

# Het explosief lassen van metaal

N.W. Buijs metaalkundige Innomet b.v.

## Introductie

Er is door de jaren heen al wat geschreven over het fenomeen explosieve metaalbewerking. Hierbij denkt men dan vooral aan het explosief lassen en plateren van metalen hoewel explosieven ook gebruikt kunnen worden voor vormgeving, snijden en oppervlakteharding van metalen. In diverse literatuur is het nodig te vinden over dit onderwerp en regelmatig leest men dat er diverse theorieën zijn ontstaan over het bindingsmechanisme. Het is dan ook raadzaam om eens opnieuw stil te staan bij dit opmerkelijke lasproces dat zich tegenwoordig ook zeer goed in een vacuüm omgeving kan afspelen. Dat laatstgenoemde is extra opmerkelijk omdat normaal gesproken dit proces geschiedt in de open lucht (afbeelding 1). De noodzaak hiervan komt vooral door het feit dat er zuurstof nodig is om de explosie mogelijk te maken en doordat de explosieve krachten gebouwen zullen vernielen. In onderstaand artikel wordt hoofdzakelijk stilgestaan bij het explosief lassen en het bekleden van metalen. Het bekleden van een metaal wordt meestal in de praktijk 'cladden' genoemd.



Afbeelding 1: explosief plateren in de open lucht dat ook wel gemakshalve een atmosferische cladding wordt genoemd (Foto Innomet B.V.).

## Het doel van explosief lassen

In de praktijk werkt men regelmatig met agressieve reagentia waar gewone staalkwaliteiten niet voldoende tegen bestand zijn. De oplossing is dan om een hoogwaardig metaal of legering te kiezen zoals roestvast staal, koper- en nikkellegeringen, titaan, zirkoon etc. Zodra de procesomstandigheden eisen dat er platen of schijven nodig zijn met grote wanddiktes dan zal het eindproduct hierdoor te kostbaar worden. Dit is vooral het geval bij apparatuur die

onder hoge druk of vacuüm moeten functioneren. De oplossing is dan om een relatief goedkoop basismateriaal te nemen waarop een relatief dunne laag duur metaal explosief wordt aangebracht. Dit basismateriaal is dan veelal ongelegeerd of laag gelegeerd koolstofstaal. Voorbeelden zijn platen t.b.v. het maken van reactorvaten voor zowel de wand als voor de bodems, ketels, gecladde pijpenplaten voor warmtewisselaars, nozzles etc. Op de afbeelding 2 zijn daar enige voorbeelden van gegeven.

Daarnaast zijn er met explosief lassen metaalcombinaties te realiseren die onmogelijk met het thermische lasproces te bereiken zijn. Men kan in dit verband denken aan de combinatie van staal (of roestvast staal) met metalen zoals aluminium, titaan, zirkoon en koper. Ruwweg kan men stellen dat dankzij explosief lassen alle metaalcombinaties mogelijk zijn die een volwaardige metaalbinding bezitten.

Concluderend kan men stellen dat het doel van explosief lassen is om de kostprijs van een apparaat te verlagen en de kwaliteit te verbeteren. Bovendien zullen de uiteindelijke wanddiktes geringer zijn omdat men het voordeel geniet van de relatief hoge mechanische waarden van het stalen substraat. Dit leidt dan weer tot een gewichtsbesparing.

Naast de besparing van kostbare metalen kan men ook zorgen voor lagere elektrische overgangswaarden bij demontabele bimetallische elektrische contacten.

## De metaalbinding

De basis voor de lasverbinding die m.b.v. explosieven tot stand is gebracht, blijkt een metaalbinding te zijn. De vraag is echter wat een metaalbinding eigenlijk inhoudt. Kort samengevat bestaat ieder metaal bij gratie van deze binding. Een metaalbinding komt tot stand dankzij valentie-elektronen die de metaal-atomen aan elkaar binden. Deze valentie-elektronen kunnen zich vrij door het gehele metaalrooster verplaatsen waardoor zij met elkaar een bindingssluier of wolk vormen. Men noemt het soms ook wel een gaswolk van vrije elektronen dat tevens de reden is dat een metaal elektrische stroom kan geleiden. Uiteraard behouden de atomen hun vaste elektronen om de atoomkernen die per definitie niet-valentie-elektronen worden genoemd.

