



BAND lassen

Review en nieuwe ontwikkelingen voor verhoogde productiviteit

Ronny Demuzere; Soudokay te Seneffe, België
NL-bewerking door Johan Cobben; BLG te Haarlem, Nederland

- * SAW: Submerged Arc Welding
- * ESW: Elektro Slag Welding

1. Introductie

In vele toepassingen zoeken ingenieurs naar materialen welke bestand zijn tegen mechanische belastingen, de nodige fysische eigenschappen hebben, weerstand hebben tegen corrosie en slijtage. In vele gevallen is èèn enkel materiaal niet afdoende en zal gekozen moeten worden voor een combinatie van meerdere materialen. Dit principe wordt bv. toegepast bij vezelversterkte kunststoffen of een gecoate ondergrond.

Denk eens aan de materiaalkeuze bij een chemische reactor. De reactor moet de inwendige druk kunnen weerstaan en mag zeker niet corroderen bij contact met het product. RVS voldoet aan dit criterium echter het is veel te duur om de gehele reactor hiervan te bouwen. Alternatief is een goedkoper laaggeleerd staal als drager te kiezen welke de druk van de reactor aan kan en deze aan de binnenzijde te voorzien van een dunne corrosiewerende laag.

Eén van de populairste en economische manier om deze hoger gelegeerde laag aan te brengen is band lassen. Deze band (afm. doorgaans 60 x 0,5 mm) wordt op het basismateriaal gelast met een zo weinig mogelijke opmenging. Het neergesmolten lasmetaal geeft een homogene laag met een perfecte binding.

Tegenwoordig zijn er 2 lastechnieken beschikbaar die in aanmerking komen. Dit zijn: Onder Poederdek- (SAW*) en Elektroslak (ESW*) lassen. Dit artikel beschrijft en vergelijkt beide processen, bekijkt de meest voorkomende cladding toepassingen en toont de nieuwste geavanceerde mogelijkheden welke tegenwoordig beschikbaar zijn zoals:

- 1) Hoge snelheid poeders voor hogere neersmeltsnelheden (kg/uur cq. m²/uur)
- 2) Toelegerende poeders voor de zgn. 1-laags techniek

De focus ligt m.n. in die legeringen welke we het meest tegenkomen in de petrochemische industrie zoals AISI 304 L, AISI 316 L, AISI 347, alloy 600, 625, 825, 276, C22 en Duplex RVS.

2. Proces beschrijving

2.1 *Band versus draad*

In principe is het band lassen hetzelfde als lassen met draad. Het verschil zit m.n. in het gebruik van een band ipv een draad. Dit houdt wel in dat er gebruik gemaakt moet worden voor een speciaal daarvoor ontwikkelde laskop met brede, koperen contactschoenen. Deze zorgen voor een zo optimaal mogelijke stroomoverdracht. Ook voorziet deze laskop van speciale aanvoerrollen om de band zo probleemloos mogelijk te transporteren.

De voordelen van band versus draad cladden is als volgt:

- Egale inbrandingsvorm
- % opmenging liggen lager, hierdoor minder aantal cladlagen nodig
- Hoge neersmeltsnelheden, dus zeer goede productiviteit
- Homogeen neergesmolten lasmetaal
- Ongevoeliger voor scheurvorming door ontbreken van een solidus/liquidus fase-lijn in hart las
- Zeer vlak oppervlakte met veel minder aantal lasrupsen en overlappingsen
- Hoge reproduceerbaarheid

Andere belangrijke aandachtspunten waar rekening gehouden mee dient te worden bij een evt. overstap van draad naar band:

- Lage investeringskosten bij overstap
- Ook met band een groot aanbod van legeringen
- Weinig training van de lassers

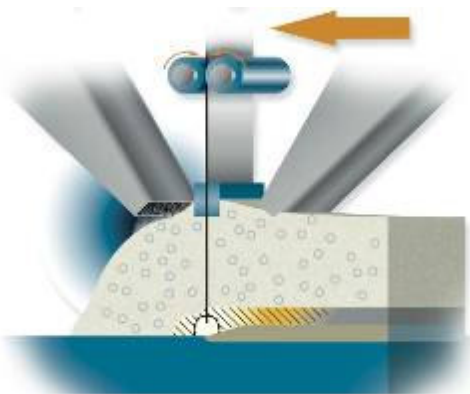
Een aantal nadelen zou kunnen zijn:

- Hogere Heat Input
- Beperking in minimale afmeting werkstuk (dikte en inwendige diameter basismateriaal)
- Stroombronnen met voldoende capaciteit in amp. middels aangepaste bandbreedte (10,20 en 30 x 0,5 mm) zou dit nadeel opgelost kunnen worden.

