



# Onderbouwing Schade-onderzoek

Technieken voor schade-analyse en fractografie

Rapport van deelproject VI

## **Testmethoden voor het bepalen van de gevoeligheid van materialen voor waterstofbroosheid en spanningscorrosie.**

contactgroep Fractografie

April 1995

***TNO-rapport***

95 MI/0507/PUN/PUN

**LITERATUURSTUDIE NAAR TESTMETHODEN  
VOOR ONDERZOEK NAAR DE GEVOELIGHEID  
VOOR WATERSTOFBROSHEID EN SPANNINGS-  
CORROSIE**

19 april 1995

**Opdrachtgever**

Contactgroep Fractografie

**Samengesteld door**

ir. A. Punter

Alle rechten voorbehouden  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke ander wijze dan ook zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbende is toegestaan.

© TNO

**Opdrachtnummer** : 36.3.8052  
**Uw referentienummer** :  
**Oplage** : 20



INHOUD		pagina
1	INLEIDING	2
2	UITVOERING ONDERZOEK	2
3	RESULTATEN	3
4	DISCUSSIE	7
5	CONCLUSIES	10
6	REFERENTIES	11
	FIGUREN	14
	TABELLEN	17
	BIJLAGEN	

## 1 INLEIDING

De gevoeligheid van constructie materialen voor (waterstof-geïnduceerde) spanningscorrosie kan op veel verschillende manieren bepaald worden. Er is echter weinig bekend over de vergelijkbaarheid van de resultaten van de verschillende testmethoden, dus of een eventuele gevoeligheid die door de ene test aangegeven wordt ook in een andere test gevonden wordt. Op het gebied van breukvlakonderzoek en -herkenning speelt verder dat door het ontbreken van duidelijke parameters vaak niet eenduidig de schadeoorzaak vastgesteld kan worden. Hierdoor is de behoefte ontstaan breuken te genereren vanuit een bekend mechanisme om daarmee beoordelingskenmerken vast te kunnen stellen.

Omdat zowel voor een beter begrip van het ontstaan van SCC scheuren, als voor het gericht vormen van (waterstof)-SCC scheuren voor onderzoek, kennis van de verschillende beproevingstechnieken en hun beperkingen en mogelijkheden noodzakelijk is, is als onderdeel van een groter onderzoeksproject van de Contactgroep Fractografie een voorbereidende literatuurstudie gedaan naar de testmethoden die voor bepaling van de spanningscorrosie gevoeligheid van materialen worden toegepast.

## 2 UITVOERING ONDERZOEK

Er is een search gedaan in het databestand Metadex op de zoekwoorden 'Stress corrosion cracking' en 'Testmethods'. Dit leverde in totaal 213 referenties op, waarvan er 20 deze woorden in de titel hadden staan, of als trefwoord hadden aangegeven. Deze 20 artikelen zijn opgevraagd.

Vervolgens is voor beide woorden gekeken of er één in de titel voorkomt, terwijl het andere als trefwoord genoemd wordt. Dit leverde een set van 113 referenties op, die ook de eerdere 20 titles bevatte. Van de resterende 93 waren er 57 uit de periode '85-'94, waarbij er 39 van voor 1990, en 18 van na 1990 zijn. Deze 57 artikelen zijn beoordeeld. De artikelen van vóór 1985 zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

Ongeveer de helft van de artikelen handelt over de (waterstof)spanningcorrosiegevoeligheid van bepaalde materialen in specifieke milieus. Hierbij gaat het primair om de beantwoording van de vraag of het materiaal onder de testomstandigheden gevoelig is voor SCC. De criteria die gehanteerd worden bij die beoordeling zijn optreden van scheuren c.q. breuk van de proefstaaf, vermindering van breuktaaiheid of breuksterkte. Afhankelijk van de gebruikte proefmethode en proefstukgeometrie kan dit uitgedrukt worden in insnoering, vermindering van maximum belasting, etc.

Een kwart gaat over testmethoden/testdata (beoordeling), en het laatste kwart gaat over corrosie-vermoeding en mechanismen voor HISCC. Het beoordelen van de gevoeligheid van materialen voor (HI)SCC in een bepaalde milieu gaat aan de hand van de eerder genoemde kenmerken.

Als aanvulling op de literatuur recherche is nagegaan welke normen er bestaan voor het testen van materialen op hun gevoeligheid voor spanningscorrosie. Hiervoor is gebruik gemaakt van het databestand PERINORM van het Nederlands Normalisatie Instituut. Er is gezocht naar Internationale normen en normen uit de landen Japan, USA, Nederland, Frankrijk, incl. AFNOR normen, Engeland en Duitsland. Dit heeft 45 normen opgeleverd voor het testen van verschillende materialen. Een overzicht van deze normen is als Bijlage I in dit rapport opgenomen.

Tenslotte is toegevoegd als Bijlage II een door ESA uitgegeven overzicht van de spanningscorrosieweerstand van in de lucht- en ruimtevaart toegepaste materialen. Er is een onderverdeling gemaakt in drie groepen, resp. materialen met een hoge, een gemiddelde en een lage weerstand tegen spanningscorrosie. Voor het bepalen van de gevoeligheid zijn gladde, cilindrische proefstaafjes gebruikt die gedurende max. 30 dagen onder een constante belasting in een 3,5% NaCl oplossing geplaatst zijn. Bij breuk binnen deze periode is de SCC gevoeligheid hoog. Bij de niet-gebroken staafjes is naar de aanwezigheid van scheuren gekeken en is de gevoeligheid voor SCC hierop beoordeeld.

### 3 RESULTATEN

In de onderstaande tabellen wordt een opsomming gegeven van de inhoud van de geselecteerde artikelen, waarbij de gebruikte testmethode, het onderzochte materiaal en het doel van de test aangegeven worden.

test/proefstukvorm	type SCC/materiaal	testmilieu	resultaat	bijzonderheden	jaar	ref
tapered double cantilever beam	Chloride SCC in RVS 316	NaCl 80 °C	KIsc en potentiaal drempelwaarden		1990	1
Crevice bent beam	IGSCC in RVS 304	Hoge temp, hoge zuiverheid water in BWR			1988	2
CERT/ ronde trekstaaf met/zonder las	Nitraat SCC in C-staal				1989	3
Bent beam methode	HISCC	H2S milieu	bepaling drempelwaarde voor HISCC	Testprocedure voor ranking van materialen voor HISCC	1985	4
Drop evaporation test	Cloride SCC in RVS	Chloride houdend	gevoeligheid voor Cl-SCC in RVS	levert goede ranking op; reproduceerbaarheid is goed	1986	5
Circular patch test	loog SCC	Kraft digesters oplossing (NaOH/Na2S)	ASTM A516 grade 70		1988	6
Wedge opening load test Cantilevered beam	SCC in HSS en NiCrMo staal	3,5 NaCl			1984 1985	7,8
Cantilevered beam	HISCC in HY 130	NaCl milieu	invloed potentiaal en belastingwijze op KIsc	Resultaat wijst op H mechanisme	1984	9
Loading mode (I/II) testing	Anodisch/waterstof SCC in Al legeringen	NaCl milieu	onderzoek mechanisme door veranderen belastingwijze		1984	10
Single edge cracked cantilevered specimen	SCC in AISI 4340	3,5 % NaCl	drempelwaarde onafhankelijk van proefstukgeometrie		1984	11
4-punts doorbuigproef	Chloride SCC in hoog geleg. RVS	35 %MgCl2, 3% NaCl en 1000 ppm NaCl	Scheurmechanisme afhankelijk van thermische en chemische spanningscondities	Nieuwe techniek als SSRT biedt geen voordeel boven constant load test (!)	1982	12

