

Blok 3

Metaal

INHOUDSOPGAVE

1.	Intro	3
2.	Ijzerertsvoorbereiding	3
3.	Staalbereiding	5
3.1.	Chemische samenstelling	5
3.2.	Raffinage	5
3.3.	Staalsoorten met hoge zuiverheid	7
3.4.	Gieten in ingots	9
3.5.	Cotinugieten	10
4.	Het omvormen van staal	10
4.1.	Metaalkundige aspecten van gewalste stalen	11
4.2.	Warmwalsen.....	13
4.3.	Koudwalsen.....	13
5.	Warmtebehandelingen van metaal	15
5.1.	Metaalstructuren	15
5.2.	Het gebruik van toestandsdiagramma	17
5.3.	Legeringen.....	18
5.4.	Het ijzer koolstofdiagramma.....	22
6.	Ongelegeerd staal.....	25
6.1.	Staal voor algemeen gebruik	26
6.2.	Kwaliteitstaal	26
6.3.	Speciaalstaal	27
6.4.	Aanduidingen van de staalsoorten.....	27
7.	Het legeren van staal	28
7.1.	Algemeen	28
7.2.	De invloed van legeringselementen	29
7.3.	Laaggelegeerd staal.....	29
7.4.	Mangaanstaal.....	29
7.5.	Chroomstaal.....	30
7.6.	Nikkelstaal	31
7.7.	Chroom-nikkel staal	31
7.8.	Roestvast staal.....	32
7.9.	Verenstaal	33
7.10.	Automatenstaal	35
7.11.	Gereedschapstaal	35
8.	Gietijzer en Gietstaal.....	35
8.1.	Gietijzer	35
8.2.	Gietstaal	36
9.	Warmtebehandelingen.....	37
9.1.	Harden.....	37
9.2.	Ontlaten.....	37
9.3.	Gloeien	38
9.4.	Veredelen	39
9.5.	Oppervlakteharden.....	39
10.	Non-ferrometalen.....	41
10.1.	Aluminium Al	41

10.2.	Koper Cu	44
10.3.	Messing (Koper en Zink)	45
10.4.	Brons	45
11.	Corrosie	46
11.1.	Vormen van corrosie	46
11.2.	Corrosiebestrijding	47
12.	Enkele belangrijke bewerkingstechnieken van metaal	49
12.1.	Verspanen	49
12.1.1.	Frezen	49
12.1.2.	Draaien	50
12.1.3.	Boren	50
12.2.	Bewerkingen voor plaatmateriaal	51
12.2.1.	Lasersnijden	51
12.2.1.	Buigen	52
12.2.2.	Ponsen	52
12.2.1.	Dieptrekken	52
12.2.2.	Persen	53
12.3.	Verbinden	54

1. Intro

Alle metalen worden als erts gedolven in de natuur. Erts is niets anders dan natuurgesteente. Als in deze gesteenten een verhoogde hoeveelheid van een bepaald metaal voorkomt kan het economisch interessant zijn het erts te gaan ontginnen. Sommige metalen, zoals goud, zilver en koper komen in zuivere 'gedegen' vorm voor, maar de meeste metalen hebben in de loop der tijd soms complexe verbindingen gevormd, met name met zuurstof. Er zullen dan diverse soms energievretende technieken nodig zijn om de metalen te scheiden van hun erts.

Het winningsproces als zodanig is niet echt van belang voor de materiaalkeuze, vandaar dat we er maar een kort hoofdstuk aan wijden. Toch is het wel goed om in ieder geval te weten wat de feitelijke oorsprong van metalen is, omdat de uiteindelijke eigenschappen hierdoor wel degelijk bepaald worden. De prijs kan bepaald worden door de moeite die men moet doen om het metaal te winnen. De mechanische eigenschappen kunnen beïnvloed worden door onzuiverheden in het erts en het feit dat metalen vaak corroderen (roesten), wat komt doordat ze van nature naar de ertstoestand terug zullen keren. Het vervaardigingsproces van staalsoorten staat in dit hoofdstuk model voor de andere metalen. Op dezelfde wijze zullen we in de komende hoofdstukken staalsoorten model laten staan voor allerlei bewerkingsprocessen die ook voor andere metaallegeringen gebruikt worden.

Staalsoorten zijn legeringen van ijzer met maximaal circa 2% koolstof. Er zijn ook ijzerlegeringen met meer koolstof, zoals de gietijzersoorten, maar deze vallen niet onder de term staal. Naast koolstof bevatten stalen altijd enig mangaan ter verbetering van de taaiheid. Bovendien zijn er veel andere legeringselementen die tezamen een zeer groot aantal legeringen met zeer uiteenlopende eigenschappen mogelijk maken. Hoewel ijzerlegeringen al zeker 4000 jaar gebruikt worden, wordt staal pas 150 jaar op grote schaal gebruikt, sinds het mogelijk is de belangrijkste verontreinigingen eruit te halen. Die konden wel al sinds de Middeleeuwen in de gietproducten blijven zitten, maar ze maakten het onmogelijk het staal te kunnen walsen of smeden. Smeedijzer kon alleen uit relatief zuivere ertsen betrokken worden. Pas rond 1750 bedacht men een manier, het Bessemerproces, om door het vloeibare gesmolten ijzer zuurstof te blazen, waardoor de verontreinigingen gebonden werden en gescheiden konden worden van het staal.

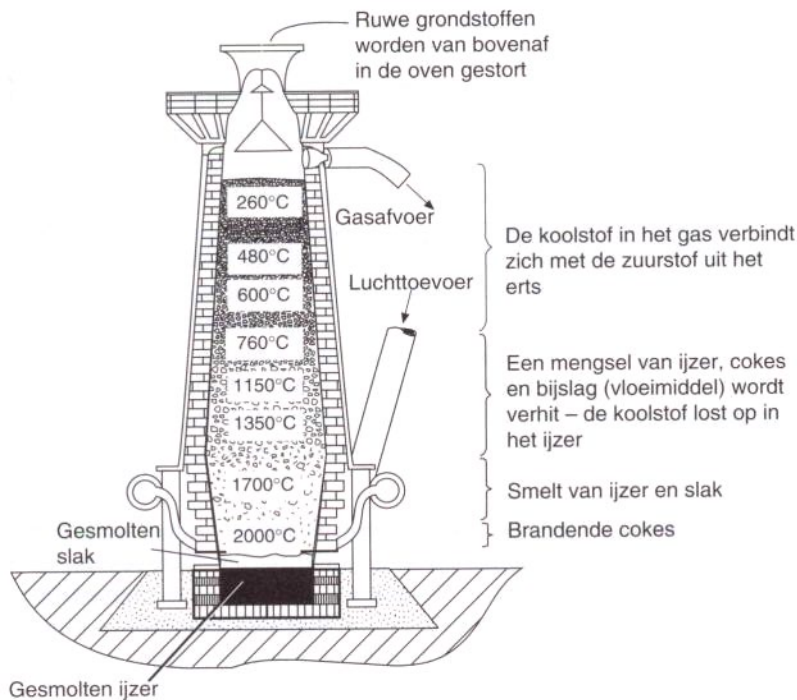
Dit proces wordt allang niet meer toegepast, maar vormde de aanzet tot de staalproductietechnieken die we tegenwoordig gebruiken. Het is duidelijk, dat men er lang over heeft gedaan om de samenstelling zodanig te krijgen dat hedendaagse toepassingen mogelijk werden. We zullen in dit hoofdstuk zien dat het hierdoor mogelijk is geworden ook de structuur van metalen in belangrijke mate te wijzigen, zodat een groot bereik aan eigenschappen bereikt kan worden.

2. Ijzerertsvoorbereiding

De grondstoffen voor stalen zijn van nature voorkomende ijzeroxiden. Zuiver ijzer komt in de natuur helaas niet voor. Belangrijke ertswingebieden liggen in Rusland, de Verenigde Staten, China en Zuid-Amerika. In Europa wordt het meeste erts ingevoerd via Rotterdam. Twee heel belangrijke ijzerertsen zijn hematiet (Fe_2O_3) en magnetiet (Fe_3O_4). Uit het vergruisde gesteente worden met behulp van onder meer doTatie de ijzerrijke bestanddelen geconcentreerd, die vervolgens gesinter~{den tot kleine knikkers met een diameter van 10-30 mm, een proces dat pelletiseren wordt genoemd. Deze knikkers die een ijzergehalte van meer dan 70% kunnen hebben, worden naar de staalfabrieken getransporteerd. Dit transport gaat meestal per schip.

In de staalfabriek gaat het gepelletiseerde ijzeroxide in een hoogoven, een wonder van constructietechniek dat zich enigszins laat vergelijken met een filtersysteem voor water: het ruwe onzuivere materiaal wordt bovenaan in de hoogoven gestort, en onderaan verzamelt zich het vloeibare staal. De overeenkomst met het zuiveren van water eindigt echter wanneer we naar de chemische reacties kijken die in een hoogoven plaatsvinden. De oven wordt voortdurend op temperatuur gehouden, en heeft een lading die bestaat uit ijzererts, cokes en kalksteen. Onderstaande iguur is een schematische voorstelling van een doorsnee hoogoven.

Aangezien het ijzer in ijzererts voorkomt als oxide, kan het worden vrijgemaakt door de zuurstof te verwijderen, dus door middel van reductie. De cokes in de oven leveren warmte en leveren tegelijkertijd ook het reducerende gas dat langs chemische weg zuurstofatomen van het ijzeroxide afhaalt en daarmee het gewenste ijzer doet ontstaan.



De kalk die aan de lading is toegevoegd dient ervoor de silicaten uit het ganggesteente te binden tot een dun vloeibare slak, en helpt dus verontreinigingen uit het ijzererts te verwijderen. Tot slot is in een hoogoven ook lucht een onontbeerlijk ingrediënt, want lucht levert de zuurstof voor de verbranding van de cokes en bevordert daarmee indirect de chemische reductie van het ijzeroxide. In een hoogoven spelen zich onder meer de volgende chemische reacties af:

Vorming van reducerend gas:

1. $C \text{ (cokes)} + O_2 \text{ (lucht)} > (CO_2)$
2. $CO_2 + C \text{ (overmaat aan cokes)} > 2CO \text{ (koolmonoxide)}$

Reductie van ijzererts:

1. $Fe_2O_3 \text{ (erts)} + 3C \text{ (cokes)} > 2Fe + 3CO \uparrow$
2. Tegelijk met de vorige reactie $Fe_2O_3 + 3CO > 2Fe + 3CO_2$

De chemische reagentia die het ijzeroxide in metallisch ijzer omzetten, zijn dus koolmonoxide en koolstof, beide afkomstig van de cokes.

Het gesmolten ijzer wordt onder aan de oven afgetapt; in deze toestand wordt het ruwijzer of ook wel pikijzer genoemd. Het is nog onzuiver, want het heeft een hoog koolstofgehalte, het is daardoor uiterst bros en zwak en dus niet bruikbaar als technisch materiaal. Het ruwijzer moet daarom nog verder worden gezuiverd. De slak die zich boven het ijzer verzamelt wordt eveneens afgetapt, maar wordt alleen gebruikt voor zaken als terreinophoging, aanaarding of als aggregaat (toeslagstof) in beton. De beschrijving van het hoogovenproces die we hier gegeven hebben, is een sterk vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. De ontwikkelingen staan echter niet stil, zodat ook het hier beschreven energievretende proces op niet te lange termijn door meer rendabele processen vervangen zal worden.

3. Staalbereiding

3.1. *Chemische samenstelling*

Stalen zijn - per definitie - een legering van ijzer en koolstof, zij het dat het koolstofgehalte van staal tussen bepaalde grenzen ligt. Een ijzer-koolstoflegering die bij kamertemperatuur minder dan 0,005% koolstof bevat en verder geen legeringselementen, geldt als zuiver ijzer. Zuiver ijzer is zacht, ductiel en naar verhouding weinig sterk. Vanwege de lage sterkte wordt het alleen gebruikt voor bijzondere technische toepassingen, zoals toepassingen op magnetisch gebied en in de vorm van geëmailleerd staal. De staalsoorten die commercieel van belang zijn, hebben een koolstofgehalte van minimaal ongeveer 0,06%. Als bovengrens aan het koolstofgehalte voor staal geldt 2% C. IJzer-koolstoflegeringen met meer dan ongeveer 2% (gewichtsprocent) worden gietijzer genoemd. Als het koolstofgehalte hoger is dan 2%, is gieten vrijwel de enige manier waarop de legering tot een bruikbaar vormproduct kan worden gemaakt, want ijzer met een zo hoog koolstofgehalte is te bros voor fabricagemethoden zoals walsen, omvormen en snijden. We mogen dus stellen dat staalsoorten legeringen zijn van ijzer en koolstof, met koolstofgehalten tussen 0,06% en 2,0%.

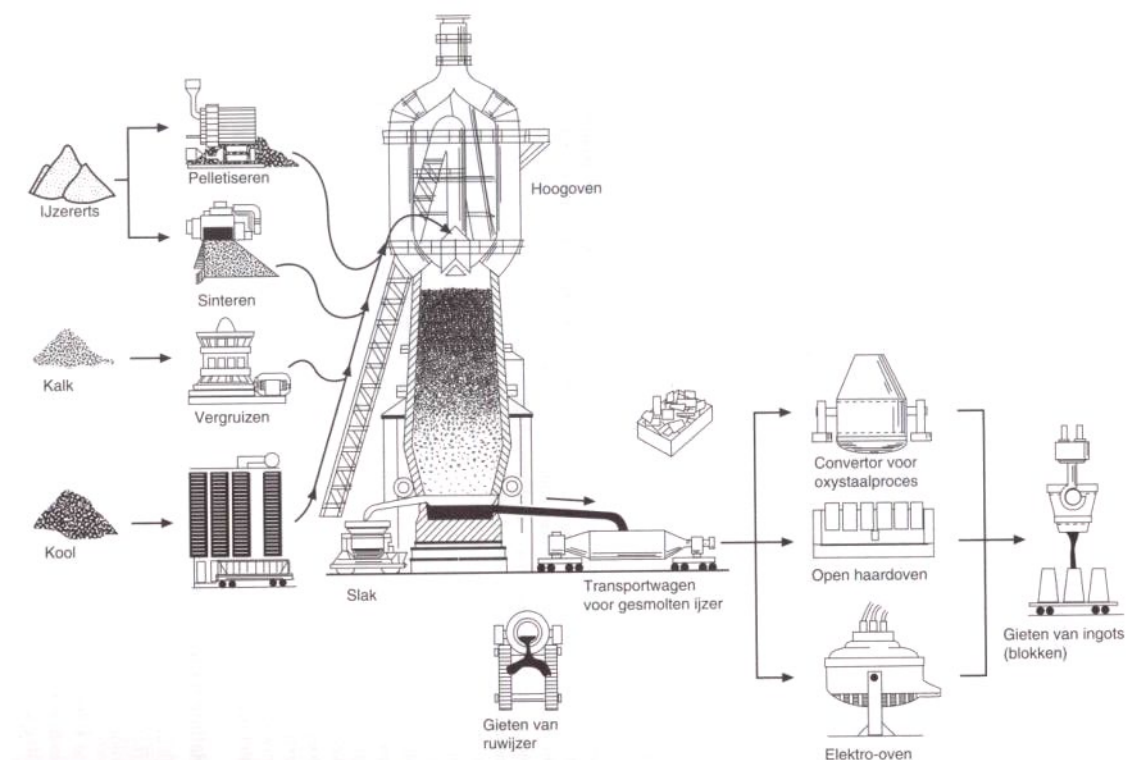
Ruwijzer heeft vaak een koolstofgehalte van zo'n 4% tot 5%, en kan dus niet als staal worden gebruikt. Behalve veel koolstof kan ruwijzer ook veel silicium, zwavel, fosfor en mangaan bevatten, bovendien zijn er allerlei insluitingen van niet-metallisch materiaal (ondermeer verbindingen met de elementen N, O, H, en S) die afkomstig zijn van het erts. Al deze extra stoffen zouden indien ze niet grotendeels verwijderd werden een negatieve invloed hebben op de eigenschappen van een staal. Voor het maken van staal moeten dus behalve koolstof ook nog een aantal andere verontreinigingen in het ruw-ijzer worden geëlimineerd. Zoals we zullen zien, kunnen de verontreinigingen in ruw-ijzer op verschillende manieren verwijderd worden, in al die methoden staat één proces centraal, namelijk oxidatie. In de hoogoven werd de zuurstof uit het ijzeroxide verwijderd met behulp van koolstof, dat zich met de zuurstof verbindt tot co. Nu gaan we zuurstof gebruiken om koolstof uit ijzer te verwijderen. Wanneer het ruwijzer in een gesmolten toestand verkeert, kan de koolstof die in het ijzer is opgelost zich gemakkelijk combineren met zuurstof die in de vorm van lucht of als zuivere zuurstof wordt toegevoerd, de koolstof wordt daarbij omgezet in CO. De zuurstof zorgt er samen met extra toeslagstoffen ook voor dat het gehalte van de andere verontreinigingen in het ruwijzer afneemt. We zien dat er veel moeite wordt gedaan een gedefinieerde samenstelling te verkrijgen, omdat dit immers invloed heeft op de eigenschappen.

3.2. *Raffinage*

In de eerste bessemerovens voor de zuivering van ruwijzer tot staal werd het gesmolten ijzer langdurig met een krachtige stroom lucht behandeld. Tegenwoordig worden er voor de zuivering van ruwijzer tot staal drie processen gebruikt:

1. het oxystaalproces;
2. het haardovenproces (Siemens-Martin-proces);
3. het elektro-ovenproces.

De complete verwerking van erts tot staal is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



De open haardovens is al sinds 1900 het werkpaard van de staalindustrie en kan soms per ovenlading wel 450 ton staal produceren. Deze ovens zijn sinds het bessemerproces verlaten werd, gebruikt voor het leeuwendeel van de staalproductie. Het uitgangsmateriaal van de open haardovens is gesmolten ruwijzer, dat in mengers naar de oven wordt getransporteerd, en schroot (soms 50%). De haard waarin de basismaterialen worden gestort, is in feite niets anders dan een ondiep rechthoekig bassin gevuld met gesmolten metaal. De oven wordt op temperatuur gehouden door boven de plas metaal een mengsel van brandstof en lucht te verbranden. Om te bewerkstelligen dat de koolstof in het te raffineren metaal oxideert, worden naar het gebied boven het gesmolten metaal grote hoeveelheden lucht aangevoerd. Het oxidatieproces wordt ook bevorderd door zuurstofflansen die in het metaalbad zijn geplaatst. Wanneer het koolstofgehalte van de lading tot het gewenste niveau is afgenomen, wordt de slak die zich boven op het gesmolten metaal heeft verzameld, afgetapt. Het geraffineerde staal wordt afgetapt in een gietpanwagen en daarin getransporteerd naar de gietinstallatie, waar het vloeibaar metaal in gietijzeren blokvormen (ook wel kokillen genoemd) tot blokken of ingots gegoten wordt. Een lading van 300 ton tot een gietklaar eindproduct raffineren kan ongeveer 8 uur duren.

Elektro-ovens worden meestal geladen met schroot, Dat gesmolten wordt door een elektrische boog te trekken tussen de lading en grafiet elektroden die tot dicht boven de lading worden neergelaten. Deze ovens verbruiken zeer grote hoeveelheden energie, maar zijn wat hun omvang betreft niet te vergelijken met de veel ingewikkeldere open haardovens. Het raffinageproces verloopt sneller dan in een open haardoven, en wanneer de raffinage is voltooid, wordt de hele oven gekanteld voor het gieten. Elektroovens leveren in het algemeen een zuiverder staal dan open haardovens; tot het begin van de jaren zeventig werden deze ovens het meest gebruikt voor de bereiding van bijzondere legeringen, zoals gereedschapsstalen, lagerstalen en roestvaste stalen.

De converter voor het oxystaalproces deed in de jaren zestig zijn intrede. Bij het oxystaalproces wordt een peervormig stalen vat met ongeveer 25% schroot en 75% gesmolten ruwijzer gevuld. Vervolgens worden in de smelt zuurstofflansen neergelaten die zuurstof op het metaalbad blazen; hierbij worden grote hoeveelheden vrijwel zuivere zuurstof met een zeer hoge snelheid in de gesmolten lading gebracht. De reactiewarmte levert de hitte voor het proces: de oven wordt niet van buitenaf verhit. Wanneer de lading voldoende is geblazen (en het koolstofgehalte dus tot het gewenste niveau is

afgenomen), worden de zuurstoflansen teruggetrokken en wordt de oven gekanteld om de gesmolten lading eruit te gieten. Het raffinageproces verloopt zeer snel, en de samenstelling van de lading wordt voortdurend geanalyseerd, waarbij men gebruik maakt van geavanceerde computerapparatuur. Driehonderd ton staal kan aldus in 25 minuten geraffineerd worden.

Gezien het zeer snelle verloop van de raffinage en de economische voordelen van dit proces, is het geen wonder dat slagvaardige staalfabrieken voor het oxystaalproces kiezen. Het oxystaalproces is nu het belangrijkste staalraffinageproces geworden. Het gebruik van het elektroovenproces onderging een verandering die met het voorgaande verband houdt. Daar open haardovens grote hoeveelheden schroot verwerken, was er toen ze buiten bedrijf werden gesteld een overvloed van schroot op de markt. In elektroovens wordt vooral schroot verwerkt en de lage schrootprijzen maakten het economisch aantrekkelijk elektroovens te gebruiken voor de kleinschalige productie van andere staalproducten.

3.3. *Staalsoorten met hoge zuiverheid*

De industrie stelt steeds hogere eisen aan de betrouwbaarheid van onderdelen, en veel industrieën eisen daarom dat er voor onderdelen die van cruciaal belang zijn, staalsoorten worden gebruikt die bereid zijn met behulp van bijzondere smeltprocessen. Uit veel onderzoek naar de sterkte van materialen blijkt dat bijvoorbeeld de vermoeiingslevensduur en de taaiheid van staal nauw samenhangen met het gehalte aan niet-metallische insluitsels in het staal en met de grootte van die insluitsels. Deze insluitsels zijn allerlei oxiden (zoals aluminiumoxide), silicaten en sulfiden die zich vormen gedurende het conventionele smelten en raffineren. De zuiverheid van een staal op microschaal kan gekwantificeerd worden door een gepolijst monster van het staal met een microscoop te bekijken en daarbij het gehalte aan insluitsels te bepalen. De ontwerper kan in zijn aankoopspecificatie vermelden welk gehalte aan insluitsels het te leveren staal mag hebben en kan dus om een staal van een bepaalde graad van zuiverheid vragen.



