

# De oppervlaktebehandeling van Aluminium en zijn Legeringen \*)

door ir F. van Daalen

De tijd, waarin wij thans leven, zal mogelijk over enige eeuwen bekend staan als het lichtmetalen tijdvak, dat volgde op het ijzer-tijdperk. Nog heeft het ijzer als universeel materiaal de overhand, doch het is nu reeds denkbaar, dat dit monopolie zich wijzigen kan en dat het zijn vooraanstaande plaats in de hedendaagse techniek over enige tijd zou moeten afstaan aan het aluminium en zijn legeringen.

Wij weten, dat ertsen van dit metaal in onze aardkorst gevonden worden in nagenoeg onuitputtelijke hoeveelheden, want deze aardkorst bestaat voor het overgrote deel uit aluminiumverbindingen, zoals veldspaat, kaoline, leuciet, Labradoriet, bauxiet en lateriet, waarvan de laatste twee de belangrijkste leveranciers van aluminium zijn.

Het is eveneens bekend, welk een verbluffende vlucht de winning en het gebruik van dit metaal in de laatste vijftig jaren heeft genomen. Hiermede daalden de productiekosten even spectaculair van ca *f* 1500 per kilo honderd jaar geleden tot *f* 0,80 per kilo vóór de 2e wereldoorlog.

Bij het begin der 20e eeuw was aluminium nog een betrekkelijk zeldzaam metaal, dat toen echter reeds voor *f* 1,50 per kilo te maken was, en thans zouden wij er niet meer buiten kunnen. Natuurlijk zijn de gebruiksmogelijkheden enorm uitgebreid sedert de 1e wereldoorlog, nadat men het legeren van aluminium tot een dusdanige hoogte had weten op te voeren, dat de eigenschappen dezer legeringen zich op het moment meten kunnen met die van zacht constructiestaal. Een zeer belangrijk voordeel der aluminiumlegeringen tegenover staal is wel het lage soortelijk gewicht van 2,7 à 2,8 tegenover het bijna driemaal zo zware staal. Toch zou dit voordeel niet zo'n gewicht in de schaal geworpen hebben, wanneer de nieuwe metaallegeringen niet tevens op de aanzienlijke verbetering hunner materiaaleigenschappen hadden kunnen bogen, waaraan zij voornamelijk hun bruikbaarheid danken en die een concurrentie met het vanouds gebezigde staal mogelijk maakten.

\*) De technische gegevens in dit artikel werden ontleend aan het werk van J. Raatgever & A. G. C. Trestorff: Lichte metalen.

In het algemeen worden de meeste metalen door toevoeging van andere met aanzienlijk betere en waardevoller materiaaleigenschappen begiftigd. Zeer sterk springt dit bij aluminium in het oog, waarvan eigenlijk alleen het lage soortelijk gewicht, de grote soepelheid, vervormbaarheid en de witte kleur voor sommige doeleinden een voordeel waren. De grote rekbaarheid werd een uitgesproken nadeel bij enigszins belangrijke belasting, waardoor het voor de meeste toepassingen onbruikbaar genoemd moet worden.

Door de pioniersarbeid van Prof. A. Wilm kwam in 1906 het Duralumin beschikbaar als een nieuwsoortig constructiemateriaal. Deze legering van aluminium met koper en magnesium leidde door zijn succesrijke introductie de gehele reeks verdere ontwikkelingen in. Het magnalium, een andere legering uit magnesium en aluminium, is nooit een succes geworden door de zeer geringe corrosiebestendigheid en de onvatbaarheid voor veredeling.

Daarentegen bleken andere legeringen goede vondsten, die een steeds verder gaand onderzoek stimuleerden. Een andere grote stimulans was natuurlijk, dat de aluminiumwinning steeds volmakter en goedkoper werd, en dat met de verbetering der materiaaleigenschappen het aantal toepassingsmogelijkheden met sprongen vermeerderde, zodat de vraag ernaar enorm toenam.

De vliegtuig- en luchtschepenbouw en zijn snelle opbloei werden mogelijk gemaakt door het Duralumin, de uitvoerbaarheid is zelfs geheel te danken aan de gelijktijdige en parallel-verlopende vlucht, die de snelle ontwikkeling der aluminiumlegeringen te zien gaf. Thans zal niemand meer ontkennen of betwijfelen, dat het in 1900 nog nauwelijks gebruikte aluminium een nog zeer grote toekomst voor zich heeft.