Tijdens het explosieve lasproces worden de metaal-atomen door de een krachtige impact in elkanders

# len in een vacuüm omgeving



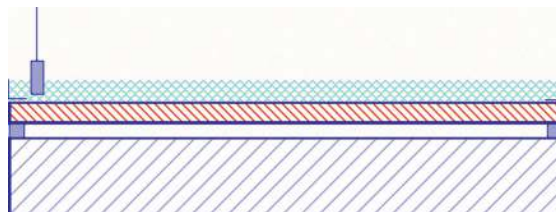
Afbeelding 2: warmtewisselaars met een gecladde pijpenplaat (Foto SMT B.V).

beïnvloedingssfeer gebracht waardoor de valentie-elektronen in elkaanders banen zullen komen. Op deze wijze wordt er per definitie een metaalbinding gecreëerd. Deze doet in principe niet onder aan de eigenschappen van een gewone metaalbinding.

## Het explosieve lasproces

Om een goede voorstelling van zaken te krijgen wordt het voorbeeld genomen van een plaat koolstofstaal die met een hoogwaardig metaal bekleed moet gaan worden. Nadat de karakteristieken van de te cladden materialen beoordeeld zijn, worden de platen ontdaan van hun oxidehuid m.b.v. een geautomatiseerd schuurproces. Hierna worden ze met een bepaalde afstand op elkaar aangebracht m.b.v. kunststof afstandhouders. Boven op de bovenste plaat wordt een frame geplaatst waarin de explosieven in de vorm van poeder worden aangebracht. Door het plaatsen van een detonator is het geheel klaar voor het explosief lasproces. In afbeelding 3 ziet men hier een schematische voorstelling van.

Na het activeren van de detonator vindt een krachtige explosie plaats die slechts een fractie van een

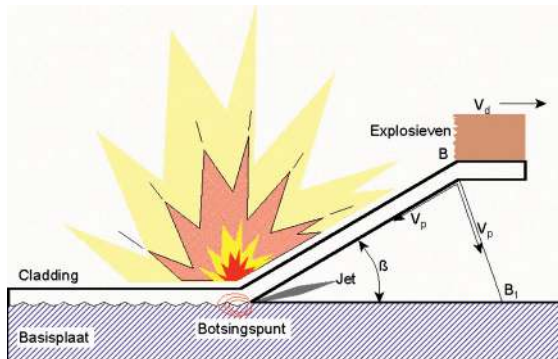


Afbeelding 3: schematische voorstelling van de opstelling die nodig is voor het explosieve lasproces.

seconde duurt. In afbeelding 4 ziet men een momentopname van dit gebeuren. Hoewel er verschillende theorieën bestaan wat er zich nu eigenlijk afspeelt tijdens deze explosie lijkt onderstaande beschouwing een van de meest logische en aanmerkelijke.

De bovenste plaat wordt door de extreme explosieve impact met een enorme versnelling op de basisplaat geschoten waardoor er een botsingspunt ontstaat. Ter plaatse van het botsingspunt is de druk zo extreem hoog (vele duizenden bars) dat de metalen zeer plaatselijk superplastisch worden. Er zijn zelfs aanwijzingen dat enkele atoomlagen door deze enorme druk kortstondig vloeibaar worden terwijl de temperatuur nauwelijks toeneemt.

Tijdens de explosie ontstaat per definitie een schokgolf die zich voortplant in de twee metaallagen net zoals een rimpel in het water. Dankzij het superplastisch gedrag in het botsingsgebied kan de schokgolf het materiaal licht laten golven. Dit golfpatroon wordt veelal met het blote oog zichtbaar op de metaalovergang. Doordat dit golfeffect zo extreem snel gaat, zullen de nieuw gevormde oxiden op de beide oppervlakken afgerukt worden. Dit kan het beste enigszins vergeleken worden met een mat die men krachtig golvend uitklopt. De losgekomen oxiden spuiten dan als een materiestroom voor het detonatiefront uit. Deze materiestroom noemt men ook wel de jet. Daardoor ontstaan er maagdelijke metaaloppervlakken die geen tijd krijgen om te oxideren waardoor de metaalbinding tot stand gebracht kan worden. Dit gebeurt dankzij de nog steeds aanwezige hoge druk waardoor de valentie-elektronen in elkaar beïnvloedingssfeer komen. Zo komt uiteindelijk de metallische lasverbinding tot stand. Dit lasproces wordt ook wel een variant van het kouddruklasproces genoemd omdat het geheel zich afspeelt bij omgevingstemperatuur. Ook zal het duidelijk zijn dat tijdens het cladden de aanwezige lucht tussen de platen verwijderd wordt tenzij men dit proces in een vacuüm omgeving laat plaatsvinden.



