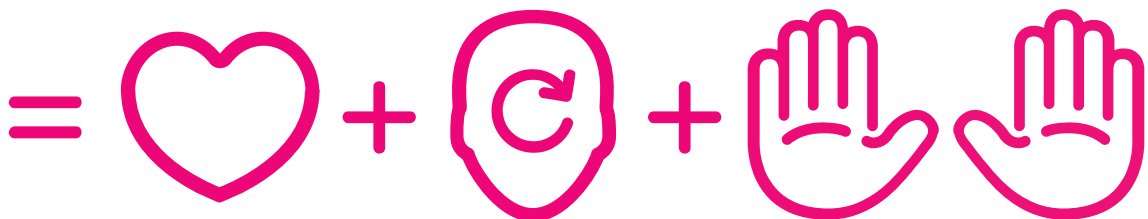


ROC Gilde Opleidingen Venlo | Rene Clabbers

Leerjaar 1 - Periode 3 - Materialenleer

24-01-2025

8NZS6VMQ





COLOFON

©2025 Kenteq, Bilthoven

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand dan wel openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname, of enige andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

uitgeverij@kenteq.nl

Inhoudsopgave

1	Aluminium en aluminiumlegeringen	5
1.1	Ongelegeerd aluminium	6
1.2	Aluminiumlegeringen	7
1.3	Verwerken van aluminium	11
1.4	Samenvatting	17
1.5	Antwoorden	18
2	Vragen Aluminium en aluminiumlegeringen	19
3	Gietijzer en gietstaal	23
3.1	Gietijzer	24
3.2	Gietijzersoorten	26
3.3	Aanduidingen van gietijzer	28
3.4	Toepassingen van gietijzer	32
3.5	Gelegeerd gietijzer	33
3.6	Gietijzer bewerken	34
3.7	Gietstaal	36
3.8	Soorten gietstaal	36
3.9	Aanduiding gietstaal	37
3.10	Vergelijking gietijzer en gietstaal	38
3.11	Samenvatting	39
3.12	Antwoorden	40
4	Vragen Gietijzer en gietstaal	41
5	Roestvast staal	45
5.1	Roestvast staal	46
5.2	Legeringselementen	50
5.3	Corrosievormen	52
5.4	Natuurkundige eigenschappen van roestvast staal	53
5.5	Lassen roestvast staal	54
5.6	Samenvatting	56
5.7	Antwoorden	57
6	Vragen Roestvast staal	59
7	Overige Non-ferrometalen	63
7.1	Koper- en koperlegeringen	64
7.2	Magnesium en magnesiumlegeringen	69
7.3	Titanium en titaniumlegeringen	71
7.4	Zink en zinklegeringen	73
7.5	Lood en loodlegeringen	74
7.6	Tin en tinlegeringen	75
7.7	Samenvatting	76
7.8	Antwoorden	77
8	Vragen Overige Non-ferrometalen	79

1 Aluminium en aluminiumlegeringen

Inleiding

Aluminium is het meest gebruikte non-ferrometaal. Het is een licht, duurzaam metaal met een hoge sterkte.

Omdat aluminium deze (en andere) goede materiaaleigenschappen heeft, wordt het gebruikt voor de meest uiteenlopende toepassingen. Bijvoorbeeld voor huishoudelijke producten (pannen, aluminiumfolie), steigers en ladders, constructies en de bouw van transportmiddelen (auto's, vliegtuigen, schepen).



Aluminium catamaran

Leerdoelen

Je kunt:

- de belangrijkste materiaaleigenschappen en toepassingen van ongelegeerd aluminium noemen
- veel toegepaste aluminium kneed- en gietlegeringen noemen
- de materiaaleigenschappen, toepassingen en aanduidingen van aluminium kneedlegeringen verklaren
- de materiaaleigenschappen, toepassingen en aanduidingen van aluminium gietlegeringen verklaren
- de verwerkingsmogelijkheden van aluminium noemen.

1.1 Ongelegeerd aluminium

Ongeveer 15% van al het geproduceerde aluminium in de wereld wordt gebruikt in ongelegeerde (zuivere) vorm. Ongelegeerd aluminium heeft een lage dichtheid en wordt daardoor vooral gebruikt voor producten waarvan de massa belangrijk is, zoals isolatieplaten en gevelbekleding.



Isolatieplaat met aluminiumfolie

Mechanische eigenschappen

Ongelegeerd aluminium heeft een lage treksterkte en een lage rekgrens. Daardoor is het ongeschikt voor het gebruik in dragende constructies. De treksterkte en rekgrens kunnen worden verbeterd. Bijvoorbeeld door het zuivere aluminium te legeren of koud te verstevigen.

Ongelegeerd aluminium heeft een lagere elasticiteitsmodulus dan staal (70.000 N/mm² t.o.v. 210.000 N/mm²). De stijfheid is dus veel lager. Dat betekent dat een constructie van zuiver aluminium (bij gelijke afmetingen) een stuk slapper is dan een constructie van staal. Om dezelfde stijfheid te krijgen moet je profielen van zuiver aluminium een stuk zwaarder uitvoeren. Daardoor kan het gewicht echter weer een stuk hoger komen te liggen.

De belangrijkste mechanische eigenschappen van ongelegeerd aluminium zijn:

- $R_m = 70 - 100 \text{ N/mm}^2$
- $R_{p0,2} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Breukrek $A_5 = 40\%$
- $HB = 15$
- $E = 70.000 \text{ N/mm}^2$

Fysische eigenschappen

Ongelegeerd aluminium is kleurloos, smaakloos, reukloos en dampdicht. Door deze eigenschappen (en door de lage dichtheid) is ongelegeerd aluminium erg geschikt als verpakkingsmateriaal (aluminiumfolie). Het aluminium wordt daarvoor uitgewalst tot dikten tussen 0,05 en 0,005 mm. Dit kan alleen met aluminium van een zeer zuivere kwaliteit (EN-AW-1199: 99% aluminium, max 1% verontreiniging).



Aluminiumfolie

Zuiver aluminium geleidt erg goed warmte en elektriciteit en is niet magnetisch. Het wordt bijvoorbeeld gebruikt voor warmtewisselaars in cv-ketels en als koelelement voor computeronderdelen. Vanwege de hoge koperprijs wordt aluminium steeds vaker toegepast als hoogspanningsgeleider. Bijvoorbeeld in hoogspanningsleidingen voor spoorverbindingen.

Chemische eigenschappen

Ongelegeerd aluminium is niet bestand tegen bepaalde zuren en basische stoffen. Aluminium kookpannen mogen om deze reden bijvoorbeeld niet met soda worden schoongemaakt. Ongelegeerd aluminium lost ook op in zoutzuur en wordt aangetast door zeewater. De snelheid waarmee het aluminium oplost hangt vooral af van de dikte en de sterkte van de oxidehuid.

Ongelegeerd aluminium is niet goed bestand tegen contact- en spanningscorrosie. Het materiaal is door de dunne, zeer dichte oxidelaag wel goed bestand tegen corrosie door zuurstof uit de lucht. De oxidehuid kan verder worden versterkt door het aluminium te *anodiseren*. Geanodiseerd aluminium wordt bijvoorbeeld gebruikt voor deuren en kozijnen, die daardoor beter bestand zijn tegen corrosie. Geanodiseerd aluminium wordt ook gebruikt als decoratiemateriaal.



1. Welke materiaaleigenschap van aluminium heeft er volgens jou vooral voor gezorgd dat aluminium het meest gebruikte non-ferrometaal is geworden?

1.2 Aluminiumlegeringen

Ongeveer 85% van al het aluminium wordt gelegeerd. Er zijn aluminium kneedlegeringen en aluminium gietlegeringen. De volgende legeringselementen worden veel gebruikt:

- koper (Cu)
 - verhoogt de treksterkte en de hardheid
 - maakt harden mogelijk
 - maakt aluminium bestand tegen zeer hoge temperaturen
 - verlaagt de weerstand tegen corrosie
- magnesium (Mg)
 - verhoogt de treksterkte
 - maakt harden mogelijk (> 6% Mg)
 - maakt aluminium matig gietbaar
 - verhoogt de weerstand tegen corrosie
- mangaan (Mn)
 - verbetert de brosheid en slagvastheid
 - verbetert de gietbaarheid
 - verhoogt de weerstand tegen corrosie
- silicium (Si)
 - verhoogt de treksterkte
 - verbetert de gietbaarheid
 - verhoogt de weerstand tegen corrosie

Aluminium kneedlegeringen

Bij aluminium kneedlegeringen komt de uiteindelijke vorm van de legering tot stand door plastische vervorming. Bijvoorbeeld door walsen of extruderen.

Er zijn veredelbare en niet-veredelbare aluminium kneedlegeringen.

Niet-veredelbare kneedlegeringen

De sterkte van niet-veredelbare kneedlegeringen kan niet vergroot worden door een warmtebehandeling (veredelen). Legeringen van aluminium met magnesium (Al-Mg) of mangaan (Al-Mn) zijn niet-veredelbaar. Al-Mn-legeringen komen bijna niet meer voor.

Al-Mg-legeringen zijn zeer goed bestand tegen corrosie. Ze worden bijvoorbeeld gebruikt voor scheepsconstructies, omdat deze goed bestand moeten zijn tegen het zeewater en de weersinvloeden. Je kunt Al-Mg-legeringen goed TIG- en MIG-lassen. De mechanische eigenschappen van de legering veranderen daardoor nauwelijks.



2. Welke niet-veredelbare kneedlegering wordt het meest toegepast?

Veredelbare kneedlegeringen

De sterkte van veredelbare kneedlegeringen kan door een warmtebehandeling (precipitatieharden) worden vergroot, waarbij de rek nauwelijks verminderd. De belangrijkste veredelbare kneedlegeringen zijn:

- Al-Mn-Si-legering
- Al-Cu-Mn-legering
- Al-Zn-Mg-legering

De legering van aluminium met mangaan en silicium (Al-Mn-Si) wordt het meest toegepast. Bijvoorbeeld in de scheepsbouw en in constructies voor gebouwen. De legering is goed lasbaar, bestand tegen corrosie en redelijk vervormbaar in uitgeharde toestand.

De legering van aluminium met koper en mangaan (Al-Cu-Mn) wordt gebruikt voor auto's, machineconstructies en vliegtuigen. Deze legering heeft een hogere treksterkte door de toevoeging van koper. Daardoor nemen de corrosievastheid en de lasbaarheid echter af.

De legering van aluminium met zink en magnesium (Al-Zn-Mg) wordt vooral toegepast in constructies. De eigenschappen van deze legering herstellen zich namelijk vanzelf na het lassen. Dit komt doordat de legering bij kamertemperatuur uithardt, met behoud van alle eigenschappen.



3. Welke veredelbare kneedlegering wordt vooral toegepast in constructies? Waarom?

Aanduiding kneedlegeringen

In een tabellenboek vind je de materiaaleigenschappen en toepassingen van veel voorkomende kneedlegeringen.

Voorbeeld

Kneedlegering met de aanduiding EN AW 7005 T5.

Dit betekent:

- EN: Europese Norm
- A: Aluminium
- W: Kneedlegering (W = Wrought)
- 7: Hoofdlegeringselement zink
- 005: Specifieke legering
- T5: Toestand van de legering: oplosgloeien, afschrikken en precipatieharden.

Het hoofdlegeringsbestanddeel en de toestand van de legering staan in de volgende tabellen:

Hoofdgroep	Hoofdlegeringselement(en)	Legering
1 1XXX	geen elementen	zuiver aluminium, > 99,5% Al
2 2XXX	koper	Al-Cu
3 3XXX	mangaan	Al-Mn
4 4XXX	silicium	Al-Si
5 5XXX	magnesium	Al-Mg
6 6XXX	magnesium + silicium	Al-Mg-Si
7 7XXX	zink	Al-Zn
8 8XXX	overige elementen	Al-overige

Hoofdlegeringsbestanddeel

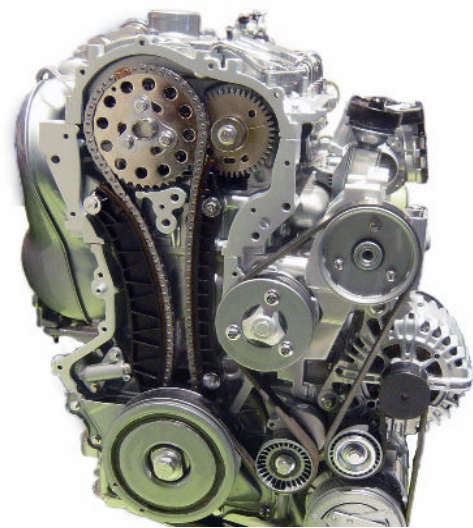
Aanduiding	Toestand legering
F	Ongecontroleerd
O	Zachtgegloeid
H	Verstevigd door koudvervormen
AQ	Zachte, niet stabiele toestand
W	Niet stabiele toestand
T	Oplosgloeien, afschrikken en precipatieharden

Toestand legering

Aluminium gietlegeringen

Aluminium gietlegeringen worden gevormd door de vloeibare legering in een eindvorm te gieten. Ze worden bijvoorbeeld toegepast in zwaarbelaste of dunwandige machine-onderdelen. Verder worden ze toegepast in pomphuizen en schroefbladen, in de scheepsbouw en in de voedingsmiddelenindustrie. Automotoren en zuigers worden van een Al-Si-Cu-Ni-Mg-legering gemaakt, vanwege:

- de goede warmtesterkte
- de goede warmtegeleidbaarheid
- een geringe uitzettingscoëfficiënt
- een grote vermoeiingsterkte
- goede glijeigenschappen.



Motorblok van spuitgietwerk

Gietbaarheid en gasopname

Aluminium gietlegeringen moeten uiteraard goed gietbaar zijn. Dit betekent dat de legering:

- dunvloeibaar moet zijn
- een goed vullend vermogen moet hebben
- goede stollingseigenschappen moet hebben.

Aluminiumlegeringen met 8 - 12% silicium (Al-Si) zijn uitstekend te gieten (vooral legeringen met 12% Si).

Aanduiding gietlegeringen

In een tabellenboek vind je de materiaaleigenschappen en toepassingen van veel voorkomende gietlegeringen.

Voorbeeld

Aluminium gietlegeringen met aanduiding EN AC 44300 S.

Dit betekent:

- EN: Europese Norm
- A: Aluminium
- C: Gietlegering (C = Cast)
- 4: Hoofdlegeringselement: silicium
- 4: Legeringsgroep: Al-Si
- 300: Specifieke legering
- S: Gebruikt gietproces: spuitgieten.

Het hoofdlegeringselement, de legeringsgroep en het gebruikte gietproces staan in de volgende tabellen:

Hoofdgroep	Hoofdlegeringselement	Legeringsgroep
1 1XX.X	geen elementen	zuiver aluminium, > 99,5%
2 2XX.X	koper	Al-Cu
3 3XX.X	silicium+koper of magnesium	Al-Si-Cu of Al-Si-Mg
4 4XX.X	silicium	Al-Si
5 5XX.X	magnesium	Al-Mg
6 6XX.X	ongebruikte groep	-
7 7XX.X	zink	Al-Zn
8 8XX.X	tin	Al-Sn
9 9XX.X	andere elementen	Al-andere elementen

Hoofdlegeringselement, legeringsgroep

Afkorting	Gietproces
S	Spuitsieten
Z	Zandgieten
C	Coquillegieten
B	Bijzondere toepassing

Gietproces



4. Noem één eis die wordt gesteld aan een aluminium gietlegering.

1.3 Verwerken van aluminium

Aluminium is een veelzijdig materiaal dat op verschillende manieren verwerkt kan worden tot eindproducten. Bijvoorbeeld door:

- vormgevende technieken
- verbindende technieken
- scheidende technieken.

Vormgevende technieken

Je kunt aluminium vormgeven door het materiaal koud te vervormen of door het te gieten.

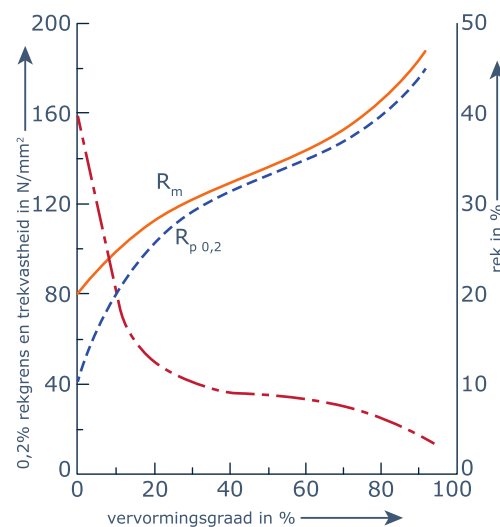
Koudvervormen

Je kunt aluminium tot producten omvormen met dezelfde gereedschappen en machines als bijvoorbeeld staal. Bijvoorbeeld door het aluminium te strekken, dieptrekken, forceren, hameren of buigen. Je moet er dan rekening mee houden dat aluminium andere materiaaleigenschappen heeft dan staal, en zich dus anders gedraagt bij het omvormen.

Niet-veredelbare kneedlegeringen zijn het best vervormbaar. De sterkte loopt op van de 1xxx-serie tot de 5xxx-serie. Veredelbare kneedlegeringen zijn goed vervormbaar, maar ze zijn (door hun grotere sterkte) minder goed vervormbaar dan niet-veredelbare kneedlegeringen.

Als je aluminium koud vervormt, wordt het materiaal vervormd tot in het plastisch gebied van de trekkromme. De vormverandering is dus blijvend. Dit noem je *plastische deformatie*. Door plastische deformatie wordt het materiaal stugger: er treedt *verstevinging* op.