test/proefstukvorm	type SCC/materiaal	testmilieu	resultaat	bijzonderheden	jaar	ref
Constante belasting trekproef	NH4-SCC in Low Alloy staal en HT60/HT80	invloedsfactoren bij NH4 SCC	eerdere resultaten mbt. invloed water en temp. verlaging op inhibitie bevestigd	ontwikkeling van een versnelde lab test.	1981	13
Tapered double cantilevered beam	Chloride SCC in RVS 316	3; 0,3; 0,03 % NaCl 80°C	invloed potentiaal op scheur gevoeligheid	KI=constant testing	1980	14
pijp-test methode	IGSCC in gelast RVS 304	BWR milieu	pijp-test methode gebruikt om lassen en materialen voor BWR pijpen te kwalificeren	Beschrijving van een opgezet testlab voor kwalificatieproeven	1978	15, 16
Breaking load tension test	SCC in Poedermetaal-Al 7091	3,5% NaCl, gedurende max 9 dagen op max 90% UTS,	Resultaten in overeenstemming met literatuur; PM 7091 AL zeer bestand tegen SCC	BL-test discrimineert proefcondities beter dan conventionele testen	1978	17
Versnelde SCC test	Chloride SCC in RVS 304	NaCl	Levensduren statistisch geëvalueerd, nieuwe SCC indexen opgesteld		1990	18
SSRT, interrupted SSRT, sustained load test.	Sulfide-SCC in 13 Cr staal en 22 Cr en 25 Cr duplex	20g/l NaCl+H2S, 80°C	13 Cr staal faalde onder alle condities, beide duplex soorten waren bestand tot zekere H2S gehalten.	Interrupted SSRT blijkt zware test te zijn, geen van de duplexstalen zijn bestand.	1991	19
diverse testen voor SCC	duplex SS in H2S	Resultaten verschillende testmethoden vergeleken om de kenmerken van de testen te vergelijken	SSRT is zwaar, maar een zeer geschikte techniek voor H2S SCC.	Er zijn onvoldoende praktisch gegevens om lab-SCC testmethoden te kunnen valideren	1991	20
SSRT/CERT	HISCC in LSS en HSS in divers zure milieus, +/- H2S en zeewater	HSCC gevoeligheid afhankelijk van fosfor gehalte	In LSS was breuk transkr., in HSS met hoog % P op korrelgrenzen interkr.		1978	21

test/proefstukvorm	type SCC/materiaal	testmilieu	resultaat	bijzonderheden	jaar	ref
Diverse testen voor EAC; SSRT, pre-cracked specimen	NaOH milieu; A 471 staal, NiCrMo staalsoorten	Beschouwde test-methoden: Corr. vermoeiing, SCC, polarisatiemetingen	Zoeken naar testmethode die consistente data geeft voor materiaal screening en ontwerp		1984	22
CERT	IGSCC in Alloy600 steam tubing Nuclear PP	Koelmiddel met 1,3% boorzuur, zwavelverbindingen en LiOH	Effect van inhibitoren op scheurinitiatie; verschillende ranking van de milieus		1984	23
gepunte schijf specimen	Chloride SCC / RVS 304	kokend MgCl <sub>2</sub> 140 °C	resultaten vergeleken met Brinell indrukking test (klein plaatje met verschillende belastingen Brinell indruk)	beide specimen kunnen gebruikt worden om SCC gevoeligheid van 304 vast te stellen.	1988	24
Stemvork proefstuk, Frac.Mech. en SSRT proefstukken	SCC van PM Al-Li-Cu legeringen	3,5% NaCl,	Beide legeringen gevoelig voor SCC in 3,5%NaCl onder bep. elekt.chem. en microstructurele condities	condities: intermitterende onderdamping, anod. en kath. control, vrije corr. pot. Iedere testmethode gaf belangrijke info over SCC gedrag	1984	25
CERT	HISCC en HIC in .45 en 2.0% Mn stalen met versch. P %	1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 5% NaCl en synt. zeewater, verz. met H <sub>2</sub> S (NACE en BP solution)	HIC gevoeligheid correleert met H act., deze stijgt met P% en daalt met Mn% van staal	Breuk transkrist.in alle gevallen. P segregatie op korrelgrens had geen invloed. Zeer hoge gevoeligheid in H <sub>2</sub> S milieu	1988	26, 27
CERT	SCC in Al-Zn-Mg leg.	3,5% NaCl 30° en 70°C	invloed crosshead speed, dikte en temp. op SCC gedrag. SCC verklaard met H-verbrossingsmechanisme	Interkristallijne waterstof-verbrossing veroorzaakt vermindering ductiliteit.	1983	28



#### 4 DISCUSSIE

Bij de meeste praktijk-SCC problemen spelen trekspanningen de hoofdrol; vaak zijn deze groot, zeker op lokaal niveau, en kunnen ze de vloeigrens van het materiaal benaderen. De resultaten van SCC testen worden sterk beïnvloed door de wijze van testen: methode van belasten, afmetingen van het proefstuk, e.d. Deze mechanische factoren bepalen in hoge mate de initiatie en propagatie van spanningscorrosiescheuren en zijn daarmee van invloed op de hoogte van de verkregen drempelwaarden, d.i. het spanningsniveau waaronder spanningscorrosie niet meer optreedt. De aldus verkregen drempelwaarden kunnen daarom ook niet als materiaaleigenschap gezien worden, en de testomstandigheden en statistische significantie van de waarden moeten bij de beoordeling betrokken worden <sup>29</sup>.

Bij het belasten van proefstukken moet het belastingssysteem zoveel mogelijk overeenstemmen met dat in de praktijksituatie. Hieronder worden enkele voorbeelden van spanningstoestanden gegeven die in de praktijk tot SCC geleid hebben:

- Restspanningen a.g.v.
  - afschrikken na warmtebehandeling
  - lassen
  - koud vervormen
  - mis-fit bij montage
  - onderlinge beïnvloeding bevestigingsmiddelen
  
- Constructie spanningen door
  - hydraulische druk
  - klemminrichtingen
  - dead weight belasting
  - etc.

De meest toegepaste methode om een proefstuk onder spanning te zetten is het aanbrenge van een constante vervorming door het proefstuk te buigen. Voor het uitvoeren van deze testen bestaan verschillende genormeerde procedures die afmetingen, wijze van buigen, buigstraal e.d. aangeven. (o.a. ASTM G38).

De in de tabellen genoemde testen gaan alle voorbij aan de vraag welk mechanisme een rol speelt bij het spanningscorrosie-scheurproces, namelijk anodisch oplossen of waterstof verbrossing. Voor de praktijk lijkt dit niet van groot belang omdat het selectie criterium veelal is dat er geen scheurvorming op mag treden onder de gesimuleerde praktijkcondities. Echter, om door middel van materiaal- en structuurmodificaties de weerstand tegen SCC te kunnen

verhogen is een goed begrip van het initiatie en scheurgroei-mechanisme onontbeerlijk.