Hoe worden insluitsels uit een staal verwijderd? De methoden waarmee dat wordt gedaan, zijn in twee groepen te verdelen, met binnen elk van beide groepen een aantal opties:

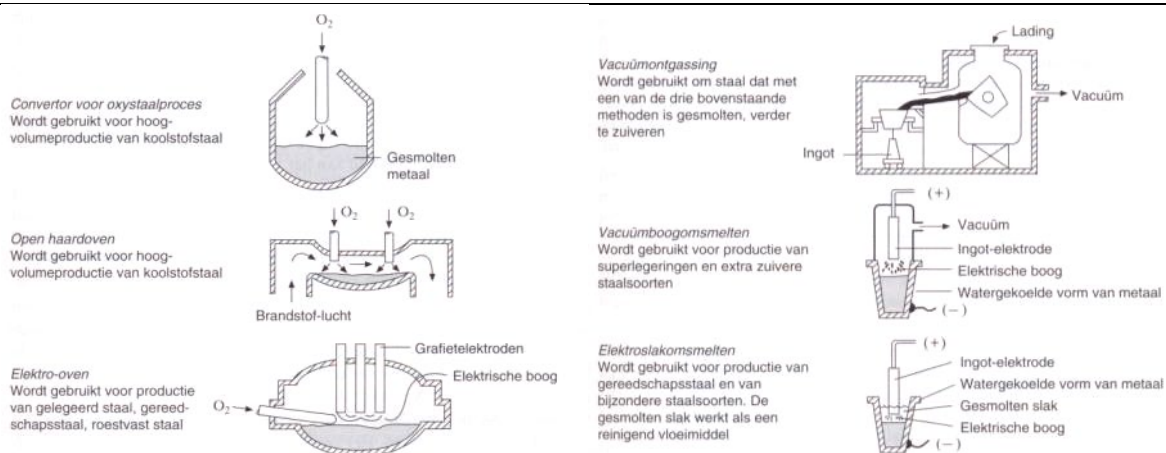
Vacuüsmelten of omsmelten:

- Vacuümontgassen
- Vacuüm boogomsmelten
- Vacuüminductiesmelten
- Elektronenstraalraffinage

Chemische reactie:

- Argon –zuurstofontkoling
- Elektroslakomsmelting
- Gietpanraffinage

In onderstaande worden drie van deze technieken vergeleken met conventioneel smelten. Bij vacuürraffinage wordt staal gewoonlijk gesmolten in een convertor of elektrooven, waarna het staal - terwijl het in gesmolten toestand verkeert - aan een vacuüm wordt blootgesteld. De opgeloste gassen gaan naar het oppervlak van de smelt waar ze aan het metaal ontsnappen en zich in het vacuüm verspreiden. Wanneer er voldoende wordt geroerd en gemengd, kunnen er ook vaste insluitsels in het vacuüm verdampen.



De verschillen tussen de bovengenoemde processen betreffen de manier waarop men het staal laat smelten en de manier waarop er geroerd wordt. Bij vacuümontgassing wordt het gesmolten staal geroerd met een lans en in een grote luchtledige ruimte tot ingots gegoten. Bij vacuüboogomsmelten - de meest gebruikte methode - wordt het staal vanuit de oxystaalconverter of de elektro-oven tot cilindrische ingots gegoten. Aan deze ingots wordt een as stomp gelast en ze worden in een vacuüm opnieuw gesmolten door een boog te trekken tussen de ingot (elektrode) en een met water gekoelde koperen vorm. De ingot wordt een reusachtige laselektrode. Dit proces is een zeer effectieve methode voor het verwijderen van insluitingen omdat er erg veel energie wordt gebruikt. Elke druppel die van de ingot komt, wordt wanneer deze langs de elektrische boog omlaagvalt blootgesteld aan het vacuüm.

Vacuüinductiesmelten is een nieuwer proces, en wordt gebruikt om vast schroot of vloeibare ladingen om te smelten. De lading gaat in een vuurvast vat en wordt verhit met behulp van inductiestromen met een hoge frequentie. De convectiestromen die in de smelt ontstaan, zorgen voor de menging. Het smeltvat bevindt zich in een vacuüm, en de ingots worden ook in dit vacuüm gegoten.

Bij elektronenstraalraffinage wordt in een vacuümruijme gesmolten metaal via een stortgoot in een ingot-vorm gegoten. Terwijl de smelt langs de stortgoot omlaagstroomt, wordt het materiaal met een elektron en bundel bestraald met als gevolg dat de verontreinigingen verdampen en als damp uit de vacuümruijme verwijderd kunnen worden.

De processen die eerder in deze paragraaf als chemische reactie werden beschreven, verschillen van de vacuümprocessen. Het verschil is dat de verontreinigingen verwijderd worden door de reactie met een stof die in de smelt wordt gebracht; deze methoden worden niet in vacuüm uitgevoerd. Bij argon-zuurstofontkoling blaast men argon en zuurstof in een vuurvast vat, gevuld met een gesmolten lading die afkomstig is van een elektro-oven of een oxystaalconverter. De zuurstof zorgt ervoor dat het gehalte aan koolstof (ontkoling), zwavel en andere verontreinigingen afneemt. De argon veroorzaakt grote beroering in de smelt, met als effect dat de oxiden verstrooid worden en fijner worden gemaakt. De argon bevordert ook de verwijdering van opgeloste gassen.

Elektroslakraffinage lijkt op vacuüboogomsmelten, maar dan zonder vacuüm. Eerst wordt een smelt die met vacuüinductiesmelten of in een elektro-oven is gemaakt, in ingot-gietvormen gegoten. De ingots worden door ze van een as stomp te voorzien tot elektroden gemaakt voor boogsmelten in een met water gekoelde koperen gietvorm. De zuivering wordt gerealiseerd door de boog door een gesmolten slak heen het staal te laten omsmelten, waarbij de slak, net als die van laselektrodes, werkt als reinigend vloeimiddel ter verwijdering van verontreinigingen. In een elektroslakraffinage-ingot komen geen krimpholten voor.

Gietpanraffinage is van de bovengenoemde processen het nieuwst. Omdat dit proces niet zulke enorme investeringen vereist als voor vacuümsystemen en omsmeltsystemen nodig zijn, is het voor staalfabrieken het meest aantrekkelijke proces. Bij deze raffinemethode worden vaste materialen zoals calcium en zeldzame aardmetalen met een argonlans in een gietpan met gesmolten metaal geïnjecteerd. De geïnjecteerde materialen reageren met onder meer zuurstof en zwavel en helpen op

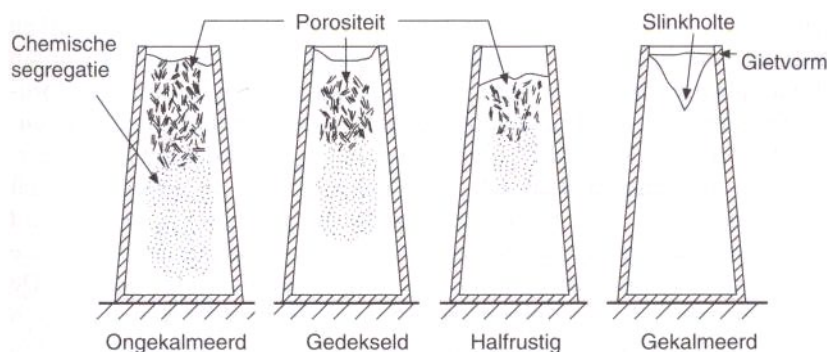
die manier verontreinigingen te verwijderen. Op het ogenblik is deze techniek nog niet zo effectief als de eerder genoemde methoden. Als men erin slaagt de bijbehorende technologie voldoende te verbeteren, zal het in de toekomst echter mogelijk worden met deze methode zeer zuivere staalsoorten te bereiden zonder de extra hoge prijs die deze complexe methoden vaak met zich meebrengen. Een voordeel van een hoge mate van zuiverheid is dat men de structuur van het materiaal (en dus de eigenschappen) beter kan beheersen.

3.4. *Gieten in ingots*

Nadat staal is gesmolten, is de volgende stap het in een ingot-vorm te gieten. Zo'n gietvorm is gewoonlijk een met vuurvast materiaal beklede blok vorm van staal, die aan een of aan beide uiteinden open is. Bij het stollen van de ingot kunnen er inhomogeniteiten en krimpeffecten ontstaan. In de metaalkunde spreekt men in dit verband van segregatie en slinkholten. Segregatie wil zeggen dat er in het materiaal een samenstellingsverloop voorkomt. Slinkholten en segregatie zijn verschijnselen die zich in elk metaalgietproces kunnen voordoen. Slinkholten zijn een gevolg van de krimp die optreedt bij stolling. De mate waarin er segregatie optreedt, hangt af van de aard van de legering. Wanneer een metaal over een zeker temperatuurtraject stolt, is tijdens het stollen op elk moment een deel van het metaal gesmolten en een deel vast. Bij de stolling van staal is het metaal dat het eerst stolt zuiverder dan het metaal dat het laatst stolt. Wanneer een ingot op zo'n manier stolt dat de huid zuiverder is dan het centrum van de ingot, spreekt men van ongekalmteerd staal.

Segregatie en de vorming van slinkholten zijn dus verschijnselen die eigen zijn aan het stallingsproces. Gelukkig echter hebben staalfabrieken methoden gevonden waarmee deze nadelige effecten tot een minimum kunnen worden beperkt. Een deel van de ingot wordt vanwege de slinkholten niet gebruikt. Segregatie kan men tegengaan door aan het staal elementen zoals aluminium en silicium toe te voegen; deze elementen verwijderen de opgeloste zuurstof uit het gesmolten metaal. De ingot stolt daardoor op een andere manier. De stolling verloopt rustiger, vandaar dat men dan spreekt van gekalmteerd staal.

Als compromis tussen gekalmteerd en ongekalmteerd staal is er ook nog halfrustig staal en gedekseld staal. Halfrustig staal is een staal waaraan minder desoxidatiemiddelen zijn toegevoegd dan aan een gekalmteerd staal. Gedekseld staal wordt gemaakt door een deksel op de ingot-blok vorm te plaatsen om het borrelen en de turbulentie die zich voordoen bij onrustig gieten, te onderdrukken. Ongekalmteerd staal vertoont de hoogste porositeit en de sterkste segregatie en daarna volgen gedekseld staal en halfrustig staal. Gekalmteerd staal heeft de meest homogene chemische samenstelling van de hele groep en bevat geen gas en slinkholten. De prijs van deze staalsoorten is min of meer evenredig aan de zuiverheid. Ongekalmteerd staal is het goedkoopst. Onderstaande figuur laat zien hoe de ingots van deze vier verschillende staalsoorten er in doorsnede zouden uitzien.



Voor de materiaalkeuze zijn slinkholten en segregatie in zoverre van belang dat deze verschijnselen soms problemen geven bij het omvormen en de verwerking van staal. Chemische segregatie blijft bij walsen bestaan, zelfs wanneer staal wordt uitgewalst tot dunne plaat of band. Producten die uit de randzones van dunne plaat- of bandmateriaal worden gestanst, gedragen zich bij het omvormen soms anders dan gestanste producten die uit het midden komen. Dat komt doordat de rand en het midden in zo'n geval in feite verschillende legeringen zijn, met verschillende mechanische eigenschappen. In

een staalband die gewalst is uit een ingot van ongekalkmeerd staal kan de rand een koolstofgehalte van 0,06% hebben, terwijl het midden 0,10% koolstof bevat.

Soms worden er in staalplaat slinkholten en porositeit ingewalst, met als gevolg dat er zich bij het buigen en het omvormen van de plaat delaminatie kan voordoen. Zulke problemen zijn te voorkomen door gekalkmeerde staalsoorten te gebruiken, maar gekalkmeerd staal is verhoudingsgewijs duur en heeft na het omvormen meestal een slechtere oppervlakteafwerking dan ongekalkmeerd staal. Daarom dient de ontwerper slechts dan voor gekalkmeerd, gedekseld of halfgestuikt staal te kiezen, wanneer bekend is dat ongekalkmeerd staal niet geschikt is.

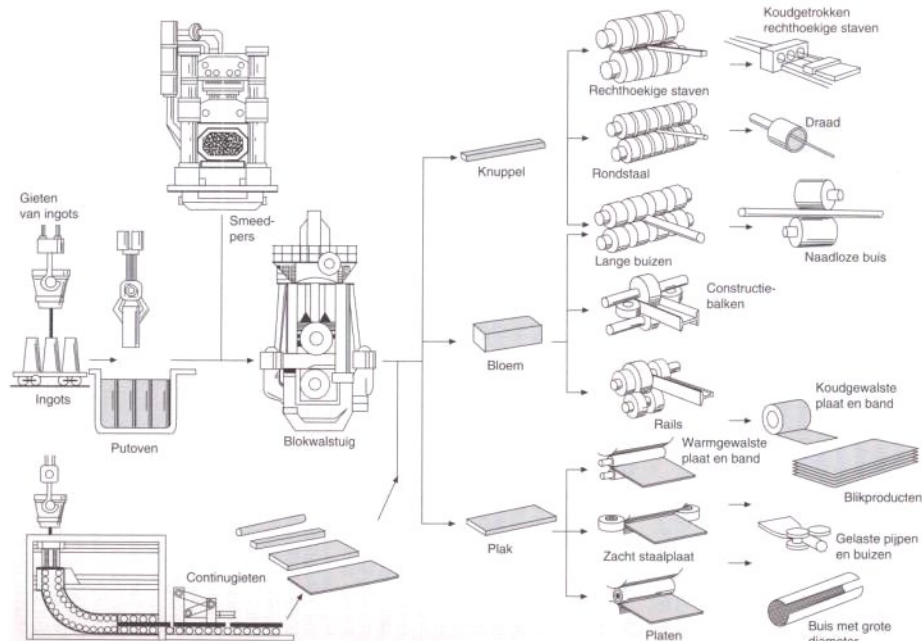
3.5. Continugieten

De ingot-fase bij de staalbereiding kan achterwege blijven door gebruik te maken van continugieten. Dit proces werd in de jaren zestig voor het eerst op commerciële schaal toegepast en heeft sindsdien aanzienlijk aan belang gewonnen. Het idee is eenvoudig: continu gesmolten staal wordt gegoten in een met water gekoelde gietvorm waarin een opening zit die qua vorm overeenkomt met de doorsnede van het gewenste (continue) gietproduct. Meestal worden er producten gegoten met een ronde of rechthoekige doorsnede. De verblijfsduur van het staal in de met water gekoelde gietvorm moet zolang zijn, dat er zich in elk geval een dikke massieve huid kan vormen. Continugieten kan alleen met staal dat gedeseoxideerd (gekalkmeerd) is, want ongekalkmeerd staal kolkt bij het stollen: de vrijkomende gassen zouden gaten blazen in de massieve huid van het stollende staal. Wanneer het gietproduct over de hele dikte is gestold, wordt het gewoonlijk in stukken gesneden en in deze vorm verkocht, of het wordt tot staven of zelfs tot dunne platen gewalst.

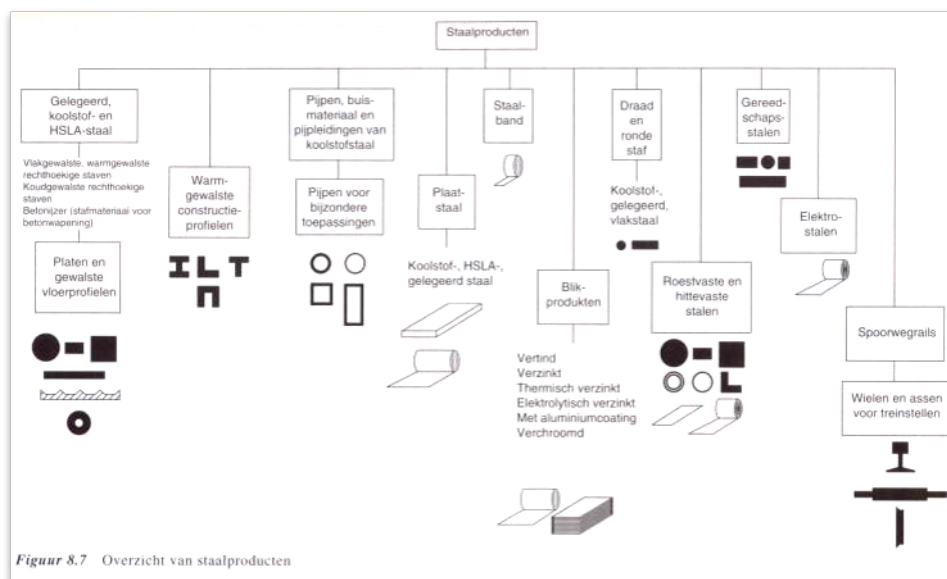
De meeste staalfabrieken beschikken tegenwoordig over faciliteiten voor continugieten, in 1987 werd ongeveer 50% van alle staal dat in de Westerse landen geproduceerd werd, op deze manier gegoten. Ministaalfabrieken maken met continugieten staven, buizen en andere standaardvormproducten; de grote staalfabrieken gebruiken continugieten meestal voor het gieten van plakken of stangen die vervolgens worden uitgewalst tot dunne plaat en band. De verwachting is dat uiteindelijk alle staalproducten - grote smeedbare en enkele bijzondere producten uitgezonderd - met continugieten gemaakt zullen worden. Voor de staalgebruiker betekent dit dat het staal waarmee hij werkt meestal gekalkmeerd staal zal zijn. Ongekalkmeerd en gedekseld staal zullen geleidelijk uit productie worden genomen, zodat we uiteindelijk gevrijwaard zullen zijn van chemische segregatie en centrale insluitels in staal. De insluitels die in gekalkmeerd staal toch nog voorkomen, zijn fijnkorrelig en gelijkmatig verdeeld. De mechanische eigenschappen van staalplaten zullen over de breedte van de platen gelijkmatiger worden. Het is echter wel mogelijk dat men sommige fabricagemethoden zal moeten veranderen, want continuegegoten staal kan wat omvormbaarheid betreft verschillen van ingotstaal. Ook moet men bij de aankoop van staal uit Oost-Europa rekening houden met het feit dat hier de nieuwe technieken nog niet ingevoerd zijn.

4. Het omvormen van staal

Staalfabrieken produceren uiteindelijk letterlijk duizenden verschillende staalproducten. De eerste productietap is echter steeds dat de ingots worden uitgewalst tot grote rechthoekige producten. Deze worden - afhankelijk van hun vorm - baren of plakken genoemd. Zeer grote smeedstukken worden direct uit ingots gemaakt, maar dit zijn uitzonderingen. De grote onafgewerkte vormproducten die het resultaat zijn van grof walsen, worden vervolgens verder verwerkt tot een aantal elementaire staalfabrikproducten. Volgende figuur toont de stappen bij de verwerking van ingots en van continuegietproducten tot eindproducten. Volgende figuur geeft een overzicht van de verschillende staalproducten die te koop zijn. De groepen producten in Volgende figuur verschillen van elkaar wat betreft de naamgeving, de fabricagetoleranties, de oppervlakteafwerking, de chemische samenstelling, en in het geval van koudgewalste producten ook wat betreft de relatieve hardheid. In leverancierscatalogi kan men de eindproducten terugvinden.



Figuur 8.6 Verwerking van gezuiverd staal tot halfproducten (Met toestemming van het American Iron & Steel Institute)

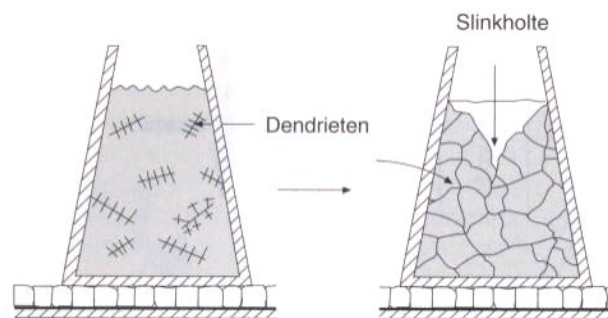


Figuur 8.7 Overzicht van staalproducten

4.1. Metaalkundige aspecten van gewalste stalen

Met het proces waarmee uit een ingot van staal (of van een ander metaal) bruikbare halfproducten worden gemaakt, is een aantal zeer belangrijke metaalkundige beginselen gemoeid. Zoals we in hoofdstuk I al hebben besproken, is het verschil tussen metalen en andere materialen dat de atomen

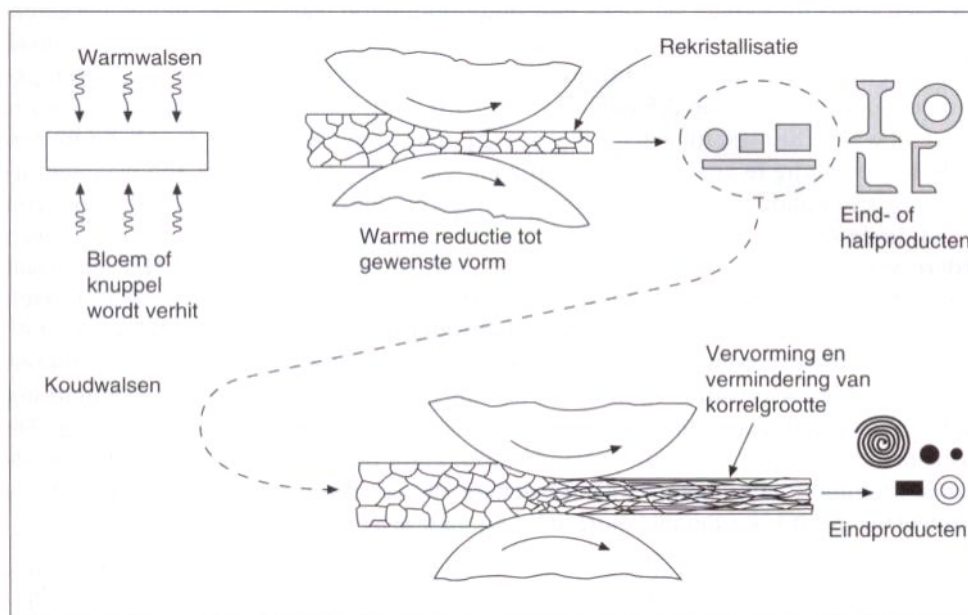
in een metaal bij elkaar worden gehouden door een elektronengas, een verschijnsel dat we metaalbinding noemen. Het andere unieke aspect van metalen is dat de atomen in een metaal dat een plastische vervorming ondergaat, langs talrijke verschillend georiënteerde glijvlakken ten opzichte van elkaar kunnen verschuiven (slip). Keramische materialen zijn bros doordat de atomen sterk aan elkaar gebonden zijn, zodat het materiaal wanneer men het tracht te vervormen de neiging heeft door splijting te breken. Bij het plastisch vervormen van metalen ontstaat de deformatie doordat in elk van de kristallen (of korrels) waaruit een stuk metaal is samengesteld, atomen langs glijvlakken ten opzichte van elkaar verschuiven. De korrels of kristallieten in een metaal zijn ontstaan tijdens het stollingsproces. Zoals onderstaande laat zien ontstaan er in het gesmolten metaal wanneer het in de ingot-blokvorm begint te stollen, grove dendritische kristallen met een boomvormig vertakte drie-dimensionale structuur, die atoom voor atoom aangroeien. De vorming van dendriten is een verschijnsel dat overal in de natuur voorkomt, bijvoorbeeld bij het ontstaan van sneeuwvlokken: wie een sneeuwvlok met een vergrootglas bekijkt, ziet ragfijne dendritische patronen. Zulke dendritische kristallen groeien vanuit kristallisatiekiemen die uit van alles en nog wat kunnen bestaan, bijvoorbeeld stofdeeltjes. Dendritische kristal groei is in de fundamentele metaalkunde een belangrijk verschijnsel, dat in alle soorten metalen voorkomt. Wanneer een ingot-blokvorm met gesmolten staal wordt gevuld, begint de stolling met de groei van dendriten vanuit kristallisatiekiemen die bijvoorbeeld kunnen bestaan uit een vreemd atoom, een verontreinigend deeltje of uit een oneffenheid in de wand van de gietvorm. Dit proces gaat net zolang door, tot het hele vloeistofvolume is doordrongen van driedimensionale dendriten, waarbij de smelt naarmate er meer gesmolten metaal in dendriten wordt omgezet, uiteindelijk een deegachtige consistentie krijgt. Wanneer de stolling is voltooid, zijn wat eerst dendriten waren kristallen geworden en die kristallen hebben elk een andere kristallografische oriëntatie. Deze kristallieten worden korrels genoemd en de contactvlakken tussen de korrels korrelgrenzen.