Hoe groter de vervorming, hoe meer de weerstand tegen vervorming toeneemt. De vorm van de trekkromme verandert na koud vervormen, er treedt verstevinging op. Het materiaal wordt stugger, sterker maar ook brosser.



Involed vervorming op de trekkromme
(EN AW 1050)

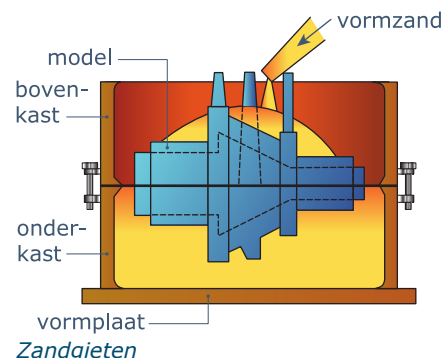
Gieten

Er zijn verschillende gietmethoden om aluminium gietlegeringen te verwerken tot eindproducten:

- zandgieten
- coquillegieten
- spuitgieten

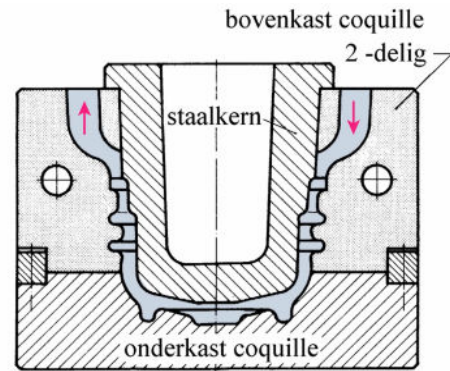
Zandgieten

Bij het zandgieten wordt een model gemaakt dat de vorm heeft van het eindproduct. Met dit model worden uitsparingen gemaakt in het zand in een onderkast en een bovenkast. Daarna wordt het model weggenomen en wordt de bovenkast op de onderkast geplaatst. De holte die is ontstaan, wordt vervolgens gevuld met vloeibaar aluminium.



Coquillegieten

Bij het coquillegieten wordt de gietvorm gemaakt van gietijzer of gietstaal. De gietvorm is dus een permanente matrijs, die gebruikt kan worden voor serieproductie. Vanwege de kostprijs van het maken van de gietvorm is de minimale seriegrootte 500 stuks. Het gietstuk heeft een goede nauwkeurigheid. Daardoor is er nauwelijks nabewerking nodig.



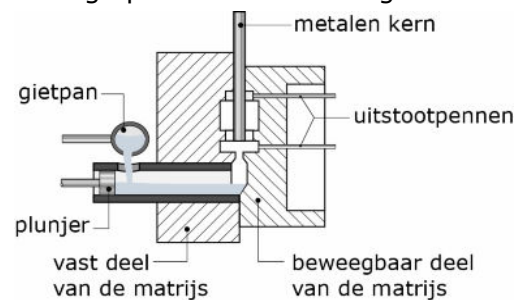
Coquillegieten

De volgende producten worden gemaakt door middel van coquillegieten:

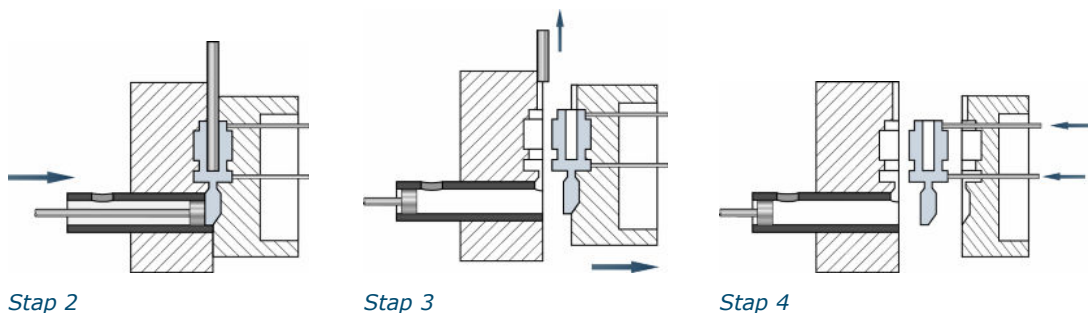
- cilinderkoppen
- spuitstukken
- autowielen

Spuitgieten

Spuitgieten wordt het meest toegepast voor het gieten van aluminium. Hierbij wordt het vloeibare aluminium onder hoge druk in een matrijs gespoten. Met het spuitgietproces kunnen ingewikkelde en dunwandige producten worden gemaakt. De maatnauwkeurigheid is zeer hoog en de structuur erg dicht. De investeringskosten voor de spuitgietmachine en het maken van matrijzen zijn hoog. Daarom is de minimale seriegrootte 10.000 stuks.



Spuitgieten van aluminium - Stap 1



Verbindende technieken

Je kunt aluminium goed lijmen en solderen, maar dit is vrij omslachtig omdat je eerst de oxidehuid moet verwijderen. Om contactcorrosie te voorkomen moet je bij bout- en klinkverbindingen een bout of klinknagel van aluminium gebruiken.

Lassen

Lassen is de meest toegepaste techniek voor het verbinden van aluminium. Aluminium is lasbaar met diverse lasprocessen. Door de grotere warmtegeleiding ten opzichte van staal is er bij het lassen van aluminium meer warmte nodig. Verder kan het aluminiumoxide in het smeltbad terecht komen en daar insluitingen veroorzaken. Je moet het te lassen werkstuk en het toevoegmateriaal schoon en droog maken. Daarmee voorkom je porositeit en insluitingen.

Lasprocessen

Je kunt de meeste kneedlegeringen in de 1xxx-, 3xxx-, 5xxx-, 6xxx-, en sommige 7xxx- series lassen met het TIG- of MIG-proces. Verder kun je lasprocessen zoals plasma- en laserlassen toepassen. Vooral de 5xxx- legeringen zijn uitstekend lasbaar. De 2xxx- legeringen en sommige 7xxx- legeringen (7010 en 7050) zijn erg gevoelig voor het ontstaan van warmte-scheuren en stollingsscheuren in de lasverbinding. Deze legeringen worden daarom vaak gelast door wrijvingslassen (Friction Stir Welding). Bij wrijvingslassen smelt het materiaal niet, maar wordt het aan elkaar gesmeed door de wrijvingswarmte van een ronddraaiend gereedschap.

Weerstandlassen

Bij het weerstandlassen van aluminium wordt meestal gebruikgemaakt van de lastechniek puntlassen. Hierbij worden twee delen van het aluminiumwerkstuk tussen elektroden geklemd, waarbij een hoge stroom door de contactpunten wordt gestuurd. Het puntlassen van aluminium wordt toegepast in de auto-industrie, onder andere voor het lassen van carrosseriedelen.



Weerstandlassen carrosseriedelen

Toevoegmaterialen

Voor niet-veredelbare kneedlegeringen gebruik je meestal toevoegmaterialen met dezelfde samenstelling als het basismateriaal. Bij ongeleerde en veredelbare kneedlegeringen wijkt de samenstelling van het toevoegmateriaal af van de samenstelling van het basismateriaal. Hierdoor worden stollingsscheuren voorkomen.

Defecten en afwijkingen

Aluminium is zeer gevoelig voor het ontstaan van porositeit. Porositeit wordt veroorzaakt door waterstofopname tijdens de stolling van het smeltbad. Het waterstof kan bijvoorbeeld afkomstig zijn uit de lucht, uit vocht op het basismateriaal of uit waterdamp in het beschermgas. Je kunt porositeit voorkomen door het werkstuk grondig te reinigen en goed te drogen.

In het hart van de lasrups kunnen tijdens en na de stolling scheuren ontstaan. Deze stollingsscheuren worden veroorzaakt door krimpspanningen en door de hoge uitzettingscoëfficiënt van aluminium (deze is ± 5 x hoger dan staal). Je kunt stollingsscheuren voorkomen door het juiste toevoegmateriaal en een gunstige lasvorm te kiezen, en flexibele constructie-elementen en opspangereedschap te kiezen.

In de warmtebeïnvloede zone (WBZ of HAZ) kunnen warmtescheuren ontstaan. Deze worden veroorzaakt door vloeibare laagjes op de korrelgrenzen die ter plaatse de samenhang van het materiaal verminderen. Je kunt warmtescheuren voorkomen door toevoegmateriaal te gebruiken met een lager smelttraject dan het basismateriaal. Tot slot kan de las een slecht uiterlijk hebben. Er ontstaan dan bijvoorbeeld bindingsfouten, inkartelingen en slechte naadvullingen. Deze fouten zijn te voorkomen door de lasparameters juist in te stellen. Het vakmanschap van de lasser speelt hierbij ook een grote rol.

Scheidende technieken

De meeste scheidende technieken zijn goed toepasbaar op aluminium en aluminiumlegeringen.

Knippen, ponsen en nibbelen

Bij knippen, ponsen en nibbelen van aluminium moet het gereedschap schoon en scherp zijn. Verder moet de snijspleet goed ingesteld worden (15% van de materiaaldikte voor de hardste legeringen tot 5% voor de zachtste legeringen). Als aan deze voorwaarden wordt voldaan krijg je een nette snijrand.

Snijden

Waterstraalsnijden aluminium

Aluminium en aluminiumlegeringen zijn goed te waterstraalsnijden. Bij waterstraalsnijden wordt het snedevlak niet thermisch beïnvloed en is de snede bijna altijd braamvrij. Je kunt complexe contouren snijden in materiaaldiktes van 0,1 tot 100 mm. De snijsnelheid ligt vrij laag (5 m/min).



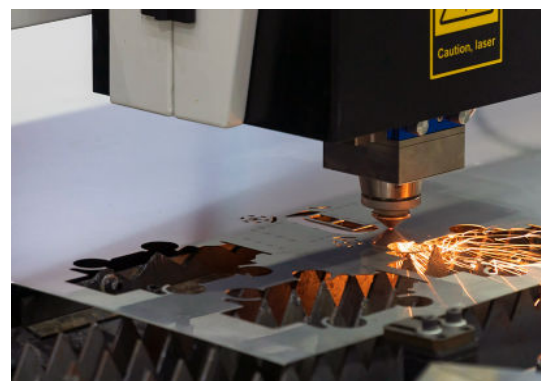
Waterstraalsnijden

Plasmasnijden aluminium

Plasmasnijden is toepasbaar op materiaaldiktes van 1 mm tot 25 mm. De warmtebeïnvloede zone wordt groter als de materiaaldikte toeneemt. Bij dunne plaat is de grootte ongeveer 1 mm. De maximale snijsnelheid is ± 10 m/min.

Lasersnijden aluminium

Lasersnijden is toepasbaar tot een materiaaldikte van circa 8 mm. Je kunt hiermee zeer dun materiaal snijden (bijvoorbeeld folie). Lasersnijden levert over het algemeen een betere snedekwaliteit op dan plasmasnijden. De warmtebeïnvloede zone is ongeveer 0,1 mm. De maximale snijsnelheid is ± 10 m/min bij een materiaaldikte van 1 mm. Bij grotere materiaaldiktes neemt de snijsnelheid evenredig af.

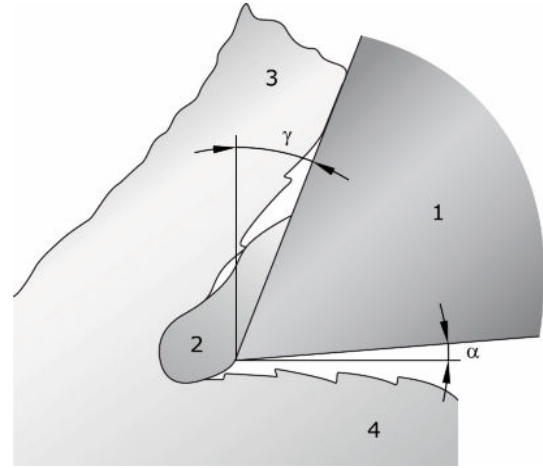


Dun materiaal met de laser gesneden

Verspanen

Ongelegeerd aluminium is minder goed verspaanbaar. Dit komt door de grote taaiheid, wat lange spanen oplevert, en door het versmeren van het verspanend gereedschap. Toch is dit materiaal over het algemeen makkelijker te verspanen dan staal, vanwege de lagere hardheid en de kleinere benodigde verspaningskrachten.

Bij het verspanen(3) ontstaat er veel wrijving tussen het aluminium en het gereedschap (1). Daardoor ontstaat er een opbouwsnijkant (2) (valse snijkant). Deze snijkant heeft een negatieve invloed op de beitelhoeken en de oppervlaktegestelheid (4) van het materiaal.



Aluminium verspanen

Dit is tegen te gaan door de volgende maatregelen:

- hogere snijsnelheid
- grotere voeding
- grotere spaanhoek
- koelvloeistof voor aluminium gebruiken
- gereedschap met coating gebruiken.

De meeste aluminiumlegeringen hebben een korte spaan en zijn goed te verspanen. Aluminiumlegeringen met lood en/of bismut zijn daarnaast goed geautomatiseerd te verspanen.



5. Waarom is spuitgieten van aluminium alleen zinvol bij grote series?



6. Waarom is ongelegeerd aluminium slecht verspaanbaar?



7. Noem een aandachtspunt bij het lassen van aluminium, waarmee je geen rekening hoeft te houden bij het lassen van staal.

1.4 Samenvatting

- Ongelegeerd aluminium:
 - Mechanische eigenschappen:
lage treksterkte, lage rekgrens, lage stijfheid
 - Fysische eigenschappen:
lage dichtheid, kleurloos, smaakloos, reukloos, dampdicht, goed warmte- en elektriciteitsgeleidend, niet magnetisch
 - Chemische eigenschappen:
niet bestand tegen loog en basische stoffen, bestand tegen algemene corrosie, niet bestand tegen contact- en spanningserosie
 - Technologische eigenschappen:
goed plastisch vervormbaar, verstevigend, slecht gietbaar, slecht verspaanbaar, lastig te solderen en lijmen.
- Er zijn aluminium kneedlegeringen en aluminium gietlegeringen.
- Niet-veredelbare kneedlegeringen:
 - sterkte kan niet worden vergroot door een warmtebehandeling
 - Al-Mg en Al-Mn
 - Al-Mg-legeringen: mengkristalhardend, goed bestand tegen corrosie, lasbaar zonder beïnvloeding materiaaleigenschappen.
- Veredelbare kneedlegeringen:
 - sterkte kan worden vergroot door een warmtebehandeling (precipatieharden)
 - Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg.
- Gietlegeringen:
 - dunvloeibaar
 - goed vullend vermogen
 - goede stollingseigenschappen
 - gasopname voorkomen.
- Verwerkingsmethoden voor aluminium:
 - gieten:
zandgieten, coquillegieten, spuitgieten
 - verspanen:
ongelegeerd aluminium is slecht verspaanbaar
 - lassen:
TIG, MIG, weerstandslasen
 - verbinden:
solderen en lijmen, bout- en klinkverbindingen.

1.5 Antwoorden

Antwoord 1

De lage dichtheid (en daardoor het lage gewicht) heeft vooral gezorgd voor de populariteit van aluminium.

Antwoord 2

Al-Mg legeringen

Antwoord 3

Al-Zn-Mg, omdat de materiaaleigenschappen zich vanzelf herstellen na het lassen.

Antwoord 4

- moet dunvloeibaar zijn
- moet goed vullend vermogen hebben
- moet goede stollingseigenschappen hebben.

Antwoord 5

De investeringskosten voor de spuitgietmachine en het maken van een matrijs zijn hoog.

Antwoord 6

Door de hoge taatheid ontstaan er lange spanen. Het materiaal versmeert het gereedschap.

Antwoord 7

Er kan aluminiumoxide in het smeltbad terecht komen.

2 Vragen Aluminium en aluminiumlegeringen

Vraag 1

Ongelegeerd aluminium wordt niet gebruikt in dragende constructies.

Waarom niet?

- ☐ Omdat het materiaal een hoge rekgrens heeft.
- ☐ Omdat het materiaal een lage treksterkte heeft.
- ☐ Omdat het materiaal een lage dichtheid heeft.

Vraag 2

Aluminium fietsframes hebben vaak een veel grotere doorsnede dan stalen fietsframes.

Waarom?

- ☐ Aluminium heeft een lagere stijfheid dan staal.
- ☐ Aluminium heeft een hogere treksterkte dan staal.
- ☐ Aluminium is goedkoper dan staal.

Vraag 3

Van welk soort aluminium wordt aluminiumfolie gemaakt?

- ☐ ongelegeerd aluminium
- ☐ aluminium kneedlegering
- ☐ aluminium gietlegering

Vraag 4

Aluminium geleidt minder goed elektriciteit dan koper.

Waarom wordt aluminium toch steeds vaker toegepast voor de geleiding van elektriciteit?

- ☐ Vanwege de lagere kostprijs van aluminium.
- ☐ Aluminium geleidt grote elektrische stromen beter.
- ☐ Aluminium is ook een goede warmtegeleider.

Vraag 5

Je wilt een pan voor een campingkookset maken door middel van het dieptrekproces.

Welk materiaal is daarvoor het meest geschikt?

- ☐ staal
- ☐ aluminium
- ☐ gietijzer

Vraag 6

Je wilt een pan voor een campingkookset maken door middel van het dieptrekproces.

Waarom wordt gekozen voor het materiaal aluminium in plaats van staal of gietijzer?

Vraag 7

Welke niet-veredelbare aluminium kneedlegeringen zijn goed lasbaar?

- ☐ Al-Mg-legeringen
- ☐ Al-Mn-legeringen
- ☐ Al-Mg-Si-legeringen

Vraag 8

Welke veredelbare aluminium kneedlegeringen zijn goed lasbaar?