De resultaten van de literatuur-inventarisatie kunnen op de volgende wijze worden samengevat:

1. Het aantal testmethoden dat toegepast wordt om de spanningscorrosiegevoeligheid van materialen te bepalen blijkt groot. Dit maakt het moeilijk om de resultaten van testen onderling te vergelijken. Meestal worden praktijkervaringen gebruikt om de testresultaten te valideren. Voor die specifieke omstandigheden garandeert een bepaald testresultaat dan dat het materiaal zal voldoen. Dit betekent wèl dat de test dan niet automatisch ook voor andere materialen en testmilieus toegepast kan worden. Dit moet afzonderlijk getoetst en geverifieerd worden.
2. De eenvoudige proeven bestaan uit buigstaven in een of andere vorm: meestal zijn dit rechthoekige staven voor vier-punts oplegging, al dan niet voorzien van kerven of zij-groeven voor scheurinitiatie en -geleiding. Een aantal veel gebruikte proefstukken wordt getoond in figuur 1.

Daarnaast zijn er een behoorlijk aantal uit de Breukmechanica afkomstige breuktaaiheidsproeven in gebruik. Het hierbij gehanteerde criterium voor spanningscorrosiegevoeligheid is een vermindering in de breuktaaiheid  $K_{Ic}$  door inwerking van het milieu. De resultaten van deze proeven worden gebruikt om drempelwaarden voor de spanningsintensiteit  $K$  vast te stellen, waar beneden geen spanningscorrosie optreedt. Deze drempelwaarde wordt aangeduid met  $K_{Isc}$ . De spanningsintensiteitsfactor  $K$  is gedefinieerd als  $K = \sigma\sqrt{\pi a}$ , waarin  $\sigma$  de nominale spanning is en  $a$  de lengte van de scheur die beschouwd wordt. De index  $I$  geeft aan dat de belasting d.m.v. oentrekken van de scheur aangebracht wordt.

Een overzicht van voor dergelijke proeven gebruikte proefstukken wordt gegeven in figuur 2<sup>29)</sup>. Hierin worden drie beproevingswijzen onderscheiden, nl. een met constante belasting, een met constante verplaatsing en een met (gelijkmatig) toenemende verplaatsing.

Figuur 3 illustreert deze verschillen.

Bij deze proeven worden de conclusies over het al dan niet gevoelig zijn voor SCC getrokken op basis van scheuruitbreiding, en de vermindering van breukrek. De beoordeling vindt niet primair plaats op grond van breukruiterlijk.

Tenslotte worden enkele specifieke testen aangetroffen die ontwikkeld zijn voor een bepaalde toepassing, zoals b.v. pijpbeproeving.

3. De 'Slow Strain Rate Test' of 'Constant Extension Rate Test' is een betrekkelijk nieuwe test. De verschillende vormen van deze test wordt het meest toegepast voor onderzoek naar de gevoeligheid voor waterstof-geïnduceerde spanningscorrosie in  $H_2S$  houdende media (olie en gaswinning); hierbij wordt een cilindrische proefstaaf van het te beoordelen materiaal in het te onderzoeken milieu zeer langzaam tot breuk getrokken en wordt de verandering in breuktaaiheid resp. insnoering t.o.v. een inert milieu beoordeeld. De SSRT test wordt algemeen gezien als een zware test; als in deze test het materiaal geen spanningscorrosie vertoont is het materiaal onder de testcondities bestand. De test is altijd onderdeel van testseries voor materiaalevaluatie voor off-shore toepassingen.
4. Belangrijk bij de keuze van een SCC test is dat de test niet zo zwaar is dat een materiaal ten onrecht afgekeurd wordt, maar ook niet zo licht dat een getest materiaal in de praktijk faalt. Vaak worden voor nieuwe milieus of nieuwe materialen dan ook meer verschillende testen uitgevoerd. Duidelijk zal zijn dat met een uitspraak over de mate van gevoeligheid van een bepaald materiaal grote belangen gemoeid zijn. Dit maakt tevens het grote belang duidelijk van goede en betrouwbare testmethoden om de spanningscorrosiegevoeligheid van materialen te kunnen bepalen.

## 5. CONCLUSIES

Het aantal verschillende testmethoden en proefstukken om de gevoeligheid van materialen voor waterstofverbrossing/scheurvorming en spanningscorrosie vast te stellen is groot. Dit is mede een gevolg van de vele verschillen in omstandigheden waaronder de materialen, die op hun gevoeligheid worden getest, ingezet worden.

De resultaten laten zien dat er in feite een grote vrijheid is in de keuze van een testmethode en proefstukvorm, en daardoor rekening gehouden kan worden met de specifieke (lokale) omstandigheden. Daar tegenover staat het voordeel van het gebruik van veel toegepaste proefstukvormen of testmethoden: er zijn al veel resultaten in de literatuur aanwezig waarmee de eigen uitkomsten vergeleken kunnen worden. Ditzelfde geldt voor standaard testmilieus en belastingswijzen.

Het toepassen van zelf-ontwikkelde testmethoden is dus accoord mits de testen worden gevalideerd voor de te onderzoeken praktijksituatie, d.w.z. dat aangetoond wordt dat de testresultaten inderdaad het praktijkgedrag voorspellen.

