

Het behandelen van aluminium met schokgolven

Ing. N. W. Buijs

Ing. N. W. Buijs
is werkzaam bij Shockwave Metal-
working Technology B.V. te Schijf
(N-B)

In onderstaand artikel wordt ingegaan op het bewerken van aluminium m.b.v. schokgolven die ontstaan tijdens het exploderen van springstoffen. Door de explosie van springstoffen ontstaan zeer hoge energiedichtheden die m.b.v. speciale technieken aangewend kunnen worden om metalen te bewerken. Hierbij moet gedacht worden aan het vormen, het lassen en het bekleden van onderdelen.

Algemeen

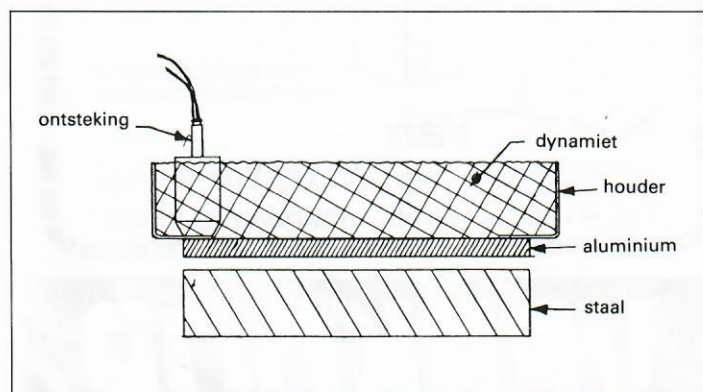
Indien men aan het gebruik van explosieven denkt, komt al gauw de gedachte op dat dit een destructieve uitwerking heeft zoals sloopwerkzaamheden, openspringen van vaargeulen enz. Weinigen staan er bij stil dat men dit middel ook op een constructieve wijze kan aanwenden zoals kort in de samenvatting is aangegeven. Vele onderzoekers hebben jaren lang geëxperimenteerd en zijn tot opmerkelijke resultaten gekomen. Ook in Nederland heeft men sedert enkele decennia baanbrekend werk verricht wat internationaal zijn weerklank heeft gekregen. Het is onze landgenoot de heer Zondag die zeer vele vindingen op zijn naam heeft staan die thans gecommmercialiseerd worden. Een heel belangrijk metaal wat daar een rol in speelt is aluminium. Aluminium is een metaal dat zich m.b.v. bepaalde voorzorgsmaatregelen goed laat lassen doch het is ook een metaal wat zich nauwelijks aan andere metalen laat lassen en daarom is schokgolfflassen een enorme verrijking voor het gebruik van aluminium omdat laatstgenoemde lastechniek de gebruiker wel in staat stelt om aluminium aan een willekeurig ander metaal te lassen.

