

Mechanische beproeving

Compact Tension en J-integraal proeven

In de vorige aflevering van Laskennis Opgefrist is de CTOD-proef besproken. Ook is het gebruik van een Single Edge Notched Bend (SENB) proefstuk geïllustreerd. Deze maand zijn de Compact Tension (CT) proefstukken en de J-integraal proef aan de beurt, die ook gebruikt kunnen worden om breukgedrag te karakteriseren. Dit kan door geschikte berekeningstechnieken toe te passen, ongeacht de faalwijze van het proefstuk.

Engelse benamingen

Bij de CTOD-proef, de J integraal test en bij andere minder bekende breukmechanische proeven wordt meestal gebruik gemaakt van de Engelse benaming van proefstukken en meetapparatuur. Het buigproefstuk dat in de vorige aflevering van Laskennis Opgefrist werd getoond, wordt aangeduid met de afkorting SENB = Single Edge Notched Bend proefstuk. Het gaat dus om een buigproefstuk voorzien van een kerf aan een kant. Voor dit proefstuk is geen Nederlandse benaming beschikbaar. Dit geldt ook voor het CT = Compact Tension proefstuk, dat in deze aflevering wordt besproken. Voor de andere in dit artikel vermelde proeven zullen eveneens de ingeburgerde Engelse benamingen worden gebruikt.

De SENB-proef is ontworpen door het TWI (The Welding Institute, gevestigd in Abbingdon ten noorden van Cambridge in Engeland). Het is een effectieve en relatief goedkope methode voor het bepalen van de breuktaaiheid van metalen, die onder vlakspanningscondities enigermate plastisch kunnen vervormen voordat breuk

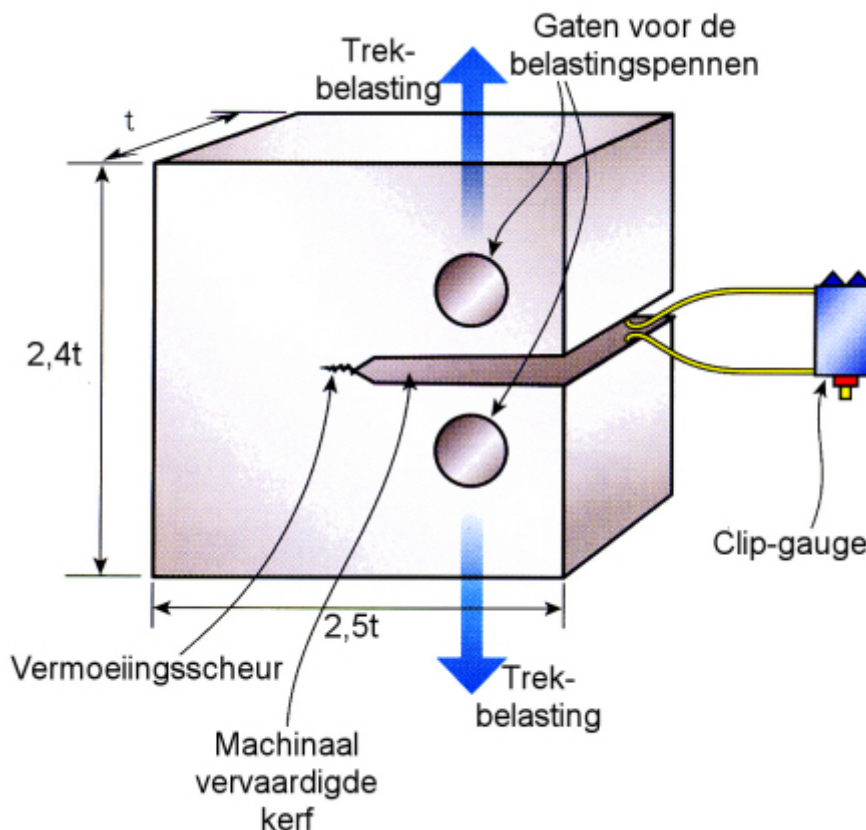
optreedt. Voor het analyseren van de resultaten wordt gebruik gemaakt van elastisch plastische breukmechanica-concepten (EPFM = Elastic Plastic Fracture Mechanics).

