

.....

14

EMAIL

14.1 Samenstelling en bereiding van email

- 14.1.1 Smelten
- 14.1.2 Malen

14.2 Applicatie van email

- 14.2.1 Spuiten
- 14.2.2 Dompelen
- 14.2.3 Opdragen
- 14.2.4 Elektroforetisch opbrengen
- 14.2.5 Bevloeien (flowcoating)
- 14.2.6 Rollencoating
- 14.2.7 Vacuümemailleren
- 14.2.8 Poederemailleren
- 14.2.9 Decoreren

14.3 Drogen en branden van email

- 14.3.1 Drogen
- 14.3.2 Branden in een boxoven
- 14.3.3 Branden in een continu werkende oven

14.4 Emaillermethoden

- 14.4.1 Hechting van email op staal
- 14.4.2 Emailleren met grond- en dekemail
- 14.4.3 Direct emailleren
- 14.4.4 Laagdikte van emaillagen

14.5 Emailleren van staal

- 14.5.1 Eisen die aan het plaatstaal worden gesteld
- 14.5.2 Eisen die aan het email worden gesteld

14.6 Emailleren van gietijzer

14.7 Emailleren van aluminium

14.8 Emailleren van roestvast staal

- 14.8.1 Emaillertechniek voor verwarmingselementen

14.9 Eigenschappen en toepassingen van email

- 14.9.1 Hardheid en krasvastheid
 - 14.9.2 Corrosievastheid
 - 14.9.3 Kleur en kleurechtheid
 - 14.9.4 Bestandheid tegen zuren
 - 14.9.5 Weerstand tegen alkalische stoffen
 - 14.9.6 Afgifte van giftige stoffen, kookpannen
 - 14.9.7 Hoge temperaturen en thermische schokken
 - 14.9.8 Sier- en kunstvoorwerpen
 - 14.9.9 Gedrukte bedradingen
 - 14.9.10 Elektrisch geleidend email
 - 14.9.11 Sieraden
-

Emailleren, het opsmelten van een glasachtige deklaag, wordt in het Engels 'vitreous enamelling' genoemd. In Amerika noemt men email 'porcelain enamel'. In beide taalgebieden bedoelt men met de term 'enamel' moffellak. In het Nederlands wordt dit misverstand soms commercieel uitgebuit door gebruik te maken van de term 'emaillak'.

In het Frans heet emailleren émaillage en in het Duits Emaillierung.

Emails zijn gedeeltelijk uitgekristalliseerde glassoorten van uiteenlopende samenstelling die in één of meer lagen bij hoge temperatuur op een metaaloppervlak worden opgesmolten. Hierbij ontstaat een harde, goed hechtende laag met een grote chemische weerstand, die zowel in witte lagen met een hoge dekkraft als in tal van fraaie kleuren kan worden vervaardigd. Het voornaamste nadeel van emailbedekkingen is het geringe plastische vervormingsvermogen, maar door verbeterde emailsoorten en emaillertechnieken enerzijds en door aangepaste constructies van de ondergrond anderzijds is men aan dit bezwaar voor een deel tegemoet gekomen. De juiste naam is email en niet emaille. Het toepassingsgebied van email is zeer uitgebreid en omvat onder meer:

- kookgerei
- koelkasten en keukenmachines
- was- en vaatwasmachines
- sanitair
- ovens, kachels en fornuizen
- architectuur
- reclameborden, verkeersborden, schilden
- heetwaterboilers
- chemische apparatuur
- hittevlaste toepassingen, bijvoorbeeld in warmtewisselaars
- sier- en kunstvoorwerpen
- sieraden
- silo's
- afvalwatertanks
- verbrandingskamers van raketmotoren.

Emailleren is al een zeer oude techniek, die dateert van duizenden jaren voor Christus. De kunst van het emailleren is waarschijnlijk in West-Azië ontstaan; er zijn bewijzen dat de Egyptenaren, Assyriërs, Grieken, Byzantijnen en ook de Chinezen en Japanners deze kunst reeds toepasten.

In veel musea kan men geëmailleerde kunstvoorwerpen aantreffen die duizenden jaren oud zijn en ondanks het feit dat de kwaliteit van deze oude emails niet vergeleken kan worden met de moderne, wetenschappelijk samengestelde emails van nu, hebben deze kunstvoorwerpen nog steeds hun glans en mooie kleuren behouden.

De metalen, waarop de emaillaag werd aangebracht waren toen vrijwel uitsluitend goud, zilver en koper.

Omstreeks 1830 werd in de Bohemen een methode ontwikkeld voor het emailleren van gietijzer en dit betekende het begin van een ontwikkeling die

.....

heeft geleid tot een perfecte emailleertechniek en ook tot emaillagen met goede eigenschappen.

De belangrijkste toepassingsgebieden van email in volgorde van belangrijkheid zijn plaatstaal, aluminium, gietijzer, roestvast staal, koper en glas.

14.1 SAMENSTELLING EN BEREIDING VAN EMAIL

Volgens de Nederlandse norm wordt onder email verstaan: 'Een door smelten of fritten ontstane glasachtige massa met een anorganische, in hoofdzaak oxidische samenstelling die in één of meer lagen, met verschillende toevoegingen op voorwerpen van metaal of glas is aangebracht en daarna bij temperaturen boven 450 °C kan worden of is gesmolten'.

Slechts bepaalde oxiden kunnen met elkaar worden vermengd en bij smelten een glasachtige massa geven.

De oxiden die voor de bereiding van email in aanmerking komen kan men in de volgende groepen onderscheiden:

Oxiden die een netwerk vormen

Hiertoe behoren oxiden van onder andere silicium, borium en fosfor. Bij het smelten vormen deze oxiden een netwerk, dat bestaat uit een aaneenschakeling van tetraëders en driehoeken, waarbij zuurstofatomen als schakel dienen.

Oxiden die het netwerk veranderen

Hiertoe rekent men de oxiden van de alkali- en aardalkalimetalen. Deze elementen groeperen zich in de holten van het netwerk.

De hecht oxiden

Deze zorgen ervoor dat een goede hechting ontstaat tussen het metaal en het email. Hiertoe behoren de oxiden van kobalt, nikkel, koper en antimoon. Zij worden hoofdzakelijk in grondemails toegepast.