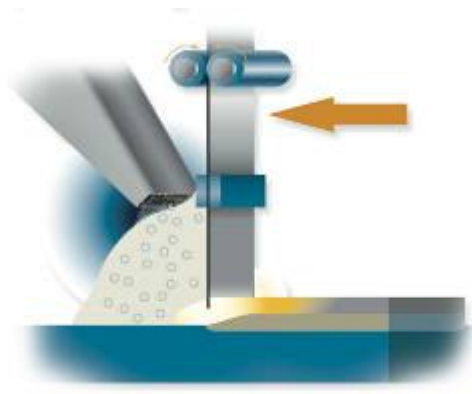
2.2 SAW* vergeleken met ESW*

Fig. 1 is een schematische voorstelling van het SAW bandlassen. Tussen de band en het werkstuk ontstaat een elektrische boog welke wordt afgedekt met een laag poeder. De band, bijhorende poeder en het te cladden oppervlakte worden tot smelten gebracht. Het poeder zorgt voor een beschermende vloeibare slaklaag. Het ESW bandlassen (fig. 2) lijkt in grote mate op het SAW bandlassen echter met het grote verschil dat er nu geen sprake is van een elektrische boog. Het toegepaste poeder is in de vloeibare fase elektrisch geleidbaar. Hierdoor ontstaat het zgn. Joule-effect. De band zal dus nu in de vloeibare slak tot smelten gebracht worden. Alleen bij de start ontstaat er een elektrische boog welke snel na het ontstaan van een vloeibare slak zal doven. Het poeder wordt nu alleen aan de voorzijde aangevoerd. Aan de achterzijde is de vloeibare slak te zien met een duidelijk aanwezige warmtestraling. Principe en karaktereigenschappen van het elektroslak lasproces is als volgt:

- Speciaal laspoeder
- 1-zijdige aanvoer van het laspoeder
- Geen lasboog dus geen ultraviolette straling
- Open smeltbad met vloeibare slak voor goede ontgassing.
- Geringere inbranding en daardoor lage opmengingspercentages
- Constante H.I, neersmeltsnelheden tot 2 x van OP lassen
- Lager verbruik van laspoeder



Figuur 1: SAW



Figuur 2: ESW

Tabel 1 geeft een vergelijk tussen het SAW en ESW proces. Hierin is duidelijk dat de lasstroom voor ESW lassen beduidend hoger ligt dan van het SAW lassen. Het gevolg van deze hoge stroomsterkten is de magnetische invloed van de ontstane Lorenz krachten op het smeltbad. Om dit probleem op te heffen adviseren wij het gebruik van magnetische sturingen (zie figuur 3, magnetische stureenheid).

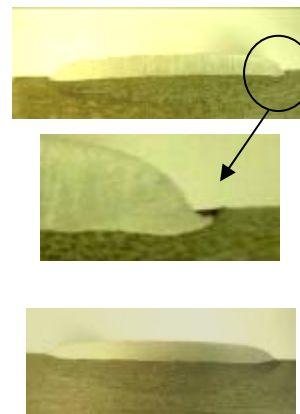
		SAW	ESW
Elektrische boog		Ja	Nee
Warmtebron		Elektrische boog	Joule-effect inh vloeibare slak
Typische las parameters voor 60 x 0.5 mm band ⁽¹⁾	Stroom	750 A	1250 A
	Voltage	24 V	24 V
	Voortloopsnelheid	10 cm/min	16 cm/min
Stroomdichtheid		25 A/mm ²	42 A/mm ²
Opmenging		18 %	10 %
Neersmeltsnelheid		14 kg/h; 0.4 m ² /h	22 kg/h; 0.6 m ² /h
Magnetische sturing		Nee	Ja

⁽¹⁾ Standard verkrijgbare bandafmetingen zijn 15 mm, 20 mm, 30 mm, 60 mm, 90 mm, 120 mm, 150 mm

Tabel 1: Vergelijk tussen SAW en EAS lasproces.



Figuur 3: Magnetische stureenheid



Figuur 4: Doorsnede van een lasrups met (onderste) en zonder (bovenste) magnetische sturing. De middelste laat duidelijk de randinkarteling zien.

De merkbare invloed van de ontstane Lorenzkrachten bij deze hoge stroomsterkten zijn onvermijdbaar. Dit is te zien aan de randinkarteling zijdelings van de lasrups (zie figuur 4). Een magnetische sturing creëert dezelfde kracht maar dan in de tegengestelde richting. Het gevolg is een mooi afgevoelde lasrups.



2.3 Proces parameters

2.3.1 Stroomsterkten en stroomdichtheid

Zowel SAW alsmede ESW wordt met gelijkstroom (+ pool, DCEP) wat een optimale procesbeheersing garandeert. Lassen op de – pool (DCEN) heeft wel een minder diepe inbranding echter de lasconfiguratie aan de flanken is vrij steil en kan leiden tot lasfouten in de overlap.

Overigens is de inbranding niet regelmatig en heeft men last van spatgedrag. Typische stroomdichtheid (stroomsterkte per eenheid zoals bv. A/mm^2) voor SAW is 20-25 A/mm^2 terwijl deze voor het ESW proces op 40-45 A/mm^2 ligt. Dit betekent voor een 60 x 0,5 mm strip, 750 A en 1250 A voor resp. SAW en ESW. Het is dus duidelijk dat de stroomdichtheid en de lassnelheid van elkander afhankelijk zijn. Als alle andere parameters constant zouden zijn dan zou een hogere voortloopsnelheid gekoppeld moeten zijn met een hogere stroomsterkte waarbij de laagdikte gelijk zal blijven. Echter deze samenhang kent wel zijn grenzen want zeer hoge stroomsterkten en voortloopsnelheden resulteren in meer opmenging en spatgedrag. Het gevolg is ook nog een slechter lasuiterlijk cq. oppervlak. Voor een 60 x 0,5 mm strip geldt max. 2000 A. Omgerekend is dit 67 A/mm^2 .