Als het stollende metaal een bepaald percentage van een ander metaal of ander element bevat, kan er bij de stolling nog een belangrijk verschijnsel optreden: in zo'n geval kan er namelijk een tweede fase worden gevormd. Een fase is een homogene component van een vaste stof, vloeistof of gas die door een grensvlak van andere fasen is gescheiden. Zijn er geen andere fasen aanwezig, dan zeggen we dat het materiaal uit één fase bestaat. Wanneer er olie op water wordt gegoten, vormen de olie en het water afzonderlijke fasen, omdat het vloeistoffen zijn die niet in elkaar oplossen. Iets dergelijks gebeurt ook met metalen, zij het in de vaste toestand. Als het metaal een zodanige samenstelling heeft, dat er zich een tweede fase afscheidt, ontstaan er in de gietvorm dendriten en korrels van elk van beide fasen. We zien de begrippen fase en dendriet duidelijk geïllustreerd in vorige figuur. Deze microfoto toont een doorsnede van een stukje gietsel dat bestaat uit een kobalt-chroomlegering waarin zich bij kristallisatie twee fasen hebben gevormd. De witte gebieden zijn dendriten van een kobaltrijke fase, de donkere gebieden zijn een chroomrijke fase met tevens de overige legeringselementen.

Het verband tussen deze algemene inzichten en de vervaardiging van vormproducten uit staal is als volgt. Een staalfabriek maakt twee hoofdproducten: warmgewalst staal en koudgewalst staal. Deze twee typen staal verschillen van elkaar doordat er bij elk van beide bewerkingen - koudwalsen en warmwalsen - iets anders gebeurt met de korrels in het staal. Wanneer een ingot van staal roodheet wordt gegloeid en door bijvoorbeeld een stel walsrollen gaat, worden de dendritische korrels platgedrukt. Als het staal roodgloeïend is, groeien deze korrels direct nadat ze in elkaar zijn gedrukt weer aan, een verschijnsel dat men rekristallisatie noemt. Het ontstaan van de nieuwe kristallen geschiedt in de vaste toestand vanuit spanningskiemen, gebieden waar de grootste deformaties

hebben plaatsgevonden. Dit 'omkristalliseren' in de vaste fase geschiedt bij ongeveer 1000°C tot 1250°C, afhankelijk van de staalsoort. Als stalen daarentegen in een koude toestand worden bewerkt, door het bijvoorbeeld koud te walsen, dan treedt er geen dynamische rekristallisatie op. De korrels worden alleen platgewalst, en hoe meer dat gebeurt, des te harder worden de stalen, tot het ten slotte een toestand bereikt waarbij het zich niet langer laat vervormen. Probeert men de stalen toch te vervormen of nog verder uit te walsen, dan breekt het. De structuurverandering als gevolg van het walsen, tesamen met de ingebrachte spanningen verminderen de vervormbaarheid van het staal. U ziet deze processen weergegeven in onderstaande figuur.



4.2. Warmwalsen

Bij het warmwalsen worden ingots of continu-gietplakken in de roodgloeiende toestand uitgewalst tot kleinere producten, zoals bloemen en knuppels. Bloem en knuppel zijn staalfabriekjargon voor producten die een rechthoekige vorm hebben en ten minste één dimensie kleiner zijn dan een ingot. Een karakteristieke bloem kan een dwarsdoorsnede hebben van 20 x 20 cm. Knuppels zijn kleiner en hebben in dwarsdoorsnede gewoonlijk zijden van 5 tot 13 cm. Plakken zijn 5 tot 50 cm dik, terwijl de breedte 150 cm of meer kan bedragen. Plakken komen voort uit het continu-gietproces. Wordt uit een van dit soort ruwe producten door warmwalsen een halfproduct met een kleinere dwarsdoorsnede gemaakt, dan zullen de korrels daarbij dynamisch rekristalliseren, zodat de hardheid van het materiaal gelijk blijft. Het blijft gemakkelijk walsbaar en omvormbaar. De kristaldefecten (ondermeer vastgelopen dislocaties) die wanneer ze blijven bestaan een metaal minder vervormbaar maken, worden onder invloed van de thermische energie van het roodgloeiende materiaal meteen opgeheven. Voorbeelden van warmgewalste producten zijn onder meer plaat, band, rechthoekige staven, constructieprofielen en buizen. Deze vormproducten kunnen een eindproduct zijn of als uitgangsmateriaal voor koudwalsen worden gebruikt. Zoals te zien is in vorige figuur, is het uitgangsmateriaal voor een koudgewalst plaatstaal een rol warmgewalst staal. Warmgewalst staal is bedekt met een zwarte oxidehuid (walshuid), doordat het in de roodgloeiende toestand aan de lucht werd blootgesteld.

4.3. Koudwalsen

Voordat staal wordt koudgewalst, wordt het in een zuurbad schoongebeitst om de oxidehuid te verwijderen die het bij het warmwalsen heeft gekregen. Daarna wordt de warmgewalste staal band bij kamertemperatuur tussen diverse soorten walsrollen doorgevoerd, waarbij de dikte van de band per walsbewerking zo'n 10% tot 20% kan afnemen. Als men bijvoorbeeld warmgewalst bandmateriaal van 2,5 mm dikte koud wil uitwalsen tot een product van 0,75 mm dikte, kunnen daarvoor wel tien walsbewerkingen nodig zijn. Voor elk staal is er echter een bepaalde grens aan de hoeveelheid diktereductie die het materiaal bij koudwalsen kan verdragen. Zou het hierboven genoemde bandmateriaal van 2,5 mm dikte uit AISI 1020-staal bestaan, dan zou men het materiaal waarschijnlijk tot een dikte van 1,25 mm kunnen uitwalsen door het door een koudwalsinstallatie te voeren die uit vijf paar walsrollen bestaat. Het zou waarschijnlijk zover zijn koudgewalst, dat het bij pogingen de dikte nog verder te reduceren zou breken. In

de samengedrukte kristallen zijn zoveel kristaldefecten ontstaan dat er geen verdere verschuiving van atomen langs glijvlakken meer mogelijk is. Het materiaal moet nu rekristalliserend gegloeid worden, dat wil zeggen, het moet in een batch-oven of in een oven die in serie staat met de walsinstallatie (continu-rekristalliseren) tot de roodgloeiende toestand worden verhit. Tijdens deze gloei behandeling treedt er rekristallisatie op; de toegevoerde hitte levert de energie die nodig is voor de vermindering van het aantal dislocaties en voor de vorming van nieuwe korrels en kristallieten. De bovenstaande uitleg van warm- en koudwalsen geldt ongeacht de vorm van het resulterende product. Rechthoekige staven kan men alleen koudwalsen tot ontlaten nodig is en hetzelfde geldt voor draad, ronde staaf en andere vormproducten.

Voor de staalgebruiker is wat betreft het koud- en warmwalsen het volgende van belang: warmgewalste vormproducten van staal zijn zacht en de parameters voor mechanische sterkte zijn dan zo laag mogelijk voor de desbetreffende legering. Bovendien hebben warmgewalst stalen een geoxideerd oppervlak. Koudgewalste stalen zijn veel sterker en hebben een betere oppervlakteafwerking. Dit komt door de al eerder genoemde versterking. Om een voorbeeld te geven: warmgewalst koolstofarm staal (vloeietaal) kan een treksterkte van 410 MPa hebben, maar volledig (koud) hardgewalst zou hetzelfde staal een treksterkte hebben van 830 MPa. Daar het koudgewalste staal tweemaal zo sterk is als het warmgewalste staal, kan het zijn dat een ontwerper een onderdeel 50% lichter kan maken door te kiezen voor het eerste materiaal. Dit werkt echter niet altijd, want bij de materiaalkeuze kunnen behalve de treksterkte ook de buigstijfheid en het traagheidsmoment van belang zijn. De drastische gewichtsvermindering die auto's tussen 1980 en 1990 hebben ondergaan, is echter in hoofdzaak een gevolg van het toegenomen gebruik van koudgewalst staal. In de daarop volgende 10 jaar hebben de toepassing van HSLA-stalen en verschillende kunststofproducten deze trend voortgezet. Voor de technisch ontwerper is de keuze tussen warmgewalst en koudgewalst staal vaak een belangrijke afweging.

5. Warmtebehandelingen van metaal

Ook in dit stuk zullen we per saldo meer over staalsoorten dan over andere metalen schrijven. Niet omdat staalsoorten beter zouden zijn dan andere metalen en ook niet omdat er zoveel toepassingen voor zijn. We moeten gewoon ergens beginnen. De metalen worden traditioneel opgedeeld in twee groepen: de ferrolegeringen ofwel ijzerlegeringen en de nonferrolegeringen. De staalsoorten vallen onder de ferrolegeringen. We kunnen de warmtebehandelingen van metalen uitleggen aan de hand van bijna elk metaal en we hebben er hier voor gekozen de ferrolegeringen als leidraad te nemen. Op deze groep kunnen vrijwel alle warmtebehandelingen worden toegepast die voor metalen gebruikt worden. In fysisch en mechanisch opzicht zijn er voorts niet heel veel verschillen in het gedrag van de metalen.

In les 1 is al uitgelegd dat metalen onder invloed van temperatuur van structuur kunnen veranderen en dat dit de mogelijkheid biedt de eigenschappen te beïnvloeden. In dit hoofdstuk laten we zien wat de structuurtoestand inhoudt en hoe deze van samenstelling, temperatuur en druk afhankelijk kan zijn. Vervolgens laten we voor staalsoorten zien wat het effect van structuurveranderingen op de eigenschappen van het materiaal is

5.1. Metaalstructuren

Het stollen van metalen

Als een metaal vloeibaar is, nemen de metaalatomen ten opzichte van elkaar geen vaste plaats in. Dit gebeurt pas als het vloeibare metaal gaat stollen. Tijdens het afkoelen ontstaan in de vloeibare massa z.g. kiemen of kernen van vaste deeltjes. Bij verdere afkoeling zullen de vaste-stofkernen aangroeien tot dat het gebied, waarin die kernen ontstonden, geheel is opgevuld. Er zijn kristallen ontstaan

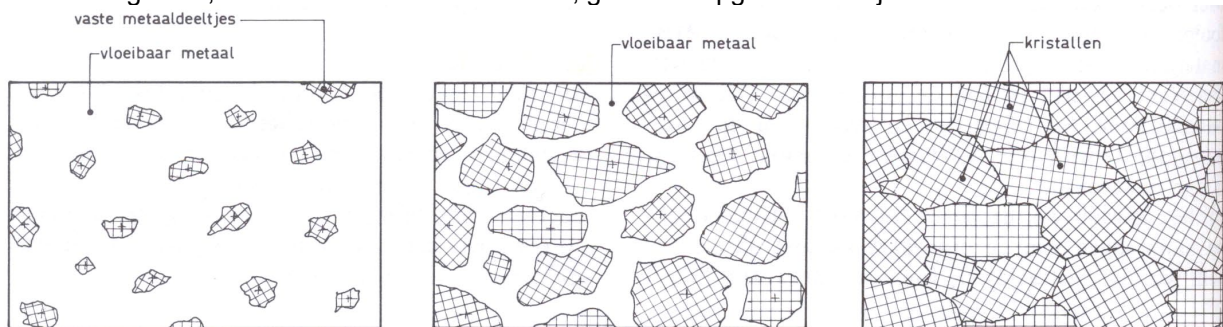


Fig. 4.1

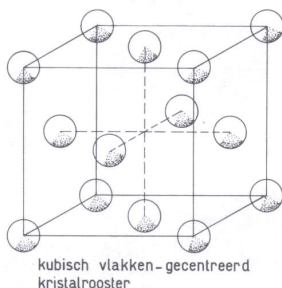


Fig. 4.2

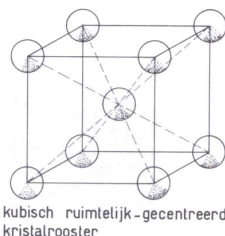


Fig. 4.3

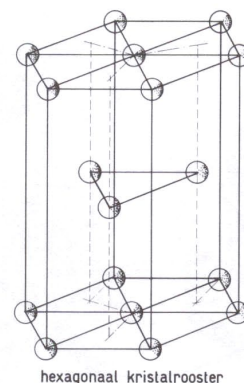


Fig. 4.4

Kristallen

In kristallen hebben de atomen een vaste plaats ten opzichte van elkaar ingenomen. De grootte, vorm, op bouwen aard van de kristallen bepalen hoofdzakelijk de eigenschappen van de metalen.

Kristallen zijn vaak zo klein dat ze niet met het blote oog waarneembaar zijn. Om ze 'zichtbaar' te

maken, wordt het metaaloppervlak geslepen, gepolijst en daarna geëetst. Met behulp van een microscoop zijn de kristallen wel goed waarneembaar.

De opbouw van een kristal

Tijdens het stollingsproces nemen de atomen ten opzichte van elkaar een vaste plaats in. Ze rangschikken zich volgens een bepaald regelmatig patroon: het kristalrooster. Bij een zuiver metaal (element) zijn de atomen b.v. gerangschikt volgens een:

1 kubisch ruimtelijk gecentreerd rooster ; 2 kubisch vlakken gecentreerd rooster, 3 hexagonaal rooster

In een kubisch ruimtelijk gecentreerd rooster bevinden de atomen zich in de hoekpunten van een kubus en in het snijpunt van de lichaamsdiagonalen. Dit rooster komt o.a. voor bij ijzer, chroom, molybdeen en wolfram. In een kubisch vlakken gecentreerd rooster bevinden de atomen zich in de hoekpunten van een kubus en in de snijpunten van de diagonalen van elk zijvlak. Dit rooster komt o.a. voor bij aluminium, koper, lood, nikkel en zilver.

Het hexagonaal rooster heeft de vorm van een zeszijdig prisma. Dit rooster komt o.a. voor bij magnesium en zink. De kristallen die tijdens het afkoelen van een zuiver metaal ontstaan, zijn opgebouwd uit roosters. De roosters groeien aan elkaar.

Mengkristallen

De meeste metalen bevatten, al is het in geringe hoeveelheden, nog één of meer andere elementen, de z.g. verontreinigingen. Deze zijn tijdens de bereiding in het metaal gekomen. De atomen van de verontreiniging hebben op de één of andere manier een plaats gevonden in het rooster van het metaal. Daarbij zijn twee mogelijkheden nl.:

1 de atomen van de verontreiniging nemen in het rooster de plaats in van enkele metaalatomen

2 de atomen van de verontreiniging zitten tussen de metaalatomen

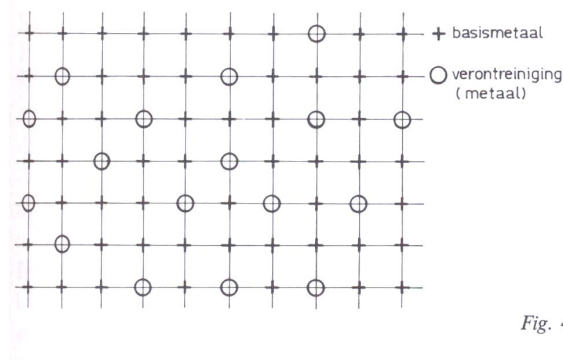


Fig. 4.5

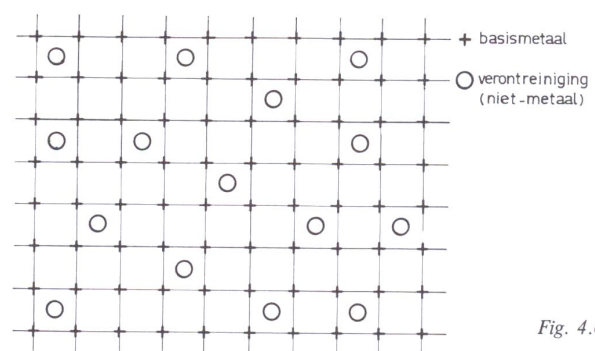
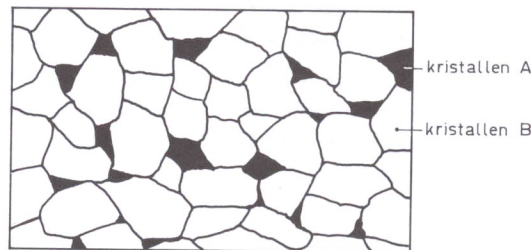


Fig. 4.6

De eerste mogelijkheid komt voor als de verontreinigingen uit metalen bestaan. De tweede mogelijkheid komt voor als de verontreinigingen uit niet-metalen (metalloïden) bestaan. In beide gevallen is er sprake van volledig in elkaar opgeloste elementen (metaal en verontreinigingen). De kristallen met deze roosterbouw van atomen noemen we mengkristallen.

Mengsel van kristallen

Het ook mogelijk dat bij een legering in vloeibare toestand de metalen (A en B) in elkaar zijn opgelost, maar zich tijdens het stollen weer afscheiden (zie onderstaande fig). Hier is dan sprake van een mengsel van kristallen A en B.



5.2. *Het gebruik van toestandsdiagramma*

Met de structuur wordt dus bedoeld de manier waarop de atomen van een materiaal geordend zijn. Dit kunnen atomen van meerdere...elementen zijn, die in één of andere samenstelling in het materiaal zitten. De structuurtoestand is dus niet alleen de toestand van het materiaal in de zin van gasvormig, vast-of vloeibaar, maar geeft tevens de ordening van de atomen van het materiaal. Bovendien geeft de beschrijving van de structuurtoestand de nodige informatie om verschillende structuurtoestanden van elkaar te kunnen onderscheiden. We lichten dit hier toe.

Materiaal kan in een vaste fase voorkomen, in een vloeibare fase of in een gasvormige fase, maar bovendien kunnen er nog verschillende vaste, gasvormige of vloeibare fasen bestaan van één materiaal. Een fase is per definitie een homogeen bestanddeel van een materiaal. Sommige materialen kennen verschillende vaste fasen: grafiet, diamant en koolstofvezel hebben dezelfde samenstelling (100% koolstof), maar een verschillende vaste structuur toestand, We noemen dit allotrope materiële. In het geval van metalen gaat het dan meestal om metaallegeringen die verschillende kristalroostertypen kunnen hebben als functie van de temperatuur en druk. Sommige legeringen kunnen bovendien amorf zijn, dus zonder een duidelijk regelmatig rooster. Zoals we in het vorige hoofdstuk hebben gezien, kan een materiaal uit meerdere elementen, of componenten, bestaan. Soms lossen de componenten in elkaar op, ze mengen dus tot één fase. Soms lossen ze niet op, maar zullen ze ontmengen tot twee fasen als ze worden samengevoegd. Dit proces van mengen en ontmengen kennen we al van vloeistoffen: water en gele inkt lossen op tot een lichtgele vloeistof (één fase, verdunde inkt), maar een mengsel van water' en slaolie 'zal bij kamertemperatuur ontmengen tot een kleurloze vloeistof en een gele vloeistof (twee fasen, vetting water en vochtige olie). Dezelfde processen treden ook op in vaste stoffen, al gaat het mengen en ontmengen dan veel langzamer. Met begrippen als vast, vloeibaar, gasvormig, kristallijn, amorf, roostertype, gemengd en ontmengd kunnen we de structuurtoestand van een materiaal, of mengsel van materialen eenduidig beschrijven.

Waarom mengen of ontmengen stoffen eigenlijk? Het antwoord is eenvoudig: stoffen zullen mengen als dat energieverlaging oplevert voor het mengsel en ze zullen ontmengen als juist dát energieverlaging oplevert. Als we met een keukenmixer mechanische energie toevoeren aan een systeem van water en slaolie bij kamertemperatuur, zullen deze stoffen gaan mengen, omdat dat voor het systeem een lagere energie-inhoud oplevert dan ontmengd te blijven met de mixer erin. Als we de mixer eruit halen, ontmengt het systeem, omdat dan de mechanisch ingebrachte energie kan vrijkomen. Ook als we de temperatuur van dit systeem verhogen verandert er iets: water en olie zullen meer en meer gaan mengen. We kunnen dus bij hogere temperatuur meer olie in water oplossen. Dit is een soortgelijke reactie op de ingebrachte (thermische) energie.

Als we van metalen weten in welke toestand (vast, gemengd, ontmengd) ze voorkomen in bepaalde omstandigheden, dan kunnen we een uitspraak doen over de eigenschappen. Als we bovendien weten of we bepaalde legeringselementen bij verhoogde temperatuur kunnen oplossen in een metaal in vaste toestand, dan hebben we een mogelijkheid om de samenstelling te veranderen en daarmee de eigenschappen. We hoeven meestal niet bang te zijn dat die legeringselementen er na temperatuurverlaging meteen weer uit 'zweten', omdat de snelheid waarmee vaste stoffen ontmengen bij lage temperaturen heel laag is: de diffusie van de atomen verloopt veel trager. We hebben dan dus een materiaal gemaakt met een verhoogde energietoestand en met andere eigenschappen en

meestal zal blijken dat die eigenschappen lang genoeg (tientallen jaren, eeuwen) aanwezig blijven om het nieuwe materiaal technisch te kunnen gebruiken. We komen in verder nog op deze diffusieprocessen terug.

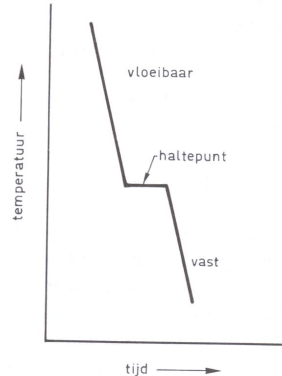
Het is duidelijk, dat de toestand van een materiaal of een mengsel van materialen afhankelijk is van samenstelling en temperatuur. Water is vast (ijs) bij -1°C , maar zal vloeibaar worden als zout (ook vast) wordt toegevoegd (smeltpuntsverlaging). De toestand is daarnaast afhankelijk van druk: vast ijs kan onder druk vloeibaar worden, grafiet kan onder druk diamant worden en ook ijzer zal onder druk van structuur veranderen. Dit betekent ook dat bij een gegeven druk en temperatuur een bepaalde toestand de meest gewenste is: dit is dan de toestand met de laagste energie-inhoud en daar streeft het materiaal dan naar. Er zal net zo lang diffusie optreden tot deze toestand bereikt is en dan blijft het systeem stabiel: er is evenwicht. Soms kan er evenwicht bestaan tussen twee verschillende toestanden: bij de smelttemperatuur van een metaal kunnen vast en vloeibaar naast elkaar bestaan.

In de materiaalkunde wordt gebruikgemaakt van toestandsdiagrammen om aan te geven wat de evenwichtstoestand is van materialen als functie van temperatuur en samenstelling bij gegeven druk. Indien niet anders aangegeven, wordt de toestand bij atmosferische druk weergegeven. In volgende figuren zijn grondvormen te zien van dergelijke toestandsdiagrammen. Het gaat om binaire toestandsdiagrammen. Dat wil zeggen dat de toestand wordt gegeven van een systeem met twee (bi) componenten. Het diagram laat zien welke toestand men aantreft als functie van de samenstelling en de temperatuur.