Dekkinggevendende verbindingen

Dit zijn verbindingen die aan het email worden toegevoegd om dekking te geven. Deze dekkkracht of opaciteit wordt veroorzaakt doordat de verbindingen tijdens het branden of smelten van de laag uitkristalliseren. Tot de dekkingsmiddelen rekent men fluorhoudende producten, antimoonoxide, zirkoonoxide en titaanoxide.

Pigmenten

Deze stoffen geven kleur en dekking; het zijn meestal onedele metaaloxiden. In kristallijn kwarts (siliciumdioxide) zijn de elementen silicium en zuurstof, waaruit kwarts bestaat, volgens een regelmatig terugkerend patroon gerangschikt.

In kwartsglas, een andere vorm van siliciumdioxide, komen de beide elementen silicium en zuurstof niet voor in een regelmatig patroon, maar ze vormen grotere of kleinere ringen.

In glas, met producten die het netwerk wijzigen, bestaat het netwerk uit ringen en ketens van zuurstof en silicium (dus de netwerkvormers), waartussen zich

.....

de oxiden van de alkali- en aardalkali-elementen bevinden (de netwerkwijzigers). De verhouding tussen de hoeveelheid oxiden, die het netwerk vormen en de producten die het netwerk wijzigen, is bepalend voor een groot aantal eigenschappen van de verkregen email laag, zoals de uitzettingscoëfficiënt, de smeltbaarheid en de chemische bestandheid.

14.1.1 SMELTEN

Belangrijke grondstoffen voor de bereiding van email zijn veldspaat (alkali-aluminiumsilicaat), kwarts, borax, soda en diverse fluorhoudende verbindingen. Deze grondstoffen worden afgewogen, gemengd en vervolgens gesmolten. Dit smelten kan gebeuren in een boxoven, in een roterende smeltoven of in een continu werkende smeltoven.

Bij het smelten in een boxoven of een roterende oven wordt het gesmolten product in water uitgegoten, waarbij het email 'schrikt'. Er ontstaat dan de korrelvorm bekend als frit (granaliën).

Email wordt tegenwoordig meestal bereid in continu werkende smeltovens, waarbij het uit de oven vloeiende, gesmolten product tussen twee met water gekoelde stalen rollen loopt. Er ontstaat dan een brede band, die aan de lucht verder wordt gekoeld en vervolgens in stukjes wordt gebroken; deze emailvorm staat bekend als vlokken of flakes.

De temperatuur, waarbij de emailgrondsoorten worden gesmolten ligt, afhankelijk van de samenstelling, tussen 1200 en 1400 °C.

1.4.1.2 MALEN

De uitgangproducten emailfrit of emailflakes moeten nu geschikt worden gemaakt om te kunnen worden aangebracht op het te emaileren voorwerp. Dit gebeurt door malen in een molen met kogels. Vroeger gebruikte men porceleinen kogels.

Nu worden kogels van aluminiumoxide en steatiet gebruikt. Deze zijn harder. Emailfrit kan zowel droog als nat worden toegepast en bij het malen wordt dan ook een natte of een droge methode gebruikt.

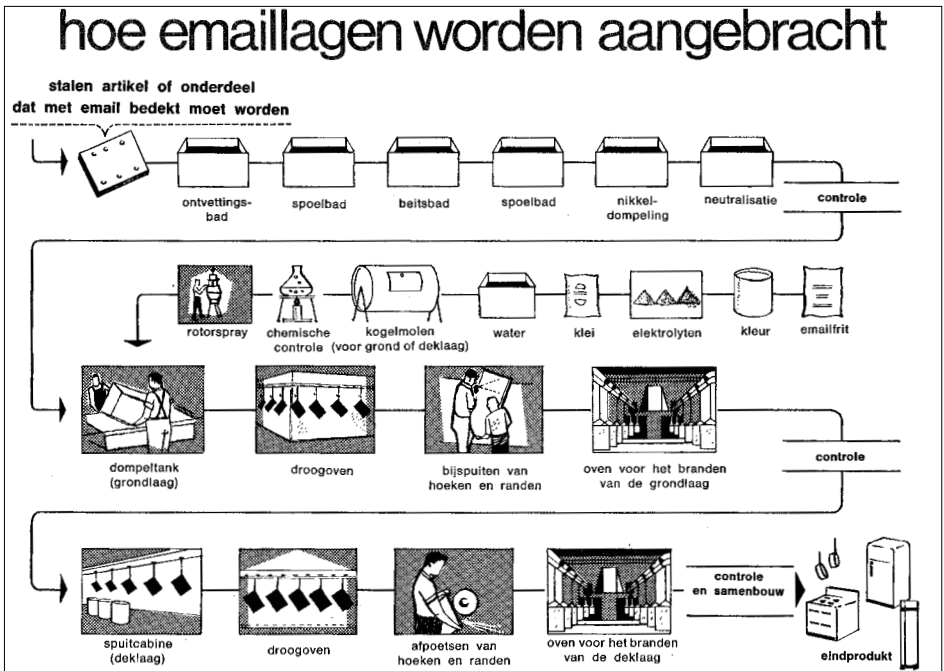
Bij emails, die nat worden gemalen, dient het water als medium om het email gemakkelijk te kunnen verwerken. Toevoeging van geringe hoeveelheden van bepaalde elektrolieten, zoals natriumnitriet of natriumaluminaat, samen met klei, dient om het emailslib, dat bij het malen wordt gevormd, in suspensie te houden. De verkregen suspensie is gereed voor verdere verwerking. Een voorbeeld van een maalformule voor het maken van een grondemail luidt:

100 delen frit
 4-7 delen klei
 0-15 delen kwarts
 0,125-0,25 delen natriumnitriet
 45-50 delen water.

Bij een dekemail wordt afhankelijk van het type email en de gewenste kleur, 0-5% anorganische kleurstoffen, aan de maalformule toegevoegd.

14.2 APPLICATIE VAN EMAIL

De suspensie die bij het nat malen wordt verkregen kan op diverse manieren op het artikel worden aangebracht, waarbij de toe te passen methode veelal afhankelijk is van de vorm van het voorwerp, figuur 14.1. Ook voor poederemail zijn er diverse applicatiemethoden.



