

CORROSIE EN OPPERVLAKTEBEHANDELING VAN LASVERBINDINGEN

Ir. J.H.A.M. Heerings - Nederlands Instituut voor Lastechniek

1 Voorwoord

In de periode 1991 t/m 1993 is, onder verantwoordelijkheid van het NIL, een omvangrijk onderzoek uitgevoerd getiteld "Verwerking en gebruik van roestvast staal". Dit onderzoek was gericht op 2 onderwerpen, t.w.:

- het optimaliseren van de corrosiebestendigheid van lasverbindingen in roestvast staal d.m.v. backingprocedure en nabehandeling;
- de keuze van produktieprocessen bij het verwerken van roestvast staal.

Hiernavolgend zal het eerste onderwerp behandeld worden, terwijl het tweede onderwerp separaat in deze syllabus gepresenteerd wordt. Gelijktijdig met het Nederlandse (NIL) onderzoek, is ook in België onderzoek uitgevoerd op het onderwerp van corrosiebestendigheid in relatie tot backingprocedure en nabehandeling. Dit laatste onderzoek werd uitgevoerd door het Onderzoekscentrum van het Belgisch Instituut voor Lastechniek (BIL) onder leiding van Prof.dr. J. Defrancq. Beide onderzoeken zijn op elkaar afgestemd en de resultaten zijn uitgewisseld. In deze bijdrage zullen diverse belangrijke resultaten uit beide onderzoeken besproken worden.

De resultaten van beide onderzoeken zijn geïntegreerd in een praktische richtlijn "Backing en nabehandeling bij het lassen van roestvast staal" (nr. LM.94.04, juni 1994, verkrijgbaar bij FME te Zoetermeer).

De onderzoeken zijn mogelijk geworden dankzij ondersteuning door de volgende bedrijven:

AGA Gas, AKZO, AKF, BOC Gases, Boelwerf Vlaanderen, Böhler, Brooks Instruments, Budelco, Cyanamid, Dienst voor het Stoomwezen, Distrilas, Dow Benelux, DSM Research, Eurolas, Fabricom, Fabrique de fer de Charleroi, Filarc Lastechniek, Gastec, Hilarius, Hoek Loos, Holvrieka-Ido, Hoogovens Groep, KEMA, Koninklijke Schelde Groep, Lamers Nijmegen High, Tech Systems, Lincoln Smitweld, Mannesmann Carnoy, Ministerie van Defensie DMKM, MTS Matcon, Nederlandse Spoorwegen, Nieuwstraten Proefstaven, Prabur, SAF Oerlikon, Socomer, Soudometal, Stork FDO, VECOM.

Tevens is het Nederlandse project financieel gesteund door het Ministerie van Economische Zaken, terwijl het Belgische project gesteund is door het Instituut ter bevordering van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en landbouw.

2 Inleiding

De roestvaste staalsoorten kennen een zeer breed toepassingsgebied in een groot aantal sectoren van de industrie, zoals de chemische industrie, olie- en gasindustrie, voedings- en genotmiddelenindustrie en de energie-opwekking. Ze worden vooral ingezet in toepassingen waar speciale eisen aan de corrosiebestendigheid worden gesteld. De goede corrosiebestendigheid is een gevolg van het feit dat roestvast staal een natuurlijke oxidehuid bezit, die het materiaal beschermt tegen de corrosieve werking van het betreffende procesmilieu.

De technische levensduur van installaties uit roestvast staal wordt in veel gevallen bepaald door de corrosiebestendigheid van de lasverbindingen.

De kosten van corrosieschaden, veroorzaakt door lasverbindingen in roestvast staal, wordt voor Nederland geschat op vele honderden miljoenen gulden per jaar. De corrosieschaden bij lasverbindingen zijn in veel gevallen terug te voeren op de oxidatie die t.g.v. de hoge temperatuur tijdens het lassen aan de grondnaadzijde optreedt. Deze oxidatie veroorzaakt een dikke oxidehuid, zichtbaar als een verkleuring van het oppervlak. Deze dikke huid biedt beduidend minder weerstand tegen lokale corrosie dan de natuurlijke, passieve huid. Om overmatige oxidatie (ofwel verkleuring) te voorkomen wordt tijdens het lassen met backinggas (een inert gas) gespoeld. Daarnaast is het mogelijk om het hoge temperatuur oxide (de verkleuring) te verwijderen d.m.v. een beitsbehandeling, eventueel aangevuld met een passiverbehandeling. Ook worden daarvoor verschillende mechanische methoden gebruikt zoals schuren en stralen.

De verlaagde corrosiebestendigheid van lasverbindingen kan mede een gevolg zijn van afbrand en segregatie van bepaalde legeringselementen in het lasmetaal. Om deze reden zou toepassing van een hoger gelegeerd ("overgelegeerd") lastoevoegmateriaal tot verbetering kunnen leiden.

In de onderzoeken is nagegaan welke mogelijkheden er voor de praktijk zijn om de corrosiebestendigheid van lasverbindingen te verbeteren. Het streven hierbij was om voor de lasverbinding een gelijkwaardige corrosiebestendigheid te bereiken als voor het plaat- of pijpmateriaal. De volgende mogelijkheden zijn daartoe onderzocht:

- Beheersing van de backingbehandeling tijdens het lasproces, met name door reductie van de zuurstofverontreiniging en/of door de keuze van de backinggasbestanddelen.
- Toepassing van een chemische behandeling na het lassen, zoals beitsen en passiveren.
- Het toepassen van lastoevoegmaterialen met een verhoogd gehalte aan legeringselementen.
- De invloed van het lasproces.

De geschetste problematiek heeft betrekking op zowel de conventionele als de hoger gelegeerde roestvaste staalsoorten. In de onderzoeken zijn dan ook een

tiental roestvaste staalsoorten betrokken variërend van AISI 304 L tot superduplex, zie tabel 1.

3 Experimentele uitvoering

Het zou in deze context te ver voeren om alle uitgevoerde experimenten en bijbehorende resultaten te bespreken. In de hiernavolgende beschrijving zal daarom slechts een beperkte selectie daaruit besproken worden.

Voor het vaststellen van het effect van backinggas zijn lasverbindingen vervaardigd, met verschillende gecontroleerde backinggasatmosferen. De verkleuringen die hierbij aan grondnaadzijde zijn opgetreden, zijn in kaart gebracht. Voor het bepalen van de corrosiebestendigheid is grotendeels gebruik gemaakt van de zgn. Multiple Crevice Assembly-test, afgekort: MCA-test. Dezelfde test is gebruikt voor het karakteriseren van de verschillende nabehandelingmethoden, zoals beitsen, passiveren, glaspapieren en schuren.

3.1 Fabricage lasverbindingen

Uit de in tabel 1 vermelde pijpmaterialen zijn stukken van 15 cm. lengte gezaagd en zijn steeds 2 pijpstukken met een rondnaad aan elkaar gelast. Voor verreweg de meeste lassen is, zowel voor de grondnaad als voor de vullagen, gebruik gemaakt van het TIG-handlas proces met continue gelijkstroom en is onder de hand (positie 1 G) gelast. De lasnaadvorm bestaat uit een tulpnaad, zonder vooropening. De heat-input lag voor de verschillende materialen tussen de 7 en 9 kJ/cm.