De faalwijze of faalmode is een functie van de materiaaleigenschappen, de belastingssnelheid, de temperatuur en de dikte van het materiaal. De kans op brosse breuk neemt toe voor materialen met een geringe taaiheid en neemt toe bij oplopende belastingssnelheid en grotere materiaaldikte. Voor normale constructiestaalsoorten is de taaiheid voldoende hoog. Daardoor is het moeilijk om een vlakdeformatietoestand te bereiken, behalve bij lage temperaturen of bij dikke plaat. Een vlakdeformatietoestand en brosse breuk treedt bijvoorbeeld op in het onderste bereik van de S-vormige curve van de kerfslagproef.

Het SENB-proefstuk dat wordt gebruikt voor de CTOD-proef kan ook worden gebruikt bij de lineair elastische breukmechanica-proeven (LEFM = Linear Elastic Fracture Mechanics). Lineair elastische breukmechanica is een situatie waarbij de faalwijze gepaard gaat met geringe of zelfs geen plastische deformatie. Deze situatie wordt vlakdeformatietoestand (plane strain) genoemd. Als er enige verplaatsing of vervorming optreedt dan is deze principieel elastisch, een situatie die ontstaat wanneer brosse breuk optreedt. Beide breuktypen, bros of taai, kunnen daarom gekarakteriseerd worden door de SENB proef.

Verschillen

Het Compact Tension (CT) proefstuk is in een aantal opzichten vergelijkbaar met het SENB-proefstuk. Het CT-proefstuk heeft een vermoeiingsscheur, naar de dikte gerelateerde afmetingen, waarbij de dikte van het proefstuk gelijk is aan de dikte van het materiaal. De hoogte en breedte van het proefstuk zijn ongeveer tweemaal de dikte van het materiaal (zie figuur 1). Het proefstuk is voorzien van een aan één kant machinaal aangebrachte kerf. Deze kerf bevindt zich in het te beproeven deel van de lasverbinding: het basismateriaal, de las, de warmtebeïnvloede zone, enzovoort.



Figuur 1 - Compact Tension (CT) proefstuk.

Een vermoeiingsscheur wordt dan geïnitieerd aan de tip van de machinaal vervaardigde kerf. De totale lengte van de scheur, machinaal vervaardigde kerf plus vermoeiingsscheur, is dan ongeveer gelijk aan de materiaaldikte. Het proefstuk wordt op trek belast en de vervorming wordt gemeten met behulp van een clip gauge, die ter plaatse van de kerf aan het oppervlak is gemonteerd (zie figuur 1). Belasting en deformatie worden geregistreerd en de scheurlengte wordt opgemeten aan het gebroken proefstuk. Vervolgens moet aan de hand van de aard van het breukoppervlak een beslissing worden genomen over de faalwijze en moet de juiste berekeningsmethode worden gekozen om de breuktaaiheid te bepalen.

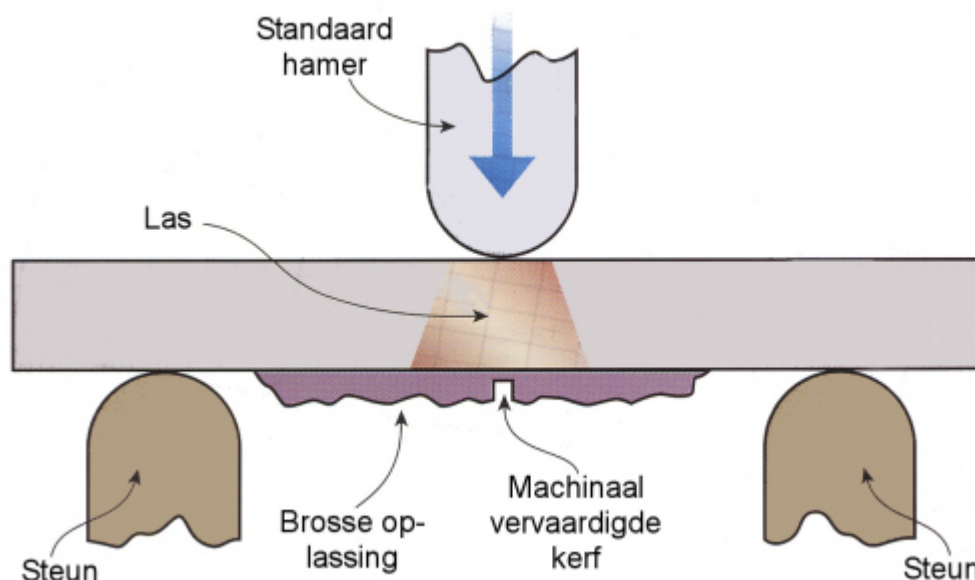
Een voordeel van de CT-proef ten opzichte van de SENB-proef is dat minder

