

In deze publicatie wordt ingegaan op het verbinden van dunne plaat en buis met behulp van diverse mechanische verbindingprocessen. Deze publicatie is er een uit een serie van vijf die naast de algemene publicatie (TI.03.13) tevens drie andere verbindingstechnieken behandelen, zoals lassen (TI.03.14), lijmen (TI.03.15) en solderen (TI.03.17).

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Indeling en kenmerken van mechanische verbindingen	1
3	Kiezen van het juiste verbindingproces	3
4	Construeren met het oog op mechanisch verbinden	3
5	Verbindingsvormen	4
6	Voorbehandeling en voorbewerking van onderdelen	4
7	Nabewerking en nabehandeling na het mechanisch verbinden	5
8	Apparatuur voor mechanisch verbinden	5
9	Mechanisch verbinden van dunne materialen	6
10	Toevoegmaterialen	6
11	Losneembaarheid	6
12	Automatiseren van mechanisch verbinden	7
13	Economische aspecten	7
14	Kwaliteitsaspecten bij mechanisch verbinden	8
15	ARBO en milieu	8

1 Inleiding

Veel mechanische verbindingstechnieken die nu industrieel worden toegepast voor het onderling verbinden van metalen platen, vinden hun oorsprong in de houtbewerking van de afgelopen eeuwen. Uitzonderingen zijn natuurlijk technieken als drukvoegen en felsen; de plastische vervorming die men het materiaal hierbij oplegt, is in hout niet te realiseren.

Mechanische verbindingen worden veel toegepast in bijvoorbeeld de kantoormeubelindustrie, de vliegtuigbouw en de automobiellindustrie.

De groep "mechanische verbindingen" omvat een grote diversiteit aan technieken. Bij deze technieken staat de mechanische bewerking, die nodig is om de verbinding tot stand te brengen, centraal. Bij veel verbindingstypen is het nodig om een gat in het plaatmateriaal aan te brengen. Dit kan gebeuren door middel van boren, laseren (lasersnijden) of ponsen. Het boren van gaten is een relatief goedkope techniek, die echter meer tijd per aan te brengen gat vergt dan beide andere technieken. Na het boren is het vaak van belang de gevormde spaantjes van het plaatmateriaal te verwijderen, omdat deze de kwaliteit en bijvoorbeeld de corrosiebestendigheid van de verbinding negatief beïnvloeden. Een zelfde argumentatie geldt voor het verwijderen van de braam die bij het ponsen van het gat vaak ontstaat. Ponsen geldt ook als een relatief goedkope techniek, dit in tegenstelling tot het lasersnijden van gaten.

De mechanische bewerking die moet worden uitgevoerd, kan dus het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal zijn, het aandraaien van een schroef, bout of moer, het vormen van een felsrand of lip, het plastisch omvormen van het materiaal bij het maken van een drukvoeg of het aanbrengen van een tapdraad in het plaatmateriaal.

Mechanische verbindingen zijn vaak met relatief eenvoudige middelen aan te brengen. Doordat er in de meeste gevallen geen warmte in het materiaal wordt ingebracht, ontstaan er geen thermische restspanningen. Door de krachten die men het materiaal soms oplegt, kunnen er wel blijvende spanningen in het materiaal optreden.

In het verleden lag bij productontwerp de nadruk vaak op het zogenaamde 'design for assembly'; de laatste

jaren legt men ook steeds meer nadruk op 'design for disassembly'. Het grote voordeel van mechanische verbindingen is, dat bij veel verbindingstechnieken het geheel losneembaar, en dus te 'disassembleren', is.

Hoewel de plaatdiktes die in de (Nederlandse) industrie worden gebruikt zeer uiteenlopen, concentreert deze publicatie zich op plaatmateriaal in het diktegebied van 0,3 tot 3 mm; een werkgebied waarop in de plaatverwerkende industrie grote nadruk ligt.

In het ontwerpstadium wil men kunnen beschikken over richtlijnen voor het maken van keuzen van toe te passen mechanische verbindingstechnieken in afhankelijkheid van de producteisen en toe te passen metalen of combinaties van metalen. Deze publicatie vormt hiertoe een inleiding.

2. Indeling en kenmerken van mechanische verbindingen

Verbindingstechnieken worden normaliter in drie hoofdgroepen ingedeeld, deze zijn het zogenaamde materiaalverbinden, vormverbinden en objectverbinden.

De mechanische verbindingwijzen behoren tot deze laatste twee hoofdgroepen. Vormverbinden is het verbinden van twee of meer elementen, waarbij de verbinding middels de vorm tot stand komt. Voorbeelden hiervan zijn klik- of snapverbindingen, lipverbindingen en felsverbindingen.

Objectverbinden is het verbinden van twee of meer elementen of het aanbrengen van een verbindingsof bevestigingsmogelijkheid met behulp van een object, waarmee met het object wordt bedoeld "het middel waarmee". Hiertoe behoren bijvoorbeeld schroefverbindingen, bout-moerverbindingen en blindklinknagels.

