

Materialen

vormgeven van dunne metaalplaat

vm 111

VWM

Materialen

Vormgeven van dunne metaalplaat

vm 111



Vereniging FME-CWM

vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

Telefoon: (079) 353 11 00

Telefax: (079) 353 13 65

E-mail: info@fme.nl

Internet: www.fme.nl

© Vereniging FME-CWM/december 2008, 2^e druk

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
afdeling Technologie en Innovatie
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon: 079 - 353 11 00
telefax: 079 - 353 13 65
e-mail: info@fme.nl
internet: www.fme.nl

Materialen

vormgeven van dunne metaalplaat

toelichting

De eerste uitgave van deze publicatie is in 1996 samengesteld door de werkgroep "Dieptrekken van dunne plaat, staal, aluminium" en geeft gerichte theoretische en praktische informatie ten behoeve van respectievelijk de gebruikers van de diverse materialen welke bij het omvormproces (dieptrekken, kraagtrekken, strekken, alsmede buigen en scheiden) worden gebruikt, geïnteresseerden in de betreffende processen, technische cursussen en opleidingen. In 2008 is de inhoud aangepast aan de huidige stand der techniek.

De inhoud van deze publicatie behandelt de belangrijkste materialen (zowel product- en gereedschapmaterialen alsmede hulpstoffen) welke bij het vormgeven van dunne plaat van belang zijn. In de voorlichtingspublicaties VM 110 "Dieptrekken", VM 113 "Buigen" alsmede VM 114 "Scheidingstechnieken voor metalen" vindt u gegevens m.b.t. de diverse omvormprocessen en in VM 112 "Machines en gereedschappen" worden de machines en gereedschappen behandeld.

Aangepast door:

Ad Kastelijn	Federatie Dunne Plaat
Gert-Jan Streefland	Quaker Chemical BV
met medewerking van:	
Harry Raaijmakers	Federatie Dunne Plaat
Eindredactie:	
Peter Boers	Vereniging FME-CWM

samenstelling werkgroep (2000):

G. van Wijngaarden	Metaalcompagnie Brabant
G.J. Streefland	Quaker Chemical BV (v/h werkzaam bij TNO Metaalinstituut)
P. Rothuizen	DAF Trucks NV
W.A.J. Moerdijk	Petrofer Benelux BV
R.F. Grimbergen †	Hoogovens Research & Development
P.J. Bolt	TNO Metaalinstituut
P. Boers	Vereniging FME CWM
A.A. Aldenkamp	PMP

samenstelling stuurgroep (2000):

Ahrend BV, Sint Oedenrode	F.C.M. Kemps
Arcap BV, Lichtenvoorde	J.A. van Eijden
Bond voor Materialenkennis, Zwijndrecht	H.M. Brüggemann
BOSAL Research NV, Lummen (B)	W. Stuer
DAF Trucks NV, Eindhoven	P. Rothuizen
Delem BV, Eindhoven	F. Kocken
Holec Algemene Toelevering, Hengelo	G. Schats
Corus Research & Development, IJmuiden	R.F. Grimbergen † en A. Hurkmans (voorzitter)
Houghton Benelux BV, Oosterhout	J. van Brummelen
Ifö Kampri BV, Kampen	W.E.H. Kamphuis
IOP Metalen, Apeldoorn	P.H. van Lent
ISCO Technic BV, Waalwijk	C. Leynse
Koninklijke fabriek Inventum BV, Bilthoven	P. Lagard
Metaalcompagnie Brabant BV, Valkenswaard	G. van Wijngaarden
NRF Radiateurs, Mill	W. van den Brand
Petrofer Benelux BV, Oosterhout	W.A.J. Moerdijk
PMP, Apeldoorn	A.A. Aldenkamp en G.H.G. Vaessen
Quaker Chemical BV, Uithoorn	N.L.J.M. Broekhof en G.J. Streefland
Safan Lochem BV, Lochem	T. Slot en S.C. Todd †
Stago BV, Hoorn	A. Kliphuis
Stork FDO BV, Amsterdam	J.E. Buter
TNO Metaalinstituut, Apeldoorn	P.J. Bolt (projectleider)
Vereniging FME-CWM, Zoetermeer	P. Boers en C.J.T.M. Willems

Al deze bedrijven/instellingen hebben een bijdrage geleverd aan dit project. Het Ministerie van Economische Zaken heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de financiering hiervan.

informatie over en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info bladen

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

- bezoekadres	Boerhaavelaan 40, Zoetermeer
- correspondentie-adres	Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER
- telefoon	079 - 353 11 00 / 353 13 41
- telefax	079 - 353 13 65
- e-mail	info@fme.nl
- website	www.fme.nl

Inhoud

	blz.		blz.
Gebruiksaanwijzing	5	Deel II Gereedschapmaterialen	41
Lijst van gebruikte symbolen	6	6 Inleiding gereedschapmaterialen	41
Deel I Productmaterialen	7	7 Bezwijken van gereedschappen	44
1 Inleiding productmaterialen	7	7.1 Plastische deformatie	44
2 Materiaalonderzoek	8	7.2 Scheuren of breken	44
3 Mechanische eigenschappen	9	7.3 Oppervlaktevermoeiing	44
3.1 Eenassige spanningstoestand	9	7.4 Overmatige slijtage	44
3.2 Tweeassige spanningstoestand	10	8 Slijtage	45
3.3 Eigenschappen van belang bij omvormen	11	8.1 Abrasieve slijtage	45
3.3.1 Verstevinging	11	8.2 Adhesieve slijtage	45
3.3.2 Anisotropie	12	9 Corrosie	46
3.3.3 Praktische betekenis van een aantal mechanische eigenschappen	13	10 Bewerkbaarheid van gereedschapmateriaal	47
4 Bestelspecificaties en normen	14	11 Warmtebehandelingen	48
4.1 Bestelspecificaties	14	11.1 Inleiding	48
4.2 Opstellen van specificaties	15	11.2 Harden	48
4.3 Hoe te bestellen	18	11.3 Maat- en vormveranderingen bij het harden	48
5 Metalen voor vervormingsdoeleinden	19	12 Oppervlaktebehandelingen	49
5.1 Staal	19	Deel III Hulpstoffen	50
5.1.1 Vervormingsstaal, onbekleed	20	13 Inleiding hulpstoffen	50
5.1.2 Sterktestaal, onbekleed	22	14 Smeermiddelen	51
5.1.3 Staalsoorten, bekleed	24	14.1 Inleiding	51
5.2 Roestvast staal	28	14.2 Basis-olie	52
5.2.1 Indeling roestvaste staalsoorten	28	14.3 Additieven	52
5.2.2 Ferritisch roestvast staal	29	14.4 Bijzondere technieken	53
5.2.3 Austenitisch roestvast staal	30	14.5 Terminologie	53
5.3 Aluminium en aluminiumlegeringen	32	15 Praktisch gebruik van smeermiddelen	56
5.3.1 Classificatiesysteem	33	15.1 Inleiding	56
5.3.2 1xxx legeringen	34	15.2 Voorbereiding	56
5.3.3 2xxx legeringen	35	15.3 Aanbrengen	56
5.3.4 3xxx legeringen	36	15.4 Reinigen na het omvormen	57
5.3.5 4xxx legeringen	36	16 Corrosiebescherming	59
5.3.6 5xxx legeringen	36	16.1 Bij opslag en verzending zonder reinigen	59
5.3.7 6xxx legeringen	37	16.2 Bij opslag en verzending met reinigen	59
5.3.8 7xxx legeringen	37	17 Opslag van smeermiddelen	61
5.3.9 8xxx legeringen	37	18 Gezondheid, milieu en veiligheid	62
5.4 Koper en koperlegeringen	37	18.1 Algemeen	62
5.4.1 Koper	38	18.2 Gezondheid	62
5.4.2 Messing	38	18.3 Milieu	62
5.4.3 Brons	39	18.4 Veiligheid	62
5.4.4 Bijzondere koperlegeringen	39	Literatuur	67
		Trefwoorden	68

Gebruiksaanwijzing:

Deze VM publicatie is onderdeel van een serie publicaties die zich richt op diegenen die in de praktijk te maken hebben met het vormgeven van dunne plaat of zich daarmee willen gaan bezighouden.

Vormgeven van dunne plaat kan met een groot aantal technieken. De publicaties richten zich op de meest voorkomende:

- dieptrekken, kraagtrekken en strekken;
- buigtechnieken zoals vrij-, strijk-, zwenk- en matrijsbuigen;
- scheidingstechnieken zoals ponsen en knippen, plasma- en lasersnijden.

Voor het verbinden van dunne plaat wordt verwezen naar diverse VM publicaties over lassen, solderen, lijmen, mechanisch verbinden, enz. (zie de VM-catalogus van de FME).

Bij het vormgeven van plaat spelen drie aspecten een rol:

- de keuze van het vormgevingsproces, op basis van of in samenwerking met het productontwerp;
- de keuze en invloed van het productmateriaal, het gereedschapmateriaal en smeermiddelen (hulpstoffen) op het vormgevingsproces en het eindproduct;
- de keuze van machines en gereedschappen.

Sommige materiaal- en machinegebonden aspecten zijn alleen van belang voor een bepaalde vormgevingstechniek, zoals bijvoorbeeld smeermiddelen voor dieptrekken. Andere zijn van algemeen belang.

Informatie over respectievelijk dieptrekken (inclusief kraagtrekken en strekken), buigen en scheidingstechnieken wordt in drie aparte (proces-)publicaties gegeven. Deze procespublicaties worden geflankeerd door twee publicaties:

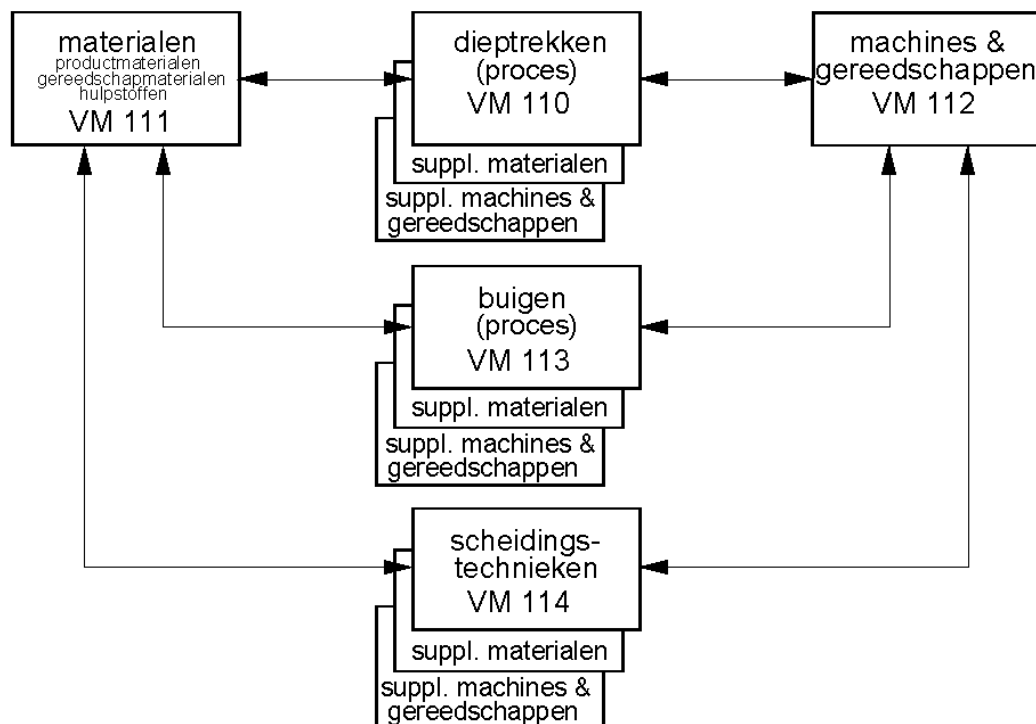
- een publicatie met algemene informatie over product- en gereedschapmaterialen alsmede hulpstoffen;
- een publicatie over machines en gereedschappen.

In de procespublicaties bevinden zich supplementen over materialen, alsmede machines en gereedschappen, waarin specifieke informatie wordt gegeven die van belang is voor het desbetreffende proces. Voor een goed begrip van deze stof wordt aangeraden ook de publicaties VM 111 "Materialen" en VM 112 "Machines en gereedschappen" erbij te houden.

In de procespublicaties worden trouble shoot lijsten gegeven. Deze verwijzen niet alleen naar de tekst in de procespublicatie zelf, maar indien nodig ook naar de andere publicaties.