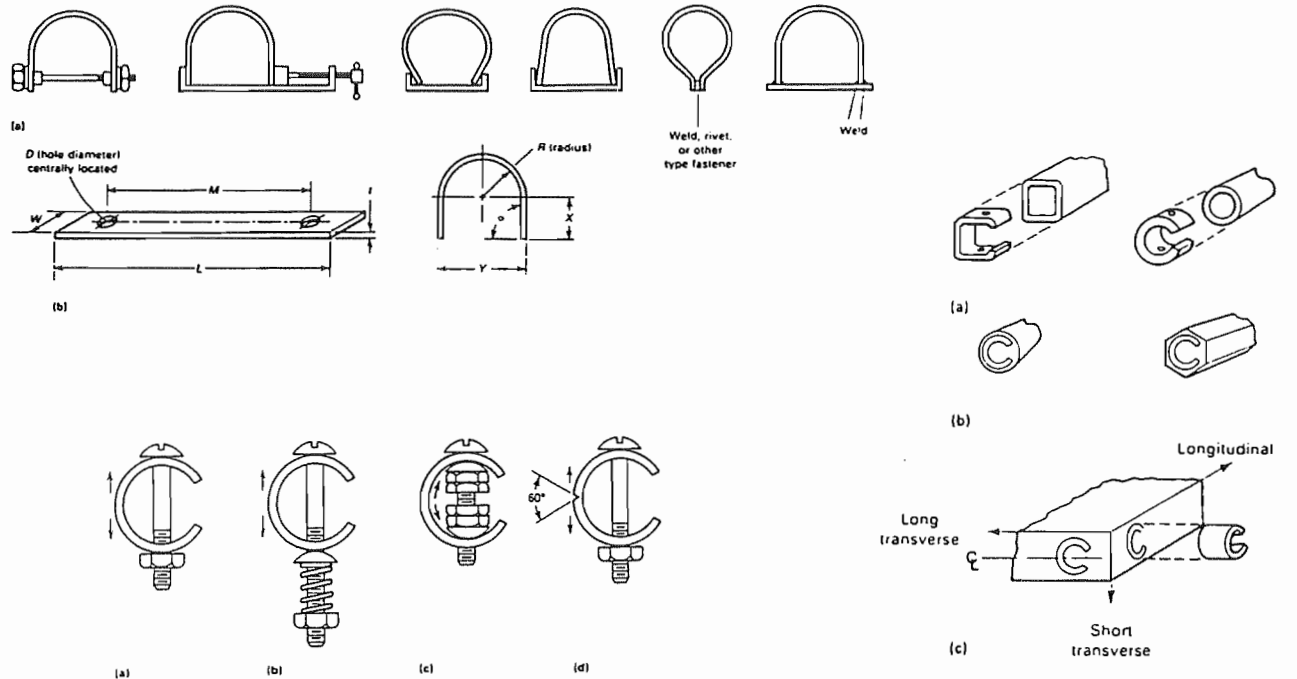
## 6 REFERENTIES

1. K.Tamaki; S.Tsujikawa, Y.Hisamatsu. Development of a new test method for chloride stress corrosion cracking of stainless steel in dilute NaCl solutions. Meeting: Advances in Localised corrosion, Orlando, Florida, U.S.A. NACE Houston, 1990, pp. 201-214
2. M. Akashi; Susceptibility of Stainless Steels in High-Temperature, High-Purity Water Environments. Localized Corrosion, Pag.: 175-196; 1988. Elsevier Applied Science, Crown House, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, UK
3. H. Fellmann; H. Kalfa; U. Schare; E. Heitz; CERT (Constant Extension Rate Testing) as a Test Method for Stress Corrosion Cracking at Weld Joints. I. Mechano-Chemical Test Results. Werkst. Korros., 40, (1), Pag.: 34-42
4. D.O. Cox; A Bent Beam Test Method for Hydrogen Sulfide Stress Corrosion Cracking Resistance. Meeting: Hydrogen Embrittlement: Prevention and Control, Los Angeles, California, USA, 24-26 May 1985. ASTM STP 962
5. B.-M. Svensson; T. Andersson; The Drop Evaporation Test--an Accelerated Test Method for Stress Corrosion Cracking of Stainless Steels in Chloride Media. Meeting: 10th Scandinavian Corrosion Congress NKM10--Proceedings, Stockholm, Sweden, 2-4 June 1986. Pag. 297-300;
6. D. Singbeil; A. Garner A Test Method to Evaluate Stress Corrosion Cracking in Pressure Vessels. Mater. Perform., 27, (2), Pagination: 38-46
7. T. Iwodate; K. Aomuku; T. Yokobori; Standard Test Method for Stress Corrosion Cracking. Pag. Pp 90, 6 x 8 1/2 in., Illustrated Publisher: Japan Institute for Materials Strength, Sendai, Japan
8. T. Iwodate; K. Aomuku; T. Yokobori. Standard Test Method for Stress Corrosion Cracking. (Book). Pagination: Pp 90; 1985. Publisher: Japan Institute for Materials Strength, Sendai, Japan
9. C.T. Fujii. Effect of Sequential Load or Potential Changes on Stress Corrosion Cracking Behavior of Steels. Meeting: Environment-Sensitive Fracture: Evaluation and Comparison of Test Methods, Gaithersburg, Maryland, USA, 26-28 Apr.1982. Pp.383-398
10. A.W. Thompson; I.M. Bernstein. Loading Mode (Mode I/Mode III) Testing for Stress Corrosion Cracking. Meeting: Environment-Sensitive Fracture: Evaluation and Comparison of Test Methods, Gaithersburg, Maryland, USA, 26-28 Apr. 1982. Pag.: 114-127

11. W.B. Lisagor. Influence of Precracked Specimen Configuration and Starting Stress Intensity on the Stress Corrosion Cracking of 4340 Steel. Meeting: Environment-Sensitive Fracture: Evaluation and Comparison of Test Methods, Gaithersburg, Maryland, USA, 26-28 Apr. 1982 Pag.: 80-97
12. H. Krauss; F.W. Hirth; H. Speckhardt. Practical Determination of the Susceptibility of High Alloy Steels to Chloride-Induced Stress Corrosion Cracking. Latest Evidence Regarding Test Methods. Z. Werkstofftech., 13, (8), Pag. 263-268
13. Y. Nakai; Y. Uesugi; H. Kurahashi. Development of Laboratory Test Method for Stress Corrosion Cracking of Steels in Liquid Ammonia. Tetsu-to-Hagane (J. Iron Steel Inst. Jpn.), 67, 14, Pag. 2226-2233
14. S. Tsujikawa; K. Tamaki; Y. Hisamatsu. Development of a New Test Method for Chloride Stress Corrosion Cracking of Stainless Steels and Its Application to That of Type 316 in Dilute NaCl Solutions. Tetsu-to-Hagane (J. Iron Steel Inst. Jpn.), 66, (14), Pag.: 2067-2076
15. J.C. Danko; A.E. Pickett; J.D. Heald; A.J. Giannuzzi; D.C. Bertossa. A Pipe Test Method for Evaluating the Stress Corrosion Cracking Behavior of Welded Type-304 Stainless Steel Pipes. Properties of Steel Weldments for Elevated Temperature Pressure Containment Applications, Pag.: 91-101. 1978
16. H. Buhl. Validity of the Slow Straining Test Method in the Stress Corrosion Cracking Research Compared With Conventional Testing Techniques. Meeting: Stress Corrosion Cracking--The Slow Strain-Rate Technique, Toronto, Canada, 2-4 May 1977 Pag.: 333-346.
17. M.S. Domack, Stress Corrosion Evaluation of Powder Metallurgy Aluminum Alloy 7091 With the Breaking Load Test Method. 1987 Tri-Service Conference on Corrosion. Vol. 1, US Air Force Academy, Colorado, USA, 5-7 May 1987. AFWAL-TR-87-4139-I
18. Sato, E; H. Abo; T. Murata. Lifetime Estimation and Accelerated Stress Corrosion Cracking Test of Stainless Steel in a Neutral Chloride Environment. Corrosion NACE, 46, (11), 1990. Pag. 924-928
19. M.F. Brunella; M. Cabrini; A. Cigada; A. Gradara; G. Rondelli; B. Vicentini. Stress Corrosion Cracking in Sour Environments of Martensitic and Duplex Stainless Steels. Meeting: Stainless Steels '91. Vol. 1, Chiba, Japan, 10-13 June 1991 Pag. 264-271