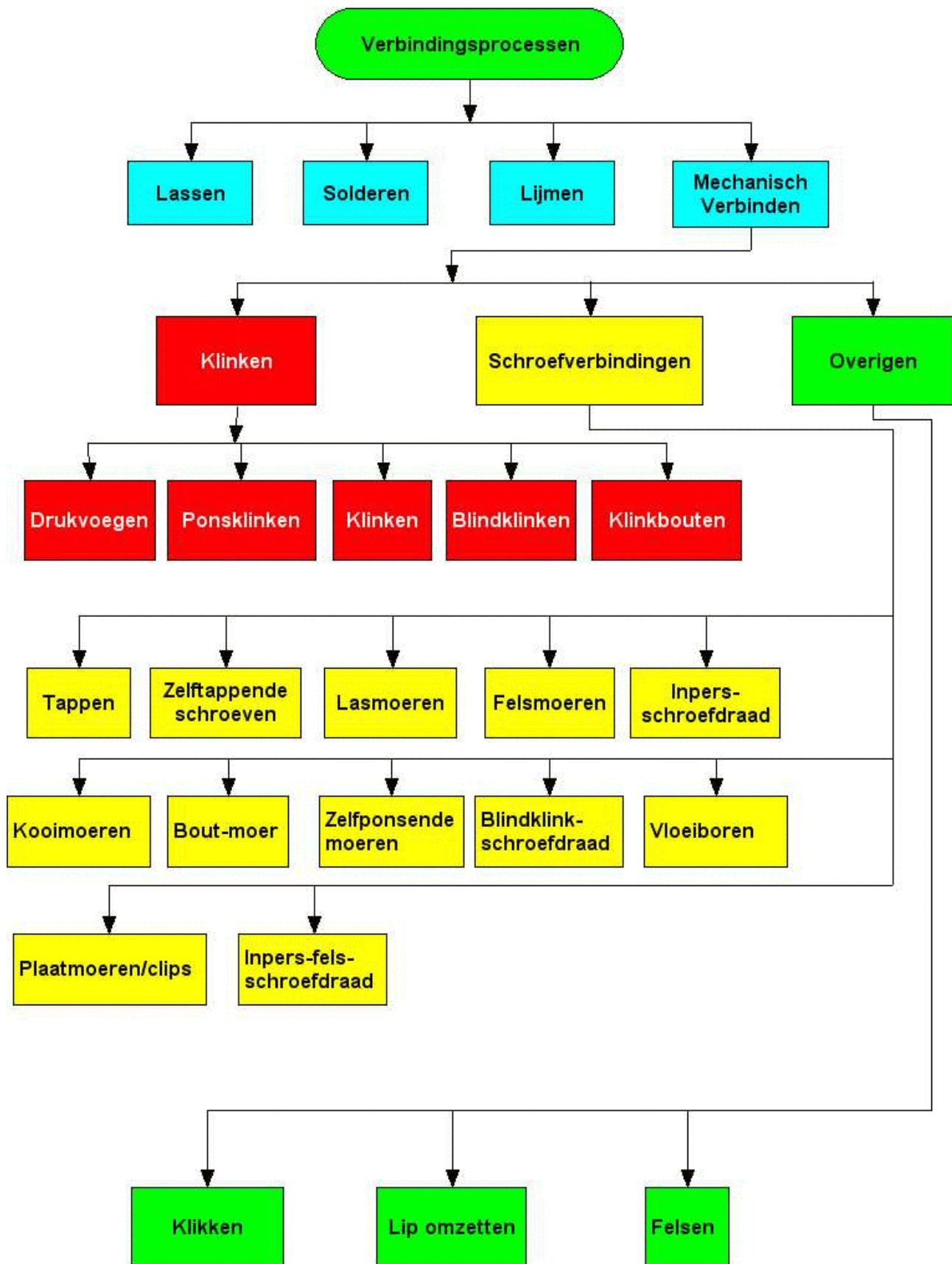
Bij de meeste typen mechanische verbindingen is bij het aanbrengen geen sprake van warmte-inbreng in het materiaal. Zeker bij organisch bekleed materiaal is dit een groot voordeel; hoge temperaturen kunnen de kwaliteit en functionaliteit van de beschermende laag ernstig aantasten. Uitzonderingen zijn de lasmoeren en het vloeiboren.

Bij verschillende mechanische verbindingwijzen is de verbinding blind tot stand te brengen; dit betekent dat het gereedschap het plaatmateriaal slechts aan één zijde hoeft te naderen.

Een nadeel van mechanische verbindingen is hun uiterlijk; de verbinding is altijd zichtbaar. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de bout-moerverbinding.

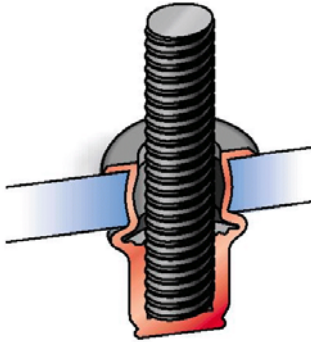
Mechanische verbindingwijzen worden onderverdeeld in drie categorieën: klinken, schroefverbindingen en overigen. De indeling voor deze verbindingprocessen is weergegeven in figuur 1. Een beschrijving van de genoemde processen is te vinden op de website "www.dunneplaat-online.nl" bij "Procesomschrijvingen".

Bij klinken wordt altijd een plastische vervorming aan een deel van de constructie opgelegd. Dit is meestal de nagel die de delen verbindt, soms ook echter het plaatmateriaal. Klinkverbindingen zijn in principe niet losneembaar.



figuur 1 Indeling mechanische verbindingen

Bij schroefverbindingen staat het deel “schroefdraad” (zie figuur 2) centraal. In een aantal gevallen wordt er schroefdraad getapt of gerold in het plaatmateriaal zelf, waardoor het verbindende element (bout) in het materiaal gezekerd zit. In andere gevallen wordt er geen schroefdraad in het materiaal aangebracht. Hierbij is het verbindende element ook de schroefdraad (bout-moer combinatie); duidelijk is echter dat de verbindingen van de eerste groep meestal sterker zijn. Verbindingen gebaseerd op het schroefdraadprincipe zijn in veel gevallen losneembaar; er zijn echter uitzonderingen.



figuur 2 Schroefdraadelement

Onder de categorie “overigen” vallen klikken, lip omzetten en felsen. Er zijn nog meer technieken die hier kunnen worden genoemd, maar deze worden industrieel te weinig toegepast om ze in deze publicatie op te nemen.

Zoals ook andere verbindingstechnieken hebben de mechanische verbindingen zowel verschillende voordelen, als enkele nadelen.

Belangrijke voordelen van mechanisch verbinden zijn onder andere:

- ▶ in veel gevallen is de verbinding eenvoudig tot stand te brengen;
- ▶ met mechanische verbindingen kunnen alle metalen worden verbonden; vaak kunnen andere materialen, zoals kunststoffen, aan metalen worden bevestigd;
- ▶ het gereedschap dat nodig is voor het tot stand brengen van de verbinding is vaak eenvoudig en vergeleken met de benodigheden voor andere technieken relatief goedkoop;
- ▶ de diversiteit aan mechanische verbindingen is groot, zodat er voor veel situaties een juiste techniek beschikbaar is;
- ▶ de kwaliteit van de verbinding is in veel gevallen visueel te beoordelen;
- ▶ de reproduceerbaarheid van de meeste verbindingstechnieken is zowel handmatig als gemechaniseerd hoog;
- ▶ de meeste mechanische verbindingstechnieken zijn ARBO- en milieuvriendelijk.
- ▶ bij het aanbrengen van mechanische verbindingen is vaak geen sprake van warmte-inbreng in het materiaal;
- ▶ veel verbindingen die behoren tot de groep mechanische verbindingen zijn losneembaar;
- ▶ veel verbindingstechnieken zijn gemechaniseerd toe te passen.