In volume uitgedrukt, was het aluminium reeds vóór de 2e wereldoorlog op de vierde plaats van bruikbaarheid gekomen, na ijzer, zink en koper. Door het succes met zijn legeringen heeft aluminium tevens de stoot gegeven aan de productie en het belangrijk gestegen verbruik van magnesium, dat voor verbetering der aluminiumlegeringen allengs meer werd gevraagd. Hierdoor kon ook de kostprijs van magnesium dalen, hetgeen weer aan een vergroting zijner toepassing ten goede kwam.

Als gevolg van het hiervoren vermelde werd de, oorspronkelijk Duitse, ontwikkeling van de nieuwe lichte metaallegeringen nu over de gehele wereld ter hand genomen, daar men overal het belang ervan ging inzien. Sedertdien werden wij een groot aantal, steeds

bruikbaarere wordende, nieuwe aluminiumlegeringen rijker. De vakwerkbouw met deze legeringen, het eerst in de bouw van luchtschepen en vliegtuigrompen toegepast, werd nu ook dienstbaar gemaakt aan de constructie van metalen gebouwen.

De snelgestegen toepassing in de industrie werd nu eveneens mogelijk door de gelukkige omstandigheid, dat de nieuwe legeringen zich uitstekend leenden voor gietwerk. Was het zuivere aluminium door de grote gietkrimp gehandicapt en door de slechte las- en soldeerbaarheid, de nieuwe legeringen bleken in dit opzicht met veel minder nadelen behept te zijn. De grote sterkte en de uitmuntende gietbaarheid ervan heeft hun toepassing inplaats van gietijzer en staal geweldig gestimuleerd.

De zich in die tijd snel ontwikkelende auto-industrie werd een steeds grotere verbruiker der nieuwe legeringen. Met de lichter wordende carrosserie-constructie, mogelijk gemaakt door een ruimere toepassing van lichte metalen en door de ontwikkeling van steeds zuiniger-werkende motoren, kon het benzineverbruik per kilo dood gewicht en per afgelegde km zeer aanzienlijk verlaagd worden. Dit was niet alleen van belang voor een verlaging der exploitatiekosten van motorvoertuigen, doch ook voor de tegenwoordig beperkte deviezenpot betekent dit feit een niet te verwaarlozen voordeel.

Zo zouden wij nog wel meer voorbeelden kunnen aanhalen op ander gebied, die het grote belang der lichte metalen voor de huidige industrie en volkshuishouding illustreren.

Lange tijd heeft men auto-motoren uit gietijzer gegoten, totdat bleek, dat onder de nieuwe legeringen er vele waren, die een opmerkelijk goede warmtevastheid vertoonden. De proeven met lichtmetalen motorblokken en -zuigers, zuigerstangen, enz. bleken ook op de duur gunstige resultaten te geven. De zeer goede gietbaarheid maakte het verder mogelijk om de aller-ingewikkeldste motorblokken met talrijke dunne koelribben uit aluminiumlegeringen te gieten. Hierdoor kon het dood gewicht van motorvoertuigen nog meer worden verminderd.

De Rolls-Royce-proeflaboratoria hadden groot succes bij de ontwikkeling van lichte metalen, die speciaal voor het gieten van motorblokken in aanmerking komen. Een gunstige omstandigheid was tevens, dat het mogelijk is gebleken, gietijzer te combineren met gietwerk van de nieuwe lichtmetaallegeringen. Zodoende is het mogelijk, het lichtmetalen motorblok om de gietijzeren cylinder-

mantels te gieten. Samen met een verbetering der mechanische eigenschappen der nieuwe legeringen bleek men ook de corrosiebestendigheid in gunstige zin te kunnen beïnvloeden, waardoor men deze legeringen eveneens toepassen kon voor buisleidingen, pomplichamen, schoepenwielen, afsluiters, enz. voor corrosieve vloeistoffen in vele takken der chemische industrie.