2.3.2 Voltage

Voor SAW en ESW is het heel belangrijk dat de voltage constant wordt gehouden met een fluctuatie van ± 1 Volt. De optimale spanning hangt af van het gebruikte poeder. Een te hoog voltage veroorzaakt spatgedrag en een onregelmatige inbranding. Bij een te laag voltage is de kans aanwezig dat de band kortsluiting maakt met het basismateriaal. Het is dus belangrijk dat de spanning tussen het werkstuk en de draadaanvoerunit gemeten wordt. Hierdoor wordt spanningsverlies in de kabels vermeden.

2.3.3 Voortloopsnelheid

Tezamen met de lasstroom heeft deze parameter het meeste effect op de lasrups afmeting, inbrandingsdiepte, opmenging en Heat-Input. Voor het ESW lassen varieert de voortloopsnelheid tussen de 15 en 25 cm/min. In combinatie met een stroomdichtheid van ca. 40 A/mm^2 geeft dit de beste resultaten. De laagdikte varieert hierbij dan tussen de 3 – 5,5 wat ook de praktische limieten zijn voor dit proces. Beneden de 3 mm laagdikte neemt de opmenging behoorlijk toe gepaard met een zeer onregelmatige lasrups, randinkarteling en spatgedrag. Boven de 5,5 mm moeten we ons zorgen gaan maken t.a.v. voldoende inbranding bij de overlapping van de lasrupsen. De kans op slakinsluitingen is groot. Recente ontwikkelingen van laspoeders hebben het mogelijk gemaakt om de voortloopsnelheid op te voeren naar 35 cm/min met behoud van de laseigenschappen.

2.3.4 Heat Input

Voor bandlassen is de formule voor het berekenen van de Heat Input aangepast. Naast de drie hoofdparameters is ook de breedte van het lasbad inbegrepen daar het smeltbad (veel) breder is dan in vergelijking met SAW draad. De warmte wordt dus over een breder oppervlakte verspreid. Deze correctiefactor w (breedte lasrups in cm) is toegevoegd in de noemer van de formule. Deze wordt dan als volgt:

$$H.I. = \frac{U \times I \times 60}{v \times w}$$

waarbij:

H.I. = Heat Input in J/cm^2

I = lasstroom in A.

U = voltage in V.

v = lassnelheid in cm/min.

w = lasrups breedte in cm

Deze aangepaste formule maakt het nu mogelijk om een vergelijking te maken met andere cladding technieken. Bv. een vergelijking tussen een cladding met draad en strip. In tabel 2 is een dergelijke vergelijking gemaakt. Bij het ESW lassen is de warmtestraling aan de buitenlucht een invloedrijke factor (thermisch rendement). Dit komt door het gedeeltelijk open smeltbad met gesmolten slak aan de achterzijde van het lasproces. Uiteindelijk zal hierdoor de werkelijke Heat Input lager komen te liggen dan de waarden in tabel 2 genoemd doet vermoeden.

	draad	band
Stroom (A)	300	1200
Voltage (V)	25	25
Voortloopsnelheid (cm/min)	35	25
lasrupsbreedte (mm)	10	60
Heat input (J/cm^2)	12875	15000

Tabel 2: Heat Input vergelijk tussen draad en band.

2.3.5 Uitsteeklengte

De uitsteeklengte is de lengte tussen de contactschoenen en werkstuk (bandeinde). In de praktijk is dat voor SAW tussen de 20 en 35 mm en voor ESW tussen de 25 en 40 mm. Het effect is niet zo groot, bij een langere uitsteeklengte neemt de opmenging af en neemt de neersmeltsnelheid een beetje toe. In tabel 3 zien we het vergelijk tussen SAW en ESW in relatie met uitsteeklengte en opmenging. In de praktijk zal een opmenging $< 5 - 6\%$ afgeraden worden om bindingsfouten te voorkomen.

Uitsteeklengte	Opmenging	
	SAW 750 A – 26 V – 12 cm/min	ESW 1250 A – 24 V – 20 cm/min
30 mm	25 %	9 %
40 mm	20 %	6.4 %
50 mm	15 %	4.2 %

Tabel 3: Invloed uitsteeklengte op de opmenging.

