

Verbinden van dunne plaat en buis

In deze publicatie wordt ingegaan op het verbinden van dunne plaat en buis met behulp van de diverse verbindingprocessen. Deze publicatie is er een uit een serie van vijf die naast deze algemene publicatie tevens vier verbindingstechnieken behandelen, zoals lassen (TI.03.14), lijmen (TI.03.15), mechanisch verbinden (TI.03.16) en solderen (TI.03.17).

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Verbindingstechnieken	1
	Lassen	2
	Solderen	2
	Lijmen	3
	Mechanisch verbinden	3
	Kosten van het verbinden	4
3	Ontwerpen voor verbinden	4
4	Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen voor het verbinden	6
	Voorbehandeling	6
	Vorbewerking	6
	Niet thermische scheidingstechnieken	6
	Thermische scheidingstechnieken	7
	Keuze van de scheidingstechniek	8
5	Keuze verbindingprocessen	8

1 Inleiding

Binnen de Nederlandse metaalverwerkende industrie is de afgelopen jaren een verschuiving gaande van het gebruik van dik naar dun materiaal. Dit is niet in de laatste plaats te wijten aan het teruglopen van activiteiten in vooral de maritieme sector (scheepsbouw, off-shore). Men schat in dat alleen al op jaarbasis (anno 2003) binnen Nederland aan ongelegeerde dunne- staalplaat ruim 500.000 ton wordt verwerkt; 10 jaar geleden was dit nog geen vijfde deel hiervan. Deze toename is met name te danken aan de transportsectoren en wordt veelal ingegeven door de wens te komen tot lichtere constructies. Verder mogen ook materialen als aluminium en roestvast staal zich verheugen in een toenemende belangstelling voor constructieve toepassingen binnen de Nederlandse industrie.

Voor het duurzaam verbinden van materialen is in de loop der tijd een groot aantal technieken ontwikkeld. Lassen, solderen, lijmen en mechanisch verbinden zijn de verbindingstechnieken die elk op hun eigen wijze een rol spelen in de huidige metaalverwerkende industrie.

Een aantal partijen heeft, ingegeven door behoefte vanuit de praktijk om te komen tot een overzicht van verbindingstechnieken, het initiatief genomen tot het opzetten van een aantal zogenaamde Tech-Info-bladen. In deze Tech-Info-bladen is een aantal van de meest voorkomende verbindingstechnieken die bij het MKB worden gebruikt, opgenomen. Hiernaast is een website opgezet waar gebruikers via het interactief invullen van een aantal vragen suggesties krijgen voor één of meerdere verbindingprocessen. Tevens is het mogelijk van elk verbindingproces verdere gegevens op te vragen met onder andere een korte omschrijving van het proces en de belangrijkste kenmerken.

Op dit moment zijn er vijf Tech-Info-Bladen beschikbaar, gericht op het verbinden van dunne (metaal)plaat of buis in dikten van 0,3 tot 3 mm:

- ▶ Verbinden van dunne plaat en buis.
- ▶ Lasprocessen voor dunne plaat en buis.
- ▶ Lijmprocessen voor dunne plaat en buis.
- ▶ Soldeerprocessen voor dunne plaat en buis.
- ▶ Mechanische verbindingprocessen van dunne plaat en buis.

In dit Tech-Info-blad (Verbinden van dunne plaat en buis) wordt een overzicht gegeven van de algemene

aspecten die van toepassing zijn voor alle genoemde verbindingstechnieken.

Dit geldt onder andere ten aanzien van de constructieve aspecten en het voorbereiden en behandelen voorafgaande aan het verbinden.

2 Verbindingstechnieken

Wanneer verbindingen worden toegepast vormen deze meestal een essentieel en veelal kritisch onderdeel van een product. De kwaliteit van de verbinding is dus bepalend voor het goed functioneren van een product. Materialen kunnen op veel verschillende manieren worden verbonden.

Belangrijk is hierbij een onderscheid te maken tussen de volgende combinaties van materialen:

- ▶ Metaal aan metaal verbindingen;
- ▶ Metaal aan niet-metaal verbindingen;
- ▶ Niet-metaal aan niet-metaal verbindingen.

De praktijk leert dat sommige verbindingstechnieken alleen geschikt zijn voor één van de hierboven genoemde combinaties, terwijl andere verbindingstechnieken uitstekend kunnen worden ingezet voor twee of zelfs voor alle drie de combinaties. Een veel gebruikte indeling voor de verschillende verbindingstechnieken is de volgende:

- 1. Thermisch verbinden**
Hiervan zijn de groepen lassen en solderen de belangrijkste representanten
- 2. Fysisch-chemisch verbinden**
Waarbinnen het lijmen de belangrijkste plaats inneemt
- 3. Mechanisch verbinden**
Hieronder vallen technieken als bout- en moerverbindingen, felsen, klinken en het drukvoegen.

In het kader van dit Tech-Info-blad is het onmogelijk om voor alle hierboven genoemde groepen en combinaties enerzijds en alle beschikbare verbindingprocessen anderzijds de mogelijkheden te bespreken. Er is dan ook een selectie gemaakt. De Tech-Info-bladen beperken zich tot de combinatie van metaal aan metaal verbindingen. Zelfs deze beperking levert nog zo veel mogelijkheden en varianten op, dat er ook ten aanzien van de keuze van de verbindingprocessen nog beperkingen moesten worden aangebracht.

Uitgangspunt was hierbij dat de verbindingstechnieken/processen die uiteindelijk zijn opgenomen minimaal 90% van de behoefte van de MKB bedrijven in Nederland moesten dekken. Dit heeft uiteindelijk geleid tot het opnemen van de volgende verbindingstechnieken in de Tech-Info-bladen:

- ▶ Lassen;
- ▶ Solderen;
- ▶ Lijmen;
- ▶ Mechanisch verbinden.

Binnen deze technieken zijn alle verbindingprocessen geselecteerd die geschikt zijn voor het verbinden van dunne plaat en buis in het diktebereik van 0,3 tot 3 mm.

Het verbinden van metalen

De keuze van het juiste verbindingproces is voor een constructeur niet altijd eenvoudig en vanzelfsprekend. Een veelheid aan factoren is van invloed op de juiste keuze van een verbindingproces. Keuzes worden

binnen bedrijven vaak gemaakt op basis van de ervaring die de constructeur heeft met de verschillende verbindingprocessen en de beschikbare verbindingprocessen binnen het bedrijf. Dit is op zich een goede uitgangspositie.

Nieuwe materialen en nieuwe verbindingprocessen maken echter dat deze wijze van kiezen ter discussie kan komen te staan, waardoor het niet meer zo vanzelfsprekend is, dat op deze manier tot een verantwoorde keuze kan worden gekomen. Indien men kennis heeft van andere technieken kan men nieuwe kansen creëren!

Hiernaast ontstaat er vanuit de organisatie een steeds grotere druk om efficiënter te produceren tegen lagere kosten. Investerings in nieuwe verbindingprocessen vormen niet langer een drempel, mits de kosten verlaagd en de kwaliteit verbeterd kunnen worden en liefst beiden. Voorwaarde is uiteraard wel dat de investering binnen een acceptabele tijd wordt terugverdiend. Het is echter kortzichtig te veronderstellen dat alleen met het in huis halen van een nieuw verbindingproces de zaak opgelost is. Vaak vraagt het toepassen van een nieuw verbindingproces om aanpassing van het ontwerp, terwijl het ook goed mogelijk is dat er logistieke aanpassingen in de productiewerkplaats of het hele bedrijf noodzakelijk zijn. Het is goed hier van tevoren terdege rekening mee te houden.

De keuze voor een bepaald verbindingproces lijkt ogenschijnlijk eenvoudig en is dit soms ook, zeker als het aantal keuzemogelijkheden beperkt is tot enkele verbindingprocessen. Lastiger wordt het als er meerdere verbindingprocessen bruikbaar zijn uit meerdere groepen van verbindingprocessen.

De veelheid aan verbindingprocessen enerzijds en aan te beschouwen criteria anderzijds maakt het vrijwel onmogelijk om rekening te houden met alle varianten.