De lasverbindingen zijn uitgevoerd met zogenaamd "aangepast" lastoevoegmateriaal, met uitzondering van UNS S31254 dat, zoals gebruikelijk, met Alloy 625 is gelast.

Bij het lassen is gebruik gemaakt van verschillende backinggassen, t.w.:

- Ar + 2 ppm O₂
- Ar + 10 ppm O₂
- Ar + 50 ppm O₂
- Ar + 5% H₂ + 10 ppm O₂
- N₂ + 5% H₂ + 10 ppm O₂

Om een reproduceerbare en representatieve verkleuring/oxidatie te verkrijgen is vooraf veel aandacht besteed aan de methode voor het meten van het zuurstofgehalte in de backingkamer en aan het realiseren van een goed functionerende backingkamer/procedure.

Voor het bereiken van een laag zuurstofgehalte (5 - 25 ppm) bleek het wenselijk om de backingkamer af te sluiten met aangelaste roestvast stalen deksels (2 mm plaat) aan weerszijden van de pijpstukken, zie Fig. 1. De zuurstofmeting vond continue plaats, in de uitlaat van de backingkamer.

Het lassen werd gestart als na het voorspoelen (minstens 10x volume met 5 l/min) het zuurstofgehalte onder een bepaald niveau was gedaald. Deze zogenaamde "startwaarden" zijn vermeld in Tabel 2. Omdat het niet mogelijk was het zuurstofgehalte te meten in de waterstofhoudende gassen, is bij het voorspoelen met deze gassen een bepaalde spoeltijd (minimaal 15 min.) in acht genomen. Het spoelen is voortgezet totdat na de sluitlaag de temperatuur gedaald was onder 100 °C.

Voor wat de lasverbindingen van het plaatmateriaal betreft, zijn verschillende lasprocédés en backingsystemen toegepast, zie tabel 3. Het 316L werd met "aangepast" lastoevoegmateriaal gelast, terwijl de 316LN en het 1.4462 voor beide lasprocédés met zowel "aangepast" als "overgelegeerd" toevoegmateriaal werden gelast.

3.2 Beitsen en passiveren

In het NIL-onderzoek zijn alle beitsbehandelingen uitgevoerd in een bad van 22 w/o HNO₃ met 5 w/o HF (commercieel produkt) en wel bij verschillende tijden en temperaturen (5 °C, 20 °C en 50 °C).

Voor de verschillende materialen liggen de toegepaste beits tijden (voor 20 °C) in een bepaalde range, bijvoorbeeld:

- 316 L : 1-4 uur
- 1.4539 : 2-24 uur
- 1.4462 : 6-48 uur

Aan het einde van de beitspositie is de oxidehuid verwijderd onder een harde straal kraanwater, waarna eventueel achtergebleven oxide met een zachte borstel is weggehaald. Na ± 10 min. spoelen met kraanwater zijn de proefstukken nagespoeld met gedemineraliseerd water (< 18 ppm chloride). Na de beitsbehandeling zijn de proefstukken of chemisch gepassiveerd of te drogen weggelegd voor een natuurlijk passiveren.

Voor het chemisch passiveren zijn 2 media gebruikt:

- 19 w/o salpeterzuur (HNO₃)
- 2 w/o waterstofperoxide (H₂O₂) met 0,2 w/o citroenzuur.

De proefstukken zijn gedurende 1 uur bij kamertemperatuur gepassiveerd en direct daarna afgespoeld met kraan- en gedemineraliseerd water.

In het BIL-onderzoek is het beitsen uitgevoerd met zowel een sproeibeits als een pastabeits; beide waren industriële produkten op basis van HNO₃ en HF. Alle beitsprocedures werden bij kamertemperatuur uitgevoerd gedurende 2 uur met verversing na 1 uur. Na het beitsen is grondig gespoeld met demi-water en aansluitend gepassiveerd met een industrieel produkt op basis van HNO₃, gedurende 1 uur. Na passivatie werd opnieuw gespoeld met demi-water.

3.3 Glasparelen

Het glasparelstralen werd uitgevoerd door middel van een apparaat waarbij de gebroken parels worden afgescheiden door middel van een cycloon en de losgekomen ijzerdeeltjes magnetisch worden verwijderd. De straaldruk bedroeg 2,5 bar, de parels hadden een kaliber 75/150 μm , de invalshoek was 90°C, de afstand straalpijp/werkstuk bedroeg 225 mm en de straalpijp had een diameter van 6,35 mm.

De stukken werden gestraald over een breedte van 60 mm met de las in het midden van de gestraalde zone.

3.4 Schuren

De stukken werden geschuurd over een breedte van 40 mm met de las in het midden van de geschuurde zone. Het schuren zelf werd uitgevoerd door middel van schuurband met slijpmiddel SiC grit 220.

3.5 Corrosie-onderzoek d.m.v. de MCA-test

Verreweg het grootste deel van het corrosie-onderzoek is uitgevoerd met de MCA-test (Multiple Crevice Assembly). In deze test wordt het materiaal op de gevoeligheid voor spleetcorrosie getest d.m.v. langdurige expositie (4-6 weken) na het aanbrengen van een meervoudige spleetconfiguratie m.b.v. een teflon drukstuk, zie Fig. 2.

Een belangrijk voordeel van deze testmethode is dat het testmilieu identiek is aan het bedrijfsmilieu. In het onderzoek zijn 2 verschillende milieu's toegepast, t.w. zeewater en een kunstmatig milieu van demi-water met 2000 ppm chloride en een pH-waarde van 3. De expositieduur bedroeg voor het zeewatermilieu 30 dagen (720 uur) en voor het chloridehoudend zuur water (1000 uur); de expositietemperatuur was voor beide milieu's 25°C.

Alle te beproeven condities zijn in viervoud getest. De proefstukken (300x 50mm) zijn uit de gelaste pijpstukken gezaagd (droog) waarna de drukstukken symmetrisch over de lasverbinding gemonteerd zijn.

Voor de beoordeling van de bestandheid tegen locale corrosie is het aantal aantastingen (aangetaste locaties onder het drukstuk, waarneembaar met een binoculair) als een eerste criterium beschouwd. Daarnaast is de aantastingsdiepte op ieder aangetaste locatie gemeten, òf met een stereomicroscoop (+ meetklok), òf met een profielmeter. Bij de testen in zeewater bleek het ook mogelijk om corrosieproducten rond het drukstuk waar te nemen zodat het moment waarop de eerste corrosieproducten waarneembaar zijn bepaald kan worden; dit geeft een maat voor de initiatietijd. In het chloridehoudend zuur water waren deze corrosieproducten niet waarneembaar. Tenslotte is het verloop van de rustpotentialiaal als functie van de tijd gemeten.