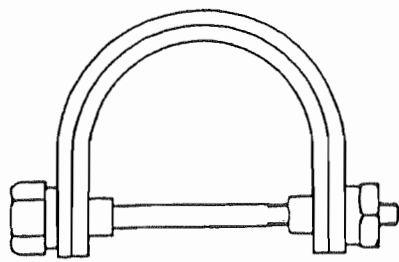
20. Schofield, M.J.; Wilhelm, S.M.; Oldfield, J.W.; Application for Various Stress Corrosion Cracking Test Techniques: Validity and Relevance to Practice. Meeting: Duplex Stainless Steels '91. Vol. 1, Beaune, France, 28-30 Oct. 1991. Pag. 221-240
21. R.K. Dayal; H.J. Grabke. Hydrogen Induced Stress Corrosion Cracking in Low and High Strength Ferritic Steels of Different Phosphorus Content in Acid Media. *Werkst. Korros.*, 38, (8), 1978. Pag.: 409-416
22. R. Rungta; B.N. Leis. Experimental Methods for the Evaluation of Environmentally Assisted Cracking of Steel in Caustic. Meeting: Environment-Sensitive Fracture: Evaluation and Comparison of Test Methods, Gaithersburg, Maryland, USA, 26-28 Apr.
23. R.C. Newman; R. Roberge; R. Bandy. Evaluation of SCC Test Methods for Inconel 600 in Low-Temperature Aqueous Solutions. Meeting: Environment-Sensitive Fracture: Evaluation and Comparison of Test Methods, Gaithersburg, Maryland, USA, 26-28 Apr. 1982
24. Y.W. Shi; H.H. Li; F.C. Liu. Stress Corrosion Test Method Using Self-Restraint Small-Size Specimens. Meeting: 10th International Congress on Metallic Corrosion. Vol. 3: Sessions 10-13, Madras, India, 7-11 Nov. 1987. *Eng.Mater.*, 20-28, (3), Pag. 1825-1829
25. P.P. Pizzo; R.P. Galvin; H.G. Nelson ;Meeting: Environment-Sensitive Fracture: Evaluation and Comparison of Test Methods, Gaithersburg, Maryland, USA, 26-28 Apr. 1982. Pag. 173-201 1984. ASTM, Philadelphia, USA
26. K. Dayal; H.J. Grabke. Hydrogen Induced Cracking Susceptibility of Low Strength Steels With Different Phosphorus Content in Acid Media. 10th International Congress on Metallic Corrosion. Vol. 3: Sessions 10-13, Madras, India, 7-11 Nov. 1987. *Eng. Mater.*, 20-28, (3), Pag. 2347-2353
27. R.K. Dayal; H.J. Grabke. Hydrogen Induced Stress Corrosion Cracking in Low and High Strength Ferritic Steels of Different Phosphorus Content in Acid Media. *Werkst. Korros.*, 38, (8), Aug. 1978 Pag. 409-416
28. M. Takano; T. Nagata. Hydrogen Induced Stress Corrosion Cracking of Al-4.5Zn-1.5Mg Alloy. *Boshoku Gijutsu (Corros. Eng.)*, 32, (8), Pag. 456-462
29. D.O.Sprows; Evaluation of Stress Corrosion Cracking, in: Stress Corrosion Cracking: Materials Performance and Evaluation; ASM 1992, pp.363-415

Figuur 1: Voorbeelden van diverse spanningscorrosie proefstukken genoemd in het literatuuroverzicht.



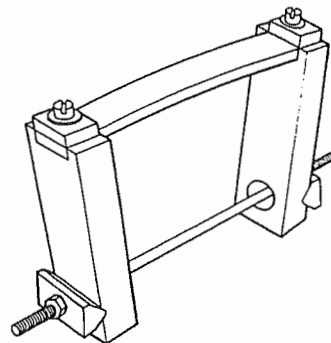
Methods of stressing C-rings. (a) Constant strain. (b) Constant load. (c) Constant strain. (d) Notched C-ring: a similar notch could be used on the side of (a), (b), or (c). Source: Ref 8 (G 38)

Sampling procedure for testing various products with C-rings. (a) Tube. (b) Rod and bar. (c) Plate

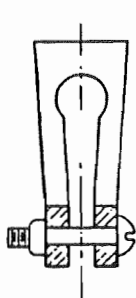


Double U-bend

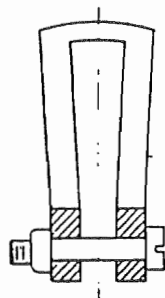
Two special-purpose U-bend specimens.



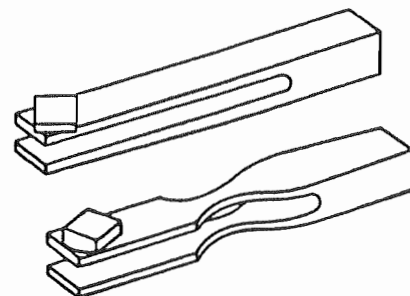
Bent beam designed to produce pure bending.



