

.....

4 THERMISCHE DEKLAGEN

4.1 Thermisch verzinken van staal

- 4.1.1 Discontinu of stukverzinken
 - 4.1.1.1 Behandelingsreeks bij stukverzinken
 - 4.1.1.2 Ontvetten
 - 4.1.1.3 Beitsen
 - 4.1.1.4 Stralen
 - 4.1.1.5 Zink voor thermisch verzinken
 - 4.1.1.6 Het te behandelen staal
 - 4.1.1.7 Het vloeimiddel, de flux
 - 4.1.1.8 Uitvoering van nat verzinken
 - 4.1.1.9 Droog verzinken
 - 4.1.1.10 Aftikken of afstrijken
 - 4.1.1.11 Afkoelen na het verzinken
 - 4.1.1.12 Opbouw van de thermische zinklaag
 - 4.1.1.13 Laagdikte bij het thermisch verzinken
 - 4.1.1.14 Nabehandelen van thermische zinklagen
 - 4.1.1.15 Afwijkingen en fouten van zinklagen
 - 4.1.1.16 De verzinkinstallatie
 - 4.1.1.17 Centrifugaal verzinken
- 4.1.2 Continu verzinken
 - 4.1.2.1 Continu verzinken van plaat
 - 4.1.2.2 Continu verzinken van draad
 - 4.1.2.3 Continu verzinken van buis
- 4.1.3 Thermische zinklegeringslagen op staal
 - 4.1.3.1 Galfan
 - 4.1.3.2 Aluzinc
 - 4.1.3.3 Galvalume
- 4.1.4 Galvanealing

4.2 Thermisch vercadmiummen van staal

4.3 Thermisch vertinnen

- 4.3.1 Laagdikte en laaggewicht bij vertind blik
- 4.3.2 Thermische tinlegeringslagen op staal
- 4.3.3 Thermisch vertinnen van aluminium
- 4.3.4 Thermisch vertinnen van koper
- 4.3.5 Thermisch verlood-tinnen van koper

4.4 Thermische aluminiumlagen op staal

4.5 Thermisch verloden van staal

.....

4 THERMISCHE DEKLAGEN

Thermische deklagen (Engels: hot dip coatings) worden verkregen door het te bedekken metaal, het substraat, onder te dompelen in een bad van een gesmolten ander metaal of legering, die de deklaag moet vormen.

Zeer veel worden toegepast het thermisch verzinken van staal (ook wel foutief galvaniseren, vuurverzinken of volbadverzinken genoemd) en het thermisch vertinnen van staal en koper.

Enige andere metalen en legeringen, zoals aluminium, zink-aluminium, lood-tin en in beperkte mate cadmium worden ook op deze wijze aangebracht.

Voor het verkrijgen van een goede hechting is het vormen van een legeringslaag tussen de twee metalen noodzakelijk en hiervoor is het een voorwaarde, dat zowel het te bedekken metaal als het metaalbad een schoon metallisch oppervlak hebben.

Het te behandelen metaal moet daarom door reinigen, beitsen of stralen worden voorbehandeld en bovendien maakt men gebruik van vloeimiddelen om bij de hoge behandelingstemperatuur oxidevorming te voorkomen.

Metaal, dat van een thermische deklaag is voorzien, bestaat van buiten naar binnen gezien uit:

- een toplaag van het zuivere coatingsmetaal
- een legeringslaag of legeringslagen, die bestanddelen van de toplaag en van het substraat bevat
- het metaal van het substraat.

(Soms groeit door de eigen warmte van het voorwerp de legeringslaag door in de toplaag, waarbij een coating kan worden gevormd, die alleen uit een legeringslaag of uit enige legeringslagen van verschillende samenstelling bestaat).

De dompeltijd varieert van enige seconden (bij continue processen) tot vijf minuten.

Hoewel in theorie elk metaal en elke legering, die een lager smeltpunt heeft dan het substraat, als thermische deklaag kan worden aangebracht, moet men rekening houden met een aantal beperkende factoren:

- Er moet hechting ontstaan tussen de deklaag en de ondergrond, als regel door legeringsvorming.
- De smeltpunten van de deklaag en de ondergrond moeten voldoende ver uit elkaar liggen.
- De ondergrond moet bestand zijn tegen de optredende verhitting.
- Er mag geen brosse laag ontstaan.
- Er moet voldoende vloeï optreden, bepaald door de oppervlaktespanning van het gesmolten deklaagmetaal en ondersteund door de te gebruiken vloeimiddelen.
- De vormgeving van de ondergrond moet zodanig zijn, dat een volledige bedekking mogelijk is.
- De afmetingen van de te behandelen werkstukken moeten zijn afgestemd op de grootste badafmeting.

.....

Soms worden de thermisch aangebrachte deklagen door een warmtebehandeling in de ondergrond gediffundeerd. Dit proces wordt toegepast bij thermische zinklagen op staal. 'Galvanealing' (en bij thermische aluminiumlagen op staal 'Caloriseren'). Vooral voor het behandelen van grote werkstukken vraagt het aanbrengen van thermische deklagen een grote investering, niet alleen voor de installatie, maar ook voor de vulling van het metaalbad.

De laagdikte, evenals de legeringslaagdikte, is bij het aanbrengen van thermische deklagen maar in beperkte mate instelbaar.

Door de hoge temperaturen kan trekken van werkstukken optreden. In veel gevallen moet de constructie zijn aangepast aan deze werkwijze, zie thermisch verzinken van staal 4.1.

Thermische deklagen worden ook in continue processen aangebracht.

Ze zijn dan beter te beheersen.

Een bekend voorbeeld is het vervaardigen van continu thermisch verzinkte staalplaat, vaak Sendzimir plaat genoemd.

In dit hoofdstuk worden de volgende processen voor het aanbrengen van thermische deklagen besproken:

- thermisch verzinken van staal, 4.1
- thermisch aanbrengen van zink-aluminiumlegeringslagen op staal, 4.1.3
- thermisch vercadmiummen van staal, 4.2
- thermisch vertinnen van staal, 4.3 en 4.3.1
- thermisch verlood-tinnen van staal, 4.3.4
- thermisch vertinnen van koper, 4.3.4
- thermisch verlood-tinnen van koper, 4.3.5
- thermisch aanbrengen van aluminiumlagen op staal, 4.4
- thermisch verloten van staal, 4.5.

