenning van waterstofbreuk

Het herkennen van een waterstofbreuk is niet altijd evident. Er zijn typische kenmerken welke met een elektronenmicroscoop kunnen vastgesteld worden zoals splijtvlakken met kleine (gas)poriën, openstaande korrelgrenzen in de vorm van zgn. kraaienpoten. In veel gevallen is de toewijzing gesteund op een eliminatie van andere mogelijke factoren. De breuk doet zich namelijk voor zonder aantoonbare oorzaak en meestal vrij kort na gebruik van het onderdeel.



SE-beeld van een breukvlak door waterstof veroorzaakt

Remedie van schadegevallen

Het bovenvermelde voorbeeld van een bijna rampzalige gebeurtenis illustreert het belang van studie rond dit fenomeen. Er zijn in het verleden tal van andere voorbeelden geweest (o.a. breuken in bruggen) met soms fatale afloop. In sommige gevallen, zoals de Leadenhall Building in London, was men gewaarschuwd door de eerste breukgevallen, waardoor men vrij snel een grootschalige hersteloperatie kon opzetten. Alle 3.000 bouten werden aldus preventief vervangen door bouten uit een ander staal en voorzien van een corrosiewerende coating. De bouten werden ook voor de montage uitgegloeid. Deze behandeling is reeds lang bekend als dé remedie om waterstof te verwijderen uit staal en wordt vooral toegepast na het elektrolytisch bedekken van metalen, zoals verzinken, vertinnen, Speciale metallurgische processen zoals hersmelten in een vacuüm en vacuüm ontgassen zijn ontwikkeld om opgeloste gassen in het staal van bij de productie te verwijderen.

Nieuwe ontwikkelingen

Het onderzoek naar waterstofbroosheid wordt wereldwijd gevoerd, omdat er in de technologische industrie veel toepassingen bestaan waarbij metalen in contact zijn met (atomair) waterstof. Denken we bijvoorbeeld aan de chemische industrie, waar productie van waterstofgas en hydrogenatieprocessen veelvuldig voorkomen. Men heeft er dus alle baat bij om het mechanisme verder te bestuderen en staalsoorten te ontwikkelen die beter bestand zijn tegen waterstof. In het recente verleden werd een internationale conferentie gehouden rond dit thema (Steely Hydrogen), georganiseerd door Arcelor-Mittal en Ocas NV. Onderzoekers uit diverse landen kwamen hun resultaten voorstellen aan de geïnteresseerde bedrijven.

Onlangs werd aan het Fraunhofer instituut IWM in samenwerking met de Universiteit van Freiburg een coating ontwikkeld op basis van MAX-fase-materiaal. MAX-fase-materialen zijn speciale keramische materialen met een gelaagde structuur, die onder andere via physical vapour deposition (PVD) als coating kunnen aangebracht worden. De coating vormt een uitstekende barrière tegen waterstof, zodat het element niet in het metaal kan indringen. Een specifieke test wees uit dat gecoat staal na een warmtebehandeling, waarbij een laagje Al_2O_3 gevormd wordt, tot 3.500 keer minder waterstof bevatte dan zonder coating. Het depositieproces van de MAX-fase-coating moet nog verder ontwikkeld worden, maar de resultaten zijn volgens de onderzoekers veelbelovend voor toepassingen zoals brandstofcellen en gasturbines.

In de Metals-afdeling van Sirris in Zwijnaarde kan men dergelijk breukonderzoek doen in samenwerking met de andere partners van het MRC. Op de site van Sirris in Diepenbeek zijn er mogelijkheden om diverse coatings op staal af te zetten en te bestuderen.

Bronnen

- <https://coatings.specialchem.com>
- <https://www.fastenerandfixing.com>
- <https://www.imetllc.com>

Auteurs



Walter Lauwerens