In het hierbij afgebeelde schema wordt de samenhang aangegeven.

vormgeven van dunne metaalplaat



Lijst van gebruikte symbolen

A_e	vloeivlag
A_g	gelijkmatige rek
$A_{80/50}$	breekrek
a	dikte proefbuigstaaf
E	elasticiteitsmodulus (Youngs modulus)
F	kracht
F_m	maximale kracht
K	constante
L_o	oorspronkelijke meetlengte
L_u	lengte na breuk
ΔL	totale blijvende verlenging na breuk
n	verstevingsexponent
$\bar{n}$	gemiddelde n waarde
n_{90}	n waarde onder 90° walsrichting
R_{eH}	bovenste vloeigrens
R_{eL}	onderste vloeigrens
R_m	treksterkte
R_p	rekgrens
$R_{p0,2}$	0,2% rekgrens
R_{p1}	1% rekgrens
e	maatrek
r	anisotropiecoëfficiënt
$\bar{r}$	gemiddelde r waarde
r_0	r waarde onder 0° walsrichting
r_{45}	r waarde onder 45° walsrichting
r_{90}	r waarde onder 90° walsrichting
s_o	oorspronkelijke plaatdikte
S_o	oorspronkelijk oppervlak
T_m	smelttemperatuur in Kelvin
ε	ware rek
ε_a	breedterek
ε_b	dikterek
σ	spanning
σ_v	vloeispanning (afhankelijk van de deformatie van het materiaal)

Deel I Productmaterialen

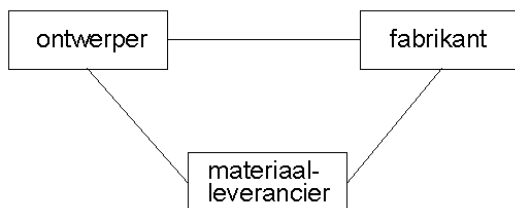
Hoofdstuk 1

Inleiding productmaterialen

De bruikbaarheid van materialen is van veel factoren afhankelijk. Daarom kan de beoordeling ervan verraderlijk zijn. Om te beginnen is er een groot verschil in eisen met betrekking tot de toepassing en de verwerking. Daarnaast zijn er aanzienlijke verschillen in prijs.

Metalen zijn geschikt voor een uitgebreide reeks van toepassingen. Dit komt in hoofdzaak voort uit een, voor veel toepassingen gunstige, combinatie van mechanische eigenschappen, weerstand tegen corrosie en slijtage, het geleidingsvermogen voor warmte en elektriciteit en de magnetische eigenschappen.

Bij de keuze van productmaterialen overheersen in verreweg de meeste gevallen de mechanische eigenschappen. De toepassing van deze materialen wordt vooral bepaald door de vervormbaarheid, bewerkbaarheid en kostprijs. De constructeur, de verwerker en de gebruiker bepalen ieder uit hun eigen analyse aan welke eisen het materiaal moet voldoen. De uiteindelijke keuze zal daarom altijd een compromis zijn. Belangrijk daarbij is de afweging, aan welke eisen prioriteit moet worden gegeven (zie figuur 1.1).



figuur 1.1 De driehoeksverhouding in de materiaalkeuze

Om vast te kunnen stellen of een materiaal voor een bepaalde toepassing geschikt is, moeten de eigenschappen van dat materiaal bekend zijn. Voor de bepaling van de materiaaleigenschappen zijn onder andere diverse mechanische beproevingsmethoden ontwikkeld.

Deze beproevingsmethoden leggen de eigenschappen vast in kentallen, waardoor de materialen tevens onderling te vergelijken zijn. Overigens zijn de uit de mechanische beproevingsmethoden verkregen kentallen afhankelijk van de vorm van het gebruikte proefstuk en van de toegepaste methode. Vandaar dat zowel proefstuk als methode zijn vastgelegd in normbladen. De belangrijkste mechanische eigenschappen die langs deze weg worden bepaald zijn de sterkte, taaiheid en hardheid.

Naast deze kentallen zijn materialen ook te karakteriseren door middel van fysische en chemische kentallen. Deze kentallen zijn in principe onafhankelijk van de vorm van het proefstuk.

De belangrijkste fysische en chemische eigenschappen zijn geleidingsvermogen, magnetisme en de weerstand tegen corrosie.

Een ander belangrijk kenmerk is de structuur die van grote invloed is op de bewerkbaarheid.

Voor de verwerker van de materialen zijn met name de eigenschappen die het omvormproces beïnvloeden van belang. Een aantal van die eigenschappen wordt bepaald door de manier waarop het plaatmateriaal is geproduceerd. Om voor materiaalfabrikant en verwerker duidelijk te maken hoe materialen worden geleverd, is in normen vastgelegd aan welke eisen het materiaal moet voldoen. Deze normen zijn vastgelegd in nationale en internatio-

nale normbladen, bijvoorbeeld NEN-EN 10 020 "Definitie en indeling van staalsoorten". Specifieke klantwensen zijn in bepaalde gevallen vastgelegd in bedrijfsnormen. Soms wordt het materiaal met een keuringsdocument geleverd, waaruit blijkt dat het geleverde materiaal aan de gestelde normen voldoet (bij een aantal fabrikanten is tevens de productiewijze gecertificeerd). Hoe zo'n keuringsdocument is opgebouwd, is vastgelegd in normblad NEN-EN 10 204 "Producten van metaal, soorten leveringsdocumenten".

Andere specificaties die door de koper kunnen worden opgegeven, betreffen de verpakking en de afmetingen van de te leveren materialen. Ook hier zijn normen voor.

In de volgende hoofdstukken zullen eerst verschillende mechanische eigenschappen worden behandeld, in het bijzonder die eigenschappen die bij het omvormen een rol spelen.

Daarna wordt ingegaan op hoe in de praktijk materiaal wordt gespecificeerd. Dit is onder andere noodzakelijk om materiaal te kunnen bestellen. Vervolgens zullen enkele metalen uitgebreid worden besproken.

Hoofdstuk 2

Materiaalonderzoek

Voor de bepaling van de omvormbaarheid (geschiktheid voor het omvormproces) van plaatmateriaal is een groot aantal onderzoeksmethoden ontwikkeld. Niet een van deze methoden geeft algemeen toepasbare informatie. Dit wordt veroorzaakt door de complexiteit van de vervormingsprocessen. De ontwikkelde onderzoeksmethoden zijn gebaseerd op:

- a) bepaling van de fysische en chemische materiaaleigenschappen;
- b) bepaling van het gedrag van het materiaal onder invloed van de werking van gereedschappen of onderdelen daarvan (de mechanische eigenschappen).

Onderzoeksmethoden die vooral de fysische en chemische materiaaleigenschappen van de plaat bepalen, zijn:

- röntgenonderzoek;
- chemische analyse;
- microscopisch onderzoek.

De belangrijkste onderzoeksmethoden voor het bepalen van de mechanische eigenschappen, waarbij naast de materiaaleigenschappen de beproevingsomstandigheden een rol spelen, zijn:

- hardheidsmeting;
- trekproef;
- buigproef;
- Erichsenproef.

In tabel 2.1 staan deze onderzoeksmethoden weergegeven met de voor- en nadelen.

tabel 2.1 Onderzoeksmethoden

onderzoeksmethoden	bijzonderheden	opmerkingen	
		voordelen	nadelen
röntgenonderzoek	bepaling van textuur, anisotropie, deformatie en restspanningen	bepaling van intrinsieke eigenschappen	vereist kostbare apparatuur en geschoold personeel
chemische analyse	bepaling van legeringselementen en verontreinigingen	controle op gelijkmatige productie	geringe indicatie voor plaatkwaliteit
microscopisch onderzoek	bepaling van: ► verdeling en hoeveelheid verontreinigingen en insluitels; ► korrelgrootte en -verdeling; ► fabricagefouten	belangrijke methode voor bepaling van enige materiaalparameters	► apparatuur en geschoold personeel noodzakelijk; ► tijdrovend
hardheidsmeting	► hardheidsmetingen met kogel of diamant; ► belasting afhankelijk van plaatdikte	metingen op kleine gebieden van kouddeformatie en onregelmatigheden, ook na vervorming	sterke invloed van beproevingsomstandigheden
trekproef	bepaling van mechanische eigenschappen zoals: rekgrens, treksterkte, breukrek, insnoering, gelijkmatige rek, n-waarde, r-waarde	► belangrijk voor bepaling materiaalparameters; ► controle op gelijkmatigheid en anisotropie	► vereist kostbare apparatuur; ► hoge eisen aan proefstaven; ► hoge eisen aan proef; ► tijdrovend
buigproef	buigen om een doorn, vrijbuigen, vouwproef	indicatie voor buigbaarheid, inhomogeniteiten, oppervlakteverruwing	beperkte waarde
Erichsenproef	indrukking met kogelstempel tot scheurvorming optreedt	geeft indruk van gedrag bij strekken	► beperkte waarde; ► moeilijk reproduceerbaar; ► sterke invloed van beproevingsomstandigheden

Hoofdstuk 3

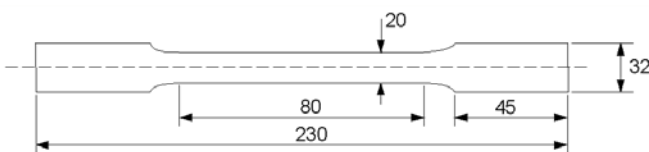
Mechanische eigenschappen

3.1 Eenassige spanningstoestand

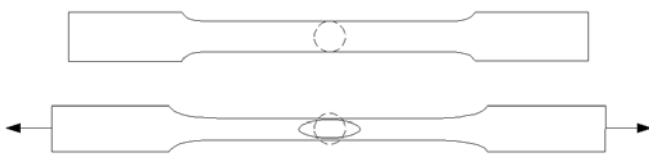
De eenvoudigste spanningstoestand die in plaatvervormingsoperaties kan optreden is de eenassige spanningstoestand. Een goed voorbeeld van zo'n vervormingsoperatie is de trekproef. Het bestudeerde gebied waarin de vervorming optreedt is rechthoekig (bijvoorbeeld een trekstaaf) en de (trek)spanningsrichting is in de lengterichting van de staaf, terwijl de aangelegde spanning in de dwarsrichting en in de dikterichting gelijk is aan nul. Daarbij blijft de staaf vlak, zodat met kromming geen rekening behoeft te worden gehouden.

Er wordt verondersteld dat het volume van metalen constant blijft tijdens de vervorming. Dit betekent dat wanneer in de lengterichting van de staaf een verlenging optreedt, de oppervlakte van de doorsnede afneemt.

Figuur 3.1 toont een voorbeeld van een trekstaaf. Om de vervorming goed te kunnen volgen, denken we op het oppervlak van de staaf een cirkel getekend. Wanneer de staaf rekt zal de cirkel vervormen. Omdat het volume constant blijft, zullen breedte en/of dikte afnemen, waardoor de oorspronkelijke cirkel niet alleen langer, maar ook smaller wordt (zie figuur 3.2).



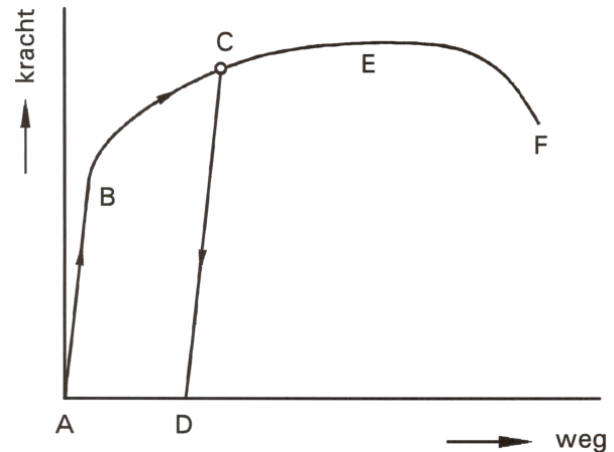
figuur 3.1 Genormeerde platte trekstaaf (NEN-EN 10 002)



figuur 3.2 Onder eenassige belasting wordt de staaf langer, smaller en/of dunner

Figuur 3.3 laat een schematisch kracht-weg diagram zien, kenmerkend voor een metaal, bij een temperatuur lager dan $0,4 T_m$ (T_m is de smelttemperatuur in Kelvin van het gebruikte metaal) en lage treksnelheid. Bekijken we de kromme nauwkeuriger, dan nemen we het volgende waar: Van A tot B is het verband tussen kracht en weg lineair en gedraagt het materiaal zich elastisch. Als de kracht bij B wordt weggenomen komen we langs dezelfde lijn weer in A. De helling van dit lineaire gebied wordt de elasticiteitsmodulus genoemd, wanneer het diagram wordt weergegeven in spanning en rek (zie hiervoor de beschrijving van de trekproef op de volgende pagina).

In het punt B gaat de vervorming van het materiaal over van elastisch naar plastisch (blijvend). Dit punt wordt de elasticiteitsgrens genoemd, hoewel de overgang lang niet altijd even duidelijk is. Wanneer bij punt C de spanning wordt weggenomen keert het proefstuk terug tot bij punt D. Het weglengte verschil tussen A en D is de plastische deformatie (blijvende vervorming). Verder valt op dat de kromme blijft stijgen, terwijl de doorsnede afneemt. (We gaan er van uit dat het volume constant blijft). Dit wordt veroorzaakt door een verschijnsel dat versterking wordt genoemd (zie § 3.3.1). Het komt voor bij alle metalen bij temperaturen lager dan $0,4 T_m$.