De reeds talrijke toepassingsmogelijkheden bleken nu nog verder te kunnen worden uitgebreid door de ontdekking, dat zeer vele der lichtmetaallegeringen vatbaar zijn voor veredelings-procédé's, waardoor het mogelijk is, door een geschikte warmtebehandeling de materiaaleigenschappen nog aanzienlijk te verbeteren, waardoor aan deze legeringen, óók onder vrij ongunstige omstandigheden, grote belastingen kunnen worden toevertrouwd.

„Hoe staat het nu met de toepassingsmogelijkheden van lichte metalen in de tandheelkunde?” Hierop kan worden geantwoord, dat over de toepassing van zuiver aluminium (minstens 99,5 %) inderdaad sedert jaren enige ervaringen werden opgedaan. Ook hier weer blijkt men in Duitsland, tijdens de jaren van materiaal-schaarste in de 1e wereldoorlog, dit vraagstuk het eerst te hebben opgevat. De uitkomsten, waartoe men kwam, waren echter op de duur niet bemoedigend. Zeker gaven zij geen aanleiding om, zolang men nog over betere metalen beschikken kon, die voor het beoogde doel een grotere geschiktheid vertoonden, de toepassing van aluminium in de tandheelkunde te propageren. Een gietlegering voor inlays, het Alutal, kon zich evenmin een plaats veroveren.

De ondervonden bezwaren waren, zoals bekend, dat geslagen aluminiumplaten voor prothesewerk later gingen desintegreren, bij voorkeur op de sterkst-ervormde plaatsen, en dat de platen een te grote slapte bleven vertonen. Tevens bleek de corrosiebestendigheid bij een langer verblijf in de mond onvoldoende te zijn.

Onlangs werd in een artikel van Tregarthen in het Brit. D. J. Vol. LXXXVI, no. 9, 227, 1949, de aandacht gevestigd op een mogelijkheid, om een sedert 25 à 30 jaren bekende methode van oppervlakkige bescherming van het aluminium ook toe te passen op protheseplaten van dit metaal. Naar aanleiding van mijn referaat over dit artikel in het T. v. T. hebben verschillende collegae belangstelling voor dit procédé getoond, waarin ik aanleiding vond een lezing te houden in de jongste najaarsvergadering van het Tandheelkundig Genootschap.

Al dadelijk bleken velen door het onderwerp gegrepen te zijn en

zagen nu een mogelijkheid, om het zoëven gehoorde in de praktijk toe te passen. Nu is het voor een spreker steeds prettig te onder- vinden, dat zijn voordracht grote belangstelling en weerklink blijkt te ontmoeten, maar toch zou ik er al dadelijk op willen wijzen, dat succes met een nieuw materiaal alleen denkbaar is, wanneer degene, die het toepassen wil, vooraf voldoende op de hoogte is gekomen en zich vertrouwd heeft gemaakt met de diverse hebbe- lijkheden dezer stof.

Zoals de zaken nu staan, zal geen collega nog enige praktische ervaring kunnen bezitten, die hij aan een ander kan doorgeven. Aan de wetenschap der mogelijkheid en doorvoerbaarheid van een procédé hebben wij nu nog niet voldoende, er zal nog het nodige researchwerk moeten voorafgaan, alvorens men goed beslagen ten ijs kan komen. Natuurlijk kan een ieder thans reeds voor zichzelf gaan experimenteren aan de hand der door Tregarthen ver- strekte gegevens.

Men moet echter niet verwonderd zijn, als er desondanks iets zal misgaan, waarop men na het enthousiaste artikel van de Engelse collega niet gerekend had. Ik verwacht, dat de oorzaak van onaan- geneame verrassingen zal schuilen in de voorgeschiedenis van de oppervlakkig te behandelen aluminiumplaten.

Vooraf de keuze van het plaatmateriaal, zijn samenstelling en warmtebehandeling (veredeling) zal van doorslaggevende betekenis kunnen zijn voor het uiteindelijke gedrag van een zodanig behan- delde plaat in de mond, en het komt mij voor, dat ons juist daarover nog te weinig bekend is. Bij een eventueel teleurstellend resultaat zouden wij vooreerst nog niet met voldoende zekerheid kunnen uit- maken, waaraan zulks dient te worden toegeschreven.

Daarom acht ik voorlopig nog veel nader onderzoek naar zulke factoren nodig, alvorens wij ons aan een bepaalde materiaalsamen- stelling en voorbehandeling mogen toevertrouwen, zelfs als wij nu voor een ogenblik aannemen, dat de methode van oppervlakte- behandeling geheel bevredigend genoemd mag worden.