Als nadelen van mechanische verbindingen kan worden genoemd:

- ▶ de verbinding is altijd zichtbaar;
- ▶ de meeste mechanische verbindingstechnieken zijn niet geschikt voor het maken van stompe verbindingen, of voor het onderling verbinden van buismateriaal of van buismateriaal aan plaatmateriaal;
- ▶ niet alle verbindingstypen zijn losneembaar;
- ▶ niet alle verbindingstechnieken zijn automatiseerbaar;
- ▶ de kwaliteit van de verbinding is niet altijd visueel te beoordelen;

- ▶ in veel gevallen is een voorbereiding noodzakelijk. Deze voorbereiding bestaat normaliter uit het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal.

Bij mechanische verbindingen is er in veel gevallen sprake van spanningsconcentraties rondom de verbindingen. Bij het ontwerp van een product en de verbindingen in het product moet men hiermee rekening houden. Op deze punten zal een constructie snellen bezwijken dan op veel andere punten. Men moet ervoor zorgen, dat er niet te veel van deze spanningsconcentraties dicht bij elkaar zitten.

Mechanische verbindingen kunnen op allerlei wijzen worden belast. Dit kan zijn trek of druk, maar een afschuivende belasting komt ook erg veel voor. Mechanische verbindingen worden vaak ook met lijmverbindingen gecombineerd; zo ontstaan de zogenaamde hybride verbindingen. Hierbij is de functie van de mechanische verbinding vaak tijdelijke fixatie en het opvangen van optredende pelbelastingen.

Sommige mechanische verbindingen staan onder verschillende namen bekend. Zo noemt men het blindklinken ook wel poppen, en het drukvoegen wordt ook clinchen of toxten genoemd. Ponsklinken staat ook onder de naam stansnieten bekend.

3. *Kiezen van het juiste verbindingproces*

Geen enkel verbindingproces is geschikt voor alle toepassingen. In veel gevallen kunnen er verschillende verbindingstechnieken worden toegepast, waarbij er steeds technieken zijn, die op verschillende criteria het beste scoren. Dit kan zijn op eenvoud van aanbrengen, losneembaarheid, uiterlijk, trillingsbestendigheid, kostprijs, enz.

Deze en andere criteria worden selectiecriteria genoemd. Bij de keus van een verbindingproces - al dan niet mechanisch - spelen deze selectiecriteria een belangrijke rol. Men is zich hiervan niet altijd bewust. Werkvoorbereiders kiezen een verbindingstechniek vaak op basis van hun ervaringen en van de mogelijkheden binnen het bedrijf.

Dit brengt het gevaar met zich mee, dat goede mogelijkheden onbewust worden uitgesloten. Het is daarom van belang om goed op de hoogte te blijven van nieuwe ontwikkelingen. Ook de vraag of uitbesteden een goede optie is, moet eigenlijk steeds bewust worden beantwoord.

Deze publicatie is geschreven in het kader van het FME-CWM project “Verbindingstechnieken van 0,3 - 3 mm dun plaatmateriaal”. Dit project reikt als eindresultaat constructeurs, werkvoorbereiders en anderen een keuzemethodiek aan voor het komen tot een goed gefundeerde keuze voor een verbindingstechniek. Deze keuze is gebaseerd op selectiecriteria die de gebruiker op moet geven.

4. *Construeren met het oog op mechanisch verbinden*

Bij het verbinden van productdelen door middel van mechanisch verbinden, kan er uit verschillende technieken worden gekozen. De keus voor een bepaald type verbinding wordt vaak gebaseerd op kosten, tijd, sterkte en uiterlijk. Als men kiest voor een mechanische verbinding, is het van belang het productontwerp hierop af te stemmen. Er is in dit verband een aantal aspecten te noemen, waarmee men rekening dient te houden. Deze worden hieronder kort besproken.

Productopbouw

Een van de eerste vragen die men zich bij het ontwerpen van een nieuw product of bij het kritisch bekijken van een bestaand product moet stellen, is of het aantal onderdelen niet te groot is. Vaak kunnen verschillende

plaatdelen eenvoudig in één plaatdeel worden ondergebracht. Ook is het vaak mogelijk om, anders dan gepland, plaatdelen niet uit verschillende materialen, maar uit een en hetzelfde materiaal te vervaardigen. Dan wordt het ook eenvoudig om verschillende delen weer in één plaatdeel te integreren. Hoe minder onderdelen er zijn, hoe minder verbindingen men nog moet maken.

Men dient ook rekening te houden met het aantal verschillende typen verbindingen dat in een product wordt toegepast. In het algemeen geldt dat des te kleiner dit aantal is, des te korter de doorlooptijd kan zijn. Steeds meer ziet men dan ook dat hele constructies door klinkverbindingen of alleen door bout-moer combinaties worden verbonden. Om het aantal verbindingen en het aantal verbindingstypen te beperken is slim construeren dus geboden.

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 de plaats van de verbinding. Hieronder wordt een aantal van deze aspecten kort toegelicht.

Eisen aan de materiaaleigenschappen

Eisen die vanuit de functionele eisen van het product aan de materialen worden gesteld, hebben in het algemeen betrekking op:

- ▶ de fysische en mechanische eigenschappen;
- ▶ de oppervlakteconditie.

Bij de eerste categorie kan men ten behoeve van mechanische verbindingen denken aan vervormbaarheid, mogelijkheid tot draadvormen en draadsnijden en corrosiebestendigheid.

Eisen aan de geometrische eigenschappen van het basismateriaal

Naast eisen aan de materiaaleigenschappen worden er vaak eisen gesteld aan de geometrische eigenschappen van het basismateriaal. De geometrische eigenschappen van het uitgangsmateriaal moeten aan vormtoleranties voldoen. Deze vormtoleranties hebben betrekking op variaties in de plaatdikte en de vlakheid. Ook de profielzuiverheid en lokale vervormingen van profielen zijn van groot belang.

De verschillende toleranties worden door leveranciers van plaatdelen en profielen vaak in certificaten vastgelegd. De interne kwaliteitscontrole van zo'n toeleverancier garandeert dan, dat de variaties binnen gestelde toleranties vallen.