4 Resultaten

4.1 De verkleuringen

Tijdens het lassen ontstaan aan de grondnaadzijde verkleuringen (aanloopkleuren) t.g.v. oxidatie.

Enkele representatieve opnames van de verkleuringen aan grondnaadzijde na het volledig vullen van de las (pijpwanddikte: 7,1 mm), zijn weergegeven in Fig. 3.

Op basis van de waargenomen verkleuringen zijn de volgende conclusies geformuleerd:

- Er is een dominante invloed van het zuurstofgehalte op de verkleuring.
- De mate van verkleuring is niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid aanwezige zuurstof, maar hangt ook duidelijk af van het aantal gelegde lasrupsen, ofwel de pijp/plaatdikte.
- Er is slechts weinig verschil tussen de verkleuringen afhankelijk van het materiaaltipe. Wel blijkt dat het duplex materiaal in het algemeen iets minder verkleurt.
- Het reducerende effect van 5% waterstof in het backinggas op de verkleuring is slechts gering.
- Er is geen verschil in verkleuring voor de 2 waterstofhoudende backinggassen. Het gebruik van stikstof in plaats van argon als dragergas heeft dus geen effect op de verkleuring.

4.2 Effect backinggas

De resultaten uit de MCA-test zijn voor het criterium "aantal aantastingen" weergegeven in Fig. 4 en 5, voor resp. chloridehoudend, zuur water en natuurlijk zeewater. Als referentie zijn ook de basismaterialen in leveringstoestand (zonder lasverbinding, wel met een uitgedraaid oppervlak met voorgeschreven ruwheid) beproefd.

De materialen met de laagste PRE-waarden tasten reeds als ongelast pijpmateriaal aan, zij het minimaal: voor het chloridehoudend zuur water is dit 304L en voor het natuurlijk zeewater blijkt dit voor 1.4439, 1.4539 en 1.4462. Zoals blijkt uit fig. 4 en 5, zijn alle geteste condities in gelaste toestand in meer of mindere mate aangetast, zelfs als de verkleuring vrijwel blank tot bruin is. In de betreffende milieu's leidt dus géén van de backinggassen tot een volledige bestandheid voor locale corrosie. De resultaten m.b.t. de invloed van een toenemend zuurstofgehalte zijn wisselend: voor de materialen met de laagste PRE's (304L, 316L en 1.4439) blijkt géén invloed aanwezig; voor 1.4539 is de invloed wel aanwezig in het chloridehoudend zuur water maar niet in zeewater, terwijl voor 1.4462 de invloed wel aanwezig is in beide milieu's. Daarnaast kan gesteld worden dat voor álle materialen en béide milieu's de bruine verkleuring tot een significante aantasting leidt.

Voor de beoordeling van het effect van waterstoftoevoeging (5%) in het backinggas zijn de resultaten van Ar + 5% H₂ + 10 ppm O₂ vergeleken met die

van Ar + 10 ppm O₂. De resultaten tonen over het algemeen een licht positieve trend; wel blijkt de verbetering in de meeste gevallen zéér gering. Voor het effect van stikstof als basisgas, (nl. 95%), is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van Ar + 5% H₂ + 10 ppm O₂ en N₂ + 5% H₂ + 10 ppm O₂. Ook hiervoor blijkt het effect zeer gering, terwijl in sommige gevallen een licht negatieve trend aanwezig lijkt; voor 1.4462 daarentegen lijkt deze positief.

Beoordeling van de verdeling van de aantasting over de lasverbinding leert dat in de meeste gevallen geen voorkeurslocatie is aan te wijzen. Bij de expositie in natuurlijk zeewater blijkt wèl dat voor UNS N08028 de aantasting afneemt met toenemende afstand (tot het hart van de grondnaad); het tegenovergestelde effect lijkt aanwezig voor UNS S31254. De geringere aantasting in het lasmetaal voor UNS S31254 kan verklaard worden door het gebruik van het overgelegeerde lastoevoegmateriaal (Alloy 625).

4.3 Effect van de nabehandeling

Na het lassen zijn diverse nabehandelingen uitgevoerd, t.w.:

- beitsen zonder passiveren;
- beitsen met passiveren;
- beitsen met diverse beits tijden en temperaturen;
- beitsen met pasta;
- passiveren met 2 verschillende media;
- glasparelstralen;
- schuren (grit 220).

Als eerste zal het effect van beitsen worden besproken.

Bij de MCA-testen in het chloridehoudend, zuur water heeft bij geen enkel gebeitst proefstuk (304L, 316L, 1.4439, 1.4539, 1.4462) enige vorm van aantasting plaatsgevonden.

Vergelijking van deze resultaten in gebeitste (zonder passiveren) toestand met die in gelaste toestand (fig. 4) toont dus voor alle proefstukken een significante verbetering door het beitsen.

In gelaste toestand (met Ar + 10 ppm O₂ en Ar + 50 ppm O₂) was immers sprake van 'duidelijk' tot 'veel' aantasting, terwijl geen aantasting meer is opgetreden na het beitsen. In gebeitste toestand tonen alle beproefde lasverbindingen dus volledige weerstand tegen locale corrosie in het betreffende milieu.

Bij de testen in het zeewatermilieu treedt wel enige aantasting op na beitsen (zonder en met passiveren). Toch blijkt voor alle beproefde materialen en condities dat het aantal aantastingen door de beitsbehandeling zeer sterk is afgenomen; ter illustratie zie Fig. 6. Het aantal aantastingen is daarmee hetzelfde of iets meer geworden dan voor het ongelaste referentiemateriaal. Ook de gemiddelde penetratiediepte is door het beitsen afgenomen (in de orde van 0,5 mm) tot het niveau van het referentiemateriaal. Samenvattend kan dus

gesproken worden van een ondubbelzinnige verbetering van de weerstand tegen locale corrosie door beitsen. Wel dient men te beseffen dat door het beitsen de lasverbinding niet beter is geworden dan het referentiemateriaal en dus blijken toch alleen de gebeitste lasverbindingen van UNS N08028 en UNS S31254 volledig bestand tegen locale corrosie in zeewater.

Alle beproefde beits tijden zijn geschikt gebleken; voor de beits temperatuur van 20°C zijn dit de volgende:

- 304L : 2 uur
- 316L : 1-4 uur
- 1.4439 : 4 uur
- 1.4462 : 6-48 uur
- 1.4539 : 2-24 uur
- UNS N08028 : 4 uur
- UNS S31254 : 2-4 uur
- UNS S32760 : 24 uur

Ook het beitsen bij 5°C blijkt bij de volgende beits tijden effectief: voor 316L en 1.4539: 6,5 uur; voor 1.4462: 48 uur.

Bovendien bleek het effect van beitsen onafhankelijk van de mate van verkleuring.

De uitvoering van een aanvullende passiverbehandeling blijkt i.h.a. geen verbeterend effect te hebben, noch met HNO₃ noch met H₂O₂; ter illustratie zie Fig. 6.