5.3. *Legeringen...*

Stollingspunt

Zuivere metalen hebben een smeltpunt en een stollingspunt. De afkoelingskromme heeft een duidelijk haltepunt. Boven het haltepunt is het metaal vloeibaar, onder dit punt is het metaal vast. Bij het haltepunt blijft de temperatuur constant. De temperatuur daalt weer als alle metaaldeeltjes gestold zijn



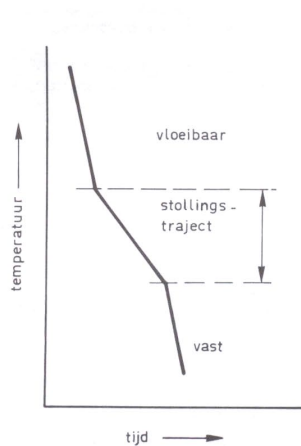


Fig. 4.9

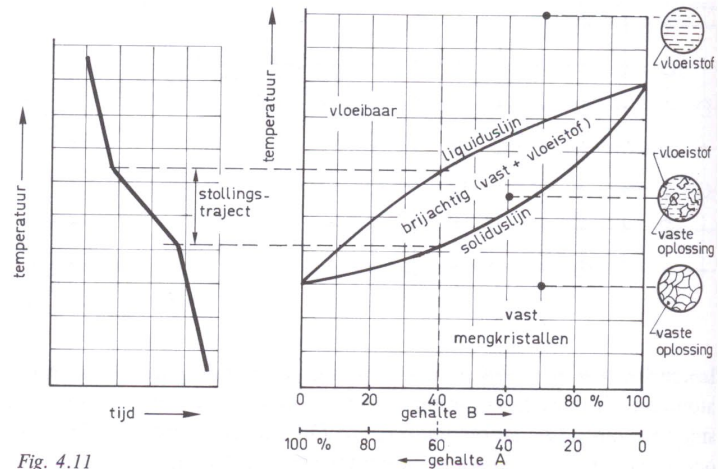


Fig. 4.11

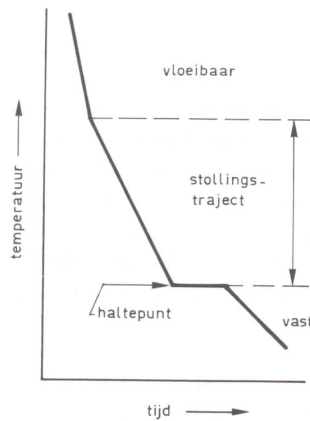


Fig. 4.10

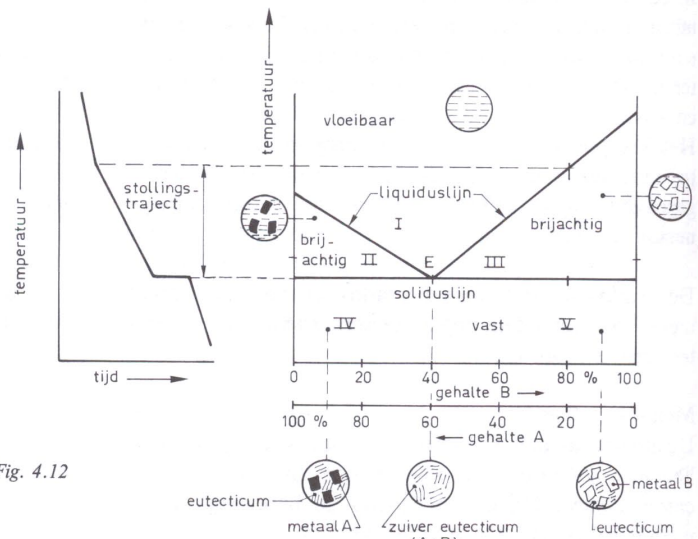


Fig. 4.12

Stollingstraject

Metaallegeringen, die b.v. samengesteld zijn uit twee metalen, hebben een smelttraject. We onderscheiden daarbij drie mogelijkheden, nl.:

- 1 legeringen waarvan de metalen in vaste toestand in elkaar oplosbaar zijn;
- 2 legeringen waarvan de metalen in vaste toestand niet in elkaar oplosbaar zijn;
- 3 legeringen waarvan de metalen in vaste toestand gedeeltelijk in elkaar oplosbaar zijn.

In het eerste geval daalt de temperatuur tijdens het stollen tussen het beginpunt en het eindpunt van het stollingstraject. De temperatuur daalt echter langzamer dan voor en na het stollen (zie fig. 4.9). Tijdens het stollen is de legering brijachtig. Deze manier van stollen komt dus voor bij legeringen waarvan de metalen in vaste toestand wel in elkaar oplosbaar zijn. De gevormde legering is opgebouwd uit mengkristallen.

In het tweede geval zal de temperatuur tijdens het stollen ook minder snel dalen, maar na een bepaalde tijd houdt deze daling op. Er ontstaat een haltepunt. De temperatuur zal pas verder dalen als de hele massa gestold is (zie fig. 4.10). De gevormde legering bestaat nu uit een mengsel van kristallen van de metalen. Beide metalen zijn in de vaste toestand niet in elkaar oplosbaar. Een combinatie van de twee behandelde mogelijkheden treedt op bij legeringen waarvan de metalen in vaste toestand gedeeltelijk in elkaar oplosbaar zijn.

Stollingsdiagram

Bij het legeren van twee metalen A en B verhouden de percentages zich tussen 100 % A en 0 % B tot 0 % A en 100 % B. Het is mogelijk van elke mengverhouding van de legering het beginpunt en het eindpunt van het stollingstraject vast te stellen. Al die gevonden temperaturen zijn vast te leggen in een z.g. stollingsdiagram (toestandsdiagram).

In fig. 4.11 is het stollingsdiagram weergegeven van legeringen van twee metalen A en B die in vaste toestand in elkaar oplosbaar zijn. De bovenste lijn in het diagram noemen we de liquiduslijn (vloeistoflijn), de onderste lijn noemen we de soliduslijn (vaste-stoflijn). Tussen deze lijnen ligt het gebied waarin het mengsel van A en B brijchtig is. De afkoelingskromme van een mengsel bestaande uit 60 % A en 40 % B is als voorbeeld naast het stollingsdiagram geplaatst.

Het stollingsdiagram van fig. 4.11 geldt voor koper-nikkellegeringen en voor goudzilverlegeringen.

Eutecticum

In fig. 4.12 is het stollingsdiagram weergegeven van legeringen van twee metalen A en B die in vaste toestand niet in elkaar oplosbaar zijn. Uit dit diagram blijkt dat ongeacht de mengverhouding iedere mogelijke legering stolt bij dezelfde temperatuur.

Het beginpunt van het stollingstraject is afhankelijk van de mengverhouding. Bij één bepaalde mengverhouding heeft de legering geen stollingstraject maar een stollingspunt. In fig. 4.12 is dit aangegeven met de letter E. Een legering die een stollingspunt heeft in plaats van een stollingstraject noemen we een eutecticum. In fig. 4.12 is dat de legering met 60 % A en 40 % B.

Een eutecticum bestaat uit een mengsel van zeer kleine kristallen van de twee metalen. Deze kristallen zijn met het blote oog niet waarneembaar. Het eutecticum heeft een 'fijnkorrelige' structuur.

Het stollingsdiagram van fig. 4.12 geldt o.a. voor lood-antimoonlegeringen.

We onderscheiden in het stollingsdiagram van fig. 4.12 de volgende gebieden:

- I het vloeibare mengsel van de metalen A en B die in vloeibare toestand volledig in elkaar zijn opgelost;
- II in dit gebied bevinden zich het vloeibare mengsel en (vaste) kristallen van metaal A;
- III in dit gebied bevinden zich het vloeibare mengsel en (vaste) kristallen van metaal B ;
- IV de vaste legering die bestaat uit kristallen van metaal A met daartussen het eutecticum van zeer fijne kristallen A en B;
- V de vaste legering die bestaat uit kristallen van metaal B met daartussen het eutecticum van zeer fijne kristallen A en B.

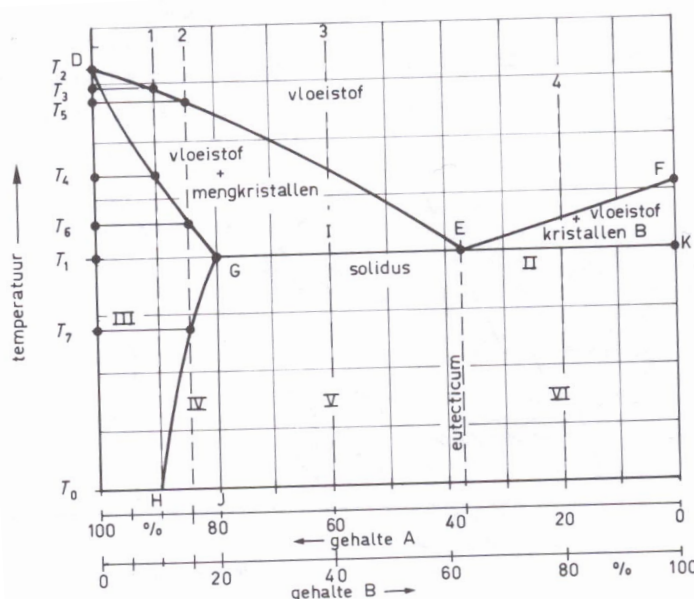


Fig. 4.13

In fig. 4.13 is een stollingsdiagram weergegeven van legeringen van twee metalen A en B waarvan in vaste toestand:
1 metaal B gedeeltelijk (20 %) oplosbaar is in metaal A;
2 metaal A niet oplosbaar is in metaal B.

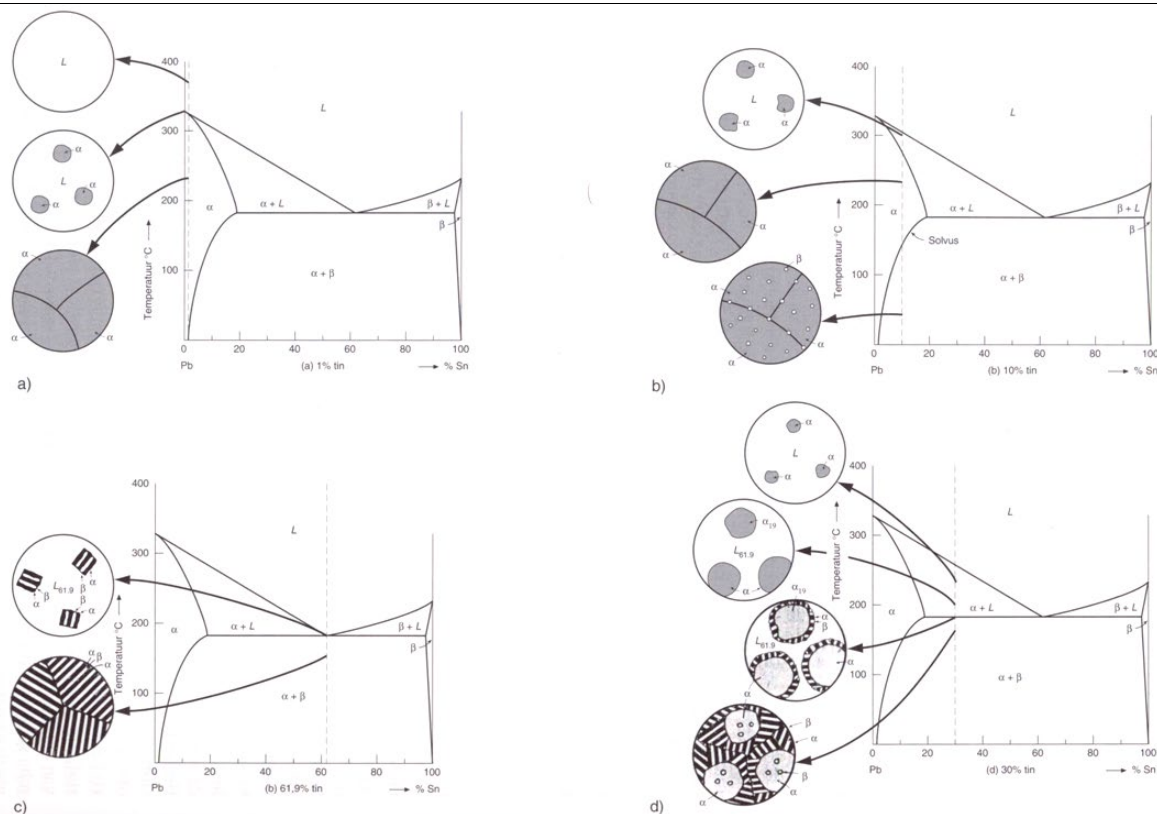
Boven de lijn D EF (liquidus) is alles vloeibaar en beneden de lijn DGEK (solidus) is iedere legering vast. Bij een bepaalde legeringsverhouding ontstaat een eutecticum (ga zelf na bij welke mengverhouding). We onderscheiden in het stollingsdiagram de volgende gebieden:

- I bij een legeringsverhouding tot ca. 62 % B en 38 % A ontstaan in de vloeistof mengkristallen tot de temperatuur is gedaald tot T_I;
 - II tijdens de afkoeling ontstaan in de vloeistof uitsluitend kristallen van metaal B tot de temperatuur T_I is bereikt;
 - III beneden de lijn DG bestaan de vaste legeringen uit mengkristallen die rijk zijn aan metaal A;
 - IV beneden de lijn GH, dus als de temperatuur daalt van T_I naar T_a, zal de gestolde massa gedeeltelijk ontmengen. Dit betekent dat een gedeelte van metaal B uit de mengkristallen zich afscheiden als kristallen B. Dit geldt voor legeringen met de samenstellingen 90 % A en 10 % B tot 80 % A en 20% B;
 - V in dit gebied, dus bij mengverhoudingen van 80 % A en 20 % B tot ca. 38 % A en 62 % B, ontstaan in de vaste toestand mengkristallen omgeven door het eutecticum van A en B;
 - VI in dit gebied bestaan de vaste legeringen uit kristallen van metaal B omgeven door het eutecticum van A en B.
- Punt G in het diagram geeft aan dat bij een temperatuur T_I maximaal 20 % van metaal B oplosbaar is in metaal A.

Het stollingsdiagram van fig. 4.13 heeft betrekking op de legeringen van lood (A) en tin (B). Een legering van 90 % lood en 10 % tin, in fig. 4.13 aangegeven met lijn 1, begint te stollen bij een temperatuur T₃. Bij verdere daling van de temperatuur ontstaan mengkristallen in de vloeistof tot de temperatuur T₄ is bereikt. De legering is nu geheel vast geworden en bestaat uit mengkristallen die loodrijk zijn.

Een legering die bestaat uit 85 % lood en 15 % tin, aangegeven met lijn 2, begint te stollen bij temperatuur T_s. Als de temperatuur daalt tot T₆ ontstaan mengkristallen in de vloeistof. Bij temperatuur T₆ is alles gestold en bestaat de legering geheel uit mengkristallen. Bij verdere afkoeling tot T₇ zal bij deze temperatuur een gedeelte van de mengkristallen ontmengen en ontstaan in de legering naast de mengkristallen ook tinkristallen. Ga zelf na hoe het stollingsproces verloopt van legeringen die in fig. 4.13 met de lijnen 3 en 4 zijn aangegeven.

Bekijken we dit theoretisch principe op onderstaande figuur vertaald naar een volledig correct toestanddiagramma voor een mengsel lood-tin. Dan zien we dus bij verschillende mengverhoudingen verschillende structuren per gebied.



Figuur 9.2 Het systeem lood-tin en zijn toestandsdiagram met structuren.

5.4. Het ijzer koolstofdiagramma

Het stollen van zuiver ijzer

Bij zuiver ijzer zijn de atomen gerangschikt volgens het kubisch ruimtelijk gecentreerd rooster. We noemen het ijzer met dit kristalrooster α -ijzer (alfa-ijzer). Als we α -ijzer verwarmen, verliest het bij een temperatuur van 768 °C zijn magnetische eigenschappen.

Het gedrag van ijzer bij verdere verwarming kunnen we vastleggen in een Z.g. temperatuur-tijddiagram (T.T- diagram). In dit diagram wordt de temperatuur verticaal en de tijd horizontaal uitgezet (zie fig. 4.14). We zien dat bij bepaalde temperaturen Z.g. haltepunten ontstaan. Bij deze punten verandert de temperatuur gedurende een bepaalde tijd niet meer.

Bij een temperatuur van 906 °C gaat het α -ijzer over in γ -ijzer (gamma-ijzer) dat een kubisch vlakken gecentreerd rooster heeft. Het γ -ijzer gaat bij een temperatuur van 1401 °C over in δ -ijzer (delta-ijzer) dat weer een kubisch ruimtelijk rooster heeft. Zuiver ijzer smelt bij 1528 °C.

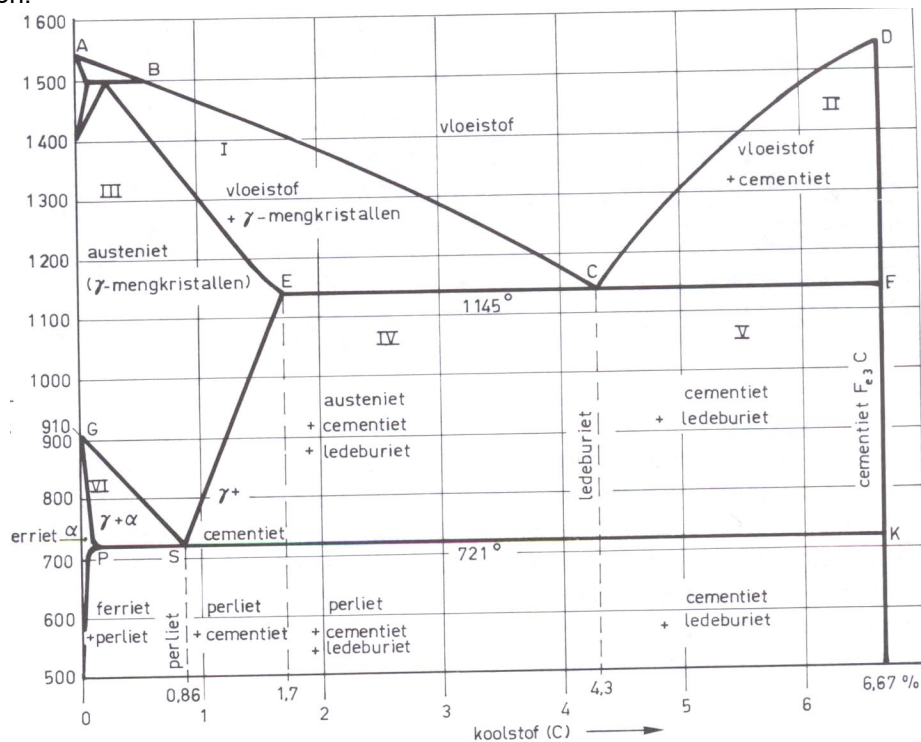
Tijdens het stollen en verdere afkoeling van vloeibaar, zuiver ijzer wijzigen de kristalroosters weer in omgekeerde volgorde bij nagenoeg dezelfde temperaturen. Als de structuur van ijzer tijdens het verwarmen of afkoelen wijzigt, veranderen de eigenschappen van het metaal.

IJzer met koolstof

Staal en gietijzer bevatten behalve ijzer altijd een bepaalde hoeveelheid koolstof. Koolstof is een niet-metaal dat een zeer grote invloed heeft op de eigenschappen van staal en gietijzer. Koolstof kan in gebonden toestand (chemische verbinding) en in vrije toestand in het metaal voorkomen. De chemische verbinding noemen we ijzercarbide of cementiet (Fe_3C). IJzer met een zeer laag koolstof gehalte (kleiner dan 0,03 %) noemen we ferriet.

Cementiet bestaat voor 93,3 % uit ijzer en voor 6,67 % uit koolstof. Dit is een vaste samenstelling. In staal (maximaal koolstofgehalte 1,9 %) komt koolstof in gebonden toestand voor. In gietijzer komt vrije koolstof voor. IJzer-koolstoflegeringen met een koolstof gehalte hoger dan 6,67 % zijn technisch niet interessant.

Het stollingsdiagram van ijzer-koolstoflegeringen noemen we het ijzer-koolstof diagram (zie fig. 4.15). Volledigheidshalve merken we op dat in fig. 4.15 een gedeelte van het ijzer-koolstofdiagram is weergegeven.



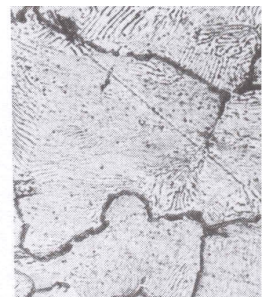
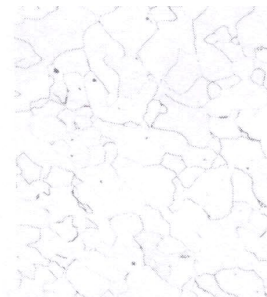
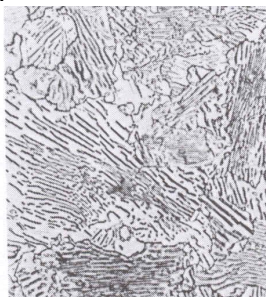
Boven de lijn ABCD in het ijzer-koolstofdiagram zijn alle ijzer-koolstofmengsels vloeibaar. Bij alle vloeibare ijzer-koolstofmengsels met 0 % tot 4,3 % koolstof (C) ontstaan, als de stolling begint, γ -mengkristallen (austeniet) in de vloeistof (gebied I). Het austenietkristal is kubisch vlakken gecentreerd. Punt E geeft aan dat bij een temperatuur van 1145 °C maximaal 1,7 % koolstof in het ijzer kan oplossen.

Bij legeringen van ijzer met 4,3 % tot 6,67 % C ontstaan, als de temperatuur beneden de lijn CD komt, cementietkristallen in de vloeistof (gebied II). De lijn AECF is de solidus, dus beneden die temperaturen zijn alle ijzer-koolstoflegeringen vast. De ijzer-koolstoflegeringen met 0 % tot 1,7 % C zijn bij temperaturen beneden de lijn AE opgebouwd uit (vaste) γ -mengkristallen (gebied III). Zie ook fig. 4.16a.

Legeringen met 0 % tot 0,86 % C passeren tijdens het afkoelen een punt waarbij het kristalrooster van ijzer verandert van kubisch vlakken gecentreerd in kubisch ruimtelijk gecentreerd (zie ook fig. 4.14). De temperatuur waarbij die omzetting begint is afhankelijk van het koolstofgehalte. Deze temperaturen liggen op de lijn GS. De omzetting is volledig als de temperatuur is gedaald tot 721°C. In gebied IV zijn dus austeniet- en ferrietkristallen aanwezig.

Bij een koolstofgehalte van 0,86 % ontstaat bij een temperatuur van 721 °C een eutecticum van ferriet en cementiet, dat we perliet noemen. Perliet is een mengsel van zeer fijne kristallen ferriet en cementiet die de vorm hebben van lamellen (zie fig. 4.16b). De structuur van ferriet zien we in fig. 4.16c.

Bij een koolstofgehalte van 0,86 % tot 1,7 % ontstaat bij langzame afkoeling een structuur met perliet en cementiet (zie fig. 4.16d).



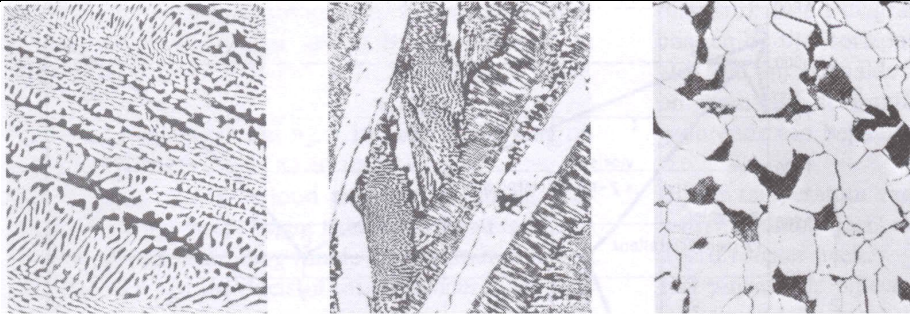


Fig 4.16

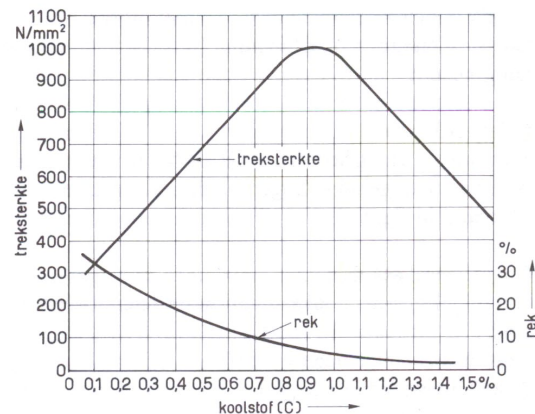
Bij een koolstofgehalte van 4,3 % ontstaat een eutecticum van austeniet en cementiet, dat we ledeburiet noemen. Het is een mengsel van zeer fijne kristallen. De witte deeltjes in fig. 4.16e zijn cementietkristallen en de donkere deeltjes zijn austenietkristallen die 1,7 % koolstof bevatten. In gebied IV zijn austeniet- en cementietkristallen aanwezig, die omgeven zijn door de fijne ledeburiet. In gebied V ontstaan naast elkaar cementiet en ledeburiet (zie fig. 4.16f.) Een mengsel van ferriet en perliet zien we in fig. 4.16g.