Schokgolfflassen

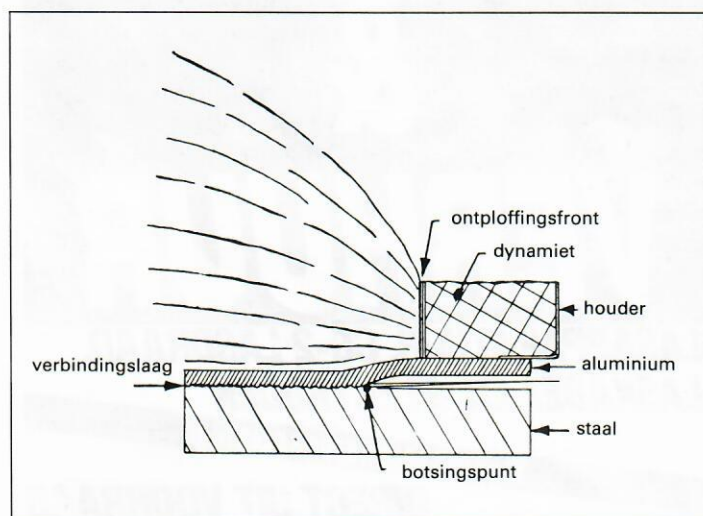
Definitie

Onder schokgolfflassen wordt verstaan het kouddruklassen van willekeurige metalen m.b.v. schokgolven die ontstaan tijdens de explosie van explosieven waardoor er atomaire bindingen ontstaan. Schematisch kan men zich dit procédé als volgt voorstellen. Het te verbinden metaal, ook wel flyer genoemd, wordt door de explosie in een enorme versnelling gebracht en botst op punt A tegen de onderplaat die ook wel als backing-plate wordt aangeduid. De druk die daarbij ontstaat is zo enorm hoog dat de metalen plaatselijk superplastisch worden hoewel de temperatuur nauwelijks toeneemt. Er zijn ook metingen verricht die er op duiden dat er enkele atoomlagen vloeibaar worden. Dank zij deze superplasticiteit kan de schokgolf die zich door het metaal heen verplaatst zich aftekenen in de metaalovergang wat ook veelal met het blote oog zichtbaar is. Door dit golfpatroon worden alle oxiden gebroken en weggedreven voor het detonatiefront uit in een zogenaamde jet (zie afbeelding 2).

Op aluminium is altijd een Al_2O_3 oxidehuid aanwezig. Dit oxide heeft vele voordelen omdat dit het materiaal beschermt tegen cor-

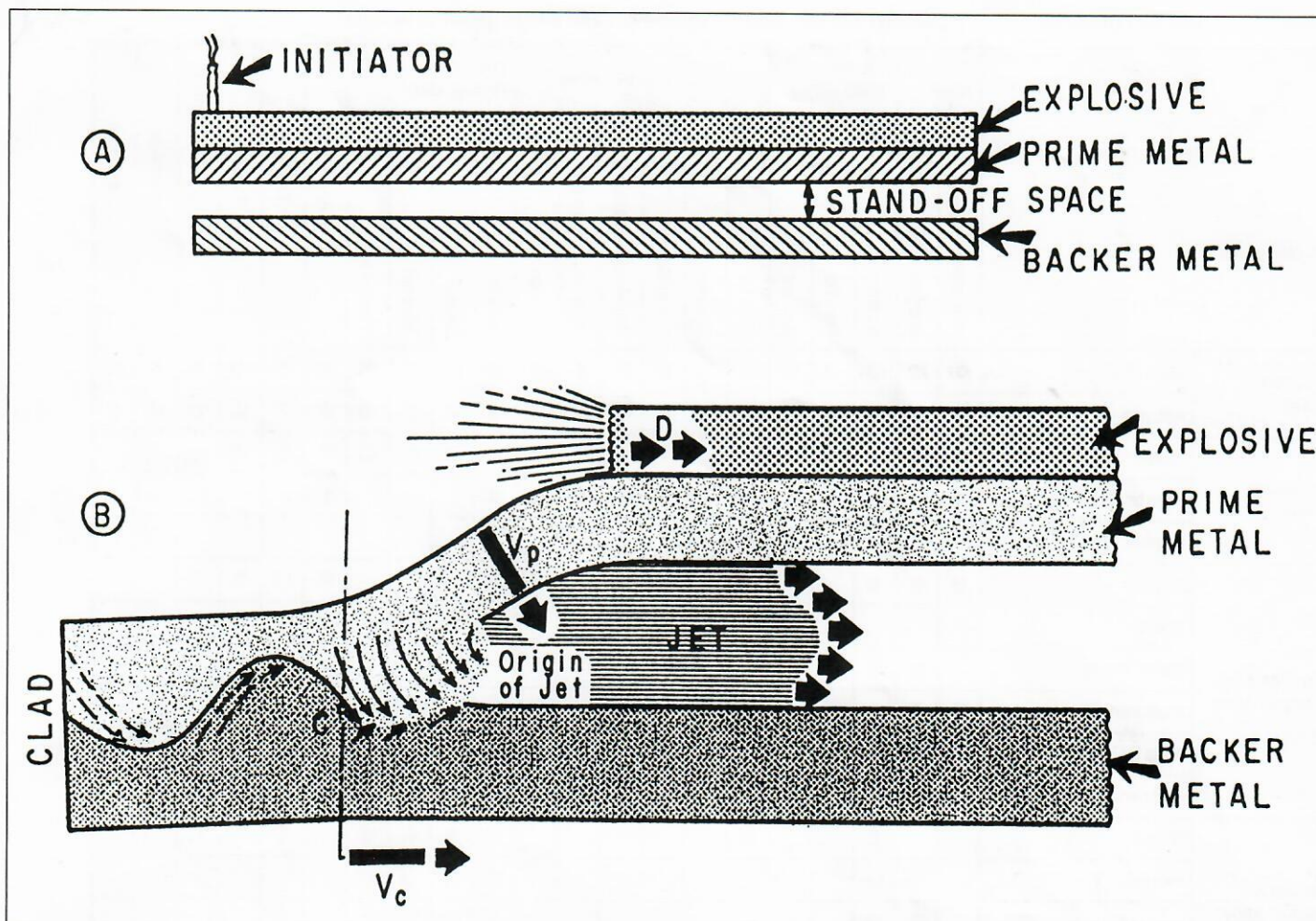


Afb. 1a. Situatie voor de explosie.