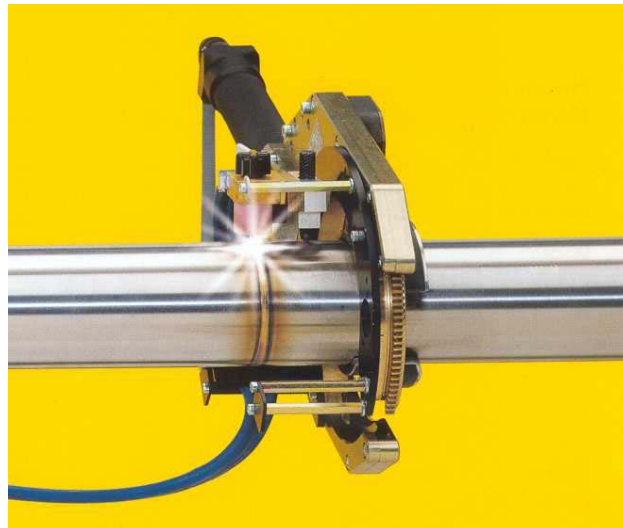
Soms is het mogelijk om op basis van de sterke en zwakke punten van de verschillende processen tot een globale keuze voor een specifieke groep van verbindingstechnieken te komen. Hierna worden kort enige kenmerken van de verschillende groepen van verbindingstechnieken besproken.

Lassen

Van alle verbindingstechnieken is het lassen in veel gevallen de verbindingstechniek met de laagste kosten per meter, ondanks het feit dat bij vrijwel alle lasprocessen het noodzakelijk is, speciale voorzieningen te treffen met betrekking tot de ARBO- en Milieu-aspecten. Kostenbesparend kan zijn dat veel lasprocessen eenvoudig te mechaniseren zijn (zie figuur 1).

Door middel van het lassen kunnen vrijwel alle metalen worden verbonden, zij het niet met alle lasprocessen. Dit maakt dat lassen een zeer veel gebruikte verbindingstechniek is voor het verbinden van dunne plaat en buis. Uit oogpunt van statische en dynamische sterkte is het lassen vaak een goede keuze; er komt een verbinding tot stand, die bij de meeste materialen vrijwel altijd een gelijke sterkte heeft als de te verbinden materialen. Een belangrijke beperking van lassen is, dat er tijdens het verbinden vrijwel altijd warmte in het materiaal wordt gebracht. De ingebrachte warmte kan aanleiding zijn tot het optreden van ongewenste vervormingen, maar ook, afhankelijk van de te verbinden metalen, tot een afname van de kwaliteit van de verbinding.

Bij het handmatig lassen is er vaak een grote mate van vakmanschap nodig om een goede verbinding tot stand te brengen. Hierdoor is de kwaliteit van de verbinding dus deels afhankelijk van het vakmanschap van de lasser. Een punt van zorg is het teruglopende aantal lassers met voldoende vakmanschap om het lassen handmatig goed te kunnen uitvoeren.



figuur 1 Het gemechaniseerd TIG-lassen van een pijp/pijpverbinding

Solderen

Ook bij het solderen wordt er warmte in de te verbinden materialen gebracht. Het verschil met het lassen is echter, dat de temperatuur waarbij de materialen worden verbonden, over het algemeen lager is dan bij het lassen; immers het soldeer heeft een lager smeltpunt dan de te verbinden materialen. Hier staat tegenover dat bij het solderen vaak een grotere oppervlakte moet worden verwarmd dan bij het lassen, omdat bij het lassen, wordt gebruikgemaakt van een veel geconcentreerder warmtebron.

Ook bij het solderen is het, evenals bij het lassen, mechanisch verbinden en lijmen, belangrijk dat het ontwerp is aangepast om te komen tot een optimale soldeerverbinding. Het ontwerpen van de verbinding met overlappen is bij op sterkte belaste constructies vaak een noodzaak.

Ook voor het maken van een goede soldeerverbinding is veel vakmanschap nodig. Mechanisatie van het solderen is echter voor sommige processen goed mogelijk, waardoor het proces minder mensafhankelijk wordt.

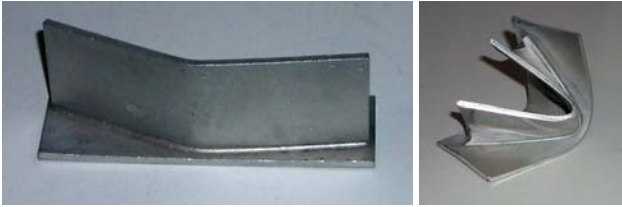
Het is het vrijwel altijd noodzakelijk de te solderen onderdelen goed voor te bewerken en te behandelen, omdat dit mede de kwaliteit van de soldeerverbinding bepaalt.

Bij het solderen kunnen, evenals bij het lassen en lijmen, vrijwel alle metalen worden verbonden (let op: niet met alle soldeerprocessen!). Door de capillaire werking van het soldeer is het mogelijk verbindingen op moeilijk bereikbare plaatsen in het werkstuk te maken.

Het solderen kan, afhankelijk van het gekozen soldeerproces, zowel statisch als dynamisch sterke verbindingen geven. Soms wordt het solderen, ten onrechte, in dit opzicht wel eens als inferieur gezien ten opzichte van het lassen. Zelfs met een voor het solderen oneigenlijke constructie is het nog mogelijk goede resultaten te behalen ten aanzien van de sterkte van de verbinding, zoals figuur 2 toont.

Het solderen geeft evenals het lassen een metallische verbinding, dat wil zeggen een verbinding met een goede elektrische- en warmtegeleidbaarheid. Er kunnen met het solderen evenals met het lassen en het lijmen vloeistof- en gasdichte verbindingen worden gemaakt.

Evenals bij het lijmen wordt er bij het solderen meestal gebruikgemaakt van overlapverbindingen. De spleet wordt hierbij volledig opgevuld door het soldeer, zodat er geen kans is op spleetcorrosie. Doordat een afwijkend



figuur 2 Vlamgesoldeerde verbinding in aluminium (stompe verbinding in aluminium - EN AW-1050). Na het solderen (links) en na het vervormen van het product (rechts)

toevoegmateriaal wordt gebruikt ten opzichte van de te verbinden metalen, is er wel kans op galvanische corrosie.

De meeste soldeerprocessen maken gebruik van vloeimiddelen. Voor het verwijderen van vloeimiddelresten is vaak een nauwkeurige nabehandeling of nabewerking noodzakelijk.

Lijmen

Het lijmen is evenals het lassen en het solderen een verbindingstechniek die een continue verbinding geeft, waardoor een regelmatige belastingoverdracht kan plaatsvinden. Hier komt nog bij dat een gelijmd verbinding tot stand komt zonder een wezenlijke beïnvloeding van de materiaaleigenschappen van de te verbinden delen. Als bij het lijmen warmte in het materiaal wordt gebracht (voor het uitharden), is de temperatuur hierbij echter zo laag, dat dit bij de meeste metalen geen teruggang van de sterkte geeft. Dit resulteert veelal in kwalitatief hoogwaardige verbindingen met een hoge statische- en vermoeiingssterkte. Een reden waarom deze techniek steeds meer wordt gebruikt binnen de automobiellindustrie (zie figuur 3).



figuur 3 Lotus Elise: verlijmd aluminium frame

Met het lijmen kunnen gas- en vloeistofdichte verbindingen worden gerealiseerd, indien de spleet tussen de te verbinden delen wordt opgevuld. Dit laatste is ook uit oogpunt van corrosie een voordeel.

Het lijmen kan uitstekend worden gecombineerd met drukvoegen. Hierdoor wordt enerzijds de sterkte van de verbinding verhoogd en anderzijds wordt op deze manier de te lijmen onderdelen gefixeerd tijdens het uitharden. Dit laatste is een noodzakelijke voorwaarde, omdat de meeste gelijmd verbindingen hun sterkte moeten verkrijgen door uit te harden bij kamer- of een verhoogde temperatuur.