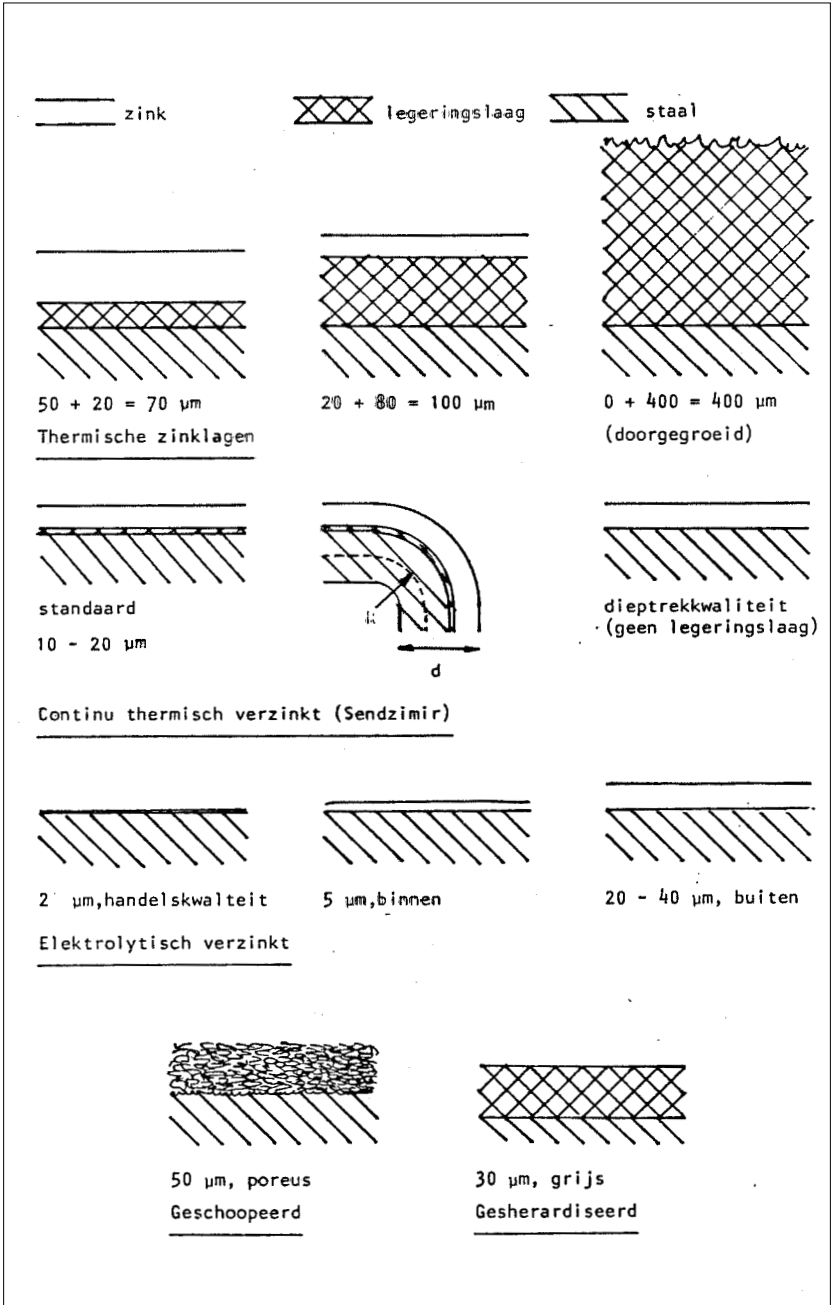
Opgemerkt moet worden dat nog een groot aantal andere thermische bedekkingsprocessen beproefd worden of in ontwikkeling zijn.

Wij noemen als voorbeelden daarvan:

- staal bedekken met een galvanische koperlaag en daarna met een galvanische nikkellaag.
Vervolgens een thermische aluminiumlaag aanbrengen waarna het geheel wordt verhit, zodat zich een nikkel-aluminiumlegeringslaag vormt
- thermisch verzinken van koper en daarna verhitten om een zink-koperlegeringslaag te vormen
- met laserstraling smelten van metaaldeeltjes, die op een oppervlak zijn aangebracht
- titaan bedekken met een stroomloze nikkel-fosforlaag en vervolgens een thermische aluminiumlaag aanbrengen.

4.1 THERMISCH VERZINKEN VAN STAAL

Thermisch verzinken van staal, in het Nederlands ook wel, maar minder juist 'galvaniseren', 'vuurverzinken' of 'volbadverzinken' genoemd, wordt zeer veel toegepast. Daarnaast zijn er nog veel andere methoden om een zinklaag op staal aan te brengen, figuur 4.1



Figuur 4.1. Overzicht van zinklagen

.....

In andere talen wordt de term 'galvaniseren' wèl gebruikt, Engels: hot dip galvanizing, Duits: Feuerverzinken, Galvanisieren, Frans: galvanisation à chaud.

Voordelen: Dikke (50-150 micrometer), gesloten laag, goede hechting, veelal geen nabehandeling nodig, langdurige corrosiewering, goede hechting door vorming van legeringslaag.

Nadelen: Kans op vervorming door trekken van dunwandig materiaal, laagdikte moeilijk instelbaar; schroefdraad kan soms vollopen en moet dan worden nagesneden. De legeringslagen zijn harder dan het onderliggende staal waardoor narichten, ingeval er vervorming tijdens het verzinken is ontstaan, moeilijkheden kan geven (scheurvorming).

Indien bovengenoemde bezwaren niet optreden of verholpen kunnen worden is thermisch verzinken een zeer goede behandeling voor het verkrijgen van een langdurige corrosiewering. In een landelijke atmosfeer kan gerekend worden met een levensduur van 30-55 jaar, in een zee-atmosfeer van omstreeks 15-25 jaar en in een industrie-atmosfeer soms niet langer dan 3-10 jaar. Plaatselijke omstandigheden kunnen deze waarden beïnvloeden. Voor plaatselijke reparaties of voor het behandelen van lasnaden in thermisch verzinkt staal kan men gebruik maken van zinkstofrijke grondverven of van zinkspuiten; zie NEN-EN-ISO 1461.

Thermisch verzinken van staal kan op een aantal manieren worden uitgevoerd:

- discontinu of stukverzinken, ook wel loonverzinken genoemd, op twee manieren, 4.1.1:
- nat verzinken
- droog verzinken
- centrifugaalverzinken, 4.1.1.7
- continu verzinken, 4.1.2
- aanbrengen van zinklegeringslagen, 4.1.3.

4.1.1 DISCONTINU OF STUKVERZINKEN

Voor het discontinu thermisch verzinken van staal kent men twee verzinkprocessen, namelijk het nat verzinken en droog verzinken.

In beide gevallen moet het staal door alkalisch ontvetten, 2.7, en beitsen in zoutzuur 3.1.2.1, (Europa, zwavelzuur, USA) of soms door stralen bevrijd zijn van vet, vuil, roest, gloeihuid of walshuid.

Het verschil tussen deze twee processen ligt in de wijze waarop het vloeimiddel wordt gebruikt.

Bij het *droog verzinken*, dat voor constructiestaal het meest wordt toegepast, brengt men het vloeimiddel door spuiten of dompelen op het staaloppervlak aan en men laat dit vervolgens drogen. Pas daarna wordt het staal in het zinkbad gedompeld.

Bij het *nat verzinken* bevindt zich op het zinkoppervlak een laag schuimachtig vloeimiddel, waar het staal doorheen gestoken wordt bij het verzinken.

.....

Om niet met vloeimiddel verontreinigd te worden bestaat het zinkbad uit twee gedeelten die van elkaar gescheiden zijn door een schot aan het oppervlak dat iets in het zinkbad steekt. De voorwerpen worden onder dit schot doorgestoken naar het schone gedeelte van het zinkbad en daar omhoog gehaald.