materiaal nodig is voor het proefstuk. Dit kan belangrijk zijn als heel dikke materialen moeten worden beproefd. Het CT-proefstuk is dan aanmerkelijk lichter dan het SENB-proefstuk. Nadelen van het CT-proefstuk zijn de hogere bewerkingskosten en het feit dat door de wijze van belasten lagere taaiheidswaarden worden gemeten. Om deze redenen wordt het proefstuk aanbevolen voor de nucleaire industrie, waarbij veiligheid cruciaal is en gewerkt wordt met de resultaten uit de ondergrens.

De J-integral is een derde methode voor het bepalen van de taaiheid. Deze methode is gebaseerd op de hoeveelheid energie die nodig is om een scheur te laten groeien. Zowel de CTOD als de J kunnen met hetzelfde proefstuk worden bepaald. Dit wordt uitgevoerd met behulp van twee clip gauges: één om de CTOD te meten en de andere voor het bepalen van de J. Voor het bepalen van de J wordt het proefstuk in stappen steeds hoger belast en wordt de scheurtipverplaatsing en de scheurlengte bij elke belasting gemeten. Het oppervlak onder de krachtverplaatsingscurve geeft de hoeveelheid energie weer, die nodig is om scheuruitbreiding te laten optreden. Uit analyse van de resultaten kan dan de J-factor worden berekend als maat voor de breuktaaiheid.

Kwalitatieve proeven

Alle bovenvermelde proeven – de SENB-proef, de CTproef en de J-integral – bieden de mogelijkheid kritische defectgroottes te berekenen en beslissingen te nemen over de bedrijfszekerheid (fitness for service) van een constructie. Ook kunnen de resultaten worden gebruikt om het vereiste niveau en de gevoeligheid van de niet-destructieve beproevingsmethode vast te stellen. Het zijn dan ook kwantitatieve proeven. Er zijn echter een aantal kwalitatieve proeven ontwikkeld waarbij het beproevingsregime zo wordt ingesteld dat de bedrijfscondities worden gesimuleerd en de proef een 'go/no go' resultaat oplevert. Tot deze familie van proeven behoort de NDT- (Nil Ductility Temperature) of valgewicht- (drop weight) proef.

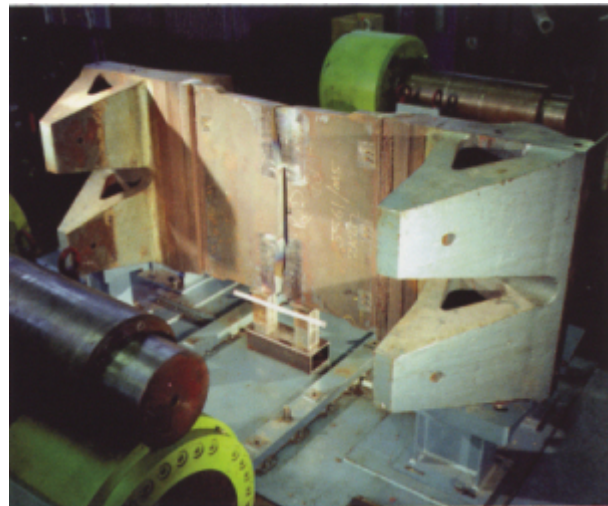


Figuur 2 - Valgewicht beproeving van een las (drop weight test).