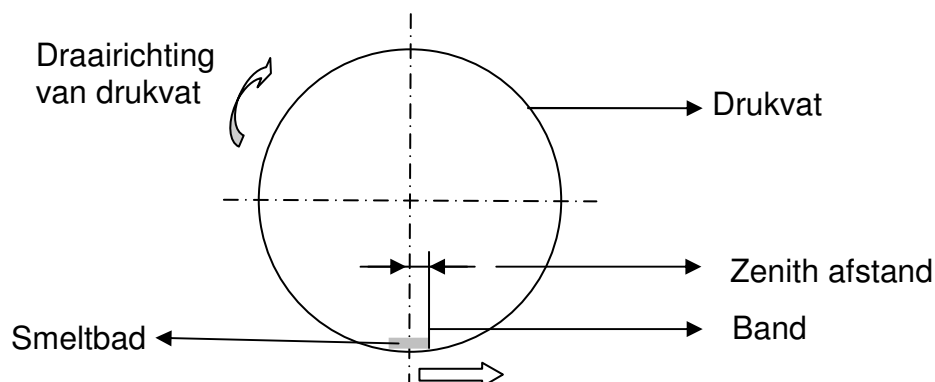
2.3.6 Poederhoogte

Het typische van de poederhoogte is dat deze 5 mm hoger is dan de uitsteeklengte van de strip. Als de poederhoogte te laag is in het SAW proces resulteert dat in een onstabiele boog en het aantal spatten neemt toe. Als de poederhoogte te hoog is dan zal onder invloed van het gewicht van de poeder afdrukken in de vloeibare slak achterlaten. Hierdoor ontstaan zgn. 'imprints'! Tevens neemt het poederverbruik en de kans op porositeit toe. Dit als gevolg van een slechte ontgassing van het smeltbad.

2.3.7 Laspositie

Helaas laat dit proces zeer weinig variatie toe in laspositie. Vanwege het grote smeltbad en het effect op de opmenging en smeltbad configuratie. Wij adviseren dus een horizontale positie met een begrenzing van 3° opgaand / neergaand.

Lassen in/op ronde werkstukken (bv. vaten, assen/rollen) moeten we proberen het smeltbad zoveel mogelijk centraal te houden. Dit houdt in dat de band iets voorbij de verticale as van het middelpunt gepositioneerd moet worden. Deze afstand noemen we ook de Zenith-afstand zoals in figuur 5 aangegeven.



Figuur 5: Zenith afstand bij inwendig cladden.

Het uitwendig cladden op rollen is al vanaf 100 mm mogelijk. Wel moet men specifiek een keuze maken in bandbreedte en lasproces (SAW of ESW). Indien niet radiaal gelast kan worden kan men overwogen axiaal te gaan lassen. Men moet wel realiseren dat dit ten koste gaat van de productiviteit.

Voor inwendig cladden is de minimale op te lassen diameter van de pijp afhankelijk van de toegepaste bandlaskop. Op dit moment is cladden mogelijk vanaf Ø 220 mm. Nieuwe ontwikkelingen van de bandlaskop maakt het mogelijk om vanaf Ø 100 mm (axiaal) en Ø 150 mm (radiaal) te gaan cladden. Voor iedere diameter op te lassen werkstukken beiden we specifieke laskoppen aan zoals in tabel 4 wordt aangegeven.

	30-ES2-75	60-ES2-207	125-ES1-300
			
Bandbreedte (mm)	15, 20, 30	30, 60	30, 60, 90, 120
Minimale inw. diam. axiaal lassen	220 mm	380 mm	550 mm
Minimale inw. diam. radiaal lassen	350 mm	550 mm	700 mm

Tabel 4: Verschillende laskoppen voor minimale inwendig te cladden diameters.

2.4 Neergesmolten lasmetaal.

2.4.1 Analyse van het neergesmolten lasmetaal.

Onderstaande formule met parameters zijn van belang voor bepaling analyse neergesmolten lasmetaal.

$$C_d = C_b \cdot \frac{d}{100} + C_s \cdot t \cdot \frac{(100-d)}{100} + A_f \cdot p \cdot \frac{(100-d)}{100}$$

waarbij

- C_d = aandeel bepaald legeringselement in neergesmolten lasmetaal
- C_b = aandeel van dat legeringselement in basismateriaal of voorgaande cladlaag
- C_s = aandeel van dat legeringselement in de band
- d = opmenging in %
- t^* = transfer rate van het element
- A_f^* = toeleverende vector van het element in de poeder (indien aanwezig) bij gebruik van specifieke band.
- p^* = poeder verbruik

* = deze zijn specifiek afhankelijk van band cq. poeder en op te vragen bij de fabriek.



Hierin onderscheidt zich de drie belangrijkste gegevens. De eerste die met name de analyse bepaald is de band. Praktisch is uiteraard ook het basismateriaal van belang ivm de hoeveelheid opmenging. De laatste welke een belangrijke rol kan spelen is het poeder. Recente ontwikkelingen in poeders maakt het mogelijk om zonder overgeleegde band toch de gewenste analyse te bereiken. Dit wordt dan gecompenseerd via de speciale toelegerende poeder.

2.4.2 Stollingsstructuur van het neergesmolten lasmetaal

Een met band gecladde lasrups is dun en breed. De afkoeling van deze gebeurt over de gehele breedte van de lasrups vanaf het basismateriaal (koudst) naar de oppervlakte van het smeltbad (warmst). Hierbij ontstaat niet een centrale vloeibare film (zoals bij draad cladding) in het hart van de lasrups. Daar geschiedt de afkoeling van buiten naar binnen. Dit verklaart dat bij bandlassen het mogelijk is om zonder warmscheuren lasmaterialen te gebruiken die hier juist gevoelig voor zijn. Zelfs niet bij gebruik van hoge stroomsterkten en brede banden.