4.1.1.1 BEHANDELINGSREEKS BIJ STUKVERZINKEN

Achtereenvolgens werden bij het stukverzinken de volgende bewerkingen uitgevoerd:

- ontvetten
- beitsen of stralen
- fluxen
- verzinken
- koelen.

4.1.1.2 ONTVETTEN

Ontvetten voor het beitsen, hoewel niet altijd uitgevoerd, wordt sterk aanbevolen omdat het beitsen dan vlotter en gelijkmatiger verloopt en omdat het beitsbad minder met vet wordt verontreinigd.

Van alle beschikbare ontvettingsmethoden wordt warm (heet) sterk alkalisch ontvetten het meest toegepast.

Agitatie door vloeistofbeweging is voor veel werkstukken uitvoerbaar en aan te bevelen. Luchtdoorblazing kan een schuimlaag veroorzaken; deze kan door de keuze van een goede bevochtiger in het ontvettingsbad worden voorkomen. Ontvetten met agitatie duurt tot maximaal 10 minuten.

Alkalische ontvettingsvloeistof is taai en deze moet door krachtig spoelen of afsprengen worden verwijderd.

Zink dat zich op oude voorwerpen of ophangrekken bevindt lost op in het ontvettingsbad. Dit kan een milieuprobleem geven. Daarom worden die voorwerpen eerst ontzinkt in een apart zoutzuur ontzinkbad.

4.1.1.3 BEITSEN

Beitsen voor het verzinken dient voor het verwijderen van ijzeroxide, roest en walshuid.

Men kan aantreffen:

- $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ of $\text{FeO}(\text{OH})$, ijzer(III)oxidehydraat, goethiet of lepidokroket bruin
- Fe_2O_3 , ijzer(III)oxide, hermatiet blauw-zwart
- Fe_3O_4 , ijzer(II,III)oxide, magnetiet blauw-zwart
- FeO , ijzer(II)oxide, wustiet zwart

Beitsen van staal voor het verzinken wordt meestal uitgevoerd in een zoutzuuroplossing. Ook andere zuren kunnen dienst doen. In de Verenigde Staten

.....

wordt als regel gebeitst in zwavelzuur met even goede resultaten. De kostprijs van zwavelzuur is daar lager dan van zoutzuur. Geconcentreerd zoutzuur uit de handel ($d=1.18$, 35 gew%) wordt verdund tot 100 à 150 g/l en gebruikt bij 20-41 °C. De temperatuur van het bad en het gehalte aan FeCl_2 hebben een grotere invloed op de beitsijd dan het zuurgehalte in het beitsbad. Aan het beitsbad wordt meestal een inhibitor toegevoegd, waardoor het zuurverbruik wordt verminderd en de aantasting van het staal wordt tegengegaan. Opgemerkt moet worden dat FeCl_2 in gehalten boven 20 g/l ook een inhibitorwerking uitoefent.

4.1.1.4 STRALEN

In plaats van het beitsen kan voor het verkrijgen van een blank staaloppervlak gebruik worden gemaakt van stralen. Deze werkwijze wordt op beperkte schaal toegepast op kleinere voorwerpen, die met een aantal tegelijk in een roterende trommel worden gestraald. Aan beide kopeinden van de trommel bevindt zich een oscilerende (op-en-neer-gaande) straalpijp.

4.1.1.5 ZINK VOOR THERMISCH VERZINKEN

In het zinkbad dat voor discontinu thermisch verzinken wordt gebruikt bevindt zich meer dan 0,5% meestal 0,7-0,8% lood. Bij de vroegere (thermische) zinkbereiding werd zink met meer dan 1% lood afgeleverd, maar met de moderne en steeds meer toegepaste elektrolytische zinkbereiding ontstaat zeer zuiver zink, 99,99% en beter. Voor thermisch verzinken moet hieraan lood worden toegevoegd. Cadmium en arseen, die vroeger in zink voorkwamen, treft men nu niet meer aan, omdat ze bij de moderne zinkwinningsprocessen worden verwijderd.

IJzer komt in het zink door het oplossen van het oppervlak van de stalen zinkpan en van de voorwerpen, die verzinkt worden. De belangrijkste toevoeging, die men gebruikt om de eigenschappen van de zinklaag te verbeteren, is aluminium. Reeds een aluminiumgehalte van 0,02% heeft een duidelijke invloed. Het gesmolten zink vloeit daardoor beter van de voorwerpen af en de zinklaag wordt glanzender. Bovendien vormt het aluminium een vliesje van aluminiumoxide op het zinkbad, waardoor minder zinkoxide (zinkas) ontstaat. Bij een hoger aluminiumgehalte wordt deze werking nog duidelijker.

Bij een hoog aluminiumgehalte vermindert ook de inwerking van het gesmolten zink op het staal, zodat een dunnere legeringslaag ontstaat. Bij 0,1% aluminium is dit zeer duidelijk. Hogere aluminiumgehalten worden zelden toegepast. Aluminium vermindert ook het optreden van vlammen op het verzinkte werk; dit zijn grote kristallen. Voor sommige toepassingen vindt men deze grote kristallen juist mooi. Om deze te doen ontstaan kan men aan het zinkbad een kleine hoeveelheid tin of antimoon toevoegen.

4.1.1.6 HET TE BEHANDELEN STAAL

De samenstelling van het staal blijkt van grote invloed te zijn op het verzinkresultaat.

Staal bestaat niet uit zuiver ijzer, maar het bevat allerlei bijmengsels, zoals koolstof, silicium, mangaan, fosfor, zwavel en soms ook chroom, nikkel en molybdeen.

Een koolstofgehalte tot 0,2% maakt normaal verzinken mogelijk. Gewoon constructiestaal heeft een koolstofgehalte van 0,1-0,15%.

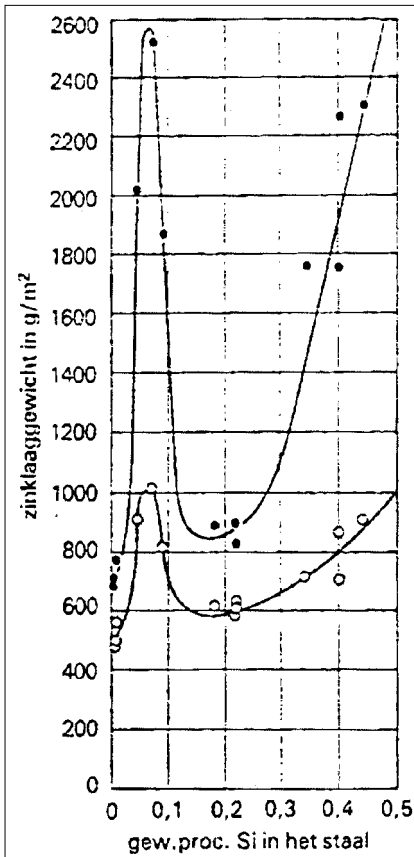
Wanneer het koolstofgehalte echter stijgt boven 0,30% treedt een snellere reactie op tussen het gesmolten zink en het staal. Daardoor ontstaat een dikkere legeringslaag en het kan voorkomen dat deze doorgroeit, zodat het verzinkte werkstuk er grijs uitziet. Voor corrosiewering is dit niet erg, maar het uiterlijk is minder fraai. Soms kan het storend zijn bij lakken en poedercoaten.