- ☐ Al-Cu-Mn-legeringen
- ☐ Al-Mg-Si-legeringen
- ☐ Al-Mn-legeringen

Vraag 9

Welke invloed heeft koper als legeringsmateriaal op de materiaaleigenschappen van aluminium?

- ☐ verhoogt de treksterkte
- ☐ verbetert de brosheid
- ☐ verbetert de gietbaarheid

Vraag 10

Verklaar de aanduiding van de volgende aluminium kneedlegering:

EN AW 6082 T4.

Gebruik een tabellenboek.

Vraag 11

Welke materiaaleigenschappen moet een aluminium gietlegering hebben voor gebruik in automotoren en zuigers?

Er zijn twee juiste antwoorden.

- ☐ goede warmtesterkte
- ☐ bestand tegen zeer lage temperaturen
- ☐ bestand tegen statische belastingen
- ☐ geringe uitzettingscoëfficiënt

Vraag 12

Verklaar de aanduiding van de volgende aluminium gietlegering:

EN AC 43400 T6.

Gebruik een tabellenboek.

Vraag 13

Welke mechanische eigenschappen worden verbeterd door versteviging van aluminium?

Er zijn twee juiste antwoorden.

- ☐ treksterkte
- ☐ brosheid
- ☐ stijfheid
- ☐ elasticiteit

Vraag 14

Hoe kun je de verspaanbaarheid van ongelegeerd aluminium verbeteren?

Noem drie maatregelen die je kunt nemen.

Vraag 15

Waarom wordt aluminium bij voorkeur TIG-gelast met wisselstroom?

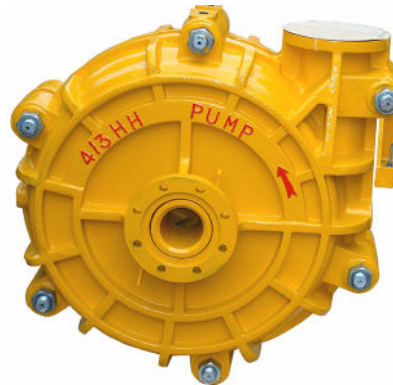
3 Gietijzer en gietstaal

Inleiding

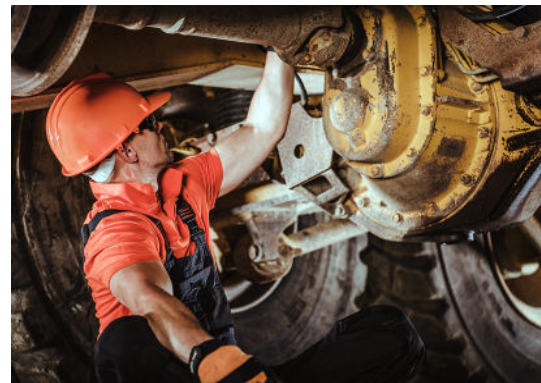
Gieten is al een zeer oude manier om producten vorm te geven. Gietijzer en gietstaal zijn veel gebruikte gietmetalen. Het zijn materialen met goede mechanische eigenschappen en een uitstekende gietbaarheid.

Gietijzer wordt toegepast in putdeksels, machineframes (bijvoorbeeld van scheepsdieselmotoren) en in pompen en afsluiters in hoog corrosieve omstandigheden.

In een vrachtauto zit zo'n 2000 kg aan gietijzeren onderdelen. Bijvoorbeeld in het differentieelhuis, draagstukken en steunen, het stuurhuis, tandwielen, tandwielkasten, de krukas en het uitlaatspruitstuk.



Pomphuis van gietijzer



Gietijzeren onderdelen

Leerdoelen

Je kunt:

- verschillende gietijzersoorten benoemen
- uitleggen hoe de structuur van gietijzer er uitziet
- legeringselementen voor gietijzer noemen, met hun toepassing
- de bewerkbaarheid aangeven per gietijzersoort
- de aanduidingen van gietijzer en gietstaal lezen en opzoeken
- aangeven wat het verschil is tussen gietijzer en gietstaal
- de voor- en nadelen van gietijzer en gietstaal aangeven.

3.1 Gietijzer

Gietijzer wordt gemaakt door ruwijzer (uit de hoogoven) samen met cokes en kalk om te smelten in een koepeloven, inductie-oven of trommeloven. Gietijzer is een legering van ijzer, koolstof (2 - 4,5%), silicium (1,5 - 3,5%) en mangaan (max 1%). De smelttemperatuur ligt tussen de 1200 en 1400°C.

Je gebruikt gietijzer voor ingewikkelde machine-onderdelen en voor andere voorwerpen die je door middel van gieten in de juiste vorm kunt brengen.



Gietijzer is een goede warmtegeleider



Ingewikkelde productvormen

Materiaaleigenschappen

Gietijzer heeft de volgende positieve materiaaleigenschappen:

- goede gietbaarheid (weinig krimp, lage giettemperatuur, goed vullend vermogen)
- dempt trillingen (o.a. belangrijk voor machineframes)
- goed bestand tegen drukkrachten
- smerende werking door grafiet (belangrijk bij gebruik als lagermateriaal)
- goed verspaanbaar
- goedkoop.

Daarnaast heeft gietijzer ook een aantal negatieve materiaaleigenschappen:

- kan geen trekkrachten opnemen (bij vrije koolstofdeeltjes)
- niet koud vervormbaar (grote brosheid, lage treksterkte)
- slecht lasbaar.

De negatieve materiaaleigenschappen van gietijzer zijn te verbeteren door warmtebehandelingen, of door het gietijzer te legeren (met behoud van de positieve materiaaleigenschappen).

Materiaalstructuur

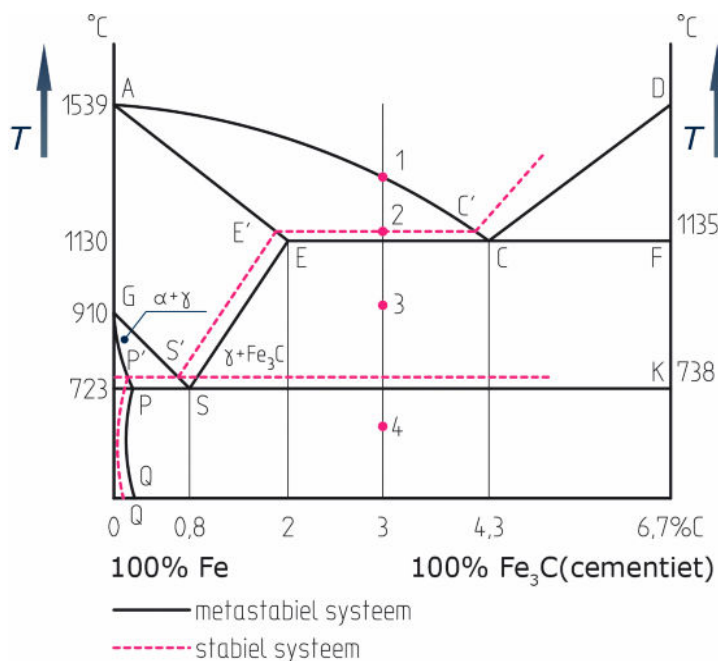
De vorm waarin koolstof in het ijzer voorkomt bepaalt de mechanische eigenschappen. Gietijzer wordt op basis van zijn materiaalstructuur ingedeeld in:

- Gietijzer met koolstof als vrije grafiet in de vorm van:
 - Lamellen (Lamellair grijs gietijzer)
 - Bollen (Nodulair grijs gietijzer)
 - Nesten (Temperijzer)
- Gietijzer met koolstof gebonden aan ijzer tot cementiet (Fe_3C):
 - Wit gietijzer (wit breukvlak)
- Gietijzer met koolstof opgelost in ijzer:
 - Austenitisch gietijzer

Stabiël- en metastabiël systeem

Je kunt de materiaalstructuur van gietijzer verklaren met het *stabiële ijzer-koolstofdiagram* en het *metastabiële ijzer-cementietdiagram*.

Bij het stabiele systeem wordt er langzaam afgekoeld, waardoor de opgeloste elementen hun plaats in kunnen nemen. Bij het metastabiele systeem wordt snel afgekoeld, waardoor de opgeloste elementen geen tijd meer hebben om hun plaats in te nemen.



Stabiël- en metastabiël systeem

3.2 Gietijzersoorten

Gietijzersoorten worden ingedeeld naar:

- de kleur van het breukvlak van een proefstaaf bij de trekproef (grijs, wit)
- de structuur van de grondmassa (matrix) en de vorm waarin de koolstof voorkomt in het gietijzer.

Grondmassa en koolstofvorm

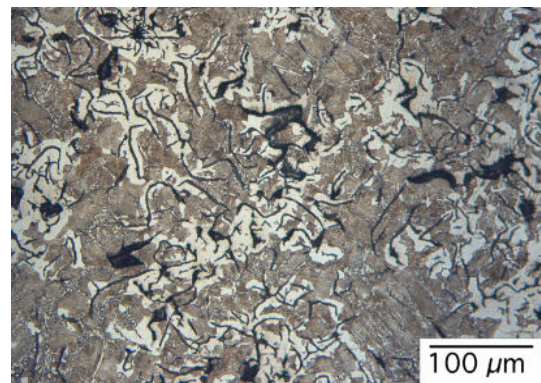
Grondmassa	Koolstofvorm		
	Lamellair	Nodulair	Fe ₃ C
perliet + ferriet	Lamellair (grijs) gietijzer	Nodulair (grijs) gietijzer	
perliet	Perlitisch lamellair gietijzer	Perlitisch nodulair gietijzer	
ferriet	Ferritisch lamellair gietijzer	Ferritisch nodulair gietijzer	
perliet + cementiet			Wit gietijzer
austeniet	Austenitisch lamellair gietijzer	Austenitisch nodulair gietijzer	

Matrix grondmassa en koolstofvorm

Ferritisch lamellair gietijzer

In *ferritisch lamellair gietijzer* is alle koolstof afgescheiden in de vorm van grove lamellen grafiet. Door de grove grafiet wordt de treksterkte ongunstig beïnvloed. Het materiaal is zacht en zeer goed bewerkbaar.

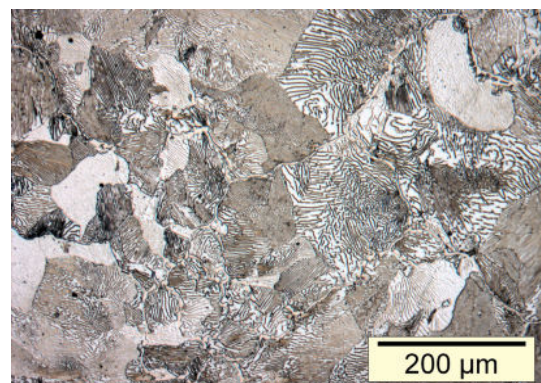
Ferritisch gietijzer wordt gebruikt voor gietwerk waaraan geen hoge eisen worden gesteld.



Ferritisch lamellair gietijzer

Perlitisch lamellair gietijzer

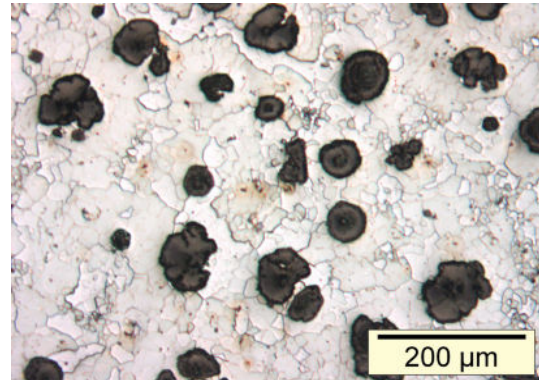
Perlitisch lamellair gietijzer heeft een grondmassa van perliet met grafietlamellen. Je ziet dat hier de koolstof heel fijn verdeeld is.



Perlitisch lamellair gietijzer

Nodulair grijs gietijzer

In nodulair grijs gietijzer vormt zich bolvormig grafiet. Door deze bolvorm is de elasticiteitsmodulus tweemaal groter dan bij lamellair grijs gietijzer. De bewerkbaarheid is goed. Het dempend vermogen van nodulair grijs gietijzer is klein. Het is dus minder geschikt voor machineframes. Het materiaal is redelijk lasbaar.



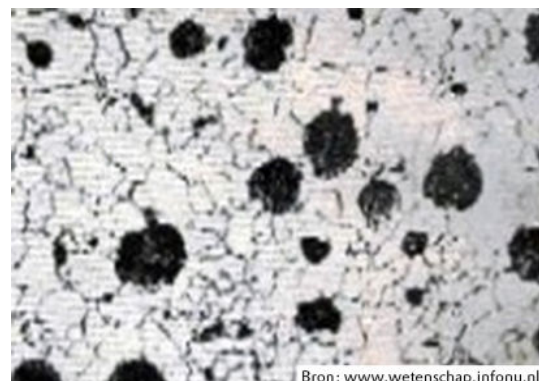
Nodulair grijs gietijzer

Meehanite

Meehanite lijkt veel op perlitisch gietijzer. Aan perlitisch gietijzer wordt staalschroot toegevoegd. Dit bevordert een fijn verdeelde grafietafscheiding. Een voordeel van Meehanite ten opzichte van normaal grijs gietijzer is de onafhankelijkheid van de metaalstructuur van de gietstukwanddikte. Meehanite is hard en bros en moeilijk te bewerken.

Austenitisch gietijzer

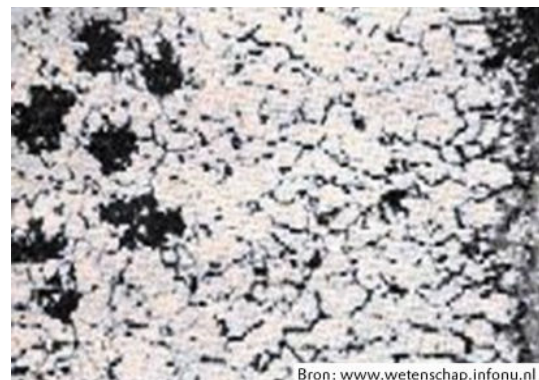
Aan austenitisch gietijzer zijn legeringselementen toegevoegd (meestal nikkel). Austenitisch gietijzer heeft een grote treksterkte en een grote weerstand tegen corrosie. Het materiaal is niet magnetisch.



Austenitisch gietijzer

Wit temperijzer

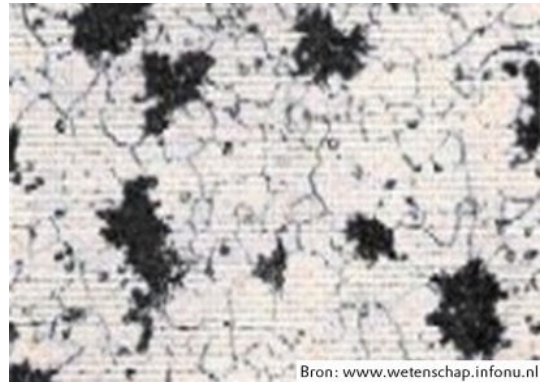
Wit temperijzer wordt gemaakt door wit gietijzer ongeveer één week in een oxiderende omgeving (bijvoorbeeld ijzererts) te gloeien, op 900 - 950°C. Hierdoor wordt de buitenkant van het materiaal ontkoold. De buitenkant bestaat dan uit zacht en taai ferriet. Deze methode wordt gloeifrissen genoemd. De aanduiding 'wit' komt van de kleur van de buitenste schil van het gietstuk.



Temperijzer

Zwart temperijzer

Zwart temperijzer wordt gemaakt door wit gietijzer een warmtebehandeling te geven. Daarbij wordt de cementiet ontleed in ferriet en grafiet. Het verschil met wit temperijzer is, dat er tijdens het gloeien geen lucht kan toetreden. Bij contact met de lucht zou de buitenkant van het gietstuk ontkolen, wat bij wit temperijzer wel het geval is.



Zwart temperijzer



1. Hoe ziet de structuur eruit van perlitisch lamellair grijs gietijzer?



2. Waaruit bestaat nodulair grijs gietijzer?



3. Wat is het voordeel van Meehanite ten opzichte van grijs gietijzer?

3.3 Aanduidingen van gietijzer

Gietijzer kan volgens twee normen worden aangeduid:

- Europese norm: NEN-EN 1560
- Duitse Industrie Norm: DIN 1690.

Beide normen mogen worden gebruikt. Een leverancier bepaalt zelf welke normering wordt gebruikt.

Aanduiding volgens NEN-EN 1560

Volgens Euronorm NEN-EN 1560 kan gietijzer op twee verschillende manieren worden aangeduid:

- met symbolen
- met nummers.

Aanduiding met symbolen

Gietijzer is te herkennen aan de symbolen GJ, waarin G staat voor gieten en J staat voor ijzer.

Voorbeeld

EN-GJL-350: Lamellair gietijzer met een treksterkte van 350 N/mm²

De aanduiding in symbolen mag maximaal zes posities innemen. Niet alle posities hoeven te worden gebruikt.

Positie 1: EN, mag alleen voor genormeerde materialen worden gebruikt

Positie 2: Symbool voor Gietijzer, symbolen GJ met G=gieten en J=ijzer

Positie 3: Symbool voor grafietstructuur:

L	Lamellair
S	Nodulair
M	Smeedbaar
V	Vermiculair
N	Geen grafiet (hard), ledeburitisch
Y	Speciale structuur, aangegeven in de relevante materiaalnorm

Grafietstructuur

Positie 4: Symbool voor micro- of macrostructuur

A	Austeniet
F	Ferriet
P	Perliet
M	Martensiet
L	Ledeburiet
Q	Afgeschrikt
T	Veredeld
B	Frisijzer met zwarte kern
W	Gefrist smeedbaar gietijzer

Micro- of macrostructuur

Positie 5: Symbool voor de mechanische eigenschappen of chemische samenstelling. Bij de mechanische eigenschappen wordt er een eigenschap als treksterkte, rek, kerfslagwaarde of hardheid aangeduid met cijfers en met letters over de productiemethode van de monster. Bij de indeling op chemische samenstelling moet de letter X het eerste symbool op positie 5 zijn gevolgd door de chemische samenstelling. De samenstelling van elementen moet in procenten worden aangegeven.