De resultaten voor een nabehandeling met pastabeits zijn identiek aan die voor sproeibeits; beide leiden tot een corrosiebestendigheid vergelijkbaar met die van basismateriaal, zie Fig. 7.

Glasparelstralen heeft, niettegenstaande het feit dat een blank metaaloppervlak wordt verkregen, slechts in geringe mate een verbetering in corrosiebestendigheid tot gevolg, zie Fig. 7.

Schuren op SiC, grit 220, levert geen of slechts minimale verbetering ten opzichte van de gelaste toestand, zie Fig. 7.

4.4 Effect overgelegeerd lastoevoegmateriaal

Omdat het teflon drukstuk (MCA-test) zich zowel op het lasmetaal bevindt als op de zone ernaast, kan vastgesteld worden welke zone preferent aantast.

Het algemene beeld is dat de aantasting zich vrij gelijkmatig verdeeld en dat er geen sprake is van een voorkeurslocatie. Deze bevinding geeft aan dat geen verbetering van corrosiebestendigheid op zal treden als het lastoevoegmateriaal van een hoger gelegeerd type is. Ter bevestiging hiervan is voor het materiaal 1.4439 een lasverbinding vervaardigd met overgelegeerd lastoevoegmateriaal. De PRE hiervan bedroeg 41,9 t.o.v. 33,4 voor het basismateriaal (en 35,0 voor

het aangepaste lastoevoegmateriaal) t.g.v. een hoger Cr, Ni- en Mo-gehalte. MCA testen tonen aan dat de mate van aantasting niet verschilt voor beide typen lastoevoegmateriaal, noch in gelaste toestand noch in gebeitste toestand. Aanvullende resultaten zijn verkregen voor 316 LN en 1.4462 14 mm plaat, beide gelast met het SMAW en het SAW proces. Toepassing van overgelegeerd lastoevoegmateriaal bleek voor beide materialen géén of minimaal effect te hebben op het totaal aantal aantastingsplaatsen, zie Fig. 8.

4.5 Effect lasproces

De verschillen in aantasting tussen het SAW- en het SMAW-proces zijn gering: voor het 316 LN-plaatmateriaal leidt het SAW-proces tot een geringere aantasting dan het SMAW proces, terwijl voor 1.4462 plaatmateriaal geen onderscheid aanwezig is. Voor beide lasprocessen leidt de oxidatie (verkleuring) tot een significante reductie in de corrosiebestendigheid.

5 Conclusies

Het onderzoek heeft geleid tot de volgende conclusies:

1. De aanwezigheid van thermische oxiden (verkleuring) bij een lasverbinding resulteert in een relevante achteruitgang van de weerstand tegen lokale corrosie.
In beide testmilieu's (natuurlijk zeewater en water met 2000 ppm chloride en pH = 3) trad bij alle geteste materialen aantasting op (weinig tot veel), zelfs indien de verkleuring minimaal (vrijwel blank) was. Voor deze milieu's is dus geen enkele mate van verkleuring toelaatbaar. Ditzelfde bleek ook voor 316L in het mildere milieu van water met 500 ppm chloride en pH = 7.
2. Er zijn diverse aanwijzingen dat voor voldoende milde milieu's wel een toelaatbare verkleuring gedefinieerd kan worden. In het onderzoek is dit echter niet aangetoond.
3. In het algemeen kan er echter niet van worden uitgegaan dat een bepaalde, toelaatbare verkleuring gedefinieerd kan worden.
4. De mate van verkleuring wordt bepaald door de cumulatieve hoeveelheid zuurstof die tijdens het lassen wordt verbruikt. Een bepaald toelaatbaar zuurstofgehalte moet daarom gerelateerd worden aan de wanddikte en/of het volume van de backingkamer. Op dit moment is over toelaatbare zuurstofgehalten echter geen betrouwbare informatie beschikbaar.
5. De mate van verkleuring wordt slechts weinig beïnvloed door het type materiaal.

6. Voor het verkrijgen van een minimale verkleuring blijkt het van belang om de backing voort te zetten tot ná het leggen van de sluitlaag (bij een wanddikte van 7,1 mm).
7. In de praktijk moet bij het lassen van 7 mm wanddikte met een normale backingprocedure rekening worden gehouden met een (lokaal) blauwe verkleuring; alleen indien speciale maatregelen worden getroffen zal een (vrijwel) blanke lasverbinding te realiseren zijn.
8. Het gebruik van stikstof (in plaats van argon) als backinggas leidt niet tot een andere verkleuring of corrosieweerstand. Er is overigens ook geen gevaar voor stikstof opname of precipitatie.
9. Het gebruik van waterstofhoudend (5%) backinggas heeft slechts een minimale invloed (verbetering) op de verkleuring en/of corrosieweerstand.
10. Er blijkt geen eenduidig beeld te bestaan (noch uit dit onderzoek, noch uit internationale publicaties) over de beschermende werking van oxidehuiden. Er zijn zowel aanwijzingen dat de oxidedikte bepalend is als dat de chemische samenstelling van de oxidehuid de dominante factor is.
11. Het lasmetaal wordt in het algemeen niet preferent aangetast zodat het gebruik van een (extra) overgelegeerd lastoevoegmateriaal geen verbetering in de weerstand tegen lokale corrosie biedt. Toepassing van een (extra) overgelegeerd lastoevoegmateriaal is dus niet zinvol.
12. Beitsen (in een bad met 22 w/o HNO₃ en 5 w/o HF) zonder passiveren geeft een sterke verbetering van de (verminderde) corrosiebestendigheid na het lassen. In praktische termen is de corrosiebestendigheid na beitsen vrijwel gelijk aan die van het ongelaste basismateriaal. Het resultaat met beitspasta is identiek aan dat van een sproeibeits.
13. De volgende beits tijden zijn geschikt gebleken bij 20°C:
 - 304L : 2 uur
 - 316L : 1-4 uur
 - 1.4439 : 4 uur
 - 1.4462 : 6-48 uur
 - 1.4539 : 2-24 uur
 - UNS N08028 : 4 uur
 - UNS S31254 : 2-4 uur
 - UNS S32760 : 24 uurOok het beitsen bij 5°C blijkt bij de volgende beits tijden effectief: voor 316L en 1.4539: 6,5 uur; voor 1.4462: 48 uur. Bovendien bleek het effect van beitsen onafhankelijk van de mate van verkleuring.

14. Bovengenoemde beitsijden en temperaturen demonstreren dat:
 - het gevaar van overbeitsen t.g.v. te lange beitsijden niet groot is,
 - ook 1.4462 binnen redelijke tijd (6 - 48 uur) goed beitsbaar is,
 - beitsen onder koude omstandigheden (5°C, winter) niet tot problemen hoeft te leiden.

15. Chemisch passiveren na beitsen geeft geen (verdere) verbetering van de corrosieweerstand, noch met HNO₃ (19 w/o) noch met H₂Q (2 w/o plus 0,2 w/o citroenzuur).