Silicium heeft dit effect in nog sterkere mate. Een siliciumgehalte beneden 0,04% heeft weinig invloed. Als het gehalte hoger wordt dan 0,04% krijgt men een sterke aantasting. Vaak hoort men beweren dat het siliciumgehalte van staal voor het verzinken zo laag mogelijk moet zijn. Dit is niet waar. Bij gehalten beneden 0,04-0,12% treedt het Sandelin-effect op, figuur 4.2, ook boven 0,23% kan men moeilijkheden verwachten. Er wordt dan een dikke legeringslaag gevormd die snel doorgroeit in het zuivere zink en het verzinkte voorwerp wordt dan grijs.

De inwerking van het gesmolten zink op staal kan worden tegengegaan door toevoegingen aan het zinkbad. Wanneer men veel werkstukken moet verzinken met een hoog siliciumgehalte zal men het aluminiumgehalte van het bad iets opvoeren.

Silicium in het staal en aluminium in het zinkbad hebben een tegengesteld effect in het bijzonder voor staal met een laag siliciumgehalte (het Sandelin-gedeelte).

Voor dit doel worden in beperkte mate ook nikkeltoevoegingen aan het zinkbad gebruikt.



Figuur 4.2 Het Sandelin effect, invloed van het siliciumgehalte op het zinklaaggewicht volgens Horstmann.

Verzinktemperatuur 460°C

● = dompeltijd 9 min

○ = dompeltijd 3 min

.....

4.1.1.7 HET VLOEIMIDDEL (DE FLUX)

Vloeimiddelen zijn stoffen, die bij het verzinken worden gebruikt om een goede hechting van het zink op het staal te verkrijgen. Ook bij andere bewerkingen, waarbij gesmolten metalen worden gebruikt, past men vloeimiddelen toe, zoals bijvoorbeeld bij solderen (soldeerwater of soldeerpasta). Het vloeimiddel dat men voor verzinken gebruikt bestaat meestal uit zinkchloride samen met ammoniumchloride. Soms worden hieraan nog andere stoffen toegevoegd.

Bij de hoge temperatuur van het zinkbad (rond 450 °C) voert het vloeimiddel verschillende werkingen tegelijk uit, namelijk:

1. Resten oxide (roest) op het ijzer worden bij de verzinktemperatuur opgelost en het ijzer wordt metallisch schoon.
2. Oxidelagen op het zinkbad, voornamelijk zinkoxide en aluminiumoxide, die een taaie film vormen en die een slechte hechting zouden geven, worden ook opgelost en het vloeimiddel voorkomt dat ze opnieuw ontstaan.
3. Staal wordt door de aanwezigheid van het vloeimiddel beter door het gesmolten zink bevochtigd.

Bij het verzinken verdampt een deel van het vloeimiddel en men zag vroeger dan ook in de buurt van een verzinkerij vaak een nevel hangen. Deze nevel bevatte chloriden en was schadelijk voor het milieu en ook voor het zink als hierop later moest worden gelakt. Verzinkerijen zijn nu voorzien van afzuig- en filterinstallaties die alle dampen opvangen en reinigen.

Het is essentieel dat het vloeimiddel water (eventueel kristalwater) bevat. Bij de ontledingsreactie van ammoniumchloride ontstaat HCl damp dat bij de hoge temperatuur in water oplost en zeer intensief op de oxiden inwerkt. Het meest gebruikte zoutmengsel voor flux is het dubbelzout $ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl$, maar ook het tripelzout met $3 NH_4Cl$ vindt toepassing.

Fluxen worden zowel bij droog verzinken als bij nat verzinken gebruikt, zie 4.1. Bij het nat verzinken is de temperatuur van de fluxlaag, die op het zinkbad drijft tamelijk constant, maar bij droog verzinken wordt de flux die zich op de onderdelen bevindt in korte tijd verhit tot de temperatuur van het vloeibare zink.

4.1.1.8 UITVOERINGEN VAN NAT VERZINKEN

Het onderdompelen van de werkstukken in het gesmolten zink is een handeling die veel ervaring vraagt. De werkstukken moeten zó in het zinkbad komen dat het gehele oppervlak door gesmolten zink wordt geraakt en dat nergens lucht wordt gevangen. Vooral voor holle voorwerpen, die bijvoorbeeld uit buis zijn vervaardigd, vraagt dit veel inzicht en ervaring.

Ook moet men erop letten dat de voorwerpen geen gesloten holten hebben die bij het verzinken door de hoge druk kunnen exploderen.

De constructie moet geschikt zijn voor thermisch verzinken. Verzinkerijen beschikken over constructie-aanwijzingen.

Eventueel zal de verzinkerij in de voorwerpen die voor verzinken worden aan-

.....

geleverd, in overleg met de opdrachtgever, ontluichtingsgaten van voldoende afmetingen boren.

Voorwerpen met inwendige spanningen, of waaraan gelast is, kunnen bij het verzinken gaan trekken. Door het verzinken op de juiste manier uit te voeren kan men dit trekken tot een minimum beperken.

Het hijsen of uithalen van de werkstukken uit het zinkbad moet eveneens met zorg gebeuren. Hijst men langzaam dan krijgt het zink veel gelegenheid om af te vloeien en men zal dan een dunnere laag krijgen. Dit geldt alléén voor de zuivere zinklaag die op de legeringslagen aanwezig is. De legeringslaag zelf is namelijk niet vloeibaar.

Dikwandige voorwerpen houden beter de warmte vast en het zink vloeit daarop langer na.

Hiermee moet men rekening houden bij de hijsnelheid. Veel toegepast wordt een hijsnelheid van 0,80 tot 1,50 m/min.

4.1.1.9 DROOG VERZINKEN

Bij droog verzinken worden de voorwerpen gedompeld in een warme fluxoplossing of daarmee bespoten. Vervolgens worden ze, meestal in een droogoven, gedroogd. Het vloeimiddel vormt witte zoutkristallen en er ontstaat ook enige roest, die bij het verzinken vlot oplost.

Vooraf bij het hijsen moet er op gelet worden dat de verzinkte werkstukken door een schoon, afgeschuimd zinkoppervlak naar boven worden gehaald.

4.1.1.10 AFTIKKEN OF AFSTRIJKEN

Zowel bij nat als bij droog verzinken heeft het vloeibare zink na het hijsen de neiging nog na te vloeien, zodat zich als men geen verdere maatregelen neemt aan de onderrand van de voorwerpen een zinkrand of druppels vormen, die men later moet verwijderen.

Goed aftikken van de voorwerpen of afstrijken kan dit vloeibare zink grotendeels verwijderen, waardoor het nabewerken nagenoeg niet meer nodig is.

4.1.1.11 AFKOELEN NA HET VERZINKEN

De afkoelsnelheid van thermisch verzinkte voorwerpen hangt in sterke mate af van de dikte van het verzinkte staal.