Positie 6: Symbool voor aanvullende eisen.

D	Gietstuk in gegoten toestand
H	Warmtebehandeld gietstuk
W	Lasbaarheid voor lasverbindingen
Z	Aanvullende eisen

Aanvullende eisen

Aanduiding met nummers

Deze aanduiding van gietijzer moet bestaan uit 9 tekens. Het eerste, tweede, vierde en vijfde teken zijn hoofdletters. Het derde symbool is een koppelteken en de zesde tot en met de negende zijn cijfers.

Positie 1 tot en met 3: EN

Positie 4: de letter J = gietijzer

Positie 5: symbool voor de grafietstructuur

Positie 6: getal met 1 cijfer die de belangrijkste eigenschap van gietijzer aangeeft.

0	Reserve
1	Treksterkte
2	Hardheid
3	Chemische samenstelling
4	Reserve
5	Reserve
6	Reserve
7	Reserve
8	Reserve
9	Reserve

Belangrijkste eigenschap van gietijzer

Positie 7 en 8: een getal met 2 cijfers van 00 tot en met 99 die het individuele materiaal aangeeft.

Positie 9: een getal met 1 cijfer dat de specifieke eisen van het materiaal aangeeft.

0	Geen specifieke eisen
1	Apart gegoten monster
2	Aangegoten monster
3	Monster genomen uit een gietstuk
4	Kerfslagwaarde bij omgevingstemperatuur
5	Kerfslagwaarde bij lage temperatuur
6	Gespecificeerde lasbaarheid
7	Gietstuk in gegoten toestand
8	Warmtebehandeld gietstuk
9	Aanvullende eisen tijdens de bestelling

Specifieke eisen

Aanduiding volgens DIN 1690

Basissymbool	Voorbeeld	Omschrijving
GG	GG	grijs gietijzer (lamellair)
GG 0,2	GG 20	grijs gietijzer met een minimum treksterkte van 0,2 kN/mm ²
GG 0,3	GG 30	grijs gietijzer met een minimum treksterkte van 0,3 kN/mm ²
GN	GN 40	ferritisch gietijzer (nodulair) met een minimum treksterkte van 0,4 kN/mm ²
	GN 40,3	ferritisch gietijzer (nodulair) met een minimum treksterkte van 0,4 kN/mm ²
	GN 50	ferritisch/perlitisch gietijzer (nodulair) met een minimum treksterkte van 0,5 kN/mm ²
	GN 60	perlitisch gietijzer (nodulair) met een minimum treksterkte van 0,6 kN/mm ²
Hooggelegerde gietijzersoorten	ADI	Austenitic Ductile Iron met een hoog nikkel- en molybdeengehalte en een zeer hoge drukkbestendigheid met een minimum treksterkte van 1 kN/mm ²
	SIMO	Ferritisch gietijzer met een hoog silicium- en molybdeengehalte voor corrosiebestendigheid

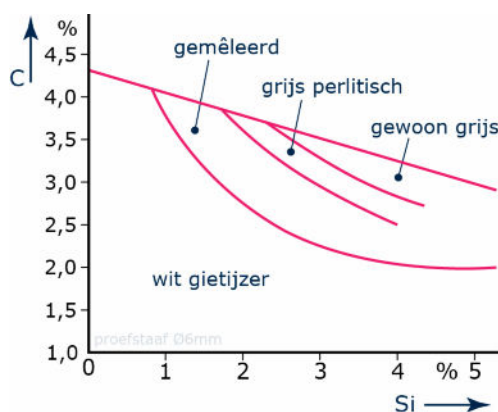
3.4 Toepassingen van gietijzer

Soort	aan- duiding	treksterkte (N/mm ²)	toepassingen
Grijs gietijzer	GG	-	Gietwerk waaraan geen sterkte-eisen worden gesteld.
	GGz	-	Krasblokvoetjes, moeren voor draadspillen, schakelkasten, tandwielkasten.
	GG15	150	Frames voor machines, tandwielen onderdelen die bestand moeten zijn tegen slijtage, zoals: cilinders voor verbrandingsmotoren en plunjerpompen.
	GG20	200	
	GG25 GG30	250 300	Gietwerk waaraan hoge sterkte-eisen worden gesteld en goed bestand moet zijn tegen slijtage.
Wit gietijzer	GW	-	Straalpijpen voor staalstralen.
Harde schil gietijzer	GH	-	Walsrollen onderdelen voor landbouwwerktuigen en steenbrekers.
Smeedbaar gietijzer	GSm	350	Wielnaven, remtrommels, tandwielen en pijpfittingen.
Perlitisch gietijzer	GP	450-700	Cilinders en cilindervoeringen.
Nodulair gietijzer	GN	400-800	Zwaarbelaste motor- en machineonderdelen.

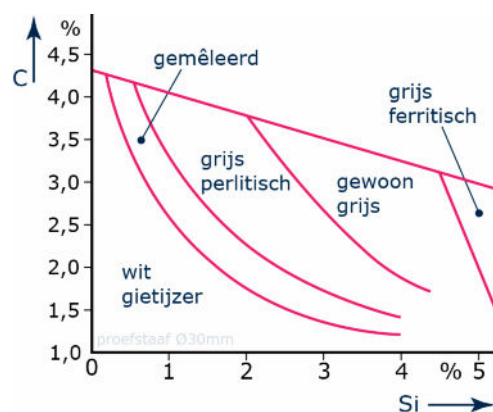
Wanddiktegevoeligheid

Gietwerk is wanddiktegevoelig. De onderzoeker Weichelt toonde aan dat er bij verschillende afkoelsnelheden verschillende structuren ontstaan, die verschillen in volume. Zo ontstaan er interne spanningen. Het Weicheltdiagram geeft het verband aan tussen de materiaaldikte, de afkoelsnelheid en de materiaalstructuur.

In het rechterdiagram zie je de structuur bij afkoeling van een staaf van 30 mm doorsnede. In het linkerdiagram zie je de veel snellere afkoeling van een staaf van 6 mm doorsnede. In de staaf van 30 mm doorsnede ontstaat grijs perlitisch gietijzer. In de staaf van 6 mm doorsnede ontstaat bij dezelfde samenstelling wit gietijzer.



Proefstaaf 6 mm



Proefstaaf 30 mm

3.5 Gelegeerd gietijzer

Men kan gietijzer met diverse elementen legeren om de materiaaleigenschappen te verbeteren:

Legerings-elementen	Percentage	Verbeterde eigenschappen	Opmerkingen
Chroom (Cr)	0,15% - 1%	Treksterkte, hardheid, corrosie-vastheid, wanddiktegevoeligheid, kerfslagwaarde, vermoeiingssterkte, temperatuurbestendigheid	Cilinderkoppen, tandwielkasten.
Silicium (Si)	1,5% - 3,5%	Trillingsdempend vermogen	Bevordert afscheiding van grafiet
Koper (Cu)	0,25% - 2,5%	Stijfheid, corrosievastheid, wanddiktegevoeligheid, kerfslagwaarde, vermoeiingssterkte	Meestal in combinatie met Chroom of Molybdeen.
Molybdeen (Mo)	Varieert sterk	Temperatuurbestendigheid, treksterkte, wanddiktegevoeligheid, kerfslagwaarde, vermoeiingssterkte	
Nikkel (Ni)	4,5%	Hardheid, corrosievastheid, wanddiktegevoeligheid, kerfslagwaarde, vermoeiingssterkte	Bevordert afscheiding van grafiet.
Vanadium (V)	0,1% - 0,25%	Hardheid, temperatuurbestendigheid	
Magnesium (Mg)	Varieert sterk	Treksterkte, taaiheid, temperatuurbestendigheid	Bevordert groei van nodulair grafiet.
Mangaan (Mn)	0,5% - 1%	Treksterkte, hardheid, smeltpunt, krimpsterkte	Verbindt zich met zwavel.

Bijmengsels in gietijzer

Bijmengsels mag je niet verwarren met legeringen. De volgende stoffen worden veel toegevoegd aan gietijzer:

- *Silicium* neemt de plaats van koolstof in, waardoor koolstof vrij komt als grafiet. Silicium drijft koolstof uit cementiet, waardoor ferriet en grafiet ontstaat. Dit heet dan ferritisch gietijzer. Neemt het siliciumgehalte af, dan ontstaat perlitisch gietijzer. Neemt het siliciumgehalte nog verder af dan krijg je wit gietijzer. Er blijft dan cementiet achter. Er geldt: hoe meer ferriet, hoe zachter het materiaal en: hoe meer cementiet, hoe harder het materiaal.
- *Mangaan* komt in chemische eigenschappen overeen met ijzer en helpt daardoor koolstof te binden als carbide, zodat het de vorming van grafiet tegengaat. Mangaan verhoogt de treksterkte, het smeltpunt en de krimp. Mangaan bindt ook de in het ijzer aanwezige zwavel.
- *Zwavel* maakt gietijzer dikvloeibaar.
- *Fosfor* maakt gietijzer dunvloeibaar. Het verhoogt de trekvastheid van het materiaal, maar de kerfslagwaarde (taaiheid) neemt sterk af bij een toenemend fosforgehalte.



4. Welk legeringselement voeg je toe aan gietijzer als het slijtvast moet zijn?

3.6 Gietijzer bewerken

Lassen en verspanen zijn de meest toegepaste bewerkingsmethoden voor gietijzer. Door de grote brosheid en lage treksterkte is lamellair (grijs) gietijzer niet koud vervormbaar (walsen, smeden). Nodulair (grijs) gietijzer en 'smeedbaar' gietijzer (temperijzer, frisijzer) hebben betere mechanische eigenschappen, maar worden over het algemeen slechts beperkt koud vervormd. We gaan daarom niet in op het koudvervormen van gietijzer.

Verspanen van gietijzer

Normaal grijs gietijzer heeft de volgende eigenschappen bij verspanen:

- kortspanig (grafietholten)
- zelfsmarend (grafiet)
- vervuiling van de machine (grafietstof)
- hoe hoger het perlietgehalte, hoe harder de structuur.

Grondmassa	Eigenschappen	Verspaningskenmerken
austenitisch	taai	(gevaarlijk) langspanig
bainnitisch	sterk en stug	goed kortspanig te verspanen
martensitisch	hard en slijtvast	alleen door slijpen te bewerken

Lassen van gietijzer

Slechts enkele gietijzersoorten zijn lasbaar. Bij gietijzersoorten die lasbaar zijn moet je bovendien rekening houden met specifieke eisen aan de lasprocessen en met de samenstelling van het toevoegmateriaal. Alleen dan kun je lasfouten voorkomen.

Lasbaarheid

De lasbaarheid hangt af van de structuur en mechanische eigenschappen. Grijs gietijzer is bijvoorbeeld bros en niet bestand tegen de spanningen die opgebouwd worden door een afkoelende las. De lasbaarheid kan beperkt worden door de vorming van harde en brosse structuren in de warmte beïnvloede zone (WBZ). Omdat in nodulair gietijzer en smeedbaar gietijzer minder gemakkelijk martensiet ontstaat, zijn deze soorten gemakkelijker te lassen, vooral als het ferrietgehalte van de grondmassa groot is. Wit gietijzer is erg hard en bevat ijzercarbiden. Het is daarom niet lasbaar.

Lasprocessen

Oxiden en andere verontreinigingen verdwijnen niet door het smelten bij het lassen. Verder wordt bij mechanisch reinigen de grafiet over het oppervlak uitgesmeerd. Daarom moet het oppervlak chemisch worden gereinigd, bijvoorbeeld door het te etsen in een zoutbad.

Alle smeltlasprocessen, zoals autogeen, lassen met beklede elektrode, MIG-lassen en lassen met gevulde draad kunnen worden gebruikt. Om scheurvorming in de WBZ te voorkomen zijn een geringe warmte-inbreng, voorverwarming en langzame afkoeling noodzakelijke voorwaarden.

- Autogeen: Als gevolg van de lage temperatuur van de warmtebron moet je hoger voorverwarmen dan bij BmbE. Het lassen met poedertoevoeging, waarbij laspoeder aangevoerd wordt door een op de autogeenbrander gemonteerd kleine trechter, is een proces met een erg lage warmte-inbreng. Het wordt vaak gebruikt voor het opbutteren van het oppervlak voor het eigenlijke lassen.
- BmbE: Dit proces wordt vaak toegepast in de fabricage en reparatie van gietstukken, omdat de hoge temperatuur van de boog grotere lassnelheden toelaat. Verder is er een lagere voorwarmtemperatuur nodig. De nadelen van BmbE zijn de grotere inbrandingsdiepte en opmenging van lasmetaal met het basismateriaal. Door het lassen met een negatieve elektrode kunnen de afmetingen van de WBZ beperkt worden.
- MIG en gevulde draad: Deze lasprocessen kunnen gebruikt worden om een hoge neersmeltsnelheid te bereiken en daarbij de inbranding en opmenging te beperken.

Toevoegmaterialen

Bij autogeen lassen heeft het toevoegmateriaal een iets hoger koolstofgehalte en een hoger siliciumgehalte. Dit wordt gedaan om de las dezelfde mechanische eigenschappen te geven als het basismateriaal. De meest gebruikte toevoegmaterialen bij lassen met beklede elektrode zijn:

- nikkel
- nikkel-ijzerlegeringen
- nikkel-koperlegeringen.

Deze legeringen worden toegepast omdat zij de grote hoeveelheid koolstof afkomstig van het basismateriaal kunnen opvangen, waardoor een taaie en goed verspaanbare las ontstaat. Bij het MIG-lassen worden nikkel of monel draden gebruikt, maar ook koperlegeringen kunnen toegepast worden. Gevulde draden, nikkel-ijzer-mangaandraden zijn ook geschikt voor het lassen van gietijzer. Poeders op basis van nikkel met toevoeging van ijzer, chroom en kobalt worden gebruikt om een bepaald hardheidsbereik te realiseren.



5. Kun je wit gietijzer lassen? Waarom wel/niet?

3.7 Gietstaal

Als een vorm niet in een matrijs te smeden is of als de belasting van een onderdeel te hoog is, kies je voor gietstaal. Gietstaal heeft een lager koolstofpercentage dan gietijzer. Het smeltpunt ligt op 1450-1550°C (200 graden hoger dan gietijzer). Gietstaal is goed te lassen en lijkt op gewoon gewalst staal wat betreft mechanische eigenschappen en bewerkbaarheid.



Gieten van staal

Indeling van gietstaal

Je kunt gietstaal onderverdelen in ongelegeerd gietstaal en gelegeerd gietstaal.

Ongelegeerd gietstaal

Ongelegeerd gietstaal bevat maximaal 0,3% koolstof en 1,5% mangaan. Deze legeringselementen bepalen in grote mate de mechanische eigenschappen. Daarnaast kunnen nog kleine hoeveelheden koper, nikkel, chroom, molybdeen en vanadium zijn toegevoegd. Het aandeel van deze elementen is samen niet meer dan 1%. Ze worden vaak toegepast om een fijnere structuur en daarmee een hogere kerfslagwaarde te verkrijgen.

De microstructuur is sterk afhankelijk van de warmtebehandeling die het gietstuk ondergaat:

- In gegoten toestand bestaat de structuur uit perliet en ferriet.
- Na een gloeibehandeling en afgekoeld in rustige lucht bestaat de structuur uit perliet velden in een matrix van ferriet.
- Naast de gloeibehandeling kun je ook nog ontlaten. De structuur bestaat dan uit een hoger percentage ferriet en een lager percentage perliet.

Gelegeerd gietstaal

Gelegeerd gietstaal kun je verdelen in laaggelegeerd- en hooggelegeerd gietstaal.

Laaggelegeerd gietstaal wordt vaak veredeld. Hooggelegeerd gietstaal wordt gebruikt vanwege haar specifieke materiaaleigenschappen (hittebestendig, corrosiebestendig).

3.8 Soorten gietstaal

De volgende gietstaalsoorten worden veel toegepast:

- Koolstof gietstaal en mangaan gietstaal: wordt gebruikt voor gereedschap.
- Roestvast gietstaal: wordt gebruikt in corrosieve omgevingen. Bevat meer dan 10% chroom.
- Hittebestendig gietstaal: wordt gebruikt bij hoge temperaturen.
- Speciaal gietstaal: voor specifieke eisen van de klant.

3.9 Aanduiding gietstaal

Gietstaal kan op twee manieren worden aangeduid:

1. met de minimum rekgrens of een chemische formule, volgens NEN-EN 10027-1
2. met een materiaalnummer, volgens NEN-EN 10027-2.

Aanduiding volgens NEN-EN 10027-1

Aanduiding met een minimum rekgrens voor ongelegeerd staal:

- G = gietstaal
- GS = structural (voor staalconstructies)
- GP = pressure (voor pomhuizen en drukvaten)
- GE = engineering (voor machinebouw).

Voorbeeld: GS240

- G = gietstaal
- S = structural (voor staalconstructies)
- 240 = minimum rekgrens in N/mm².

Aanduiding met een chemische formule voor gelegeerd staal:

Voorbeeld: G30NiCrMo14

- G = gietstaal
- 30 = koolstof gehalte gedeeld door 100 = 0,3%
- NiCrMo = kenmerkende legeringselementen
- 1-4 = percentage legeringselementen Nikkel 1% en Chroom 4%.