6. Ongelegeerd staal

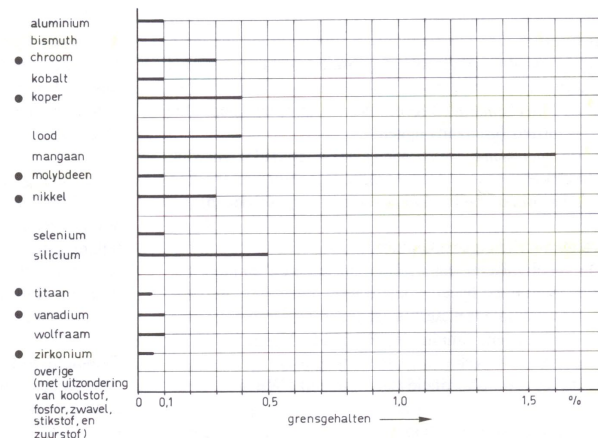
Algemeen

Ongelegeerd staal bestaat in hoofdzaak uit ijzer en koolstof. De eigenschappen van deze staalsoorten zijn dan ook afhankelijk van het koolstofgehalte. Wat de mechanische eigenschappen betreft kan worden gezegd dat bij toenemend koolstofgehalte (zie ook fig. 6.1):

- 1 de treksterkte toeneemt;
- 2 de rek afneemt;
- 3 de hardheid toeneemt;
- 4 de taaiheid afneemt



6.1



6.2

Staal met meer dan 0,35 % koolstof is hardbaar (zie hoofdstuk 12). Ongelegeerd staal bevat behalve koolstof ook geringe hoeveelheden van andere elementen zoals silicium, mangaan, zwavel, fosfor e.a. Deze zijn echter niet opzettelijk in het staal gebracht, maar zijn er o.a. tijdens de bereiding ingekomen. Fosfor en zwavel worden als schadelijke en dus ongewenste elementen beschouwd omdat ze:

- 1 de treksterkte nadelig beïnvloeden;
- 2 de lasbaarheid doen afnemen.

In het algemeen bevat staal niet meer dan 0,06 % zwavel (S) en maximaal 0,06 % fosfor (P).

Overige elementen

Elementen die onopzettelijk in het staal zijn gekomen, b.v. tijdens de bereiding, mogen in ongelegeerd staal bepaalde waarden niet overschrijden. De maximale waarden hiervan zijn in % per element in fig. 6.2 weergegeven.

Zijn er van de met een • aangegeven elementen twee of meer in het staal aanwezig, dan mag het totale percentage ervan niet meer bedragen dan 70 % van de som van de maximale grenswaarden.

We spreken van *gelegeerd staal* als het elementen bevat waarvan het gehalte hoger is dan de grenswaarden genoemd in fig. 6.2.

6.1. *Staal voor algemeen gebruik*

Definitie

Onder staal voor algemeen gebruik verstaan we staal waarvan:

- 1 de mechanische eigenschappen binnen bepaalde waarden (grenzen) liggen;
- 2 de chemische samenstelling aan bepaalde waarden voldoet;
- 3 geen warmtebehandelingen zijn voorgeschreven.

Mechanische eigenschappen

De mechanische eigenschappen moeten binnen bepaalde grenzen liggen zoals b.v.:

- 1 de minimale treksterkte $R_m \leq 690 \text{ N/mm}^2$
- 2 de vloeigrens (minimale) $R_e \leq 360 \text{ N/mm}^2$
- 3 de minimale rek $A \geq 26 \%$
- 4 de Rockwell-hardheid $\geq 60 \text{ HRB}$

Chemische samenstelling

De chemische samenstelling moet aan de volgende waarden voldoen:

- 1 het koolstofgehalte is gelijk aan of hoger dan 0,1 % ; 2 het fosfor- en zwavelgehalte mogen niet hoger zijn dan 0,05 %

Warmtebehandelingen

Er zijn geen warmtebehandelingen voorgeschreven. Er kunnen dus ook geen eisen worden gesteld aan de geschiktheid voor warmtebehandelingen.

Toepassingen

Staal voor algemeen gebruik wordt voor veel doeleinden toegepast, als er tenminste geen hogere eisen aan het materiaal worden gesteld dan hierboven zijn genoemd.

6.2. *Kwaliteitstaal*

Definitie

Onder kwaliteitsstaal verstaan we staal dat aan één of meer kwaliteitseisen moet voldoen. Deze eisen kunnen betrekking hebben op de:

- 1 natuurkundige (fysische) eigenschappen;
- 2 mechanische eigenschappen;
- 3 scheikundige (chemische) eigenschappen;
- 4 technologische eigenschappen.

Natuurkundige eigenschappen

Aan staalsoorten kunnen eisen gesteld worden die betrekking hebben op natuurkundige eigenschappen zoals b.v.:

- 1 elektrische eigenschappen, waarbij vooral de geleidbaarheid een belangrijke rol speelt;
- 2 magnetische eigenschappen, die betrekking hebben op magnetische verliezen en de magnetische inductie.

Mechanische eigenschappen

De mechanische eigenschappen van staalsoorten, die bestemd zijn voor de bouw van stoomketels en drukvaten, moeten afgestemd zijn op lage en hoge temperaturen.

Scheikundige eigenschappen

Van de scheikundige eigenschappen is vooral de weerstand tegen corrosie door atmosferische invloeden belangrijk.

De chemische samenstelling is vaak aan grenzen gebonden. Het gaat hier om gewaarborgde waarden voor het koolstof-, zwavel-, fosfor- en stikstofgehalte.

Technologische eigenschappen

Aan staalsoorten kunnen eisen gesteld worden die betrekking hebben op technologische eigenschappen zoals b.v.:

- 1 koude vervormbaarheid (koudwalsen, koud stuiken, koudtrekken van draad en staven, koudflenzen, dieptrekken);

-
- 2 geschiktheid voor de vervaardiging van buis;
 - 3 lasbaarheid;
 - 4 smeedbaarheid (b.v. in matrijzen);
 - 5 mate van verspaanbaarheid in b.v. automatische draaimachines (automatenstaal) zonder dat speciale elementen tijdens de bereiding aan het staal zijn toegevoegd;
 - 6 geschiktheid voor warmtebehandelingen (niet alle soorten kwaliteitsstaal zijn geschikt voor warmtebehandelingen).
 - 7 oppervlaktegesteldheid en de afwerking van de oppervlakte en zijanten van plaat en strip (gewalst of geknipt).

6.3. Speciaalstaal

Definitie

Onder het ongelegeerd speciaalstaal verstaan we staal dat aan één of meer eisen voldoet en o.a. voor een speciaal gebruiksdoel wordt bereid.

Eisen

In het algemeen moeten de staalsoorten voldoen aan nauwkeurig omschreven eisen zoals:

- 1 een gewaarborgde kerfslagwaarde voor gehard dan wel gehard en ontlaten staal;
- 2 een gewaarborgde chemische samenstelling waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen:
 - a staal waarin het fosfor- én het zwavelgehalte gelijk zijn aan 0,03 % ;
 - b staal waarin het fosfor- én het zwavelgehalte gelijk zijn aan 0,02 % ;
 - c staal waarin het koolstofgehalte groter of gelijk is aan 0,6 % en het fosfor- én het zwavelgehalte gelijk zijn aan 0,025 % ;
- 3 zeer gunstige elektrische en magnetische eigenschappen (die beter zijn dan die van kwaliteitsstaal);
- 4 het (zo goed als) ontbreken van verontreinigingen (metalen en niet-metalen).

Gebruiksdoel

Speciaalstaal wordt in het bijzonder bereid en genoemd naar het gebruiksdoel zoals b.v.: (Zie verder)

- 1 gereedschapsstaal;
- 2 veredelstaal ;
- 3 carboneerstaal ;
- 4 nitreer staal ;
- 5 staal voor vlam- en inductiehardening ;
- 6 automatenstaal (ongelegeerd).

6.4. Aanduidingen van de staalsoorten

Voor de aanduiding van zowel ongelegeerd, als (verder) gelegeerd staal, verwijzen we naar het tabellenboek voor metaaltechniek. (Je kocht dat aan in 1IPO, zie de eerste pagina's van het hfdts Materiaal en lateriaalonderzoek)

Men gebruikt 3 soorten aanduidingen ifv opzoekwerk of benodigde info.

Je zal zien dat naamgevingen zijn gegeven op basis van:

- De mechanische eigenschappen bvb FE 490
- De toepassingsgebieden bvb automatenstaal
- De chemische samenstelling bvb C6

Je zal eveneens zien dat er verschillende naamgevingsprincipes worden gebruikt afhankelijk van de norm. In je tabellenboek, werkt met het principe van de DIN-normen.

7. Het legeren van staal

7.1. Algemeen

Onder gelegeerd staal verstaan we de staalsoorten die zijn gelegeerd met metalen en/of niet-metalen (metalloïden).

Doel van het legeren

Het doel van het legeren van staal is staalsoorten te verkrijgen met betere eigenschappen dan die van ongelegeerd staal. Daardoor is het beter geschikt voor een bepaald gebruiksdoel. Die eigenschappen kunnen betrekking hebben op de:

- 1 mechanische eigenschappen;
- 2 chemische eigenschappen;
- 3 technologische eigenschappen.

Soorten

De gelegeerde staalsoorten kunnen we onderscheiden in:

- zwak- of laaggelegeerd staal, waarvan het percentage legeringsbestanddelen max. 5 % bedraagt en het koolstofgehalte niet hoger is dan 0,2 %'. Laaggelegeerd staal kan gelegeerd zijn met mangaan, silicium, chroom, nikkel e.d. eventueel met een geringe hoeveelheid van één of meer andere elementen zoals molybdeen (Mo), niobum (Nb), titaan (Ti), zirkonium (Zr), koper (Cu).
 - gelegeerd staal, waarvan het percentage legeringbestanddelen hoger is dan 5 % .
- De kwaliteiten van deze staalsoorten zijn afhankelijk van de soort en hoeveelheden van de legeringselementen in samenhang met het koolstofgehalte.

Aanduiding van legeringen

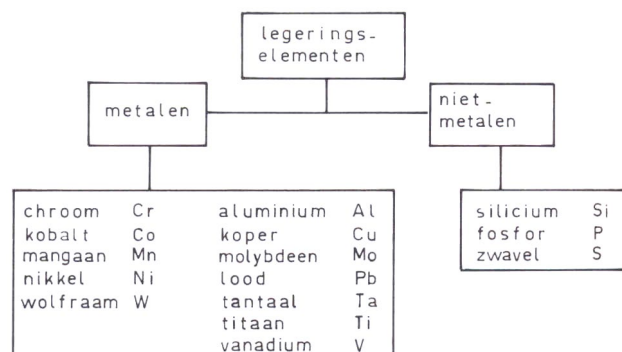
Voor de benaming van de gelegeerde staalsoorten houden we ons aan de algemeen gebruikelijke benaming en de benaming uit het tabellenboek, zoals net ook aangehaald bij de ongelegeerde staalsoorten. Deze kunnen betrekking hebben op de (7.1):

- legeringselementen waarmee het staal is gelegeerd;
- toepassingen van het staal;
- chemische eigenschappen van het staal.

De metalen en de niet-metalen, die als legerings elementen in aanmerking komen, zijn

Tabel 7.1 Benamingen van gelegeerde staalsoorten

benaming naar	naam van het staal
legeringselementen	mangaanstaal
	chroomstaal
	nikkelstaal
	chroom-nikkelstaal
	chroom-vanadiumstaal
	chroom-molybdeen staal
toepassingen	verenstaal
	automatenstaal
	veredelstaal
	staal voor oppervlakteharding
	nitreeer staal
	gereedschapsstaal
chemische eigenschappen	corrosievaststaal



7.2. De invloed van legeringselementen

Uit het tabellenboek voor metaaltechniek haalden we onderstaande tabel.
Verschillende legeringselementen hebben verschillende invloed op legeringen.

Invloed van de legeringselementen op staal

Toenemende toevoeging van een element verandert de eigenschappen van staal niet lineair.
Bij het toevoegen van meerdere stoffen aan een legering kunnen de afzonderlijke invloeden van de legeringselementen niet zomaar opgeteld worden.

Eigenschap	Element	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	Co	Al
Hardheid		+	+	++	+	+	+	+	+	≈
Uitzetting		≈	-	-	+	-	≈	-	-	-
Kerfslagwaarde		≈	-	-	++	≈	+	+	-	-
Warmtebestendigheid		≈	+	+	+	++	++	++	++	≈
Nitreerbaarheid		≈	-	++	-	+	+	+	-	++
Verspaanbaarheid		≈	-	-	-	-	-	-	-	≈
Slijtvastheid		≈	+	+	--	++	++	++	≈	≈
Afkoelsnelheid		--	-	--	--	--	--	--	+	≈
Carbidevorming		≈	-	++	-	++	++	++	≈	-

+ verhoging ++ sterke verhoging ≈ gelijkblijvend - daling -- sterke daling

7.3. Laaggelegeerd staal

Laaggelegeerde staalsoorten hebben in het algemeen een hoge rekgrens en een fijne structuur. Dit laatste wordt bereikt met een laag koolstof gehalte b.v. 0,06 % of lager.

Er zijn laaggelegeerde staalsoorten die:

- een hoge of zeer hoge rekgrens hebben, die kan variëren van ca. 300 tot 900 MPa;
- goed lasbaar zijn;
- bestand zijn tegen extreem lage temperaturen;
- goed bestand zijn tegen atmosferische corrosie.

Een combinatie van deze eigenschappen is veelal ook te bereiken.

Toepassingen

Laaggelegeerd staal wordt toegepast voor: autoplataatwerk, vrachtwagenbouw, gelaste stalen bruggen, hijskranen, draglines, landbouwwerktuigen, spoorwagons, tankschepen, gelaste drukvaten, stoomketels, tanks voor transport van propaan, butaan, ammoniak e.d.

7.4. Mangaanstaal

Mangaanstaal is staal dat gelegeerd is met 1 ... ca. 15 % mangaan.

Door het mangaangehalte heeft het staal een grote slijtvastheid. De treksterkte varieert, afhankelijk van het mangaangehalte, van 650 N/mm²... 1000 N/mm², Mangaanstaal is hardbaar.

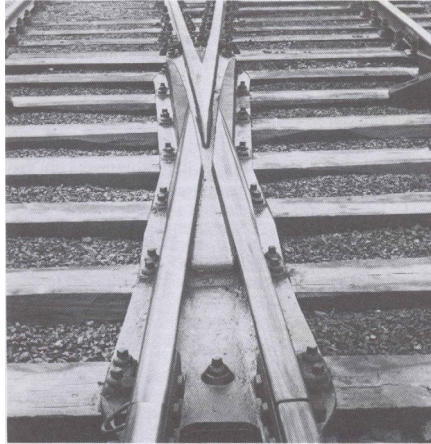
Toepassing

Mangaanstaal met een laag mangaangehalte (1 ... ca. 3 % Mn) wordt toegepast voor zwaar belaste assen, krukassen, bouten, ankerbouten, moeren, remhef bommen e.d.

Mangaanstaal met een hoog mangaangehalte (12 ... 15 % Mn), slijtvast staal genoemd, wordt toegepast voor onderdelen die sterk aan slijtage onder hevig zijn en op stoten worden belast.

Enkele voorbeelden zijn:

spoorrails, spoorwissels, bakken voor baggermolens e.d. Baggerbakken worden natuurlijk niet geheel van mangaanstaal gemaakt, maar alleen die delen die slijtvast moeten zijn. Gietstalen wielen voor spoorwagens worden door middel van opkrimpen voorzien van mangaan stalen velgen.



7.5. Chroomstaal

Chroomstaal is staal dat gelegeerd is met 1 ... ca. 30 % chroom. Chroom geeft aan het staal een grote hardheid, treksterkte en taaiheid. Chroomstaal dat 11 of meer procent chroom bevat, is corrosievast en bestand tegen hoge temperaturen. De treksterkte van chroomstaal, met een chroomgehalte van 11. ... 18 %, varieert van 50 ... 800 N/mm².

Toepassingen

1 Chroomstaal 1 ... 8 % chroom:

stempels, kogels en onderdelen voor kogellagers (zie fig. 7.6).

Deze moeten immers hard en slijtvast zijn.

2 Chroomstaal 6 ... 12 % chroom:

a messen, omdat ze niet mogen oxideren;

b rollen voor rollenlagers omdat deze hard en bestand moeten zijn tegen slijtage

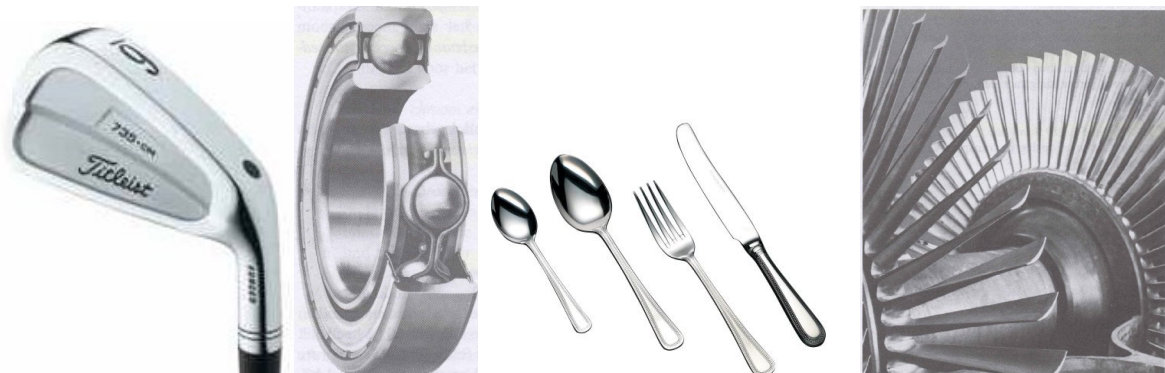
3 Chroomstaal 10 ... 18 % chroom:

a schoepen voor stoomturbines en andere onderdelen die bestand moeten zijn tegen hoge temperaturen

b toepassingen in de chemische, zuivel- en voedings-middelenindustrie, omdat deze staalsoort o.a. bestand is tegen zuren

4 Chroomstaal 20 ... 30 % chroom:

onderdelen die bestand moeten zijn tegen zeer hoge temperaturen (ca. 1200 C) b.v. voor gasturbines.



7.6. Nikkelstaal

Nikkelstaal is gelegeerd met 2 ... 50 % nikkel.

Nikkel geeft aan staal een grote treksterkte, hardheid en taaiheid. Bij een nikkelgehalte van 8 à 10 % heeft het staal bij zeer lage temperaturen (ca. - 200 °C) een grote treksterkte (ca. 1200 N/mm²) en taaiheid. Nikkel bevordert de kernharding, dat wil zeggen dat tijdens het harden de kern van het materiaal eveneens goed hard wordt.

Nikkelstaal met ca. 25 % nikkel is vrijwel corrosievast. Bedraagt het nikkelgehalte 36 % , dan is het staal praktisch ongevoelig voor uitzetting.

De uitzettingscoëfficiënt is dan $1,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Bij een hoog nikkelgehalte b.v. ca. 50 % , heeft het staal goede magnetische eigenschappen nl. een grote magnetische veldsterkte en een grote magnetische permeabiliteit (doordringbaarheid).

Toepassingen

1 Nikkelstaal 2 ... 5 % nikkel:

nokken, nokkenassen (zie fig. 7.9), tandwielen, kleppen voor verbrandingsmotoren, drijfstangen, ketelplaat e.d.

2 Nikkelstaal 8 ... 10 % nikkel:

apparatuur voor opslag en transport van vloeibare gassen.

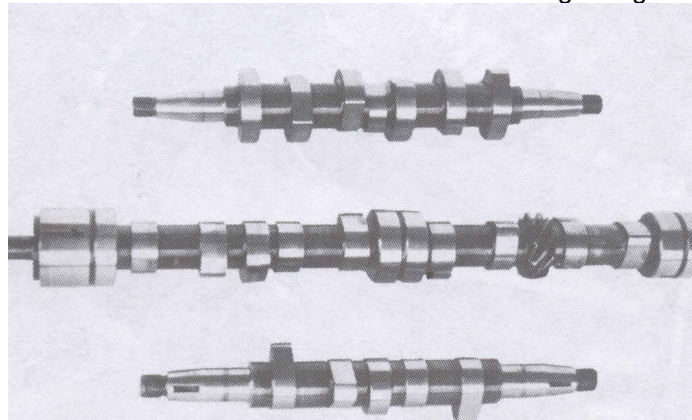
3 Nikkelstaal 25 % nikkel:

schoepen voor stoomturbines en andere onderdelen die bestand moeten zijn tegen hoge temperaturen en tegen oxidatie.

4 Nikkelstaal 36 % nikkel ook wel invarstaal genoemd): onderdelen voor meetinstrumenten, standaard-lengtematen, stalen bruggen in motorzuigers om vervorming bij hoge temperaturen te voorkomen.

5 Nikkelstaal 50 % nikkel:

kernen van elektromotoren en transformatoren in verband met de hoge magnetische veldsterkte.



7.7. Chroom-nikkel staal

Samenstelling en eigenschappen Chroom-nikkelstaal is gelegeerd met:

12 ... 26 % chroom en 1 ... 20 % nikkel. Chroom-nikkelstaal soorten zijn hoogwaardige staalsoorten met bijzondere kwaliteiten én/of zeer goede eigenschappen.

De meeste chroom-nikkelstaalsoorten zijn zuur- en corrosie vast. Een bekende soort is die welke 18 % chroom en 8 % nikkel bevat (z.g. 18/8 kwaliteit). Bevat chroom-nikkelstaal 18 ... 25 % chroom en 7 ... 20 % nikkel, dan is het staal bestand tegen hitte (hittevast). De treksterkte van chroom-nikkelstaal bedraagt 500 N/mm² ... 800 N/mm², De taaiheid, rek en de hardheid zijn groter dan die van ongelegeerd constructiestaal.

Toepassingen

Afhankelijk van het chroom- en nikkelgehalte wordt chroom-nikkelstaal in de volgende gevallen toegepast:

- 1 12 ... 14 % chroom en 1 % nikkel: a medische instrumenten;
b kleppen voor verbrandingsmotoren; c schoepen voor stoomturbines;
d matrijzen voor het maken van kunststofvormen.
2 10 ... 20 % chroom en 1 ... 10 % nikkel: onderdelen en installaties voor de chemische industrie (zie fig. 7.10).
3 18 ... 20 % chroom en 8 ... 10 % nikkel:
a onderdelen en installaties voor de voedingsmiddelenindustrie;
b onderdelen voor verbrandingsmotoren zoals krukassen en nokkenassen.



7.8. Roestvast staal

Onder roestvast staal verstaan we staal dat goed bestand is tegen oxidatie en tegen inwerking van agressieve chemische stoffen.

Het staal is dan gelegeerd met minstens 11 % chroom. Het chroom vormt met de omringende zuurstof een zeer dicht oxidelaagje dat het onderliggende metaal tegen oxidatie beschermt.

Samenstelling en eigenschappen

Op basis van hun samenstelling onderscheiden we de roestvaste staalsoorten in:

- 1 chroomstaal (11 ... 30 % chroom)
2 chroom-nikkelstaal (17 ... 20 % chroom en 6 ... 17 % nikkel)

Invloed van legeringselementen

Ter verbetering van bepaalde eigenschappen kunnen deze staalsoorten ook nog gelegeerd zijn met b.V. molybdeen, zwavel, selenium, titaan, e.d.