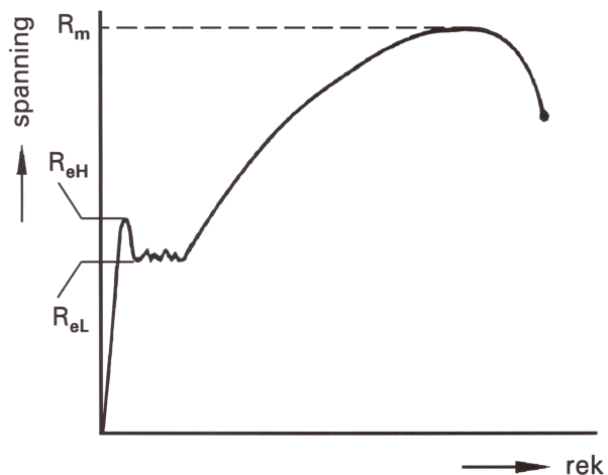


figuur 3.3 Kracht-weg diagram

De versterking is niet eindeloos in staat te compenseren voor de afname in doorsnede en zodoende ontstaat er een maximum in punt E. Tot dit punt E rekt het proefstuk uniform over de gehele lengte. Na punt E zal tengevolge van plastische instabiliteit insnoering optreden in de staaf. Deze insnoering, diffuse insnoering genoemd, is nog niet desastreus. In punt F begint zich plotseling een smalle groef in het oppervlak te vormen, onder een vaste hoek ten opzichte van de aangelegde spanning. In het smalste deel van deze diffuse insnoering resulteert dit in snel bezwijken (scheuren). De smalle groef wordt aangeduid met lokale insnoering.

Onder bepaalde omstandigheden is het begin van de plastische rek niet stabiel. Dit is herkenbaar aan de sterk schommelende belasting. Dit gebied wordt aangeduid met de naam vloeivlag (zie figuur 3.4).

Op de volgende pagina's wordt verder ingegaan op de parameters verkregen uit de trekproef en het belang ervan.



figuur 3.4 Trekkromme met vloeivlag. R_{eH} : bovenste vloei-grens; R_{eL} : onderste vloei-grens

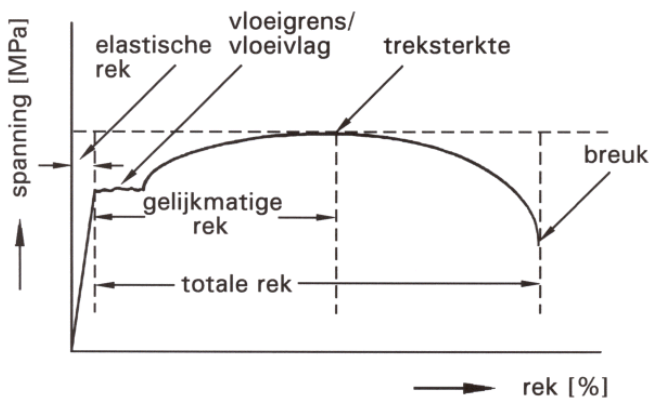
Uitvoering van de trekproef

Bij de trekproef wordt een trekstaaf van vaste afmetingen aan een toenemende (trek)belasting onderworpen tot breuk optreedt.

Met de aan de trekbank gekoppelde apparatuur worden belasting en verlenging op elk moment vastgelegd (zie norm NEN-EN 10 002).

Het verband tussen belasting en verlenging van de proefstaaf kan worden weergegeven in een grafiek, waarin verticaal de belasting en horizontaal de verlenging wordt uitgezet. Vaak wordt niet de totale belasting uitgezet, maar de belasting per oppervlakte-eenheid. Dit wordt de spanning genoemd. Voor het berekenen van de spanning

wordt de belasting gedeeld door het oorspronkelijke oppervlak (zie figuur 3.5).



figuur 3.5 Spanning-rek diagram

Hetzelfde geldt voor de verlenging. In plaats van de totale verlenging wordt de verlenging per lengte-eenheid uitgezet. Dit wordt de rek genoemd. Voor het berekenen van de rek wordt de verlenging gedeeld door de oorspronkelijke (meet)lengte.

De via de trekproef verkregen waarden worden beïnvloed door de vorm van de proefstaaf, de meetlengte en de wijze waarop de proef wordt uitgevoerd.

Om de via een trekproef verkregen waarden onderling vergelijkbaar te maken, is het nodig dat iedereen de proef op dezelfde manier uitvoert. Om deze reden is de uitvoering van de trekproef volledig beschreven in de norm NEN-EN 10 002, deel 1. Gegevens met betrekking tot het uittrekken en vervaardigen van proefstaven zijn vermeld in EURONORM 18 en NEN-EN 10 002, deel 1. Welke trekproef moet worden uitgevoerd, wordt meestal vermeld in de betreffende productnorm. Uit de trekproef worden de volgende eigenschappen bepaald (zie ook figuur 3.5):

Treksterkte R_m

De treksterkte R_m is de maximale kracht F_m die tijdens de trekproef wordt bereikt, gedeeld door het oorspronkelijke oppervlak S_0 (doorsnede) van de trekstaaf ($R_m = F_m/S_0$). Voor de meeste metalen geldt dat een hogere treksterkte samengaat met een hogere hardheid en lagere rek. De treksterkte wordt vaak gebruikt als een maat voor de sterkte van een materiaal.

Elastische rek

De elastische rek is het gedeelte van de rek dat na het wegnemen van de belasting verdwijnt.

Plastische rek

De plastische rek is het gedeelte van de rek dat na het wegnemen van de belasting overblijft.

Gelijkmatige rek A_g

De gelijkmatige rek A_g is de blijvende rek die de trekstaaf heeft ondergaan op het moment dat de maximale kracht (treksterkte) wordt bereikt. De gelijkmatige rek geeft dus de rek aan tot het moment waarop de staaf gaat insnoeren. De waarde is voor de verwerker van groot belang, omdat deze als indicator wordt gebruikt voor de (stabiele) vervormbaarheid.

Breekrek A_{80} of A_{50}

De breekrek A_{80} of A_{50} is de totale, stabiele en instabiele, blijvende verlenging ΔL bij breuk (ΔL = lengte na breuk L_u – oorspronkelijke meetlengte L_0) gedeeld door de oorspronkelijke meetlengte L_0 van de proefstaaf (A_{80} of $A_{50} = [L_u - L_0]/L_0$). Met de index 80 of 50 wordt de meetlengte in mm aangeduid waarover de verlenging is gemeten. De te gebruiken meetlengte wordt bepaald door de afmetin-

gen van de proefstaaf (zie norm NEN-EN 10 002).

De breekrek is een maat voor de taaheid van een materiaal.

0,2% rekgrens $R_{p0,2}$

De 0,2% rekgrens $R_{p0,2}$ is de belasting per oppervlakte-eenheid waarbij, na wegnemen van de belasting, de staaf een blijvende rek vertoont van 0,2%.

Rekgrens

De aanduiding rekgrens wordt als algemene term gebruikt, indien geen onderscheid gemaakt wordt tussen materialen met en zonder vloeierschijnsel.

Vloeivlag A_e

De vloeivlag A_e is de rek die optreedt tijdens het vloeien, waarbij de belasting sterk schommelt.

Bovenste vloeigrens R_{eH}

De bovenste vloeigrens R_{eH} is de belasting per oppervlakte-eenheid op het moment dat deze, voor het eerst tijdens het rekken, afneemt.

Onderste vloeigrens R_{eL}

De onderste vloeigrens R_{eL} is de belasting per oppervlakte-eenheid op het moment dat deze de laagste waarde heeft bereikt, nadat de bovenste vloeigrens is bereikt.

Elasticiteitsmodulus E

De elasticiteitsmodulus E is de waarde die wordt gevonden door een willekeurige spanning in het elastische gebied te delen door de bijbehorende elastische rek. De elasticiteitsmodulus is een maat voor de stijfheid (weerstand tegen elastische vervorming) van een materiaal. Deze ogenschijnlijk eenvoudige parameter is in de praktijk moeilijk te bepalen om twee reden:

- ▶ het gaat om zeer kleine elastische rekken;
- ▶ de trekbank is niet oneindig stijf; de verkorting van de trekbank verstoort de meting van de kleine lengteverandering van de trekstaaf.

Tussen de spanning σ (F/S_0) en de rek ϵ ($\Delta L/L_0$) bestaat de volgende relatie in het elastische gebied: $\sigma = E \cdot \epsilon$. Deze relatie is bekend als de wet van Hooke.

Tabel 3.1 geeft enkele veel gebruikte waarden voor de E-modulus van enkele belangrijke metalen.

Figuur 3.6 geeft een kwalitatief overzicht van de uit de trekproef verkregen gegevens (zie ook § 3.3.3).

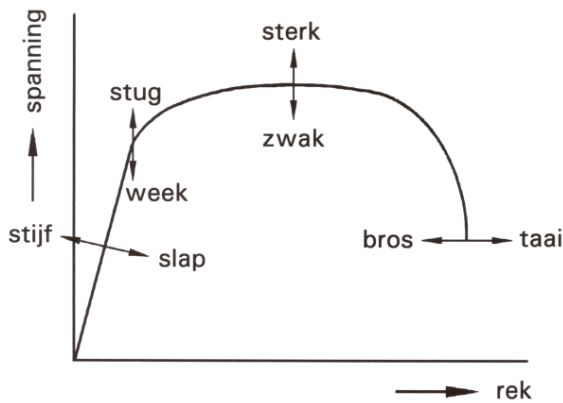
tabel 3.1 Enkele veel gebruikte waarden voor de elasticiteitsmodulus van enkele belangrijke metalen

metaal	E (GPa)
aluminium	70
titanium	105
koper	115
staal	210
roestvast staal - ferritisch	220
roestvast staal - austenitisch	200

3.2 Tweeassige spanningstoestand

De eenassige spanningstoestand brengt ons direct in contact met materiaaleigenschappen zoals vloeigrens, treksterkte, rek en versteviging, maar vertoont weinig overeenkomst met industriële omvormprocessen. De benadering via een tweeassige spanningstoestand is al een stap in de goede richting.

In de meeste gevallen namelijk wordt bij plaatvervormen



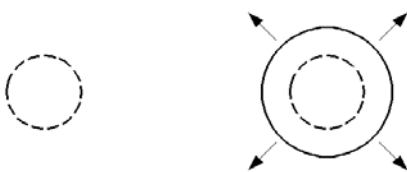
kwalitatief	kwantitatief
sterk - zwak	R_m (treksterkte)
stug - week	R_p (vloei grens)
broos - taai	A_{80}
stijf - slap	E (Youngs modulus)

figuur 3.6 Relatie kwalitatieve/kwantitatieve grootheden uit de trekproef

de tweeassige spanningstoestand redelijk benaderd; de spanning loodrecht op de plaat is verwaarloosbaar. De drieassige spanningstoestand zal om deze reden niet worden besproken.

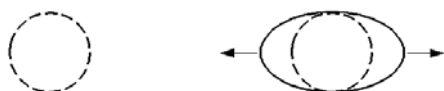
Een speciale vorm van de tweeassige spanningstoestand wordt onder andere bereikt bij de Erichsenproef, die later wordt besproken. In deze proef wordt de toestand van alzijdige strek benaderd. Deze spanningstoestand kan men zich het beste voorstellen door te bedenken dat er in alle richtingen in het plaatvlak even hard aan het materiaal wordt getrokken. Een cirkel op het materiaal blijft dan een cirkel; deze wordt alleen groter (figuur 3.7). Vergelijk dit met een opgeblazen ballon waarop vooraf een cirkel is getekend.

De diameter toename van de cirkel is een maat voor de vervorming in deze situatie. Uiteraard zal door de vergroting van het oppervlak het materiaal dunner worden.



figuur 3.7 Tweeassige spanningstoestand: cirkel wordt groter

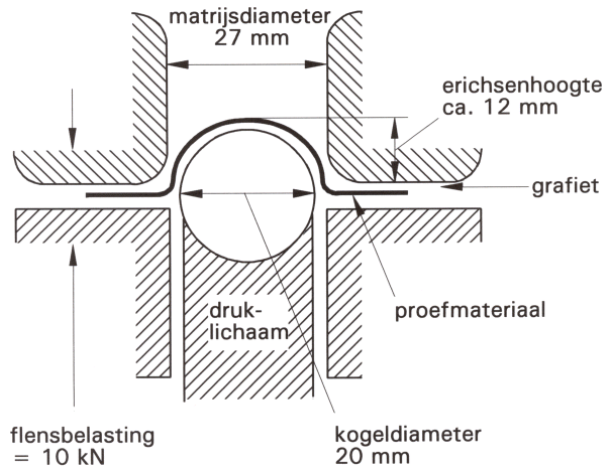
Een andere speciale tweeassige spanningstoestand is die waarbij de (trek)spanning in de lengterichting tweemaal zo groot is als de (trek)spanning in de breedterichting. De spanning in de dikterichting is gelijk aan nul. In deze toestand treedt alleen verlenging op in de lengterichting. De breedte blijft gelijk. Vanwege het constant blijven van het materiaalvolume neemt ook in dit geval de dikte af. Deze toestand wordt plane strain (vlakke rek) genoemd. Onze denkbeeldige cirkel op het oppervlak wordt nu langer maar zonder smaller te worden (zie figuur 3.8). Deze toestand treedt bijvoorbeeld op bij het persen van rillen (zie VM 110 "Dieptrekken").



figuur 3.8 Plane strain: cirkel wordt uitgetrokken tot ellips zonder smaller te worden

Uitvoering van de Erichsenproef

Voor de Erichsenproef wordt een proefstuk aan de rand van een ronde matrijs ingeklemd (zie figuur 3.9). Door onder de proefplaat een kogelvormig stempel omhoog te bewegen, ontstaat in de plaat een indrukking. Het kogelstempel wordt zover omhoog bewogen tot een scheur in het materiaal ontstaat. De hoogte van de indrukking, die onder andere afhankelijk is van de dikte van het materiaal, wordt gebruikt als maat voor de vervormbaarheid/strekbaarheid.



figuur 3.9 Gereedschap voor de Erichsenproef volgens norm DIN 50 101

3.3 Eigenschappen van belang bij omvormen

3.3.1 Verstevinging

Tijdens het uitvoeren van de trekproef neemt men waar dat de spanning continu stijgt, met andere woorden, dat de weerstand die het materiaal tegen de voortgaande vervorming biedt steeds groter wordt. Dit verschijnsel, dat bij elke koude deformatie van metalen optreedt, wordt de versteving genoemd. Het is in wezen een sterker (maar tegelijkertijd broos) worden van het materiaal.