14.2.1 SPUITEN

Door verneveling met lucht (pneumatisch) kan het emailslib op eenvoudige wijze worden verwerkt. Dit kan zowel met de hand als machinaal worden uitgevoerd.

Een veel toegepaste techniek is ook het elektrostatich spuiten, waarbij tussen het spuitpistool en het voorwerp een elektrostatich veld wordt aangelegd.

.....

Een belangrijke applicatietechniek is het spuiten door middel van spuitrobots, waarbij volgens een vast programma een reeks spuitbewegingen door een machine kan worden uitgevoerd.

1.4.2.2 DOMPELEN

Bij dompelen wordt het te emailleren voorwerp ondergedompeld in een bak emailslib en daarna gedroogd en gebrand. Veelal wordt deze methode toegepast om grondemails aan te brengen.

1.4.2.3 OPDRAGEN

Karakteristiek voor emailapplicatie is de techniek van opdragen. Eerst wordt het te emailleren voorwerp met een tang vastgehouden en in het email ondergedompeld. Door draaibewegingen wordt het email dan regelmatig over het werkstuk verdeeld. Deze methode, die vooral bij pannen wordt toegepast kan zowel met de hand als machinaal gebeuren. Deze methode wordt zowel voor grond- als dekmantels toegepast.

1.4.2.4 ELEKTROFORETISCH OPBRENGEN

De elektroforetische applicatiemethode berust op het principe dat emaildeeltjes in een waterige suspensie naar de anode bewegen als tussen het voorwerp (als anode geschakeld) en een andere elektrode (de kathode) een elektrische spanning wordt aangelegd.

1.4.2.5 BEVLOEIEN (FLOW COATING)

Bij het bevoeien wordt het emailslib over het te emailleren voorwerp gegoten en het vloeit onder invloed van de zwaartekracht af. Een bijzondere mogelijkheid van de bevoeiingsmethode is eenzijdig emailleren dat vooral voor dekemail op plaat wordt toegepast.

1.4.2.6 ROLLENCOATING

Bij het continu emailleren van dunne staalplaat, een vorm van coilcoating met emailslib, wordt de eerste laag met een rollencoater aangebracht. Na drogen en inbranden van het grondemail wordt de toplaag gespoten, gedroogd en ingebrand.

Deze dunne plaat wordt vervolgens op rollen met een grote diameter gewikkeld, met de geëmailleerde zijde aan de binnenkant om te voorkomen dat het email scheurt.

.....

1.4.2.7 VACUÛMEMAILLEREN

Vacuümemailleren wordt vooral toegepast voor grotere holle voorwerpen, zoals tanks, binnenwerken van boilers en condensors. Het voorwerp wordt met de open onderzijde in een bak met emailslib gedompeld en aan de bovenzijde wordt lucht afgezogen. De holle ruimte wordt zo geheel gevuld. Daarna laat men weer lucht toe.

1.4.2.8 POEDEREMAILLEREN

Het poeder, dat verkregen wordt door droog malen van het email, kan worden aangebracht met de volgende technieken:

Poederen van gietijzer

De klassieke toepassing van poederemail is het emailleren van gietijzeren badkuipen. De badkuip wordt in een oven verhit tot hoger dan 900 °C. Buiten de oven wordt de roodgloeiende kuip met emailpoeder bestrooid.

Door de hoge temperatuur en de warmte-inhoud van het gietijzer smelt het email aan het gietijzer vast. De badkuip wordt gedurende enige minuten in de oven teruggeplaatst, om het email tot een gladde laag te laten uitvloeien. Om een voldoende dikke email laag te krijgen, wordt dit proces 1 à 2 keer herhaald.

Elektrostatisch poederspuiten

Momenteel wordt email ook in poedervorm op plaatstaal aangebracht. Het email wordt hierbij door middel van elektrostatisch spuiten opgebracht. Bij dit systeem worden de plaatstalen voorwerpen niet eerst verwarmd. Het voordeel bij toepassing van poederemail is dat drogen niet langer noodzakelijk is. Om het elektrostatisch effect te bereiken worden de emaildeeltjes (die elektrisch inert zijn) van een coating voorzien.

Nadelen van elektrostatisch spuiten van emailpoeder zijn dat men een beperkte kleurkeuze heeft en dat het proces alleen geschikt is voor grote series.

1.4.2.9 DECOREREN

Randen afwerken gebeurt bij pannen, kroezen en schalen door na het drogen de rand schoon te poetsen, omdat daar bij het branden gemakkelijk scheuren ontstaan.

De vrijgemaakte plaats wordt vervolgens met de hand of machinaal van een blauwe, groene of rode email laag voorzien, die minder scheurgevoelig is. Decoreren als versiering kan handmatig door beschilderen worden uitgevoerd, maar ook door zeefdrukken.



14.3 DROGEN EN BRANDEN VAN EMAIL

14.3.1 DROGEN

Nadat de natte slib is aangebracht wordt het overtollige water verdampt, hetgeen bij voorkeur gebeurt in een droger bij een temperatuur van circa 80-120 °C (niet voor poederemail). De gedroogde email laag noemt men biscuit. Geforceerde droging wordt bij voorkeur toegepast om te voorkomen dat de email laag wordt verontreinigd en tevens om te vermijden dat het staal, waarop de email laag is aangebracht, gaat roesten.

14.3.2 BRANDEN IN EEN BOXOVEN

Aansluitend aan het drogen wordt het email ingebrand. Afhankelijk van het emailtype gebeurt dit op staalplaat bij een gemiddelde temperatuur van 820 °C voor dunner staal tot wel 860 °C voor grotere staaldikten. Bij het inbranden in een boxoven worden de artikelen op een brandrooster geplaatst en met een laadvork in de oven gereden. Na een brandtijd van 5-10 minuten, afhankelijk ondermeer van de lading en van het type email, worden de artikelen uit de oven gereden en afgekoeld. Deze werkwijze is dus discontinu.

14.3.3 BRANDEN IN EEN CONTINU WERKENDE OVEN

Een continu werkende oven is uitgerust met een eindloze ketting, die door middel van een drijfwerk wordt voortbewogen. De artikelen worden aan deze eindloze ketting opgehangen en door de oven gevoerd. De continu werkende oven wordt meestal gebruikt in combinatie met de droger teneinde een zo economisch mogelijk warmteverbruik te verkrijgen. Deze ovens hebben een grotere capaciteit en zijn dus geschikt voor seriewerk.