Aanduiding volgens NEN-EN 10027-2

Aanduiding met een materiaalnummer, vergelijkbaar aan het duitse werkstofnummer:

Voorbeeld: 1.6771

Positie 1: Materiaalsoort

- 0 = Gietijzer
- 1 = Staal
- 2 = Non-ferro
- 3 = Non-ferro
- 4-8 = Niet-metaal
- 9 = In te vullen door producent

Positie 2-5: Materiaalnummer

- 01-02 = Constructiestaal
- 03-07 = Ongelegeerd staal
- 08-09 = Gelegeerd kwaliteitsstaal

Op plaats 6-7 in de aanduiding komen aanvullende cijfers die aangeven welk productieproces en nabehandeling zijn toegepast.



6. Wanneer pas je gietstaal toe ?

3.10 Vergelijking gietijzer en gietstaal

Voordelen gietstaal ten opzichte van gietijzer:

- Goede mechanische eigenschappen.
- Zeer goed lasbaar.
- Plastisch vervormbaar.

Nadelen gietstaal ten opzichte van gietijzer:

- Gietstaal is duurder door de hogere verwerkingstemperatuur, dikkere wanden en een grotere bewerkingstoeslag.
- De materiaalkrimp is tweemaal zo groot als van gietijzer.
- De smelttemperatuur ligt 200°C hoger.
- Gietstaal moet altijd worden nagegloeid.
- Grotere bewerkingstoeslag.

3.11 Samenvatting

- Als een product een ingewikkelde vorm moet krijgen, kun je het gieten. Je hebt dan de keuze voor gietijzer of gietstaal. Deze keuze wordt bepaald aan de hand van de mechanische eigenschappen van dat product.
- Gietijzer wordt gemaakt door ruwijzer samen met cokes en kalk om te smelten in een oven.
- Gietijzer is een legering van ijzer, koolstof (2 - 4,5%), silicium (1,5 - 3,5%) en mangaan (max 1%).
- Gietijzer wordt op basis van zijn materiaalstructuur opgedeeld in:
 - Gietijzer met koolstof als vrije grafiet
 - Gietijzer met koolstof gebonden aan ijzer tot cementiet (Fe_3C)
 - Gietijzer met koolstof opgelost in ijzer.
- Gietijzersoorten worden ingedeeld naar:
 - de kleur van het breukvlak van een proefstaaf bij de trekproef (grijs, wit)
 - de structuur van de grondmassa (matrix) en de vorm waarin de koolstof voorkomt in het gietijzer.
- Gietijzer kan aangeduid worden volgens de Europese norm NEN-EN 1560 en de Duitse Industrie Norm DIN 1690.
- Men kan gietijzer met diverse elementen legeren om de materiaaleigenschappen te verbeteren. Verschillende legeringselementen zijn:
chromium, koper, molybdeen, nikkel, vanadium, magnesium
- Bijmengsels in gietijzer zijn silicium, mangaan, fosfor, zwavel
- De verspaanbaarheid van gietijzer is afhankelijk van de structuur. Normaal grijs gietijzer heeft de volgende eigenschappen bij verspanen:
 - kortspanig (grafietholten)
 - zelfsmerend (grafiet)
 - vervuiling van de machine (grafietstof)
 - hoe hoger het perlietgehalte, hoe harder de structuur.
- Bij gietijzersoorten die lasbaar zijn moet je rekening houden met specifieke eisen aan de lasprocessen en met de samenstelling van het toevoegmateriaal.
- Gietstaal heeft een lager koolstofpercentage dan gietijzer. Gietstaal is goed te lassen en lijkt op gewoon gewalst staal wat betreft mechanische eigenschappen en bewerkbaarheid.
- Gietstaal wordt aangeduid met de minimum rekgrens of een chemische formule, volgens NEN-EN 10027-1. Of met een materiaalnummer, volgens NEN-EN 10027-2.
- Voordelen gietstaal ten opzichte van gietijzer:
 - Goede mechanische eigenschappen.
 - Zeer goed lasbaar.
 - Plastisch vervormbaar.
- Nadelen gietstaal ten opzichte van gietijzer:
 - Gietstaal is duurder door de hogere verwerkingstemperatuur
 - De materiaalkrimp is tweemaal zo groot als van gietijzer.
 - De smelttemperatuur ligt 200°C hoger.
 - Gietstaal moet altijd worden nagegloeid.
 - Grotere bewerkingstoeslag.

3.12 Antwoorden

Antwoord 1

Perlitisch lamellair grijs gietijzer heeft een grondmassa van perliet en vrije koolstof in de vorm van grafietlamellen.

Antwoord 2

Nodulair grijs gietijzer heeft een ferritisch/perlitische grondmassa en vrije koolstof in de vorm van nodulen (bolvormig).

Antwoord 3

De onafhankelijkheid van de metaalstructuur voor de wanddikte.

Antwoord 4

Nikkel.

Antwoord 5

Nee, wit gietijzer is hard en bros.

Antwoord 6

Als een product niet in een matrijs is te smeden of als de belasting te hoog is.

4 Vragen Gietijzer en gietstaal

Vraag 1

Wat versta je onder gietijzer?

Vraag 2

Hoeveel procent koolstof bevat gietijzer ongeveer?

Vraag 3

In welke structuren kun je gietijzer indelen?

Vraag 4

Leg uit wat het stabiel - en metastabiel systeem is?

Vraag 5

Hoe ziet de grafietvorm eruit van perlitisch gietijzer?

Vraag 6

Noem minimaal drie soorten gietijzer?

Vraag 7

Waarin worden de normen van gietijzer vastgelegd?

Vraag 8

Verklaar de volgende aanduidingen.

- grijs gietijzer GG
- grijs gietijzer GP
- grijs gietijzer GG30

Vraag 9

Wat toont het Weicheltdiagram aan?

Vraag 10

Noem minimaal drie legeringselementen in gietijzer.

Vraag 11

Noem minimaal twee bijmengsels in gietijzer.

Vraag 12

Hoe is de verspaanbaarheid van austenitisch gietijzer?

Vraag 13

Waarvan is de lasbaarheid afhankelijk?

Vraag 14

Wanneer pas je gietstaal toe?

Vraag 15

Waarin kun je gietstaal onderscheiden?

Vraag 16

Verklaar de aanduiding:

- GS 240
- G30NiCrMo14

Vraag 17

Noem twee voordelen van gietstaal ten opzichte van gietijzer.

Vraag 18

Noem twee nadelen van gietstaal ten opzichte van gietijzer.

5 Roestvast staal

Inleiding

Door staal te legeren kan de treksterkte, de rekgrens of de breukrek worden verbeterd. Ook technologische eigenschappen, zoals de lasbaarheid, vervormbaarheid, verspaanbaarheid, hardbaarheid en ontlaatvastheid, kunnen verbeterd worden door legeren. Verder is het mogelijk om door legeren chemische eigenschappen, zoals de corrosievastheid, te verbeteren.



Roestvast stalen warmtewisselaar

Roestvast staal, ook wel RVS genoemd, is een ijzerlegering die minstens 11-12% chroom bevat. In contact met zuurstof uit de lucht vormt zich spontaan een chroomoxidehuid aan het oppervlak die het materiaal beschermt tegen corrosie. Door het toevoegen van andere legeringselementen (vooral nikkel en molybdeen) neemt de sterkte en de weerstand tegen corrosie verder toe.

Leerdoelen

Je kunt:

- verschillende redenen noemen om te staal te legeren
- de invloed van veel gebruikte legeringselementen op staal noemen
- de indeling van gelegeerde staalsoorten noemen
- de belangrijkste staallegeringen en hun toepassingsmogelijkheden noemen
- de meest voorkomende corrosievormen noemen
- belangrijke punten noemen voor het verwerken van roestvast staal.

5.1 Roestvast staal

Roestvast staal (of RVS) is een hooggelegeerde staalsoort. Hieraan worden voornamelijk chroom (Cr) en nikkel (Ni) toegevoegd. Het chroomgehalte varieert tussen 12 en 30% en het nikkelgehalte tussen 0 en 36%.

Roestvaste staalsoorten danken hun corrosievastheid met name aan de toevoeging van chroom. Hiervoor is een chroomgehalte van tenminste 12% noodzakelijk.

Er kunnen aan roestvast staal ook kleine hoeveelheden molybdeen, titaan, niobium, koper, silicium en aluminium toegevoegd. Ook is er altijd wat koolstof of mangaan aanwezig. Koolstof en mangaan geven onder atmosferische omstandigheden geen aantasting of roestvorming.



Toepassingen van roestvast staal

Oxidefilm

Door toevoeging van chroom aan staal vormt zich aan de oppervlakte een zeer dunne, taaie laag chroomoxide. Deze oxidefilm voorkomt aantasting van het onderliggende materiaal. Dit roestvast staal bevindt zich in passieve toestand, er vindt geen of nauwelijks corrosie plaats. In omgevingen die de oxidehuid verstoren (reducerende milieu's) is de corrosievastheid lager, of actief. Roestvast staal moet in passieve toestand worden toegepast. Deze toestand wordt bereikt door het materiaal te behandelen met salpeterzuur, het zogenaamde passiveren.

Wordt de oxidelaag mechanisch beschadigd, dan herstelt deze zichzelf. De oxidelaag kan ook beschadigd raken door lassen. Na het lassen kan de oxidelaag worden hersteld door te beitsen, te slijpen en te polijsten, of door te stralen en te passiveren. Bij het beitsen wordt het materiaal blootgesteld aan geconcentreerde zuren. Hierdoor worden aanloopkleuren, slakresten en oppervlakteverontreinigingen verwijderd. In de handel zijn beitsmiddelen zowel in de vorm van pasta's als in vloeibare vorm verkrijgbaar.



1. Welke toevoeging is met name belangrijk voor de corrosievastheid van roestvast staal?

Soorten roestvast staal

In het overzicht staan veel toegepaste corrosie- en hittevaste staalsoorten, met hun globale chemische samenstelling. Roestvaste staalsoorten zijn op basis van hun materiaalstructuur onder te verdelen in drie hoofdgroepen:

- ferritisch roestvast staal
- martensitisch roestvast staal
- austenitisch roestvast staal

Structuur	AISI	Werkstof Nr	DIN	Globale samenstelling				
				C	Cr	Ni	Mo	Overige
Ferritisch	430	1.4016	X 8 Cr 17	0.10	17	-	-	-
Martensitisch	410	1.4006	X 10 Cr 13	0.12	13	-	-	-
Austenitisch	304	1.4301	X5 Cr Ni 18.9	0.08	18	10		
Austenitisch	304L	1.4306	X 2 Cr Ni 18.9	0.03	18	10		
Austenitisch	309	1.4828	X 15 Cr Ni 20.12	0.20	20	12		
Austenitisch	310	1.4841	X 15 Cr Ni Si 25.20	0.20	25	20		
Austenitisch	316	1.4401	X 5 Cr Ni Mo 18.10	0.08	18	10	2.5	
Austenitisch	316L	1.4404	X 2 Cr Ni Mo 18.10	0.03	18	11	2.5	
Austenitisch	321	1.4541	X 10 Cr Ni Ti 18.9	0.08	18	10		Ti 5xC
Austenitisch	347	1.4550	X 10 Cr Ni Nb 18.9	0.08	18	10		Nb10xC

Soorten roestvast staal

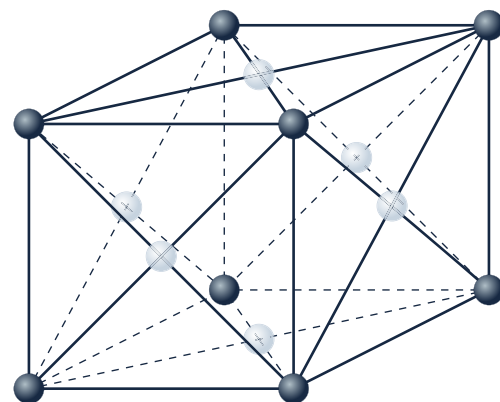
Ferritisch roestvast staal

Ferritisch roestvast staal wordt bijvoorbeeld toegepast in de levensmiddelenindustrie, als sierstrippen van auto's en voor kookgerei.



Pannenset van ferritisch roestvast staal

Deze staalsoorten hebben bij kamertemperatuur een kubisch ruimtelijk gecentreerde structuur. Ze hebben een goede warmtevastheid en zijn magnetisch.



Kubisch vlakgecentreerd

Ferritisch roestvast staal is onder te verdelen in hardbare (of martensitische) soorten en in niet-hardbare soorten. Hierbij is chroom het gebruikte legeringselement.

Het percentage koolstof moet beperkt worden ($< 0,15\%$), omdat koolstof een sterke carbidevormende werking heeft met chroom. Door chroomcarbiden neemt de corrosievastheid af. De niet-hardbare soorten kunnen verkregen worden in corrosievaste en hittevaste kwaliteiten. Deze soorten bevatten 12 - 27% chroom en maximaal 0,2% koolstof. Bij dit vrij hoge koolstofpercentage moet het chroomgehalte worden verhoogd, vanwege carbidevorming. De koolstof kan ook door harden opgesloten worden in het martensiet. Verder is het mogelijk om de koolstof te binden aan de legeringselementen niobium of tantaal (stabiliseren). Vanwege de gevoeligheid voor korrelgroei zijn deze legeringen niet probleemloos te lassen. De korrelgroei treedt op boven $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ en veroorzaakt brosheid. Mits de warmtehuishouding wordt gereguleerd, kunnen alle lasprocessen probleemloos worden toegepast. De voorkeur gaat echter uit naar lasprocessen met een lage warmte-inbreng, zoals hoogfrequent inductielassen en laserlassen. Bij een materiaaldikte boven 6 mm moet het materiaal worden voorverwarmd op een temperatuur tussen 50 en $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Martensitisch roestvast staal

Martensitisch roestvast staal wordt toegepast in snijgereedschap, kogellagers, turbineschoepen, pompen en afsluiters. Deze staalsoort is hardbaar en magnetisch. De sterkte en slijtvastheid zijn veel groter dan die van ferritisch roestvast staal. De corrosiebestendigheid is echter kleiner.

Martensitisch roestvast staal bevat 12 - 18% chroom en 0,15 - 1,2% koolstof. Het hoge koolstofpercentage maakt harden mogelijk. Ook wordt om deze reden soms nikkel ($< 3\%$) toegevoegd. Vanwege de hardbaarheid is het lassen van martensitisch chroomstaal niet eenvoudig.



Schoepen van martensitisch roestvast staal

Lassen bij een koolstofgehalte boven 0,25% wordt afgeraden.

Martensitisch roestvast staal is zeer gevoelig voor scheurvorming, zeker in combinatie met waterstof. Je kunt deze staalsoorten het beste lassen met het TIG- of MIG-lasproces en daarbij droge toevoegmaterialen gebruiken. Verder moet je het materiaal voorverwarmen tussen 200 en $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.



2. Welke RVS-soort heeft een hogere corrosiebestendigheid: martensitisch of ferritisch roestvast staal?

Austenitisch roestvast staal

Austenitisch roestvast staal wordt toegepast in tanks en leidingen voor de levensmiddelenindustrie, in warmtewisselaars en voor drukvaten. Austenitisch roestvast staal bevat vrijwel altijd chroom en nikkel.

Het chroompercentage is minimaal 16% en het nikkelpercentage 6 - 22%. Door het hoge nikkelgehalte zijn deze soorten ook toepasbaar bij lage temperaturen. Het koolstofpercentage is altijd kleiner dan 0,25%. De staalsoort is niet martensitisch hardbaar, niet gevoelig voor korrelgroei en goed lasbaar. Het staal is hittevast te maken door het toevoegen van silicium en aluminium.



Warmtewisselaars van austenitisch roestvast staal

Zuiver austenitisch (*stabiel*) roestvast staal is door carbidevorming aan de korrelgrenzen bijzonder gevoelig voor interkristallijne corrosie en warmtscheuren. Deze scheuren ontstaan direct na het lassen in het gestolde materiaal bij een temperatuur van 1250 °C. De aanwezigheid van 2 - 10% ferriet in de structuur vermindert deze scheurgevoeligheid aanzienlijk. Dit noem je *labiel* staal (bijvoorbeeld type 304 met 18% chroom en 10% nikkel). Toevoegmaterialen voor het lassen van austenitische staalsoorten bevatten daarom meestal een bepaald ferrietpercentage. Alle lasprocessen zijn toepasbaar. Omdat de structuur niet hardbaar is door afkoeling, behouden de legeringen hun taatheid na het lassen en is het niet nodig om het materiaal voor te verwarmen.

De goede koudvervormbaarheid is een groot voordeel van austenitisch roestvast staal. Door het koudvervormen neemt de hardheid toe. Het staal is door de grotere taatheid na het koudvervormen moeilijker te bewerken. Het is dan ook niet meer hardbaar door een warmtebehandeling.

Duplex roestvast staal

Duplex roestvast staal combineert een aantal eigenschappen van ferritisch en austenitisch roestvast staal. Deze staalsoort heeft bijvoorbeeld een grotere treksterkte en een betere bestendigheid tegen algemene corrosie en spanningscorrosie dan austenitisch roestvast staal.

In de materiaalstructuur van duplex roestvast staal is zowel ferriet als austeniet aanwezig. Het ferrietgehalte ligt bij deze groep tussen 30 en 70%. Deze staalsoorten zijn magnetisch en niet hardbaar en hebben ook een goede lasbaarheid. Ze bevatten de hoofdlegeringselementen chroom (18 tot 28%) en nikkel (4 tot 10%). Verder is er molybdeen toegevoegd (1,5 tot 4%). Ook wordt er soms koper (0,7 tot 3%) toegevoegd voor de verhoging van de corrosiebestendigheid in met name zeewater. De lasbaarheid wordt hierdoor echter weer beperkt.



