



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 geevalueerd, 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 praktijk gegevens om lab-SCC testmethoden te kunnen valideren	1991	20
SSRT/CERT	HSSC in LSS en HSS in divers zure milieus, +/- H2S en zeewater	HSSC 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 milieu's		1984	23
gepunte laste schijf specimen	Chloride SCC / RVS 304	kokend MgCl ₂ 140 °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 ₂ SO ₄ , 5% NaCl en synt. zeewater, verz. met H ₂ 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 ₂ 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 ²⁹.

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
 - klemrichtingen
 - dead weight belasting
 - etc.

De meest toegepaste methode om een proefstuk onder spanning te zetten is het aanbrengen 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 σ 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 2²⁹⁾. 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 breuktaaiheid.

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 H₂S 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. Iwadate; 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. Iwadate; 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.Sprohls; Evaluation of Stress Corrosion Cracking, in: Stress Corrosion Cracking: Materials Performance and Evaluation; ASM 1992, pp.363-415