Afbeelding 4: schematische voorstelling van een momentopname tijdens het explosieve lasproces.

### Open lucht cladden versus vacuüm

Explosief lassen c.q. plateren kan dus zowel in de open lucht als in een vacuüm omgeving plaatsvinden. Dit laatste is gemakkelijker gezegd dan gedaan omdat eerst een speciale vacuüm dome ontwikkeld moet worden. Daarnaast dient zo'n ruimte afdoende vacuüm gezogen te kunnen worden. Daarbij komt nog het probleem dat explosieven zuurstof nodig hebben tijdens het exploderen. Dat betekent dat men speciale explosieven moet ontwikkelen die hun eigen zuurstof genereren tijdens de activatie. Het zal dan ook duidelijk zijn dat vacuüm cladden heel wat gecompliceerder ligt dan bij het atmosferisch cladden. Men zou daarom de vraag kunnen stellen waarom

men dit proces in een vacuüm omgeving wil laten plaatsvinden. Het antwoord hierop is dat dit primair te maken heeft met de uiteindelijke superieure kwaliteit van de lasverbinding. Secundair heeft het nog andere voordelen zoals het weersonafhankelijk werken en het sterk beperken van het geluid omdat geluid nu eenmaal lucht nodig heeft om zich te kunnen verplaatsen. Nog een ander voordeel is dat men minder explosieven nodig heeft omdat men geen lucht hoeft te verwijderen. Afgezien dat men explosieven uitspaart, leidt dit tot een ander voordeel en dat heeft te maken met het type overgang. In de praktijk kan de schokgolf namelijk leiden tot drie typen overgangen namelijk een laminaire, een gegolfde of een turbulente. Dit kan men zich voorstellen zoals men dat in afbeelding 6 kan zien.

Indien men als leek naar deze overgangen kijkt dan komt snel de gedachte op dat de turbulente overgang wel eens de meest optimale zou kunnen zijn omdat de metalen zo opmerkelijk goed in elkaar haken. Hier wordt dan ook gelijk een denkfout gemaakt want de binding bestaat immers niet uit het in elkaar haken of zoiets maar dankzij een metaalbinding zoals eerder is uiteengezet. Feitelijk is de meest aantrekkelijke overgang een gegolfde maar in de praktijk blijkt vaak dat door de enorme snelheid de golfkoppen overslaan waardoor er een turbulente overgang ontstaat. Dit is enigszins te vergelijken met de golven van de zee die om gaan krullen nadat zij een bepaalde hoogte hebben bereikt. M.a.w. hoe groter de schokgolven, hoe groter de kans bestaat dat er een turbulente overgang wordt gecreëerd.

Op het moment van omkrullen van de superplastische golven wordt ook een weinig oxiden ingevangen vanuit de ontstane oxidestroom (jet). Hierdoor ontstaan er ongewenste oxidenestjes c.q. conglomeraten in de golfpatronen zoals dat schematisch is getekend in afbeelding 6. Deze zijn met het blote oog waarneembaar. Buigt men een dergelijke gecladde strip dat ziet men dat deze oxideconglomeraten nog verder open gaan staan. Op zich bereikt men acceptabele mechanische waarden met dergelijke overgangen en de afschuifwaarde kan zelfs beter zijn dan bij een laminaire overgang. Het nadeel is echter dat men vreemde deeltjes heeft ingevangen die de corrosiebestendigheid in bepaalde toepassingen kunnen ondermijnen. De oxidenestjes zijn poreus en zijn bovendien hygroscopisch waardoor, mede door het potentiaalverschil van de twee gecladde metalen, corrosie versneld kan ontstaan. Dit is vooral het geval bij gecladde verbindingsstroken die gebruikt worden om een aluminium dekhuis op het stalen dek van een schip te lassen. Een ander nadeel is dat hoge golfpatronen microscheurtjes kunnen opleveren op de koppen van de golf. Deze worden veroorzaakt