Afb. 1b. Een momentopname tijdens de ontploffing.

rosie. Dit komt omdat het volume van dit aluminiumoxide hetzelfde volume heeft als puur aluminium waardoor het a.h.w. als een perfecte jas past om het op zichzelf onedele aluminium. Dit bijvoorbeeld in tegenstelling met ijzer dat allerlei oxiden kent die altijd groter in volume zijn dan het zuivere ijzer met alle vervelende gevolgen van dien. Toch zijn er ook nadelen te noemen van dit alumi-



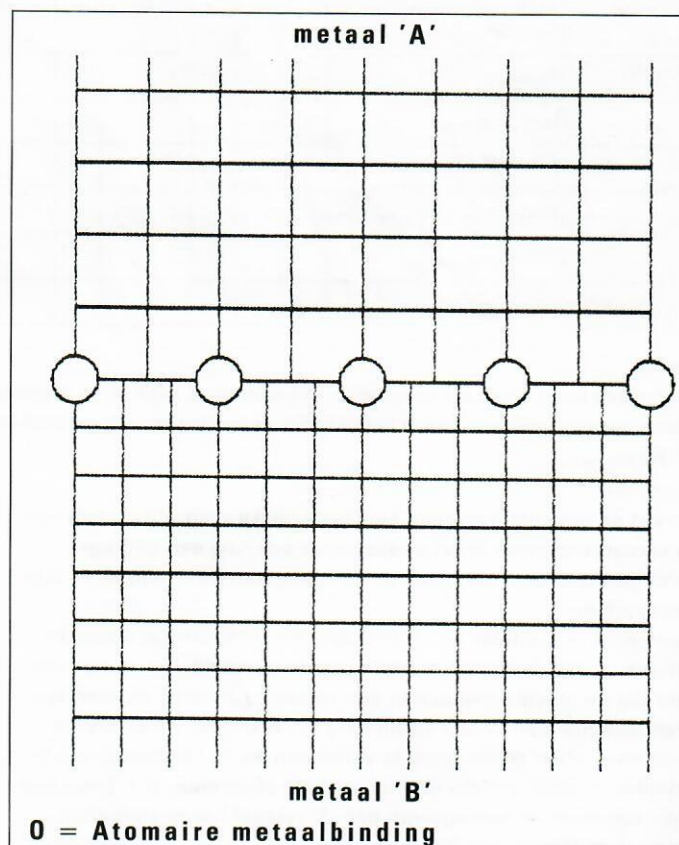
Afb. 2. De schokgolf die zich door het metaal verplaatst.

nium oxide zoals het zeer slecht geleiden van elektriciteit en warmte waardoor het o.m. ook moeilijk aan andere metalen te lassen is. Maar dank zij de schokgolflastechniek wordt deze oxidehuid dus gebroken en weggespoten in een materiestroom die ook wel jet wordt genoemd. Die materiestroom bestaat dus uit deeltjes aluminiumoxide, deeltjes aluminium, lucht (indien het atmosferisch gebeurt) en deeltjes metaal en oxiden van de backing plaat. Dank zij deze jetvorming ontstaat er een maagdelijk contact tussen de twee te lassen metalen wat overigens een vereiste is om de uiteindelijke verbinding te kunnen maken.

De resterende energie van de schokgolf zorgt ervoor dat de atoomroosters in elkaars atomaire beïnvloedingssfeer komen waardoor er een uitwisseling gaat ontstaan van de valentie-elektronen van de te lassen metalen. Zo ontstaat er per definitie een metaalbinding. Omdat dit ook opgaat tussen twee totaal verschillende metalen, bijvoorbeeld aluminium op staal, zal het duidelijk zijn dat een dergelijk metallisch contact krioelt van de roosterfouten (dislocaties) omdat de roosterparameters van ieder element nu eenmaal anders zijn. Schematisch kan men zich dit als volgt voorstellen (afbeelding 3):

Toch blijft er voldoende bindingskracht over om een uitstekende verbinding te verkrijgen die zelfs veelal sterker is dan een van de te verbinden metalen. In onderstaande microscopische opname (afbeelding 4) is heel duidelijk de schokgolf te zien.