Onnauwkeurigheden in de vlakheid van een plaat beïnvloeden de kwaliteit van een mechanische verbinding. Bij een te grote variatie in vlakheid kan bijvoorbeeld een drukvoeg niet meer goed worden aangebracht.

Eisen aan de productdelen

Voor assemblage dient men er zeker van te zijn dat de verschillende onderdelen inderdaad gereed zijn voor samenvoeging. Zo dient men onderdelen te controleren op vlakheid, verloop van de contour, afwezigheid van bramen, vorm, nauwkeurigheid en locatie van gaten, afrondingen en uitsparingen en overige maatvoeringen. Vaak worden productdelen bij aanvang van een nieuw productieproces uitvoerig gecontroleerd. Als de productie eenmaal goed loopt, is steekproefsgewijze controle voldoende.

Eisen aan de plaats van de verbinding

Naast functionele eisen die men aan een verbinding kan stellen (sterkte, losneembaarheid), spelen ook esthetische aspecten een rol. Mechanische verbindingen zijn vaak goed zichtbaar, dus men moet bewust overwegen om deze te 'verstoppert'. Dit betekent dat de mechanische verbindingen zo veel mogelijk daar aangebracht

worden, waar ze niet in het oog lopen. Hierbij moet er wel rekening worden gehouden met de bereikbaarheid, om de productie niet onnodig te hinderen.

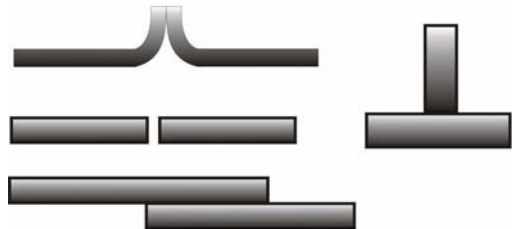
Eisen aan de sterkte

Uit de functionele eisen vloeien eisen aan de sterkte van een constructie voort. Mechanische verbindingen kunnen worden gebruikt om deze sterkte positief te beïnvloeden. Verkeerd toepassen van deze verbindingen kan echter ook de sterkte van een groot deel van de constructie teniet doen. Men moet hier dus altijd bewust aandacht aan besteden.

Speciale aandacht verdient het ontstaan van spanningsconcentraties in het materiaal.

5. Verbindingsvormen

Verbindingen kunnen in verschillende vormen worden aangebracht (zie voor een aantal basisvormen figuur 3). De overlapverbinding en de stompe verbinding zijn hierbij de bekendste. Ook de T-verbinding wordt veel toegepast. Een andere mogelijkheid is het verbinden van een buis die door een plaat wordt gestoken; in dit geval moet men aan andere verbindingstechnieken dan mechanisch verbinden denken.

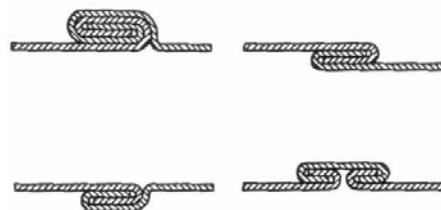


figuur 3 Verbindingsvormen

Voor mechanisch verbinden is eigenlijk alleen de overlapverbinding van belang. De beide andere vormen van bevestigen kunnen voornamelijk in uitzonderingsgevallen en met kunst en vliegwerk met mechanische verbindingstechnieken worden gerealiseerd. Dit is echter niet gebruikelijk.

Met enkele hulpplaatjes kan van een stompe verbinding een dubbele overlapverbinding worden gemaakt, zodat de keuze van mogelijke verbindingstypen uitgebreid wordt met de mechanische verbindingen. Binnen deze publicatie wordt deze constructie echter niet langer als een stompe verbinding gezien.

Het tot stand brengen van een stompe verbinding kan vaak wel met enkele bijzondere mechanische verbindingstechnieken: klikken, lip omzetten en felsen (zie figuur 4).



figuur 4 Stompe verbinding door felsen

6. Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen

Onder een voorbehandeling worden handelingen als ontvetten en licht opschuren verstaan. Voor de meeste typen mechanische verbindingen is het uitvoeren van deze acties niet nodig. Uitzonderingen hierop zijn de lasmoeren en het vloeiboren. In beide gevallen is het ontvetten van het plaatmateriaal noodzakelijk om een goede verbinding tot stand te kunnen brengen.

Onder een voorbereiding valt voor de meeste mechanische verbindingen het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal. Dit kan gebeuren door middel van ponsen, boren of lasersnijden. Bij de eerste twee technieken is het van belang de ontstane bramen of spaantjes te verwijderen; deze beïnvloeden de kwaliteit van de verbinding - bijvoorbeeld de corrosiebestendigheid - negatief.

Voor verbindingen van de typen klikken, lip omzetten en felsen zijn aparte voorbereidingen nodig. Bij klikken is het noodzakelijk om een nok en een verende snaphaak in de te verbinden delen te integreren, bij lip omzetten is het vormen van een lip vereist. Als voorbereiding voor felsen is het aanbrengen van een felsrand nodig.

Er zijn mechanische verbindingstypen die geheel geen voorbereiding vereisen, zoals de zelfborende en tappende schroeven. Deze boren tijdens het aanbrengen het benodigde gat en vormen ook de tapdraad in het plaatmateriaal.

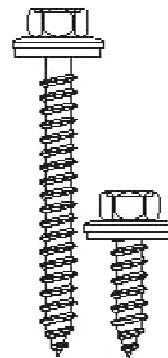
Als er een gat in beide te verbinden delen is aangebracht, is nauwkeurig positioneren van de delen ten opzichte van elkaar van invloed op het correct tot stand komen van de verbinding. Ook de afmetingen van het gat ten opzichte van de afmetingen van het bevestigingsmiddel dient men goed onder controle te houden.

7. Nabewerking en nabehandeling na het mechanisch verbinden

Na het aanbrengen van mechanische verbindingen is het normaliter niet nodig om een nabewerking of een nabehandeling uit te voeren. Onder een nabewerking wordt hier een eenvoudige handeling als het verwijderen van gevormde spaantjes verstaan, onder een nabehandeling wordt bijvoorbeeld een warmtebehandeling om de ontstane spanningen te verminderen verstaan.

