

Falen of presteren van gelaste constructies, breukmechanismen en breukvlakkenmerken

Erik W. Schuring-IWE, secretaris Contactgroep Fractografie

Op 26 april 2017 hield de contactgroep Fractografie van de Vereniging Metalen (VeMet), aangesloten bij de Bond voor Materialenkennis (BvM), haar 96^e bijeenkomst. Plaats delict was dit keer het BIL, locatie Zwijnaarde België.

De contactgroep Fractografie organiseert twee keer per jaar een bijeenkomst waarin schadeonderzoekers en andere geïnteresseerden luisteren naar voordrachten en met elkaar discussiëren over faalgedrag van installaties en constructie in de breedste zin van het woord. Het kan gaan over elke vorm waarbij een installatie niet meer voldoet aan de gestelde functie. Veel gevallen worden met een materiaalkundige insteek benaderd. Kennis van materiaalgedrag is namelijk cruciaal bij het interpreteren en voorkomen van het falen en optimaal laten functioneren van constructies. Schadeonderzoekers ervaren menigmaal dat schade voorkomen had kunnen worden als men in het ontwerpproces beter gekeken had naar de functionele eisen en de verwachtingen van de gebruiker. Dit vraagt vanaf dag één om een ketenaanpak, waarbij gebruiker (opdrachtgever), constructeur/engineer, ontwerper, leverancier/fabrikant betrokken zijn. Ervaringen van schadeonderzoekers kunnen helpen om te leren van fouten uit het verleden. De contactgroep Fractografie wil juist deze verschillende expertises bij elkaar brengen, een reden waarom de bijeenkomsten altijd bij een gastbedrijf plaatsvinden.

Fleur Maas, directeur van BIL, opende de bijeenkomst van 26 april met een welkomstwoord en een presentatie over de doelstellingen van het BIL en haar geschiedenis. Het BIL is opgericht in 1942, midden in de WOII, en bestaat dit jaar dus 75 jaar. Dit wordt gevierd op het komende BIL/NIL lassymposium op 29-30 november 2017 in Berchem. En mevr. Maas deed een oproep aan de deelnemers om presentaties in te sturen over schadegevallen, dit is één van thema's van het lassymposium.

Één van de redenen voor de oprichting van BIL was een groot ongeval aan een gelaste spoorbrug. Deze spoorbrug was vlak voor de oorlog in gebruik genomen. Een andere reden voor de oprichting van het BIL was de toename van gelaste constructies als vervanging van geboute en geklonken constructies. Het lassen nam in die tijd een grote vlucht en er ontstond behoefte aan het begrijpen van hoe gelaste constructies zich gedragen. Ook na de oorlog. Bij de totstandkoming van het BIL was nagenoeg heel lassend België betrokken. Mevr Maas verteld dat veel van deze bedrijven nog steeds betrokken zijn. Ook veel van de onderzoeksvragen zijn niet wezenlijk veranderd zijn. Het BIL voert daarom in eigenhuis veel lasonderzoek en lasontwikkeling uit. Dit werd gedemonstreerd tijdens de rondleiding, waarover later wat meer.

Na deze introductie werd het gedrag van gelaste constructie besproken in vier presentaties.

Dhr Jasper Brinksma van Element ging in zijn presentatie in op het (faal)gedrag van lassen in kunststoffen. Verschillende breukvlakken en breukmechanismen passeerden de revue. Van scheuren gerelateerd aan chemische aantasting, tot vermoeiingsscheuren en overbelasting. Van de groepen kunststoffen, thermoplasten, thermoharders en elastomeren, zijn de thermoplasten goed te lassen en de presentatie richtte zich daar op. Bij alle lasprocessen speelt een combinatie van temperatuur en druk een rol, zoals bijvoorbeeld bij heetgas- of draadlassen, spiegel- of stuiklassen.

Ook lasimperfecties kwamen aanbod. Voor kunststoffen staan deze beschreven in onder andere DVS 2202-1, analoog aan de lasonvolkomenheden in metalen. Hoewel er ook bij het lassen van kunststoffen gewerkt wordt met lasprocedures (LMK's en WPS-en) en lascertificering (LK's), zijn er geen Europese standaarden. De Duitse richtlijnen van DVS worden vaak als leidraad gebruikt. Maar ook BRL's, vaak bedrijf-gerelateerd, worden toegepast.