2.4.3 Homogeniteit van het neergesmolten lasmetaal

Uit onderzoek blijkt dat vanaf 150 en 250 μm (resp. ESW en SAW) vanaf de smeltlijn al de gewenste samenstelling wordt bereikt. Dit betekent dat specificaties van chemische analyse bij 3 mm onder de lasoppervlakte geen problemen te verwachten zijn. Deze specificatie zien we veel in de petrochemische apparatenbouw. We moeten natuurlijk wel de minimale laagdikte in ogenschouw nemen.

3. Typische bandlas oplossingen voor de petrochemische industrie

In figuur 5 t/m 9 ziet u klassieke voorbeelden van oplossingen conform AISI 347, alloy 625, alloy C-276 en alloy C-22. Analyse neergesmolten lasmetaal komen overeen met ASME II part C.

Tabel 6 is een 1-laagse cladding te zien waarbij gebruik wordt gemaakt van een overgeleegde band. Hiermee compenseert men de opmenging zodat er een juiste analyse wordt bereikt. Dit is een klassieke methode en de nieuwe 1-laags technieken worden in paragraaf 4.2 besproken.

Tabel 8 en 9 cq. alloy -22 en C-276 kan in twee dunne lagen gelast worden. Dit was enkele jaren geleden nog niet mogelijk. Nu is dit mogelijk dankzij een lagere verontreiniginggraad en speciaal bepaalde lasparameters.

Andere alloys zoals bv. AISI 304L, 316L, 317L, alloy 600, 825, C-4, 59 en duplex stalen bestaan er ook mogelijkheden voor SAW en ESW bandlassen. Er bestaat zelfs mogelijkheden binnen bepaalde grenzen een neersmelt te realiseren die voldoet aan specifieke klantenwensen.

SAW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb		
1 st layer	Soudotape 309L (60 x 0.5 mm) Record INT 109	750	28	15	0.045	0.85	0.80	18.20	9.70			3.50	2
2 nd layer	Soudotape 347 (60 x 0.5 mm) Record INT 109	750	28	15	0.035	0.80	0.90	19.30	10		0.35	3.10	6

Tabel 5: SAW gelast alloy 347

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb		
1 st layer	Soudotape 21.11.LNb (60 x 0.5 mm) Record EST 122	1250	24	18	0.03	1.1	0.5	19	10		0.5	4.7	5

Tabel 6: ESW gelast alloy 347

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Fe	Mo	Nb		
1 st layer	Soudotape 625 (60 x 0.5 mm) Record EST 201	1100	24	16	0.03	0.30	0.35	19.5	10	8	2.8	4.2	-
2 nd layer	Soudotape 625 (60 x 0.5 mm) Record EST 201	1100	24	12	0.02	0.10	0.25	21.5	2.5	8.8	3	5	-

Tabel 7: ESW gelast alloy 625

ESW on 0.1 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition								Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Fe	Mo	W	V		
1 st layer	Soudotape NiCrMo22 (60 x 0.5 mm) Record EST 259	950	24	18	0.03	0.33	0.34	19.4	13.2	11.7	2.7	<0.12	3.5	-
2 nd layer	Soudotape NiCrMo22 (60 x 0.5 mm) Record EST 259	950	24	18	0.014	0.22	0.31	21.2	4.9	13	2.9	<0.12	3.2	-

Tabel 8: ESW gelast alloy C-22

ESW on 0.15 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Fe	Mo	W		
1 st layer	Soudotape NiCrMo4 (60 x 0.5 mm) Record EST 201-C	900	24	18	0.031	0.43	0.29	13.4	14.5	14.6	2.96	3.5	-
2 nd layer	Soudotape NiCrMo4 (60 x 0.5 mm) Record EST 201-C	900	24	18	0.013	0.3	0.27	14.9	6.7	16.1	3.45	3.3	-