Ten overvloede zij vermeld dat de primaire binding dus een metaalbinding is en niet een binding die bestaat bij gratie van het feit dat er a.h.w. getande metaaldeeltjes zijn die in elkaar zouden grijpen. Laatstgenoemde aanname wordt nogal eens gehoord in de praktijk doch het is een volkomen onjuistheid. Wel kan gesteld wor-



Afb. 3. Voorstelling van de meest ongunstige metaalbinding vanwege de verschillende roosterparameters.

Tabel 1 Overzicht van materialen, welke geschikt zijn om d.m.v. explosieven aan elkaar gelast te worden.

Backing metal \ Cladding metal		Carbon steel		Stainless steel			Copper & Copper alloy						Nickel & Nickel alloy				Aluminium	Titanium	Tantalum	Gold, Silver, Platinum	Niobium	Zirconium
		Mild steel	Alloyed	Austenitic	Ferritic	Duplex	Copper	Brass	Naval Brass	Aluminium bronze	AlBz B171 alloy 630	Cupronickel	Nickel	Monel	Inconel	Hastelloy						
Carbon steel	Mild steel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Alloyed	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Stainless Steel	Austenitic	●	●	●			●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
	Ferritic				●		●			●	●		●				●					
	Duplex					●	●															
Copper & Copper Alloy	Copper	●	●	●			●					●	●				●	●	●			
	Brass							●														
	Naval Brass	●	●	●					●													
	Aluminium bronze	●	●	●						●		●	●					●				
	AlBz B171 alloy 630	●	●								●	●	●					●				
	Cupronickel	●		●			●					●	●	●	●	●						
Nickel & Nickel Alloy	Nickel			●			●						●	●	●	●		●	●	●		
	Monel			●									●	●	●	●						
	Inconel	●	●	●		●	●					●	●	●	●							
	Hastelloy	●		●			●									●		●				
Aluminium							●										●	●				
Titanium							●											●	●	●	●	
Tantalum							●											●		●		
Gold, Silver, Platinum							●													●		
Niobium																					●	
Zirconium																						●
Nodulated Cast Iron							●									●						

Note:

- 1) All metals listed above are expected to clad each other, but it is not experimentally confirmed.
- 2) Stainless steel of Ferrite type is not desirable as backing metal for explosive cladding because it might make cracks.
- 3) * Brand.

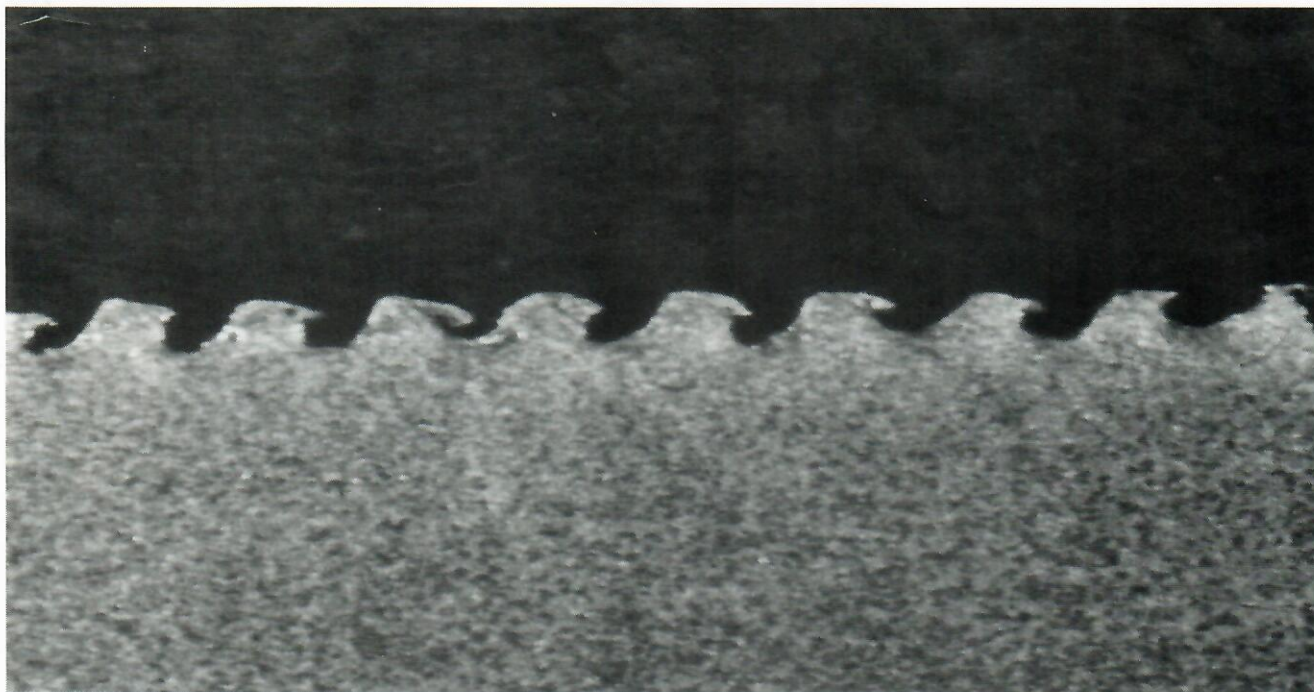
den dat de getande overgang een aanzienlijke vergroting geeft van het contactoppervlak zodat er secundair ook nog een bijdrage wordt geleverd door de getande overgang aan de uiteindelijke bindingssterkte.