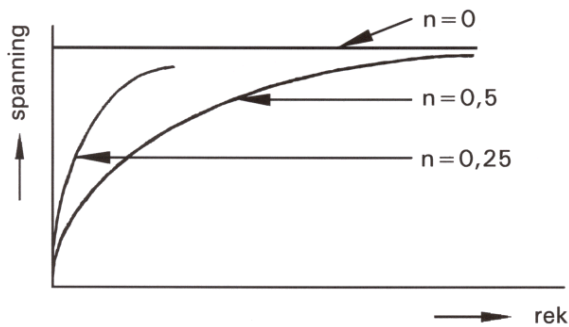
Versteving treedt op bij processen zoals walsen, buigen, draadtrekken, wringen, hameren enz., maar ook bij dieptrekken, strekken, ponsen en knippen.

n-waarde

De mate van versteving wordt vastgelegd in de verstevingsexponent n .

De verstevingsexponent n wordt gedefinieerd (zie NEN-EN 10130) als de exponent in de wiskundige vergelijking van de verhouding tussen de werkelijke spanning σ en de werkelijke rek ϵ (bij het in één richting aanbrengen van de belasting): $\sigma = K \cdot \epsilon^n$ (K is een constante).

Een materiaal met een hoge n -waarde versteft meer dan een materiaal met een lage n -waarde. De n -waarde is altijd kleiner dan 1 (figuur 3.10). De n -waarde is vooral van belang bij strekbewerkingen, zoals bij de Erichsenproef. Gebleken is dat bij strekvervormingen van materialen met een hoge n -waarde de rek gelijkmatiger wordt verdeeld over het te vervormen onderdeel dan bij materialen met een lage n -waarde. Bij een lage n -waarde zal dus eerder plaatselijke insnoering optreden dan bij materiaal met een hoge n -waarde. Met andere woorden de versteving van het materiaal bevordert gelijkmatige vervorming. Ook bij buigbewerkingen neemt de n -waarde een belangrijke plaats in. Materialen met een hoge n -waarde hebben, bij vrijbuigen, een grotere buigstraal als gevolg van de toegenomen gelijkmatige vervorming. Materialen met een lage n -waarde kunnen, bij vrijbuigen, een knikverschijnsel vertonen.



figuur 3.10 Vervormingscapaciteit neemt toe met toenemende n-waarde.
 $n=0$: ideaal plastisch;
 $n=0,25$: een vervormingsstaal

De versteviging van een vervormd metaal kan door gloeien geheel of gedeeltelijk worden opgeheven. Uit het bovenstaande volgt tevens, dat er geen blijvende versteviging kan optreden, indien de vervorming bij hoge temperatuur plaatsvindt. Men maakt daarom onderscheid tussen koud- en warmvervormen. Koudvervormen is plastisch vervormen in het temperatuurgebied, waarin de daardoor in het materiaal opgetreden wijziging van de mechanische eigenschappen grotendeels bewaard blijft (temperaturen lager dan $0,4 T_m$). Warmvervormen is plastisch vervormen in een zodanig temperatuurgebied, dat de eigenschappen van het vervormde metaal na een gloeiing op hogere temperatuur niet of nauwelijks meer veranderen.

3.3.2 Anisotropie

Wanneer een materiaal in alle richtingen - lengte, breedte en dikte - dezelfde eigenschappen heeft, dan wordt dat materiaal isotroop genoemd. In alle andere gevallen noemt men het anisotroop. In de praktijk zijn materialen echter zelden isotroop. Dat is niet verwonderlijk, als men bedenkt hoe de meeste materialen worden geproduceerd. Met name het koudwalsproces, waarbij alleen de breedte van het materiaal niet verandert, zorgt voor verandering in mechanische eigenschappen in de verschillende richtingen. Tijdens de verwerking van materialen, in het bijzonder bij dieptrekken en strekken, spelen bijvoorbeeld de dikte en breedterek een belangrijke rol. Immers als tijdens de verwerking de rek voornamelijk in dikterichting plaatsvindt, zal het eindproduct eerder bezwijken. Voor de verwerker is daarom de verhouding tussen de breedterek en de dikterek bij dieptrekken en strekken van groot belang.

r-waarde

De verhouding tussen de rek in het plaatvlak en de richting daar loodrecht op (de dikterichting bij de trekproef) wordt de r-waarde genoemd.

De plastische anisotropiecoëfficiënt r wordt gedefinieerd (NEN-EN 10 130) als de verhouding tussen de werkelijke verandering van de breedte ε_b en van de dikte ε_a van een proefstaaf die aan een eenassige trekproef is onderworpen: $r = \varepsilon_b / \varepsilon_a$.

Door de aard van het plaatvervaardigingsproces verschillen de eigenschappen in het vlak van de plaat. De r-waarde gemeten in de walsrichting wijkt vaak af van de waarde gemeten in de richting loodrecht op de walsrichting. Een volkomen isotroop materiaal heeft een r-waarde van 1 in alle richtingen. Een materiaal wordt planair isotroop genoemd, wanneer de gemeten r-waarde onafhankelijk is van de walsrichting maar ongelijk is aan 1. Een materiaal wordt anisotroop genoemd wanneer het gemeten r-waarden heeft, ongelijk 1, die afhankelijk zijn van de richting ten opzichte van de walsrichting.

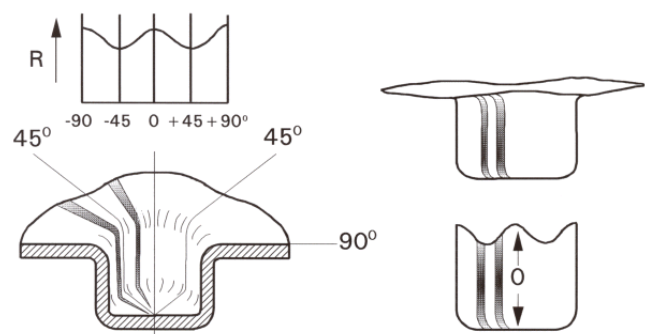
Wanneer over de r-waarde wordt gesproken zonder dat daarbij wordt aangegeven in welke richting deze is geme-

ten ten opzichte van de walsrichting, dan wordt meestal de gemiddelde r-waarde ($r_m = \frac{1}{4} \{r_0 + r_{90} + 2r_{45}\}$) gegeven. Zowel de definitie als de meetprocedure van de r-waarde staan beschreven in NEN-EN 10 130.

Hiervoor werd het belang van isotropie reeds genoemd. In het geval van dieptrekken betekent dit, dat de dieptrekbaarheid beter wordt naarmate de r-waarde groter wordt dan 1 (zie ook VM 110 "Dieptrekken").

Oorvorming

Een belangrijk gevolg van anisotropie is de zogenoemde oorvorming. Plaatmateriaal rekt en/of stuikt door anisotropie niet in alle richtingen evenveel. Zo kunnen bijvoorbeeld de rekken evenwijdig aan en loodrecht op de walsrichting groter zijn dan de rekken onder een hoek van 45° met de walsrichting. Wordt van een dergelijk materiaal een beker diepgetrokken, dan wordt de beker hoger in de richtingen evenwijdig en loodrecht op de walsrichting dan de richtingen onder een hoek van 45° met de walsrichting (figuur 3.11).



figuur 3.11 Relatie anisotropie en oorvorming

De gevoeligheid voor de oorvorming wordt uitgedrukt in de Δr -waarde. De Δr -waarde is een getal dat het verschil aangeeft tussen de rekken evenwijdig aan, loodrecht op en onder een hoek van 45° met de walsrichting:

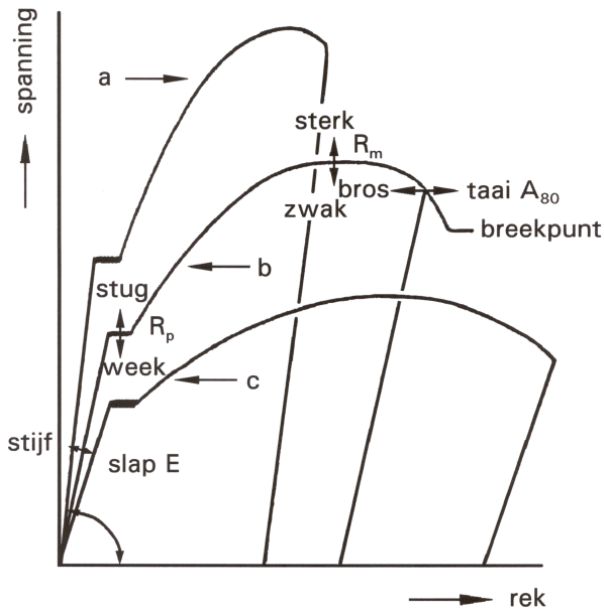
$\Delta r = \frac{1}{2} \{r_0 + r_{90} - 2r_{45}\}$. Hoe kleiner Δr hoe minder ongevoelig een materiaal is (Let op, $\Delta r = 0$ betekent niet dat de r-waarde in elke richting nul is. Ook bij een $\Delta r = 0$ is oorvorming mogelijk!).

3.3.3 Praktische betekenis van een aantal mechanische eigenschappen

De trekproef wordt voor bijna alle materialen gebruikt, omdat men hierdoor een indruk van de belangrijkste mechanische eigenschappen verkrijgt.

De praktische betekenis van deze mechanische eigenschappen zullen wij aan de hand van figuur 3.12 hierna uiteenzetten.

1. De elasticiteitsmodulus (E) is een maat voor de stijfheid van een materiaal. Een materiaal met een grote elasticiteitsmodulus noemt men stijf. Een materiaal met een kleine elasticiteitsmodulus noemt men slap; dit betekent meer doorbuiging en meer terugvering na omvorming.
2. De rekgrens (R_p) is een maat voor de stugheid van een materiaal. Een materiaal met een hoge rekgrens noemt men stug. Een materiaal met een lage rekgrens noemt men week; dit is gunstig voor omvormen.
3. De treksterkte (R_m) is een maat voor de sterkte van een materiaal. Een materiaal met een hoge treksterkte noemt men sterk; het materiaal zal minder snel bezwijken tijdens omvormen. Een materiaal met een lage treksterkte noemt men zwak.
4. De rek (A_{80}) is een maat voor de taaiheid van een materiaal. Een materiaal met een grote rek noemt men taai en kan grote vervormingen ondergaan. Een materiaal met een kleine rek noemt men bros.



figuur 3.12 Praktische betekenis van mechanische eigenschappen

Wanneer we verschillende materiaalsoorten bekijken, bestaat tussen de genoemde vier belangrijke materiaaleigenschappen veelal het volgende algemene verband: met het toenemen van de sterkte, neemt de stugheid toe, maar de taaiheid af; of omgekeerd.

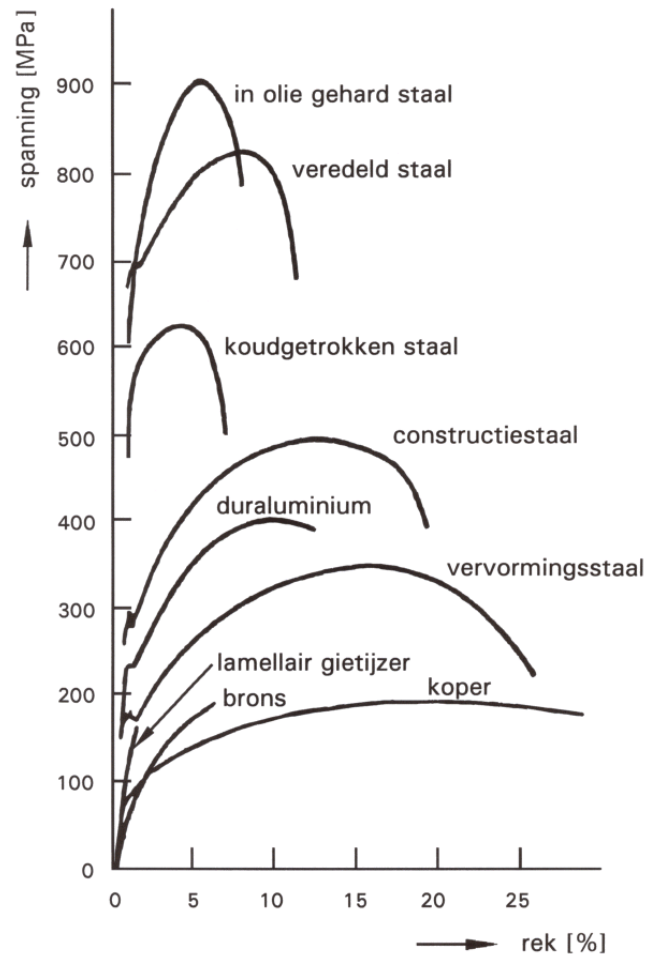
In figuur 3.12 is materiaal a sterker, stugger en stijver, maar brosser dan materiaal b. Materiaal c zwakker, weker en slapper, maar taaiër dan materiaal b.