14.4 EMAILLEERMETHODEN

Men onderscheidt bij het emaileren twee belangrijke methoden:

- emaileren met grond- en deklaag
- direct emaileren.

Dit heeft te maken met de hechting van de emaille laag op de ondergrond.

14.4.1 HECHTING VAN EMAIL OP STAAL

Emailagen op staal en gietijzer worden toegepast met het doel het onderliggende metaal te beschermen en te verfraaien. Een maximale bescherming kan alleen maar worden verkregen, wanneer de hechting tussen het grondmetaal



.....

en de emailaag maximaal is. Voor het verkrijgen van een goede kwaliteit moet het metaal worden voorbehandeld, hetgeen als regel gebeurt door alkalisch ontvetten, hoofdstuk 2, gevolgd door beitsen, hoofdstuk 3, of stralen hoofdstuk 1. Voor het verkrijgen van hechting kan men gebruik maken van een speciale grondlaag.

Later zijn ook directe emailleermethoden, zonder deze grondlaag, ontwikkeld. Bij de juiste keuze van emails met de optimale hechttoxiden kan zonder beitsen en/of vernikkelen worden gewerkt.

14.4.2 EMAILLEREN MET GROND- EN DEKLAAG

Alvorens de deklaag of deklagen worden aangebracht wordt het metaal eerst voorzien van een grondemail. Dit grondemail doet dienst als tussenlaag tussen het plaatstaal en de later aan te brengen deklaag en zorgt voor een goede hechting met het plaatstaal.

Grondemail bevat zogenaamde hechttoxiden waarvan de belangrijkste zijn nikkel- en kobaltoxide, verder nog koperoxide, antimoonoxide en mangaanoxide. Bij het inbranden worden de in het email aanwezige hechttoxiden gedeeltelijk gereduceerd en gaan met het ijzer in hun omgeving lokaalelementen vormen. Dit leidt tot een geringe aantasting van het grondmetaal, hetgeen tot gevolg heeft dat een vertanding ontstaat tussen de emailaag en het staal. De hechting die dan wordt verkregen, is ongeveer even groot als de treksterkte van het email zelf. Bij gietijzer ligt deze waarde ongeveer een factor 10 lager.

14.4.3 DIRECT EMAILLEREN

Door gebruik te maken van een speciale staalkwaliteit (koolstofgehalte minder dan 0,005%) is het mogelijk de deklaag direct op staal aan te brengen. Een speciale voorbehandeling is hierbij een vereiste. Om een goede hechting tot stand te brengen moet op het staaloppervlak een dunne nikkellaag (0,8-1,5 g Ni/m²) worden aangebracht. Dit kan stroomloos gebeuren, als uitwisselingsneerslag, de nikkeldip, of elektrolytisch.

14.4.4 LAAGDIKTE VAN EMAILLAGEN

De laagdikte die wordt aangebracht, bedraagt voor een grondemail ongeveer 100 µm en voor het dekemail ook 100 µm. Dit betekent dat per m² ongeveer 250-300 g droge stof aan één zijde wordt gebruikt.

Bij het direct emaileren in een éénlaagssysteem bedraagt de laagdikte 100-400 µm.

Bij het emaileren met poeder op gietijzeren badkuipen bedraagt de laagdikte 1000 µm, hetgeen neerkomt op circa 2,5 kg email per m².

.....

14.5 EMAILLEREN VAN STAAL

Bij het emailleren van plaatstaal zijn gebruikelijke bewerkingsoorreesen van het metaal:

- vormgeven
- ontvetten
- beitsen
- neutraliseren
- grondemail opbrengen
- grondemail drogen
- grondemail branden
- dekemail opbrengen
- dekemail drogen
- dekemail branden
- vormgeven
- 'ontvetten
- Liberty coat
- vormgeven
- stralen
- grondemail
- enzovoort
- vormgeven
- ontvetten
- beitsen
- vernikkelen
- direct email

Bij het directe emailleringproces vervallen de drie handelingen voor het grondemail. De reeks wordt vaak uitgebreid met extra werkzaamheden, zoals poetsen, decoreren en bedrukken.

14.5.1 EISEN DIE AAN HET PLAATSTAAL WORDEN GESTELD

Een emaillerebare kwaliteit plaatstaal moet aan de volgende eisen voldoen:

- Het plaatstaal mag geen oppervlaktefouten hebben, zoals dubbelingen, scheuren, slakinsluitingen en walshuid.
- Het moet in redelijk korte tijd kunnen worden gebeitst.
- Het koolstofgehalte mag niet te hoog zijn om te voorkomen dat tijdens het inbranden van de email laag ongewenste gasontwikkeling optreedt.
- Het staal mag geen visschubvorming veroorzaken.
- Voor direct emaillering dient het staal verregaand ontkoold te zijn tot een koolstofgehalte lager dan 0,005%.

14.5.2 EISEN DIE AAN HET EMAIL WORDEN GESTELD

Eisen, die men aan de deklaag stelt zijn onder andere de stabiliteit van de kleur, bestandheid tegen zure vloeistoffen, bestandheid tegen alkalische vloeistoffen, bestandheid tegen water en waterdamp en slijtvastheid. Voor het controleren van deze eigenschappen bestaat beproevingsapparatuur die grotendeels is genormaliseerd.

14.6 EMAILLEREN VAN GIETIJZER

Aan gietijzer, bestemd voor emailleren, worden de volgende eisen gesteld:

- Alleen grijs gietijzer is bruikbaar. Wit gietijzer kan niet geëmailleerd worden.
- Het gietijzer mag geen slakinsluitingen of andere verontreinigingen aan het oppervlak vertonen.

-
- Het oppervlak moet betrekkelijk glad en vrij van holten en poriën zijn.
 - Het gietijzer mag tijdens het emailleren niet vervormen, hetgeen een minimale dikte van ongeveer 3 à 4 mm vereist.
 - Het gietijzer dient bij voorkeur vers te worden verwerkt; oud gietijzer moet gegloeid en gestraald worden.
 - De samenstelling van het gietijzer moet ongeveer zijn zoals hieronder is aangegeven.

silicium	2,5-2,8%
fosfor	0,6-1,0%
mangaan	0,4-0,6%
zwavel	minder dan 0,1%
koolstof	3,2-3,5%
silicium + koolstof	ongeveer 6%
ijzer	rest.