Molybdeen zal in het ferritische staal het staal beter bestand maken tegen putcorrosie (pitting).

Zwavel en selenium maken alle roestvaste staalsoorten beter verspaanbaar.

Titaan verbetert de lasbaarheid, het gaat nl. korrelgroei tegen waardoor de taaiheid niet zal afnemen.

Toepassingen

1 Ferritische roestvaste staalsoorten:

A chroomgehalte 12 ... 16 % : turbineschoepen, apparaten voor de aardolie-industrie en apparaten voor de chemische industrie;

B chroomgehalte 14 ... 18 %: sierdoelinden in de automobielbouw en keukengerei;

C chroomgehalte 22 ... 26 %: ovenonderdelen en apparaten voor de chemische industrie.

Ferritische roestvaste staalsoorten hebben t.o.v. de martensitische bij een gelijk chroomgehalte een iets lager koolstofgehalte

2 Martensitisch roestvaste staalsoorten :

A chroomgehalte 11,5 ... 14 %: onderdelen die in aanraking komen met water en stoom zoals assen voor waterpompen, kranen, afsluiters, waterventielen;

onderdelen voor waterreinigingsinstallaties, stoomturbineschoepen en waterturbines; huishoudelijke artikelen, keukengerei en chirurgische instrumenten;

B chroomgehalte 16 ... 18 %: scharen, messen, kleppen, schroefassen voor motorboten.

3 Austenitische roestvaste staalsoorten:

- A chroomgehalte 16 ... 20 % en nikkelgehalte 3 ... 10 %: aanrechten, vitrines, huishoudelijke voorwerpen, pannen, opslagtanks, pijpleidingen en apparaten voor de voedingsmiddelenindustrie (melkerijen, slagerijen, brouwerijen, e.d.);
B chroomgehalte 18 ... 20 % en nikkelgehalte 10 ... 15 % : onderdelen van installaties voor de chemische industrie die in aanraking komen met sterke zuren, installaties voor de petrochemische industrie (zie fig. 8.2).
C chroomgehalte 20 ... 26 % en nikkelgehalte 20 ... 30 % : voor onderdelen die aan hoge temperaturen worden blootgesteld. Ze zijn hittevast in lucht tot ca. 1000 °C en worden o.a. toegepast in gasturbines, gloeiovens e.d.

7.9. Verenstaal

Verenstaal kan gelegeerd zijn met de volgende elementen:

- 1 chroom en vanadium;
- 2 chroom en silicium;
- 3 mangaan en silicium;
- 4 chroom en nikkel (roestvast verenstaal).

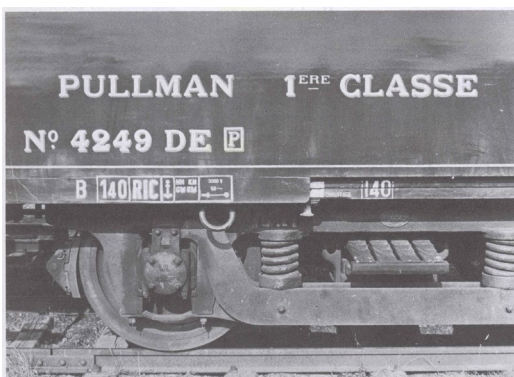
Deze staalsoorten hebben hun grote veerkracht te danken aan de elementen silicium en vanadium. Vanadium geeft aan het staal de eigenschap dat het bij hoge temperaturen veerkrachtig blijft. De treksterkte van veren staal varieert van 800 N/mm² ... 1000 N/mm². Door veredelen is het mogelijk de treksterkte te vergroten tot 1200 N/mm² ... 1750 N/mm².

De naam verenstaal geeft reeds aan dat dit staal gebruikt wordt voor de vervaardiging van blad-, schroef-, spiraal-, en andere technische veren.

Toepassingen

Hieronder volgen enkele verenstaalsoorten en hun toe-passingen.

- 1 Chroom (1 %) en vanadium (0,2 ... 0,4 %): bladveren voor vrachtauto's, torsieveren e.d.
- 2 Chroom (1 %) en silicium (0,5 ... 1 %): trek- en drukveren voor sterke belastingen.
- 3 Mangaan (1 ... 1,5 %), silicium (1 ... 1,8 %) en koolstof (0,6 %): spantagen, alle soorten veren voor auto's, locomotieven (zie fig. 9.1), spoorwagens, kegelveren e.d.
- 4 Chroom (18 %) en nikkel (8 %) (roestvast verenstaal): veren die in aanraking komen met zuren e.d. en bestand moeten zijn tegen oxidatie



<i>eigenschappen</i>	<i>ferritisch chroomstaal</i>	<i>martensitisch chroomstaal</i>	<i>austenitisch chroomnikkelstaal</i>
ALGEMENE EIGENSCHAPPEN			
chroomgehalte	- Cr 12 ... 26 %	- Cr 11,5 .., 18 %	- Cr 12 ... 20 %
nikkelgehalte			- Ni 10 ... 30 %
koolstofgehalte	- C-gehalte 0,08 ... 0,2 %	- C-gehalte 0,15 ... 1,2 %	- C-gehalte 0,03 ... 0,15 %
hardbaarheid	- niet hardbaar	- hardbaar (luchthardend)	- niet hardbaar
magnetiseerbaarheid	- magnetiseerbaar	- magnetiseerbaar	- niet magnetiseerbaar
corrosieweerstand	- zeer goed - goed bestand tegen inwerking van vele chemicaliën en zuren; ongevoelig voor spanningscorrosie - gelegeerd met ca. 4 à 5 % Mo beter bestand tegen putcorrosie	- goed - na harden en ontlaten bestand tegen weersinvloeden, water, stoom en zwakke zuren	- zeer goed - vaak beter dan de ferritische martensitische soorten - bestand tegen putcorrosie, lig voor spanningscorrosie
oxidatieweerstand	goed tot ca. 700 ° C bij ca. 24 ... 28 % Cr tot ca. 1100 ° C	goed tot ca. 750°C	beter bestand tegen oxidatie dan de ferritische staalsoorten
MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN			
hardheid (gegloeid)	140 ... 180 HB	- 140 ... 220HB - veredeld 220 ... 280 HB). - gehard	130 ... 180 HB
treksterkte	gegloeid R _m 450 ... 600 Njmm?	- gegloeid R _m 500 ... 750 N/mm ² - veredeld R _m 600 ... 1000 - gehard R _m 1800 ... 2000 Njmm"	gegloeid R _m 500 ... 700 N/mm ² ook grote sterkte bij hoge temperaturen gegloeid ca. 50 %
rek	gegloeid ca. 20 %	- gegloeid 16 ... 20 % - veredeld 15 ... 16 %	
taaiheid	- hoge buigtaaiheid - oververhitting verlaagt de taaiheid - geringe taaiheid bij lage temperaturen (beneden 0°C)	- goede taaiheid vooral bij laag C-gehalte (max. 0,15 %) - geringere taaiheid bij lage temperaturen	taai bij temperaturen tot - 200°C
TECHNOLOGISCHE EIGENSCHAPPEN			
koude	- goed tot zeer goed	- goed mogelijk bij laag C-gehalte	- goed mogelijk
vervormbaarheid (trekken, buigen, e.d.)	- er treedt echter koudversteving op	- koudversteving treedt op	- koudversteving treedt dan bij de ferritische en martensitische soorten
verspaanbaar	redelijk goed, vooral de z.g. automatenkwaliteit	matig tot redelijk goed, de z.g. automatenkwaliteit is beter verspaanbaar	- moeilijk - met zwavel of selenium - gelegeerde soorten zijn beter verspanen
lasbaarheid	- zeer goed bij laag Cr-gehalte (max. 14 %) en een laag koolstofgehalte - bij 16 ... 18 % Cr matig lasbaar omdat in de overgangszone korrelgroei ontstaat waardoor taaiheid afneemt - de automatenkwaliteit niet	- minder goed las baar - voorverwarmen van de las is noodzakelijk, ook het gloeien na het lassen - geringe korrelgroei	- goed tot zeer goed lasbaar, de lasnaad blijft taai omdat harding optreedt - de zwavelhoudende niet lassen

7.10. Automatenstaal

Automatenstaal is een staalsoort die gemakkelijk is te verspanen en een korte spaan geeft. Het wordt dan ook om deze reden veel toegepast bij de vervaardiging van massa- en seriedraaiwerk op automaten of op revolver-draibanken. Langspanige metalen leveren, bij het ver-spanen op de automaten, moeilijkheden op. De goede verspaanbaarheid wordt verkregen als het staal zwavel en/of lood bevat.

We onderscheiden de volgende soorten automaten staal :

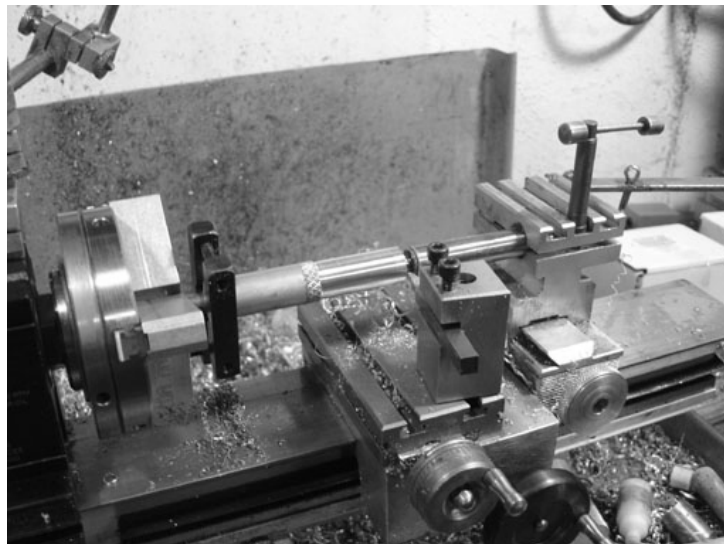
- 1 zwavelhoudend automatenstaal;
- 2 loodhoudend automatenstaal ;
- 3 corrosievast (roestvast) automatenstaal.

7.11. Gereedschapstaal

Gereedschapstaal wordt toegepast bij de vervaardiging van gereedschappen. De gereedschappen kunnen we onderverdelen in:

1. Verspanende
2. Niet-verspanende (hulp en meetgereedschappen)

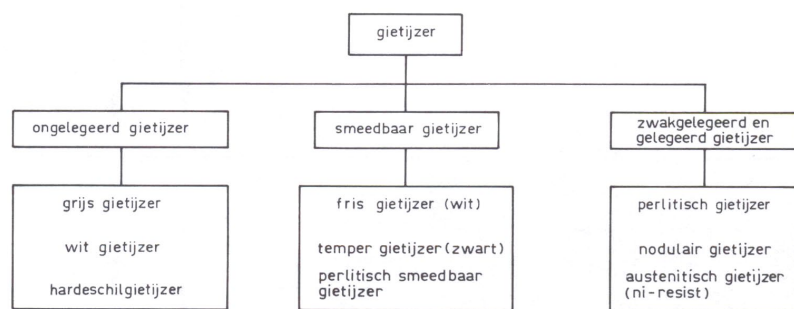
Hiervoor moet het staal harder, taaier en slijtvaster zijn.



8. Gietijzer en Gietstaal

8.1. Gietijzer

Onder gietijzer verstaan we ijzer dat minstens 2,5 % koolstof bevat. Het wordt toegepast voor machineonderdelen en andere voorwerpen waarvan het materiaal door middel van gieten in gietvormen in de juiste vorm wordt gebracht.



Toepassingen

Gietijzer is in principe na gieten nog goed verwerkbaar. Daarom dat men na gieten nog tal van afwerkingen kan doen.



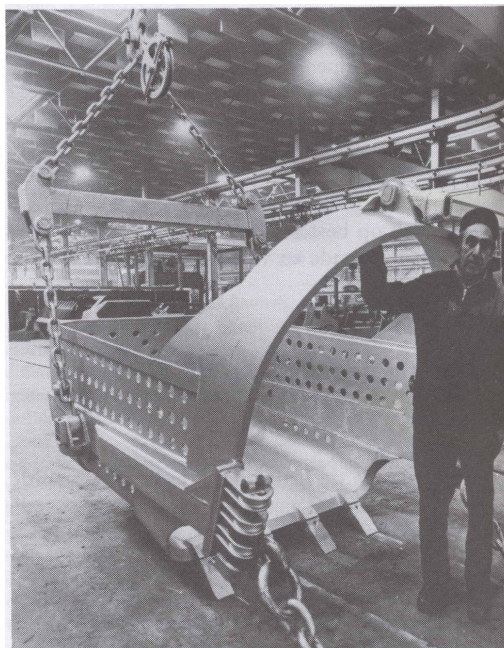
8.2. Gietstaal

Staal dat direct na de bereiding in gietvormen wordt gegoten en dat daarna niet door smeden e.d. wordt vervormd, noemt men gietstaal.

Indeling

We onderscheiden gietstaal in:

- 1 ongelegeerd gietstaal;
- 2 gelegeerd gietstaal.



9. Warmtebehandelingen

Neem voor cijfermateriaal en tabellen ook een kijkje in het tabellenboek voor metaaltechniek

In vele gevallen kan het noodzakelijk zijn het staal één of meer warmtebehandelingen te geven. Deze onderscheiden we in:

- 1 harden;
- 2 ontlaten;
- 3 gloeien:
 - a uitgloeien;
 - b normaalgloeien ;
 - c zachtgloeien ;
 - d spanningvrij gloeien;
- 4 veredelen.

9.1. *Harden*

Harden is een term die wordt gebruikt voor het proces waarbij de sterkte en daarmee de hardheid van een metaallegering verhoogd wordt. Deze toename van de hardheid van een legering kan nuttig zijn in een breed scala aan toepassingen.

Het harden van een legering gebeurt middels een warmtebehandeling, waarbij de legering eerst boven een zekere temperatuur gebracht wordt, en vervolgens zodanig snel wordt afgekoeld, dat er martensiet ontstaat. Deze fase is zeer hard door de vele interne spanningen die er in het materiaal zitten.

In het geval van staal wordt het materiaal opgewarmd tot in het austenietgebied met een zodanig hoge snelheid wordt afgekoeld, dat perlietvorming worden onderdrukt, zodat het staal wordt omgezet in martensiet. De hardheid en de weerstand tegen slijtage worden hierdoor sterk verhoogd, daar de omzetting van kristalrooster door het in het staal aanwezige koolstof wordt belet. Stap voor stap werkt het productieproces als volgt:

Het werkstuk wordt gelijkmatig verhit tot het een gele kleur heeft.

De kleur is een indicatie voor de fase waarin het materiaal zich bevindt

Aansluitend afkoelen in koud water of olie.

Of er water of olie gebruikt moet worden, hangt af van de samenstelling van het af te koelen materiaal. Door de warmtegeleidingscoëfficiënt van de afkoelvloeistof kan het materiaal sneller of langzamer afkoelen. Te langzame afkoeling geeft geen harding, te snelle afkoeling kan scheuren of breken van het metaal tot gevolg hebben.

Na het harden, is het zogeheten ontlaten van het staal noodzakelijk, anders is het staal te bros. Door het ontlaten wordt het staal iets minder hard, maar het wordt er wel veel taaier door.

9.2. *Ontlaten*

In de meeste gevallen is het werkstuk na het harden te hard en dus gemakkelijk breekbaar als er krachten op werken. Tevens zijn in het materiaal z.g. materiaalspanningen aanwezig, die ook breuk kunnen veroorzaken. Wanneer het werkstuk, na het harden, verwarmd wordt tot 200 °C à 330 °C en daarna wordt afgekoeld, is:

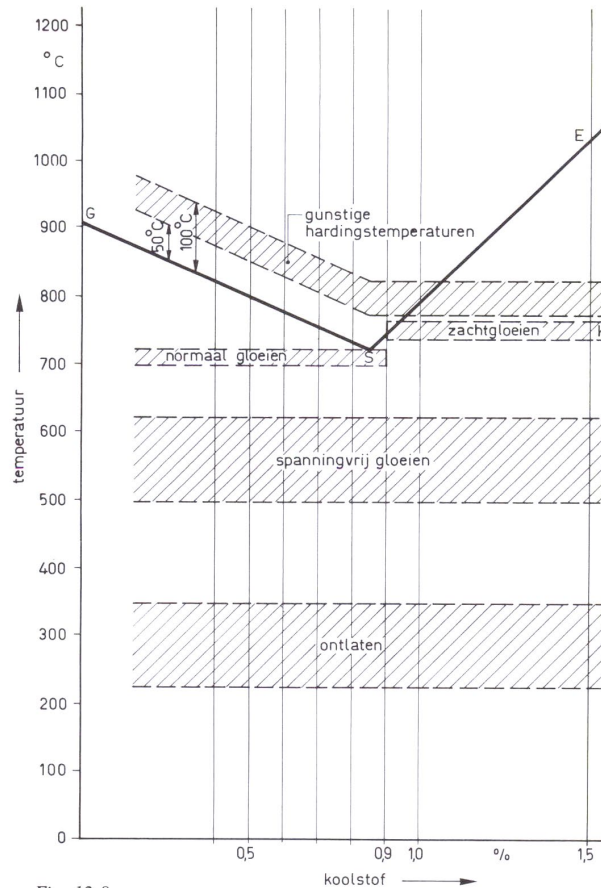
- 1 de hardheid verminderd;
- 2 de taaiheid groter geworden.

Ook zijn de materiaalspanningen grotendeels verdwenen. We noemen deze warmtebehandeling ontlaten of aanlaten. De hardheid na het ontlaten is afhankelijk van:

- 1 de ontlatings temperatuur (hoe hoger de ontlatings-temperatuur, hoe kleiner de hardheid);
- 2 de duur van de ontlating.

Het ontlaten gaat als volgt:

Oxidel laag van het werkstuk verwijderen
Opnieuw verhitten en
Wederom afkoelen in koud water of olie.



9.3. Gloeien

1 Uitgloeien

Moet een gehard stalen voorwerp bij reparaties b.v., een bewerking ondergaan, dan moet het staal weer zacht gemaakt worden.

Het staal wordt verwarmd tot de hardingstemperatuur, waarna het langzaam wordt afgekoeld. De hardheid is nu sterk afgenomen en het staal kan weer normaal worden verspaand. Deze warmtebehandeling wordt ook toegepast als het staal harde plekken vertoont, waardoor het slecht of niet te bewerken is.

2 Normaal gloeien

Grove kristallen, die in het staal kunnen ontstaan door smeden, persen e.d., maken het staal minder sterk en minder goed bewerkbaar. Wordt het staal verwarmd tot 700 °C à 720 °C, dan worden de grove kristallen omgezet in fijne kristallen (fijnkorrelige structuur). Deze warmtebehandeling wordt toegepast bij staal-soorten die maximaal 0,9 % koolstof bevatten. Het wordt ook toegepast bij dieptrekwerk dat tussentijds gegloeid wordt.

3 Zachtgloeien

Zachtgloeien wordt toegepast om staalsoorten, die meer dan 0,9 % koolstof bevatten, beter verspaanbaar te maken. Het staal wordt verwarmd tot rond 740 °C en langzaam afgekoeld. De structuur wordt dan korreli-ger en maakt het staal beter verspaanbaar.

4 Spanningvrij gloeien

Onderdelen die gegoten, gelast of gesmeed zijn, bevatten vaak inwendige spanningen. Deze kunnen breuk of blijvende vervorming (kromtrekken) tot gevolg hebben. Moet een gesmeed werkstuk worden gehard, dan is het beter, vóór het harden, de inwendige spanningen op te heffen door spanningvrij te gloeien. Dit voorkomt onder meer het ontstaan van hardingsscheurtjes. Het werkstuk wordt dan verwarmd tot 500 °C à 600 °C en langzaam afgekoeld.

9.4. Veredelen

Bij het veredelen wordt het staal eerst gehard en daarna bij hoge temperatuur (500 °C à 600 °C) ontlaten. geeft een overzicht van de temperaturen die voor verschillende warmtebehandelingen nodig zijn. Deze gelden alleen voor ongelegeerd staal. Door veredelen neemt de sterkte en de taaiheid van het staal toe. Het veredelde staal is bestand tegen stotende belastingen.

Toepassingen

Spillen voor rond- en vlakslijpmachines worden vaak veredeld, maar ook onderdelen voor stempels, nokken en stalen walsrollen (voor koudwalsen e.d.).

9.5. Oppervlakteharden

Bij het oppervlakteharden wordt alleen de oppervlaktelaag van een onderdeel gehard, terwijl de kern ongehard en dus zacht blijft.

Dit is vooral nuttig bij onderdelen die slijtvast moeten zijn (harde oppervlakte) of goed bestand tegen stotende of buigende belastingen (taai).

Methoden

Enkele methoden voor het oppervlakteharden zijn:

- 1 cementeren (inzetten of pakhard);
- 2 carboniseren met gas;
- 3 carboniseren in zoutbaden ;
- 4 nitreren;
- 5 vlamharden ;
- 6 inductieharden.

1 Cementeren

Bij het cementeren worden de onderdelen, omgeven door een koolstofhoudende stof, verpakt in een hitte-vaste stalen kist of gietijzeren bak. Deze wordt luchtdicht afgesloten en gedurende enkele uren geplaatst in een oven die op een temperatuur wordt gehouden van ca. 850 °C à 950 °C. De onderdelen in de bak zullen tijdens dit verwarmen aan de oppervlakte koolstof opnemen. Als er voldoende koolstof is opgenomen, worden de onderdelen uit de bak genomen. Na langzame afkoeling worden de onderdelen opnieuw verwarmd tot op de hardingstemperatuur en daarna afgekoeld in water of olie. Hierbij zal de oppervlakte, die een koolstofgehalte heeft van ca. 1 %, hard worden (de kern is ongehard en taai gebleven). De dikte van de koolstofhoudende laag (inzetlaag) is afhankelijk van:

- 1 de duur van het proces (bij verwarming op ca. 850 °C à 950 °C zal na vier uren de inzetlaag ongeveer 1 à 1,5 mm dik zijn);
- 2 het inzetpoeder (hiervoor komen in aanmerking houtskoolpoeder en speciaal inzetpoeder).

De dikte van de inzetlaag kan worden gecontroleerd met behulp van proefstaafjes, ook wel verklikkers genoemd. Deze worden aan de zijkant in de cementeerbak geschoven. Voor dit doel zijn gaten aangebracht in de zijkant. Na een bepaalde tijd worden de staafjes uit de bak genomen, afgekoeld en gebroken. Aan het breukvlak is duidelijk te zien hoe diep de inzetlaag is. Gecementeerde werkstukken zijn alleen nog te bewerken door middel van slijpen.

2 Carboniseren met gas

Bij het carboniseren met gas worden de onderdelen in een oven verwarmd, terwijl ze zijn omgeven door een gasvlam met een overmaat aan koolstof (koolmonoxide). Het metaaloppervlak zal in

gloeïende toestand gemakkelijk koolstof opnemen uit de gasvlam. Na het proces worden de werkstukken dikwijls direct afgekoeld in olie of in water.

3 Carboniseren in zoutbaden

Bij deze methode worden de onderdelen gedompeld in gesmolten zout dat in een daarvoor bestemde bak, door middel van elektrische stroom, wordt gesmolten. Het zout dat hiervoor wordt gebruikt, bevat niet alleen koolstof maar ook hoeveelheid stikstof. Beide elementen beïnvloeden de oppervlakte zodanig dat deze hardbaar wordt. Na het proces worden de werkstukken uit het zoutbad gehaald en afgekoeld in water of in olie. Een voordeel van deze methode is dat de werkstukken nagenoeg blank blijven.