De lezer wordt er op attent gemaakt, dat het een algemene regel is (er zijn echter ook uitzonderingen bekend).

In figuur 3.13 zijn door de trekbank opgetekende trek-krommen van verschillende materialen weergegeven.

Aan de trek-krommen van koper en brons is duidelijk te zien, hoe door legeren de eigenschappen worden gewijzigd (brons is een koper/tin legering).

Aan de trek-krommen van vervormingsstaal, constructiestaal, koudgetrokken staal, veredeld staal en in olie gehard staal merkt men, dat in deze volgorde alle eigenschappen behalve de taaiheid worden verbeterd. Dit is in overeenstemming met voorgaande algemene regel. De verbeterde eigenschappen worden verkregen door respectievelijk verstevigen (koudgetrokken staal is verstevigd) en door warmtebehandelingen (veredeld staal en in olie gehard staal hebben een warmtebehandeling ondergaan).



figuur 3.13 Trekkrommen van een aantal verschillende materialen

Hoofdstuk 4

Bestelspecificaties en normen

De eigenschappen van plaatmaterialen bestemd voor vervormingsdoeleinden, worden onder andere bepaald door de wijze waarop deze materialen zijn geproduceerd. Hoewel de productiemethoden van de meeste bedrijven grote overeenkomst vertonen, bestaan er wel degelijk verschillen. Deze verschillen zorgen op hun beurt voor (detail)verschillen in de eigenschappen van de door hen geleverde, gelijksoortige, materialen.

De meeste materialen worden geproduceerd via gieten gevolgd door warmwalsen en koudwalsen, in combinatie met een of meer gloeibehandelingen. Dit alles gebeurt onder zodanige condities dat het eindproduct de juiste korrelgrootte, oppervlaktegesteldheid en mechanische eigenschappen bezit, zowel voor als na verwerking tot het eindproduct.

In de vorige hoofdstukken zijn vooral de mechanische eigenschappen en testmethoden besproken. Een aantal andere eigenschappen die van belang zijn tijdens de verdere verwerking komen hierna aan de orde. Daarbij zal worden ingegaan op de wijze waarop materiaal besteld moet worden, zodat de afnemer precies dat materiaal krijgt, dat voor hem optimaal te verwerken is.

De rol van de mechanische eigenschappen is afhankelijk van de toepassing. Hiermee moet bij het bestellen van de materialen goed rekening worden gehouden.

Voor constructiedoeleinden is het belangrijk te weten bij welke belasting de constructie juist niet vervormt of bezwijkt en hoe het materiaal zich in dat gebied gedraagt. Materiaaleigenschappen die dan van belang zijn, zijn onder andere de elasticiteitsmodulus, rekgrens en treksterkte. Bij omvormprocessen is het van belang te weten bij welke belasting het materiaal juist wel gaat vervormen, en hoe het materiaal zich gedraagt tijdens (en na) het vervormen. Eigenschappen die hierbij van belang zijn, zijn onder andere de rekgrens, treksterkte, versteviging en anisotropie.

De mechanische eigenschappen moeten dus van tevoren bekend zijn. Daarom worden materialen beproefd. Soms gebeurt dit bij de leverancier van het plaatmateriaal. Het bijgeleverde keuringsdocument (zie § 4.2) dient dan als ingangscntrole van een partij bij de verwerker.

Een aantal parameters die van belang zijn voor de procesinstelling kan buiten de kwaliteitsnorm in het keuringsdocument vallen. Het kan dus nodig zijn aanvullende keuringen uit te laten voeren.

4.1 Bestelspecificaties

Voor de plaatverwerker zijn naast de mechanische eigenschappen ook de afmetingen en vorm van de plaat, oppervlaktegesteldheid en verpakking van belang. Ook dit moet bij het bestellen van materialen goed worden gespecificeerd.

Materiaal wordt besteld aan de hand van normen waarin staan vermeld:

- *de chemische samenstelling en/of de mechanische eigenschappen*

De normen die hiervoor zijn ontwikkeld bevatten de eisen waaraan materialen moeten voldoen om volgens bepaalde aanduiding verkocht te mogen worden.

In deze normen staat ook hoe (volgens welke voorschriften en procedures, vaak ook weer in andere normen vastgelegd) getest moet worden.

Normen betreffende de samenstelling en/of mechanische eigenschappen worden aangeduid als normen voor leveringsvoorwaarden;

- *de vorm en afmetingen*

Normen die hiervoor ontwikkeld zijn bevatten de nauw-

keurigheid waarmee een plaat geknipt dient te worden, wat eisen voor vlakheid zijn, enz.

Normen betreffende de vorm en afmetingen worden aangeduid als normen voor vorm- en maattoleranties;

- *de verpakking*

De hiervoor ontwikkelde normen bevatten voorschriften met betrekking tot de wijze van verpakken, de aangebrachte conserveringsmiddelen, enz.

Het uiteindelijke doel van normen is het voorkomen van communicatieproblemen en misverstanden tussen leverancier en afnemer.

Normen worden onder toezicht van een nationaal normalisatie instituut (bijvoorbeeld het NNI - Nederlands Normalisatie Instituut) of een internationaal normalisatie instituut (bijvoorbeeld het ISO - International Organisation for Standardization) afgesproken tussen de diverse landen. De normen worden voorbereid in commissies, waarin zowel producenten als verwerkers zijn vertegenwoordigd. Op dit moment worden nauwelijks nog nationale normen (bijvoorbeeld DIN - Deutsches Institut für Normung, BS - British Standard), maar overwegend EN-normen (European Committee for Standardization) en internationale normen (bijvoorbeeld ISO) gebruikt.

Op Europees niveau worden nieuwe normen voorbereid en uitgebracht door het CEN (Comité Européen de Normalisation). Deze EN-normen zijn bindend voor de aangesloten landen, die dan ook verplicht zijn om vergelijkbare nationale normen (DIN, BS) in te trekken. Het CEN brengt de nieuwe normen in drie talen: frans, Duits en engels. De normen hebben de geldigheid van nationale norm voor de aangesloten landen. Door CEN uitgebrachte normen dragen de afkorting EN gevolgd door een getal. Intussen zijn vrijwel alle bestaande nationale normen vervangen en ondergebracht in het Europese normstelsel (EN-normen).

Nederlandse normen worden aangeduid met NEN, bijvoorbeeld NEN-EN 10130, Duitse normen met DIN, bijvoorbeeld DIN-EN 10130.

Dit zijn dus Europese normen met dezelfde inhoud, alleen kunnen deze taalkundig verschillen (nederlands, Duits, frans of engels). Normen met uitsluitend nationale geldigheid hebben geen EN aanduiding maar alleen de landcode, gevolgd door een getal, bijvoorbeeld DIN 1725. Dergelijke normen komen in Europa vrijwel niet meer voor.

Internationale normen zijn herkenbaar aan de letters ISO, eveneens gevolgd door een getal. Amerikaanse normen kennen diverse aanduidingen, bij voorbeeld AA, AISI, ASTM, enz. Verspreiding van de normen geschied door de nationale normalisatie instituten. De internationale ISO-normen worden veelvuldig als beproevingsnormen (trekproef) gebruikt (bijv. voor de trekproef: ISO 6892). Voor meer informatie over het gebruik en de geldigheid van normen wordt verwezen naar het Nederlands Normalisatie Instituut.

Verder bestaan er ook bedrijfsnormen. Bedrijfsnormen kunnen meerdere doelen hebben. Zo zijn er bedrijfsnormen waarbij de interne werkwijze van een bedrijf is vastgelegd (voor bedrijven die werken volgens de ISO 9000 richtlijnen is dit verplicht). Ook zijn er bedrijfsnormen die materialen specificeren met afwijkende eisen ten opzichte van de nationale of internationale normen.

Bedrijfsnormen en (inter)nationale normen zijn dus niet noodzakelijkerwijs gelijk en mogen dus niet door elkaar worden gebruikt.

Er zijn materiaalnormen met algemene geldigheid (bijvoorbeeld NEN-EN 10002), maar er zijn ook normen die alleen geldig zijn voor specifieke materiaalsoorten, zoals staal, roestvast staal, aluminium, koper, enz. Helaas verschillen deze normen onderling nogal. De aspecten waarover afspraken zijn gemaakt lopen sterk uiteen.

Afhankelijk van het te bestellen materiaal en het land waar besteld wordt, worden verschillende normen gebruikt. In Amerika worden vooral Amerikaanse en internationale normen gebruikt. Binnen Europa worden voor metalen voornamelijk de Europese normen gebruikt.

De ontwikkeling van materialen en het gebruik ervan staat niet stil. Om deze reden worden normen van tijd tot tijd herzien, komen er normen bij of komen normen te vervallen. Controleer dus de geldigheid. Normen zijn niet per definitie bedoeld om maatwerk te leveren, maar om het geleverde materiaal te garanderen. Vandaar dat in de normen bijvoorbeeld een bovengrens of een ondergrens wordt aangegeven. Voor specifieke toepassingen wordt wel een werkgebied aangegeven door zowel een onder- als een bovengrens aan te geven. Een betere kwaliteit van een bepaald materiaal wordt soms aangegeven door een hogere ondergrens (bijvoorbeeld sterktestaal), een lagere bovengrens (bijvoorbeeld vervormingsstaal) of een smaller werkgebied (bijvoorbeeld fosforstaal). Materialen met een hogere kwaliteit voldoen daarmee automatisch aan de lagere kwaliteitseisen. Het bestellen van een lagere kwaliteit betekent dus niet automatisch dat ook een lagere kwaliteit wordt geleverd. De hogere voldoet immers ook.

In tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van de beproevingsnormen voor metalen, waar bij voorkeur ISO-normen gebruikt worden. Tabel 4.2 geeft de algemene normen voor staal, terwijl in tabel 4.3 de beide normen voor roest- en hittevast staal worden weergegeven. Tabel 4.4 geeft de normen voor koper en koperlegeringen, tabel 4.5 de normen voor aluminium en aluminiumlegeringen en in tabel 4.6 worden de specifieke materiaalnormen voor respectievelijk warmgewalst, koudgewalst en bekleed staal weergegeven. In een volgend hoofdstuk wordt meer informatie gegeven over de aard en toepassing van deze materialen.

4.2 *Opstellen van specificaties*

Uiteraard is het mogelijk om materiaalspecificaties op te stellen op basis van productontwerp, fabricageproces en kostprijs, en daarmee een leverancier te benaderen. De kans is dan echter groot dat de leverancier hieraan niet tegemoet kan of wil komen. De leverancier zal zich normaal gesproken alleen kunnen of willen binden aan die materiaalspecificaties die zijn vastgelegd in een normblad. Bijzondere wensen zullen in het algemeen afhankelijk van de bestelhoeveelheid kunnen worden gehonoreerd. Indien afwijkende eisen worden gesteld aan het materiaal, en hieraan tegemoet wordt gekomen, betekent dit in de meeste gevallen een verhoging van de kostprijs.

Keuringsdocumenten

Bij materiaalaankopen is het niet ongebruikelijk om een keuringsdocument te vragen. Een keuringsdocument is een schrijven, waarin opgave wordt gedaan van de kwaliteit zoals deze in de norm wordt beschreven. Er bestaan verschillende soorten keuringsdocumenten. In NEN-EN 10204 zijn deze keuringsdocumenten opgenomen (tabel 4.7). In de fabrieksverklaring bijvoorbeeld worden geen beproevingsresultaten vermeld. In een meer uitgebreide versie worden de beproevingsresultaten wel vermeld. Soms kan zelfs een volledige opgave van door de afnemer gewenste specificaties worden verkregen. De afnemer moet wel rekening houden met de extra kosten die verbonden zijn aan een keuringsdocument. Het keuringsdocument verschuift in principe de ingangsccontrole van de afnemer naar de leverancier. Een opgave van de voor de norm relevante aspecten, die door de producent reeds bepaald zijn, helpen de afnemer in te zien wat deze van het materiaal kan verwachten. De afnemer kan hierdoor onder andere vooraf bepalen of en hoe zijn machines (anders) moeten worden ingesteld.

Afmetingen en vorm

De afmetingen van het (plaat)materiaal zijn belangrijk. Diktebeheersing is belangrijk voor een constant vervormingsgedrag, terwijl de afmetingen in zijn totaliteit het rendement en daarmee de kostprijs van het eindproduct bepalen.

Het plaatmateriaal wordt door walsen op de gewenste dikte en breedte gebracht. Onvoldoende stijfheid van het walstuig en doorbuiging van de walsrollen zijn oorzaak van dikteverschillen over de lengte en breedte van het materiaal. Brede walsrollen buigen daarbij meer door dan smalle walsrollen, vandaar dat afhankelijk van de maximale breedte van het walstuig wordt gesproken van smalband (tot 600 mm breed) en breedband (600 - 2200 mm breed). In sommige normen wordt dan ook onderscheid gemaakt tussen smalband (bijv. EN-10139) en breedband (bijv. EN-10130).

Temperatuurverloop in het materiaal of van de walsrollen tijdens het walsen kan eveneens dikteverschillen in het gewalste plaatmateriaal veroorzaken.