Tabel 9: ESW gelast alloy C-276

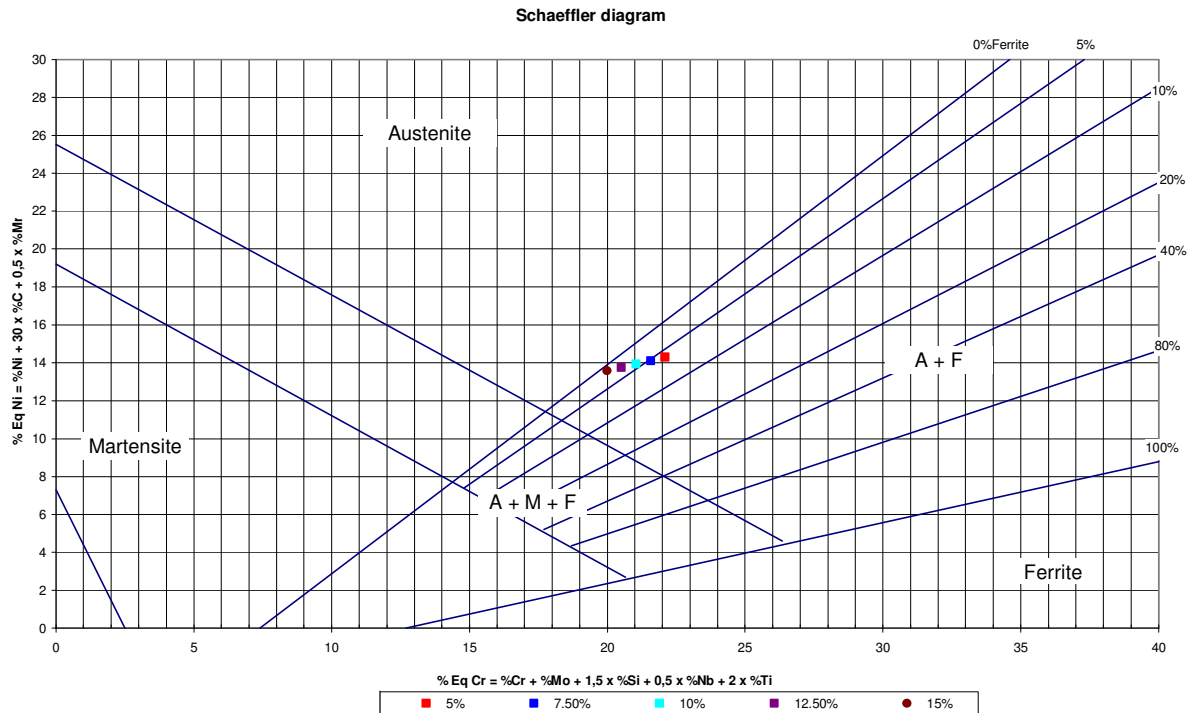
4. Recente bandlas ontwikkelingen

Om de productiviteit te verhogen kunnen er twee mogelijkheden overwogen worden. Lassen met hoge neersmeltsnelheden en meerlaags techniek of een enkellaags techniek. Hiervoor zijn de zgn. high speed- en single layer ESW poeders ontwikkeld.

Hoge snelheids poeders

Indien er meer neergesmolten (kg/u , m^2/u) dient te worden zal zowel de snelheid alsmede de stroom evenredig verhoogd moeten worden om meer band te verlaten. Als de voortloopsnelheid constant gehouden wordt dan zal dit tot meer laagdikte resulteren. Dus als de laagdikte constant gehouden moet worden zal men de voortloopsnelheid moeten verhogen. De maximaal toelaatbare voortloopsnelheid verschilt in principe per poeder. De maximale toelaatbare snelheid van een standaard ES poeder Record EST 122 is op 25 cm/min gesteld. Indien dit overschreden wordt dan zal er te weinig elektrisch geleidende slak omgesmolten waardoor het smeltbad teveel achter de band gaat lopen. Hierdoor wordt het lasproces onstabiel (het begint dan op een SAW proces te lijken met als gevolg een te hoge opmenging). De oplossing is een poeder te ontwikkelen die snel genoeg smelt zodat het smeltbad de hoge voortloopsnelheid kan bijhouden. Dit wordt mogelijk gemaakt door toevoeging van meer CaF_2 in het poeder. Dit resulteert in een lagere viscositeit van het gesmolten poeder wat bepalend is voor het vloeigedrag van het smeltbad. Nu is het dus mogelijk dat het smeltbad de band wel goed kan volgen bij het verhogen van de voortloopsnelheid tot 35 cm/min. Uiteraard kunnen we niet onbeperkt CaF_2 toevoegen om het smeltbad toch nog enigszins snel genoeg te laten stollen. Dit ivm het oplassen op/in ronde vlakken. Deze zgn. hoge snelheidspoeders kunnen neersmeltsnelheden (26 kg/u cq. $1,1 \text{ m}^2/\text{u}$ zijn niet ongebruikelijk) bereiken welke ca. 2 maal zo hoog ligt als bij de klassieke poeders.

De laagdikte hangt sterk af van de toegepast stroomsterkte en de voortloopsnelheid. Samen met de inbrandingsdiepte heeft de laagdikte een directe invloed op de opmenging in %. Dit is bepalend voor de chemische analyse en indien van toepassing op het ferriet gehalte. Figuur 6 illustreert het belang van de juiste parameters.



Figuur 6: Ferriet gehalte in AISI 316 L neergemolten lasmetaal in relatie met opmenging in %

De voormalig genoemde nadelen (zie paragraaf 2.1) worden dus nu gecompenseerd door de zgn. “hoge snelheids” poeders. Refererend aan de formule 1 in dit verhaal zien we dat de voortloopsnelheid in de noemer is geplaatst waardoor de Heat Input met deze poeders vergelijkbaar wordt met SAW draad lassen. Gevolg is dat men dünnere basismaterialen kan gaan lassen. In bepaalde bijzondere gevallen is zelfs op 5 mm plaatdikte gelast.

Tabel 10 t/m 12 geven een aantal praktische voorbeelden van de “hoge snelheids” poeders Record EST 136 en EST 236. Lassen met een hogere voortloopsnelheid (bij constante stroomsterkte) resulteert in een dünnere laag. Dit betekent dus een hogere opmenging met het basismateriaal. Deze hoge opmenging kan men compenseren door een speciaal daarvoor geschikte overgelegeerde band (bv. Soudotape 24.12 LNb, vergelijk tabel 6 met tabel 11) te nemen of de stroomsterkte te verhogen zonder aanpassing van de voortloopsnelheid. Hierdoor ontstaat een dükkere laag.