Veel schadeonderzoek wordt uitgevoerd met vergelijkbare onderzoekstechnieken als voor metalen. Ook kunststoffen kennen bros en taai breukgedrag, spanningscorrosie en vermoeiing. Maar bij de interpretatie van defecten is wel specifieke kennis van kunststoffen nodig. Een microstructuur onderzoek zoals bij metalen wordt weinig toegepast. Wel diverse andere analyse methoden zoals SEM (Scanning Electronen Microscopie) met EDS (Energie Dispersieve Spectraal) element analyse, DSC (Differential Scanning Calorimetrie) voor het bepalen van o.a het thermisch gedrag, FTIR (Fourier Transform Infrarood analyse) voor het bepalen van de moleculaire bindingen. Hiermee kan het type worden bepaald en mogelijk verouderingseffecten worden bekeken.



Figuur 1 Jasper Brinksmas, (Element)

Voor het bepalen van het faalmechanismen worden vaak vergelijkende mechanische testen gedaan aan referentiemateriaal. Vaak zijn de exacte samenstellingen van de kunststoffen niet bekend en dit vormt een complicerende factor bij de interpretatie.

In de volgende presentatie van Eric van Pottelberg (OCAS) werd ingegaan op het vermoeiingsgedrag van hoge sterkte staal S690 in Slabtransportvoertuigen. Met deze voertuigen worden zware lasten, in dit geval tot 136 ton, verplaatst. De materiaaldikten lopen op tot 20-30 mm en er wordt gelast met MIG/MAG lasproces. De keuze voor hoog sterkte staal is ingegeven door de vraag naar een gewichtsbesparing gecombineerd met een hogere last. Hoog sterkte stalen hebben een hogere vermoeiingsweerstand. Echter als er aan gelast wordt is dit niet meer van toepassing. Een grote vijand van hoog sterkte stalen is waterstof, wat kan leiden tot koudscheuren, vandaar dat er gelast moet worden met laag waterstof houdende lasprocessen en lastoefoegmaterialen.

Het schadeprobleem bij de besproken gevallen betreft in alle gevallen vermoeiing. Het blijkt dat de slabtransportvoertuigen oorspronkelijk waren ontworpen om op redelijk vlak terrein te opereren. Echter in het besproken geval werden de voertuigen ingezet op een vrij oneffen terrein, werd er gereden met de maximale belasting en met relatief hoge snelheden. Dit vooral vanuit efficiëntie redenen. Men zou dus kunnen zeggen dat de voertuigen onder zwaardere condities werden ingezet dan waarvoor ze ontworpen waren.



Figuur 2 Vermoeiingscheuren in S690 van slabtransportvoertuigen (Eric van Pottelberg, OCAS)

De vermoeiingsscheuren traden op in de zwaarst belaste delen. Na het nodige onderzoek is men gekomen tot een reparatieprocedure. Daarbij is vastgesteld dat reparatie van de

vermoeiingscheuren, uitslijpen en lassen, niet voldoende is. De scheuren ontstaan vrijwel direct opnieuw. De oplossing ligt in het uitbranden en zuiver slijpen van een zo groot mogelijk stuk met de vermoeiingscheur inclusief materiaal met een vermoeiings-geschiedenis en het inlassen van een nieuwe plaat met grotere wanddikte te versteviging van de zwaar belaste delen. Daarbij moeten spanningsconcentraties worden vermeden. Daarom wordt gelast met bij voorkeur een licht under-matched lastoevoegmateriaal, LTM. Een deel van de krimpspanningen kan dan door het lasmetaal worden opgenomen. Normaal leidt de overdikte van de las tot voldoende sterkte. Als dit echter onvoldoende sterkte oplevert kan gelast worden met een matching lastoevoegmateriaal. Uiteraard moet het waterstofgehalte in de gaten gehouden worden, deze moet lager zijn dan 5ml/100g neergesmolten LTM. Maar dit is tegenwoordig geen echt probleem meer.