In de toekomst zie ik dan ook nog veel voorbereidend onderzoek voor de afdeling der materiaalkunde, en later, in nauwe samen- werking met de prothetische afdeling, de verdere toepassing in de vorm van door een groot aantal patiënten gedragen protheses. Dit interessante, mooie en dankbare onderzoek zie ik bij uitstek als een taak van een Tandheelkundig Instituut, dat dan later kan advi- sieren bij het propageren en populariseren van de plaatprothese uit

aluminium, of mogelijk nog liever uit corrosiebestendige aluminiumlegeringen, waarvan wij er reeds vele uit de industrie kennen, doch waarvan over de toepassing in de mond nog zo goed als niets vaststaat, al wordt door de oppervlaktebehandeling in ieder geval een enorme verbetering der corrosiebestendigheid verkregen.

Laten wij nu proberen een inzicht te verkrijgen in het bereiken van zulke corrosiebestendigheid. Wat is corrosie, van welke factoren is deze afhankelijk, hoe is deze te verminderen of zo mogelijk te elimineren?

Onder corrosie van metalen verstaan wij een verwoestende werking, die aan de oppervlakte begint en veroorzaakt wordt door atmosferische, chemische of electrochemische invloeden. Naar de aard dezer aantasting kan men corrosie onderscheiden in:

- a. regelmatig aanvreting van het metaal over de gehele oppervlakte,
- b. plaatselijke corrosie, waarbij dus gaten in het metaal vallen,
- c. interkristallijne corrosie, de gevaarlijkste vorm, omdat nu ook de inwendige metaalstructuur wordt vernietigd.

Corrosie is dus een verterings- of vernietigingsproces, dat de samenhang, de structuur, door de aanvreting verwoest, gepaard gaande met de noodlottige gevolgen, die daaraan verbonden zijn, indien de corrosie niet tijdig ontdekt, bedwongen en voorkomen wordt. De eenvoudigste vorm van aantasting is die door zuurstof. Aan de oppervlakte worden dan verbindingen gevormd van het metaal met  $O_2$  en  $H_2$ . Dit verschijnsel noemen wij roesten bij ijzer en staal, bij andere metalen, Al, Cu en andere, spreken wij in het algemeen van corroderen. Verder worden de Al-legeringen aangeast door verschillende dampen, gassen en chemische stoffen. In Nederland wordt de aantasting der meeste legeringen sterk beïnvloed door het zeeklimaat, als gevolg waarvan regenwater ca. 9 m.gr. keukenzout p. liter bevat.

De kenmerken van de corrosie van aluminium kunnen zijn witte, niet te verwijderen puntjes, die a.h.w. uitgroeien tot een witte, invretende laag (corrosiewratten), hetgeen tenslotte tot totale vernietiging leidt. Door de lichte metalen zoveel mogelijk in corrosiewerende uitvoeringen te leveren, stijgen de toepassingsmogelijkheden dus aanzienlijk. Bescherming door lakken biedt geen voldoende waarborg.

Door de aanwezigheid van electrolyten verloopt het corroderen electrochemisch door de vorming van kleine locale, galvanische

elementen en soms door de potentiaalverschillen der met elkander verbonden metaaldelen, zodat het bij industriële toepassingen steeds nodig is, om bij het klinken van lichte aan zware metalen hiertussen beschermende, isolerende lagen aan te brengen, teneinde direct contact te vermijden.

Uit de aard der zaak heeft men vele middelen te baat genomen, om het gevaarlijke corroderen te bestrijden. Deze bestrijding kan plaats vinden door het metaal zelf of door aan de buitenkant opgebrachte beschermingsmiddelen. In hoofdzaak kan men deze bestrijdingsmiddelen als volgt groeieren:

1. de meest geschikte chemische samenstelling der legering te zoeken in verband met de daaraan gestelde eisen,
2. de metallurgische behandeling moet een dusdanige zijn, dat de corrosie niet in de hand gewerkt kan worden, hetgeen met name samenhangt met de toe te passen warmtebehandeling,
3. door een geschikte en doeltreffende oppervlaktebehandeling.