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb		
1 st layer	Soudotape 309L (60 x 0.5 mm) Record EST 136	1450	24	35	0.053	1.54	0.48	18.5	10.1			3.1	2
2 nd layer	Soudotape 316L (60 x 0.5 mm) Record EST 136	1450	24	35	0.026	1.49	0.41	18.6	11.8	2.32		3	5

Tabel 10: ESW lassen met hoge snelheid van alloy 316L

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition						Thickn (mm)	Ferrite (FN)	
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo			Nb
1 st layer	Soudotape 24.12.LNb (60 x 0.5 mm) Record EST 136	1450	24	35	0.048	1.21	0.24	19.5	10.3		0.41	3.1	6.2

Tabel 11: ESW lassen met hoge snelheid van alloy 347

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition						Thickn (mm)	Ferrite (FN)	
					C	Mn	Si	Cr	Fe	Mo			W
1 st layer	Soudotape 625 (60 x 0.5 mm) Record EST 236	1450	24	35	0.036	0.25	0.29	17.4	15.6	7.7	2.9	3	2
2 nd layer	Soudotape 625 (60 x 0.5 mm) Record EST 236	1450	24	35	0.018	0.11	0.34	20.8	5.2	8.7	3.4	3	5

Tabel 12: ESW lassen met hoge snelheid van alloy 625

4.1 1-laags poeders

1-Laags poeders is het antwoord op de vraag naar een hoge productiviteit om in 1 laag de gewenste legering op te lassen. De ontbrekende hoeveelheid legeringelementen welke vermengt worden met basismateriaal door de hoge opmenging worden gecompenseerd via het poeder. Op deze manier is het mogelijk om de nominale samenstelling te realiseren in de 1-ste neergesmolten laag. Het is dus mogelijk gebruik te maken van standaard bandkwaliteiten ipv de meestal duurdere overgelegeerde typen.

Het is belangrijk om te weten dat het poeder specifiek ontwikkeld is voor een bepaalde type band en daarbij horende parameters. Mocht hiervan teveel afgeweken worden dan zal dat direct zijn gevolgen hebben tav van poederverbruik en chemische analyse neergesmolten lasmetaal (afwijkende opmenging in %).

In tabel 13 t/m 17 staan een aantal voorbeelden.

Poeder Record EST 138 (zie tabel 16) is een combinatie tussen een hoge snelheidspoeder en een 1-laags poeder. Het is duidelijk dat dit niet voor elke alloy mogelijk is ivm een maximaal toelaatbare hoeveelheid legeringelementen in het poeder en uiteraard de negatieve invloed van de opmenging met het basismateriaal.

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb		
1 st layer	Soudotape 316L (60 x 0.5 mm) Record EST 316-1	1250	24	16	0.028	1.03	0.2	18.1	12.2	2.57		4.8	5.8

Tabel 13: 1-laags ES oplossing van alloy 316L

ESW on 1.25 % Cr-0.5 % Mo steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Fe	Mo	Nb		
1 st layer	Soudotape 347 (60 x 0.5 mm) Record EST 347-1	1250	24	16	0.032	1.3	0.58	19.0	10.4	0.13	0.35	4.8	4.9

Tabel 14: 1-laags ES oplossing van alloy 347

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Fe	Mo	Nb + Ta		
1 st layer	Soudotape 625 (60 x 0.5 mm) Record EST 625-1	1250	24	20	0.019	0.08	0.32	21.6	7.4	8.9	3.5	5	-

Tabel 15: 1-laags ES oplossing van alloy 625

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition								Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Fe	Mo	Cu	Ti		
1 st layer	Soudotape 825 (60 x 0.5 mm) Record EST 138	1400	24	29	0.03	0.72	0.55	22.3	35.9	2.62	1.71	0.07	4	-

Tabel 16: 1-laags ES oplossing van alloy 825

ESW on 0.2 % C steel		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Composition							Thickn (mm)	Ferrite (FN)
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb		
1 st layer	Soudotape 22.9.3L (60 x 0.5 mm) Record EST 2209-1	1250	24	18	0.030	1.4	0.45	22.8	8.2	2.9		5	40

Tabel 17: 1-laags ES oplossing van Duplex staal 2209

5. Review van disbonding testen.

Een belangrijk aandachtspunt in de constructie van een hydrocracker betreft disbonding. Het gaat hier om een combinatie van een gevoelige microstructuur in de HAZ en een oververzadiging van waterstof gedurende de shut-down van de hydrocracker!

De beste manier om resultaten van disbonding gevoeligheid te evalueren van een geclad materiaal is om een verscheidenheid aan testen voor te stellen welke de condities van een shut-down simuleren. Zowel vòòr als na de test worden de werkstukken ultrasoon onderzocht. De acceptatiecriteria van disbonding (D in %) hangt af van de specificatie waarin de typen testen en testcondities staan gedefinieerd.