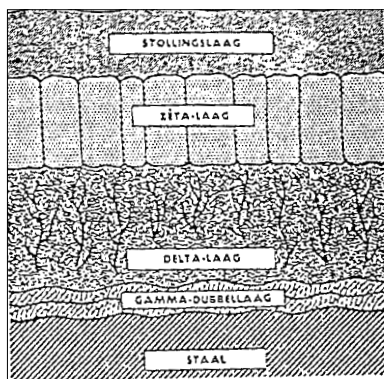
Tijdens de afkoelperiode groeien de zinklegeringslagen door tot een temperatuur van 200 °C is bereikt. Soms is reeds bij een hogere temperatuur een geheel doorgroeide zinklaag ontstaan, zodat geen zuiver zink meer op het zinkoppervlak aanwezig is. Zo'n doorgegroeide zinklaag heeft een grijze kleur, geeft wel een goede corrosiewering, maar is minder fraai.

Vroeger was het gebruikelijk verzinkte voorwerpen altijd in een bad met water te koelen. Door resten meegesleept vloeimiddel raakte dit koelwater spoedig vervuild.

Omdat vervuild koelwater zeer nadelig is voor de hechting van verfsystemen of poedercoatings wordt aan de lucht gekoeld. Als het materiaal onvoldoende aan de lucht wordt afgekoeld ontstaat er broei, waardoor een onthechting tussen de legeringslaag en de stollingslaag kan ontstaan, zodat deze als een vel kan worden losgetrokken. Voor verzinkt staal dat moet worden gelakt of gepoedercoat koelt men na het verzinken ook wel met demiwater.

4.1.1.12 OPBOUW VAN DE THERMISCHE ZINKLAAG

Een zinklaag, die op staal wordt aangebracht door discontinu thermisch verzinken, is ingewikkeld van opbouw. Naast een zuivere zinklaag aan het oppervlak krijgt men namelijk tussen het zink en het staal drie legeringslagen. Deze legeringslagen bestaan alle uit ijzer en zink, maar in verschillende verhoudingen.



Figuur 4.3.a

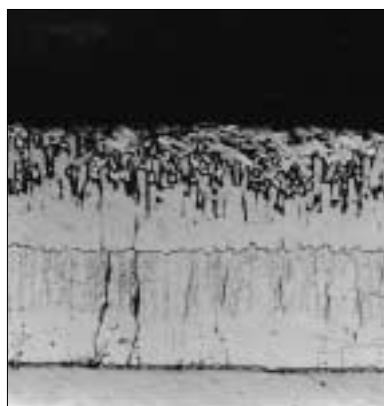
Ze kunnen in een microscopische doorsnede van de zinklaag duidelijk worden onderscheiden, doordat ze een verschillende kristalstructuur hebben, zie tabel 4.1 en de figuren 4.3a en 4.3b.

Het voordeel van deze legeringslagen is dat het zink als het ware op het staaloppervlak is vastgegroeid, waardoor een zeer goede hechting ontstaat.

Deze legeringslagen zijn enigszins bros, zodat het staal na thermisch verzinken niet noemenswaardig meer kan worden vervormd, omdat anders scheuren in de zinklaag optreden.

Van onder naar boven: staal (gelijkmatig grijs), gammadubbellaag (als een zwarte lijn zichtbaar), deltalaag (donkergekleurd), zÏtalaag (met lange, rechtopstaande kristallen) en de stollingslaag (licht van kleur).

De zwarte kleur daarboven is de inbedmassa, nodig om het microscopische preparaat te kunnen maken.



Figuur 4.3.b

Een zeer dunne legeringslaag, zoals verkregen bij continu verzinken, vertoont dit verschijnsel niet, of in veel mindere mate.

TABEL 4.1 Legeringslagen, die bij thermisch verzinken ontstaan

<u>Naam</u>	<u>gamma dubbellaag</u>	<u>deltalaag</u>	<u>zêta</u> laag	<u>êta</u> laag
Symbool	Γ	δ	Z of ζ	
Andere naam	--	pallisadelaag	floatinglaag	stollingslaag
% IJzer	21-28	7-12	5,8-6,2	--
Kristalstructuur	vlakken- gecentreerd kubisch	hexagonaal	monoklien	hexagonaal, dichtste bol- stapeling
Vickers Hardheid	70	179	244	--
Potentiaal	-450mV	-500mV	-600mV	-760mV

4.1.1.13 LAAGDIKTE BIJ HET THERMISCH VERZINKEN

Onder de laagdikte van thermische zinklagen verstaat men altijd de laagdikte van het zuivere zink + de legeringslagen. Dit is begrijpelijk als men weet dat ook de legeringslagen een goede corrosieweerstand hebben. Bij een magnetische laagdiktemeting vindt men de dikte van de zinklaag plus de legeringslagen samen.

De laagdikte bij het verzinken is afhankelijk van een aantal factoren, namelijk:

- de temperatuur van het zinkbad
- de samenstelling van het zinkbad
- de samenstelling van het staal
- de uithaalsnelheid
- de navloeitijd
- de dikte (warmte-inhoud) van het staal.

Aan de eerste twee punten kan men weinig veranderen. De verzinkerijen kiezen daarvoor een goed gemiddelde. De dompeltijd en de uithaalsnelheid kan men bij het verzinken aanpassen aan de vorm en de dikte van de voorwerpen. Veel belangrijker zijn echter de samenstelling en de dikte van het staal. Bij dikwandig reactief staal kan de zinklaag wel 400 μm dik worden.

4.1.1.14 NABEHANDELEN VAN THERMISCHE ZINKLAGEN

In een beperkt aantal gevallen worden thermische zinklagen gepassiveerd om de corrosieweerstand te vergroten.

Veel vaker als een standaardbehandeling, wordt de zinklaag van een conversielaag voorzien voor het aanbrengen van een lakbedekking of poedercoating.

.....

Fosfaatlagen, chromaatlagen en chromaatvrije systemen worden besproken in hoofdstuk 12, Conversielagen.

De andere systemen worden besproken in hoofdstuk 15, Lakken en laksyste-
men en hoofdstuk 16, Poedercoatings. Thermisch verzinken met daarop een
organische deklaag: lakbedekking of poedercoating is bekend als duplex sys-
teem.

4.1.1.15 AFWIJINGEN EN FOUTEN VAN ZINKLAGEN

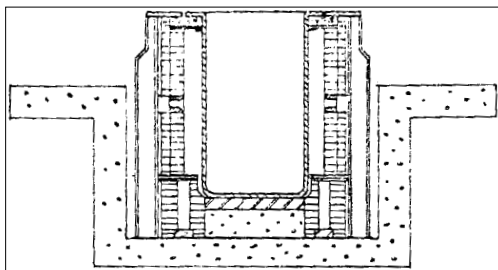
Het discontinu thermisch verzinkte materiaal moet voldoen aan de eisen van
de norm NEN-EN-ISO 1461.

De norm noemt een aantal afwijkingen die niet toegestaan zijn, zoals:

- ruwheid en scherpe punten die letsel kunnen veroorzaken
- fluxassen mogen niet aanwezig zijn
- onverzinkte plekken, ontstaan door onvoldoende reiniging of lucht-
insluitingen. Tot een bepaalde afmeting staat de norm toe dat de verzinkerij
die mag herstellen volgens enige voorgeschreven methoden.