Ad. 1. Om de meest gewenste samenstelling der legering te kiezen, is het allereerst nodig, dat men de invloed der verschillende legeringscomponenten kent. Hierop kan nu niet verder worden ingegaan.

Ad 2. Wat de metallurgische behandeling betreft is het noodzakelijk om mogelijke verontreinigingen der legering tot het uiterste te beperken. Verder is een juiste warmtebehandeling in het algemeen een waarborg voor een goede weerstand tegen corrosie, waartoe b.v. een zogen. homogeniserende warmtebehandeling kan bijdragen.

Ad 3. De oppervlaktebehandeling vormt een geheel apart gebied bij de lichte metalen, en omvat b.v. het invetten, schilderen, lakken, galvaniseren, platteren, eloxeren, anodiseren, enz.

In verband met de mogelijkheid van het verschijnen der electrochemische corrosie, die het optreden van plaatselijke corrosie, onder *b* genoemd, in de hand werkt, is het verhelderend, hieronder de electrolytische spanningsreeks (normaalpotentialen) der metalen t.o.v. waterstof te vermelden:

magnesium . . .	— 1,55 Volt	tin . . . . .	0,10 Volt
aluminium . . .	— 1,28 V.	waterstof . . .	0,00 V.
zink . . . . .	— 0,76 V.	koper . . . . .	+ 0,34 V.
ijzer . . . . .	— 0,43 V.	zilver . . . . .	+ 0,81 V.
cadmium . . . .	— 0,40 V.	goud . . . . .	+ 1,50 V.
nikkel . . . . .	— 0,22 V.	platina . . . .	+ 1,80 V.
lood . . . . .	— 0,12 V.		

Om bij aanwezigheid van een electrolyt te voorkomen, dat bovengenoemde aantasting optreedt kan men het beste de volgende maatregelen nemen, die speciaal in acht moeten worden genomen bij gemengde constructies, waaronder wij die constructies verstaan, waarbij lichte en zware metaallegeringen met elkander moeten worden verbonden:

*a.* gemengde constructies, als bovenbedoeld, moeten, zoveel als mogelijk is, geheel vermeden worden. Wanneer dit niet mogelijk is, kan men de zware metalen verzinken en voorts lakken op de aanrakingsvlakken, hetgeen in het bijzonder geldt voor klinkverbindingen. Behalve voor klinkverbindingen in gemengde constructies wordt ook het overtrekken met een laagje cadmium, het zogen. cadmeren, en daarna lakken op de bevestigingsvlakken toegepast.

*b.* tussen de klemvlakken moet zo mogelijk een isolerende laag aangebracht worden, b.v. een in lak gedrenkte linnen strook, oliepapier, leder, rubber en dergel. De laklaag moet in het algemeen ruim worden aangebracht op het lichte metaal om voldoende beschutting te waarborgen, d.w.z. de laklaag moet nog enkele cm buiten de grens van het bevestigingsvlak doorlopen.

*c.* bij verbindingen door schroeven, bestaande uit zware metalen, is het nodig, om deze met de onderleggingen te verzinken. Hierbij kan men beter verzinkte delen gebruiken, die door onderdompeling in zink, dan door galvanisch verzinken zijn verkregen, dit in verband met mogelijk nog aanwezige electrolytresten na galvanisch verzinken. Verder is het gewenst, de verzinkte schroeven of bouten met zuurvrije vaseline of dikke olie in te vetten.

Voor boutverbindingen, die niet behoeven te worden losgemaakt, is het nodig om de bouten vóór het aanbrengen in lak onder te dompelen. Na de bevestiging ervan moeten de aanrakingsvlakken worden overgelakt, opdat geen vocht tussen de lichte en zwaar-metalen delen kan binnendringen. Het blijft echter raadzaam, bouten en onderleggingen te maken uit dezelfde legering als de te verbinden delen.

*d.* Voor delen, die uit lichte en zware metalen opgebouwd zijn en die niet electricch geïsoleerd mogen worden, moeten de zwaar-metalen onderdelen, welke uit koper, messing en dergel. metalen bestaan, met cadmium of zink worden overtrokken.