Voor het maken van een goede lijmverbinding is, evenals dit bij veel andere verbindingstechnieken het geval is, vakmanschap nodig. Tevens is het noodzakelijk de te verbinden delen goed voor te bewerken en te behandelen. Als dit laatste niet zorgvuldig gebeurt, gaat dit bijna altijd ten koste van de kwaliteit van de lijmverbinding.

Een belangrijk voordeel van het lijmen is dat zeer eenvoudige verbindingen tussen ongelijksoortige materialen kunnen worden gemaakt; dit geldt voor metaal-metaal verbindingen, metaal aan niet-metaal verbindingen en voor niet-metaal aan niet-metaal verbindingen.

Evenals bij de andere verbindingstechnieken, geldt dat bij het ontwerp al rekening moet worden gehouden met het feit dat de onderdelen gelijmd moeten worden.

Mechanisch verbinden

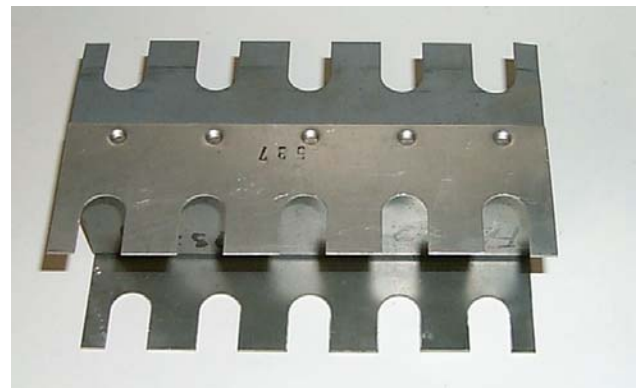
Bij het mechanisch verbinden zijn de verbindingen eenvoudig tot stand te brengen, zonder dat er veel vakmanschap voor nodig is. Dit maakt deze techniek minder mensafhankelijk. Ook is het mechanisch verbinden, evenals het lassen, eenvoudig te mechaniseren. De reproduceerbaarheid van de verbindingen is hoog voor, zowel het gemechaniseerd als het handmatig verbinden.

Een belangrijk voordeel van het mechanisch verbinden is, dat vrijwel alle metalen te verbinden zijn en dat op zeer eenvoudige wijze ook metalen aan niet-metalen kunnen worden verbonden, evenals metalen die zijn voorzien van deklagen.

Doordat er geen warmte in het materiaal wordt gebracht tijdens het mechanisch verbinden, worden de te verbinden onderdelen niet verder beïnvloed (verzwakt). De sterkte van de verbinding is over het algemeen vergelijkbaar met die van de sterkte van de te verbinden basismaterialen. Bij het drukvoegen, een steeds meer toegepast proces, moeten de te verbinden metalen voldoende vervormingscapaciteit hebben, om verbonden te kunnen worden.

Het mechanisch verbinden is een milieuvriendelijke verbindingstechniek, die voor de uitvoerende een beperkte belasting met zich meebrengt.

Een beperking van het mechanisch verbinden is, dat de verbinding altijd zichtbaar blijft (zie figuur 4). Dit maakt dat daar waar hoge esthetische eisen gesteld worden aan het uiterlijk van het product, mechanisch verbinden meestal niet kan worden toegepast. Voor niet-zichtdelen is er echter geen enkele belemmering om het mechanisch verbinden toe te passen.



figuur 4 Indrukkingen in productdelen, die zijn verbonden door middel van het drukvoegen

Een andere beperking van het mechanisch verbinden is, dat er bijna alleen overlapverbindingen kunnen worden gemaakt. Dit maakt dat er tijdens het ontwerp van het product al rekening moet worden gehouden met het feit dat de onderdelen mechanisch verbonden gaan worden. Hiernaast is het zo dat er altijd een spleet aanwezig blijft tussen de te verbinden delen. Dit is uit oogpunt van corrosie minder gewenst. Door het mechanisch verbinden te combineren met bijvoorbeeld het lijmen, kitten of solderen, kan de spleet worden opgevuld en spleetcorrosie op een effectieve manier worden voorkomen. Een andere mogelijkheid is het gebruik van rubber afdichtingen.

In veel gevallen is een voorbereiding noodzakelijk bij het mechanisch verbinden. Deze bestaat normaliter uit het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal.

Kosten van het verbinden

De keuze voor een verbindingstechniek wordt zowel gemaakt op technische als op economische gronden. De selectiemethodiek (op de Website) voorziet alleen in een technische selectie, omdat de kosten vaak zeer productspecifiek zijn. Dit geldt uiteraard niet voor de investeringskosten, deze zijn rechtstreeks gekoppeld aan het verbindingsproces of de gewenste uitvoering hiervan. Een generiek model voor het bepalen van productkosten is echter niet beschikbaar, omdat elk product zijn specifieke eisen en kenmerken kent. Het is aan de gebruiker om de kosten voor het productspecifieke deel zelf nader te beschouwen.

3 Ontwerpen voor verbinden

Bepalend voor het succes van de keuze voor een verbindingstechniek is, of er tijdens het ontwerp al rekening is gehouden met de toe te passen verbindingstechniek, met andere woorden of de constructie optimaal is aangepast aan de toe te passen verbindingstechniek. Het is meestal niet mogelijk een constructie, die bijvoorbeeld voor het mechanisch verbinden is geoptimaliseerd, met dezelfde efficiëntie te lassen of omgekeerd. Zondigen tegen deze grondregel verhindert een optimale inzet van de gekozen verbindingstechniek uit oogpunt van technische mogelijkheden en verhoogt bijna altijd de kosten voor de uitvoering en dus de totale productkosten.

Productiegericht ontwerpen staat dan ook in toenemende mate in de belangstelling. Het besef groeit, dat voor een werkelijk efficiënte productie nog een aanmerkelijke inspanning nodig is in het traject waar het product en de wijze van produceren worden gedefinieerd. Optimaliseren van de fabricage en montage begint dus al in de ontwerpfase. Een meer productiegerichte aanpak kan aanzienlijke kostenbesparingen opleveren. In veel gevallen wordt 60 tot 70% van de kostprijs van een product al vastgelegd in het ontwerp. De productie heeft vaak maar een marginale ruimte om de kosten te kunnen beïnvloeden. Door het gemakkelijk toegankelijk maken van kennis van (nieuwe) verbindingstechnieken of het hergebruiken van bestaande informatie, kunnen tijdens de ontwerpfase en de werkvoorbereiding de efficiëntie aanzienlijk verhoogd en dus de kosten verlaagd worden.

Het is voor de constructeur van groot belang bij te blijven ten aanzien van de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van nieuwe materialen en het verbinden hiervan. Het vakgebied "verbindingstechnologie" is voortdurend in beweging, waarbij de volgende aspecten kenmerkend en zelfs soms tegenstrijdig zijn:

- ▶ Ontwikkelingen op het gebied van nieuwe verbindingstechnieken (lassen, lijmen, mechanisch verbinden, solderen);
- ▶ Ontwikkelingen op het gebied van materialen, zoals kunststoffen, gelamineerde plaat, metallisch en niet-metallisch beklede plaat, vezelversterkte kunststoffen, hybride materialen (composiet materialen) en keramiek, 'complex phase' stalen, microgelegeerde staalsoorten, Bake Hardened (BH) staalsoorten, Dual Phase staalsoorten, TRIP staal, High Strength SS Superaustenieten, Duplex staal, enz.;
- ▶ Ontwikkelingen op het gebied van de scheidings- en omvormtechnologie; bijvoorbeeld het maken van lasersgesneden pen-gat/sleuf verbindingen als voorbereiding voor het lassen;
- ▶ De verschuivingen in toepassing van zwaardere naar steeds lichtere constructies; bijvoorbeeld constructies die zijn opgebouwd uit sandwich en hoogsterke materialen.
- ▶ Bij de materiaalselectie en selectie voor een verbindingsproces zal de recyclebaarheid van de producten

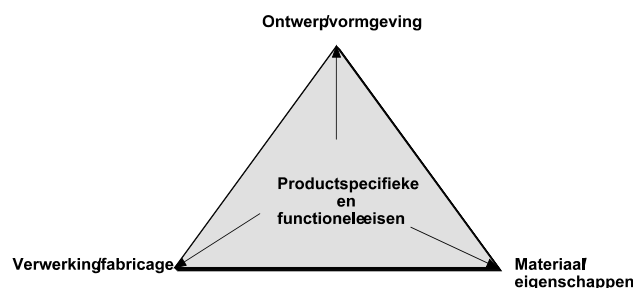
een steeds belangrijker plaats in gaan nemen (Design for Disassembly);

- ▶ Een veranderende ontwerpfilosofie; bijvoorbeeld het reduceren van het aantal onderdelen door DFA analyses (Design For Assembly);
- ▶ Het ontwerpen op maakbaarheid krijgt (terecht) in toenemende mate aandacht.