Bij zelfborende en tappende schroeven en zelftappende schroeven (deze laatste zijn weergegeven in figuur 5) kan lichte braamvorming optreden. Meestal zal men proberen te werken volgens het draadvormende principe, en niet volgens het draadsnijdende principe. Het aanbrengen van draad wordt ook wel (draad)tappen genoemd.

Bij de draadsnijdende schroef wordt de draad uit het passieve werkstuk gesneden, waardoor er braamvorming optreedt. Deze wijze van tappen wordt toegepast bij broos materiaal (zoals glasvezel en gietijzer), maar wordt weinig toegepast in het verbinden van dunne platen. Bij de draadvormende schroef wordt het materiaal



figuur 5 Zelftappende schroeven voor dik en dun plaatmateriaal

rond de buitendiameter van de draad weggerold naar de binnendiameter van de draad. Dit voorkomt braamvorming. Deze wijze van tappen wordt voornamelijk toegepast in (taai) plaatmateriaal. Draadvormend tappen heeft naast de geringe braamvorming het voordeel dat de verbindingen, die hiermee worden gemaakt, vaak sterker zijn, dan wanneer men de draad gesneden getapt had. Dit wordt veroorzaakt doordat bij het draadvormend tappen koudversterking optreedt.

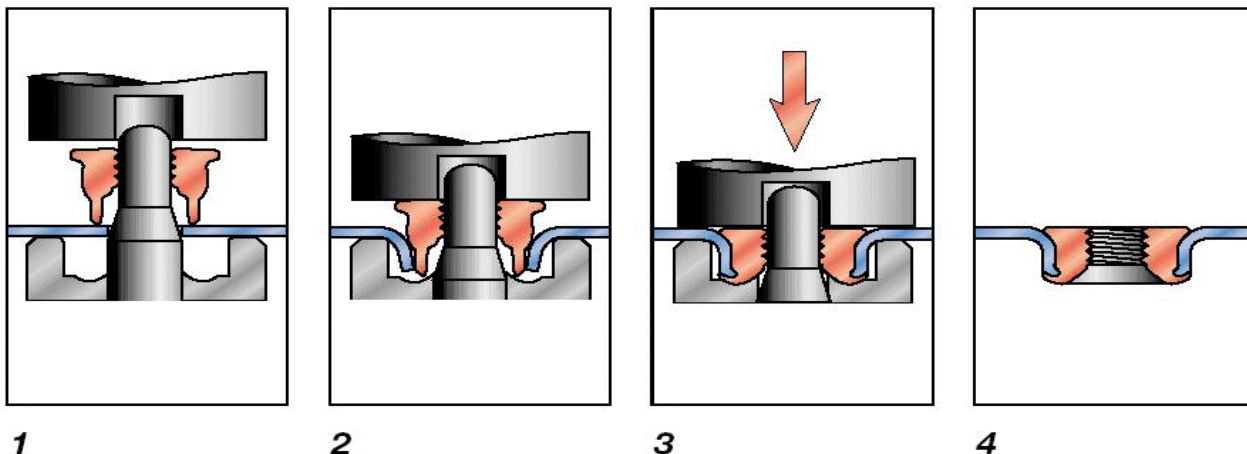
Bij het aanbrengen van lasmoeren en het toepassen van vloeiboren wordt lokaal warmte in het materiaal ingebracht. Uit esthetisch oogpunt kan het in deze gevallen nodig zijn om een nabewerking uit te voeren, om verkleuringen in het materiaal weg te werken.

Het coaten of lakken van een product nadat mechanische verbindingen zijn aangebracht, wordt niet gezien als typisch of noodzakelijk voor de verbindingstechnieken.

8. Apparatuur voor mechanisch verbinden

De apparatuur die wordt gebruikt om mechanische verbindingen tot stand te brengen is zeer divers, zowel qua complexiteit als qua benodigde investeringen.

Bij bijvoorbeeld drukvoegen zijn een stempel en een ondermatrijs, vastgezet in een handpers, reeds voldoende. Voor ponsklinken heeft men een ponsklinkmachine nodig, hoewel er af en toe ook systemen opduiken, waarbij men met een eenvoudige pers de verbinding tot stand kan brengen. Ook voor het aanbrengen van inpers-schroefdraad en inpers-felsschroefdraad (zie figuur 6) gebruikt men een persje. De investeringen voor deze technieken ligt tussen € 5.000,- en € 25.000,-.



figuur 6 aanbrengen van inpersfelsschroefdraad; de kracht wordt geleverd door een persje

Voor het aanbrengen van lasmoeren is lasapparatuur nodig, dit kan eenvoudige lasapparatuur betreffen. Soms wordt het echter ook noodzakelijk om afzuiging aan te leggen om schadelijke rook af te voeren. Dit zorgt natuurlijk voor een toename in de investeringskosten.

Bij het vloeiboren is een boormachine met een instelbaar toerental noodzakelijk. Deze zijn in vele soorten en maten verkrijgbaar.

Voor andere technieken, zoals het aanbrengen van felsemoeren en klinken, kan men volstaan met een hamer en eventueel wat eenvoudig handgereedschap zoals een ophaler en een snapper. De snapper en de ophaler die worden gebruikt, zijn bepalend voor de uiteindelijke geometrie van de verbinding. Bij de genoemde gevallen zijn de investeringen in apparatuur nihil.

9. Mechanisch verbinden van dunne materialen

Voor het mechanisch verbinden van dunne materialen staan verschillende technieken ter beschikking, zoals al getoond in figuur 1. De meeste technieken die hier zijn genoemd, beslaan het hele werkgebied van plaatdiktes van 0,3 tot 3 mm.

Bij schroefverbindingen waarbij de verbinding een deel van zijn sterkte ontleent aan de gevormde tapdraad in het plaatmateriaal en bij drukvoegen heeft het de voorkeur om niet te dicht bij de ondergrens te gaan zitten. De verbinding is anders te zwak om zelfs maar kleine krachten te geleiden.

Met de meeste mechanische verbindingstechnieken is het mogelijk om, naast metaal-metaal verbindingen, metaal-kunststof en metaal-keramiek verbindingen tot stand te brengen. In enkele gevallen is het verbinden van hout aan metaal ook mogelijk.

Bij dunwandige constructies, dus tegen de ondergrens van het werkgebied aan, moet men voorzichtig zijn met het inbrengen van warmte. Dit kan namelijk eenvoudig vormveranderingen tot gevolg hebben. Bij mechanisch verbinden zijn het het vloeiboren en het aanbrengen van lasmoeren, waarbij er rekening moet worden gehouden met warmte-inbreng.