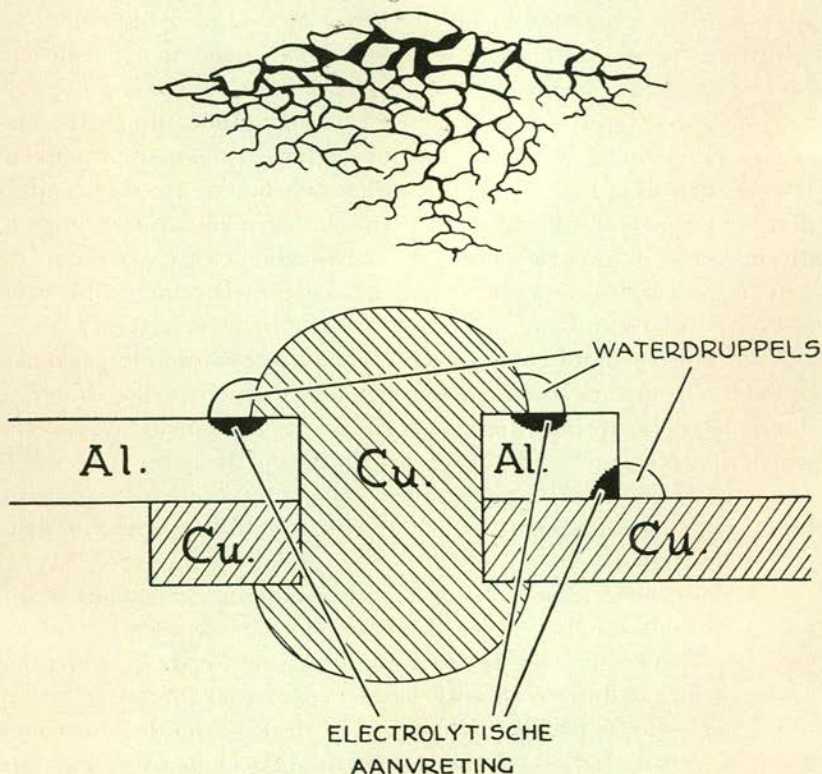
*e.* het is aan te bevelen ervoor zorg te dragen, dat de constructie zodanig uitgevoerd wordt, dat geen dode hoeken of gaten aanwezig zijn, waarin zich vocht en vuil kunnen verzamelen.



Over de interkristallijne corrosie, de gevaarlijkste en meest verwoestende vorm, kan in het kort het volgende worden opgemerkt. Wij zien dit verschijnsel in het algemeen optreden bij niet goed metallurgisch behandeld materiaal. Verder bestaat er neiging bij aluminiumlegeringen met een aanzienlijk koper-percentages, dat de interkristallijne corrosie kan optreden, d.w.z. een aantasting langs de korrelgrenzen. Dit wordt veroorzaakt door potentiaalverschillen tussen de verschillende kristallen, als gevolg waarvan het innige, onderlinge kristalverband geleidelijk wordt vernietigd, de korrels verder uit elkaar worden gedreven en de materiaalsamenhang, benevens de sterkte verloren gaat.

Bij eerste-klas-fabrikaat met een goede voorbehandeling kan dit verschijnsel zelden optreden. Verder diene men er rekening mede te houden, dat veredelde metaallegeringen na de veredeling geen koude deformatie meer mogen ondergaan.

Hieronder is een voorbeeld afgebeeld van interkristallijne corrosie



*Oppervlaktebehandeling van aluminium-legeringen*

bij een plaat uit een Al-Cu-Mg-legering, welke ontstaan is als gevolg van een foutieve warmtebehandeling.

Deze heeft bescherming, verbetering en verfraaiing ten doel. De nabehandeling der metaaloppervlakken wordt alleen dan toegepast, indien dit door de eisen, die hieraan worden gesteld, noodzakelijk is. Men kan hiertoe de volgende wegen inslaan:

*a.* het invetten, het eenvoudigste middel, doch natuurlijk van zeer tijdelijke aard.

*b.* men kan het metaal tegen weersinvloeden en dergel. beschermen door lakken of schilderen, in vele gevallen een niet-afdoende bescherming, alhoewel van een meer permanent karakter.

*c.* het fabricageproces kan men door platteren dermate verbeteren, dat het metaal *zichzelf* tegen verwoestende invloeden beschermt.