Gabelprobe



U-probe

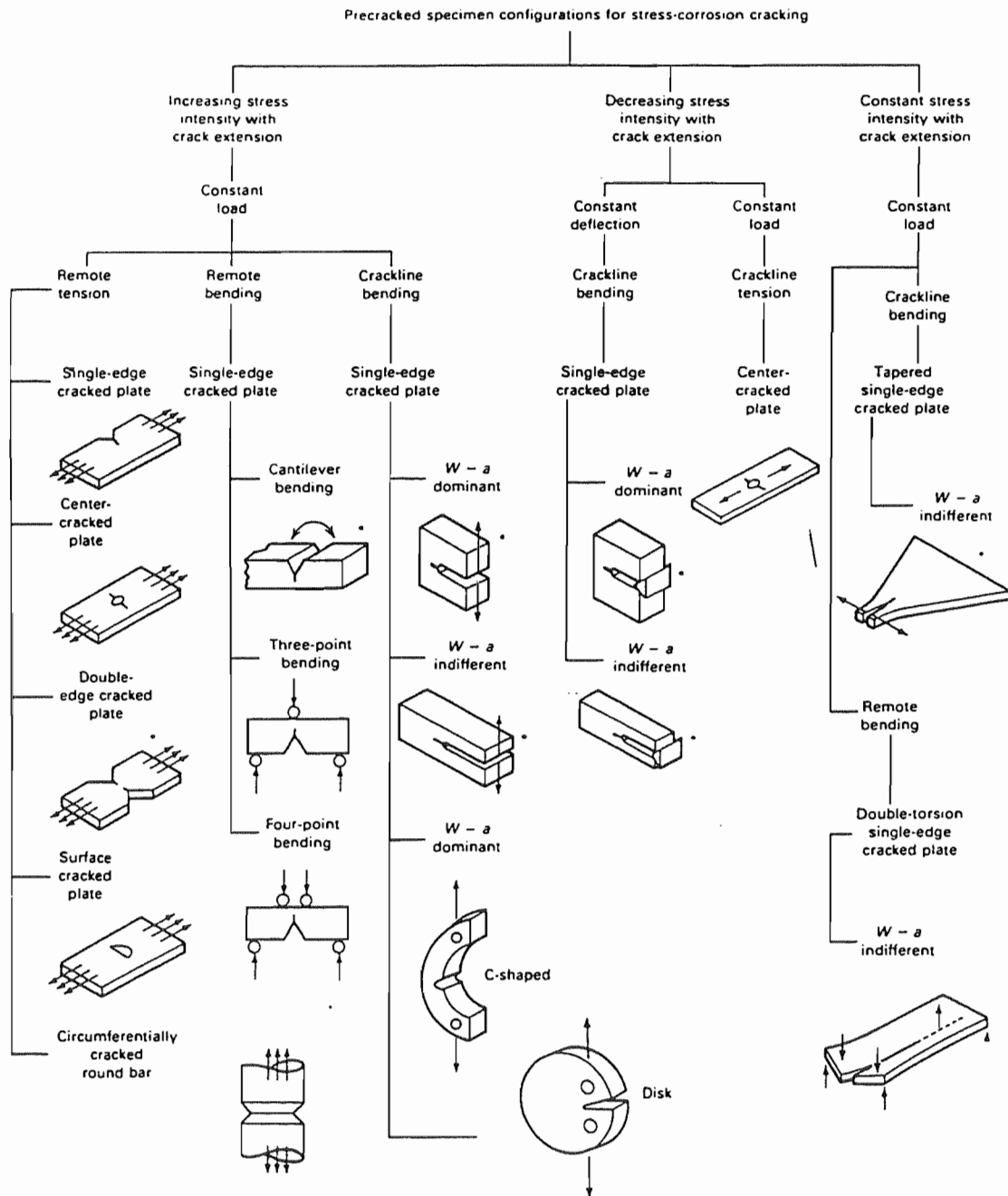


(b)

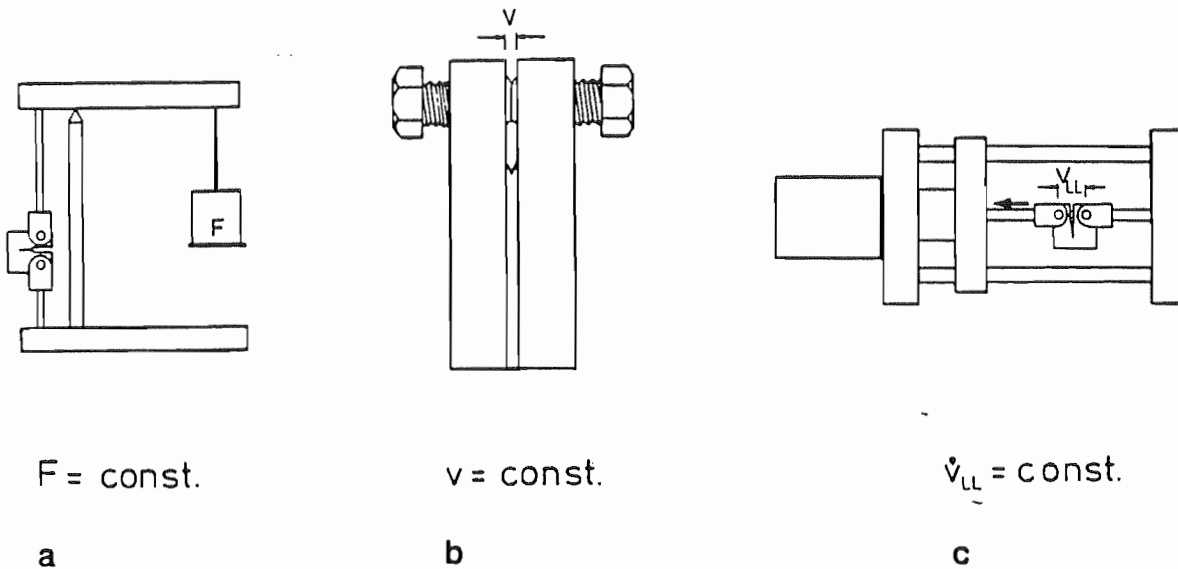
(a)



Figuur 2: Overzicht van bij het spanningscorrosie onderzoek veel gebruikte Breukmechanica proefstukken <sup>29)</sup>.



Figuur 3: Illustratie van de 3 testmethoden die in figuur 2 onderscheiden worden.



Schematische weergave van de verschillende beproevingsmethoden toegepast in breukmechanisch onderzoek:

- a) constante belasting
- b) constante verplaatsing
- c) constante verplaatsingssnelheid

## Bijlage I: Overzicht van de normen verkregen uit de Data-base PERINORM.

G.RI : (PE,IN )  
 Origin code : US or ix or nl or jp or fr or fa or gb or de  
 Descriptors English : stress and corrosion  
 Title English : stress corrosion

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier DIN 50908  
 Status ST\*N

Title (English) Testing the resistance of aluminium wrought alloys to stress corrosion cracking

Original language de

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier DIN 50915  
 Status ST\*N

Title (English) Testing the resistance of unalloyed and low alloy steels to intergranular stress corrosion cracking by attack of nitrate medium; welded and unwelded materials

Original language de

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier DIN 50916-2  
 Status ST\*N

Title (English) Testing of copper alloys; stress corrosion cracking test using ammonia; testing of components

Original language de

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier DIN 50922  
 Status ST\*N

Title (English) Corrosion of metals; testing the resistance of metallic materials to stress corrosion cracking; general

Original language de

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier DIN IEC 36(Sec)106\*VDE 0441 Teil 100/A5  
 Status DC\*N-E

Title (English) Amendment to IEC 1109 - Test on the resistance of FRP core against stress corrosion (IEC 36(Secretariat)106:1994)

Original language de\* en

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier WL 5.1415  
 Status ST\*N

Title (English) Aerospace; acrylic material, cast, crosslinked, high thermal stability, stress-corrosion resistant and ultraviolet-absorbing

Original language de

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier NF F19-223  
Status ST

Title (English) RAILWAY ROLLING STOCK. EPOXY RESIN PAINTS.  
PROTECTION SYSTEM TO PREVENT THE CORROSION UNDER  
STRESS.

Original language FR

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier NF A05-501-1,NF ISO 7539-1  
Status ST

Title (English) CORROSION OF METALS AND ALLOYS. STRESS CORROSION  
TESTING. PART 1 : GENERAL GUIDANCE ON TESTING  
PROCEDURES.

Original language FR

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier NF A05-501-2,NF ISO 7539-2  
Status ST

Title (English) CORROSION OF METALS AND ALLOYS. STRESS CORROSION  
TESTING. PART 2 : PREPARATION AND USE OF  
BENT-BEAM SPECIMENS.

Original language FR

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier NF A05-501-3,NF ISO 7539-3  
Status ST

Title (English) CORROSION OF METALS AND ALLOYS. STRESS CORROSION  
TESTING. PART 3 : PREPARATION AND USE OF U-BEND  
SPECIMENS.

Original language FR

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier NF A05-501-4,NF ISO 7539-4  
Status ST

Title (English) CORROSION OF METALS AND ALLOYS. STRESS CORROSION  
TESTING. PART 4 : PREPARATION AND USE OF  
UNIAXIALLY LOADED TENSION SPECIMENS.

Original language FR

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier NF A05-501-5,NF ISO 7539-5  
Status ST

Title (English) CORROSION OF METALS AND ALLOYS. STRESS CORROSION  
TESTING. PART 5 : PREPARATION AND USE OF C-RING  
SPECIMENS.

Original language FR

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier NF A05-501-7,NF ISO 7539-7  
Status ST

Title (English) CORROSION OF METALS AND ALLOYS. STRESS CORROSION  
TESTING. PART 7 : SLOW STRAIN RATE TESTING.