4.1.1.16 DE VERZINKINSTALLATIE

Het zinkbad, figuur 4.4 is meestal een stalen pan, die gesmolten zink bevat en
die rondom wordt verwarmd. Dit verwarmen gebeurt niet direct, maar door
stralingswarmte van de oven waarin de
zinkpan hangt.



Figuur 4.4

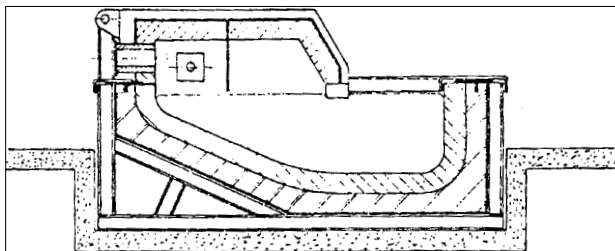
Thermisch verzinkbad met een stalen zinkpot

stralingswarmte van de oven waarin de
zinkpan hangt.

De stenen wanden van de oven worden
door branders of elektrisch verhit.
Zuiver zink heeft een smeltpunt van
419,5 °C. Men verhit de zinkbaden
voor het thermisch verzinken meestal
tot temperaturen tussen 445 en 455 °C.

Bij temperaturen boven 480 °C wordt
de stalen pan snel aangetast.
Die temperatuur mag het zink dus
nooit bereiken.

Figuur 4.5 Keramische
verzinkoven met verwarming
in het deksel.
Voor zeer grote werkstukken
kan het deksel
(tijdelijk) verwijderd worden



.....

Er zijn verzinkerijen die gebruik maken van keramische verzinkovens, figuur 4.5 waarmee men wél hogere temperaturen kan bereiken.

Onderin de stalen pan bevindt zich een laag gesmolten lood die zich niet met het zink mengt.

In het zinkbad vormt zich door het oplossen van ijzer geleidelijk een hoeveelheid zink-ijzerlegering FeZn_{13} , de zêtafase, die een hoger smeltpunt heeft dan het zinkbad.

Daardoor ontstaan in het gesmolten zink kristallen van zogenaamd hardzink die langzaam naar de bodem van het zinkbad zakken. Deze moeten door regelmatig uitscheppen worden verwijderd. Dit gaat gemakkelijk, doordat zich een laag gesmolten lood op de bodem van het zinkbad bevindt.

De afzuigings- en filterinstallaties in de verzinkerijen zorgen voor een goede atmosfeer in de werkruimten en voorkomen dat hinderlijke en schadelijke nevels en dampen in het milieu terechtkomen. Dit doet men door de afgezogen gassen te wassen. Het is niet meer zo dat een verzinkerij al van verre herkenbaar is aan de witte nevel, die er omheen hangt. De omgevingslucht is nu schoon.

De veiligheid van mensen rondom het zinkbad wordt gewaarborgd door de eisen van de arbo-wet. Daarom is er veel meer afstandsbediening rond het zinkbad dan vroeger. Tijdens het indompelen van voorwerpen worden zinkbaden tegenwoordig helemaal afgeschermd met schuifwanden of overkappingen. Alleen voor het afschuimen van het vloeibare zinkoppervlak werken er nog mensen direct aan het zinkbad..

4.1.1.17 CENTRIFUGAAL VERZINKEN

Trommelverzinken of centrifugaal verzinken wordt uitgevoerd op kleinere artikelen, vaak bouten en moeren. Deze worden in een geperforeerde korf in het zinkbad gehangen. Als alle voorwerpen met vloeibaar zink bedekt zijn, wordt de trommel gehesen en gecentrifugeerd om de overmaat zink af te slingeren. Daarna worden de nog warme voorwerpen in water uitgestort om verder los van elkaar af te koelen.

Het centrifugaal verzinken wordt tegenwoordig uitgevoerd in automatische- of semi-automatische verzinkinstallaties.

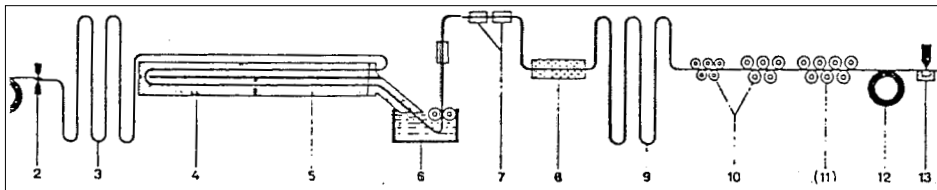
4.1.2 CONTINU VERZINKEN

Continu verzinken van staal wordt toegepast op:

- plaat (breedband) meer bekend als Sendzimir
- draad
- buis (in een half continu proces).

4.1.2.1 CONTINU VERZINKEN VAN PLAAT

Continu thermisch verzinkte plaat, figuur 4.6 wordt onder meer gebruikt voor de apparatenbouw en het vervaardigen van panelen in de bouw. (Sendzimir plaat is een bekend type continu thermisch verzinkte plaat; het is eigenlijk een handelsnaam; er zijn ook andere typen).



Figuur 4.6 Schema van een continu verzinkproces (Stichting Doelmatig Verzinken)

1 = afwikkelcilinder voor bandstaal

2 = puntlasmachine

3 = invoerlussen

4 = oxiderende voorverwarming
(verwijdering olie en vet)

5 = gloeioven (reduceroven met
ammoniakkraakgassen);
eindtemperatuur ca 500°C

6 = zinkbad ca 450°C

7 = luchtblaaskoelers

8 = aanbrengen van het
chromaatdeklaagje

9 = afvoerlussen

10 = richtmachines

11 = dresseerwalsen (matteerwals)
voor verwijdering zinkbloemen

12 = opwikkelcilinder

13 = bandschaar

Er zijn diverse kwaliteiten Sendzimir plaat. De meest voorkomende laagdikte van het zink is circa 20 μm . Dit zink is vrijwel geheel zuiver, want het verzinkproces verloopt zó snel en de samenstelling van het zinkbad is zó gekozen (hoog aluminiumgehalte) dat slechts een microscopisch dunne legeringslaag ontstaat.

Sommige kwaliteiten Sendzimir plaat kan men goed vervormen en zelfs dieptrekken zonder dat de zinklaag scheurt.

Sendzimir materiaal komt voor in laagdikten tussen 7 en 35 μm ; in de handel zijn diverse laagdikten te verkrijgen. Het meest gebruikelijk is 18-22 μm .

De zinklaag die men aantreft op coil coat materiaal (in continue installaties gelakte staalband) heeft meestal een geringere zinklaagdikte van 10 à 15 μm . De oppervlaktegesteldheid van Sendzimir materiaal kan zijn:

- gekristalliseerd, met bloemen, welke door een laklaag heen zichtbaar zijn
- gekristalliseerd, nagewalst
- kristalvrij, enigszins grijs van uiterlijk.

4.1.2.2 CONTINU VERZINKEN VAN DRAAD

Staaldraad wordt op grote schaal elektrolytisch verzinkt.