*d.* men kan de dunne, natuurlijke oxydefilm, waarmee het aluminium, dat aan de lucht blootgesteld is, spoedig is bedekt, en dat het daaronder liggende metaal tegen een verdere oxydatie beschermt, kunstmatig versterken, hetgeen langs elektrische of chemische weg verkregen kan worden.

De eerste methode is het electrisch oxyderen van aluminium, het zogen. eloxeren, ook wel anodisch oxyderen genoemd.

De tweede methode is het chemisch oxyderen volgens de z.gn. modifizierte Bauer-Vogel-methode of kortweg M.B.V.-methode geheten.

*e.* het langs galvanische weg overtrekken van Al. en Al-legeringen met andere metalen, het galvaniseren.

*f.* verfraaiing van de oppervlakte, welke geschieden kan door slijpen, zandstralen, borstelen of polijsten.

*g.* chemisch kleuren der lichte metalen voor decoratieve doeleinden.

*h.* verfraaijen van de oppervlakte door gebruikmaking van gefigureerde walsoppervlakken, waarmee alle variaties mogelijk zijn.

Hieronder volgt de uitwerking der hierboven opgesomde methoden:

*a.* Invetten moet men beschouwen als een tijdelijke bescherming, nodig bij het verzenden van aluminiumvoorwerpen.

*b.* Een meer permanente bescherming biedt het schilderen en lakken. De lakken, welke uit synthetische harsen zijn samengesteld, geven een goede bescherming, daar zij in tegenstelling met gewoon schilderwerk, zeer goed op de metaaloppervlakte hechten.

Om een goede aanhechting te verzekeren, kan het zijn nut hebben, de oppervlakte van het lichte metaal, dat door walsen en persen in het algemeen zeer glad geworden is, vooraf door zandstralen ruw te maken.

Voorwerpen van lichte metalen worden slechts dan van een verflaag voorzien, indien de natuurlijke of langs kunstmatige weg versterkte oxydelaag, dan wel de legering uit zichzelf geen afdoende en toereikende beschutting biedt.

Het inbrandlakken wordt in verband met de hoge inbrandtemperatuur van 140—160° C. nooit toegepast bij veredelde legeringen, die door het inbranden weer bedorven zouden worden, omdat de door de veredeling zorgvuldig verkregen edeler materiaaleigenschappen weer geheel teniet zouden worden gedaan.

Het schilderen van de lichte metalen zullen wij nu maar niet nader behandelen, omdat dit het bestek van dit artikel te buiten gaan zou. Men zal er echter goed aan doen, zich in bijzondere gevallen tot de lak- en verffabrikanten te wenden om inlichtingen. Verder moet men er op staan, dat de te gebruiken bedekkingsmiddelen gegarandeerd zuur- en loogvrij zijn, daar Al. door zijn amphotere karakter anders in beide gevallen aangetast zou worden.

c. Platteren. Hieronder verstaat men, dat koperhoudende Al-legeringen worden overtrokken met een dunne laag zuiver Al. of met een anti-corrosieve Al-Mg-Si-legering. Met dit zogen. platteren bereikt men een goede corrosiebestendigheid. Deze Al-Mg-Si-legering gebruikt men in twee thermisch veredelbare varianten, n.l. het anticorodal 5 Si in de samenstelling 3—6 % Si, 0,4—1,0 % Mg, 0,5—1,0 % Mn, rest aluminium en het anticorodal 2 Si met 1—2 1/2 % Si, 0,4—1,7 % Mg, 0,5—1,0 % Mn, rest aluminium.

De koperhoudende Al-Cu-Mg- en de Al-Cu-legeringen behoren tot de beste, wat de mechanische eigenschappen betreft, doch zij zijn tengevolge van hun Cu-gehalte helaas minder corrosiebestendig. Door nu een corrosiewerende deklaag op deze legeringen aan te brengen, welke deklaag uit zuiver Al. (minstens 99,5 % Al.) of uit één der hierboven genoemde Al-Mg-Si-legeringen bestaat, kan men de voordelen van de Cu-houdende en de Cu-vrije legeringen combineren.