Verbindingstechnieken uit de hoofdgroep 'klinken' hebben geen beperkingen ten aanzien van de te verbinden metalen. Zo kan men er ongelegeerd staal, bekleed metaal, laaggelegeerd staal, austenitisch roestvast staal, aluminium en koper mee verbinden.

Ook verbindingstechnieken uit de hoofdgroep 'schroefverbindingen' leggen de gebruiker weinig beperkingen op ten aanzien van het te verbinden materiaal. Er zijn drie technieken die wat dit betreft uitzonderingen zijn. De belangrijkste is het aanbrengen van lasmoeren. Dit is niet mogelijk bij bekleed metaal, blik, laaggelegeerd staal, aluminium 2xxx en koper. Het tot stand brengen van verbindingen door middel van vloeiboren is niet mogelijk voor organisch bekleed metaal en austenitisch rvs. Ook het gebruik van zelfborende en tappende schroeven is bij austenitisch rvs niet mogelijk.

De verbindingstechnieken uit de hoofdgroep 'overigen' leggen de constructeur geen beperkingen op ten aanzien van het te gebruiken metaal.

10. Toevoegmaterialen

Anders dan bij bijvoorbeeld lassen spreekt men bij mechanisch verbinden niet echt van toevoegmaterialen. Bij veel verbindingstechnieken wordt de verbinding echter wel tot stand gebracht door een extra toe te voeren element. Bij het klinken is dit bijvoorbeeld de nagel, bij de schroefverbindingen een draadelement. Deze verbindingselementen kan men het toevoegmateriaal noemen, hoewel deze benaming niet veel wordt toegepast.

11. Losneembaarheid

'Design for assembly' is een ontwerpregel die in het verleden steeds meer werd toegepast. Door producten slim te ontwerpen, kan veel assemblagetijd bespaard worden. Dit bespaart kosten en houdt de doorlooptijd van producten zo kort mogelijk.

Naar aanleiding van milieuwetgevingen is het 'design for disassembly' langzaam maar zeker steeds meer in opkomst. Dit geldt zeker in die gevallen, waarin de te verbinden delen van verschillende materialen zijn gemaakt. Na afloop van de levensduur van een product moeten de productdelen te recyclen zijn, om zo grondstoffen te besparen. Hiervoor is het noodzakelijk de verschillende delen te scheiden, zonder dat reststukken van het ene materiaal aan het andere materiaal vast blijven zitten. Ook dient het verbindingselement, als dit van een ander materiaal is, verwijderbaar te zijn.

Mechanische verbindingen zijn in veel gevallen losneembaar. Dit maakt ze uitstekend geschikt voor toepassing binnen de filosofie van 'design for disassembly'. Tabel 1 geeft van de verschillende mechanische verbindingstechnieken aan of er losneembare verbindingen mee kunnen worden gemaakt, of dat dit niet het geval is.

Veel mechanische verbindingen kan men herhaaldelijk vast- en losmaken, zonder dat dit de kwaliteit van de verbinding nadelig beïnvloedt. Ook dit wordt in tabel 1 aangegeven.

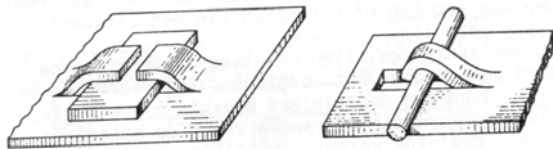
tabel 1 Losneembaarheid van verschillende verbindingen

Verbindingstechniek	Losneembaar	
	(1x)	(herhaaldelijk)
Drukvoegen	Nee	Nee
Ponsklinken	Nee	Nee
Klinken	Nee	Nee
Blindklinken	Nee	Nee
Klinkbouten	Nee	Nee
Tappen	Ja	Ja
Zelftappende schroeven	Ja	Ja
Zelfborende en tappende schroeven	Ja	Ja
Lasmoeren	Ja	Ja
Felsemoeren	Ja	Ja
Inpersschroefdraad	Ja	Ja
Inpers-felsschroefdraad	Ja	Ja
Zelfponsende moeren	Ja	Ja
Blindklingschroefdraad	Ja	Ja
Plaatmoeren / clips	Ja	Ja
Kooimoeren	Ja	Ja
Vloeiboren	Ja	Nee
Bout-moer	Ja	Ja
Klikken	Ja	Ja
Lip omzetten	Ja	Nee
Felsen	Nee	Nee

Als een verbinding een tijdelijk karakter heeft, of door functionele eisen aan het product herhaaldelijk los te nemen moet zijn, bieden verschillende mechanische verbindingstechnieken uitkomst.

Bij technieken als klikken en lip omzetten spelen aspecten als vermoeiing een belangrijke rol. Bij lip omzetten is de vervorming die men het materiaal oplegt relatief groot (zie figuur 7), vermoeiing zal in de meeste gevallen binnen enkele keren van bevestigen en losmaken optreden. Bij klikken is de opgelegde vervorming alleen elastisch en de vervorming is veel kleiner dan bij lip omzetten het geval is. Bij correct ontwerpen van de klik-

verbinding is het mogelijk deze te gebruiken voor het herhaaldelijk monteren en demonteren van producten.



figuur 7 Grote vervorming bij lip omzetten

12. Automatiseren van mechanisch verbinden

Veel mechanische verbindingen kunnen geautomatiseerd worden aangebracht. Dit kan in verschillende gradaties van automatisering gebeuren. Zo kan het ponsklinken volledig automatisch worden uitgevoerd. Hierbij wordt de nagel die de delen verbindt in de apparatuur uit draad gestanst. Het is ook mogelijk om voorgevormde nagels toe te voeren in het proces. Het ponsklinken kan niet handmatig worden uitgevoerd, de benodigde krachten en snelheden zijn hiervoor veel te groot.

Ook technieken als klinken, tappen, klikken en lip omzetten kunnen geautomatiseerd worden toegepast. Hiervoor is in veel gevallen standaardapparatuur verkrijgbaar.