4 Nitreren

In plaats van met koolstof is het ook mogelijk een hardbare oppervlaktelaag te krijgen met behulp van stikstof. We noemen deze methode nitreren (een verbindig van een metaal met stikstof is een nitride). Bij het nitreren wordt het machine-onderdeel in een gesloten ruimte geplaatst en gedurende enkele dagen (ca. 50 ... 120 uren) op een temperatuur gehouden van ongeveer 500 °C . Door de ruimte stromen ammoniakdampen die dan in aanraking komen met het werkstuk. Ammoniak bevat stikstof die door de oppervlakte van het werkstuk wordt opgenomen. Daardoor ontstaat een harde laag die bestaat uit een stikstof-ijzerverbinding. Nitreren wordt toegepast bij cilindervoeringen, kleppen, krukassen en andere motor- en machine-onderdelen.

Onderdelen die genitreerd zijn, bezitten de volgende gunstige eigenschappen:

- 1 de onderdelen blijven gedurende het proces blank;
- 2 nabewerking is overbodig waardoor de onderdelen vóór het nitreren zuiver op maat kunnen worden gemaakt;
- 3 door de betrekkelijk lage temperatuur waarbij het nitreren plaatsvindt, is er weinig kans op kromtrekken van de werkstukken;
- 4 genitreerd staal en gietijzer zijn bestand tegen oxi- datie.

5 Vlamharden

Een veel toegepaste methode voor oppervlakteharding is het Z.g. vlamharden. De onderdelen, gemaakt van hardbaar staal, worden verwarmd met een speciale brander en daarna plotseling afgekoeld met water. De verwarming moet zo snel gebeuren dat alleen de oppervlakte van het staal tot een diepte van b.v. 0,5 mm ... 3,5 mm de hardingstemperatuur bereikt. De hardingsdiepte is afhankelijk van:

- 1 de vlamtemperatuur ;
- 2 de brander-loopsnelheid ;
- 3 de dikte van het materiaal.

6 Inductieharden

Wordt door een spoel met kern een elektrische stroom (gelijkstroom) gevoerd, dan zal hierin magnetisme (magnetisch veld) ontstaan. Schuiven we in de spoel een stalen voorwerp (kern), dan wordt ook dit magnetisch

Bij het inductieharden, ook wel hoogfrequentieharden genoemd, worden wisselstromen met een frequentie tot ca. 500000 Hz gebruikt. Hierdoor wordt de oppervlakte van de kern sterk verwarmd. Plaatsen we in de spoel een werkstuk als kern dat aan de oppervlakte moet worden gehard, dan kan dit op deze manier tot op de hardingstemperatuur worden gebracht. De afkoeling is afhankelijk van de staalsoort. Inductieharden wordt o.a. toegepast bij het harden van:

- 1 krukassen voor automotoren ;
- 2 nokkassen voor automotoren ;
- 3 tandwielen.

10. Non-ferrometalen

In dit hoofdstuk voornamelijk aandacht voor aluminium. Ook kort aandacht voor Koper, messing en Brons.

10.1. *Aluminium Al*

Aluminium behoort tot de groep van lichte metalen vanwege het feit dat het een lage soortelijke massa heeft nl. ca. 2700 kg/m³,

Zuiver aluminium (gehalte van 100 %) is moeilijk te bereiden. Het bevat veelal 0,2 % ... 1 % andere elementen die aan het metaal gunstige sterkte-eigenschappen geven.

Op blank gemaakt aluminium ontstaat zeer snel een uiterst dun en dicht oxidelaagje dat het onderliggende metaal tegen verdere oxidatie beschermt.

Soorten

Aluminium is onder te verdelen in:

a ongelegeerd aluminium

bevat 99,0 ... 99,5 % aluminium.

b aluminiumkneadlegeringen die o.a. zijn gelegeerd met één of meer van de volgende elementen:

- mangaan (Mn) max. 1 %,
- magnesium (Mg) 1 ... 10 %,
- koper (Cu) 0,5 ... 4 %

c aluminiumgietlegeringen gelegeerd met o.a.: - silicium (Si) 5 ... 17 %,

- magnesium (Mg) max. 10 % .

Doel van het legeren

Aluminium wordt gelegeerd ter verbetering van: - de mechanische eigenschappen; - de gietbaarheid. Invloeden van de legeringselementen

Koper vergroot de treksterkte en de hardheid; de legering is hardbaar ; de corrosieweerstand neemt iets af, de elektrische geleidbaarheid neemt toe.

Mangaan vergroot slechts weinig de treksterkte maar verbetert wel de corrosievastheid ; de geleiding van warmte en elektriciteit nemen iets af.

Magnesium vergroot de treksterkte en hardheid; de geleiding van warmte en elektriciteit nemen iets af.

Silicium vergroot de treksterkte, bevordert de gietbaarheid en de corrosievastheid.

Aluminium bevat zeer lage percentages (sporen) van andere elementen. In het algemeen verbeteren ze de mechanische eigenschappen, maar vooral koper en zink verminderen de corrosieweerstand. Aanduidingen

Eigenschappen en toepassingen

Aluminium is:

- tamelijk goed bestand tegen oxidatie,
- een goede warmte- en elektrische stroomgeleider; door legeren neemt deze iets af,
- niet bestand tegen soda, zeewater, zwavelzuur, zoutzuur e.d.,
- zeer dun uit te walsen (pletten) nl. tot een dikte van ca. 0,006 mm; dit geldt speciaal voor ongelegeerd aluminium,
- goed te anodiseren (kunstmatige oxidehuid).

De eigenschappen en toepassingen van aluminium en aluminiumlegeringen zijn afhankelijk van hun samenstellingen. Enkele daarvan zijn opgenomen in deze tabellen

aanduiding en samenstelling (gemiddeld)		eigenschappen	mechanische eigenschappen			toepassingen
			treksterkte	rek	HB	
	%		N/mm ²	%	N/mm ²	
Al	99,9	zeer goed koud te vervormen en te lassen	Z 40 H 100	30 5	150 240	sieronderdelen, reflectoren spiegels, (Al 99,9 is goed te polijsten)
Al	99,5	de verspaanbaarheid is redelijk goed	Z 70 H 130	35 5	200 350	sieronderdelen, verpakkingsmateriaal tubes, olie en benzineleidingen dieptrekwerk
Al	99,0	goede corrosievastheid	Z 80 H 150	35 4	220 360	kampeerartikelen, reservoirs kabelgoten
AlMn 1						
Al	97	goed lasbaar,	Z 140	20	240	architectuur, gevelbekleding, dakbedekking
Mn	1	corrosievast	H 180	4	400	golfplaten, auto-onderdelen
overige	2					apparatenbouw
AlMg 3						
Al	95	goed lasbaar,	Z 200	18	450	architectuur, apparatenbouw
Mg	3	corrosievast	H 280	5	750	automobil-, machine- en scheepsbouw
overige	2					metaalwaren, vloerplaten meubels, constructies voor optiek
AlCu 4 Mg 1						
Al	92	hard en stug,	Z 250	10	500	vliegtuigbouw (zie fig. 13.10)
Cu	4	niet goed lasbaar	V 400	14	900	machinebouw, automobielindustrie
Mg	1	als las sterk moet zijn,				bouten en moeren
overige	3	niet erg corrosievast				

Z = zacht, H = hard, V = veredeld.

aanduiding en samenstelling (gemiddeld)		eigenschappen	mechanische eigenschappen			toepassingen
			treksterkte	rek	HB	
	%		N/mm ²	%		
G AlMg 3 Si						
Al	95	corrosievast,	140 ... 210	2 ... 3	500 ... 800	scheepsbouw,
Mg	3	goed verspaanbaar,				chemische industrie
Si	1	matig lasbaar,				
overige	1	goed gietbaar				
G AlMg 10						
Al	88	corrosievast,	260 ... 300	8	700	voor onderdelen in de
Mg	10	goed verspaanbaar,				scheepsbouw, vliegtuigbouw en
overige	2	niet lasbaar, slecht gietbaar				in de chemische industrie
G AlSi 6 Cu 4						
Al	85	matig corrosievast,	160 ... 200	1	700	automobielindustrie (carters),
Si	6	goed verspaanbaar,				tandwielkasten,
Cu	4	matig lasbaar,				machine-onderdelen
overige	5	goed gietbaar				(fig. 13.11)
G AlSi 10 Mg						
Al	88	corrosievast,	180 ... 220	1	700	zeer geschikt voor gecompliceerd en dunwandig gietwerk
Si	10	goed verspaanbaar,				(fig. 13.12)
Mg	0,5	goed lasbaar,				
overige	1,5	uitstekend gietbaar				
G AlCu 4 Ti						
Al	94	matig corrosievast,	250 ... 290	3	900	onderdelen voor de vliegtuig-
Cu	4	uitstekend verspaanbaar,				en automobielindustrie
Ti	0,5	slecht lasbaar,				
overige	1,5	matig gietbaar				

Verbeteren van de mechanische eigenschappen

De mechanische eigenschappen van verschillende alu-miniumlegeringen kunnen worden verbeterd door:

- koudvervormen (kneedlegeringen);
- warmtebehandelingen (giet- en kneedlegeringen).

Koudvervormen

Door koudvervormen bijvoorbeeld door middel van walsen, persen, forceren en dieptrekken wordt het metaal harder, stugger, neemt de treksterkte toe en de rek af.

Aluminium is als platen in verschillende hardheden in de handel verkrijgbaar. De mate van hardheid geeft men o.a. aan met: zacht (Z), halfhard (HH of ~ H), ~ hard (~ H) en hard (H). Is de hardheid, die tijdens het bewerken is ontstaan, ongewenst, dan worden de werkstukken zachtgegloeid.

Warmtebehandelingen van Al-kneedlegeringen

De aluminiumkneedlegering AlCu 4 Mg 1 kunnen we de volgende warmtebehandelingen geven:

- 1 zacht gloeien;
- 2 homogeen gloeien;
- 3 dispersiehardening (of veredelen).

1 Zacht gloeien

Bij zacht gloeien wordt de legering verwarmd tot ca. 350°C, waarna men het langzaam laat afkoelen. Hierdoor wordt het materiaal zacht en neemt de treksterkte af. Het materiaal is nu gemakkelijk te bewerken (vervormen, verspanen) en blijft zacht. Wil men het in zijn oorspronkelijke toestand terugbrengen, dan is een harding (warmtebehandeling) nodig.

Zacht gloeien wordt toegepast als het materiaal langer dan drie uur wordt bewerkt.

2 Homogeen gloeien (natuurlijke dispersiehardening)

Is de bewerkingstijd korter dan drie uur, dan kan ontstaan worden met homogeen gloeien. Men verwarmt de legering tot een temperatuur van ca. 500 °C, waarna het snel wordt afgekoeld. Het materiaal is nu voor korte tijd zacht geworden en kan weer een bewerking ondergaan. Na ongeveer drie uur wordt het vanzelf weer hard, terwijl het na ca. vijf dagen zijn oorspronkelijke hardheid volkomen terug heeft. Dit proces van 'vanzelf' hard worden noemen we natuurlijke dispersiehardening (het woord dispersie wijst op een moleculaire structuurverandering in het materiaal, waardoor dit hard wordt).

3 Dispersiehardening (kunstmatige dispersiehardening)

Als we de oorspronkelijke hardheid sneller willen bereiken, passen we kunstmatige dispersiehardening toe. Het materiaal wordt gedurende enige tijd verwarmd op een temperatuur van 120 °C tot 180 °C, waarna het weer wordt afgekoeld.

Afhankelijk van de bewerking kan homogeen gegloeid materiaal, voordat de natuurlijke dispersiehardening intreedt, nogmaals een of meer keren worden gegloeid (tussentijds gloeien).

Bewerkbaarheid

Aluminium is:

- 1 goed te verspanen;
- 2 goed in koude toestand te vervormen;
- 3 zeer dun uit te walsen (pletten) nl. tot ca. 0,006 mm. Men noemt het dan aluminiumfolie;
- 4 moeilijk te solderen en te lassen doordat het door verwarming snel oxideert (door gebruik te maken van speciale vloeimiddelen is zacht- en hardsolderen echter wel redelijk goed mogelijk; booglassen is mogelijk met argon-arc);
- 5 in plaats van te lassen of te solderen ook te lijmen;
- 6 moeilijk te gieten doordat het in vloeibare toestand snel gas opneemt;
- 7 goed te polijsten.

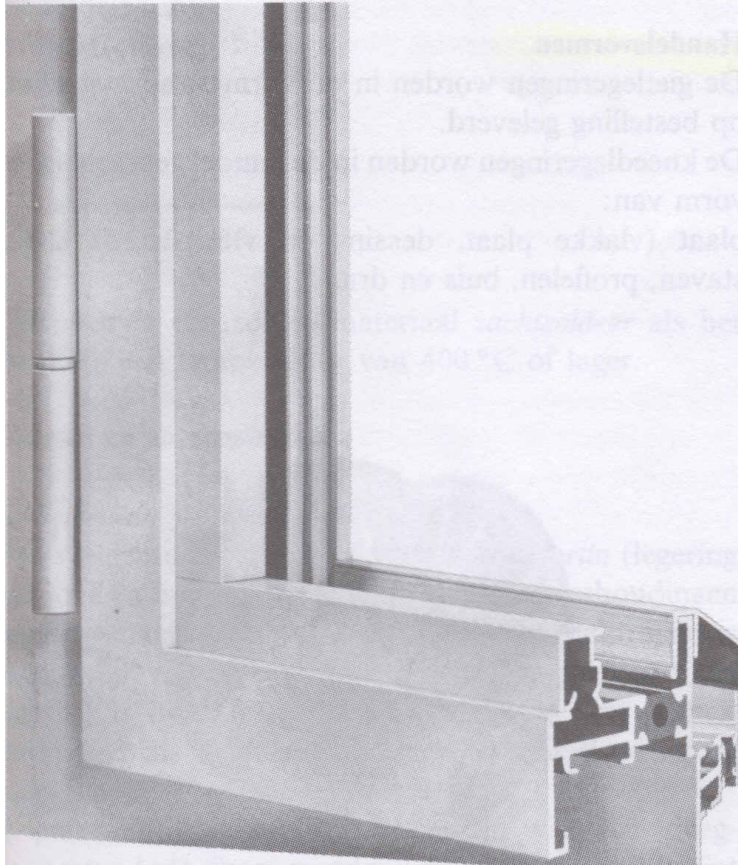
Aluminiumlegeringen zijn in het algemeen goed te verspanen. De snij snelheden liggen daar echter lager dan bij aluminium. Aluminiumlegeringen die een warmte-behandeling hebben ondergaan (veredelen), zijn minder goed te verspanen.

Verschillende aluminiumkneedlegeringen zijn moeilijk koud te vervormen. Zacht- en hardsolderen is wel mogelijk, als speciale vloeimiddelen worden gebruikt. Verschillende aluminiumlegeringen zijn goed te lassen met argon-are. In plaats van lassen is het ook mogelijk aluminium en aluminiumkneedlegeringen te verbinden met lijm op kunstharbasis.

Handelsvormen

Aluminium (onlegeerd wordt in de handel gebracht in de vorm van:

- platen (dikte 0,3 mm ... ca. 25 mm, afmetingen 2000 mm x 1000 mm) in de kwaliteiten van zacht tot hard;
- aluminiumfolie (dikte 0,006 mm ... 0,15 mm);
- staven en draad.



10.2. Koper Cu

Koper heeft een rood/goude kleur. Eigenschappen zijn:

- $\rho = 8,95 \text{ kg/dm}^3$
- door trekken wordt het koper stugger
- goede stroom en warmtegeleider
- redelijk bestand tegen oxidatie (vormt een beschermende oxidelaag)
- koperoxide is giftig
- Goed verspaanbaar, soldeerbaar, niet lasbaar

Toepassingen:

- Kabels en snoeren
- Collectoren voor boormachines, dynamo's
- Pijpleidingen
- Dakbedekkingen

10.3. *Messing (Koper en Zink)*

Messing is een koper zink legering (Minstens 10%zink). Messing heeft heel andere eigenschappen dan zijn ingrediënten.

Koper en zink zijn slecht gietbaar. Zink is niet te smeden. Messing is goed gietbaar en smeedbaar. Messing is ook beter tegen oxidatie bestand. Het percentage zink bepaald:

- De smeltemperatuur
- De hardheid en sterkte
- De koud vervormbaarheid

Er bestaan: Giet-, Automaten-, Plaat- (Gebruikt bij forceren en dieptrekken) Kneed- en Soldeermessing



Tom Dixon Copper Shade

10.4. *Brons*

Brons is een legering van Koper en tin (min 4%). Er kan ook nog zink, lood en fosfor bij zitten in de legering. Het percentage Tin bepaald de hardheid van het brons..

Brons gaat men vooral gieten. Na het gieten kan men het niet meer spaanloos vervormen.

11. Corrosie

Onder corrosie van metalen verstaan we de aantasting door scheikundige (chemische) invloeden. De metaaloppervlakken kunnen namelijk, als ze in aanraking komen met water, zuren en zouten of dampen daarvan, verbindingen aangaan. Een veel voorkomende vorm van corrosie is de aantasting door zuurstof, b.v. uit de dampkring. Deze vorm van corrosie noemen we oxidatie. De verbinding die ontstaat met zuurstof (oxygenium) noemen we een oxide.

Nadelen van corrosie

Grote nadelen van corrosie zijn o.a. de volgende:

- 1 Het verloren gaan of onbruikbaar worden van metalen voorwerpen (onderdelen).
- 2 Vermindering van de sterkte van het door corrosie aangetaste metaal. Metaaloxiden en vooral ijzeroxiden hebben een geringe samenhang en zijn daardoor niet geschikt voor het opnemen van krachten.
- 3 De grote bedragen die jaarlijks nodig zijn om door corrosie aangetaste onderdelen,

11.1. Vormen van corrosie

De *gelijkmatige corrosie* ontstaat o.a. als het metaal geheel in aanraking komt met gassen en dampen bij hoge temperaturen (boven 100° C) of met zuren en zouten, zodat het gehele oppervlak wordt aangetast.

Putvormige corrosie ontstaat o.a. bij metaallegeringen, b.v. messing, als die in aanraking komen met water of zuren. Dit is o.m. het geval bij stalen waterleidingen als het water zuurstofrijk is. Door vuil is het eveneens mogelijk dat het metaal plaatselijk wordt aanzetast.

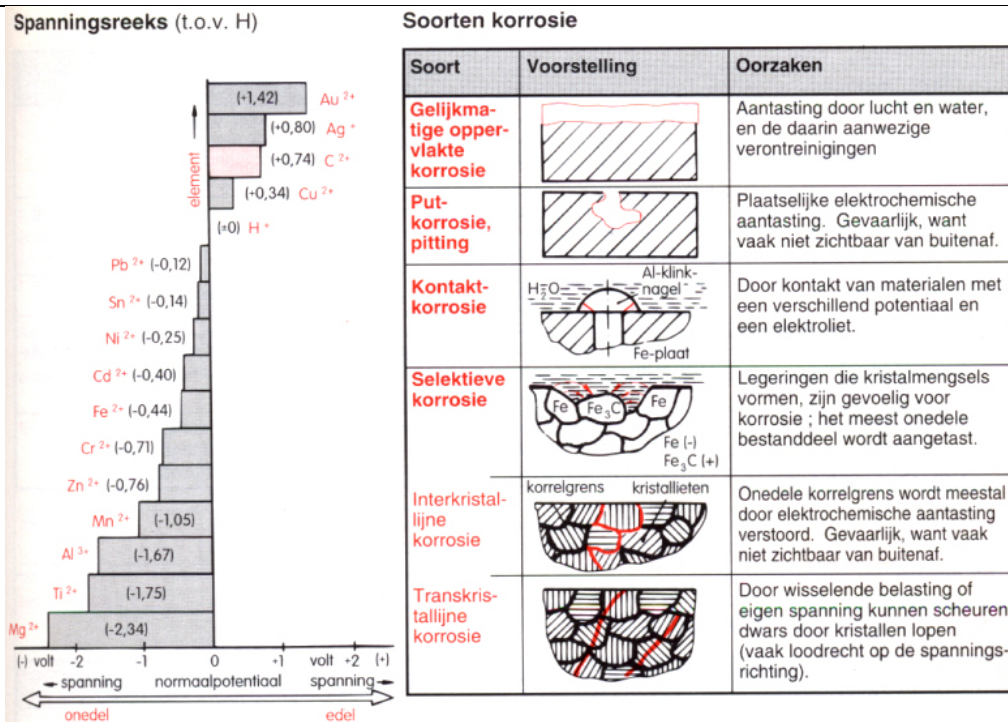
Interkristallijne corrosie komt vaak voor bij legeringen waar de legeringselementen niet volledig in elkaar zijn opgelost. Dit is o.a. het geval bij chroom-nikkelstaal dat te veel koolstof bevat. Tussen de kristallen kan scheurvorming ontstaan, mede ten gevolge van het langs de kristallen binnendringen van vocht (capillaire werking). Door de elektrolytische werking zal de aantasting van het metaal langs de kristalgrenzen plaatsvinden. Hieruit blijkt dat vooral metaallegeringen gevoelig zijn voor interkristallijne corrosie.

Galvanische corrosie ontstaat als twee verschillende metalen met elkaar in aanraking komen. Elk materiaal heeft wat men noemt een "normaal potentiaal". Een eigen lading. Hoe hoger de lading, hoe edeler het metaal. Door het verschil in ladingen, ontstaan er electrolyten. Als tussen beide metalen vocht aanwezig is, ontstaat een elektrolyt die het minst edele metaal aantast. Als we in een bakje met water twee plaatjes van verschillende metalen, b.v. zink en koper, plaatsen, zal daartussen een elektrische spanning ontstaan (zie fig. 23.2). We kunnen dit vaststellen door tussen beide platen een gevoelige voltmeter te plaatsen die de opgewekte spanning aangeeft.

De spanning zal altijd ontstaan tussen twee metalen waarvan de één minder edel is dan de ander. In de vloeistof ontstaat een stroom van elektronen. We noemen de plaat die als het ware de elektronen in de vloeistof stuurt, de anode. De plaat die de elektronen uit de vloeistof (geleider) ontvangt, noemen we de kathode. De anode zal gaan oxideren en na verloop van tijd geheel door oxidatie verteren. De kathode zal in dit geval niet worden aangetast.

Spanningscorrosie of scheurvormige corrosie ontstaat als de inwendige spanningen in het metaal te groot zijn. Dit geldt dan speciaal voor de buitenste laag van het metaal. Deze spanningen kunnen o.a. ontstaan tijdens het verspanen (al of niet eenzijdig) en vooral als dit verspanen plaatsvindt met niet voldoende scherpe gereedschappen. De scheuren of scheurtjes, die ontstaan, kunnen langs de kristalgrenzen lopen, maar er ook doorheen. Spanningscorrosie wordt sterk bevorderd door het binnendringen van vocht direct na het ontstaan van het eerste spanningsscheurtje. Veelal is het metaal naast de ontstane scheur niet aangetast door interkristallijne corrosie.