Om op al deze veranderingen in te kunnen blijven spelen, is het van toenemend belang, al in een zo vroeg mogelijk stadium van het ontwerp, de juiste afweging te maken ten aanzien van de keuze voor de meest geschikte verbindingstechniek. Een juiste afweging van verbindingstechnieken vraagt een systematische evaluatie van kenmerken, zoals belastbaarheid en bestendigheid van de verbinding in de constructie en productieconsequenties.

Het ontwerp start meestal vanuit de functionele eisen van het product.

Zijn eenmaal de productspecifieke of functionele eisen bekend, dan spelen voor de constructeur drie aspecten een doorslaggevende rol. Een en ander wordt schematisch weergegeven in de bekende driehoek (figuur 5).



figuur 5 Invloedsfactoren op het ontwerp van een product

In een vroegtijdig stadium moet al worden nagedacht over de toe te passen verbindingstechniek. Een ontwerper/constructeur ziet zich dus voor de vraag gesteld welke verbindingstechniek moet worden toegepast bij het maken van een (nieuwe) constructie en zal (vaak onbewust en iteratief) een gedachtegang doorlopen, zoals aangegeven in figuur 6.

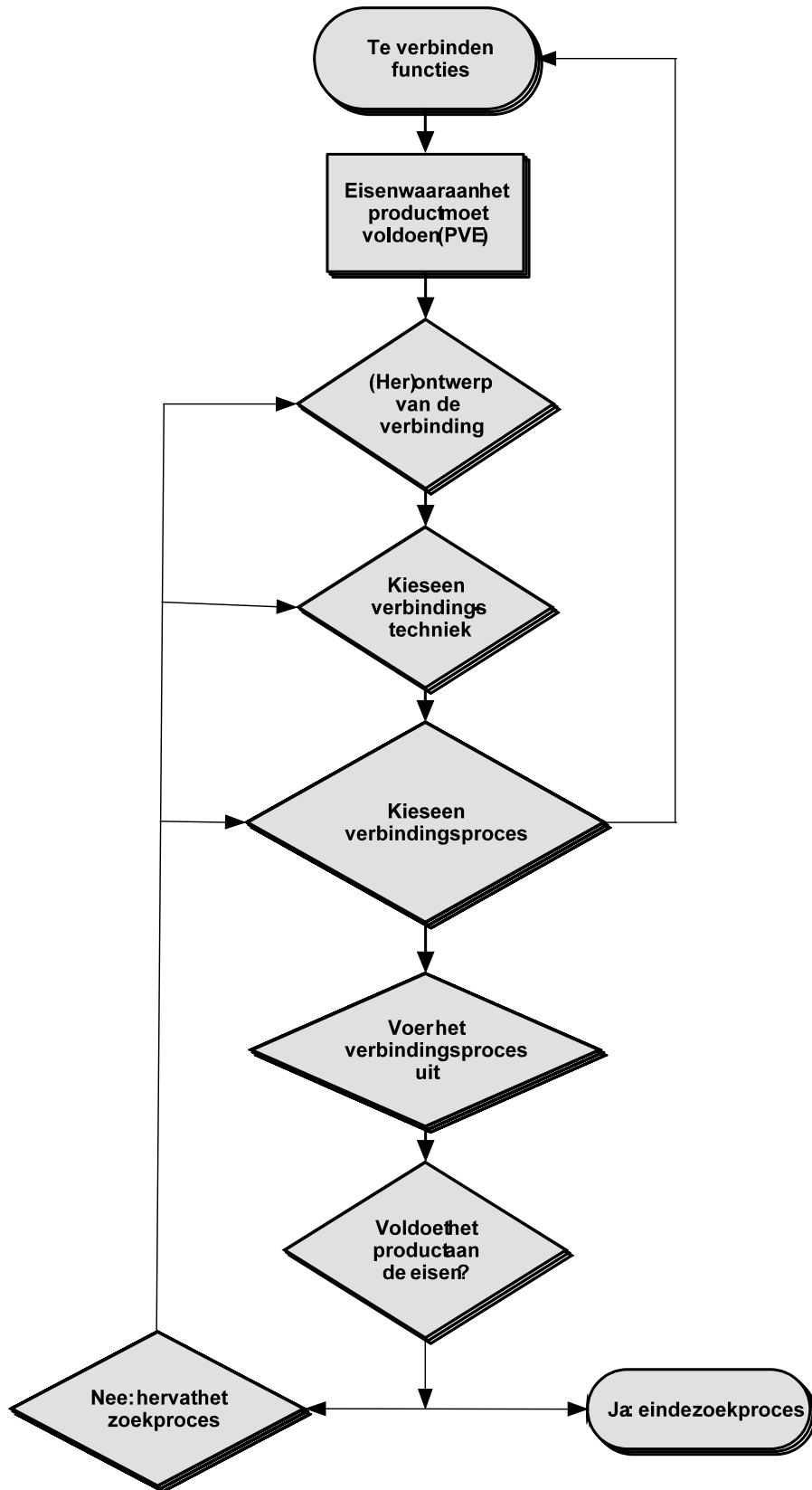
Een dergelijke gedachtegang zal zeker plaatsvinden indien de constructie wordt opgebouwd uit materialen, waarmee de constructeur weinig of geen ervaring heeft.

De wijze van aanbrengen of het tot stand komen van een verbinding hangt sterk af van de gekozen techniek in combinatie met de te verbinden materialen, de vorm, de aard en het toepassingsgebied van het eindproduct, de seriegrootte en de kostprijs. Voor verbindingsprocessen gelden dezelfde regels als voor andere productieprocessen ten aanzien van bijvoorbeeld de kwaliteit, kostprijs, uitvoerbaarheid, conserveerbaarheid, levensduur en integrale sterkte.

Bij het eerste conceptontwerp moeten deze elementen al aandacht krijgen, omdat al tijdens deze fase de basis voor de praktische uitvoerbaarheid en productkwaliteit wordt gelegd. Hierbij moet worden opgemerkt, dat vaak vele wegen leiden tot acceptabele oplossingen, die elk hun voor- en nadelen, kritische tijdpad én bijbehorende kosten hebben. Het is aan de ontwerper/constructeur om hieruit een gefundeerde keuze te maken.

Aandachtspunten vanuit het ontwerp

Hierna volgt een aantal aandachtspunten waarop moet worden gelet bij het ontwerpen van dunne plaatconstructies vanuit het oogpunt van verbinden. Het is belangrijk hierbij te beseffen, dat het rendement van de productie bij dunne plaat producten vaak niet wordt bepaald door de verbindingstijd, maar door de combinatie van de totale cyclustijd van een product en de reproduceerbaarheid van de verbinding.



figuur 6 Schematische weergave van de interactieve gedachtegang die een constructeur doorloopt bij de selectie van een verbindingproces

Productopbouw

Een product dat uit dunne plaat of buis is opgebouwd stelt vaak specifieke eisen aan het samenstellen.

Belangrijk hierbij zijn de volgende overwegingen:

- ▶ het verdient aanbeveling reproduceerbare referentiematen of een assenstelsel op te nemen in het product

- of de mal (dit verhoogt de nauwkeurigheid);
- ▶ de eisen die worden gesteld aan het eindproduct, moeten worden vertaald naar de eisen die aan het verbindingproces moeten worden gesteld; de eigenschappen van de gebruikte materialen en de eisen die moeten worden gesteld aan eventuele mallen;

- ▶ het gebruik van monodelen heeft vanuit productie-technisch oogpunt de voorkeur, aangezien deze:
 - eenvoudig te fixeren zijn in mallen;
 - logistiek eenvoudiger te verwerken zijn.
 Voorbeelden van monodelen zijn o.a.: pers-, zet- en kantbankdelen.