Verschillende typen mechanische verbindingen kunnen niet anders dan geautomatiseerd worden aangebracht. Dit is meestal een gevolg van de hoge benodigde krachten en snelheden. Zo is handmatig toepassen van lasmoeren en zelfponsende moeren niet mogelijk. Bij andere typen verbindingen is juist automatisering niet mogelijk. Dit geldt bijvoorbeeld voor het aanbrengen van plaatmoeren en kooimoeren. Tabel 2 geeft van de verschillende mechanische verbindingstechnieken weer of ze handmatig en/of geautomatiseerd zijn toe te passen.

tabel 2 Handmatige en gemechaniseerde toepasbaarheid van mechanische verbindingstechnieken

Verbindingstechniek	Handmatig	Gemechaniseerd
Drukvoegen	Ja	Ja
Ponsklinken	Nee	Ja
Klinken	Ja	Ja
Blindklinken	Ja	Ja
Klinkbouten	Ja	Nee
Tappen	Ja	Ja
Zelftappende schroeven	Ja	Ja
Zelfborende en tappende schroeven	Ja	Ja
Lasmoeren	Ja	Ja
Felsmoeren	Nee	Ja
Inpersschroefdraad	Nee	Ja
Inpers-felsschroefdraad	Nee	Ja
Zelfponsende moeren	Nee	Ja
Blindklingschroefdraad	Ja	Ja
Plaatmoeren/clips	Ja	Nee
Kooimoeren	Ja	Nee
Vloeiboren	Nee	Ja
Bout-moer	Ja	Nee
Klikken	Ja	Ja
Lip omzetten	Ja	Ja
Felsen	Ja	Ja

Bij hoge productiesnelheden of grote productvolumes is het vaak raadzaam om na te gaan wat de mogelijkheden van automatisering van het verbindingproces zijn.

In deze gevallen is het vaak zinvol om tot automatisering over te gaan. Dit werkt dan doorlooptijdverkortend, bovendien vermindert dit de belasting van het personeel.

Als men inderdaad tot automatisering over gaat, is het van extra groot belang om het productontwerp kritisch tegen het licht te houden. Hoe meer de verschillende verbindingstypen binnen een product omgezet kunnen worden naar één (of slechts enkele) verbindingstypen, hoe beter de investering benut kan worden.

Bij veel verbindingstechnieken is de reproduceerbaarheid van het tot stand brengen van de verbinding groter als dit gemechaniseerd plaatsvindt, dan wanneer dit handmatig gebeurt.

13. Economische aspecten

Bij de keuze voor een bepaalde verbindingstechniek spelen verschillende aspecten een belangrijke rol. Zo zijn sterkte en uiterlijk van belang, net als beschikbaarheid en praktische inzetbaarheid. Een ander heel belangrijk aspect wordt gevormd door de kosten die een keuze met zich mee brengt. De kosten zijn opgebouwd uit verschillende delen, deze worden hieronder kort besproken.

► Apparatuur

Bij verschillende mechanische verbindingstechnieken kan het proces zowel handmatig als gemechaniseerd worden uitgevoerd. Bij andere processen is slechts een van beide werkwijzen mogelijk. Als een proces alleen handmatig kan worden uitgevoerd (zie hiervoor tabel 1), dan hoeft er in apparatuur weinig tot niets te worden geïnvesteerd.

Bij veel technieken is een investering van minder dan € 5.000,- of tussen € 5.000,- en € 15.000,- reeds voldoende, in een enkel geval kan dit oplopen tot zo'n € 25.000,-. Uitzondering hierop is het aanbrengen van lasmoeren, de hiervoor benodigde lasapparatuur kost minstens € 5.000,-, maar kan ook meer dan € 50.000,-kosten. Dit is natuurlijk wel afhankelijk van eisen die men stelt aan het uiterlijk en de sterkte. Verder hangt dit ook af van de materialen die men wil gaan verbinden. Een prijsindicatie per proces wordt gegeven in 'Procesomschrijvingen' (zie www.dunneplaat-online.nl).

De terugverdientijd en de afschrijving worden bepaald door de besparing in arbeidstijd en de intensiteit van het machinegebruik. Ook de onderhoudskosten worden direct beïnvloed door de productieaantallen per tijdseenheid, maar ook door het al dan niet correct gebruik van de apparatuur. Deze kostenpost maakt normaliter slechts een klein deel uit van de totale kosten.

Ook het verbruik van energie is bij de meeste mechanische verbindingprocessen gering, zeker in vergelijking met processen als solderen en lassen. Uitzondering is het aanbrengen van lasmoeren.

Voor veel mechanische verbindingprocessen is het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal noodzakelijk. Men moet de hiervoor benodigde apparatuur bij de bepaling van de investeringskosten niet vergeten. De kosten hiervan lopen sterk uiteen, een boormachine kan men veel goedkoper aanschaffen dan een ponsmachine of lasersnij-apparatuur.

► Gereedschappen

Bij het aanbrengen van mechanische verbindingen is het gebruik van gereedschap steeds noodzakelijk. De kosten hiervoor kunnen sterk variëren. Zo kan er bij klinken worde volstaann met een hamer, terwijl voor bijvoorbeeld drukvoegen vormspecifiek gereedschap nodig is. De gereedschapskosten zijn hierbij afhankelijk van de belasting die men het gereedschap oplegt en de hieruit volgende slijtage.

Voor het fixeren van onderdelen kunnen hulpmiddelen worden gebruikt. De prijs hiervan is vaak afhankelijk van de complexiteit en daarmee de positioneerbaarheid van de te verbinden productdelen.

► *Spaanvrij maken oppervlak*

Na het boren of ponsen van een gat, vóór het tot stand brengen van de verbinding, is het in veel gevallen van belang gevormde spanen of bramen te verwijderen. Bij dun plaatmateriaal is de spaan- of braamvorming gering. De spaan of braam is vaak met een keer licht wrijven eenvoudig te verwijderen. Bij dikker plaatmateriaal kan schuren noodzakelijk zijn, dit kan handmatig of met een bandschuurmachine gebeuren. In beide gevallen brengt dit kosten met zich mee. Dit geldt nauwelijks voor dunne plaat (met diktes rond de 0,3 mm).

► *Verbindingselementen*

Bij mechanische verbindingen is het vaak een apart verbindingselement dat de verschillende delen aan elkaar bevestigt. Uitzonderingen hierop zijn het drukvoegen, klikken, lip omzetten en felsen.