3. Wat is het minimale chroompercentage van austenitisch roestvast staal?

5.2 Legeringselementen

Chroom (Cr)

Chroom als legeringselement verhoogt de treksterkte, zonder dat de rek sterk daalt. Het verhoogt ook nog eens de treksterkte bij hoge temperaturen en de weerstand tegen oxidatie en verbranding door hete gassen.

Nikkel (Ni)

Nikkel verbetert de corrosievastheid. Het heeft ook een gunstig effect op de kerftaaiheid bij lage temperaturen.

Silicium (Si)

Dit element wordt toegevoegd om de eigenschappen bij hoge temperaturen te verbeteren.

Molybdeen (Mo)

Molybdeen wordt toegevoegd om de corrosieweerstand te verbeteren.

Titaan (Ti) en Niobium (Nb)

Titaan zorgt dat het staal minder gevoelig wordt voor corrosie. Niobium verhoogt de kruipsterkte. Dit is belangrijk bij o.a. drukvaten.

Aluminium (Al)

Aluminium wordt toegevoegd om de oxidatievastheid te verbeteren. Aluminium verbetert ook de kruipvastheid.

Koper (Cu)

Koper wordt soms toegevoegd om de corrosievastheid te verbeteren.

Kobalt (Co)

Kobalt wordt wel toegevoegd voor het verbeteren van de mechanische eigenschappen bij hoge temperaturen.

Mangaan (Mn)

Mangaan heeft invloed op de kritische afkoelsnelheid. De eigenschappen verbeteren ondanks dat het materiaal sneller afkoelt.

Mangaan wordt soms ook gebruikt als vervanger voor nikkel. Materialen die te maken hebben met zwavelhoudende gassen zijn dan beter bestand hiertegen.

Vanadium (V)

Vanadium vormt koolstofcarbiden die zorgen voor het behoud van een fijnkorrelige structuur bij hogere temperaturen. Vanadium stopt dus de korrelgroei. Daarmee houdt snijgereedschap langer zijn scherpte.

Selenium (Se) en Zwavel (S)

Selenium en zwavel worden soms toegevoegd om de verspanende bewerkingen te vergemakkelijken.

Borium (Bo)

De mechanische eigenschappen en de kruipvastheid worden verbeterd door de vorming van boriden.

Overzicht legeringselementen roestvast staal

Element	Invloed
C	Verhoogt de sterkte, bevordert de vorming van uitscheidingen die de corrosiebestendigheid doen afnemen. Is een austenietvormer.
Cr	Verhoogt de oxidatie- en corrosiebestendigheid. Is een ferrietvormer.
Ni	Verhoogt de hittebestendigheid en de corrosiebestendigheid. Is een austenietvormer.
Nb	Bindt de koolstof zodat de neiging tot interkristallijne corrosie vermindert en geeft korrelverfijning. Is een ferrietvormer.
Mn	Stabiliseert bij kamertemperaturen de austeniet en vermindert het warmscheuren door vorming van mangaansulfide. Bij hoge temperaturen is het een ferrietvormer.
Mo	Verbetert de sterkte bij hoge temperaturen. Verhoogt de corrosievastheid. Is een ferrietvormer.
Si	Komt voor als desoxidatiemiddel. Is een ferrietvormer.
Ti	Bindt de koolstof zodat de neiging tot interkristallijne corrosie vermindert en geeft korrelverfijning. Is een ferrietvormer.
Al	Is een sterke ferrietvormer.

Elementen en hun invloed



4. Welke legeringselementen zijn austenietvormers?

5.3 Corrosievormen

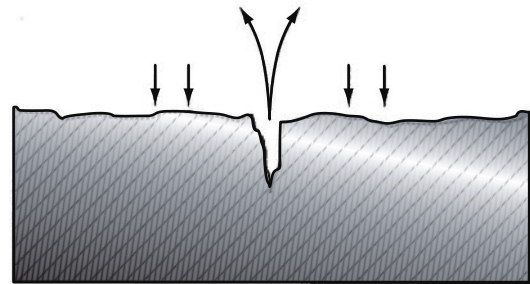
Ondanks alle goede voorzorgen kan het materiaal toch worden aangetast. Dit kan ook bij lassen optreden. De meest voorkomende corrosievormen door lassen zijn:

- putcorrosie of pitting
- spanningscorrosie
- interkristallijne corrosie
- contact- of galvanische corrosie
- spleetcorrosie
- knife-line attack.

Putcorrosie of pitting

Putcorrosie ontstaat wanneer de oxidehuid beschadigd is. De aantasting is plaatselijk. Denk aan diepe krassen.

Putcorrosie treedt op in waterige oplossingen en halogeenvverbindingen (bijvoorbeeld chloor-, broom-, of jodium-ionen). Of wanneer een slakrest op het oppervlak achtergebleven is, waardoor er geen zuurstof meer bij kan komen. Daardoor wordt het oppervlak plaatselijk gevoelig voor corrosie.



Putcorrosie

Molybdeenhoudende staalsoorten (bijvoorbeeld AISI-316) hebben minder last van putcorrosie.

Je kunt putcorrosie tegengaan door het oppervlak te polijsten. Hierbij moet je het altijd beitsen en passiveren. Zorg dat je het materiaal goed merkt, anders loopt iemand anders met het verkeerde materiaal weg.

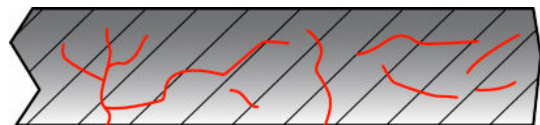
Spanningscorrosie

Spanningscorrosie ontstaat wanneer het materiaal trekspanningen ondergaat.

Door vervorming, maar ook door lassen, kunnen zoveel spanningen ontstaan, dat er spanningscorrosie optreedt.

Er ontstaan dan sterk vertakte scheuren.

Die kunnen het materiaal geheel doordringen.



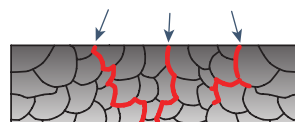
Spanningscorrosie

Maatregelen om spanningscorrosie te voorkomen:

- goed construeren
- zo min mogelijk lassen, snijden en knippen
- het materiaal niet of zo min mogelijk hameren
- spanningsarm gloeien (van te voren)
- een chroomstaal of ferritisch-austenitisch chroomnikkelstaal toepassen.

Interkristallijne corrosie

Interkristallijne corrosie treedt op door een combinatie van staalsamenstelling, warmtebehandeling en de omgeving.



Interkristallijne corrosie

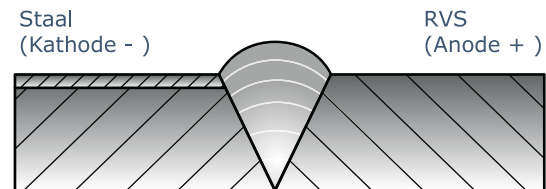
Interkristallijne corrosie kun je voorkomen door:

- staal met titaan of niobium gebruiken
- staal met een laag koolstofgehalte toepassen
- na het lassen:
 - gloeien bij 1050 °C en snel afkoelen in water
 - gloeien tussen 900 en 950 °C en af laten koelen in lucht.

Contactcorrosie

Contactcorrosie ontstaat wanneer RVS in aanraking komt met een ander metaal en vocht.

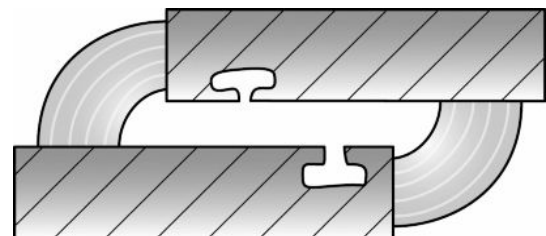
Contactcorrosie noem je ook wel galvanische corrosie.



Spleetcorrosie

Spleetcorrosie treedt op in spleten en overgangen. Op deze plaatsen kan de zuurstof niet voldoende doordringen en bij aanwezigheid van vocht zullen de beide metaalvlakken door corrosie worden aangetast.

Zorg dus dat je spleten zoveel mogelijk vermijdt.



Knife-line attack

De vorm van deze corrosie lijkt op een messnede. Daarom heet het "knife-line attack". Dit kan optreden als je aan roestvast staal gaat lassen. Op de plaats waar het materiaal erg heet is geweest (1100 °C), maar niet gesmolten, verandert de structuur van het materiaal. Je kunt knife-line attack voorkomen door te gloeien tussen 900 en 980 °C en te laten afkoelen in lucht.

5.4 Natuurkundige eigenschappen van roestvast staal

De roestvaste staalsoorten zijn weliswaar ijzerlegeringen maar hebben een aantal natuurkundige eigenschappen die afwijken van die van ongelegeerd staal.

Bij de verwerking moet rekening gehouden worden met:

- het warmtegeleidingsvermogen
- de uitzettingscoëfficiënt
- de elektrische weerstand.

Warmtegeleidingsvermogen

Roestvast staal geleidt warmte veel minder goed dan ongelegeerd staal.

Roestvast chroomstaal geleidt warmte maar voor de helft van ongelegeerd staal. Bij roestvast chroomnikkelstaal is dat slechts 1/3 van ongelegeerd staal.

Door de slechte warmtegeleiding blijft de warmte in de buurt van de las opeengehoopt en is er een grote kans op vervorming.

Uitzettingscoëfficiënt

De uitzettingscoëfficiënt van roestvast staal is groter dan die van ongelegeerd staal. Voor chroomstaal is het gelijk aan de uitzettingscoëfficiënt van ongelegeerd staal. Die van chroomnikkelstaal is ongeveer 50% groter. Chroomnikkelstaal zal bij het lassen meer vervormen dan ongelegeerd staal.

Elektrische weerstand

De elektrische weerstand van chroomstaal is vier keer zo hoog als die van ongelegeerd staal. Chroomnikkelstaal heeft zelfs een vijfmaal hogere weerstand. Als je last met roestvast staal elektroden, stel je een lagere stroomsterkte in.

5.5 Lassen roestvast staal

Roestvaste staalsoorten zijn goed lasbaar. Om de corrosiebestendigheid te behouden moet je toevoegmateriaal gebruiken met een ferritisch-austenitische structuur. Voorwarmen is in de meeste gevallen niet nodig.

Er mogen beslist geen slakresten en lasspatten op het materiaal terecht komen. Anders ontstaat er put- en spleetcorrosie.

De duplex-roestvaste staalsoorten zijn gevoelig voor:

- brosheid
- korrelgroei.

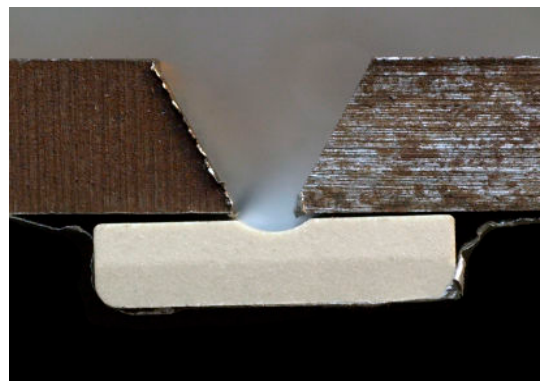
Backinggas

Bij eenzijdig doorlassen van onder andere T-, I- en V-naden is het verstandig de achterzijde van de las te beschermen tegen oxidatie.

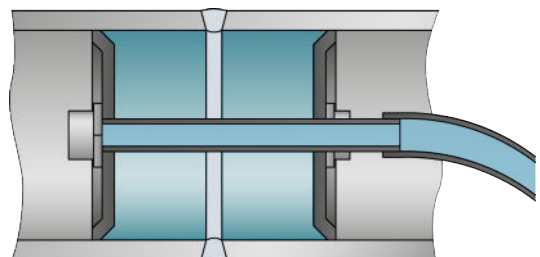
Dit kun je doen met een zogenaamd backinggas. Argon is geschikt als backinggas maar dat is vrij duur. Goedkoper is het om mengsels van stikstof en waterstof toe te passen (bijvoorbeeld 95%N + 5%H₂). Deze mengsels noem je ook wel formeergassen.

De stroomsnelheid van het backinggas mag nooit te hoog zijn. Als richtlijn voor het instellen van de juiste hoeveelheid houd je aan:

De hoeveelheid backinggas is ongeveer 2 liter minder dan voor het beschermgas is ingesteld.



Smeltbad ondersteuning en bescherming



Backinggas bij een buisverbinding

Voorbeeld

Je hebt het beschermgasverbruik op 6 l/min ingesteld. Het verbruik van het backinggas zet je dan op 4 l/min.

Verwerken roestvast staal

Algemene tips voor het verwerken en lassen van roestvast staal:

- Zorg dat roestvast staal tijdens opslag en transport schoon blijft.
- Loop niet onnodig over het materiaal.
- Lasnaden moeten schoon en vetvrij zijn (schoonmaken met spiritus of aceton).
- Geen andere metalen in aanraking laten komen met roestvast staal.
- Alleen borstelen met een roestvaststalen borstel.
- Gebruik slijpschijven die speciaal voor roestvast staal zijn gemaakt.

Als je moet slijpen aan roestvast staal moet je zorgen dat het materiaal niet blauw aanloopt.

- Laat bij de laskanten van V-naden altijd een staand deel van ca. 1,5 mm over. (Dus niet helemaal scherp maken). Dit voorkomt oververhitting.
- Maak hechtlassen lang genoeg en op de vereiste afstand.
- Zorg dat je geen grote veranderingen in de lasdoorsnede krijgt (dik/dun).
- Dun roestvast staal opgespannen lassen en de in te brengen warmte goed verdelen (interpolerend lassen).
- Las met een lage stroomsterkte en gebruik de juiste draad- en/of elektrodediameter.
- Na het verwerken en lassen van het materiaal beitsen en passiveren.



5. Met welke drie eigenschappen van roestvast staal moet je rekening houden bij de verwerking?

5.6 Samenvatting

- Roestvast staal (of RVS) is een hooggeleegde staalsoort.
- Roestvaste staalsoorten danken hun corrosievastheid met name aan de toevoeging van chroom.
- Soms zijn aan roestvast staal ook kleine hoeveelheden molybdeen, titaan, niobium, koper, silicium en aluminium toegevoegd.
- Door toevoeging van chroom aan staal vormt zich aan de oppervlakte een zeer dunne, taaie laag chroomoxide, die aantasting van het onderliggende materiaal voorkomt.
- Roestvaste staalsoorten zijn onder te verdelen in drie hoofdgroepen:
 - ferritisch roestvast staal
 - martensitisch roestvast staal.
 - austenitisch roestvast staal.
- Chroom als legeringselement verhoogt de treksterkte.
- Nikkel verbetert de corrosievastheid.
- Silicium verbetert de eigenschappen bij hoge temperaturen.
- Molybdeen verbetert de corrosieweerstand.
- Titaan zorgt dat het staal minder gevoelig wordt voor corrosie.
- Niobium verhoogt de kruipsterkte.
- Aluminium wordt toegevoegd om de oxidatievastheid te verbeteren.
- Koper wordt soms toegevoegd om de corrosievastheid te verbeteren.
- Kobalt wordt wel toegevoegd voor het verbeteren van de mechanische eigenschappen bij hoge temperaturen.
- Mangaan heeft invloed op de kritische afkoelsnelheid.
- Vanadium vormt koolstofcarbiden die zorgen voor het behoud van een fijnkorrelige structuur bij hogere temperaturen.
- Selenium en zwavel worden soms toegevoegd om de verspanende bewerkingen te vergemakkelijken.
- Borium verbetert de mechanische eigenschappen en de kruipvastheid.
- De meest voorkomende corrosievormen door lassen zijn:
 - putcorrosie of pitting
 - spanningscorrosie
 - interkristallijne corrosie
 - contact- of galvanische corrosie
 - spleetcorrosie
 - knife-line attack.
- Bij de verwerking van roestvast staal moeten je rekening houden met:
 - het warmtegeleidingsvermogen
 - de uitzettingscoëfficiënt
 - de elektrische weerstand.
- Roestvaste staalsoorten zijn goed lasbaar. Om de corrosiebestendigheid te behouden moet je toevoegmateriaal gebruiken met een ferritisch-austenitische structuur.
- Bij eenzijdig doorlassen van onder andere T-, I- en V-naden is het verstandig de achterzijde van de las te beschermen tegen oxidatie.

5.7 Antwoorden

Antwoord 1

chrom

Antwoord 2

ferritisch roestvast staal

Antwoord 3

16%

Antwoord 4

C en Ni

Antwoord 5

- het warmtegeleidingsvermogen
- de uitzettingscoëfficiënt
- de elektrische weerstand.

6 Vragen Roestvast staal

Vraag 1

Welke twee belangrijke elementen zijn aan roestvast staal toegevoegd?

Vraag 2

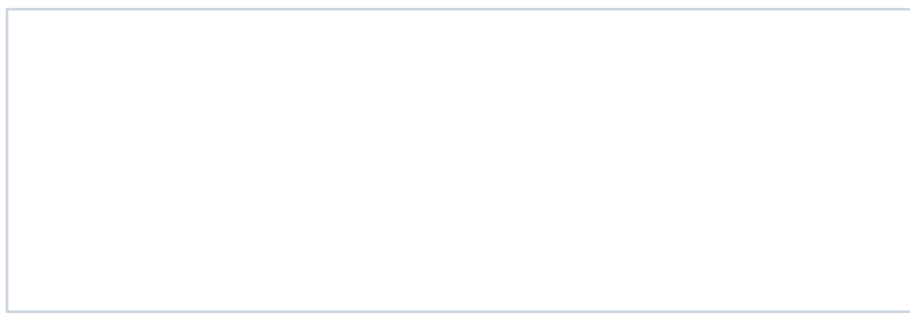
a. Wat betekent "passieve toestand van roestvast staal"?

b. Hoe kunnen we deze passieve toestand bereiken?