Een overzicht uit tabellenboek der metaaltechniek:



Korrosiegedrag van belangrijke metalen

Normaal-potentiaal	Mate-riaal	Symbool	Korrosiegedrag
+ 1,42	goud	Au	Zeer goede corrosiebestendigheid, behalve tegen koningswater ($\text{HNO}_3 + 3\text{HCl}$) en cyanide.
+ 0,80	Zilver	Ag	Goede corrosiebestendigheid; door in de lucht aanwezige zwavelverbindingen slaat zilver aan. Niet bestand tegen gekoncentreerd zwavelzuur (H_2SO_4), salpeterzuur (HNO_3) en sterke oxydatiemiddelen.
+ 0,34	koper	Cu	Is bestand tegen de meeste chemikaliën, behalve tegen salpeterzuur (HNO_3), ammoniak (NH_3) en mineraalwater. Door contact aan de lucht wordt met H_2O en CO_2 patina gevormd. Door azijnzuur wordt het giftige kopergroen gevormd.
- 0,12	lood	Pb	Is tegen veel zuren chemisch bestand, omdat de ontstaande loodzouten moeilijk oplosbaar zijn. Verder is het tegen zwavel en zwavelverbindingen aan de lucht bestand. Logen en oxyderende zuren (vb. HNO_3) tasten Pb aan. Onbeschermde lood wordt aangetast door de zuurstof in de lucht; daarom mogen loden schalen of met loodhoudend zachtsoldeer gesoldeerde kommen niet gebruikt worden voor het bewaren van etenswaren.
- 0,14	tin	Sn	Bij inwerken van zuurstof wordt er een bescherm laag uit tinoxide (SnO_2) gevormd. Bovendien is het bestand tegen fruitzuren (konserven). Bij lage temperaturen vergaat het metaal (tinpest). Sterke zuren en chloorionhoudende alkalische oplossingen vernietigen de oxydatielaag.
- 0,25	nikkel	Ni	Bestand tegen water, zwakke zure oplossingen zoals alkaliën. Sterke niet oxyderende zuren vernietigen nikkel. Bij neutrale en alkalische oplossingen wordt een bescherm laag uit nikkeldihydroxide gevormd.

11.2. Corrosiebestrijding

Het bestrijden van corrosie kan gebeuren door:

- 1 weren van vocht;
- 2 zoveel mogelijk te voorkomen dat door de elektrolytische werking de metalen worden aangetast (kathodische bescherming en anodische bescherming);
- 3 aanbrengen van deklagen waardoor het voorwerp als het ware van zijn omgeving wordt geïsoleerd;
- 4 het ongevoelig maken van het metaal voor corrosie door het te legeren;
- 5 de vloeistoffen waarmee het metaal in aanraking komt zodanig te beïnvloeden dat zij met de metalen geen corrosie-element kunnen vormen.

Weren van vocht

Als een metaal niet in aanraking kan komen met vocht, zal het niet kunnen oxideren. Dit kan o.a. bereikt worden door:

- 1 invetten van het metaal;
- 2 het metaal in te pakken in plasticfolie en hermetisch af te sluiten van de omgeving (de z.g. mottenballenbewerking) ;
- 3 dunne metaallakken toe te passen.

Kathodische bescherming

Als het weren van vocht beslist niet mogelijk is en daardoor aantasting door elektrolytische werking ontstaat, kan het metaal kathodisch beschermd worden. Deze methode wordt vooral bij in de grond liggende stalen leidingen, tanks en tankschepen toegepast. We plaatsen dan blokken van een onedel metaal, b.v. zink, op of in de nabijheid van de delen die beschermd moeten worden (zie fig. 23.3). Het schip of de stalen leiding vormt hierbij de kathode en het zinken blok de anode. De anode zal oxideren en de kathode zal niet worden aangetast. Na enige tijd zullen we de anode moeten vernieuwen omdat deze geheel verteert door oxidatie.

Anodische bescherming

Bepaalde metaaloxiden hebben de eigenschap dat ze zo dicht zijn, dat daardoor het metaal geheel van de omgeving wordt afgesloten. Dit is o.a. het geval bij aluminiumoxide en in mindere mate bij zinkoxide. Delen gemaakt van aluminium of aluminiumlegeringen zijn tegen corrosie te beschermen door ze opzettelijk te voorzien van een oxidelaagje. We laten in dit geval het voorwerp functioneren als anode in een zuurbad.

Daarom spreken we over anodische bescherming. De corrosieweerstand wordt vergroot als verdund zwavelzuur (concentratie 10 % ... 20 %) als badvloeistof wordt gebruikt. We noemen dit zwavelzuuranodiseren. Deze methode is niet geschikt voor geklonken en gepuntlaste aluminium constructies. We gebruiken dan chroomzuur als badvloeistof en noemen dit chroomzuur-anodiseren. Na het anodiseren moeten de voorwerpen goed worden schoongespoeld om zuurresten te verwijderen.

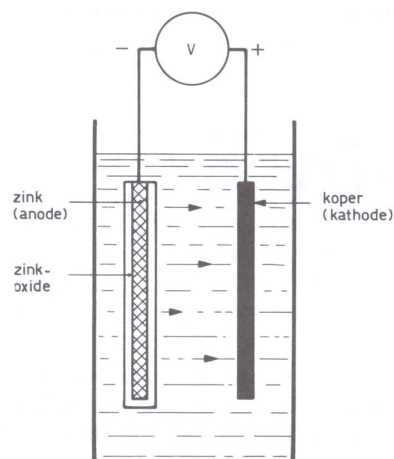


Fig. 23.2

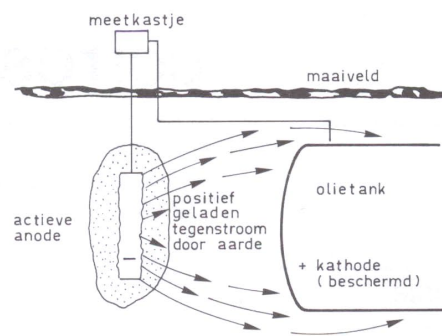


Fig. 23.3

Aanbrengen van deklagen

Hierbij gaat men bijkomende beschermende metaallagen aanbrengen op het stuk. Bvb Zink, Koper, Nikkel...

Dit kan door:

- Elektrolyse
- Dompelen
- Metaalspuiten
- Plateren

Ook niet metalische bescherm lagen zijn mogelijk zoals ijzermenie, lakken of bitumen.

12. Enkele belangrijke bewerkingstechnieken van metaal



Audi A2

12.1. Verspanen

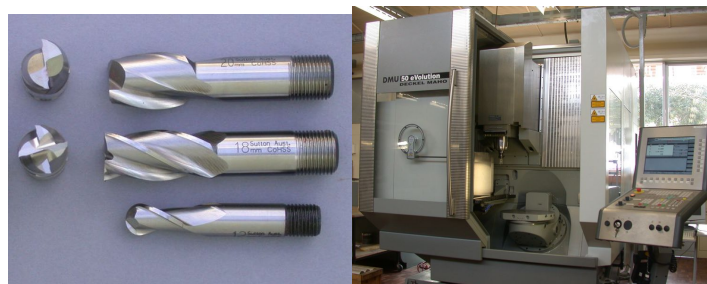
Verspanen is de term voor een aantal vormgevingstechnieken waarbij door middel van een beitel materiaal wordt verwijderd totdat de gewenste vorm is ontstaan. Tijdens de bewerking wordt het materiaal verwijderd door afschuiving waarbij dan de spanen of krullen ontstaan. Verspanen kan op diverse materialen plaatsvinden: metaal, hout en kunststof.

Ter illustratie van het begrip verspanen kan men denken aan de krulvormige spaan die men ziet ontstaan, indien men met een mes over niet te zachte boter schraapt waarbij het mes dwars op de bewegingsrichting wordt gehouden.

Voorbeelden van verspanende bewerkingen zijn frezen, draaien, boren, kotteren, brootsen, slijpen, honen, leppen, schaven, steken. Op deze technieken komen we in het tweede semester, tijdens uitvoeringstechnieken terug.

12.1.1. Frezen

Frezen is een verspanende bewerking waarbij met behulp van een roterend gereedschap materiaal wordt verwijderd. Frezen is een bewerking die met name wordt gebruikt in de metaal, hout en kunststofverwerkende industrie. Frezen wordt gedaan op een freesbank, die tegenwoordig vaak computergestuurd is (CNC).



12.1.2. Draaien

Een draaibank is een werktuigmachine voor het bewerken van cilindervormige werkstukken. De draaibank verschilt sterk van de meeste andere werktuigmachines, want bij de draaibank staat het snijgereedschap (draaibeitel) stil, terwijl het werkstuk beweegt (draait).



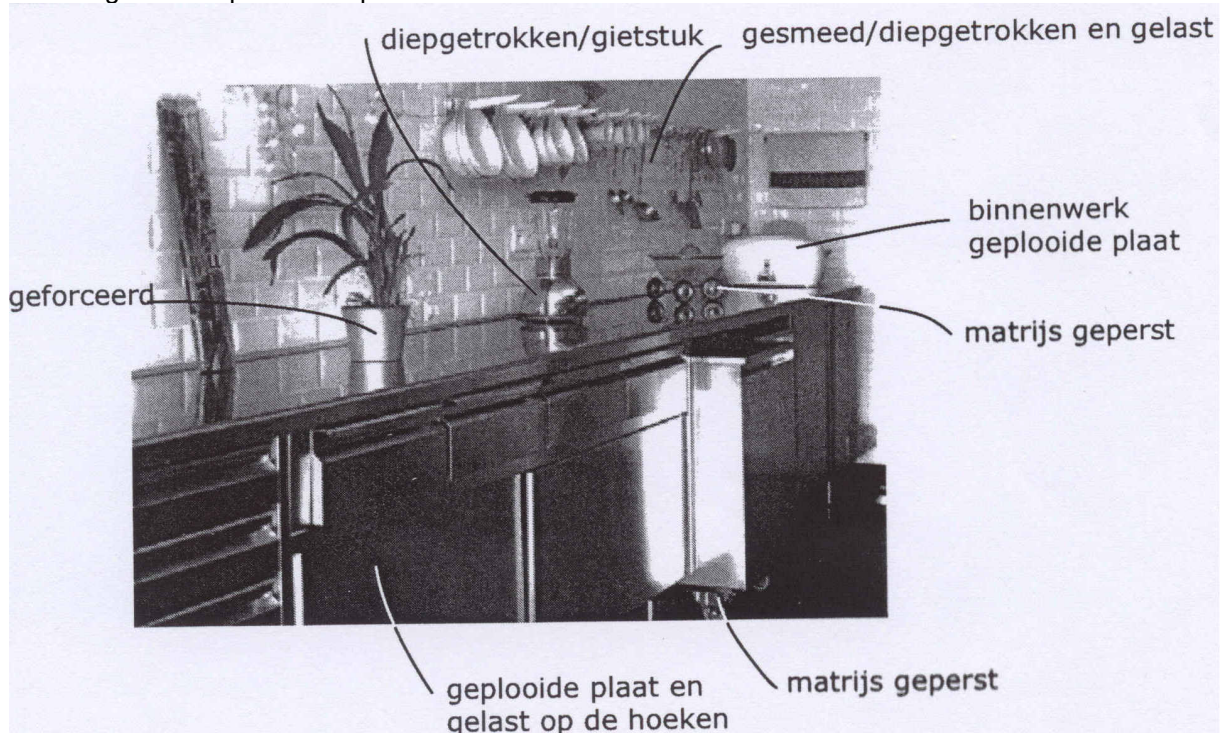
12.1.3. Boren

Boren is een verspaningstechniek waarbij een rond gat in een product wordt gemaakt met behulp van een boor, een spiraalvormig gereedschap met meestal twee snijkanten die om het middelpunt van het gereedschap draaien. Wanneer de bewerking wordt uitgevoerd met behulp van een boormachine, dan voert het gereedschap zowel het ronddraaien als de beweging richting het product uit.



12.2. **Bewerkingen voor plaatmateriaal**

Platen worden (warm/koud)gewalst uit gietblokken tot de gewenste dikte. Hierdoor ontstaat een verschil in richtingsafhankelijke eigenschappen van het plaatmateriaal. Er is een groot gamma van zowel non-ferro-metalen als in de zachtere en hardere staalsoorten. Deze platen kunnen een textuur hebben of zelfs voorgelakt zijn. De keuze wordt zowel bepaald door de materiaaleigenschappen, de functies, toepassingsgebied, de be- en verwerkingstechnieken als door voorraadbeheer. Deze platen worden geleverd op rol of als plaat.



12.2.1. **Lasersnijden**

Een laser is een elektromagnetische stralingsbron die een coherent licht uitzendt in een evenwijdige bundel. Om met de laserstraal te kunnen snijden, moet deze worden gefocusseerd tot een lichtcirkel waarvan de diameter slechts fracties van een millimeter bedraagt. Hierdoor wordt de intensiteit van de straal zo groot dat door smelten en verdampen van het materiaal zeer smalle en nauwkeurige gleuven kunnen worden gemaakt. Met de scherpe laserstraal kan men een groot aantal metalen en niet-metalen zoals kunststoffen, glas, hout en textiel snijden. Bij het lasersnijden is in het algemeen een vermogen van 1200 Watt voldoende.

Behalve voor het lasersnijden worden lasers in de industrie ook voor andere bewerkingen gebruikt. Lasersnijden is nog steeds de belangrijkste toepassing, maar daarnaast worden lasers ook gebruikt voor het graveren en lassen van onderdelen en voor oppervlaktebehandelingen zoals harden.

De laserstraal kan door zijn coherentie heel ver worden getransporteerd. De laserbron en de werkplek kunnen dus ver van elkaar worden opgesteld. Pas op de werkplek wordt de straal dan gefocusseerd. Met behulp van spiegels is het ook mogelijk om met één laserbron afwisselend op verschillende werkplekken te werken, en daarbij zelfs ook afwisselend te lassen en te snijden.

De snijsnelheid die bij het lasersnijden gehaald kan worden is afhankelijk van een aantal variabelen, zoals het materiaal, de dikte, het type laser en het vermogen. De snelheid varieert ruwweg tussen de 0,5 (bij staal) en 12 (bij kunststof) meter per minuut.

Het lasersnijden zorgt voor een zeer fijne snede en weinig materiaalverlies. De warmte beïnvloede zone is daardoor erg klein. Met het lasersnijden kunnen zonder problemen complexe contouren gesneden worden.

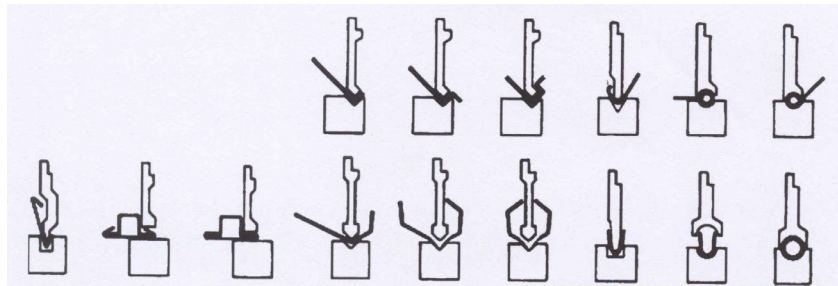
Lasersnijden biedt een grote vormvrijheid. Het is een interessante optie bij het snijden van ingewikkelde vormen uit producten die met conventionele bewerkingen zoals stansen minder gemakkelijk mogelijk zijn.

Vb LVD lasercutter: <http://www.youtube.com/watch?v=OOLLIGkMNZY>

12.2.1. Buigen

Bij buigen gaat men plaatmateriaal onder bepaalde hoeken plooien, mits beperkingen van de machine. In Vlaanderen wordt buigen aangeduid met 'plooien'. Dit plooien is dus niet het ongewenste effect van plooien en dubbelingen zoals bij dieptrekken kan ontstaan. Een buigmachine wordt in Vlaanderen ook wel een 'plooi-bank' genoemd.

Het bijzondere aan het omvormen bij het buigen is, dat de rekken over de dikte van de plaat verschillen. De rekken aan het oppervlak kunnen voor sommige materialen heel groot worden. De rekken gaan niet door en door, daarom blijft het materiaal toch heel. Het onderliggende materiaal ondersteunt als het ware het oppervlak.



12.2.2. Ponsen

Ponsen is een bewerking waarbij met een matrijs vormen uit plaatmateriaal worden gesneden, of waarbij op een andere manier delen van een constructie door drukkracht verwijderd worden terwijl de constructie zelf aan de achterkant ondersteund wordt. Een eenvoudig voorbeeld van een ponsbewerking is de perforator waarmee perforaties in een blad papier gemaakt worden. Bij snijdend ponsen gaat het meestal om het maken van het gat zelf, als het gaat om de vorm die uit het gat komt wordt de bewerking ook wel stansen genoemd.

Voorbeelden van ponsbewerkingen:

- cirkels uit een plaat die dan later diepgetrokken worden tot een drankblikje of tot een kookpot. (is eigenlijk stansen)
- vormen die geperst worden tot carrosserie-onderdelen.
- Het eruit drukken van de verbindingsspen van een rollenketting (zie ook kettingpons)
- papier perforeren

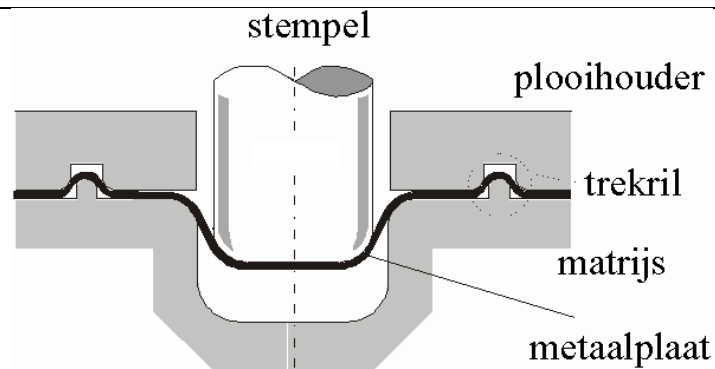
12.2.1. Dieptrekken

Dieptrekken is een vormgevingstechniek waarbij metaalplaat onder (hydro)mechanische druk wordt omgezet in een 3D-schaal.

Veel gebruikte materialen zijn:

Aluminium
Roestvast staal
Staal
Koper
Messing

Bij conventioneel dieptrekken wordt eerst het uitgangsmateriaal, de rondel of platine, op de blikhouder geplaatst. Vervolgens gaat de pers naar beneden, hierdoor wordt de platine tussen de trekrand en de blikhouder ingeklemd. De trekrand gaat nog verder naar beneden, hierdoor wordt de platine over de nippel getrokken.

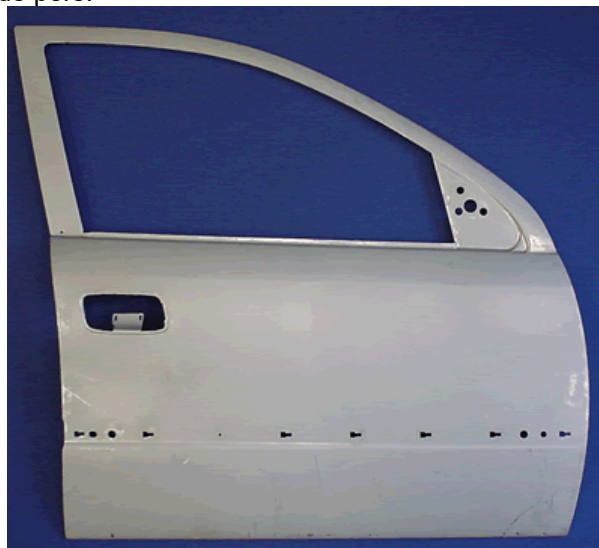


Het uiteindelijke product is gevormd, enkele voorbeelden:



12.2.2. Persen

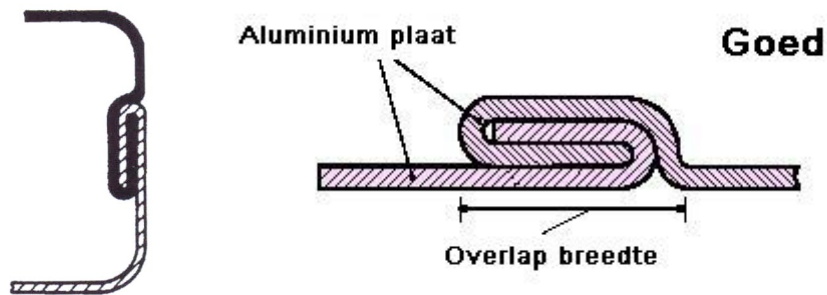
Een pers of machinepers is een werktuig dat wordt gebruikt om metaal (vaak staal) te bewerken door de vorm en interne structuur te veranderen. Persen brengen druk over door middel van hulpenergie en krachtoverbrenging op een materiaal, dat daardoor wordt vervormd. Persen worden onderscheiden naar de vorm van aansturing (handmatig, mechanisch, pneumatisch en hydraulisch) of naar de structuur of het doel van de pers.



12.3. Verbinden

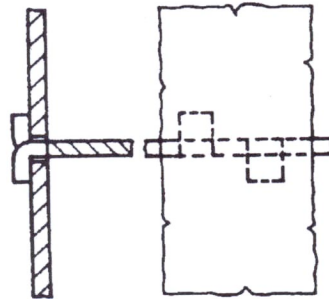
Felzen:

Door plooivlakken met elkaar verbinden

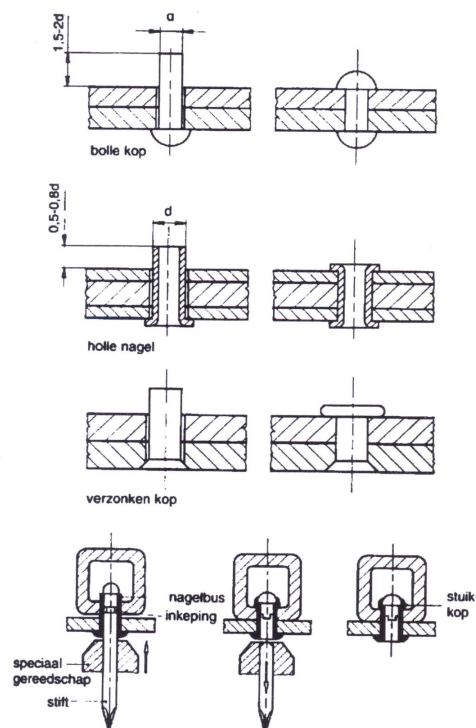


Lipverbindingen:

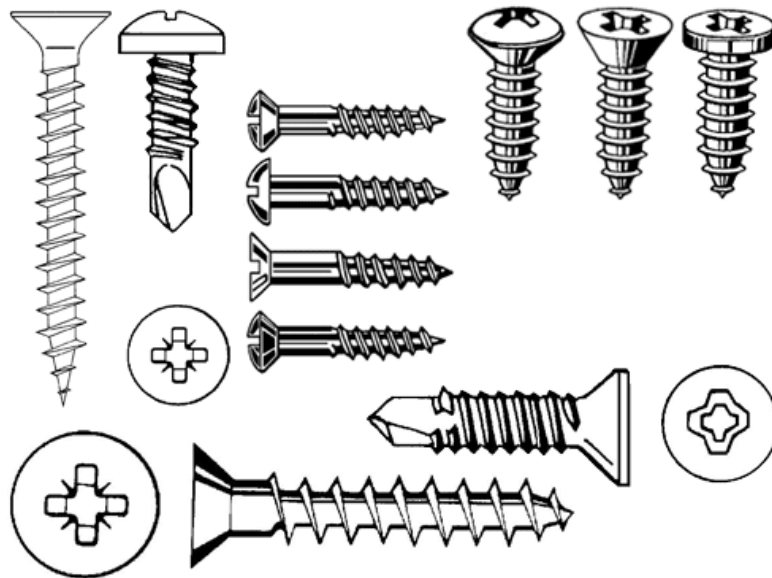
Uitgespaarde lipjes door een opening in de andere plaat omzetten.



Klinken



Schroeven en Bouten



Lassen

Lassen is het verbinden van materialen door middel van druk en/of warmte, waarbij het materiaal op de verbindingplaats in vloeibare of deegachtige toestand wordt gebracht (hoewel er ook uitzonderingen zijn zoals kouddruklassen), terwijl al of niet materiaal met ongeveer dezelfde samenstelling wordt toegevoegd, waarbij continuïteit ontstaat tussen de te verbinden delen.

Er zijn in de loop van de tijd vele verschillende lasprocessen ontwikkeld allen met specifieke kenmerken en toepassingsgebied. Ze zijn echter in twee hoofdgroepen in te delen, weerstand en booglassen.



IN HET TWEEDE SEMESTER GAAN WE DIEPER IN OP DEZE
VERWERKINGS EN UITVOERINGSTECHNIKEN