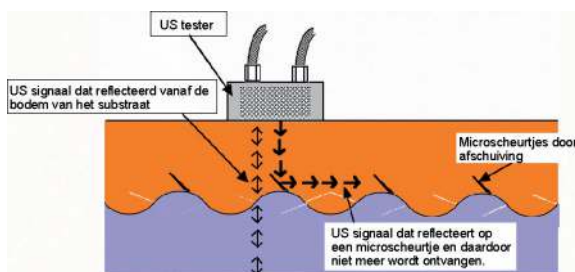
door interne afschuivingen in het metaalrooster. Deze kans is vooral extra groot bij minder ductiele metalen. Uit intern onderzoek blijkt dan ook dat de laminaire overgang de meest ideale verbinding is omdat deze de onderstaande voordelen biedt:

Dergelijke overgangen blijven verschoond van oxiden en van mogelijke brosse intermetallische verbindingen die ontstaan kunnen door extreme drukken zoals dat het geval is bij het gebruik van veel explosieven.

Ook is gebleken dat bij hoge golfpatronen microscheurtjes kunnen ontstaan vanuit de koppen en dat vooral bij minder ductiele metalen. Op afbeelding 5 ziet men daar een schematische voorstelling van. Men een ultrasonoor tester kan men deze scheurtjes zelfs vaststellen. Met laminaire overgangen heeft men daar geen last van.

Omdat men met laminaire overgangen met minder explosieven werkt, krijgt men ook beduidend minder koudversteving van het metaaloppervlak. Eigenlijk kan men stellen dat de structuur van de twee metalen onveranderd blijft en trouwens ook de andere initiële eigenschappen. Het zal voor zich spreken dat dit ook een bijzonder groot voordeel is.

Bij het vacuüm cladden kan men dus volstaan met minder explosieven waardoor men in principe een laminaire c.q. een licht gegolfde overgang krijgt. In dat geval ontstaan er geen oxidenestjes omdat deze oxiden op tijd kunnen ontsnappen. Een bijkomend voordeel is dat aan de hand van testen is gebleken dat de vermoeingssterkte ook beter is. Vooral in de offshore preferert men daarom vacuüm gecladde verbindingstroken boven stroken die in de open lucht vervaardigd zijn. Dat geldt ook zodra deze stroken asymmetrisch in de scheepsbouw worden toegepast omdat deze beter het krachtheffect van het koppel kunnen opvangen. Dat zal allemaal te maken hebben met het ontbreken van de microscheurtjes op de golfkoppen.

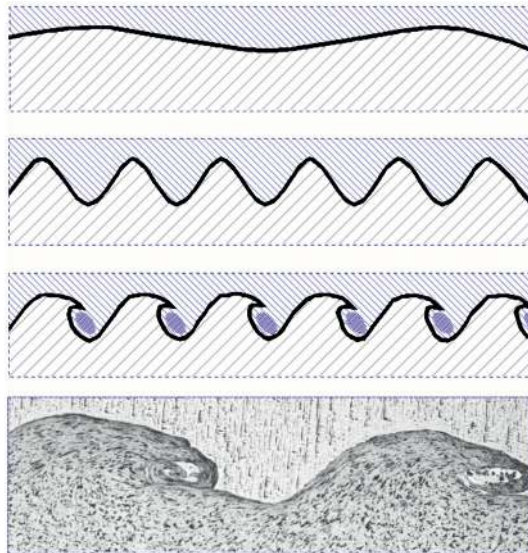


Afbeelding 5: US signalen worden verstrooit door de microscheurtjes die op de koppen van de golven kunnen ontstaan.

T.b.v. de controle van een explosielas kan men een test doen met een zogenaamde ‘Hammer Bend Test’ volgens de standaard MIL-J-24445A. Een smal strookje geclad metaal wordt op de metaalovergang in een bankschroef geklemd. Daarna wordt het uit-

stekende deel 90° omgeslagen met een hamer. Het zal op zich gemakkelijk te begrijpen zijn dat oxidenestjes dan open gaan staan. Dat nadeel treedt niet op bij een laminaire overgang die ontstaan is tijdens het vacuüm cladden.