Vanuit de functionele eisen die aan het product worden gesteld en die de basis vormen voor het ontwerp, worden altijd afgeleide eisen gedefinieerd, die verder moeten worden ingevuld. Dit kunnen onder andere eisen zijn ten aanzien van het materiaal, de geometrie van de materialen (toleranties), de productvoorbewerking, en eisen aan bijvoorbeeld mallen.

4. Voorbehandeling en voorberekking van onderdelen voor het verbinden

Voorbehandeling

Afhankelijk van de te verbinden metalen kunnen de voorberekking en -behandeling verschillen. Uitgangspunt is altijd dat de te verbinden materialen metallisch blank en schoon moeten zijn. Dit houdt in, dat er geen vet, vuil en verf ter plaatse van de te verbinden delen aanwezig mogen zijn. Bij lijmen en mechanisch verbinden mag wel verf aanwezig zijn. Via deze technieken zijn ook voorgelakte platen te verbinden. Voor het reinigen van te verbinden delen zijn uitstekende middelen in de handel. Als er zich op de te verbinden delen een (dikke) oxidelaag bevindt (walshuid, roest, aluminiumoxide, enz.), dan moet deze altijd worden verwijderd, bij voorkeur door mechanische middelen als borstelen of slijpen.

Bij het borstelen is het gebruikelijk hiervoor een stalen borstel te gebruiken. Voor roestvast staal en non-ferro metalen moet echter altijd een roestvaststalen borstel worden gebruikt.

Het is aan te raden roestvaststaalborstels alleen maar voor één specifiek materiaal te gebruiken en niet onderling te wisselen voor de verschillende materialen in verband met het overdragen van deeltjes van het ene op het andere materiaal (contaminatie).

Met name bij het lijmen is het noodzakelijk een goede voorbehandeling van de te verbinden delen toe te passen, daar er anders een minder goede kwaliteit van de lijmverbinding ontstaat.

Bij het gebruik van elektrisch gereedschap (roterende borstels en schuur- of slijpschijven), moet de druk niet te hoog worden opgevoerd, omdat er anders aanloopkleuren kunnen ontstaan. Deze aanloopkleuren geven aan, dat er een verbrande oxidehuid is gevormd op het metaal. Met name bij roestvast staal is, ter plaatse van de aanloopkleuren, de corrosievastheid van het materiaal verminderd.

Afhankelijk van de toepassing kan het soms noodzakelijk zijn de gereinigde oppervlakken niet meer met blote handen of vuile handschoenen aan te raken, daar er dan weer vet op het oppervlak terecht kan komen.

Vorbewerking

Afhankelijk van de materiaalsoort, de materiaaldikte, de kwaliteitseisen, de belasting, enz. kan het noodzakelijk zijn de te verbinden delen (bijvoorbeeld bij het lassen) van een afschuiving te voorzien. De ervaring leert echter, dat dit zelden het geval is bij dunne plaat (≤ 3 mm). Dit wil echter niet zeggen dat er geen sprake is van een voorberekking van de te verbinden delen. Bij sommige verbindingprocessen is het van essentieel belang dat de te verbinden delen nauwkeurig zijn voorberekt. Er moet hierbij vaak een compromis worden gevonden tussen gewenste kwaliteit en de kosten van het aanbrengen. Meestal wordt ten aanzien van het voorbereken van de te verbinden delen onderscheid gemaakt tussen niet-thermisch (draaien, frezen, schaven, ponsen, nibbelen, knippen, zagen, boren en waterstraalsnijden) en ther-

misch voorbereken (autogeen snijden, plasmasnijden, lasersnijden).

Alle genoemde technieken zijn in principe geschikt voor het aanbrengen van rechte sneden in dunne plaat, buis of profiel. Opgemerkt moet echter worden dat het autogeen snijden pas vanaf ongeveer 3 - 4 mm mogelijk is (alleen voor ongelegeerd staal) en dus ongeschikt is voor het snijden van kleinere materiaaldikten.

Enkele voorberekkingstechnieken voor het voorbereken van plaat- en buisdelen zullen hierna kort worden besproken. Meer informatie op dit gebied is te vinden in de FME-CWM voorlichtingspublicaties [1].

Niet-thermische scheidingstechnieken

Niet-thermische scheidingstechnieken zijn technieken, waarbij geen warmte in het werkstuk wordt ingebracht. De materiaalkundige eigenschappen van het materiaal worden dus niet aangetast. Wel is het zo dat er vaak grote krachten op de te scheiden materialen worden uitgeoefend, waardoor een goede ondersteuning van de te scheiden materialen noodzakelijk is.

Ponsen en nibbelen

Ponsen en nibbelen zijn mechanische scheidingstechnieken, waarbij de scheiding tot stand komt door het afschuiven van materialen. Ponsen is een snel scheidingsproces, omdat in één keer de totale contour wordt gesneden.

Voor het ponsen is speciaal gereedschap en een pers nodig. Ten aanzien van het maken van vormspecifieke delen geldt bijvoorbeeld, dat er productgerichte snijstempels noodzakelijk zijn. Het ponsen en nibbelen geven over het algemeen ruwe oppervlakken met kans op microscheurtjes in het oppervlak. De maatvoering is beperkt, terwijl bij bijvoorbeeld het nibbelproces vaak ongewenste scherpe (gehakte) punten of ribbels aanwezig zijn, die later voor de nodige (stel)problemen kunnen zorgen.

De prijs van een pons- en nibbelsysteem is sterk afhankelijk van het type systeem en de bewegings- of manipulatie-apparatuur. De investeringen van een pons- en nibbelsysteem kunnen variëren tussen € 20.000,- voor een zeer eenvoudige tot ca. € 500.000,- voor geavanceerde systemen.

Waterstraalsnijden

Het waterstraalsnijden is ook een mechanisch proces, waarbij met name de materiaaldikte en hardheid bepalend zijn voor het snijgedrag en de kwaliteit van de snede. Bij het waterstraalsnijden wordt water onder een druk variërend tussen 500 en 5000 bar door een spuitmond met een doorlaatopening tussen 0,1 en 0,4 mm geperst. Voor het snijden van metalen die een grotere dikte hebben dan 0,05 mm, worden slijpstoffen aan het water toegevoegd om de abrasieve werking van het water te vergroten..

Voor dunne materialen (tot enige millimeters) is de snede nagenoeg recht, voor dikkere materialen begint de snede recht en wordt vervolgens enigszins conisch (divergerend). Hierbij heeft de ruwheid aan de bovenzijde van de snede een waarde van circa $Ra = 2$ à $3 \mu m$ en neemt toe tot $Ra = 5$ à $10 \mu m$ aan de onderzijde van de snede. In principe kan nagenoeg braamloos worden gesneden. Het waterstraalsnijden van dunne materialen kan bij onvoldoende ondersteuning van de productdelen problemen opleveren door de grote reactiekrachten van de waterstraal.

De breedte van de snede bedraagt voor zachte en dunne materialen, zonder toevoeging van abrasief ongeveer 0,1 mm. Bij dikkere materialen die met toevoeging van abrasief gesneden worden, varieert de snedebreedsheid tussen 1,5 en 2 mm. De nauwkeurigheid, die met het waterstraalsnijden kan worden bereikt, is zowel afhankelijk van de stabiliteit van de straal karakteristiek als

van de nauwkeurigheid van het bewegingssysteem. Een nauwkeurigheid van $\pm 0,05$ mm is realiseerbaar voor het snijden zonder abrasief en 0,1 mm voor het snijden met abrasief. Voor ongelegeerd staal en roestvast staal is de snijsnelheid ongeveer 750 mm/min voor 1 mm dikte.

De belangrijkste voordelen en beperkingen van het waterstraalsnijden worden aangegeven in tabel 1. Tevens is een vergelijking gemaakt ten aanzien van materialen die wel met behulp van het waterstraalsnijden kunnen worden gesneden, maar niet met het plasma- en lasersnijden; processen die voor het snijden van dunne materialen elkaars concurrenten zijn.