Zoals reeds opgemerkt zijn in principe alle metalen aan elkaar te verbinden zoals in tabel 1 duidelijk wordt gemaakt. Het zij wel vermeld dat de meeste metalen in een bepaalde conditie moeten verkeren teneinde een goede verbinding te verkrijgen. Zo is bijvoorbeeld aluminium alleen goed te verbinden als het technisch zuiver is omdat duidelijk zal zijn dat het ductiele aluminium zich beter laat bewerken door de schokgolven dan de relatief harde aluminium-magnesium legeringen. Wil men echter toch laatstgenoemde legering op staal cladden dan is het noodzakelijk een tussenlaag van technisch zuiver aluminium mee te schieten. Zo ontstaat bijvoor-

beeld het bekende produkt 'triclاد' dat veel in de scheepsbouw gebruikt wordt om aluminium aan staal te kunnen lassen. Ook het metaal titaan laat zich het beste verbinden als het zo zuiver mogelijk is (grade-1). Legeringen kunnen in principe ook altijd geclad worden mits een bepaalde rek en hardheid worden gehaald. In het algemeen kan men stellen dat alles geclad kan worden doch deels direct en deels indirect via een tussenlaag. Een positief neveneffect van een tussenlaag is dat een dergelijke laag ook als anti-diffusie-laag kan fungeren wat in een volgend hoofdstuk zal worden behandeld.

Mechanisch gedrag

Zoals reeds opgemerkt zijn de metaalbindingen dusdanig van kwa-



Afb. 4. Macrografie van een schokgolf verbinding.

liteit dat zij veelal de mechanische waarden van bepaalde uitgangsmaterialen overtreffen. Dit is vooral vaak het feit bij het metaal aluminium.

Gemiddeld bedraagt de breuksterkte op de overgang aluminium/staal ca. 110 N/mm² die geleidelijk afneemt naarmate de temperatuur stijgt. Indien een temperatuur van 315 °C is bereikt, ontstaat er vrijwel een intermetallische Al₂O₃-verbinding vanwege de diffusiedrang van aluminium in ijzer. Deze verbinding is zeer ongewenst omdat deze kristallen hard en bros zijn en bovendien een slechte elektrische en warmtegeleidingscoëfficiënt bezitten. Omdat een ketting zo sterk is als de zwakste schakel zal het begrijpelijk zijn dat deze ongewenste verbinding de mechanische waarde nadelig beïnvloedt. Dit geldt ook voor de verbinding aluminium/koper, die echter al bij 200 °C een dergelijke laag vormt (zie afbeelding 5).

Een remedie ertegen is het aanbrengen van een anti-diffusie-laag zoals het metaal titaan in het geval van aluminium/staal. Door het gebruik van dit metaal blijft de mechanische waarde nagenoeg op het gewenste peil zelfs bij relatief hoge temperaturen (zie afbeelding 5). In de praktijk komt dit er op neer dat er eerst op het staal een dun laagje titaan wordt geclad en daarna het aluminium. Overigens is deze duurdere oplossing alleen relevant indien een gecladde verbinding thermisch wordt belast zoals bijvoorbeeld in reductie-cellen van de aluminium elektrolyse waar gecladde elementen de aluminium anodes verbinden met de stalen frames waar de grafiet blokken aan bevestigd zijn.