Daarnaast wordt het, vooral als men een dikkere zinklaag wenst, thermisch verzinkt omdat er vrijwel geen legeringslaag wordt gevormd.

Om dezelfde redenen als genoemd in 4.1.2.1 bij plaatmateriaal, kan men de

.....

draad na het verzinken nog goed vervormen, bijvoorbeeld voor het vervaardigen van gaas.

Bij het verzinken van draad wordt het voorbehandelde materiaal in een dompelbad gefluxt en vervolgens met een aantal draden evenwijdig aan elkaar door het zinkbad geleid. Overmaat zink wordt door een prop steenwol verwijderd. Ook van draad vervaardigd staalgaas kan continu verzinkt worden.

4.1.2.3 CONTINU VERZINKEN VAN BUIS

De dunnere maten buis, zoals verwarmingsbuis en tentstokken worden als regel elektrolytisch verzinkt. Dikkere buis met een diameter van 25 mm en groter en ook met een grotere wanddikte tot enige millimeters wordt meestal halfcontinu verzinkt door de buisdelen vóór het zinkbad aan elkaar te koppelen.

Daarbij kan men verschillende methoden volgen:

- rondom verzinken, in- en uitwendig
- alleen uitwendig verzinken
- alleen inwendig verzinken.

Voor alleen uitwendig verzinken worden de buizen bij het koppelen van een prop voorzien. Bij alleen inwendig verzinken wordt in een buislengte van 2 tot 4 meter een hoeveelheid vloeibaar zink gebracht en vervolgens een waterdosering. Het water vormt explosief stoom en blaast het vloeibare zink door de gehele buislengte, die zo verzinkt wordt.

4.1.3 THERMISCHE ZINKLEGERINGSLAGEN OP STAAL

Bij continu thermisch verzinken van staal worden steeds meer zink-aluminiumlegeringslagen in diverse samenstellingen gebruikt. De voornaamste typen zijn Galfan en Aluzinc en daarnaast Galvalume. Ze hebben een aluminiumgehalte bij Galfan en Aluzinc van 3% en bij Galvalume iets meer dan 50%.

4.1.3.1 GALFAN

Naast zink bevat Galfan, dat op overeenkomstige manier als Sendzimir plaat wordt vervaardigd:

zink	94%
aluminium	5%
lanthanium	0,02-0,03%
cerium	0,015-0,020%
zirkoon of titaan	0,01-0,05%

.....

De zeldzame aardmetalen lanthanum en cerium (dat zijn de meest voorkomende, die eigenlijk helemaal niet zeldzaam zijn) worden als 'Mischmetall' toegevoegd om het staal beter te bevoeien.
Titaan en zirkoon wordt toegepast op met silicium gelegeerd staal.

Galfan heeft in de atmosfeer een betere corrosieweerstand (tot 50% beter dan Sendzimir-materiaal).

4.1.3.2 ALUZINC

Aluzinc is een eenvoudiger legering met 3% aluminium. Deze legering wordt aangebracht in een laagdikte van 15 tot 30 μm (meestal 20 μm).
De corrosieweerstand in de atmosfeer is tot 30% beter dan van Sendzimir.

4.1.3.3 GALVALUME

Galvalume bevat naast 55% aluminium 1,5% silicium. Deze legering heeft een betere corrosieweerstand in een industrie-atmosfeer dan zuiver zink.
Galvalume, met zijn hoge aluminiumgehalte, gedraagt zich zowel in een industrie-atmosfeer als in een stedelijke atmosfeer zeer goed. Men gebruikt het ondermeer voor dakplaten, als geen koolstof (roet) in de atmosfeer aanwezig is.
In een zee- en een industrie-atmosfeer is Galvalume circa 2 maal zo corrosievast als Sendzimir.

4.1.4 GALVANEALING

Onder galvanealing verstaat men thermisch verzinken, gevolgd door een warmtebehandeling, waardoor uitsluitend zink-ijzerdiffusielagen ontstaan. Het proces wordt weinig toegepast.

4.2 THERMISCH VERCADMIUMMEN VAN STAAL

Ten gevolge van de giftigheid van cadmiumoxidedampen wordt het aanbrengen van thermische cadmiumlagen maar bij hoge uitzondering en alleen onder speciale voorzorgen uitgevoerd. Als regel dekt men het gesmolten cadmium af met een zoutsmelt.

Voordelen: dikke lagen, langdurige bescherming.

Nadelen: soms kans op brosheid door cadmiumpenetratie in het staal (liquid metal embrittlement).

.....

4.3

Thermisch vertinnen

De voornaamste toepassing van tinlagen op staal is het aanbrengen van een thermische of galvanische tinlaag op dun, zacht plaatstaal bij de blikfabricage. Daarnaast wordt tin toegepast voor het thermisch vertinnen (ook vuurvertinnen, dompelbadvertinnen of volbadvertinnen genoemd) van gietijzeren of andere stalen voorwerpen.

Tin is niet giftig (geschikt voor levensmiddelen) en heeft een aantrekkelijk uiterlijk. Het maakt ijzer goed soldeerbaar. Het is edeler dan ijzer, zodat in poriën roest kan ontstaan. Of corrosie optreedt is sterk afhankelijk van het milieu. Bij afwezigheid van zuurstof (in conservenblikken) treedt vaak geen corrosie bij de poriën op.

In de conservenindustrie wordt vertind blik vaak met een laklaag bedekt om de corrosieweerstand tegen de zeer uiteenlopende artikelen, die in blik verpakt worden, op te voeren.

Thermisch vertinnen werd vroeger algemeen bij de blikfabricage toegepast. Daarbij werden geknipte staalplaten in een tinbad gedompeld en meestal via een palmolielaag, die zich op een gedeelte van het tinbad bevond, weer naar boven gehaald. Daarbij verkreeg men een glanzende tinlaag van behoorlijke dikte. Levensmiddelen, die honderd jaar geleden in vertind blik werden verpakt, blijken nog in goede toestand te verkeren. Continu thermisch vertinnen, waarbij rollen bandstaal worden behandeld, is nooit op grote schaal toegepast. Dit proces is thans vrijwel geheel vervangen door elektrolytisch vertinnen, waarbij veel geringere tinlaagdikten kunnen worden bereikt (minder verbruik van het dure tin).

Een bekende toepassing van het vertinnen van stalen voorwerpen vond men vroeger bij de fabricage van melkbussen.

Voor gietijzeren voorwerpen (speciaal vloeimiddel gebruiken en een speciale werkwijze toepassen) en voor stalen voorwerpen is thermisch vertinnen nog veel in gebruik. De laagdikte is bij deze processen moeilijk instelbaar, maar meestal belangrijk groter dan bij galvanisch vertinnen. Smeervertinnen, waarbij men de hete tinlaag op het oppervlak uitwrijft, wordt hierbij soms toegepast.

Speciale toepassingen van thermisch vertinnen vindt men bij het vertinnen van lagerschalen vóór het ingieten met witmetaal en bij het vertinnen van staal vóór het homogeen verlopen.

Een nieuwe thermische vertinmethode is het trommelvertinnen, waarbij men een afgemeten hoeveelheid voorwerpen samen met de berekende hoeveelheid tinpoeder in een trommel brengt, die wordt rondgedraaid en verhit. Hierbij verkrijgt men een nauwkeurige instelling van de laagdikte.