De prijs van een waterstraalsnijsysteem is sterk afhankelijk van de uitvoering met betrekking tot de waterdruk, toepassing van abrasief, waterbehandeling, manipulator, besturing, enz. De prijzen variëren tussen € 50.000,- voor een zeer eenvoudig tot ca. € 500.000,- voor een uitgebreid systeem.

Thermische scheidingstechnieken

Bij thermische scheidingstechnieken is sprake van warmte, die het moedermateriaal tot smelten brengt.

In principe zijn er drie basistechnieken ten aanzien van het thermisch snijden, die soms worden gecombineerd, te weten:

- ▶ sublimeersnijden (verdampen van het materiaal);
- ▶ smeltsnijden (smelten en wegblazen van het gesmolten materiaal);
- ▶ brandsnijden (verbranden en wegblazen van het gesmolten materiaal).

Plasmasnijden

Het plasmasnijden is ontwikkeld als snijproces voor metalen, waarvan het smeltpunt lager ligt dan dat van zijn oxiden zoals roestvast staal, aluminium, koper, enz. Het principe van het plasmasnijden is voornamelijk gebaseerd op smelten en wegblazen van het materiaal en niet op het verbranden. Om een plasmaboog te creëren wordt eerst een niet-overgedragen hulpboog gestart door middel van een hoogfrequente hulpspanning. De overgedragen plasmaboog bestaat uit een elektrische boog met een hoge energiedichtheid en hoge boogtemperatuur (ca 24.000°C). Deze (ingesnoerde) plasmaboog zorgt ervoor, dat er metalen kunnen worden gesneden. Bij het plasmasnijden zorgt een aparte gasstroom (transportgas) ervoor, dat het vloeibare materiaal (de eigenlijke snede) wordt weggeblazen. De transportgasen kunnen bestaan uit (mengsels van) stikstof, lucht of zelfs zuivere zuurstof.

Bij de vorming van de plasmaboog wordt er veel UV-straling opgewekt. Andere typische problemen bij het plasmasnijden zijn lawaai en microstof (arbo-onvriendelijke, zeer fijn verdeelde metaaldeeltjes en oxiden). Door het injecteren van water rondom de plasmaboog (hiervoor is speciale snijkop nodig) kan deze boog verder geconcentreerd.

De reden voor het toepassen van dit proces is het streven naar een nog smallere en energierijkere plasmaboog met als voordelen weinig (plaat)vervorming, minder lawaai en minder emissie. Het plasmasnijden met waterinjectie wordt vooral toegepast voor dunne plaat.

Er kan zelfs onder water worden plasmagesneden, wat eveneens aantrekkelijk is bij dunne plaat (weinig vervormingen) en weinig stof, straling en geluid veroorzaakt. Momenteel wordt het plasmasnijden steeds vaker gebruikt voor het snijden van dunne plaat en buis. Er kunnen met het plasmasnijden metalen worden gesneden vanaf circa 1 mm materiaaldikte.

De prijs van een plasmasnijsysteem is sterk afhankelijk van het type systeem en de eventuele bewegings- en manipulatie-apparatuur. De investeringen van een plasmasnijsysteem variëren van € 10.000,- voor een eenvoudig tot ca. € 50.000,- voor een uitgebreid systeem.

Lasersnijden

Bij het lasersnijden wordt een geconcentreerde lichtbundel van één golflengte (monochromatisch) opgewekt. Op de plaats waar moet worden gesneden, wordt de bundel via lenzen gefocuseerd, waardoor er een zeer hoge energiedichtheid 10^7 W/cm² kan worden bereikt. Deze energie wordt op het materiaaloppervlak omgezet in geconcentreerde warmte. Met dezelfde laserbundel kan zowel gelast als gesneden worden. Het type laser bepaalt welke materialen kunnen worden gesneden. Het lasersnijden kan met alle processen worden uitgevoerd: verdampen, smelten en verbranden, ofwel sublimier-, smelt- en brandsnijden.

Er is momenteel een tweetal typen lasers geschikt voor het snijden van metalen: de CO₂ laser en de Nd:YAG-laser. Beiden hebben hun specifieke voor- en nadelen. De gebruiker kiest op basis van de te snijden materialen, of andere overwegingen voor een specifiek type laser. Belangrijke voordelen van het lasersnijden zijn onder andere:

- ▶ weinig warmte-inbreng;
- ▶ hoge snijsnelheden bij dunne plaat;
- ▶ een kleine snijvoeg (< 0,1 mm);
- ▶ het snijden van contouren vormt geen probleem;
- ▶ specifiek geschikt voor het snijden van dunne plaat en buis.

tabel 1 Voor- en nadelen van het waterstraalsnijden en de belangrijkste verschillen met lasersnijden

Voordelen waterstraalsnijden	Beperkingen	Wel snijbaar met water, echter niet met plasma	Wel snijbaar met water, echter niet met laser
contactloos proces	mondstukslijtage bij het snijden met abrasief (korte standtijd)	gelamineerde materialen	gelamineerde materialen
geen warmteontwikkeling	'nat' proces	vezel-versterkte kunststoffen	vezel-versterkte kunststoffen
geen vervorming	grote investering	hybride materialen (composieten)	hybride materialen (composieten)
geen rook- of stofproductie	snijsnelheid is langzamer naarmate het materiaal harder is	poreuze materialen	poreuze materialen
CNC-proces dus eenvoudig te programmeren	goede ondersteuning van de productdelen bij dunne plaat noodzakelijk		metalen met grote dikte (> 50 mm) te snijden
geen beperkingen ten aanzien van het soort materiaal			hoogreflecterende metalen
gering materiaalverlies door smalle snede (snede 0,1 – 2 mm)		diverse kunststoffen, incl. rubber	diverse kunststoffen, incl. rubber

Hiernaast zijn er uiteraard ook beperkingen waaronder:

- ▶ hoge investering noodzakelijk;
- ▶ opharden van de gesneden kanten (staal);
- ▶ uitgebreide veiligheidsvoorzieningen noodzakelijk.

Het lasersnijden verkeert, ten aanzien van het snijden van dunne plaat, in een constante concurrentie met het plasmasnijden en het waterstraalsnijden. Het grote voordeel van het laatste proces is de betrekkelijk geringe investering die noodzakelijk is ten opzichte van het lasersnijden.

De prijs van een lasersnijsysteem is sterk afhankelijk van het type laser en de bewegings- c.q. manipulatie-apparatuur. De investeringen van een laser, inclusief veiligheidsvoorzieningen variëren van € 100.000,- voor een zeer eenvoudig tot ca. € 1.000.000,- voor een uitgebreid systeem.

Op het gebied van laserbewerkingen is een aantal voorlichtingspublicaties uitgegeven door de Vereniging FME-CWM

Keuze van de scheidingstechniek

Uitgangspunt bij de keuze van een scheidingstechniek vormt de productspecificatie met de eisen betreffende de toe te passen materialen, de vorm- en maatnauwkeurigheden en de kwaliteit van de snijkanten. Na de selectie van de in aanmerking komende scheidingstechnieken op basis van deze eisen, vindt de definitieve keuze plaats op basis van een economische afweging. Ten aanzien van de technische aspecten spelen de volgende selectiecriteria een belangrijke rol:

- ▶ de materiaalsoort;
- ▶ de materiaaldikte;
- ▶ de vorm van de snede: rechte of gebogen lijnen;
- ▶ de geëiste nauwkeurigheid.

Ten aanzien van de economie spelen onder andere een belangrijke rol:

- ▶ de investering (apparatuur, veiligheidsvoorzieningen, voorzieningen ten behoeve van arbo en milieuzorg);
- ▶ de operationele kosten (mens, apparatuur);
- ▶ de kosten van slijtdelen.

De technische keuze is in veel gevallen eenvoudig te maken. De economische aspecten kunnen eveneens vaak betrekkelijk eenvoudig worden doorgerekend aan de hand van bijvoorbeeld de investeringskosten, de seriegrootte en de gewenste kwaliteit van de gesneden onderdelen. Voor een aantal bewerkingsprocessen is er een duidelijke overlap in toepassing. Dat betreffen het pons-nibbelen, plasmasnijden, lasersnijden en waterstraalsnijden voor de kleinere materiaaldikten.