Toevoegelementen als nagels en schroeven zijn in vele uitvoeringsvormen en kwaliteits- en prijsklassen verkrijgbaar. Dit kan variëren van enkele eurocenten tot enkele euro's. De keuze voor een bepaald verbindingselement wordt vaak bepaald door de technische eigenschappen en de kostprijs.

► *Inspectiekosten*

Mechanische verbindingen zijn normaliter visueel of met eenvoudige hulpmiddelen te controleren. De meeste kosten die op dit gebied in rekening moeten worden gebracht, zijn de loonkosten van de controleur.

► *Loonkosten*

Een vaak verwaarloosde kostenpost wordt gevormd door de loonkosten. Mechanisatie van het verbindingproces reduceert deze kosten. Ook het slim ontwerpen van producten kan, door een reductie in assemblage- en verbindingstijd, een aanzienlijke besparing in loonkosten mogelijk maken.

14. Kwaliteitsaspecten bij mechanisch verbinden

Met mechanisch verbinden kunnen in veel gevallen hoogwaardige verbindingen worden aangebracht. Kwaliteits-eisen die men aan deze verbindingen stelt, hebben betrekking op bijvoorbeeld de krachten die een verbinding kan ondergaan, functionaliteit, corrosiebestendigheid en duurzaamheid.

Bij handmatig aanbrengen van een verbinding wordt de kwaliteit in veel gevallen bepaald door degene die de verbinding aanbrengt. Deze onzekerheid proberen gereedschapsleveranciers steeds meer weg te nemen door het ontwikkelen van 'intelligent gereedschap'. Dit verhoogt de reproduceerbaarheid van het aanbrengen, en garandeert een meer continu en hoger kwaliteitsniveau.

De kwaliteit van de verbinding kan in sterke mate worden beïnvloed door de kwaliteit van het gekozen verbindingselement. Deze keuze moet steeds bewust worden gemaakt. Enerzijds dient het verbindingselement aan gestelde eisen te voldoen, anderzijds is er het kostenaspect, dat men steeds in de gaten moet houden. De kwaliteit van het verbindingselement dient niet groter te zijn dan functioneel noodzakelijk, aangezien die in een onnodige opdrijving van de kosten resulteert.

De corrosiegevoeligheid bepaalt in belangrijke mate de kwaliteit van een verbinding. Het materiaal van verbindingselementen als schroeven, nagels en bouten moet afgestemd zijn op de specifieke situatie, waarin een product moet gaan functioneren. Dit kan bijvoorbeeld een natte, zoutrijke omgeving zijn. Het basismateriaal van het product en het materiaal van het verbindende element mogen dan geen onderlinge reacties aangaan; deze

galvanische corrosie moet steeds worden voorkomen. Om deze corrosie te voorkomen, is het van belang dat het verbindingselement van een edeler materiaal is dan het plaatmateriaal. Is dit niet het geval, dan zal het verbindingselement zich 'opofferen' in een chemische reactie. Het plaatoppervlak is in verhouding tot het verbindingselement zo groot, dat het plaatmateriaal zich normaliter niet op zal offeren.

Naast dat corrosie vaak als lelijk wordt ervaren, verzwakt het een constructie ook.

Het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal, om hier later bijvoorbeeld een bout of schroef doorheen te steken, dient netjes te gebeuren. De diameter van het gat moet niet onnodig groot zijn, en de snijranden dienen goed te zijn afgewerkt om het ontstaan van corrosie tegen te gaan. Bovendien moet men bij beklede metalen proberen de buitenlaag, die vaak als bescherming dient, zo veel mogelijk intact te laten.

De kwaliteitscontrole van verbindingen kan op verschillende wijzen plaatsvinden. Zo is er in de eerste plaats natuurlijk de visuele controle. Bij een goed lopend productieproces is dit vaak voldoende. Het niet-destructieve karakter van deze wijze van controleren garandeert dat het controleproces niet onnodig goede producten definitief uit de roulatie neemt.

Met speciaal gereedschap kan bijvoorbeeld het aandraaimoment van een schroef of moer worden bepaald. Ook kunnen hiermee eventuele correcties worden uitgevoerd. Deze techniek is ook niet-destructief. Voor aanvang van de productie van een nieuw product kunnen er enkele destructieve testen worden uitgevoerd, om na te gaan of verbindingen voldoen aan onder andere bepaalde sterkte-eisen.

Bij technieken als drukvoegen en ponsklinken kunnen doorsneden en microscopische foto's worden gemaakt ter controle van de kwaliteit van de verbinding. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 8.



figuur 8 Microscopische foto van een ponsklinkverbinding

15. ARBO en milieu

Op het gebied van ARBO- en milieuaspecten is voor de groep mechanische verbindingen weinig te melden. Er komen geen gassen of schadelijke straling vrij en er blijft geen schadelijk afval over. Een uitzondering is het aanbrengen van lasmoeren; hierbij kunnen er zowel gas als schadelijke straling vrijkomen, afhankelijk van het gebruikte lasproces en de te verbinden materialen.

Het geluidsniveau dat het gevolg is van het aanbrengen van mechanische verbindingen is in het verleden bij verschillende technieken boven de huidige, wettelijke grens van 80 dB(A) geweest. In die gevallen is dit opgelost door aanpassing van het gereedschap, de pers of de geometrie van de verbindingselementen.

In de scheepsbouw wordt veel gebruikgemaakt van klinkverbindingen. Het aanbrengen hiervan gaat vaak met een hoog geluidsnivo gepaard. Dit is een gevolg van de grote gebruikte plaatdiktes. Bij plaatdiktes tussen 0,3 en 3 mm is geen sprake van een schadelijk geluidsniveau.

Het is van belang de productie zodanig in te richten, dat het assembleren van producten op ergonomisch verantwoorde wijze kan plaatsvinden. Vooral bij klinken besteedde men hieraan in het verleden bijna geen aandacht.

Auteur

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 auteur, M. de Nooij (TNO Industrie) werd ondersteund door een werkgroep bestaande uit: H.J.M. Bodt LPI (NIL), P. Boers (FME-CWM), A. Gales (TNO Industrie), H. de Kruijk (TNO Industrie), H. Poulis (Hechtingsinstituut), J. van de Put (Syntens, H.H. van der Sluis (adviseur TNO Industrie) en met medewerking van S. van der Beek en A. van Weezep (Onkenhout & Onkenhout).

Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur M. de Nooij (tel.: 040-2650129, e-mail: M.deNooij@ind.tno.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