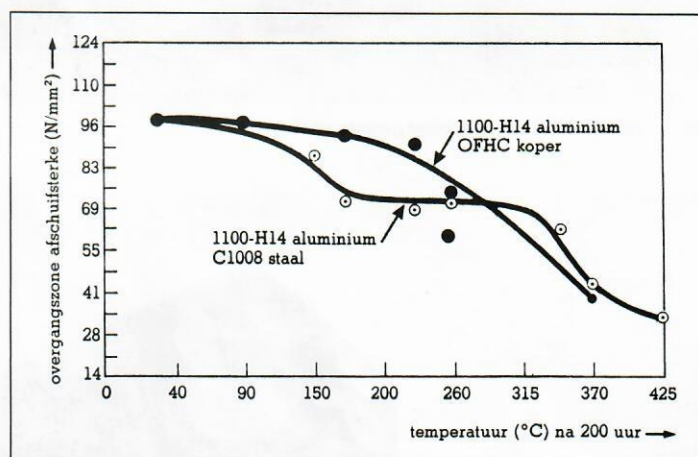
Corrosie

Doordat men in de regel te maken heeft met twee verschillende metalen die hun eigen plaats hebben in de spanningsreeks, is het begrijpelijk dat de vraag opkomt hoe zich dit zal houden in een corrosief milieu.

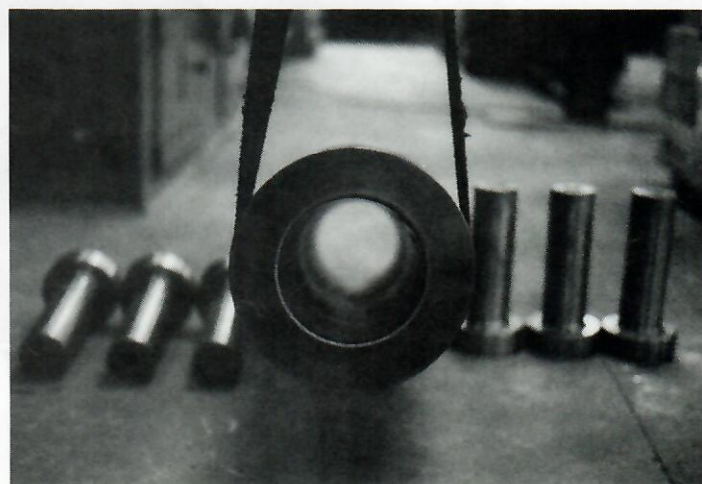
Indien het milieu oxiderend is behoeft men in feite niets te vrezen, omdat het metaal aluminium, dat zich in de regel anodisch opstelt, voortdurend wordt gepassiveerd door de aanwezigheid van zuurstof.

Hier door treedt er in feite geen corrosie op tussen koper/aluminium en staal/aluminium.