Original language FR

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier BS 6980:Part 1:1988; ISO 7539-1:1987  
Status ST

Title (English) Stress corrosion testing. Guide to testing  
procedures

Original language EN

---



---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      92/76647 DC  
Status                    DC

Title      (English)      Aerospace series. Test methods for aluminium and aluminium alloy products. Part 4. Stress corrosion test by alternate immersion for high strength aluminium alloy wrought products (prEN 2004:Part 4)

Original language            EN

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      94/204126 DC  
Status                    DC

Title      (English)      Amendment to IEC 1109. Test on the resistance of FRP core against stress corrosion [IEC 36(Secretariat)106] (possible future British Standard)

Original language            EN; FR

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM F 945  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Test Method for Stress-Corrosion of Titanium Alloys by Aircraft Engine Cleaning Materials

Original language            en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 30  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Making and Using U-Bend Stress-Corrosion Test Specimens

Original language            en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 35  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Determining the Susceptibility of Stainless Steels and Related Nickel-Chromium-Iron Alloys to Stress Corrosion Cracking in Polythionic Acids

Original language            en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 36  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Evaluating Stress-Corrosion-Cracking Resistance of Metals and Alloys in a Boiling Magnesium Chloride Solution

Original language            en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 38  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Making and Using C-Ring Stress-Corrosion Test Specimens

Original language            en

---

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 39  
Status                      ST\*N

Title      (English)      Preparation and Use of Bent-Beam Stress-Corrosion  
Test Specimens

Original language      en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 44  
Status                      ST\*N

Title      (English)      Evaluating Stress Corrosion Cracking Resistance  
of Metals and Alloys by Alternate Immersion in  
3.5% Sodium Chloride Solution

Original language      en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 47  
Status                      ST\*N

Title      (English)      Test Method for Determining Susceptibility to  
Stress-Corrosion Cracking of High-Strength  
Aluminum Alloy Products

Original language      en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 49  
Status                      ST\*N

Title      (English)      Preparation and Use of Direct Tension  
Stress-Corrosion Test Specimens

Original language      en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 58  
Status                      ST\*N

Title      (English)      Preparation of Stress-Corrosion Test Specimens  
for Weldments

Original language      en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ASTM G 64  
Status                      ST\*N

Title      (English)      Classification of the Resistance to  
Stress-Corrosion Cracking of Heat-Treatable  
Aluminum Alloys

Original language      en

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      JIS H 8711-1990  
Status                      ST

Title      (English)      TEST METHODS FOR STRESS CORROSION CRACKING ON  
ALUMINIUM ALLOYS

Original language      ja

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ISO 6957  
Status                      ST\*N

Title      (English)      Copper alloys; ammonia test for stress corrosion  
resistance

Original language      en\*fr

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ISO 7539-1  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Corrosion of metals and alloys - Stress corrosion testing - Part 1: General guidance on testing procedures

Original language      en\*fr

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ISO 7539-2  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Corrosion of metals and alloys - Stress corrosion testing - Part 2: Preparation and use of bent-beam specimens

Original language      en\*fr

---

Document identifier      ISO 7539-3  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Corrosion of metals and alloys; stress corrosion testing; part 3: preparation and use of U-bend specimens

Original language      en\*fr

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ISO 7539-4  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Corrosion of metals and alloys - Stress corrosion testing - Part 4: Preparation and use of uniaxially loaded tension specimens

Original language      en\*fr

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ISO 7539-5  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Corrosion of metals and alloys - Stress corrosion testing - Part 5: Preparation and use of C-ring specimens

Original language      en\*fr

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ISO 7539-6  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Corrosion of metals and alloys - Stress corrosion testing - Part 6: Preparation and use of pre-cracked specimens

Original language      en\*fr

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ISO 7539-7  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Corrosion of metals and alloys - Stress corrosion testing - Part 7: Slow strain rate testing

Original language      en\*fr

---

Copyright 1990 by AFNOR, BSI, DIN

Document identifier      ISO 9591  
Status                    ST\*N

Title      (English)      Corrosion of aluminium alloys; determination of resistance to stress corrosion cracking

Original language      en\*fr

---



Bijlage II: Overzicht van materialen die resp. goed, matig en slecht bestand zijn tegen spanningscorrosie, bepaald d.m.v. een 30-dagen expositietest van cilindrische staafjes onder constante belasting in 3½ % NaCl oplossing. (Bron: European Space Agency doc. ESA PSS-01-736 Issue 1 (May 1981), Noordwijk, 1981.)

TABLE I Alloys with high resistance to stress-corrosion cracking

*Steel alloys*

Alloy	Condition
Carbon steel (1000 series)	Below 125 kg/mm <sup>2</sup> (180 ksi) UTS
Low alloy steel (4130, 4340 etc)	Below 125 kg/mm <sup>2</sup> (180 ksi) UTS <sup>1</sup>
(E) D6AC, H-11	Below 148 kg/mm <sup>2</sup> (210 ksi) UTS
Music wire (ASTM 228)	Cold drawn
HY-80 steel	Quenched and tempered
HY-130 steel	Quenched and tempered
HY-140 steel	Quenched and tempered
1095 spring steel	Quenched and tempered
300 series stainless steel (unsensitised) <sup>2</sup>	A11
21-6-9 stainless steel	A11
Carpenter 20 Cb stainless steel	A11
Carpenter 20 Cb-3 stainless steel	A11
A286 stainless steel	A11
AM350 stainless steel	SCT 1000 <sup>4</sup> and above
AM355 stainless steel	SCT 1000 and above
Almar 362 stainless steel	H1000 <sup>5</sup> and above
Custom 455 stainless steel	H1000 and above
15-5 PH stainless steel	H1000 and above
PH 14-8 Mo stainless steel	CH900 and SRH950 and above <sup>6,7</sup>
PH 15-7 Mo stainless steel	CH900
17-7 PH stainless steel	CH900
Nitronic 33 <sup>3</sup>	A11

<sup>1</sup> A small number of laboratory failures of specimens cut from plate more than 2 inches thick have been observed at 75% yield, even within this ultimate strength range. The use of thick plate should therefore be avoided in a corrosive environment when sustained tensile stress in the short transverse direction is expected.

<sup>2</sup> Including weldments of 304L, 316L, 321 and 347.

<sup>3</sup> Including weldments.

<sup>4</sup> SCT 1000 = sub-zero cooling and tempering at 538°C (1000°F).

<sup>5</sup> H1000 = hardened above 538°C (1000°F).

<sup>6</sup> CH900 = cold worked and aged at 480°C (900°F).

<sup>7</sup> SRH950 = solution treated and tempered at 510°C (950°F).

(E) ESA classification - not in NASA MSFC-SPEC-522A.