De standaard legering voor het cladden van hydrocrackers is AISI 347. Voor diverse band/poeder combinaties zijn er disbonding testen uitgevoerd. In tabel 18 zijn een aantal interessante resultaten samengevat. Deze resultaten zijn gerealiseerd volgens de CLI specificatie. Ook de ASTM G146-01 is beschikbaar. Bij afkoelsnelheden < 250 °C/h hebben bij beide specificaties vergelijkbare waarden. Boven de 250 °C/h kunnen er kleine verschillen voorkomen.

Base metal	Welding consumables	Welding parameters	PWHT	Exposure conditions T °C – p _{H₂} – time – cooling rate	Disbonding (D)
2.25 % Cr 1 % Mo	1 st I: Soudotape 309L (60 x 0.5 mm) Record INT 109 2 nd I: Soudotape 347 (60 x 0.5 mm) Record INT 109	750 A – 28 V – 10 cm/min	620 °C – 15 h + 690 °C – 16h30	435 °C – 100 bar – 48 h – 100 °C/h	0 %
2.25 % Cr 1 % Mo	1 st I: Soudotape 21.11LNb (60 x 0.5 mm) Record EST 122	1200 A – 26 V – 15 cm/min	700 °C – 14 h	454 °C – 103 bar – 48 h – 100 °C/h	0 %
2.25 % Cr 1 % Mo	1 st I: Soudotape 21.11LNb (60 x 0.5 mm) Record EST 122	1200 A – 26 V – 15 cm/min	700 °C – 14 h	454 °C – 103 bar – 48 h – 300 °C/h	< 1 %
2.25 % Cr 1 % Mo 0.25 % V	1 st I: Soudotape 347 (60 x 0.5 mm) Record EST 347-1	1250 A – 24 V- 16 cm/min	700 °C – 30 h	454 °C – 150 bar – 48 h – 675 °C/h	0 %
2.25 % Cr 1 % Mo	1 st I :Soudotape 309L (60 x 0.5 mm) Record EST 136 2 nd I :Soudotape 347 (60 x 0.5 mm) Record EST 136	1450 A – 24 V – 35 cm/min	690 °C – 30 h	450 °C – 150 bar – 48 h – 300 °C/h	< 2 %

Tabel 18: Overzicht disbonding resultaten van verschillende band/poeder combinaties AISI 347. Volgens CLI norm.

6. Band lassen van een drukvat, een voorbeeld *

In figuur 7 ziet u een drukvat welke geclad is met Soudotape 24.12 L Nb en Record EST 136. Hier is een 90 mm bandbreedte verlast met de volgende parameters: 2250 A - 25 V - 27 cm/min!! Een bandlaskop van het type SK 125-ES1-300 van Soudokay is ingezet (zie figuur 8). Ook de spoelen van de magneetsturing zijn duidelijk zichtbaar. De laagdikte is hier 4 mm.

Bij het drukvat in figuur 9 is een gat zichtbaar. Hierop wordt een inlet/outlet aangesloten. Rondom het gat wordt met het lassen gestopt. Het restant van het laswerk wordt middels een MIG/MAG lasproces afgewerkt. Een andere methode is dat men het gat eerst met een geïmproviseerde plaat tijdelijk opvult en geclad wordt. Naderhand wordt deze plaat verwijderd.

Figuur 10 is een dergelijke inlet/outlet die ingezet wordt in het gat zoals aangegeven is in figuur 9. Deze is inwendig geclad met een kleine bandlaskop type Soudokay SK 30-ES2-75. Ook hier is gebruik gemaakt van de Soudotape 24.12 L Nb, maar dan een 30 mm bandbreedte, en Record EST 136. Gebruikte lasparameters: 750 A – 25 V – 27 cm/min. De slaklossing is zeer goed en zelflossend (figuur 11). Slakbikken is dus niet nodig, een enorm voordeel voor de lasser.

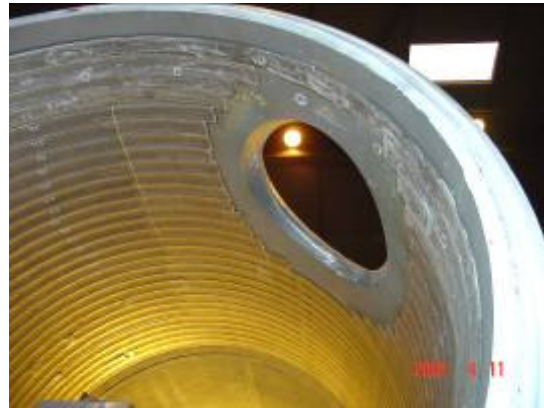
De laatste figuur (figuur 12) zijn de zgn. bodems welke aan het vat (figuur 7) worden gelast. Een visuele inspectie door middel van penetrant onderzoek laat zien dat er geen scheurvorming waargenomen is.



Figuur 7*: Oplassen van een drukvat met Soudotape 24.12 L Nb (90 x 0,5 mm) en Record EST 136



Figuur 8*: Bandlaskop 125-ES1-300 met magnetische besturing



Figuur 9*: Doorlaat in drukvat



Figuur 10*: Oplassen van een inlet/outlet met een 30 mm band.



Figuur 11*: Slaklossing



Figuur 12*: Opgelaste bodem voor drukvat.

* Met dank aan Retco Oy en Technip Finland