16. Een mechanische nabehandeling door middel van glasparelen, abrasief stralen (met Korund) of schuren (tot P320) is minder effectief dan beitsen. Voor een bepaalde materiaal-milieu combinatie is het risico dan ook aanwezig dat het herstel van de corrosieweerstand onvoldoende is.

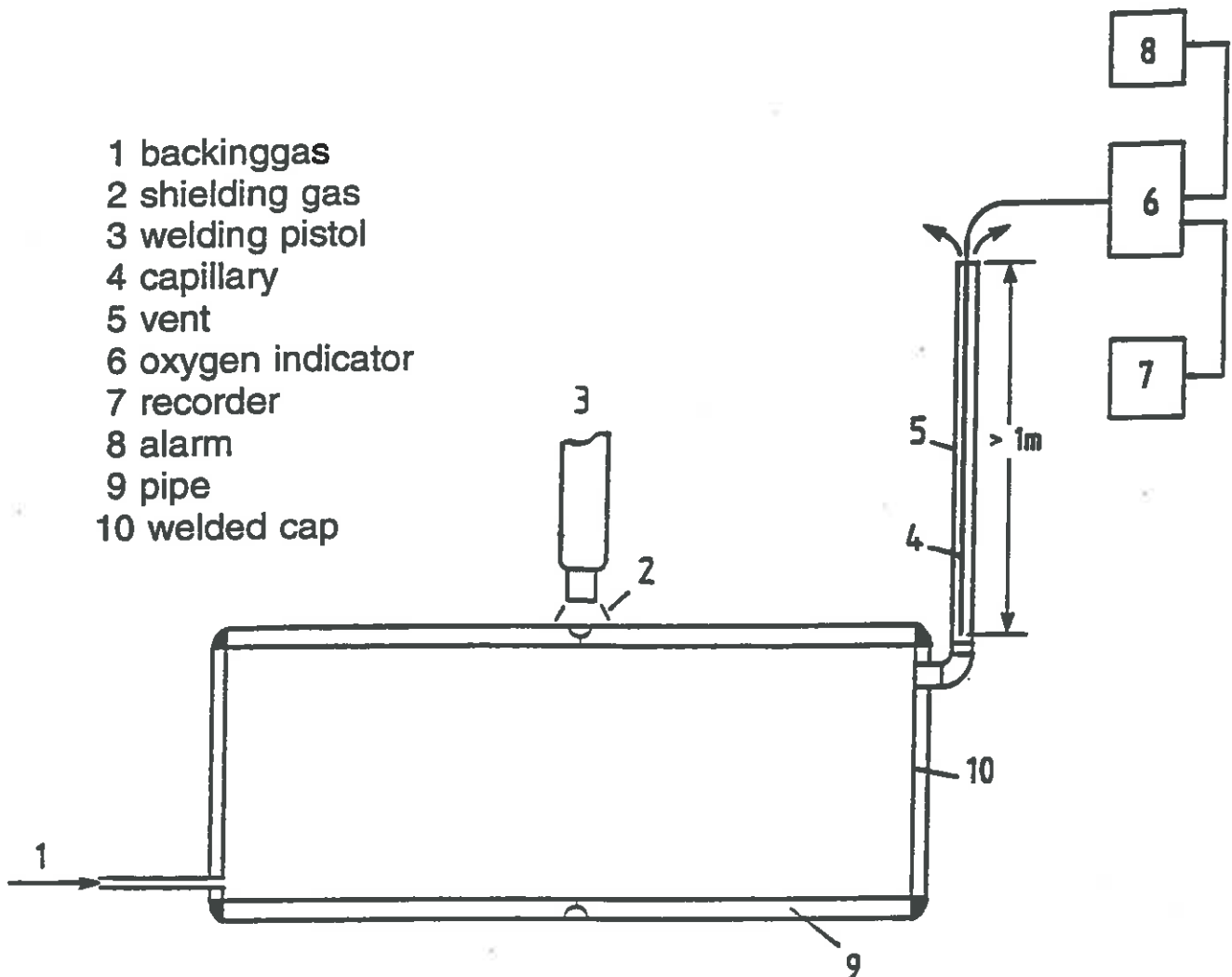
Onderzochte materialen

Materiaal	PRE _N	Produktvorm	Project
304L	18	pijp 168 x 7 mm	NIL
316L	24	pijp 168 x 7 mm	NIL
316L	25	plaat, 4 mm	BIL
316L	24	plaat, 7 mm	BIL
316LN	30	plaat, 14 mm	BIL
1.4439	33	pijp 168 x 7 mm	NIL
1.4462	33	plaat, 14 mm	BIL
1.4462	35	pijp 168 x 7 mm	NIL
1.4539	36	pijp 168 x 7 mm	NIL
UNS N08028	38	pijp 114 x 6 mm	NIL
UNS S32760	41	pijp 168 x 7 mm	NIL
UNS S32760	42	pijp 168 x 7 mm	BIL
UNS S31254	43	pijp 168 x 7 mm	NIL

N.b.: $PRE_N = Cr + 3,3 Mo + 16 N$

Tabel 1 - Beproeefde staalsoorten

Invloed backinggas



Figuur 1 - Schematische weergave van de backing- en lasopstelling

backinggass	startwaarde
Ar + 2 ppm O ₂	< 5 ppm O ₂
Ar + 10 ppm O ₂	< 15 ppm O ₂
Ar + 50 ppm O ₂	< 60 ppm O ₂
Ar + 5% H ₂ + 10 ppm O ₂	minimaal 15 minuten
N ₂ + 5% H ₂ + 10 ppm O ₂	minimaal 15 minuten

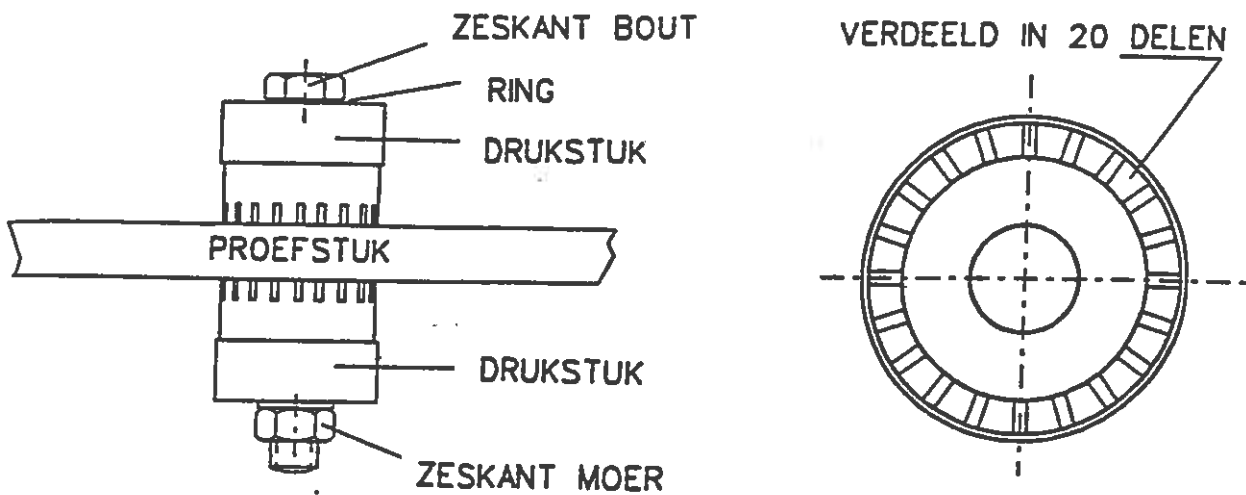
Tabel 2 - De startwaarden voor de verschillende backinggassen