Anders wordt het als er gecladde elementen in een reducerend mi-



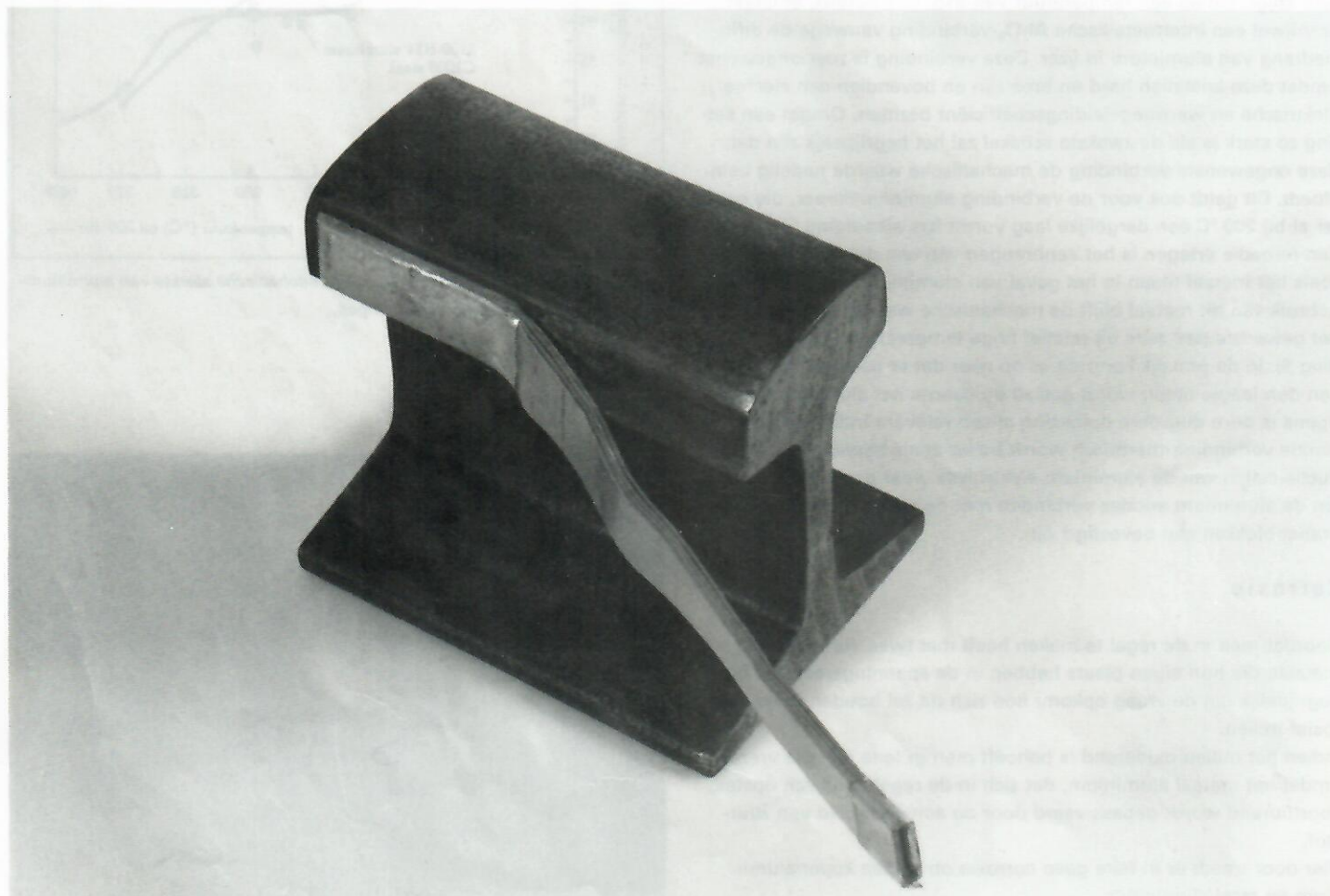
Afb. 5. Verband tussen temperatuur en mechanische sterkte van aluminium-koper en aluminium-staal verbindingen.



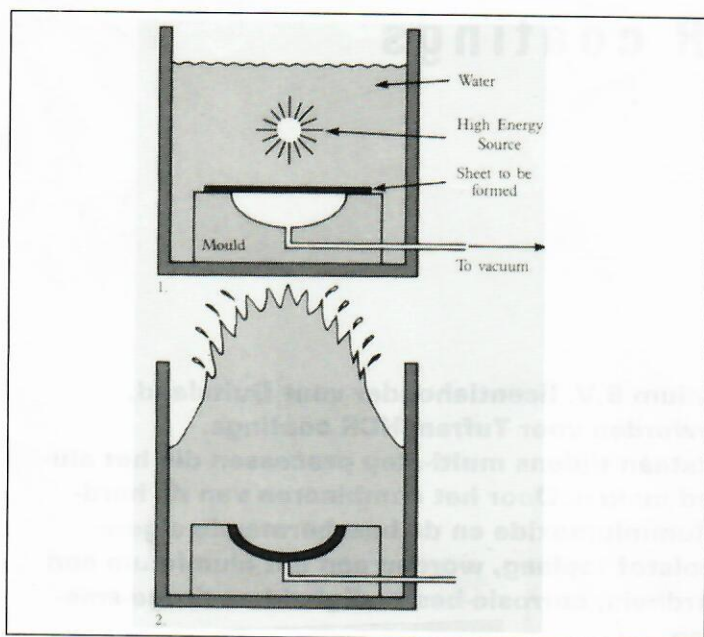
Afb. 6. Voorbeelden van 'gecladde' assen en pijpstukken.



Afb. 7. Voorbeelden van explosief gelaste vormen.



Afb. 8. Een andere toepassing van schokgolflassen is een aluminium elektrisch contact ter plaatse op spoorrails schieten.