Vraag 3

a. Welke roestvast staalsoort heeft bij kamertemperatuur een kubisch ruimtelijk gecentreerde structuur?

b. Maak een schets van een kubisch ruimtelijk gecentreerde structuur.



Vraag 4

Noem vier andere elementen die soms aan roestvast staal worden toegevoegd.

Vraag 5

Van welke structuren of roestvast staalsoorten is Duplex roestvast staal een combinatie?

Vraag 6

Noem vijf corrosievormen die bij roestvast staal voor kunnen komen.

Vraag 7

a. Hoe hoog is de elektrische weerstand van chroomstaal ten opzichte van ongelegeerd staal?

b. Welke gevolgen heeft dit voor de stroomsterkte die we moeten instellen voor het lassen?

Vraag 8

Waar moet je op letten bij het verwerken en lassen van roestvast staal?
Noem minstens zes aspecten.

7 Overige Non-ferrometalen

Inleiding

Naast aluminium zijn koper, magnesium, titanium, zink, tin en lood veel toegepaste non-ferrometalen. Magnesium en titanium (en hun legeringen) zijn relatief jonge non-ferrometalen. Ze worden vooral toegepast voor lichtgewicht producten en constructies. Koper, zink, tin en lood (en hun legeringen) zijn al zeer oude non-ferrometalen. Vanwege een aantal gunstige materiaaleigenschappen worden ze nog steeds veel toegepast.



Horlogebehuizing van titanium

Leerdoelen

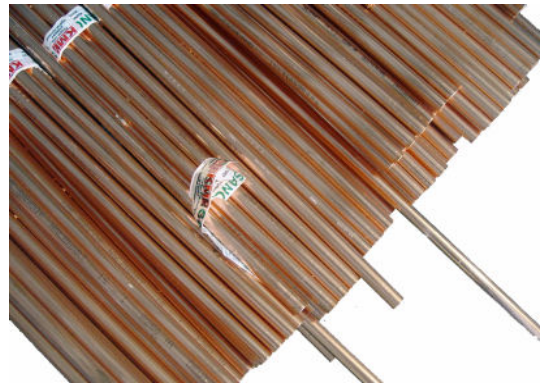
Je kunt:

- de belangrijkste materiaaleigenschappen van koper, magnesium, titanium, zink, tin, lood en hun legeringen noemen
- toepassingen van koper, magnesium, titanium, zink, tin, lood en hun legeringen noemen
- de aanduidingen van koper, magnesium, titanium, zink, tin, lood en hun legeringen verklaren

7.1 Koper- en koperlegeringen

Koper is een natuurlijke grondstof. Kopererts wordt gewonnen uit kopermijnen in Afrika, Zuid-Amerika en de Verenigde Staten. Kopersmelterijen leveren koper dat geschikt is voor verdere verwerking. Bijvoorbeeld walsen en extruderen.

Koper wordt veel gebruikt vanwege zijn gunstige fysische en chemische eigenschappen. De wereldwijde vraag naar koper stijgt sneller dan het aanbod. Daardoor wordt koper steeds schaarser en duurder.



Buizen van koper

Zuiver koper (Cu)

Zuiver koper wordt vanwege zijn goede warmte- en elektriciteitsgeleiding vooral toegepast in de elektro- en installatietechniek. De zuiverheid van elektrolytisch koper is minstens 99,9% Cu.

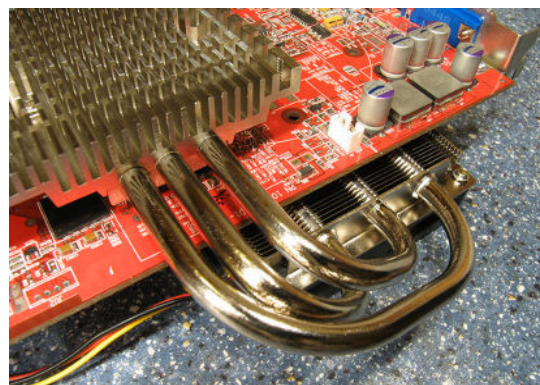
Mechanische eigenschappen

Zuiver koper wordt nauwelijks toegepast als constructiemateriaal. De mechanische eigenschappen zijn matig:

- treksterkte R_m : 200 N/mm²
- rekgrens $R_{p0,2}$: 60 N/mm²
- breukrek A : $\pm 60\%$
- hardheid HB: ± 50
- elasticiteitsmodulus E : 128 000 N/mm²

Fysische eigenschappen

Koper geleidt uitstekend elektriciteit. Het heeft na zilver de laagste soortelijke weerstand van alle metalen. Daarom wordt koper veel gebruikt in de elektrotechniek. Bijvoorbeeld als geleider in elektriciteitsdraden en op printplaten. Aluminium heeft een iets hogere soortelijke weerstand dan koper, maar geleidt goed elektrische stroom. Vanwege de koperschaarste kiest men daarom in de elektrotechniek steeds vaker voor aluminium, ter vervanging van koper.



Koelelement van koper (heatpipes)

Koper geleidt ook uitstekend warmte. Daarom wordt koper bijvoorbeeld gebruikt in koelers voor halfgeleidercomponenten, warmwatertoestellen en voertuigradiatoren. Koper wordt ook gebruikt in condensoren en voorverwarmers van elektriciteits-, warmte- en kerncentrales.

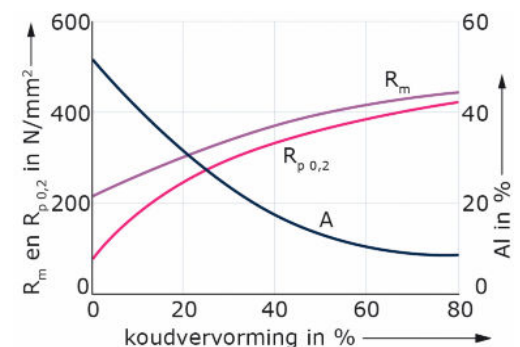
Zuiver koper heeft een rode kleur en is niet magnetisch. Het smeltpunt van koper is 1083°C. Koper is brandbaar in poedervorm en heeft antibacteriële eigenschappen. Om de laatste reden wordt zuiver koper nog altijd veel gebruikt in sanitaire installaties.

Chemische eigenschappen

Koper is goed bestand tegen corrosie. Op het materiaaloppervlak vormt zich een oxidelaag (van kopersulfaat of koper-hydroxycarbonaat) die het koper beschermt tegen aantasting uit de atmosfeer. Deze laag is groen/bruin en is bijvoorbeeld duidelijk zichtbaar op hemelwaterafvoeren en dakbedekkingen van koper.

Technologische eigenschappen

Zuiver koper is goed koudvervormbaar door de lage rekgrens en treksterkte. Daarom wordt koper vaak gebruikt in koudgetrokken toestand. Het materiaal verstevigt sterk bij plastische vervorming. Dit effect verdwijnt weer als koper tot boven 200°C wordt verwarmd. De soortelijke weerstand neemt nauwelijks toe door koudvervorming. Als je een stroomdraad buigt heeft dit dus nauwelijks effect op de weerstand van de geleider.



Invloed koudvervormen koper op R_m , $R_{p0,2}$ en A

Koperlegeringen

Koper wordt vooral gelegeerd om de mechanische eigenschappen, de gietbaarheid en de corrosievastheid te verbeteren. De belangrijkste koperlegeringen zijn:

- koper-zinklegeringen (messing)
- koper-tinlegeringen (brons)
- koper-aluminiumlegeringen (duralumin)
- koper-nikkellegeringen (cupronikkel)
- koper-berylliumlegeringen

Aanduidingen koperlegeringen

Voorbeeld

Aanduiding volgens DIN en ISO: CuZn40Pb2

- Cu: koper
- Zn: zink is het belangrijkste legeringselement
- 40: legeringspercentage zink
- Pb: lood is het tweede legeringselement
- 2: legeringspercentage lood

Voorbeeld

Voorbeeld aanduiding volgens de Europese norm: EN CC 780 E S

- EN: Europese norm
 - C: koper
 - C: bewerkingsvorm: gegoten
 - 780: vastgelegde kwaliteit
 - E: legeringsgroep: meer dan 5% legeringselementen
 - S: toestand: spanningsarm gegloeid
-

Je kunt de Europese aanduidingen van de overige bewerkingsvormen, legeringsgroepen en toestanden van de legering vinden in tabellenboeken.

Koper-zinklegeringen (CuZn)

In koper-zinklegeringen (messing) zit 10% - 46% zink. Ze worden verdeeld in:

- koper-zink kneedlegeringen (10% - 39% zink):
zijn relatief zacht en daardoor goed koudvervormbaar. Bij het koudvervormen treedt versteviging op.
- koper-zink gietlegeringen (39% - 46% zink):
zijn relatief hard en daardoor niet koudvervormbaar. Ze zijn wel goed warmvervormbaar boven 500°C.

Bijzondere messingsoorten:

- CuZnPb: lood vergroot de verspaanbaarheid (automatenmessing)
- CuZnAg: zilver verlaagt de smelttemperatuur (hardsoldeer)
- CuZnAl: aluminium verhoogt de corrosievastheid (bestand tegen zeewater en cavitatie, scheepscondensors)
- CuZnSn: tin vergroot de corrosievastheid (bestand tegen agressieve watersoorten en cavitatie, condensorpijpen)

- CuZnNi: nikkel verhoogt de sterkte en taaheid en verbetert de corrosievastheid.

Aanduiding legering	Toestand	Mechanische eigenschappen			Toepassing
		R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	A (%)	
					Bijzonderheden
CuZn10	zacht	310	115	45	siervoorwerpen, imitatiejuwelen, muziekinstrumenten <i>grote corrosiebestendigheid, de legering wordt ook wel tombak genoemd</i>
CuZn20	zacht	320	120	50	siervoorwerpen, klembeugels, veren <i>geringe neiging tot spanningscorrosie</i>
CuZn30	zacht	330	130	70	dieptrekwerk, forceerwerk, blaasinstrumenten <i>uitstekend koudvervormbaar, ook wel aangeduid als dieptrek messing of forceermessing</i>
	veerhard	750	580	4	veren <i>in optimaal verstevigde toestand</i>
CuZn37	zacht	340	95	55	dieptrekwerk en onderdelen waar veel koudvervorming voor nodig is
CuZn40	zacht	380	100	30	voor warmperswerk en extruderen <i>warmpersmessing genoemd</i>
CuZn40Pb2	zacht	-	-	-	massa-artikelen, zoals bouten en moeren <i>automatenmessing</i>

Mechanische eigenschappen en toepassingen van CuZn-legeringen

Koper-tinlegeringen (CuSn)

Koper-tinlegeringen (brons) zijn harder, slijtvaster en corrosievaster dan koper-zinklegeringen. Ze bevatten 4% - 20% tin. Het tingehalte bepaalt de hardheid van de legering. Koper-tinlegeringen worden verdeeld in:

- koper-tin *kneedlegeringen* (4% - 10% tin): zijn zeer goed koud vervormbaar en hebben een grotere versteviging dan koper-zinklegeringen. Door de optredende versteviging en lage *E*-modulus zijn ze geschikt voor gebruik als verenmetaal.
- koper-tin *gietlegeringen* (10% - 20% tin): zijn niet koud vervormbaar, maar door hun samenstelling goed gietbaar. Deze legeringen zijn geschikt voor gebruik als lagermetaal.

Enkele bijzondere koper-tinlegeringen zijn:

- CuSnZn: zink verbetert de gietbaarheid van brons (zinkbrons);

- CuSnPb: lood verbetert de smerende werking van lagers (loodbrons).

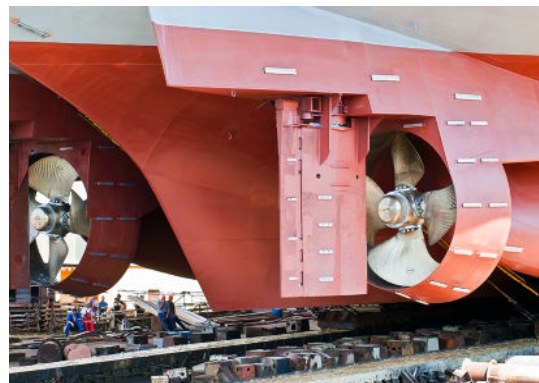
Aanduiding legering	Toestand	Mechanische eigenschappen			Toepassing Bijzonderheden
		R _m (N/mm ²)	R _{p0,2} (N/mm ²)	A (%)	
CuSn4	hard	600	500	4	veren, membranen, bouten <i>in zachte toestand goed koudvervormbaar</i>
CuSn8	veerhard	850	800	1	Veren <i>in zachte toestand goed koudvervormbaar</i>
CuSn10	gegoten	240	120	7	algemeen gietwerk, afsluiters, tandwielen
CuSn14	gegoten	300	170	7	glijlager, wormwielen
CuSn20	gegoten	-	-	-	klokken, standbeelden, glijlagers, slijtplaten
CuSn5Pb2	gegoten	-	-	-	glijlagers <i>wordt loodbrons genoemd</i>
CuSn10Zn2	gegoten	-	-	-	machinedelen, pomphuisen, afsluiters, enz. <i>zink toegevoegd voor verbetering van gietbaarheid en bewerkbaarheid</i>
CuSn5Pb5Zn5	gegoten	230	90	12	machinedelen afsluiters, appendages <i>ook wel 5-5-5 brons genoemd of universeelbrons</i>

Mechanische eigenschappen en toepassingen van CuSn-legeringen

Koper-aluminiumlegeringen (CuAl)

Koper-aluminiumlegeringen hebben een verbeterde sterkte en corrosievastheid. Ze vervangen vaak de duurdere koper-tinlegeringen.

Koper-aluminium *kneedlegeringen* bevatten tot 4% - 9% aluminium en zijn goed vervormbaar. Ze hebben een breekrek van ongeveer 50%. Van deze legeringen worden bijvoorbeeld platen voor condensoren en warmtewisselaars gemaakt.



Scheepschroef- en roer

Koper aluminium *gietlegeringen* bevatten 9% - 15% aluminium. Ze kunnen warm omgevormd, gespoten of gegoten worden. Bij het gieten kunnen insluitingen ontstaan. Koper-aluminium gietlegeringen zijn door hun grote corrosievastheid erg goed bestand tegen zeewater. Er worden schroeven van schepen, roeren en pompen van gemaakt.

Koper-nikkellegeringen (CuNi)

Nikkel geeft koper een grotere sterkte, taaheid en corrosievastheid. De corrosievastheid kan nog verbeteren door kleine hoeveelheden ijzer en chroom aan de legering toe te voegen (Cuprunikkel: CuNi20Fe1). Door ijzer en mangaan toe te voegen wordt vooral de corrosiebestendigheid tegen zeewater, zuren en basen verbeterd (Monel: CuNi68Fe3Mn).

Door zink toe te voegen verbeteren de warmtevastheid en hardheid van de koper-nikkellegering, maar neemt de corrosievastheid af. Constantaan (CuNi45) is een koper-nikkellegering die veel wordt gebruikt voor themokoppels en ijkweerstand. Deze legering is zeer temperatuurbestendig. Warmte beïnvloedt de elektrische weerstand nauwelijks.

Koper-berylliumlegeringen (CuBe)

Koper-berylliumlegeringen zijn hardbaar (precipitatieharden). Daardoor kunnen deze legeringen een hoge sterkte krijgen. Beryllium is een duur metaal, wat de legering kostbaar maakt. Een koper-berylliumlegering (tot 2% beryllium) heeft een uitstekende corrosievastheid, een goede warmtegeleiding en is vonkvrij. Deze legeringen worden daarom gebruikt voor vonkvrij gereedschap, dat geschikt is voor gebruik in explosieve omgevingen. Koper-berylliumlegeringen worden ook gebruikt voor matrijzen.



Tang van koper-berylliumlegering

Legering	Toestand	Mechanische eigenschappen			Toepassing
		R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	A (%)	
CuBe2	gehard	1200	1070	-	vonkvrij gereedschap en matrijzen
	gehard en koudvervormd	1450	1300	-	

Mechanische eigenschappen en toepassingen van CuBe-legeringen



1. Waarom is zuiver koper een belangrijker materiaal voor de elektro- en installatietechniek dan voor de werktuigbouwkunde?

7.2 Magnesium en magnesiumlegeringen

Magnesium komt vrij veel voor in de natuur. Het is een zilverwit non-ferrometaal, dat wordt gedolven uit mineralen in rotsen en zouten in zeewater.

Zuiver magnesium (Mg)

Magnesium is het lichtste constructiemetaal, maar heeft een lage sterkte. Vergeleken met aluminium heeft magnesium een iets hogere stijfheid, maar het materiaal is twee keer zo duur. Magnesium is slecht koudvervormbaar, het moet warm worden vervormd. Voor lichtgewicht constructies wordt om deze redenen vaker gekozen voor aluminium. De mechanische eigenschappen van magnesium zijn:

- treksterkte R_m : 80 N/mm²
- rekgrens $R_{p0,2}$: 50 N/mm²
- breukrek A : 2%
- elasticiteitsmodulus E : 45 kN/mm².

Magnesium is licht ontvlambaar en smelt bij 650°C. Bij verspanen moet het daarom goed gekoeld worden.

Magnesiumbranden mogen niet worden geblust met water of zand, omdat deze stoffen een chemische reactie aangaan met magnesium. Verder is magnesium een zeer actief constructiemateriaal. Het gaat vrij eenvoudig chemische verbindingen aan en mag daarom in constructies niet aan andere metalen worden gekoppeld.