MATERIAL	FORM	WELDING PROCESS	BACKING PROCESS
316 L	Plate - 4 mm	PLASMA	Backing chamber
		PLASMA + TIG	Clamped plate
	Plate - 7 mm	PLASMA + TIG	Backing chamber
			Clamped plate
316 LN	Plate - 14 mm	SAW	No
		SMAW	
1.4462	Plate - 14 mm	SAW	No
		SMAW	
ZERON 100	Pipe - 7,1 mm	TIG	Backing cylinder
		TIG + SMAW	Backing cylinder
			Cap on tupe - end
		MIG	Backing cylinder
			Cap on tube - end

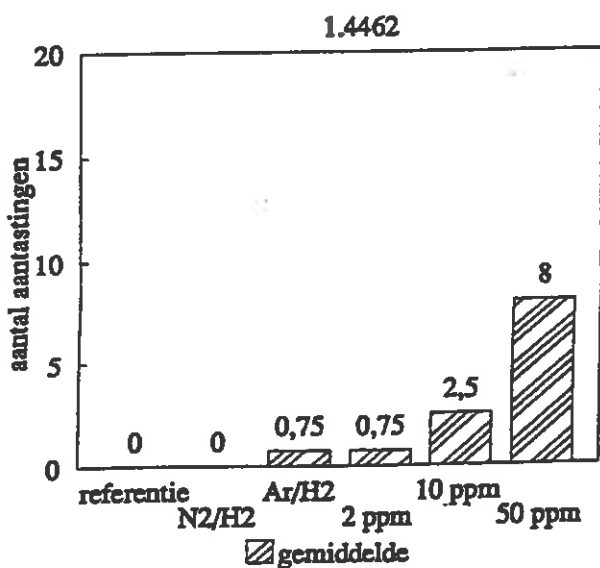
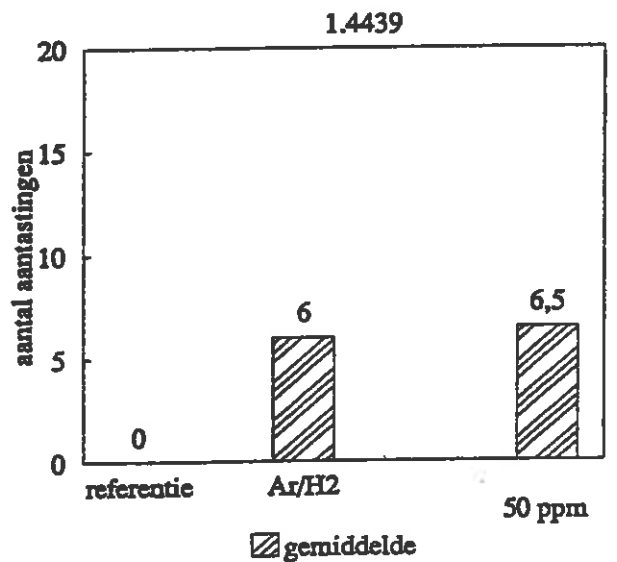
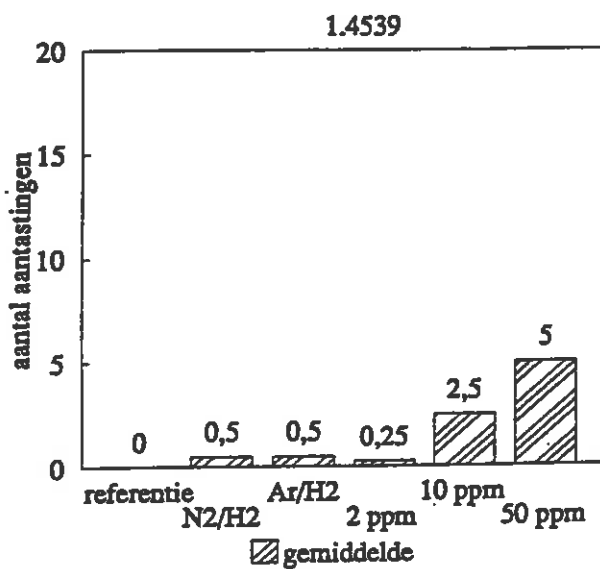
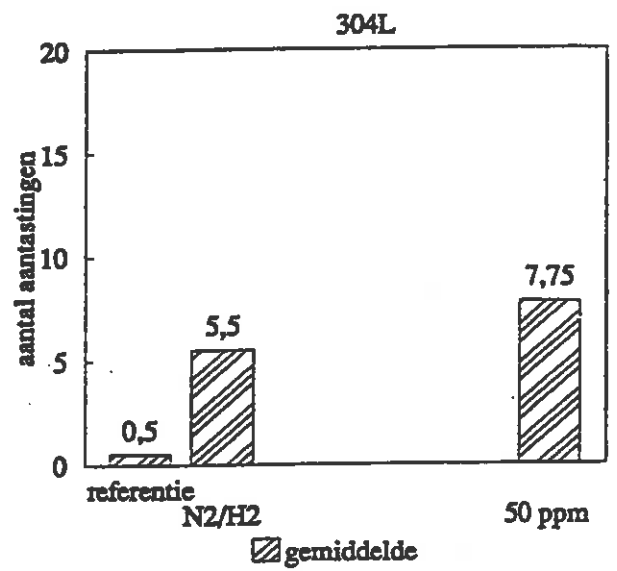
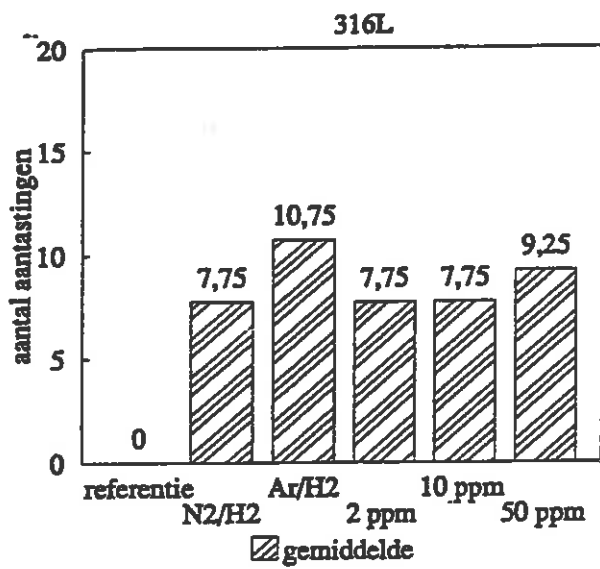
Tabel 3 - Overzicht van lasprocessen en backingprocedures voor plaatmateriaal