Een te hoog siliciumgehalte geeft grove grafietuitscheidingen, hetgeen de hechting van de email laag ongunstig beïnvloedt en kan leiden tot de vorming van blaasjes.

Fosfor geeft aan gietijzer goede vloeieigenschappen en bepaalt daardoor het vormvermogen.

Zwavel concentreert zich vaak aan het oppervlak en kan bij het inbranden van het email gasontwikkeling en daardoor oppervlaktefouten veroorzaken.

Mangaan wordt toegevoegd om zwavel te binden. Tot een gehalte van 0,5% maakt mangaan de legering zachter en stabiliseert de aanwezige carbiden.

Gietijzer kan met of zonder grondemail worden geëmailleerd, waarbij dan nog onderscheid kan worden gemaakt tussen een zogenaamde smeltgrond- en sintergrondlaag.

De keuze van grondemail hangt af van de eisen die worden gesteld aan de email laag en de kwaliteit van het gietijzer dat wordt geëmailleerd.

14.7 EMAILLEREN VAN ALUMINIUM

De aluminiumlegeringen die voor emailleren in aanmerking komen kan men in twee groepen indelen: de kneedlegeringen en de gietlegeringen. De kneedlegeringen die emailleerbaar zijn kan men in vier hoofdtypen verdelen:

- legeringen die hardbaar zijn zoals bijvoorbeeld 6061, dat 0,25% koper, 0,6% silicium, 1,0% magnesium en 0,25% chroom bevat. Na het inbranden is de hardheid verloren gegaan.
- de niet-hardbare legeringen, die hun sterkte ontleen aan koude vervorming, zoals de legering 1100 die 99% aluminium bevat of de legering 3003 die naast aluminium 1,2% mangaan bevat. Ook hiervan gaat de hardheid bij het branden verloren.
- speciale, voor emailleren ontwikkelde, zinkhoudende aluminiumsoorten, die na het branden zacht zijn, maar daarna een natuurlijke veroudering ondergaan, en dan belangrijk sterker worden.
- aluminium, bestaande uit een kern van hardbare legering geplaatst met een legering met een hoog aluminiumgehalte.

.....

Ook het emaileren van gealuminiseerd plaatstaal is mogelijk.

Van gietaluminium is coquilletgietwerk het meest geschikt. Zandgietwerk en spuitgietwerk geven doorgaans moeilijkheden als gevolg van de slechte oppervlaktegesteldheid.

De meest bruikbare gietlegering is de legering nr. 43 die bestaat uit 95% aluminium en 5% silicium.

De legeringen 1100 en 3003 kunnen na een betrekkelijk eenvoudige ontvetting worden geëmailleerd; 6061 vereist een meer gecompliceerde chromateer-voorbehandeling.

In verband met het lage smeltpunt van aluminiumlegeringen kunnen de normale staalemails die bij gemiddeld 820 °C worden gebrand, voor aluminium niet worden toegepast. Men gebruikt dan emails die een lager smeltpunt (ongeveer 550 °C) hebben, hetgeen bereikt kan worden door een speciale samenstelling en bijzondere molentoevoegingen, zoals waterglas en kaliumhydroxide.

Het hechtingsprincipe van email op aluminium is meer van chemische aard en kan dus niet vergeleken worden met het hechtingsmechanisme dat verkregen wordt bij emailagen op staal.

Het inbranden gebeurt niet zoals bij staal in een stralingsoven, maar in een convectieoven.

14.8 EMAILEREN VAN ROESTVAST STAAL

Roestvast staal kan, indien bepaalde voorzorgen in acht worden genomen, goed worden geëmailleerd.

Toepassingen van geëmailleerd roestvast staal vindt men bij huishoudelijke gebruiksvoorwerpen, in de kunstnijverheid en voor zuiver technische doeleinden.

Men kan zich afvragen, waarom roestvast staal, dat van zichzelf reeds een goede corrosieweerstand bezit, moet worden geëmailleerd.

Het antwoord op die vraag wordt gegeven door de diverse toepassingsgebieden.

In de laatste tijd is het emaileren voor huishoudelijke toepassingen sterk opgekomen.

Voorbeelden van geëmailleerde roestvast stalen producten zijn gootsteenbakken in diverse kleuren en ook potten en pannen.

Bij gootsteenbakken is het gebruikelijk de bovenste rand na het emaileren glanzend te polijsten. Kleur in het moderne interieur wordt dan gecombineerd met het fraaie uiterlijk van roestvast staal.

Bij transparante emails kunnen fraaie effecten worden bereikt, wanneer de ondergrond, het roestvaste staal, op een bepaalde wijze is geslepen.

In de Scandinavische landen bijvoorbeeld vindt men prachtige specimen van deze techniek in de vorm van asbakken, bonbon- en fruitschalen. Door een combinatie van diverse gekleurde emails met blank gepolijste plaatsen op het roestvaste staal zijn allerlei fraaie combinaties mogelijk.

.....

Deze techniek past men sinds eeuwen toe op edele metalen, bijvoorbeeld voor kerkelijke kunst.

Voor technische doeleinden, namelijk om de hitte- en corrosievastheid te vergroten (verbrandingskamers) of om gebruik te maken van de elektrisch isolerende eigenschappen past men speciale emails toe. Het gebruik van email voor hoge en zeer hoge temperaturen, tot 1000 °C en hoger, is mogelijk geworden door speciale emailsoorten, zoals de Solaramic emails en type A 418 van het (Amerikaanse) Bureau of Standards, die worden aangebracht op roestvast staal en die gebruikt worden in verbrandingskamers van turbinemotoren en raketten. Deze emailsoorten maken het mogelijk de levensduur van de werkstukken, waarop ze zijn aangebracht, belangrijk te verlengen, terwijl door het relatief slechte warmtegeleidingsvermogen een aan de hete zijde aangebrachte emaillaag ervoor zorgt dat het roestvaste staal of eventueel de superlegering, waarop het is aangebracht, een lagere temperatuur behoudt.