5. Keuze verbindingssystemen

Geen enkel verbindingssystem is geschikt voor alle toepassingen, daarvoor lopen de toepassingen eenvoudigweg veel te ver uiteen. Er moet dus altijd een keuze worden gemaakt voor een specifiek verbindingssystem, gebaseerd op de te verbinden onderdelen en kwaliteitseisen. Technische aspecten als te verbinden materialen, materiaalafmetingen, toelaatbare toleranties zijn belangrijke criteria voor de selectie van het juiste verbindingssystem. Ook de kosten van de investeringen en uitvoering bepalen in belangrijke mate de processelectie.

Om het juiste verbindingssystem te kunnen kiezen, zijn dus selectiecriteria nodig. De geroutineerde werkvoorbereider kiest een verbindingssystem op basis van zijn ervaring. Meestal kiest hij uit de in het bedrijf beschikbare mogelijkheden. Dat houdt het gevaar in dat hij niet op de hoogte is van betere mogelijkheden bij anderen (uitbesteden) of met de nieuwere apparatuur op de markt (investeren).

Een andere, door de historie gegroeide beperking is vaak, dat iemand alles weet van bijvoorbeeld mechanische verbindingssystemen en weinig van bijvoorbeeld het

lijmen of omgekeerd. Dat is meestal afhankelijk van de aard van het bedrijf waarin men werkzaam is (bedrijfsblindheid).

In het kader van het in de inleiding genoemde FME-CWM project, is een eerste opzet gemaakt van een keuzemethodiek voor het selecteren van een verbindingssystem voor dunne plaat, aan de hand van door de gebruiker in te geven selectiecriteria.

'Dunne Plaat Online'

De website 'DunnePlaat-Online' is ontstaan uit de behoefte om de keuzeproblematiek op een duidelijke en toegankelijke manier beschikbaar te stellen aan het MKB. De website is bereikbaar vanuit de websites van een aantal van de deelnemende partners in het project waaronder: FME-CWM, FDP en NIL.

Bij binnenkomst op www.dunneplaat-online.nl ziet men het bovenstaande schermbeeld. Naast de tekst is direct de menu-structuur zichtbaar, die tijdens het gehele verdere selectieproces zichtbaar en dus bruikbaar blijft.

Het menu bestaat uit achtereenvolgens:

Home

Hiermee keert men telkens weer terug naar de homepage van waaruit men kan beginnen (zie figuur 7).



figuur 7 Homepage van www.dunneplaat-online.nl

Waarom deze site?

Onder deze knop wordt u kort op de hoogte gesteld van de achtergrond van het project waarin uiteindelijk deze keuzemethodiek tot stand is gekomen.

Proceskeuze

Onder deze knop treft u een zoekprogramma aan, dat u ondersteunt in het selecteren van mogelijk geschikte verbindingstechnieken, echter voorafgegaan door een korte gebruiksaanwijzing.

Na lezing hiervan (of direct), kunt u door naar de werkelijke keuzesystematiek door op de tekstbutton 'Naar het programma voor de proceskeuze' te klikken.

Na akkoord gegaan te zijn met de voorwaarden komt u in het selectiescherm.

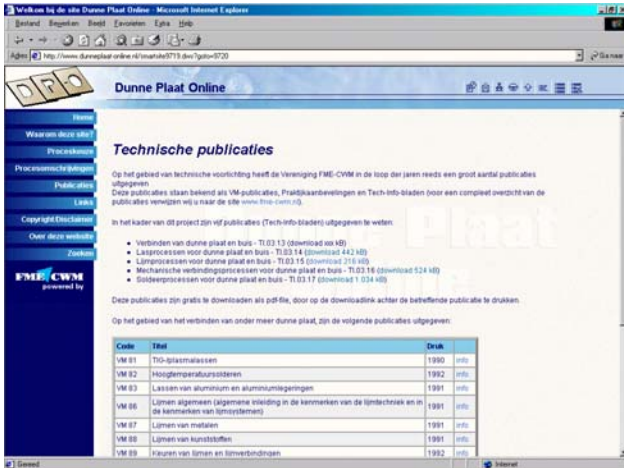
Procesomschrijvingen

Onder de knop 'procesomschrijvingen' treft u een totaaloverzicht aan van de processen en procesvarianten die onder voorwaarden kunnen worden toegepast bij het verbinden van dunne plaat. Het zijn er voorlopig 146, alfabetisch gerangschikt per hoofdgroep.

Een druk op de knop 'info' achter het betreffende proces brengt u gedetailleerde informatie over het betreffende proces. Deze informatie krijgt u ook te zien als u via de keuzematrix op de gesuggereerde processen drukt.

Publicaties

Als u naar deze pagina gaat (zie figuur 8), treft u naast een verwijzing naar een vijftal publicaties die in het kader van dit project zijn vervaardigd en als pdf-files zijn te downloaden, tevens een lijst van publicaties aan, die belangrijke informatiebronnen vormen bij uw definitieve keuze. Zij bieden de mogelijkheid tot nog meer informatie over de wellicht door u al geselecteerde verbindingsprocessen voor uw onderhavige product.



figuur 8 Pagina met overzicht van publicaties

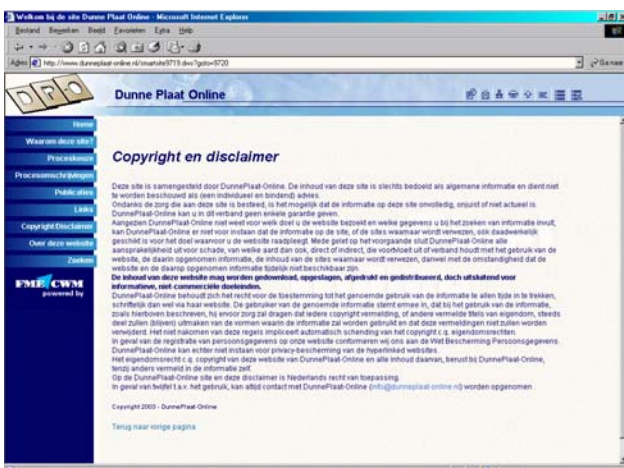
Links

Onder de knop Links gaan belangrijke internetadressen schuil, waar u meer informatie op verschillende vakgebieden kunt vinden. Heeft u een selectie van een of meer verbindingsprocessen gemaakt, dan kunt u bij de gelinkte organisaties meer informatie of nadere detaillering van uw keuze verkrijgen.

Copyright/disclaimer

Het mag duidelijk zijn dat het projectteam dat deze informatie samenstelde nooit de verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke keuze op zich kan nemen. Daarvoor zijn er nog te veel factoren in het spel die niet op afstand zijn in te schatten.

De juridische verklaring hiervan treft u onder deze knop aan, maar die komt u ook tegen voordat u het keuze-programma gaat gebruiken (zie figuur 9).



figuur 9 Pagina met disclaimer

Over deze website

Onder deze knop vind u een aantal algemene gegevens, zoals een verklaring van de navigatieknoppen boven in de pagina, de ideale resolutie om het een en ander te

bekijken, het adres om uw op- en aanmerkingen naar toe te sturen, een link naar Acrobat Reader om de pdf-files te kunnen lezen en nog een korte disclaimer.

Zoeken

Via deze knop komt u in een zoekvenster, waarmee u naar woorden en woordcombinaties kunt zoeken op de site.