Corrosie-onderzoek

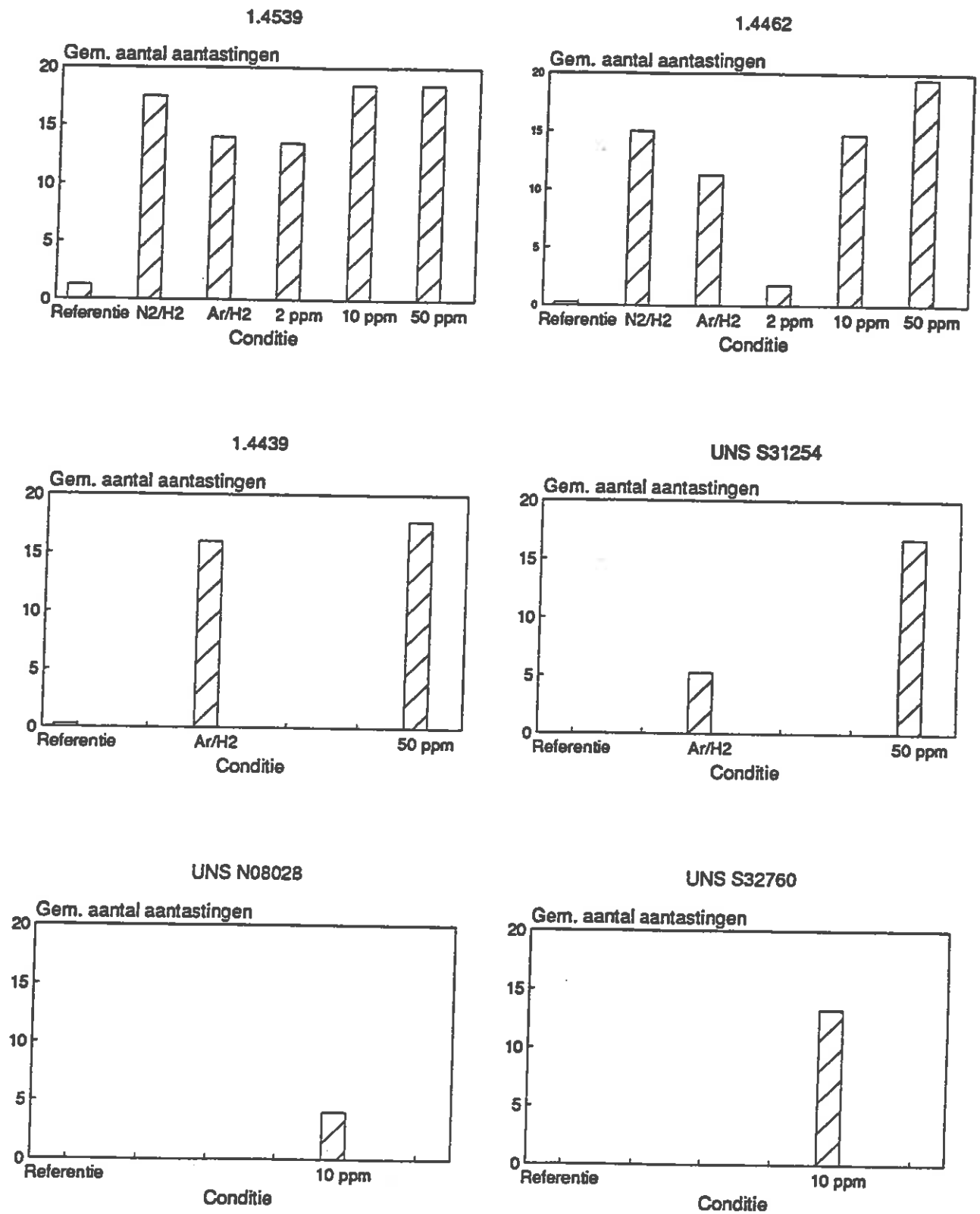
Multiple Crevice Assembly: MCA-test



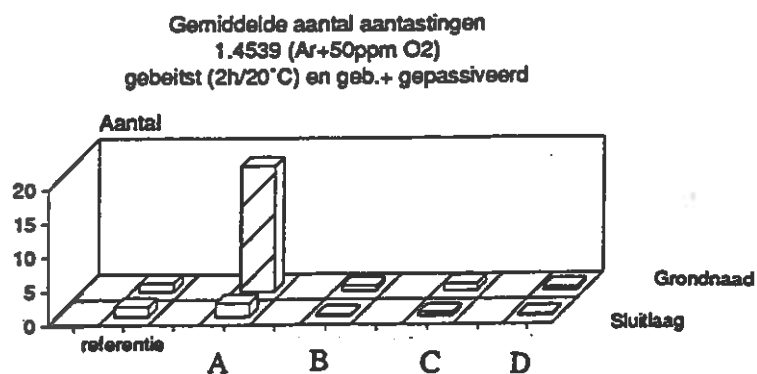
Figuur 2. Meervoudige spleetconfiguratie met een getand teflon drukstuk



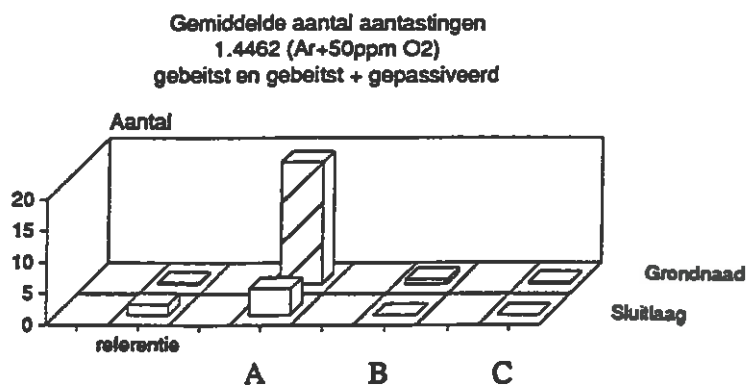
Figuur 4. Gemiddeld aantal aantastingen (aan grondnaadzijde) voor verschillende backinggassen bij MCA-test in chloridehoudend zuur water (2000 ppm Cl⁻; pH = 3)



Figuur 5 Gemiddeld aantal aantastingen (aan grondnaadzijde) voor verschillende backinggassen bij MCA-test in natuurlijk zeewater