Een ander aspect dat bij dergelijke reparaties in de gaten gehouden moet worden is de Heat Input (HI). Deze mag niet te hoog zijn vanwege het risico op hoge residuele restspanningen en mogelijke structuurveranderingen door te veel krimp. Zwaaiend lassen is daarom bijvoorbeeld uit den boze. Als stijgend gelast moet worden is enig zwaaien niet te voorkomen, maar deze mag dan niet meer zijn dan 2x electrode diameter.

Effecten van spanningen op kerfwerking kunnen verminderd worden door het zuiverslijpen van de overgang tussen las en basismateriaal en shot peening (inbrengen van drukspanningen).

Naar aanleiding van de geconstateerde vermoeiingscheuren en het gebruik van de voertuigen heeft de leverancier de constructie aangepast zodat de lasverbindingen niet of zo min mogelijk op vermoeiing worden belast. Dit is een mooi voorbeeld van een samenwerking tussen een gebruiker, die bepaalde verwachtingen heeft, en de leverancier.

Jan Peter van Houten (Element) gaf in zijn presentatie een overzicht van verschillende breukmechanismen en de bijbehorende kenmerken. Het verschil tussen een taaie en brosse breuk is bijvoorbeeld de scheurgroei snelheid. Voor een taaie breuk ligt deze typisch onder de 6 m/s, terwijl deze voor een brosse breuk boven de 1000 m/s kan liggen. Een taaie breuk neemt daarbij veel energie op, dit wordt bijvoorbeeld gemeten in de bekende kerfslagproef.



Figuur 3 Jan Peter van Houten, Element

Scheuren en breuk kunnen optreden tijdens fabricage, maar ook tijdens gebruik. Kennis van de metaalkunde en de praktijk is nodig om schade te voorkomen. Vaak spelen lassen een rol in het falen, want lassen is een speciaal proces en lassen bepalen de samenhang van constructies. Het is daarbij niet alleen de kwaliteit van de las die een rol speelt, maar ook de positie van de las (spanningsconcentratie). Een voorbeeld van scheuren vanuit lasverbindingen is bijvoorbeeld een torsie vermoeiingsbreuk vanuit een reparatielas. Torsie-vermoeiingsbreuken zijn moeilijk herkenbaar, maar als je weet hoe er naar te kijken levert dit veel informatie op. Een andere besproken voorbeeld is een scheur vanuit een onderlegstrip die gebruikt is bij het aan elkaar lassen van twee buizen. De strip kon niet meer worden verwijderd, met als gevolg dat scheuren in de voet van de las niet meer met NDO technieken konden worden vastgesteld. Het advies was daarom rekening te houden bij de keuze van (niet meer te verwijderen) onderleg-strips als NDO onderzoek noodzakelijk is.

Dhr Andries Vandevyver (BIL) geeft een college over een schadeonderzoek aan een as die gebroken is onder wringing. Het vaststellen van de scheurinitiatie en de restbreuk bleek niet zo eenvoudig. Dit mede door het spanningsverloop onder een torsiebelasting. Hoe deze belastingen verlopen wordt mooi geïllustreerd aan de hand van het uitwringen van een handdoek. In eerste instantie werd in het voorgestelde schadegeval gedacht aan een initiatie vanuit een scherpe overgang. In dit geval vanuit een aanwezige spie-baan of een facet. Hoewel de spiebaan inderdaad een scherpe overgang had, was dit niet de initiatie. De belastingen op de as waren ook zeer laag, wat op zich de korte levensduur niet kon verklaren. Na een uitgebreid onderzoek werd vastgesteld dat de initiatie een gevolg moet zijn geweest van fretting corrosie als gevolg van een ongunstige, licht wrijvende perspassing onder hoge normaaldruk.

Rondleiding labo's BIL:

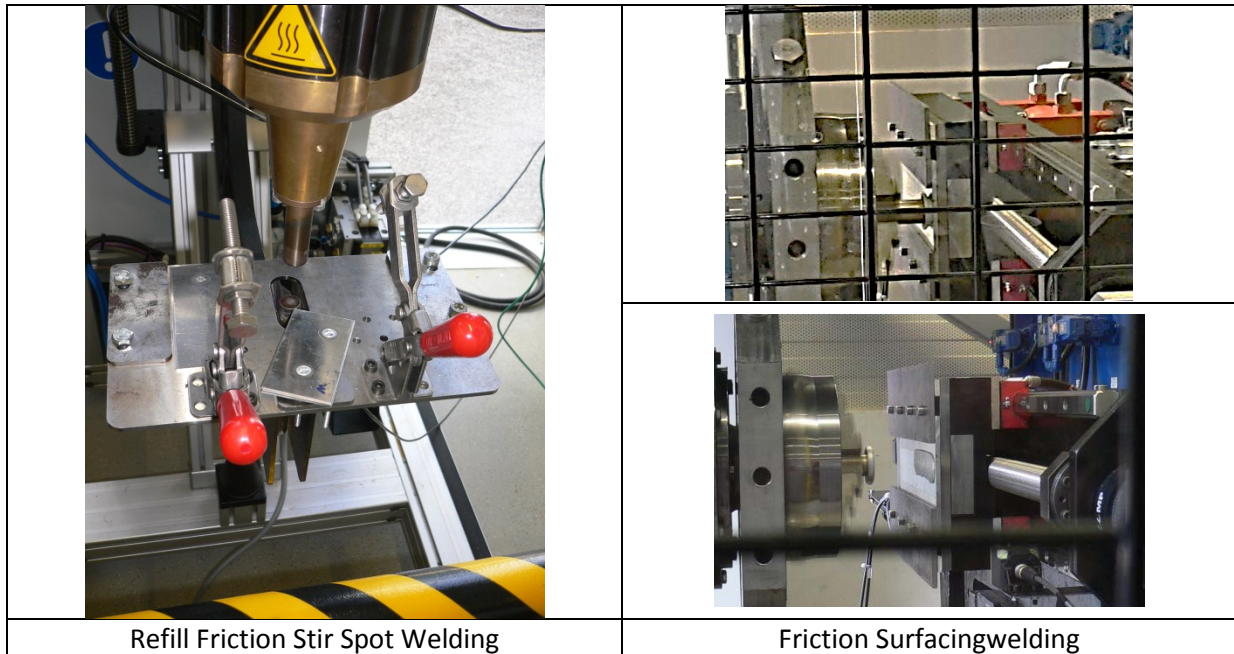
Een rondleiding door de Labo's van BIL maakte onderdeel uit van de bijeenkomst. Juist een rondgang langs de faciliteiten van het gastbedrijf maakt een bijeenkomst van de contactgroep Fractografie interessant en waardevol. Zowel voor het gastbedrijf als voor de deelnemers aan de bijeenkomst.

Het BIL deelt veel faciliteiten met de overige bedrijven op het terrein in Zwijnaarde, zoals bijvoorbeeld OCAS en Sirris. Dit maakt het efficiënt inzetten van dure onderzoeksfaciliteiten mogelijk. Er werd een bezoek gebracht aan de afdelingen metallografie, het corrosieonderzoek en de lasmethodeontwikkeling. Met name deze laatste bleek erg interessant. Momenteel doet het BIL onderzoek naar varianten van het inmiddels redelijk bekende FSW (Friction Stir Welding). Daarbij wordt onder hoge druk en een roterende beweging een verbinding tot stand gebracht door de te verbinden materialen in een deegachtige toestand te brengen en vervolgens met elkaar te vermengen. Voordelen zijn een lage warmte-inbreng, waardoor veel van de mechanische eigenschappen worden behouden en de mogelijkheid om moeilijk of niet te lassen materiaalcombinaties toch goed te verbinden, zoals bijvoorbeeld Aluminium aan koper en/of staal.

Twee van deze varianten die getoond werden waren Refill Friction Stir Spot Welding en Friction Surfacing Welding.

Bij Refill Friction Stif Spot Welding wordt een roterende pin in de te verbinden materialen gedrukt, de materialen worden vermengd en deels naar boven getrokken. Vervolgens wordt het materiaal weer terug gedruwd (Refill).

Bij Friction Surfacing werd, in de demo, een aluminium cladlaag op een stalen ondergrond aangebracht.



Het BIL zoekt nog naar commerciële toepassingen voor deze verbindingstechnieken. Wie belangstelling heeft kan contact opnemen met het BIL, Dr. Ir. Koen Faes, e-mail: Koen.Faes@bil-ibs.be.

Voor zover openbaar zijn deze presentaties beschikbaar op de website van de BvM (www.materialenkennis.nl) onder de tab 'Kennisplein'.