Van de elektrisch isolerende eigenschappen wordt gebruik gemaakt voor technische toepassingen, zoals beeldversterkers voor röntgenapparatuur en bodems van waterkokers.

Onderzoeken hebben geleid tot de conclusie dat slechts een beperkt aantal roestvaste staalsoorten voor emailleerdoeleinden geschikt zijn. Het betreft hier de chroom-nikkelsoorten van het type 18-8. Chroom vormt bij het branden van email chroomoxide; dit lost moeilijk in het email op. Chroomstalen zijn daarom minder geschikt voor emailleren. Bij aanwezigheid van nikkel, zoals het geval is in chroom-nikkelstaalsoorten, wordt de storende invloed van het chroom gecompenseerd. Het voor het emailleren aanbevolen roestvaste staal behoort voornamelijk tot de typen 304 en 316, alsmede een aantal superlegeringen. Deze roestvaste staalsoorten hebben een grotere uitzettingscoëfficiënt dan gewoon staal – ongeveer het dubbele – zodat van speciale, aangepaste emailtypen gebruik moet worden gemaakt. De beste resultaten bij het emailleren verkrijgt men met de typen roestvast staal die een laag koolstofgehalte hebben, dat zijn de typen 304 L en 316 L. Roestvaste staalsoorten met meer dan 0,05% koolstof geven vaak oppervlaktefouten in het email.

14.8.1 EMAILLEERTECHNIEK VOOR VERWARMINGSELEMENTEN

Een aantal jaren geleden startte Ferro Techniek, een Nederlands bedrijf, de productie van verwarmingselementen op geëmailleerde metalen ondergronden (Porcelain Enamelled Metal Substrates (PEMS)). De verwarmingsbanen worden hierbij vervaardigd met behulp van een dikke filmttechnologie. PEMS maakt het mogelijk om verwarmingselementen en gedrukte bedradingen te vervaardigen door gebruik van dikke filmttechnologie. PEMS heeft vele voordelen, zoals mechanische sterkte, goede warmtegeleiding, elektrische en magnetische afscherming en de mogelijkheid om verwarmingselementen te maken op vlakke oppervlakken en buizen. Momenteel worden de meeste toepassingen gevonden op het terrein van verhitting, maar men is ook bezig naar andere



Figuur 14.2 Spoorwegwisselverwarming



Figuur 14.3 Waterkokers met Kerdi 3 elementen

mogelijkheden uit te kijken. In co-makership met een aantal potentiële klanten en instituten worden deze producten ontwikkeld en geproduceerd. Het is mogelijk om op productiekosten te besparen aangezien de constructie kan worden vereenvoudigd. Een ander belangrijk detail is dat PEMS alle belangrijke veiligheidstesten doorstaan. Momenteel worden per jaar 1 000 000 verwarmings-elementen vervaardigd.

Het grondmateriaal voor PEMS kan in principe elk emailleerbaar metaal zijn. Ferro Techniek heeft de meeste ervaring met ferritisch roestvast staal (AISI 430 en AISI 444). Deze materialen zijn corrosievast, waarbij het type 444 een betere corrosieweerstand geeft in water. Ook zacht staal in emailleerbaarheid (laag koolstof) wordt in het algemeen gebruikt voor PEMS. Hier kunnen de corrosieproblemen worden opgelost door het staal tweezijdig te voorzien van een keramische coating.

Een andere interessante toepassing is spoorwegwisselverwarming.

14.9 EIGENSCHAPPEN EN TOEPASSINGSGEBIEDEN VAN EMAIL

Email wordt vervaardigd met uiteenlopende eigenschappen en het kiezen van het juiste email voor een bepaalde toepassing is daarom van groot belang. Hieronder is een aantal eigenschappen in verband gebracht met toepassingsgebieden. Zoals uit de voorbeelden blijkt gaat het vaak om een combinatie van eigenschappen.

14.9.1 HARDHEID EN KRASVASTHEID

De hardheid van email is een van zijn meest functionele eigenschappen. Omdat email veel bijdraagt tot een lange levensduur van het materiaal dat ermee is behandeld, is de hardheid voor de volgende drie toepassingsgebieden van groot belang:

-
- een oppervlak dat een hoge mate van krasvastheid vereist
 - een oppervlak dat een lage wrijvingscoëfficiënt eist
 - een oppervlak dat weerstand moet bieden tegen vuil, stof en rook.

De kras- en slijtvastheid van email is te danken aan de hardheid van het oppervlak. Deze eigenschap heeft een grote duurzaamheid, ook onder wrijvingsomstandigheden, tot gevolg, ook indien corrosie daarbij een factor is.

Het harde, glasachtige oppervlak maakt dat email zeer gemakkelijk kan worden schoongehouden. Bij sanitaire artikelen is vooral de mate waarin deze gereinigd kunnen worden van groot belang. Door vergelijkende proeven is vastgesteld dat na glas en roestvast staal email het materiaal is dat het geringste aantal micro-organismen vasthoudt. Omdat voor het reinigen van sanitair vaak agressieve en desinfecterende producten moeten worden gebruikt, veelal met een schurende werking, moeten aan de emailsoorten hoge eisen worden gesteld, zowel wat betreft de hardheid als de chemische weerstand.

14.9.2 CORROSIEVASTHEID

Email biedt de grootste bestandheid in een corrosieve omgeving. De email laag is inert en tijdens het branden volledig geoxideerd en ondergaat, ook bij hoge temperaturen geen verdere oxidatie. Door de versmelting van email met het metaal kan ook geen ondercorrosie optreden.

14.9.3 KLEUR EN KLEURECHTHEID

Email kan in vrijwel iedere kleur geproduceerd worden met een mat, halfmat of glanzend oppervlak. Kleurstoffen, die worden toegevoegd tijdens het smelten of het malen van het email, zijn anorganische verbindingen. Dit betekent dat zij een hoge stabiliteit bezitten, ook bij ultra-violette en infrarode straling, warmte en in een corrosieve atmosfeer.

De corrosievastheid en de kleurechtheid maakt een aantal toepassingsgebieden mogelijk, zoals:

- *architectuur*

Een steeds groeiend toepassingsgebied van emailagen ligt in de architectuur, zowel voor toepassingen binnen- als buitenshuis. Enige voorbeelden zijn gordijngevels, geprefabriceerde muurpanelen, separatiewanden, vensterbanken, deurknoppen en air-conditioningapparatuur.