De keuze van een verbindingsproces

De werkwijze die u moet volgen om een eerste resultaat van een selectie te verkrijgen, is eenvoudiger dan u denkt. Onder de koppen:

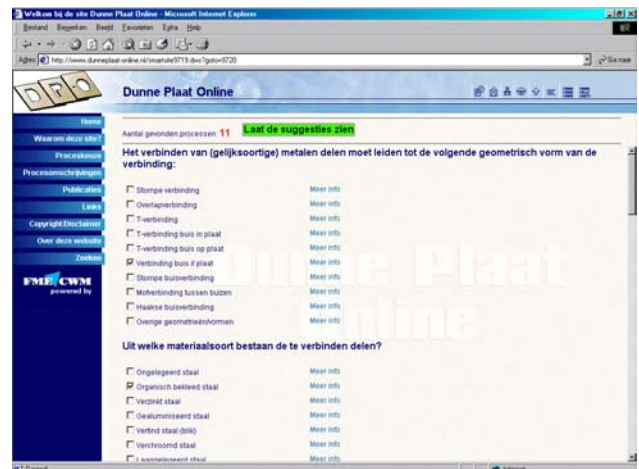
"Het verbinden van (gelijksortige) metalen delen moet leiden tot de volgende geometrisch vorm van de verbinding:";

"Uit welke materiaalsoort bestaan de te verbinden delen?"

"Moet de verbinding losneembaar zijn?";

"Wat is de gebruikstemperatuur van de verbinding?"

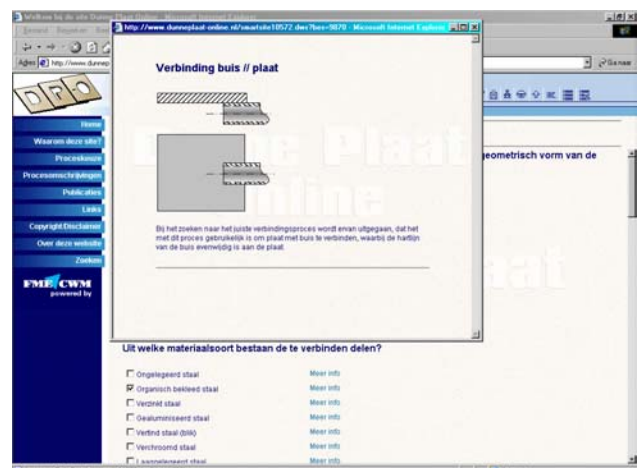
en *vele andere selectiecriteria*, kunt u een keuze maken, door deze aan te vinken met uw muis (zie figuur 10).



figuur 10 De vragenpagina waarin u kunt selecteren

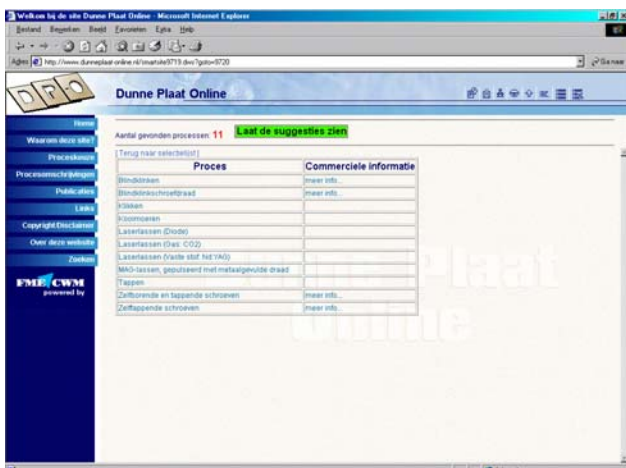
leder keer als u een keuze maakt, ziet u aan de bovenzijde achter "Aantal gevonden processen" het aantal processen, waarmee u de bewuste verbinding kunt maken.

Onder de tekst "meer info" treft u veelal verduidelijkende schermen aan voor de uitdrukkingen die ervoor staan. Wanneer men bijvoorbeeld bij een kenmerk niet weet wat er precies mee wordt bedoeld, kan worden doorgeklikt, waarna bijvoorbeeld ten aanzien van het kenmerk 'T-verbinding buis in plaat' het scherm in figuur 11 zichtbaar wordt.



figuur 11 Verduidelijking 'T-verbinding buis in plaat'

Indien u een overzichtelijk aantal suggesties heeft, kunt u gaan kijken welke processen dit zijn. Dit doet u door op de button 'Laat de suggesties zien' te drukken. U krijgt dan een overzicht van de voorgestelde processen in tabelvorm te zien (zie figuur 12).



figuur 12 Overzicht van voorgestelde processen

Door op het proces van uw keuze te drukken, kunt u meer achtergrondgegevens van het betreffende proces bekijken (figuur 13), inclusief een overzichtstabel onderaan de pagina (figuur 14). U kunt deze eventueel uitprinten. Achter sommige processen staat de opmerking "meer info". Deze linkt dan door naar een pagina waarin links aanwezig zijn naar bedrijven die zich op het gebied van het betreffende proces begeven.



figuur 13 Voorbeeld van een procesomschrijving

Overzichtstabel		
	Blindklinken	
	Lijneembaarheid	niet toeneembaar
Varianten	Multigereedschappen	multigereedschappen zijn nodig
	Elektrische isolatie verbinding	nee
	Thermische isolatie verbinding	nee
Productorn	Plaat aan plaat	geschikt, maar niet voor sluiting of T-verbinding
	Plaat aan buis	alleen langverbinding mogelijk
	Buis aan bus	niet geschikt
Automatiseren	Handmatig	mogelijk
	Compartimeent	mogelijk
	Ongeopereerd staal	geschikt
Materiaal	Beveeld metaal	geschikt
	Laaggelegeerd staal	geschikt
	Aluminium 6063	geschikt
	Aluminium	geschikt
Vraag	Koper	geschikt
	Voorbehandeling	geen voorbehandeling nodig
	Voorbewerking	geen aanbrengen noodzakelijk
	Hoopspanningsafbrekende	geen kritische parameter
Toleranties	Tolerantie op voorbewerking	0 tot 0,25 mm
	Eenzijdige pakafstand	0,35 mm tot 5,2 mm
	Verbonden van meer dan 2 lagen	mogelijk
	Tolerantie op pakafstand 2, 10 %	tot 10 % variabele goede verbinding mogelijk
Apparatuur	Manipuleerbaar	ja
	Versterking	tot 6 10.000
	Zuidelijke verbinding	ja, veld
Kwaliteit	Zuidelijke verbindingen door verbinden	nee
	Verbindingssterkte	gelijk of beter t.o.v. uitgangsmateriaal
	Compingeenschappen	gelijk of beter t.o.v. uitgangsmateriaal
	Handmatig reproduceerbaar	goed
	Demachinesend reproduceerbaar	goed
	Inspectiebaarheid verbinding	goed visueel te beoordelen
Compatibiliteit verbinding	gelijk aan uitgangsmateriaal	
	Printen of gepersoniseerde lijsten of na het verbinden	nee

figuur 14 Overzichtstabel aan het einde van de procesbeschrijving

Auteurs

Deze voorlichtingsbrochure is tot stand gekomen, middels een samenwerkingsverband van de Federatie Dunne Plaat FDP), het Hechtingsinstituut, het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL), het Netherlands Institute for Metals Research (NIMR), Syntens, TNO Industrie en de Vereniging FME-CWM.

De auteurs, H.J.M. Bodt LPI (NIL) en A. Gales (TNO Industrie) werden ondersteund door een werkgroep bestaande uit: P. Boers (FME-CWM), H. de Kruijk (TNO Industrie), M. de Nooij (TNO Industrie), H. Poulis (Hechtingsinstituut), J. van de Put (Syntens) en H.H. van der Sluis (adviseur TNO Industrie).

Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteurs A. Gales (tel.: 040-2650247, e-mail: a.gales@ind.tno.nl) en H.J.M. Bodt LPI (tel.: 071-5601079, e-mail: bodt@nil.nl).

Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info-bladen:

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX ZOETERMEER
Correspondentie-adres: Postbus 190,
2700 AD ZOETERMEER
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41
Fax: (079) 353 13 65
E-mail: pbo@fme.nl
Internet: <http://www.fme-cwm.nl>

Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

Adres: Krimkade 20,
2251 KA VOORSCHOTEN
Telefoon: (071) 560 10 70
Fax: (071) 561 14 26
E-mail: info@nil.nl
Internet: <http://www.nil.nl>

© Vereniging FME-CWM/mei 2003

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
afdeling Technische Bedrijfskunde
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: pbo@fme.nl
internet: <http://www.fme-cwm.nl>



Netherlands Institute
for Metals Research