Door toepassen van extra steunrollen, voorbuigen en plaatselijk koelen van de walsrollen en een betere temperatuurbeheersing van het walsgoed zijn de diktevariëaties tot een minimum teruggebracht.

Dikteverschillen in de breedte van het materiaal leiden over het algemeen tot onvlakheid. Op plaatsen waar het materiaal dunner is, is het verder uitgewalst, dus langer geworden, dan op de dikkere plaatsen. Omdat de dunne en dikkere delen een geheel vormen ontstaan in de dunne delen golven.

Door geringe afwijkingen in het walsproces en omdat het materiaal na het walsen wordt opgerold, kan in het geknipte plaatmateriaal eveneens onvlakheid ontstaan. Toleranties op vorm en afmeting zijn onder andere vastgelegd in normbladen NEN-EN 10131 (breedband) en NEN-EN 10140 (smalband).

Oppervlakteruwheid

Een ander belangrijk aspect voor de verwerker van plaatmateriaal is de ruwheid van het oppervlak. Tijdens verdere verwerking is de ruwheid van belang in verband met smering, slijtage van het gereedschap en toestromen van het materiaal tijdens vervorming.

In het eindproduct is de ruwheid van belang in verband met het uiterlijk, weerstand tegen corrosie en de hechting van deklagen.

In de laatste walsbewerking wordt de gewenste ruwheid van het oppervlak aangebracht door de walsrollen van de juiste ruwheid te voorzien. Deze ruwheid wordt in klassen ingedeeld, zoals bij voorbeeld te zien is in norm NEN-EN 10130.

Naast deze gewenste ruwheid kan ook oppervlakteverruwing ontstaan, tijdens verwerking, onder invloed van de structuur. Tijdens de vervorming heeft ieder kristal een andere oriëntatie en zal daardoor anders vervormen. De kristallen die aan het oppervlak liggen draaien uit het oppervlak en verruwen daardoor het oppervlak. Bij grofkorrelig materiaal kan dit leiden tot een product met een oppervlak dat doet denken aan een sinaasappelhuid.

tabel 4.1 Overzicht van de meest gebruikte beproevingsnormen voor metalen

Norm	Materiaal	Beschrijving
Metallische materialen		
ISO 6892	Metallische materialen	Trekproef
ISO 6506	Metallische materialen	Hardheidsmeting: Brinell
ISO 6507 - 1 en 2	Metallische materialen	Hardheidsmeting: Vickers
ISO 6508	Metallische materialen	Hardheidsmeting: Rockwell (schalen A-B-C-D-E-F-G-H-K)
ISO 7438	Metallische materialen	Buigproef
ISO 7799	Metallische materialen	Heen- en weer buigproef: strip en band < 3 mm
ISO 8490	Metallische materialen	Erichsenproef
ISO R1024	Metallische materialen	Hardheidsmeting: Rockwell superficial (N en T schalen)
Staal		
ISO 2566-1	Staal	Conversie van rekwaarden: (laag)koolstofstalen
ISO 2566-2	Staal	Conversie van rekwaarden: austenitische stalen
ISO 4964	Staal	Conversie van hardheden
Hardmetalen		
ISO 3738-1	Hardmetalen	Hardheidsmeting: Rockwell A
ISO 3878	Hardmetalen	Hardheidsmeting: Vickers
Koper		
EN 12384	Koper en koperlegeringen	Bepaling van de veerbuig grens van bandmateriaal
EN ISO 196	Koper en koperlegeringen	Bepaling van restspanningen: Kwiknitratetest
EN ISO 2624	Koper en koperlegeringen	Bepaling van de gemiddelde korrelgrootte
EN ISO 2626	Koper	Bepaling waterstofbroshheid
Aluminium		
EN 1669	Aluminium en aluminiumlegeringen	Bepaling van de oervorming aan band en plaat

tabel 4.2 Algemene Europese normen voor stalen (definitie van staalsoorten, producten en documenten)

Norm	Beschrijving
EN 10020	Definitie en indeling van staalsoorten
EN 10021	Algemene technische leveringsvoorwaarden voor staal en staalproducten
EN 10027 1 en 2	Systemen voor het aanduiden van staalsoorten
EN 10079	Definitie van staalproducten
EN 10204	Producten van metaal, soorten keuringsdocumenten

tabel 4.3 Europese normen voor roest- en hittevast staal

Norm	Beschrijving
EN 10088 1,2 en 3	Corrosievaste staalsoorten: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10095	Hittevast staal: Technische leveringsvoorwaarden

tabel 4.4 Europese normen voor koper en koperlegeringen

Norm	Beschrijving
EN 1172	Plaat en band voor de bouw
EN 1412	Europees werkstofnummersysteem
EN 1652	Plaat en band voor algemene toepassingen
EN 1654	Band voor veren en connectorverbindingen
EN 1758	Band voor lead frames
EN 1981	Basislegeringen
EN 13599	Koperplaat en band voor elektrische toepassingen

tabel 4.5 Europese normen voor aluminium en aluminiumlegeringen

Norm	Beschrijving
EN 485 1,2,3 en 4	Aluminium en aluminiumlegeringen: band en plaat
EN 515	Aluminium en aluminiumlegeringen: kneedlegeringen
EN 541	Aluminium en aluminiumlegeringen: Walsproducten voor conservenblikproducten
EN 546 1,2,3 en 4	Aluminium en aluminiumlegeringen: folie
EN 573 1,2,3,4, en 5	Aluminium en aluminiumlegeringen: chemische samenstelling en vorm van kneedlegeringen
EN 1396	Aluminium en aluminiumlegeringen: Beklede plaat en band voor algemene toepassingen

tabel 4.6 Europese normen voor warmgewalst, koudgewalst en bekleed staal

Norm	Beschrijving
Warmgewalst staal	
EN 10025	Warmgewalste producten van ongelegeerd constructiestaal: technische leveringsvoorwaarden
EN 10029	Warmgewalste producten van ongelegeerd constructiestaal boven 3 mm: Toleranties op dimensies, vorm en gewicht
EN 10048	Warmgewalste producten van ongelegeerd constructiestaal in smalband: Toleranties op dimensies en vorm
EN 10051	Continu warmgewalste niet-beklede plaat en band van ongelegeerd en gelegeerd staal: toleranties op vorm en afmeting
EN 10111	Continu warmgewalste plaat en band van laagkoolstofstaal voor koud dieptrekken of zetwerk: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10149 1,2 en 3	Warmgewalste platte producten van staal met hoge rekgrens voor koudvervorming: Technische leveringsvoorwaarden
Koudgewalst staal	
EN 10130	Koudgewalste platte producten van laagkoolstofstaal voor koud dieptrekken of zetwerk: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10131	Koudgewalste platte producten van laagkoolstofstaal voor koud dieptrekken of zetwerk: Toleranties op vorm en afmeting
EN 10139	Niet-bekleed koudgewalste band in bandbreedten van minder dan 600 mm van ongelegeerd staal voor koudvervormen: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10140	Niet-bekleed koudgewalste band in bandbreedten van minder dan 600 mm van ongelegeerd staal voor koudvervormen: Toleranties op vorm en afmeting
EN 10268	Koudgewalste platte producten met hogere rekgrens uit micro-geleerde stalen: Technische leveringsvoorwaarden
Bekleed staal	
EN 10143	Continu dompelverzinkte plaat en breedband van laagkoolstofstaal voor koud dieptrekken of zetwerk: Toleranties op vorm en afmeting
EN 10152	Elektrolytisch verzinkte gewalste platte staalproducten: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10169 1,2 en 3	Organisch beklede staalproducten op rollen: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10202	Koudgewalst blik met een elektrolytisch aangebrachte chroom/chroomoxidelaag: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10203	Koudgewalst elektrolytisch vertind blik: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10205	Koudgewalst staal op rollen voor de vervaardiging van blik en elektrolytisch speciaal verchroomd staal
EN 10271	Elektrolytisch met zink-nikkel (ZN) beklede platte staalproducten: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10292	Continu dompelverzinkte plaat en band van stalen met verhoogde rekgrens voor koud dieptrekken: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10326	Continu dompelbeklede plaat en band voor constructiedoeleinden: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10327	Continu dompelbeklede plaat en band van laagkoolstofstaal voor koud dieptrekken: Technische leveringsvoorwaarden
EN 10336	Continu dompelbekleed en elektrolytisch bekleed plaat en band uit meergefasig staal (DP en TRIP) voor koudvervorming

tabel 4.7 Overzicht van keuringsdocumenten (NEN-EN 10204)

NEN-EN 10204		Benaming van het soort document			Document	
Verwijzing	Nederlandse versie	Engelse versie	Duitse versie	Franse versie	Inhoud	Geldig verklaard door
Type 2.1	Fabrieksverklaring	Declaration of compliance with the order	Werkbescheinigung	Attestation de conformité à la commande	Verklaring dat wordt voldaan aan de bestelling	De producent
Type 2.2	Fabriekscontrole-attest	Test report	Werkzeugnis	Releve de contrôle	Verklaring dat wordt voldaan aan de bestelling, met opgave van de resultaten van de niet nader voorgeschreven keuring	De producent
Type 3.1	Keuringsrapport 3.1	Inspection certificate 3.1	Abnahmeprüfzeugnis 3.1	Certificat de reception 3.1	Verklaring dat wordt voldaan aan de bestelling, met opgave van de resultaten van de nader voorgeschreven keuring	Bevoegde vertegenwoordiger van de producent voor keuring, die hiërarchisch onafhankelijk is van de productieafdeling
Type 3.2	Keuringsrapport 3.2	Inspection certificate 3.2	Abnahmeprüfzeugnis 3.2	Certificat de reception 3.2	Verklaring dat wordt voldaan aan de bestelling, met opgave van de resultaten van de nader voorgeschreven keuring	Bevoegde vertegenwoordiger van de producent voor keuring, die hiërarchisch onafhankelijk is van de productieafdeling en hetzij de bevoegde vertegenwoordiger van de koper voor keuring of de keurder aangewezen door de officiële regelingen

4.3 Hoe te bestellen

Bij het bestellen van materiaal volgens normspecificatie is het aan te bevelen de daarvoor in de norm gevraagde gegevens te vermelden in de bestelling. Als voorbeeld volgt hier een lijst met gegevens die verstrekt dienen te worden, indien materiaal besteld wordt dat moet voldoen aan NEN-EN 10130: Koudgewalste platte producten van laag koolstofstaal voor koud dieptrekken of zetwerk, technische leveringsvoorwaarden.

Voorbeeld

Door de koper te verstrekken gegevens bij de bestelling, volgens NEN-EN 10130, hoofdstuk 10:

“Opdat de producent producten overeenkomstig de norm kan leveren, moeten de volgende gegevens bij de bestelling worden opgegeven:

- *de aanduiding volgens NEN-EN 10130, hoofdstuk 4;*
- *nominale afmetingen en hoeveelheden;*
- *of het product niet nagewalst moet worden geleverd;*
- *of het product moet worden geleverd met ruwe walskanten of gekantschaard;*
- *begrenzungen aan massa en afmetingen van rollen en afzonderlijke pakken;*
- *beoogde gebruiksdoel van het product met inbegrip van een deklaag op het oppervlak;*
- *of het product moet worden gelast, onder opgave van de methode die wordt gebruikt;*
- *of het product moet worden geleverd geschikt voor de vervaardiging van een bepaald onderdeel;*
- *of keuringsdocumenten worden verlangd en het gewenste type;*
- *of een externe keuring moet worden uitgevoerd bij de producent;*
- *of oliën niet wordt verlangd;*
- *of andere beschermende deklagen worden verlangd;*
- *gedetailleerde beschrijving van alle andere speciale eisen;*
- *eventuele speciale eisen betreffende de verpakking en het merken;*
- *de oriëntatie van de zijde met de beste oppervlaktekwaliteit”.*

Verder dient ook van specifieke eisen opgave gedaan te worden, zoals toleranties op vorm en afmeting en oppervlaktegesteldheid.

Indien geen opgave wordt gedaan, wordt materiaal volgens NEN-EN 10130 standaard geleverd met oppervlaktekwaliteit A, d.w.z. oppervlakte-aspect normaal, alsmede licht nagewalst, geolied en gekantschaard.

Hoofdstuk 5

Metalen voor vervormingsdoeleinden

5.1 Staal

Staal is een ijzer/koolstof legering met in het algemeen niet meer dan 2,0% koolstof. Bevat de legering meer koolstof dan noemt men het gietijzer. Gietijzer wordt voornamelijk in vloeibare toestand vormgegeven. Naast gietijzer bestaat er ook gietstaal. Dit materiaal kan zowel in vloeibare toestand als vaste toestand worden vormgegeven. Als hierna gesproken wordt over staal wordt eigenlijk ongelegeerd staal bedoeld. Dit is staal met, als vuistregel, in totaal niet meer dan 1% legeringselementen, de rest is ijzer en koolstof. Een volledige omschrijving is te vinden in de norm NEN-EN 10 020.

Voor vervormingsdoeleinden zijn veel soorten staal ontwikkeld. De eigenschappen van het staal zijn afhankelijk van de chemische samenstelling en de gevolgde procesroute.