Brandend magnesium

Magnesiumlegeringen

Magnesium krijgt een hogere sterkte door het te legeren of door warmtebehandelingen. Magnesiumlegeringen hebben een gunstige sterkte-gewichtsverhouding. Ze worden vooral gebruikt voor constructies waarbij een laag gewicht belangrijker is dan een hoge sterkte. Bijvoorbeeld in camera's, auto's, gereedschap en kantoormachines.

Aluminium, mangaan en zink zijn de belangrijkste legeringselementen. Aluminium (6% - 10%) en zink geven magnesium een grotere rekgrens en breukrek en verbeteren de gietbaarheid en dempende eigenschappen. Mangaan (0,1%) verbetert de corrosiebestendigheid van de legering.

Legering	ASTM-code	Samenstelling (%)				Toestand	0,2% rekgrens (N/mm ²)	Breukrek (%)
		Al	Zn	Mn	Zr			
MgMn1,5	M1	1,5				plaat	70	4
						extrusie	130	4
						gesmeed	105	4
MgAl3Zn1	AZ31	3	1	0,3		plaat	120	11
						extrusie	130	4
						gesmeed	105	4
MgAl16ZN1	A61	6	1	0,3		extrusie	180	7
						gesmeed	160	7
MgAl18Zn	AZ80	8,5	0,5	0,2		gesmeed	200	6
MgZn3Zr	ZK31		3		0,6	extrusie	210	8
MgZn6Zr	ZK61		6		0,8	extrusie	210	6

Samenstelling en eigenschappen van magnesiumlegeringen



2. Magnesium is het lichtste constructiemateriaal. Toch wordt er voor lichtgewicht constructies vaker gekozen voor aluminium. Noem drie redenen daarvoor.

7.3 Titanium en titaniumlegeringen

Titanium is een erg jong non-ferrometaal. Het wordt sinds 1948 in grote hoeveelheden geproduceerd. Titanium komt overal op aarde in ruime mate voor, in rutielerts. Het materiaal heeft zeer goede materiaaleigenschappen, maar is helaas erg moeilijk uit het erts te halen. Titanium reageert bij hoge temperaturen namelijk sterk met zuurstof. Het moet onder vacuüm gesmolten worden, wat de kostprijs sterk opdrijft. Titanium is ongeveer 30 keer duurder dan staal.

Zuiver titanium (Ti)

Titanium is 45% lichter dan staal, terwijl de mechanische eigenschappen (afhankelijk van de zuiverheid) beter zijn dan die van veel staalsoorten. Hierdoor is titanium zeer geschikt voor lichtgewicht constructies, zoals fietsen, golfclubs, behuizingen van exclusieve laptops en luxe auto's.

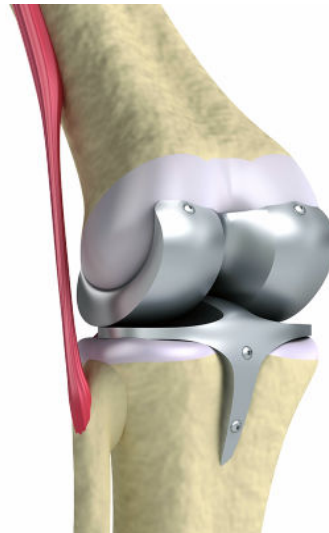
De mechanische eigenschappen van titanium zijn:

- R_m : 240 - 750 N/mm²

- $R_{p0,2}$: 200 - 450 N/mm²
- A : 15 - 30%
- 110 - 200 HB 30
- E : 108 000 N/mm²

Titanium is bij kamertemperatuur zeer slecht vervormbaar. Boven 885°C is het materiaal beter vervormbaar, maar het reageert boven 950°C sterk met zuurstof. Het smeltpunt van titanium is 1668°C.

Omdat titanium zeer corrosiebestendig is en zijn sterkte behoud bij hoge temperaturen (tot 500°C), wordt het materiaal veel gebruikt in vliegtuig- en ruimtevaartuigen. Het wordt ook veel gebruikt in de chemische- en procesindustrie, omdat titanium bij kamertemperatuur niet oplost in zuren en logen. Verder wordt titanium gebruikt voor medische toepassingen, zoals pennen en kunstheupen. Het materiaal is bestand tegen aantasting door lichaamsstoffen en weefsels. Titanium is niet giftig en wordt daardoor niet afgestoten door het menselijk lichaam.



Titanium voor medische toepassingen

Titaniumlegeringen

Ongeveer 70% van al het titaan wordt gelegeerd. In de tabel 'Eigenschappen en toepassingen van titaniumlegeringen' zie je veelvoorkomende titaanlegeringen, met hun mechanische eigenschappen en toepassingen.

Legering	Toestand	Mechanische eigenschappen			Toepassing
		R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	A (%)	
Ti99,5	niet gehard	420	316	28	bouten e.d., onderdelen in contact met zeewater, onderdelen van vliegtuigmotoren
TiA15Sn2,5		890	815	14	smeedstukken, schoepen voor stoomturbines, compressor-schoepen
TiA16V4	precipitatie gehard	920	850	12	zwaarbelaste smeedstukken, onderdelen voor de vliegtuigbouw, onderdelen voor raketmotoren, het is de meest gebuikte legering
TiV13Cr13Al3	precipitatie gehard	945	910	16	zwaarbelaste constructiedelen

Eigenschappen en toepassingen van titaniumlegeringen



3. Waarom heeft titanium een hoge kostprijs?

7.4 Zink en zinklegeringen

Zink komt wereldwijd veel voor. Het is een goedkoop materiaal doordat het relatief eenvoudig uit zinkerts kan worden gewonnen. Zink heeft matige mechanische eigenschappen en wordt daarom niet gebruikt als constructiemateriaal. Het wordt veel gebruikt vanwege zijn goede corrosievastheid in combinatie met een lage kostprijs.

Zuiver zink (Zn)

Zuiver zink wordt vooral gebruikt voor dakgoten en dakbedekkingen, omdat het materiaal goed te buigen en te solderen is. Verder wordt het gebruikt voor balanceringsgewichten op stalen velgen van auto's, als milieuvriendelijke vervanger van lood.

Stalen constructies en producten worden vaak verzinkt om ze te beschermen tegen corrosie. Zink reageert met zuurstof in de lucht en vormt een beschermende oxidelaag. Het staal kan hierdoor niet meer reageren met zuurstof in de lucht. De zinkoxiden zetten uit en sluiten de beschermende laag af. De beschermende zinklaag is zeer hard en slijtvast, en heeft een kenmerkend uiterlijk waarin de kristalstructuur duidelijk zichtbaar is.



Verzinkte lantaarnpaal

Het verzinken kan op verschillende manieren plaatsvinden:

- verven met zinkverf
- opspuiten van zink
- elektrolytisch verzinken
- dompelen in een zinkbad
- verhitten van zinkpoeder in een trommeloven

Zinklegeringen

Zink wordt veel gebruikt als hoofdlegeringselement in legeringen met koper (zie: *Koper-zinklegeringen*).

Zinklegeringen met zink als basiselement zijn goed gietbaar en eenvoudig koudvervormbaar. Ze zijn vooral geschikt voor het spuitgieten van geringe wanddikten. Daarbij krijgt het eindproduct een goede afwerking. Het is direct klaar voor gebruik zonder verdere nabehandelingen.

Bij het lassen van zink en zinklegeringen kan giftig zinkdamp ontstaan. Zink heeft een laag smeltpunt (420°C) en wordt al bij een relatief lage temperatuur (900°C) gasvormig. Een goede afzuiging is bij deze bewerkingen dus noodzakelijk.



4. Waarom worden veel constructies en producten (bijvoorbeeld hekwerken en lantaarnpalen) verzinkt?

7.5 Lood en loodlegeringen

Lood komt vrij weinig voor in de natuur. Het wordt gewonnen uit ertsen die naast lood ook zink, zilver en koper bevatten. Omdat het zo schaars is wordt lood zeer veel gerecycled.

Zuiver lood (Pb)

Lood is erg zacht, buigzaam en kneedbaar. Het heeft een hoge dichtheid (hoog gewicht) en is daardoor geschikt als balastmateriaal. Lood kruipt zelfs onder zijn eigen gewicht en is daardoor ongeschikt als constructiemateriaal. Vanwege de hoge buigzaamheid wordt lood in de woningbouw nog altijd veel gebruikt voor het afdichten van kieren (loodloketten en loodslabben).



Loodloketten op een dakkapel

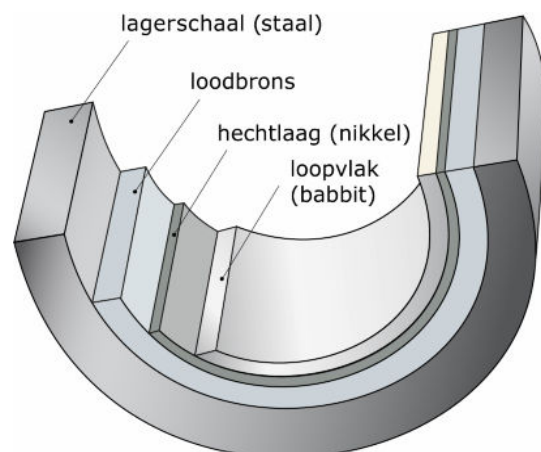
Lood is corrosievast en bestand tegen chemicaliën en tegen radioactieve- en röntgenstraling. Daarom wordt het veel gebruikt als bescherming tegen stralingsbronnen bij medische toepassingen (röntgenfoto's) en in kerncentrales. Het smeltpunt van zuiver lood is 327°C.

Lood is giftig en schadelijk voor het milieu. Daarom wordt het steeds minder gebruikt en vervangen door milieuvriendelijke materialen.

Loodlegeringen

Lood heeft een laag smeltpunt is daardoor geschikt als soldeermateriaal in legeringen met tin en zilver. Bijvoorbeeld in een (eutectische) legering met 60% lood, 38% tin en 2% zilver. Omdat lood giftig is mag deze legering niet gebruikt worden voor het solderen van waterleidingen.

Lood wordt in legeringen met antimoon en tin gebruikt als materiaal voor lagerschalen van glijlagers. Bijvoorbeeld in een legering van 80% lood, 15% antimoon en 5% tin. Deze legering wordt ook wel *witmetaal* of *babbitemetaal* genoemd.



Glijlagerschaal met loopvlak van babbitemetaal



5. Waarom is zuiver lood ongeschikt als constructiemateriaal?

7.6 Tin en tinlegeringen

Tin komt vrijwel overal op aarde in beperkte mate voor. Daarnaast is het moeilijk te recycleren, waardoor tin steeds schaarser en duurder wordt.

Zuiver tin (Sn)

Zuiver tin heeft een lage sterkte en stijfheid. Het is daardoor ongeschikt als constructiemateriaal.

Doordat het niet giftig en smaak- en reukloos is, is tin geschikt voor het verpakken van levensmiddelen. Daarbij heeft tin het voordeel dat het zich makkelijk verbindt met ijzer. Een dun laagje tin op stalen verpakkingsblikken beschermt het staal tegen corrosie, waardoor er geen roest in de etenswaren terecht kan komen.

Zuiver tin valt onder bij temperaturen onder 0°C na verloop van tijd uiteen in poeder. Dit verschijnsel wordt tinpest genoemd. Het smelpunt van zuiver tin is 232°C.

Tinlegeringen

Tin wordt veel gebruikt als hoofdlegeringselement in legeringen met koper (zie: *Koper-tinlegeringen*). Het wordt ook veel toegepast in legeringen met lood en zilver als toevoegmateriaal voor solderen, en in legeringen met lood en antimoon voor lagerschalen (zie: *Loodlegeringen*).



6. Waarom worden stalen verpakkingsblikken voorzien van een laagje tin?

7.7 Samenvatting

Materiaal	Materiaaleigenschappen	Toepassingen
Koper (Cu)	goede warmte- en elektriciteitsgeleiding, slechte mechanische eigenschappen, niet magnetisch, antibacteriël, corrosiebestendig, goed koud vervormbaar	stroomgeleiders, koelers voor halfgeleiders, warmwatertoestellen, voertuigradiatoren, sanitaire installaties
Koperlegeringen	met Zn en Pb: betere verspaanbaarheid met Zn en Ag: lagere smelttemperatuur met Zn en Al, Sn en Ni: grotere corrosievastheid, sterkte en taaiheid met Sn en Zn: betere gietbaarheid met Sn en Pb: smerende werking met Be: hardbaar, vonkvrij	automatenmessing, hardsoldeer, warmtewisselaars, zinkbrons, lagerbrons, klembeugels, wormwielen, pomphuisen, afsluiters, scheepsschroeven, vonkvrij gereedschap
Magnesium (Mg)	lichtste non-ferrometaal, lage treksterkte, slecht koud vervormbaar, licht ontvlambaar	niet geschikt als constructiemateriaal
Magnesiumlegeringen	met Al en Zn: grotere rekgrens en rek, betere gietbaarheid, trillingsdempend met Mb: betere corrosievastheid	auto's, camera's, gereedschap, kantoorapparatuur
Titanium (Ti)	45% lichter dan staal en betere mechanische eigenschappen, slecht koud vervormbaar, reageert bij hoge temperaturen sterk met zuurstof, zeer corrosiebestendig, niet giftig voor het menselijk lichaam	lichtgewicht constructies, auto's, fietsen, golfclubs, laptopbehuizingen, protheses
Titaniumlegeringen	met Al en Sn: hogere treksterkte en rekgrens, lagere breekrek met V, Cr en A: hardbaar	smeedstukken, schoepen voor stoomturbines en compressoren, zwaarbelaste constructiedelen
Zink (Zn)	goed koudvervormbaar	balanceringsgewichten voor velgen, verzinken van stalen constructies
Zinklegeringen	goed gietbaar	sputgieten van geringe wanddikten
Lood (Pb)	hoge dichtheid, slechte mechanische eigenschappen, corrosievast, houdt straling tegen, giftig	ballastmateriaal, loodloketten en loodslabben, bescherming tegen stralingsbronnen
Loodlegeringen	met Sn en Ag: laag smeltpunt met Sb en Sn: trillingsdempend, smerende werking	soldeer toevoegmateriaal, glijlagers (witmetaal, Babbittmetaal)
Tin (Sn)	slechte mechanische eigenschappen, corrosiebestendig, niet giftig, smaak- en reukloos	verpakkingsmateriaal (blik)

7.8 Antwoorden

Antwoord 1

Zuiver koper geleidt goed warmte en elektriciteit, maar heeft matige mechanische eigenschappen.

Antwoord 2

Magnesium heeft een lage stijfheid, maar een iets hogere stijfheid dan aluminium. Magnesium is echter slecht koudvervormbaar en is twee keer zo duur als aluminium.

Antwoord 3

Het rutielerts moet onder vacuüm gesmolten worden om daaruit titanium te winnen.

Antwoord 4

Om ze te beschermen tegen corrosie.

Antwoord 5

Zuiver lood heeft een zeer lage sterkte en kruipt onder zijn eigen gewicht.

Antwoord 6

Tin beschermt het staal tegen corrosie, waardoor er geen roest in de etenswaren terecht kan komen. Verder is tin niet giftig en smaak- en reukloos.

8 Vragen Overige Non-ferrometalen

Vraag 1

Is zuiver koper goed koud vervormbaar?
Waarom wel/niet?

Vraag 2

Hoe wordt een koper-zinklegering ook wel genoemd?

- ☐ brons
- ☐ duralumin
- ☐ messing
- ☐ cupronikkel

Vraag 3

Van welke koper-zinklegering worden bouten en moeren gemaakt?
Geef de aanduiding volgens DIN en ISO en verklaar deze aanduiding.

Vraag 4

Welke materiaaleigenschap van koper wordt verbeterd door het koper te legeren met zink en aluminium?

- ☐ de verspaanbaarheid
- ☐ de corrosievastheid
- ☐ de sterkte en de taaiheid
- ☐ de smelttemperatuur

Vraag 5

Hoe wordt een koper-tinlegering ook wel genoemd?

- ☐ brons
- ☐ duralumin
- ☐ messing
- ☐ cupronikkel

Vraag 6

Welke legering heeft over het algemeen betere mechanische eigenschappen?

- ☐ een koper-tinlegering
- ☐ een koper-zinklegering

Vraag 7

Vanaf welk tingealte is brons geschikt als lagermateriaal?

- ☐ 2 - 4% tin
- ☐ 4 - 10% tin
- ☐ 10 - 20% tin
- ☐ 20 - 30% tin

Vraag 8

Wat betekent de aanduiding CuSn5Pb5Zn5 ?

Vraag 9

Van welke koperlegeringen worden scheepsschroeven en roeren gemaakt?

Vraag 10

Waarom wordt bij scheepsschroeven en roeren voor een bepaalde koperlegering gekozen?

Vraag 11

Van welke koperlegeringen wordt vonkvrij gereedschap gemaakt?

- ☐ koper-tinlegeringen
- ☐ koper-nikkellegeringen
- ☐ koper-berylliumlegeringen
- ☐ koper-aluminiumlegeringen

Vraag 12

Waarom mag je brandend magnesium nooit blussen met zand of water?

Vraag 13

Wat zijn eigenschappen van magnesiumlegeringen?

Er zijn twee juiste antwoorden.

- ☐ hoge sterkte
- ☐ goed koudvervormbaar
- ☐ lage dichtheid
- ☐ goed lasbaar

Vraag 14

Waarom wordt titanium ondanks de hoge kostprijs veel toegepast in de ruimtevaart- en vliegtuigindustrie?

Vraag 15

Waarom is een goede afzuiginstallatie bij het lassen van zink nog belangrijker dan bij het lassen van andere metalen?

Vraag 16

Uit welke legeringselementen bestaat Babbitmetaal?

Vraag 17

Wat is tinpest?