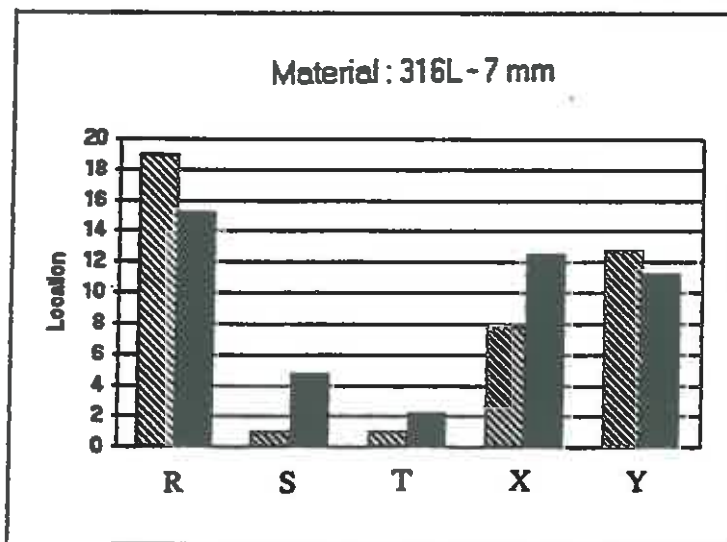
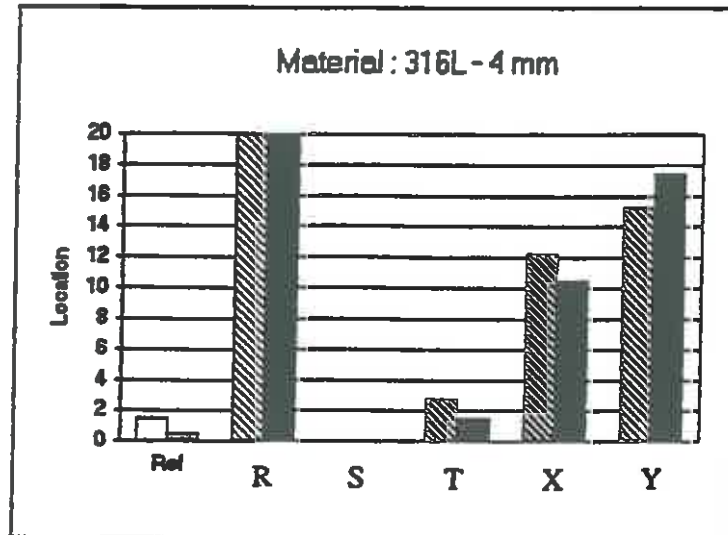


- A: gelast
- B: gebeitst (2h/20°C)
- C: gebeitst + gepassiveerd met HNO₃
- D: gebeitst + gepassiveerd met H₂O₂



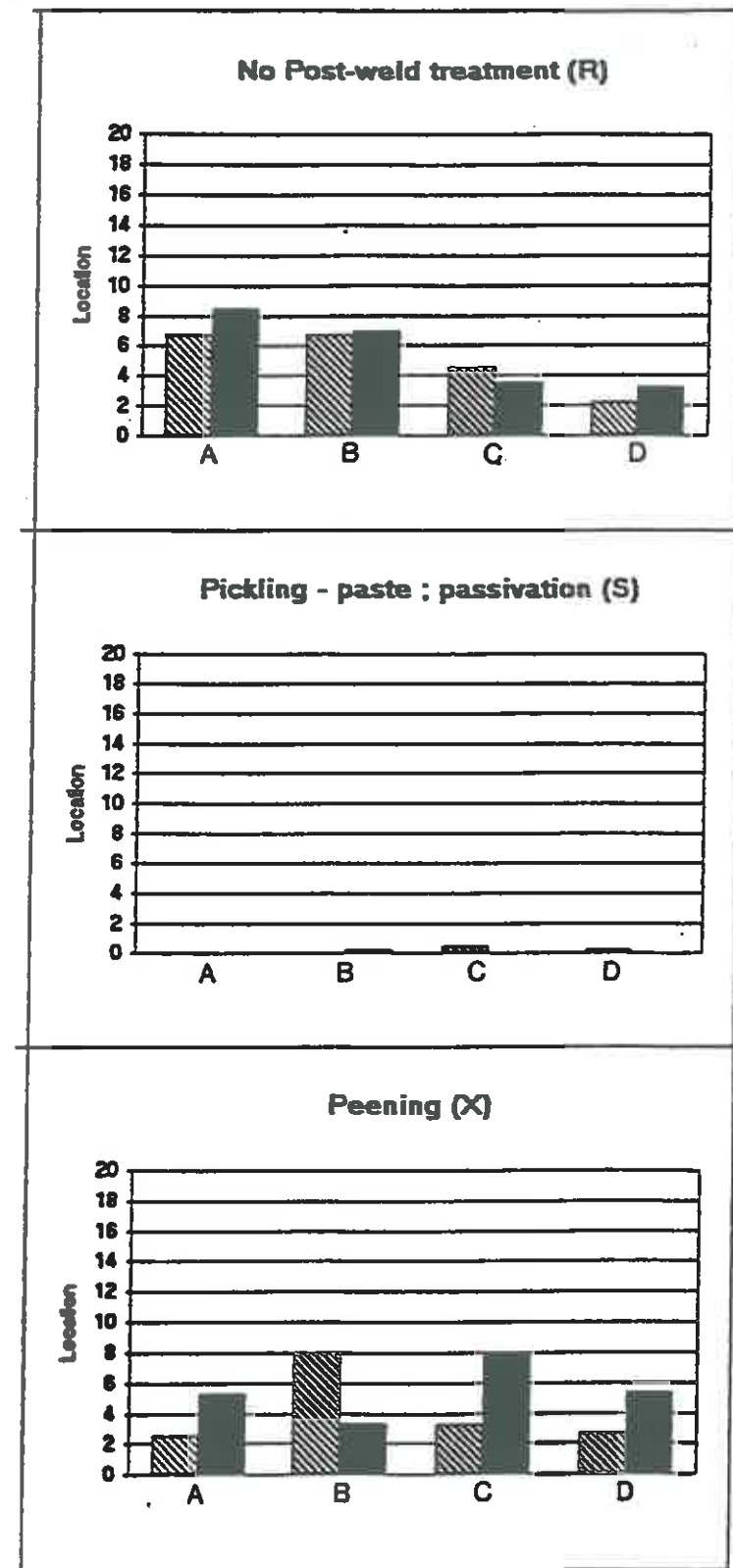
- A: gelast
- B: gebeitst (6h/20°C)
- C: gebeitst + gepassiveerd met H₂O₂

Figuur 6. Het gemiddelde aantal aantastingen per beits- (en passiver-) behandeling bij MCA-testen in natuurlijk zeewater



- R : as-welded
- S : pastabeits
- T : sproeibeits
- X : glasporelstralen
- Y : schuren (grit 220).

Figuur 7. Gemiddeld aantal aantastingen (MCA-test in water met 2000 ppm Cl⁻ en pH = 3) voor 316L na lassen met backinggas Ar + 50 ppm O₂



- A : SMAW matching
- B : SMAW overmatching
- C : SAW matching
- D : SAW overmatching

Figuur 8. Gemiddeld aantal aantastingen (MCA-test in water met 2000 ppm Cl⁻ en pH = 3) voor 316 LN