Tot aan het eind van de zeventiger jaren werd het geraffineerde staal in blokvormen gegoten. Deze grote blokken werden vervolgens gesmeed, uitgewalst en gegloeid; aldus ontstonden staalplaat en band. Tegenwoordig wordt bij alle moderne staalfabrieken het staal via een continu gietproces verwerkt tot dikke plakken die vervolgens (continu) worden uitgewalst en gegloeid. Een groot voordeel van het continu gietproces is, dat het materiaal over de hele lengte van de plak een homogene samenstelling bezit. Iets wat met het blokgegoten staal niet haalbaar was.

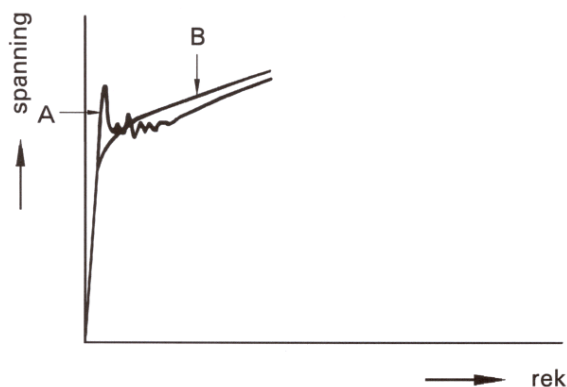
Een nog modernere methode is het zogenoemde Dungleiten, waarbij er zelfs geen plakken meer worden gegoten, maar er rechtstreeks na het gieten in lijn gewalst wordt. Hierdoor wordt een nog homogener samenstelling bereikt met zeer nauwe diktetoleranties.

Vanwege de continue aard van het gietproces worden andere eisen gesteld aan het vloeibare staal. Indien tijdens het stollen wervelingen in het nog vloeibare materiaal ontstaan, bijvoorbeeld door opstijgende gasbellen, bestaat gevaar voor openbreken van de plak, waarna de nog vloeibare kern vrijkomt. Dit is catastrofaal voor de gietinstallatie. Om dit te voorkomen wordt het materiaal gekalmeerd; dit houdt in dat het vloeibare staal wordt gedeseoxideerd, zodat tijdens het stollen geen gasbellen meer kunnen ontstaan (gedeseoxideerd staal wordt ook aangeduid met de namen rustig of gekalmeerd staal). Meestal wordt dit gedaan door het toevoegen van aluminium. De eigenschappen van deze gekalmeerde staalsoorten verschillen echter van de ongekcalmeerde staalsoorten. Dit is merkbaar tijdens de verwerking. In de rest van dit hoofdstuk wordt uitgegaan van ongelegeerd, continuegoten, gekalmeerd staal.

De technologie van het staalmaken is in de afgelopen decennia in zijn geheel sterk verbeterd. Vooral behandelingen aan het gesmolten staal, zoals vacuüm ontkolen en ontzwavelen, dienen in dit verband genoemd te worden. Een maximum koolstofgehalte van 0,02% in staal is in de praktijk goed haalbaar. Dit is een belangrijk gegeven want hoewel staal met minder koolstof minder sterk is, is het beter te vervormen. Ook de kennis en de beheersbaarheid van het staalfabricageproces zijn sterk toegenomen. Het continuegoten materiaal is daardoor zeker zo goed als het blokgegoten materiaal.

Na het gieten worden de warme plakken uitgewalst tot een dunne band die vervolgens wordt opgehaspeld. De walstemperatuur en de temperatuur bij ophaspelen na het walsen spelen een belangrijke rol bij het verkrijgen van de gewenste structuur en mechanische eigenschappen. Een deel van het warmgewalste materiaal wordt ook in deze

vorm verwerkt (warmgewalst materiaal neemt in belangrijkheid steeds meer toe). Echter het meeste materiaal wordt na het warmwalsen verder koud uitgewalst tot de gewenste einddikte. Na het koudwalsen is door de opgetreden versteviging het materiaal niet meer vervormbaar. Om het vervormingsvermogen te herstellen wordt het materiaal gegloeid. Na het gloeien volgt nog een lichte walsbewerking, het nawalsen. Deze walsbewerking van $\pm 1\%$ reductie dient om de vloeivlag te onderdrukken, zoals te zien is in figuur 5.1 (onder bepaalde omstandigheden is het begin van de plastische rek niet stabiel. Dit is herkenbaar aan de sterk schommelende belasting. Dit gebied wordt aangeduid met de naam vloeivlag). Tevens verkrijgt het materiaal in deze fase de gewenste vlakheid, vorm en oppervlakteruwheid.



figuur 5.1 Vloeivlag (A) wordt onderdrukt door nawalsen (B)

De eigenschappen die het materiaal na het walsen bezit, zijn afhankelijk van de chemische samenstelling, het gevolgde warmwalsprogramma, de koudwalsreductie, het gloeiproces en de nawalsreductie.

Het totale gloeiproces, waarbij per keer een aantal rollen tegelijk in een stolpoven worden gegloeid, neemt enkele dagen in beslag, inclusief het opwarmen en afkoelen. Dit proces is per definitie inhomogeen, omdat onder de stolp elk stukje staal op een andere manier wordt opgewarmd. Het proces veroorzaakt voor een deel de inhomogeniteit over de rollengte en rolbreedte. Voordeel van dit proces is, dat het materiaal na gloeien verouderingsvrij blijft. Een snellere methode is gezocht en gevonden in het continue gloeiproces. Hierbij wordt niet de hele rol in een keer gegloeid, maar wordt het bandmateriaal op hoge snelheid door een oven gevoerd en daarna pas opgerold. In de oven wordt het materiaal snel opgewarmd, gegloeid en weer afgekoeld. Het proces voltrekt zich in enkele minuten en levert een homogeen product over de lengte en breedte van de rol. Echter de structuur, en daarmee de mechanische eigenschappen, wordt afwijkend beïnvloed ten opzichte van het stolpgegloeide materiaal.

Heel belangrijk daarbij is dat deze continue gegloeide materialen verouderingsgevoelig kunnen zijn (veroudering betekent heel algemeen dat de eigenschappen, voor de gewenste toepassing, in de loop van de tijd veranderen in negatieve zin). In dit geval betekent het dat de vloeivlag uiteindelijk weer terugkeert. Materialen met een zeer laag stikstof- en koolstofgehalte en kunstmatig verouderde materialen zijn hier nagenoeg ongevoelig voor.

De veroudering wordt veroorzaakt door vrije stikstof- en koolstofatomen. Door de hoeveelheid vrije stikstof en koolstof zo laag mogelijk te houden, en vervolgens deze geringe hoeveelheden te binden met elementen als titanium en niobium, wordt deze vorm van veroudering een halt toegeroepen. Deze staalsoort wordt IF-staal (Interstitial Free), bijvoorbeeld DC06, genoemd.

Voor de diverse doeleinden zijn in de loop der tijd diverse staalsoorten ontwikkeld afhankelijk van de toepassing. De naamgeving hangt samen met de samenstelling en de belangrijkste eigenschappen. In de opgenomen tabellen worden de belangrijkste mechanische eigenschappen van de hieronder genoemde staalsoorten vermeld.

Dunne staalplaat is plaatmateriaal met een dikte van maximaal 3 mm (voor vervormingsdoeleinden bovendien ongelegeerd of laaggelegeerd koolstofstaal). Het is goed lasbaar en in het algemeen niet hardbaar. Het wordt geleverd in de vorm van warmgewalste, koudgewalste, onbeklede en beklede rol of plaat.

De koudgewalste staalplaat vormt de belangrijkste groep binnen deze categorie.

Warm- en koudgewalste plaat kunnen in twee groepen worden ingedeeld: vervormingsstaal en sterktestaal. Voor vervormingsstaal wordt een minimale vervorming en voor sterktestaal een minimale sterkte gegarandeerd. Alle gewalste plaat kan worden geleverd met verschillende oppervlakteruwheden.

5.1.1 Vervormingsstaal, onbekleed

Warmgewalst vervormingsstaal

Warmgewalst vervormingsstaal wordt geleverd volgens NEN-EN 10 111. Door verbeterde walstechnieken en thermomechanische procesvoering is een aantal vervormingsstaalsoorten ontwikkeld met een dikte vanaf 1,5 mm. Hierdoor worden deze materialen interessant als goedkopere alternatieven voor koudgewalste staalplaat. De belangrijkste eigenschappen staan vermeld in tabel 5.1. Warmgewalst materiaal kan worden geleverd met en zonder walshuid. Het verwijderen van de walshuid gebeurt door beitsen (chemisch proces) of stralen (mechanisch proces). Door stralen kunnen de mechanische eigenschappen (vervormbaarheid) van het materiaal(oppervlak) worden beïnvloed.

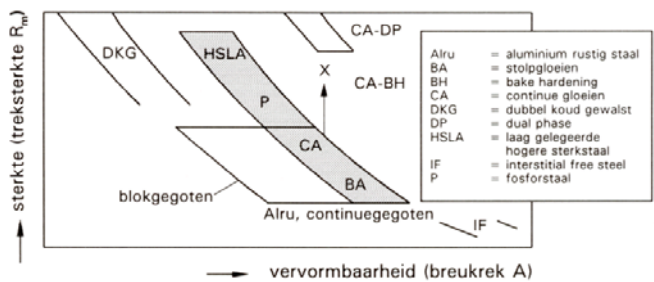
Koudgewalst vervormingsstaal

Koudgewalst vervormingsstaal wordt geleverd volgens NEN-EN 10 130 (voor materialen met een walsbreedte van 600 mm of meer) of NEN-EN 10 139 (voor materialen met een walsbreedte tot 600 mm).

De in deze normen vermelde staalsoorten (zie tabel 5.2) zijn geschikt voor algemene vervormingsdoeleinden, van eenvoudig buigen tot dieptrekken en strekken.

De kwaliteit DC06 is een speciale dieptrek- en strek-kwaliteit. Deze staalkwaliteit is een staalsoort met een zeer laag koolstofgehalte en een toevoeging van titanium. Met deze samenstelling kan een bijzonder goede vervormbaarheid worden gerealiseerd.

In figuur 5.2 staan de sterkte en vervormbaarheid van de verschillende typen warm- en koudgewalste staalplaat.



figuur 5.2 Sterkte en vervormbaarheid van verschillende typen warm- en koudgewalste staalplaat

Ultralaag-koolstof (UltraLow-Carbon, ULC) staal

Deze speciale staalsoort is voornamelijk ontwikkeld ten behoeve van de automobieliindustrie. Deze staalsoort bezit een zeer hoge n-waarde, waardoor dit materiaal geschikt is voor omvormen, in het bijzonder strekbewerkingen.

Producten met een zeer gedetailleerde vormgeving, zoals bodempanelen, worden hieruit vervaardigd. Bij deze materiaal soort moet het koolstofgehalte beneden de 0,02% liggen om de gewenste vervormbaarheid te realiseren, bijvoorbeeld DC06 (zie tabel 5.2). Het verlagen van het koolstofgehalte verbetert weliswaar de vervormbaarheid, maar reduceert tevens de sterkte.

Om ongewenste vergroving door korrelgroei te voorkomen worden andere elementen toegevoegd.

Door een Nederlandse staalfabrikant wordt zelfs DC07 op de markt gebracht, dat uitstekende dieptrekeigenschappen bezit. DC07 heeft de volgende mechanische eigenschappen: R_{σ} max: 160 Mpa, R_m : 270-330 Mpa, A_{80} : 41%, r_{90} : 2,2, n_{90} : 0,22

tabel 5.1 Eigenschappen van warmgewalst vervormingsstaal (NEN-EN 10 111) ¹⁾

Aanduiding vlg EN 10027-1	Werkstoffnr. vlg EN 10027-2	Trekproefeigenschappen ³⁾						buig- radius ⁴⁾	geldigheidsduur van mechanische eigenschappen
		R _{el} ²⁾ [MPa]	R _{el} ²⁾ [MPa]	R _m [MPa]	maximum rek na breuk [%]				
					L ₀ = 80 mm				
					L ₀ = 5,65√S ₀				
1,5 ≤ ε < 2	2 ≤ ε ≤ 8	max.	1,5 ≤ ε < 2	2 ≤ ε ≤ 8	3 ≤ ε ≤ 8				
DD11	1.0332	170-360	170-340	440	23	24	28	1e	1 maand
DD12	1.0398	170-340	170-320	420	25	26	30	0	6 maanden
DD13	1.0335	170-330	170-310	400	28	29	33	0	6 maanden
DD14	1.0389	170-310	170-290	380	31	32	36	0	6 maanden

1) De mechanische eigenschappen gelden voor warmgewalst, ongebeitst, dan wel gebeitst en geoliede producten, wel of niet geskinpassend.

2) Tenzij tijdens de bestelling anders overeengekomen, mogen stikstofbindende elementen zoals titaan of borium worden toegevoegd, naar keuze van de leverancier.

3) Zolang de breedte het toelaat, dienen de trekstaven loodrecht t.o.v. de walsrichting te worden genomen.