Email is aantrekkelijk wegens zijn zeer grote chemische bestandheid en zijn kleurechtheid. Mits de scherpe randen goed bedekt zijn hebben deze emailtoepassingen een vrijwel onbepaalde levensduur in een grote verscheidenheid van klimaten. De meest kritische momenten voor de toepassing van email in de architectuur liggen bij de vervaardiging, het transport en het aanbrengen van de panelen, maar daarna behoeft, indien geen mechanische beschadiging kan optreden, het materiaal gedurende vele jaren geen enkel onderhoud, mede door de geringe vuilaanhechting. Kleurrijke, geëmailleerde panelen vin-

den op grote schaal toepassing. Interessante voorbeelden zijn de Terminal B van de luchthaven van Zürich, waar 22 000 m² geëmailleerde staalplaat werd toegepast en het Lichtplatform Goeree in de Noordzee, waarvan de bovenbouw en de lichttoren van geëmailleerde panelen zijn voorzien en het nieuwe PTT knooppunt in Haarlem.

In de architectuur ligt ook een toepassingsgebied voor emaileren van aluminium met behulp van speciale laagbrandende emails.

- *reclameborden, verkeersborden, schilden*

Bij reclameborden, verkeersborden en schilden maakt men niet alleen gebruik van de goede eigenschappen van email (fraaie, sprekende kleuren, corrosievastheid), maar ook van de mogelijkheid op verschillende manieren, zoals sjabloonspuiten en zeefdruktechnieken, afbeeldingen op de voorwerpen aan te brengen. De geringe vervormbaarheid van email vormt hier een duidelijk nadeel, indien deze borden voor iedereen toegankelijk zijn aangebracht, zoals verkeersborden, omdat door moedwillige vernieling (gooien van stenen) afspringen van het email optreedt. Uiteraard is dit mede afhankelijk van de plaats waar de borden zich bevinden, want bijvoorbeeld langs autosnelwegen is dit gevaar niet aanwezig.

- *ovens, kachels en fornuizen*

Bij ovens, kachels en fornuizen is een belangrijke eigenschap dat het email kleurvast is en ook bij herhaalde verhitting geen fouten gaat vertonen zoals scheuren, losspringen en dergelijke.

Bij fornuizen is tevens de chemische weerstand van belang.

Voor dit doel vinden vooral de éénlaagse mails bijzondere toepassing, zowel in wit als in kleuren.

- *koelkasten, wasmachines en keukenmeubilair*

Bij koelkasten, wasmachines en keukenmeubilair ligt een belangrijk toepassingsgebied voor email, vooral om hygiënische redenen. Email absorbeert geen riekende substanties en het is gemakkelijk te reinigen. Voor het uitwendige van koelkasten ligt email in duidelijke concurrentie met de witte moffellakken, bijvoorbeeld acrylaatsystemen en, voor de inwendige bekleding, met plastics. Bij de betrekkelijk grote panelen die voor de vervaardiging van koelkasten en keukenmeubilair worden gebruikt is het gevaar van trekken niet denkbeeldig. De kwaliteit van het grondmateriaal, de constructieve vormgeving van de onderdelen en de manier van inbranden en afkoelen spelen een belangrijke rol om dit trekken te voorkomen. Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de montagetechnieken van geëmailleerde panelen, omdat bij plaatselijk afspringen van de emailaag corrosie kan optreden.

- *bestandheid tegen (heet) water*

Normale emails worden niet aangetast door een voortdurend of regelmatig onderbroken contact met gewoon of zout water. Email zal kokend water dagen of zelfs weken kunnen verdragen, maar een langdurig blootstellen aan een temperatuur van meer dan 75 °C moet bij sommige emails worden vermeden. Het gebruik van email voor het inwendig bekleden van heetwaterboilers die vervaardigd zijn van staalplaat, brengt dit materiaal in concurrentie met verzinkt staal en koper.

.....

Speciale emailsoorten zijn nodig om langdurig tegen heet water bestand te zijn. Wanneer deze emailsoorten worden gebruikt en wanneer zij op de juiste wijze worden aangebracht krijgt het inwendige van de boiler een lange levensduur zonder een spoor van corrosie.

- *agrarische sector*

Een belangrijke toepassing heeft email gevonden in de inwendige bekleding van silo's, waaronder mestsilos en voedersilos.

De grote bestandheid van email tegen een grote verscheidenheid van agressieve stoffen maakt het voor deze toepassingen geschikt.

14.9.4 BESTANDHEID TEGEN ZUREN

Bij inwerking van een zuur op email treedt een uitwisseling op tussen de metaalionen (dat zijn de netwerkwijzigers) uit het glas en de waterstofionen die in de vloeistof aanwezig zijn. Hierbij zal in eerste instantie het netwerk in stand blijven en het kan in mindere of meerdere mate met een dun huidje ondoordringbaar worden afgeremd. Hieruit blijkt dat de bestandheid tegen zuren afhankelijk is van de pH en wel dermate dat bij lage pH (meer zuur) een sterkere aantasting optreedt.

Bij de samenstelling van zuurvaste emails worden vooral bestanddelen gebruikt die moeilijk uitlogen.

In de chemische techniek, alsmede bij de bereiding van levensmiddelen, dranken en genotmiddelen, wordt email gebruikt voor een grote verscheidenheid van apparatuur, zoals kookketels, roerwerken, leidingen, tanks, afsluiters en dergelijke.

Aan de emailsoorten, die vaak speciaal voor een bepaald doel zijn ontwikkeld, worden hoge eisen gesteld wat betreft chemische weerstand, het niet afgeven van schadelijke stoffen, mechanische sterkte en weerstand tegen thermische schokken. Het emailleren van deze apparatuur die vaak zeer grote afmetingen heeft, gebeurt in hierin gespecialiseerde bedrijven. Het is bij de keuze van het emailtype van het grootste belang dat de reële omstandigheden die tijdens bedrijf kunnen optreden zo goed mogelijk bekend zijn. Zowel het te optimistisch zien van de omstandigheden waaraan het email wordt blootgesteld als het te zwaar voorstellen van deze eisen, met het doel een zekere marge te verkrijgen, leidt tot een minder juiste keuze.