Afb. 9. Principe van het wegdrijven van plaatmateriaal in een matrijs m.b.v. explosieve schokgolven.

lieu worden blootgesteld omdat daar de oxidehuid kan dissociëren. Een agressief zuur zoals zwavelzuur zal dit corrosieproces op het aluminium sterk bevorderen. Dit kan men bijvoorbeeld constateren in een zinkelektrolyse waar zinkertsen opgelost worden in zwavelzuur en waar de stroomgeleiding via gecladde aluminium/koper contacten plaatsvindt. Hier kan het aluminium totaal worden weggevreten op de scheidingslaag wat enigszins vertraagd kan worden indien men het aluminium anodiseert.

Explosief lassen contra cladden

Cladden kan men het gemakkelijkst vergelijken met het fineren van hout. Men brengt een bepaalde bescherm laag aan op een substraat doch de binding is een atomaire binding in vergelijking met fineren waar het om lijmen gaat. Naast rechte vormen zoals pijpplaten kunnen we ook het voorbeeld geven van beklede assen en inwendig beklede pijpstukken en fittingen (afbeelding 6).

Explosief lassen betreft alle andere vormen van verbinden zoals de pijp in de pijpplaat, een aardingscontact op een willekeurige unit, pijpleidingen samenstellen enz. (afbeelding 7).

In feite is het aantal soorten verbindingen onbeperkt te noemen doch in de praktijk blijkt dat het gebruik van deze lastechniek niet zo eenvoudig uit te voeren is vanwege de specifieke kennis die men nodig heeft en de speciale grondstoffen. Ook wordt het gebruik van deze methode beperkt door de locatie waar men het pro-

cédé moet uitvoeren. Indien men in de open lucht moet werken dan komt Nederland nauwelijks in aanmerking maar moet men uitwijken naar plaatsen met betere klimatologische omstandigheden en die bovendien het liefst onbewoond zijn.

Als het procédé i.p.v. onder atmosferische omstandigheden in een vacuüm ruimte wordt toegepast dan kan het uiteraard wel op de meeste plaatsen gebeuren omdat de schokgolf a.h.w. smooit in het vacuüm. Als men niet de te lassen voorwerpen kan vervoeren naar de vacuümtank, is er een totaal nieuwe oplossing bedacht nl. een, in ons land ontwikkeld, relatief klein mobiel vacuüm apparaat dat de gebruiker in staat stelt om waar dan ook een schokgolflas uit te voeren zonder dat er hinderlijke geluiden ontstaan. Als toepassing kan hier dan gedacht worden om een aluminium elektrisch contact ter plaatse op spoorrails te schieten. (afbeelding 8).

Explosief vormen

Explosief lassen is in feite ontdekt tijdens het experimenteren met springstoffen om explosief een bepaald produkt te vormen. Men merkte nl. dat hier en daar het metaal vast bleef zitten op de stalen ondermatrijs. M.a.w. explosief vormen, wat eigenlijk nog onbekender is, bestaat al langer dan explosief lassen. In feite berust het principe op het wegdrijven van plaatmateriaal in een matrijs m.b.v. explosieve schokgolven. E.e.a. wordt verduidelijkt in afbeelding 9. In tegenstelling tot het mechanisch vormen waar men altijd een negatieve en positieve vorm nodig heeft, is er bij het explosieve vormen slechts een matrijs nodig. Veelal wordt water gebruikt om de schokgolven te transporteren naar de te vormen metalen omdat water hiervoor uitstekend geschikt is. De grote voordelen van deze vormmethode is dat het materiaal na het vormen absoluut spanningsvrij is en zich isotropisch gedraagt (dus in alle richtingen dezelfde mechanische eigenschappen bezit). Dit is te verklaren door het feit dat de vervormingssnelheden veel hoger liggen dan de kritische omzettingssnelheden van de verschillende structuren. Toepassingen zijn o.m. gevelelementen, gecompliceerde bochten, velgen voor racewagens, uitlaatsystemen voor gasturbines e.d.

Andere technieken

Naast bovengenoemde technieken bestaan er explosieve sinter technieken (speciaal t.b.v. aluminium), explosief smeden, explosieve hardings- en ontlaattechnieken alsmede snijtechnieken uitgevoerd m.b.v. explosieve snijlinten. Het zal begrijpelijk zijn dat dit in dit artikel te ver grijpt om hier ook op in te gaan.

In ieder geval wordt de hoop uitgesproken dat bovenstaande informatie heeft bijgedragen om meer inzicht te verschaffen in een van de opmerkelijkste technologieën van deze tijd, nl. het bewerken van metalen m.b.v. explosieven.