De aanhechting van het Cu-houdende kernmateriaal en de Cu-vrije buitenlaag wordt verkregen door het te walsen blok, nadat dit zorgvuldig gereinigd is, in een plaat van de gewenste buitenlaag te verpakken, op ca. 450° C. te verhitten en daarna uit te walsen. Bij

dit warmwalsen wordt de buitenlaag tot één geheel met het kernmateriaal samengelast. De geplatteerde laag bedraagt aan elke zijde circa 5 % van de totale plaatdikte. Door het platteren loopt de trekvastheid van het materiaal echter ca. 8 % terug.

Het geplatteerde materiaal, dat op deze wijze werd verkregen, vindt op zeer uitgebreide schaal toepassing in de vliegtuigbouw, waar men de Cu-houdende veredelbare legeringen op deze wijze geheel tot hun recht kan laten komen.

De deklaag beschermt daarbij niet alleen de direct daaronder liggende kern tegen corrosie, doch ook de snijkanten, nagelkoppen en beschadigingen aan de buitenkant van de deklaag, zoals diepe krassen. Dit wordt veroorzaakt door het potentiaalverschil tussen het kernmateriaal en de deklaag (in hoofdzaak bij de Al-Mg-Si-dek-laag).

Deze deklaag is electrochemisch onedeler dan het Cu-houdend kernmateriaal en werkt dus bij aanwezigheid van een electrolyt, b.v. zeewater, als oploselectrode. Zelfs bij beschadiging van de deklaag gaat de beschermende werking hiervan niet verloren, zoals dit met een edeler deklaag wél het geval zou zijn, maar strekt zich ook uit tot de kleinere ongeplatteerde oppervlakken, zoals snijkanten van platen, gaten en dergelijke, de zogenaamde „Fernschutz-wirkung”.

Enige handelsnamen van met zuiver aluminium (99,5 %) geplatteerde Cu-houdende lichtmetalen legeringen zijn b.v. Albondur, Allautal en Avional. Van de in de handel verkrijgbare soorten met een kern van Duralumin (Al-Cu-Mg-legering) en een buitenlaag van Anticorodal (als eveneens veredelbare, doch Cu-vrije Al-Mg-Si-legering) mogen hier b.v. Bondurplat en Duralplat genoemd worden, hetwelk goed bestand is gebleken tegen zeewater).

Om te voorkomen, dat het koper van het kernmateriaal in de buitenlaag kan diffunderen, waardoor de corrosiebestendigheid hiervan zou teruglopen, is het gewenst, de gloeitijd bij het veredelen van Bondurplat en Duralplat op maximum 30 minuten te beperken voor plaat tot 1 mm dikte, voor dikkere platen op 1 uur.

d. electrochemisch oxyderen, z.g. eloxeren of anodisch oxyderen.

Tot de middelen, waarnaar men heeft gezocht om de corrosiebestendigheid te verbeteren, behoort het langs electrolytische of electrochemische weg bedekken met een laagje aluminiumoxyde ( $Al_2O_3$ ). De kunstmatige oxydatie, die men hiermede nastreeft, neemt de laatste jaren een steeds belangrijker plaats in bij de bestrijding van corrosie van Al. en Al-legeringen.

Een tweede zeer belangrijke verbetering, welke met dit cloxeren (*electrisch oxyderen*) wordt verkregen, is de zéér grote hardheid van de bereikbare oppervlakkige oxydelaag. Zoals bekend is, heeft Al. met enkele andere metalen dit gemeen, dat het metaal, eenmaal door een dunne oxydelaag bedekt, voor verdere aantasting in meerdere of mindere mate is gevrijwaard.

De natuurlijk gevormde oxydehuid, welke slechts een dikte heeft van  $4/100.000$  tot  $2/10.000$  mm, is geen voldoende waarborg tegen optredende corrosie. Een effectieve bescherming wordt eerst dan verkregen, indien de oxydefilm 5 à 6 micron dik is. Het streven is daarom ook gericht geweest op het kunstmatig versterken van deze natuurlijk gevormde oxydelaag.

De hardheid van deze oxydelaag grenst aan die van het mineraal korund, eveneens zuiver  $Al_2O_3$ . Verder is van groot belang, dat het moleculair volume van  $Al_2O_3$  aanmerkelijk groter is dan van Al, waardoor een poriënvrije beschermende laag wordt gevormd. Ook mechanisch is de kunstmatig versterkte oxydehuid zeer bestendig, zij vertoont dus een grote slijtvastheid.