14.9.5 WEERSTAND TEGEN ALKALISCHE STOFFEN

Voor de bestandheid tegen alkaliën geldt tot op zekere hoogte hetzelfde als wat bij de zuurbestandheid is vermeld. Dit betekent dus een sterke afhankelijkheid van de pH, de aard van de vloeistof, de samenstelling van de email laag en vooral de temperatuur van de vloeistof.

Bij aantasting van email door alkalische vloeistoffen wordt namelijk in de eerste instantie het netwerk (SiO_4 -tetraëders) afgebroken als gevolg van het ontstaan van oplosbare alkalisilicaten.

Is dit netwerk ver genoeg afgebroken dan gaan de tussenliggende netwerkwijzigers ook oplossen en daarmee de email laag in zijn geheel.

.....

Voor een goede bestandheid tegen alkalische vloeistoffen moeten dan ook elementen worden geïntroduceerd, die een bijzonder sterke binding hebben met het netwerk en die onoplosbare silicaten vormen waardoor een afschermd laag ontstaat (barium-, calcium-, zink-, zirkoon- en aluminiumverbindingen). Vooral in de chemische industrie worden deze toevoegingen gebruikt.

Bij was- en vaatwasmachines is naast de mechanische en vervormingseigenschappen weerstand tegen alkalische stoffen van belang. Een langdurige bestandheid tegen hete oplossingen van wasmiddelen maakt de toepassing van alkalivaste emails nodig voor geëmailleerde kuipen van wasmachines. Voor de buitenzijde worden minder hoge eisen gesteld, maar ook hier speelt de bestandheid tegen wasmiddelen een rol.

14.9.6 AFGIFTE VAN GIFTIGE STOFFEN, KOOKPANNEN

Het inwendige van kookgerei moet zodanig van samenstelling zijn dat geen voor de gezondheid schadelijke stoffen kunnen worden afgegeven. Dit sluit het gebruik van loodhoudende emails uit, evenals cadmiumpigmenten (de kleuren rood, oranje en geel). Bij email, dat gebruikt wordt op kookgerei, moet onderscheid worden gemaakt tussen staal en gietijzer als grondmateriaal. Op het stijvere gietijzer behoeft minder gelet te worden op de elastische vervormbaarheid, behalve voor de meestal uit plaatstaal vervaardigde deksels. Op staal wordt de email laag ook meestal dunner gekozen. In verband met het gebruik stelt men hier hoge eisen aan de mechanische eigenschappen van het email, aan de weerstand tegen warm water en oplossingen van verdunde zuren en zouten, aan de bestandheid tegen thermische schokken en aan de weerstand tegen herhaald reinigen, zowel met schuurmiddelen als in vaatwasmachines.

14.9.7 HOGE TEMPERATUREN EN THERMISCHE SCHOKKEN

Over het algemeen wordt email op staalplaat niet aangetast bij temperaturen tot 550 °C. Normaal gesproken zal email die temperaturen verdragen welke ongeveer 150 °C beneden de brandtemperatuur liggen. De weerstand tegen thermische schokken varieert met de dikte en samenstelling, maar is gewoonlijk goed. Lage en zeer lage temperaturen hebben geen effect op het email. Veelbelovende toepassingen op normaal staal zijn onder andere het emaileren van warmtewisselkasten van haarden en van uitlaten voor auto's. Deze uitlaatsystemen krijgen daardoor een levensduur gelijk aan die van het voertuig. Deze emails moeten behalve tegen chemische inwerking en mechanische belastingen bestand zijn tegen hete uitlaatgassen.

Het gebruik van email voor hoge en zeer hoge temperaturen, tot 1000 °C en hoger, is mogelijk geworden door speciale soorten zoals de Solaramic emails, die worden aangebracht op roestvast staal en gebruikt worden in verbrandingskamers van turbinemotoren, raketten en dergelijke. Deze emailsoorten, die als speciaal bestanddeel chroom bevatten, maken het mogelijk de levensduur van de werkstukken waarop ze zijn aangebracht belangrijk te verlengen, terwijl

.....

door het relatief slechte warmtegeleidingsvermogen een aan de hete zijde aangebrachte emaillaag ervoor zorgt dat het roestvaste staal, of eventueel de superlegering, waarop het is aangebracht, een lagere temperatuur behoudt.

14.9.8 SIER- EN KUNSTVOORWERPEN

Op sier- en kunstvoorwerpen vervaardigd van een grote verscheidenheid van materialen wordt email toegepast in zeer fraaie kleuren en texturen. Vaak wordt hiervoor gebruik gemaakt van de laagbrandende loodemails, die zachter en minder bestendig zijn dan de soorten die voor technische toepassingen dienen. In verband met het karakter van de voorwerpen is dit echter zonder meer toelaatbaar. Loodemails hebben het voordeel dat ze zeer gemakkelijk in de kunstnijverheid kunnen worden verwerkt en dat hiervan esthetische voorstellingen kunnen worden vervaardigd. Ook halftransparante emails worden voor dit doel gebruikt.

14.9.9 GEDRUKTE BEDRADINGEN

Voor toepassingen bij hoge temperaturen vervaardigt men gedrukte bedradingen van email. Ook druktoetsen voor elektronisch schakelen worden van email vervaardigd.

14.9.10 ELEKTRISCH GELEIDEND EMAIL

Bepaalde emailsoorten kunnen elektrisch geleidend worden gemaakt. Als men ze in een spiraal of zig-zag patroon aanbrengt op een niet-geleidende ondergrond, kunnen ze bij stroomdoorvoer heet worden. Men maakt op die manier elektrische kacheltjes.

14.9.11 SIERADEN

Zilveren en gouden sieraden werden reeds in de oudheid versierd met email en deze techniek wordt nog steeds toegepast. De werkwijzen die hiervoor worden gebruikt behoren praktisch alle tot het terrein van de kunstnijverheid; het is handwerk en mechanisering komt vrijwel niet voor. De laatste tijd wordt voor sieraden ook op grote schaal gebruik gemaakt van een minder edel grondmateriaal (hoofdzakelijk koper) dat tot hangers, spelden, armbanden en dergelijke wordt verwerkt. Hoewel hierbij nog veel handwerk komt treft men bij het emailleren van dergelijke producten ook een zekere mate van mechanisering aan.