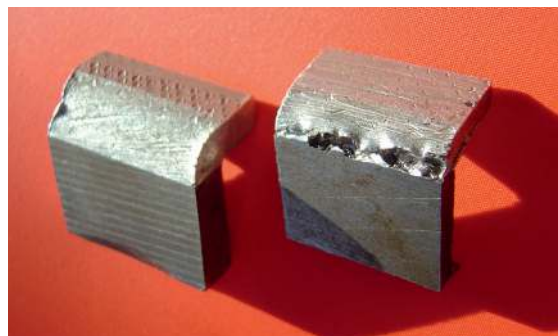
Een voorbeeld daarvan is te zien in afbeelding 7. Ook zullen in dit geval eventuele microscheurtjes op de koppen van de golven ook geen goed doen.



Afbeelding 6: drie overgangen als gevolg van explosielassen t.w. een laminaire, een gegolfde en een turbulente overgang. Soms kan het nog verder doorslaan zoals de foto laat zien.

### Beproevingen

Iedere gecladde plaat wordt ontdaan van de randen omdat door interferentie en reflectie op de periferie geen goede binding mogelijk is. Daarna worden de platen gericht en 100% getest met een ultrasonoor onderzoek. Bovendien worden de mechanische waarden bepaald conform de opgelegde normen. Ook worden de meeste gecladde producten afgenomen door een onafhankelijk keuringsinstituut. Op deze wijze komen de nodige documenten en certificaten tot stand.



Afbeelding 7: de gevolgen van de ‘Hammer Bend Test’. Links een vacuüm cladding en rechts een cladding gemaakt in de open lucht. De oxideconglomeraten gaan daardoor open staan (Foto Immomet B.V.).



Afbeelding 8: warmtewisselaar met gecladde pijpenplaat en romp. De basis is koolstofstaal en de cladding is superduplex (Foto SMT B.V.).

### Toepassingen

Zoals eerder is gesteld, zijn toepassingen vooral te vinden in de zware apparatenbouw. Vooral pijpenplaten voor warmtewisselaars, rompen voor reactorvaten e.d. kunnen efficiënt worden vervaardigd m.b.v. explosief plateren.

Op afbeelding 8 ziet men een warmtewisselaar met een gecladde pijpenplaat met daarvoor een gecladde romp. De materialen zijn koolstofstaal voorzien van superduplex.

Daarnaast kan een dergelijke verbinding ook als start dienen voor het vervaardigen van walsbektele platen. Ook worden er transition joints van gemaakt die als stroken uit platen worden gezaagd. Met deze stroken kan men bijvoorbeeld in de scheepsbouw een aluminium opbouw lassen aan een stalen dek. Dit levert niet alleen veel besparingen op t.o.v. klinken of het gebruik van bouten en moeren maar ook is de kans op corrosie tot een minimum beperkt.

Elektrolysebedrijven die primaire metalen uit hun erts moeten reduceren, gebruiken veelal aluminium anodestangen die verbonden moeten worden aan staal of koper. Aluminium is een goede elektrische geleider maar in de buurt van de elektrolysecel is

de temperatuur te hoog waardoor op die plaats een stalen frame nodig is die aan het koolblok verbonden is. Door een cladding te lassen tussen het staal en aluminium heeft men geen overgangsweerstand. Indien aluminium mechanisch wordt verbonden aan aluminium dan geeft dat een overgangsweerstand vanwege de oxidehuid. Koper heeft dat niet en op deze wijze kan men substantieel besparen op de energierekening. Dergelijke verbindingen zijn gewenst omdat deze contacten demontabel dienen te zijn.

### Slot

In dit artikel is een opsomming gegeven van het explosieve lasproces zowel atmosferisch als in een vacuüm omgeving. Hieruit blijkt dat er significante verschillen zijn maar daar mag niet uit geconcludeerd worden dat open lucht claddings minderwaardig zullen zijn. Er komen door het vacuüm cladden wel specifieke eigenschappen naar voren die uiteindelijk in het voordeel zullen uitwerken. Een bedrijf die zich met vacuüm cladden bezig houdt is SMT B.V. in Nederland.

Voor meer informatie wordt verwezen naar [www.triplate.com](http://www.triplate.com) en [info@innomet.nl](mailto:info@innomet.nl).