*Nickel alloys*

Alloy	Condition
Hastelloy C	A11
Hastelloy X	A11
Incoloy 800	A11
Incoloy 901	A11
Incoloy 903	A11
Inconel 600 <sup>3</sup>	Annealed
Inconel 625	Annealed
Inconel 718 <sup>3</sup>	A11
Inconel X-750	A11
Monel K-500	A11
Ni-Span-C 902	A11
Rene 41	A11
Unitemp 212	A11
Waspaloy	A11

<sup>3</sup> Including weldments

TABLE 1 Alloys with high resistance to stress-corrosion cracking (cont'd)

*Copper alloys*

CDA no. <sup>1</sup>	Condition (% cold rolled) <sup>2</sup>
110	37
170	AT, HT <sup>3</sup>
172	AT, HT <sup>3</sup>
194	37
195	90
230	40
422	37
443	10
510	37
521	37
619	40 (9% B phase)
619	40 (95% B phase)
688	40
706	50
725	50, annealed

*Miscellaneous alloys (wrought)*

Alloy	Condition
Beryllium, S-200C	Annealed
HS 25 (L605)	A11
HS 188	A11
MP35N	A11
Titanium, 3Al-2, 5V	A11
Titanium, 6Al-4V	A11
Titanium, 13V-11Cr-3Al	A11
Magnesium, M1A	A11
Magnesium, LA141	Stabilised
Magnesium, LAZ933	A11

<sup>1</sup> Copper Development Association alloy number.<sup>2</sup> Maximum per cent cold rolled for which stress-corrosion-cracking data are available.<sup>3</sup> AT - annealed and precipitation hardened.

HT - work hardened and precipitation hardened.

*Aluminium alloys*

Wrought <sup>1,2</sup>		Cast	
Alloy	Condition	Alloy <sup>3</sup>	Condition
1000 series	A11	355.0, C355.0	T6
2011	T8	356.0, A356.0	A11
2024, rod bar	T8	357.0	A11
2219	T6, T8	B358.0 (Tens-50)	A11
(E) 2419	T8	359.0	A11
(E) 2618	T6, T8	380.0, A380.0	As cast
3000 series	A11	514.0 (214)	As cast <sup>5</sup>
5000 series	A11 <sup>4,5</sup>	518.0 (218)	As cast <sup>5</sup>
6000 series	A11	535.0 (Almag 35)	As cast <sup>5</sup>
(E) 7020	T6 <sup>6</sup>	A 712.0, C 712.0	As cast
7049	T73		
7149	T73		
7050	T73		
7075	T73		
7475	T73		

<sup>1</sup> Mechanical stress relieved (TX5X or TX5XX) where possible.<sup>2</sup> Including weldments of the weldable alloys.<sup>3</sup> The former designation is shown in parenthesis when significantly different.<sup>4</sup> High magnesium content alloys 5456, 5083 and 5086 should be used only in controlled tempers (H111, H112, H116, H117, H323, H343) for resistance to stress-corrosion cracking and exfoliation.<sup>5</sup> Alloys with magnesium content greater than 3.0% are not recommended for high-temperature application, 66°C (150°F) and above.<sup>6</sup> Excluding weldments.

(E) ESA classification -- not in NASA MSFC-SPEC-522A.

ESA PSS-01-736 Issue 1 (May 1981)

19

TABLE II Alloys with moderate resistance to stress-corrosion cracking (cont'd)

*Aluminium alloys*<sup>1,2</sup>

Wrought		Cast	
Alloy	Condition	Alloy	Condition
2024 rod, bar, extrusion	T6, T62	319.0, A319.0	As cast
2024 plate, extrusions	T8	333.0, A333.0	As cast
2124 plate	T8		
2048 plate	T8		
4032	T6		
5083	A11 <sup>3</sup>		
5086	A11 <sup>3</sup>		
5456	A11 <sup>3</sup>		
7001	T75, T76		
(E) 7010	T736		
7049	T76		
7050	T736, T76		
7075	T76		
7175	T736, T76		
7475	T76		
7178	T76		

<sup>1</sup> Mechanically stress relieved products (TX5X or TX5XX) should be specified where possible.<sup>2</sup> Sheet, unmachined extrusions and unmachined plate are the most resistant forms.<sup>3</sup> Except for controlled tempers listed in footnote 3 of Table I, aluminium alloys. These alloys are not recommended for high-temperature application. 66°C (150°F) and above.

(E) ESA classification - not in NASA MSFC-SPEC-522A.

TABLE II Alloys with a moderate resistance to stress-corrosion cracking

*Steel alloys*

Alloy	Condition
Carbon steel (1000 series)	125 to 140 kg/mm <sup>2</sup>
Low-alloy steel (4130, 4340 etc)	125 to 140 kg/mm <sup>2</sup>
Nitronic 32	A11
Nitronic 60	A11
403, 410, 416, 431 stainless steel	<sup>1</sup>
PH 13-8 Mo stainless steel	A11
15-5PH stainless steel	Below H1000 <sup>2</sup>
17-4PH stainless steel	A11

*Miscellaneous alloys*

Alloy	Condition
Magnesium, AZ31B	A11
Magnesium, ZK60A	A11

<sup>1</sup> Tempering between 370 and 600°C should be avoided because corrosion and stress-corrosion resistance is lowered.<sup>2</sup> H1000 = hardened above 538°C (1000°F).

TABLE III Alloys with low resistance to stress-corrosion cracking

*Steel alloys*

Alloy	Condition
Carbon steel (1000 series)	Above 140 kg/mm <sup>2</sup>
Low-alloy steel (4130, 4340 etc)	Above 140 kg/mm <sup>2</sup>
(E) D6AC, H-11 steel	Above 148 kg/mm <sup>2</sup>
440C stainless steel	A11
18 Ni Maraging steel, 200 grade	Aged at 900°F
18 Ni Maraging steel, 250 grade	Aged at 900°F
18 Ni Maraging steel, 300 grade	Aged at 900°F
18 Ni Maraging steel, 350 grade	Aged at 900°F
AM 350 stainless steel	Below SCT 1000
AM 355 stainless steel	Below SCT 1000
Custom 455 stainless steel	Below H1000
PH 15-7 Mo stainless steel	A11 except CH900
17-7 PH stainless steel	A11 except CH900
(E) Kovar	A11

*Aluminium alloys*<sup>1,2</sup>

Wrought		Cast	
Alloy	Condition	Alloy	Condition
2011	T3, T4	295.0 (195)	T6
2014	A11	B295.0 (B195)	T6
2017	A11	520.0 (220)	T4
2024	T3, T4	707.0 (607, tern-alloy 7)	T6
2024 Forgings	T6, T62, T8	D712.0 (D612, 40E)	As cast
2024 Plate	T62		
(E) 2618	T3, T4		
7001	T6		
(E) 7020	Weldments		
7039	A11		
7075	T6		
7175	T6		
7079	T6		
7178	T6		
7475	T6		

<sup>1</sup> Mechanically stress-relieved products (TX5X or TX5XX) should be specified where possible.

<sup>2</sup> Sheet, unmachined extrusions and unmachined plate are the least susceptible forms. (E) ESA classification – not in NASA MSFC-SPEC-522A.

*Copper alloys*

CDA no. <sup>1</sup>	Condition (% cold rolled) <sup>2</sup>
260	50
353	50
443	40
672	50, annealed
687	10, 40
762	A, 25, 50
766	38
770	38, 50, annealed
782	50

*Magnesium alloys*

Alloy	Condition
AZ61A	A11
AZ80A	A11

<sup>1</sup> Copper Development Association alloy number.

<sup>2</sup> Rating based on listed conditions only.