Deze proef is in de Verenigde Staten ontwikkeld om de staalsoorten te beproeven die voor schepen van de marine worden gebruikt. Met de proef wordt bij stootbelasting van een plaat de temperatuur bepaald, waarbij de faalwijze omslaat van taaie naar brosse breuk. De afmetingen van het proefstuk zijn gestandaardiseerd met drie afmetingen die afhangen van de plaatdikte. Een 20 mm dikke plaat bijvoorbeeld, levert een proefstuk op met de afmetingen 125 x 50 mm en met een dikte gelijk aan de plaatdikte.

Aan één kant van de plaat wordt een las gelegd, die dient als start voor een brosse breuk. Vaak wordt daarvoor een oplaselektrode met hoge hardheid gebruikt. In de lasrups brengt men een kerf aan en het proefstuk wordt met de kerf naar beneden op twee steunen gelegd. Daarna laat men een hamer met een standaard gewicht op de plaat vallen, waardoor een scheur in de harde oplaslegering wordt geïnitieerd. Figuur 2 laat zien hoe het lasmetaal wordt beproefd. Deze proef wordt uitgevoerd door steeds een nieuw proefstuk te nemen, bij steeds lagere temperaturen. Uiteindelijk treedt bij een bepaalde temperatuur breuk op in het proefstuk.

De temperatuur waarop het proefstuk breekt, wordt de 'nil ductility temperatuur' (NDT) genoemd. Dat is de temperatuur waarop het materiaal niet meer taaie, maar brosse breekt. Twee extra proeven worden dan uitgevoerd op een temperatuur die 50 °C boven de NDT-temperatuur ligt. Dit is om aan te tonen dat er geen totale breuk optreedt en dat een scheur in de plaat stopt als het proefstuk op een hogere temperatuur dan de NDT wordt gehouden. De proef kan worden gebruikt om lasmetaal en platen te karakteriseren en te vergelijken of als een acceptatiecriterium door de NDT-temperatuur te specificeren. Er is een aantal andere proeven beschikbaar waarvan sommige in contractspecificaties of in toepassingsnormen worden vermeld. Een daarvan is de Dynamic Tear Test, een proef die in principe gelijk is aan de Charpy-proef. Het proefstuk heeft echter een dikte van 15,8 mm, een breedte van 38 mm en een lengte van 180 mm. De kerf aan een kant wordt niet machinaal gemaakt, maar erin gedrukt.



Figuur 3 - Wells Wide Plate test.

De beproevingsresultaten zijn de geabsorbeerde energie, temperatuur en indien vereist de hoeveelheid brosse breuk in het breukvlak.

Een andere vermeldenswaardige proef is de Wells Wide Plate test, die ontwikkeld is door TWI begin jaren zestig van de vorige eeuw (zie figuur 3). Voor deze proef wordt een plaat met een dikte gelijk aan de materiaaldikte gebruikt en de beproevingsplaat is voorzien van een machinaal vervaardigde kerf en/of vermoeiingsscheur. Bedrijfscondities en bijvoorbeeld restspanningen worden zo goed als mogelijk gesimuleerd. Grootschalige en dure proeven zoals de Wells Wide Plate test zijn bijna volledig vervangen door de effectieve en relatief goedkopere SENB- en CT-proefstukken.

Relevante normen	
BS 7448 Deel 1 - 4	Fracture Toughness Tests
BS 6729	Determination of the Dynamic Fracture Toughness of Metallic Materials.
BS 7910	Guide on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures
ASTM E1820	Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness.

Deze aflevering in de rubriek 'Laskennis opgefrist' is een bewerking van 'Job Knowledge for welders Part 77' uit TWI Connect door Theo Luijendijk.

Inlichtingen

Nederlands Instituut voor Lastechniek
 Boerhaavelaan 40
 2713 HX Zoetermeer
 Website: www.nil.nl
 e-mail: info@nil.nl

Informatie en advies van het NIL wordt verstrekt in goed vertrouwen en is gebaseerd op de huidige stand der technische kennis. Er kan geen garantie verleend worden aan de resultaten of effecten door toepassing van de informatie van deze website. Ook kan er geen verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid geaccepteerd worden voor iedere vorm van verlies of schade .