4.3.1

Laagdikte en laaggewicht bij vertind blik

De hoeveelheid tin op blik wordt nog wel uitgedrukt in gewicht per basis box of base box. Een base box bevat 112 platen van 20 x 14 inch. De oppervlakte daarvan is 62 720 square inch (tweezijdig) = 40465 m².

Het tingewicht wordt meestal uitgedrukt in ounces of pounds per basis box,

.....

waardoor men krijgt:

1 lb of 16 ounces is equivalent met 0,0000 606 inch dikte (eenzijdig), dat is:

1,54 micrometer laagdikte (eenzijdig)

0,0367 ounce per square foot (eenzijdig)

22,4 g/m² (tweezijdig).

4.3.2 THERMISCHE TINLEGERINGSLAGEN OP STAAL

Tin-loodlegeringen zijn grijs van kleur en niet zo glanzend als zuivere tinlagen. Meestal gebruikt men een loodgehalte tussen 70 en 30%.

Lood is goedkoper dan tin en bovendien is het smeltpunt van loodtinlegeringen van deze samenstelling lager dan van tin. Lood-tinlegeringen zijn beter bestand tegen verbrandingsgassen dan zuiver tin. Daarom gebruikt men deze legeringen voor de bescherming tegen corrosie van warmtewisselaars.

Thermisch aangebrachte tin-loodlagen worden in het Engelse taalgebruik wel pewter genoemd (eigenlijk tinnegoed).

4.3.3 THERMISCH VERTINNEN VAN ALUMINIUM

Thermisch vertinnen van de uiteinden van aluminium geleiders (draden en staven) dient om deze uiteinden soldeerbaar te maken, waardoor een goed elektrisch contact wordt verkregen. De storende invloed van de oxidehuid wordt opgeheven door gebruik te maken van een speciale flux (vloeimiddel) of van ultrasone agitatie (voldoend hard ultrageluid hamert de oxidefilm kapot). De trikkoppen kunnen zijn aangebracht in het gesmolten tinbad, dan wel in de kop van de soldeerbout waarmee het vertinnen wordt uitgevoerd.

4.3.4 THERMISCH VERTINNEN VAN KOPER

In contact met levensmiddelen gebruikt men uitsluitend zuiver tin. Thermische tinlagen past men onder meer toe op koperen pannen, meestal alleen aan de binnenzijde. Vaak wordt hierbij het smeervertinnen toegepast. Het tin wordt in het holle voorwerp gesmolten en met een dot papier, die vet gemaakt is met paraffine, over het voorwerppoppervlak gesmeerd.

Koperen waterleidingbuizen vertint men inwendig om ze bestand te maken tegen water.

(Leidingwater vertoont al naar de samenstelling een sterk verschillende agressiviteit).

Koperdraad voor de elektrotechniek wordt in een continu proces vertind. Na dompeling direct na het tinbad wordt de draad door een matrijs getrokken om de tinlaagdikte in te stellen. Koperen en messing voorwerpen, die gesoldeerd moeten worden, worden veelal thermisch vertind. Kleine messing onderdelen, zoals soldeerlippen, worden in massa vertind en daarna gecentrifugeerd om overmatig tin te verwijderen en vastkoeken te voorkomen. Thermisch vertinnen kan ook in trommels worden uitgevoerd, zie 4.3. Bij het dompelen van koper en koperlegeringen in een gesmolten tinbad gaat een deel van het koper in oplossing. Dit tin kan men niet meer gebruiken om staal te vertinnen omdat



hierdoor een sterk verminderde corrosiewering van de tinlaag ontstaat.

4.3.5 **THERMISCH VERLOOD-TINNEN VAN KOPER**

De meest voorkomende tinlegeringslagen op koper zijn in de samenstelling van zacht soldeer.

Deze kunnen langs thermische weg worden aangebracht en ook galvanisch. Een belangrijk toepassinggebied vindt men in de elektrotechniek en de elektronica.

Naast koper wordt ook messing vaak van een thermisch aangebrachte lood-tinlaag voorzien.

Binnenwerken van gasgeisers worden vaak voorzien van een thermisch aangebrachte lood-tinlaag om corrosie door verbrandingsgassen te voorkomen.

4.4 **THERMISCHE ALUMINIUMLAGEN OP STAAL**

In vergelijking met thermisch verzinken wordt het aanbrengen van thermische aluminiumlagen minder toegepast. Door het hogere smeltpunt van aluminium is het gevaar voor trekken van dunwandige werkstukken nog groter. De verkregen corossieweerstand is zeer goed, bijvoorbeeld voor uitlaatsystemen van verbrandingsmotoren en ovenonderdelen. Daardoor is ook een geleidelijke toename van het gebruik merkbaar.

Onder de naam gealuminiseerd staal (aluminised steel) is continu van een thermische aluminiumlaag voorzien breedband in de handel. Dit materiaal kan op overeenkomstige wijze worden verwerkt als continu thermisch verzinkt materiaal. Men maakt er onder andere auto-uitlaten van en stalen schoorstenen.

De vorming van een aluminiumoxidelaag bij hoge temperaturen maakt dat vooral een goede weerstand verkregen wordt tegen verbrandingsgassen. In een industrie-atmosfeer zijn thermische aluminiumlagen veelal beter bestand dan thermische zinklagen. Gealuminiseerd staal kan worden gelakt en geëmailleerd.

Door het gealuminiseerde staal op hoge temperaturen te verhitten ontstaat een aluminiumijzerlegeringslaag. Dit proces heet caloriseren. Dit proces kan ook worden uitgevoerd door een ongespoten aluminiumlaag op staal door verhitten tot een legering te maken.

4.5 **THERMISCH VERLODEN VAN STAAL**

Thermische loodlagen kunnen niet direct op staal worden aangebracht omdat ijzer en lood geen legering vormen. Door het toepassen van enige kunstgrepen, zoals het toevoegen van een kleine hoeveelheid tin aan het lood en het chemisch opruwen van het staal lukt het echter wel om goed hechtende en corossiewerende lagen aan te brengen. Toepassingen vindt men in de chemische industrie, in brandstoftanks, als smeermiddel op grove schroefdraad en voor onderdelen van accu's.

Een bijzondere vorm van thermisch verloten is het *loodbranden of homogeen*



.....

verloten.

Dit is eigenlijk het leggen van een aantal aaneensluitende lasrupsen van lood, waardoor een dikke gesloten laag wordt verkregen. Het proces wordt uitgevoerd door eerst het staaloppervlak te vertinnen (opsmelten van tin en uitwrijven, 'smeervertinnen') waarna de loodlaag kan worden aangebracht. Wanneer men voor maximale chemische weerstand een volkomen tinvrije loodlaag wenst moet op deze eerste loodlaag nog een tweede laag worden aangebracht. Loodbranden is een arbeidsintensieve bewerking die onder goede voorzorgen moet worden uitgevoerd (giftige looddampen) en die daarom duur is. Voor apparaten in de chemische industrie wordt homogeen verloten echter nog toegepast.