4) Zie ISO 7438 en ISO 7799.

tabel 5.2 Eigenschappen van koudgewalst breedband (NEN-EN 10 130 en smalband NEN-EN 10139 ¹⁾)

EN 10130 en EN 10139: Koudgewalst vervormingstaal											
aanduiding vlgs. EN 10027-1 EN 10130	aanduiding vlgs. EN 10027-1 EN 10139	aanduiding Werkstoffnr. vlgs. EN 10027-2	Desoxidatie	Geldigheidsduur van mechanische eigenschappen							
DC01	DC01 LC	1.0330	keuze leverancier	3 maanden							
DC03	DC03 LC	1.0347	gekalmeerd	6 maanden							
DC04	DC04 LC	1.0338	gekalmeerd	6 maanden							
DC05	DC05 LC	1.0312	gekalmeerd	6 maanden							
DC06	DC06 LC	1.0873	gekalmeerd	6 maanden							
EN 10130: Koudgewalst breedband											
aanduiding vlgs. EN 10027-1 EN 10130	aanduiding Werkstoffnr. vlgs. EN 10027-2	Trekproefeigenschappen									
		R _{el} ²⁾ [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ (min.) [%]	r ₉₀ (min.) ^{4),5)}	n ₉₀ (min.)					
DC01 ^{6) 7)}	1.0330	≤ 280 ¹⁰⁾	270-410	28							
DC03 ⁷⁾	1.0347	≤ 240 ⁸⁾	270-370	34	1,3						
DC04 ⁷⁾	1.0338	≤ 210 ⁸⁾	270-350	38	1,6	0,18					
DC05 ⁷⁾	1.0312	≤ 180 ⁸⁾	270-330	40	1,9	0,20					
DC06	1.0873	≤ 180 ⁹⁾	270-350	38	r _{gem.} ≥ 1,8	n _{gem.} ≥ 0,22					
EN 10139: Koudgewalst smalband											
aanduiding vlgs. EN 10027-1 EN 10139	aanduiding Werkstoffnr. vlgs. EN 10027-2	leverings-toestand	Trekproefeigenschappen						Hardheid Hv		
			R _{el} ²⁾ [MPa]	R _m [MPa]	Minimale rek na breuk [%]			r ₉₀ (min.) ^{4), 5)}	n ₉₀ (min.)	min.	max.
					L ₀ = 80 mm ³⁾	L ₀ = 50 mm	L ₀ = 5,65√S ₀				
DC01 A	1.0330	gegloeid	-,-	270-390	28	30	32				105
DC01 LC		skin pass	≤ 280 ¹⁰⁾	270-410	28	30	32				115
DC01 C290		koud nagewalst	200-280	290-430	18	20	24			95	125
DC01 C340			≥ 250	340-490						105	155
DC01 C390			≥ 310	390-540						117	172
DC01 C440			≥ 360	440-590						135	185
DC01 C490			≥ 420	490-640						155	200
DC01 C590			≥ 520	590-740						185	225
DC01 C690			≥ 630	≥ 690						215	
DC03 A	1.0347	gegloeid	-,-	270-370	34	36	37				100
DC03 LC		skin pass	≤ 240 ⁸⁾	270-370	34	36	37	1,3			110
DC03 C290		koud nagewalst	210-255	290-390	22	24	26			95	117
DC03 C340			≥ 250	340-440						105	130
DC03 C390			≥ 330	390-490						117	155
DC03 C440			≥ 380	440-540						135	172
DC03 C490			≥ 440	490-590						155	185
DC03 C590			≥ 540	≥ 590						185	
DC04 A	1.0338	gegloeid	-,-	270-350	38	40	40				95
DC04 LC		skin pass	≤ 210 ⁸⁾	270-350	38	40	40	1,6	0,18		105
DC04 C290		koud nagewalst	220-325	290-390	24	26	28			95	117
DC04 C340			≥ 240	340-440						105	130
DC04 C390			≥ 350	390-490						117	155
DC04 C440			≥ 400	440-540						135	172
DC04 C490			≥ 460	490-590						155	185
DC04 C590			≥ 540	590-690						185	
DC05 LC	1.0312	skin pass	≤ 180 ⁸⁾	270-330	40	42	42	1,9	0,2		100
DC06 LC	1.0873	skin pass	≤ 180 ⁹⁾	270-350	38	40	40	r _{gem.} ≥ 1,8	n _{gem.} ≥ 0,22		

1) De mechanische eigenschappen hebben uitsluitend betrekking op nagewalste producten.

2) De waarden van de vloeigrens zijn die van de 0,2%-rekgrens bij producten die geen duidelijk vloeien vertonen en de onderste vloeigrens R_{el} voor de andere producten. Bij een dikte kleiner dan 0,7 mm en groter dan 0,5 mm wordt de maximumwaarde van de vloeigrens met 20 MPa verhoogd. Bij een dikte kleiner dan 0,5 mm wordt de minimumwaarde van de vloeigrens verhoogd met 40 Mpa.

3) Bij een dikte kleiner dan 0,7 mm en groter dan 0,5 mm wordt de minimumwaarde voor de rek na breuk met 2 eenheden verminderd. Bij een dikte kleiner 0,5 mm wordt de minimumwaarde voor de rek na breuk verminderd met 4 eenheden.

4) De r₉₀- en n₉₀-waarden of r_{gem.}- of n_{gem.}-waarden (zie bijlagen A en B van de norm EN 10130) gelden alleen voor dikten kleiner dan 0,5 mm.

5) Bij een dikte groter dan 2 mm, wordt de r₉₀-waarde of de r_{gem.}-waarde verminderd met 0,2.

6) Het wordt aangeraden om producten met de staalkwaliteit DC01 te verwerken binnen 6 weken nadat ze ter beschikking zijn gesteld.

7) Tenzij anders overeengekomen bij de bestelling, mogen staalkwaliteiten DC01, DC03, DC04 en DC05 ook als gelegeerd staal geleverd worden, bijvoorbeeld met boor en titaan.

8) Voor ontwerpdoeleinden kan voor de onderste vloeigrens van de staalkwaliteiten DC01, DC03, DC04 en DC05 worden uitgegaan van 140 MPa.

9) Voor ontwerpdoeleinden kan voor de onderste vloeigrens van de staalkwaliteit DC06 worden uitgegaan van 120 MPa.

10) De bovenste vloeigrens R_h van 280 Mpa voor de staalkwaliteit DC01 is slechts geldig gedurende 8 dagen vanaf de beschikbaarstelling van het product.

5.1.2 Sterktestaal, onbekleed

Sterktestalen worden gekenmerkt door een gegarandeerde minimale rekgrens in combinatie met een goede vervormbaarheid. De goede vervormbaarheid en de uiteindelijk hogere sterkte worden bereikt door geringe toevoeging van legeringselementen en het versneld afkoelen van het staal tijdens het (continu) gloeiproces.

Warmgewalst sterktestaal

Warmgewalst sterktestaal wordt zowel in thermomechanisch behandelde toestand als in normaalgegleide toestand geleverd (zie onder andere NEN-EN 10149 1,2 en 3). Het toepassingsgebied van deze materialen betreft vooral speciale constructies. In tabel 5.3 is een aantal van deze staalsoorten opgenomen die bestemd zijn voor koudvervorming.

Koudgewalst sterktestaal

Sinds het begin van de zeventiger jaren staat het milieu steeds meer centraal. Daarbij wordt onder andere gestreefd naar het terugdringen van het energieverbruik. De automobiellindustrie tracht het brandstofgebruik terug te dringen o.a. door het verlagen van het gewicht van de auto.

Voor dit doel is een heel scala aan hogesterkte staalsoorten ontwikkeld. Deze staalsoorten zijn echter bijna altijd een tussenoplossing voor wat betreft sterkte en vervormbaarheid. In het algemeen kan worden gesteld dat de sterkte afneemt met toenemende vervormbaarheid. De introductie van het continugloeiproces is een belangrijke stap vooruit geweest bij de ontwikkeling van deze staalsoorten. Deze hogesterkte staalsoorten zijn in de normen NEN-EN 10268 en NEN-EN 10336 vastgelegd (tabel 5.4).

Microgelegeerd staal

De sterkteverhoging bij deze staalsoorten wordt voornamelijk verkregen door de korrelverfijning. Daarnaast worden nog elementen als niobium en vanadium toegevoegd. De met deze elementen gevormde carbiden verhogen de vloeigrens en treksterkte nog verder. De taaiheid neemt hierbij sterk af.

Fosfor (rephosphorised) staal

De toevoeging van fosfor kan een aanzienlijke sterkteverhoging bewerkstelligen zij het minder dan de eerder genoemde. Het voordeel van de fosfor toevoeging is dat de taaiheid minder sterk afneemt. Voorwaarde hierbij is wel dat het materiaal zeer weinig zwavel mag bevatten om

tabel 5.3 Warmgewalst sterktestaal volgens NEN-EN 10149

Warmgewalste hogesterktestalen						
NEN-EN 10149-2 Thermomechanisch						
Aanduiding	Materiaalnummer	R_{eh} [MPa] (min.)	R_m [MPa]	Rek [%]		180° buigen
				< 3 mm	≥ 3 mm	
				$L_0 = 80$ mm	$L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$	R =
S315MC	1.0972	315	390 - 510	20	24	0t
S355MC	1.0976	355	430 - 550	19	23	0,5t
S420MC	1.0980	420	480 - 620	16	19	0,5t
S460MC	1.0982	460	520 - 670	14	17	1t
S500MC	1.0984	500	550 - 700	12	14	1t
S550MC	1.0986	550	600 - 760	12	14	1,5t
S600MC	1.8969	600	650 - 820	11	13	1,5t
S650MC	1.8976	650	700 - 880	10	12	2t
S700MC	1.8974	700	750 - 950	10	12	2t
NEN-EN 10149-3: Normaal gegloeid						
S260NC	1.0971	260	370 - 490	24	30	0t
S315NC	1.0973	315	430 - 550	22	27	0,5t
S355NC	1.0977	355	470 - 610	20	25	0,5t
S420NC	1.0981	420	530 - 670	18	23	0,5t

tabel 5.4 Eigenschappen van microgelegeerde stalen volgens NEN-EN 10268

Microgelegeerde stalen EN 10268								
Aanduiding	Materiaalnummer	R_{eh} [MPa]	R_{eh} [MPa]	R_{eh} [MPa]	R_m [MPa]	Rek [%]		doorsnede 180° buigen
		//WR	//WR	⊥WR	//WR	$L_0 = 80$ mm	$L_0 = 50$ mm	⊥WR
		min.	max.	min.	min.	min.	min.	
H240LA	1.0480	240	310	340	340	27	29	0e
H280LA	1.0489	280	360	370	370	24	26	0e
H320LA	1.0548	320	410	400	400	22	24	0e
H360LA	1.0550	360	460	430	430	20	22	0,5e
H400LA	1.0556	400	500	460	460	18	20	0,5e

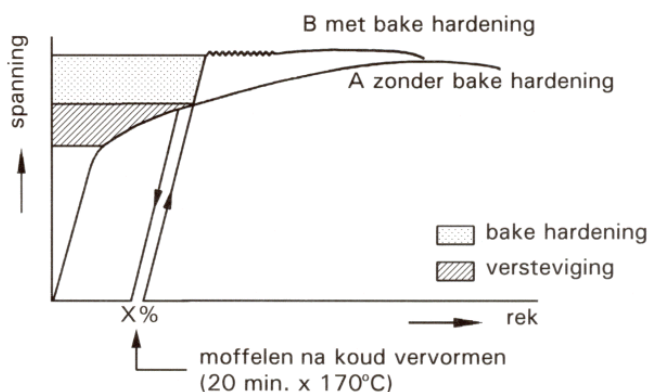
verbroosing te voorkomen. Tabel 5.5 geeft de belangrijkste eigenschappen volgens NEN-EN 10268.

tabel 5.5 Eigenschappen van fosfor (rephosphorized) staal (NEN-EN 10268)

Rephosphorized staal EN 10268						
Aan- duiding	Materiaal- nummer	$R_{p0,2}$ of R_{eh} [MPa]	R_m [MPa]	Rek [%] $L_0 = 80$ mm	r_{90} (min.)	n_{10-20} (min.)
H220P	1.0397	220-270	320-400	32	1,3	0,16
H260P	1.0417	260-320	360-440	29		
H300P	1.0448	300-360	400-480	26		

Bake hardening staal

Deze staalkwaliteiten zijn typische producten die ontwikkeld zijn aan de hand van het continu gloeiproces. De koolstofveroudering wordt verhinderd tijdens het productieproces, door heel snel af te koelen. Na het nawalsen, om de vloeivlag te onderdrukken, ontstaat een stabiel product dat zich gedraagt volgens de trekkromme A in figuur 5.3. Tijdens verdere verwerking van het materiaal, bijvoorbeeld een bepaald percentage vervorming (tot punt X in figuur 5.3), treedt versteviging op. In de lakfase, waarbij het materiaal door een moffeloven wordt gevoerd, komt de koolstofveroudering, die eerder was ingevroren, weer op gang. Hierdoor komt weliswaar de vloeivlag terug, maar tegelijkertijd neemt de vloeigrens toe met 10 tot 20% (zie figuur 5.3, trekkromme B en figuur 5.2). Het grote voordeel van dit materiaal is, dat het betrekkelijk eenvoudig te verwerken is en na lakken toch een behoorlijke sterkte heeft.



figuur 5.3 Het effect van bake hardening op de trekkromme

De begin- en eindsterkte van de materialen zijn afhankelijk van het gloeiproces en het percentage vervorming. Een aantal bake hardening kwaliteiten staan vermeld in NEN-EN 10268 (zie tabel 5.6).

tabel 5.6 Bake hardening staal volgens NEN-EN 10268

Bake hardening staal EN 10268							
Aanduiding	Materiaalnummer	$R_{p0,2}$ of R_{eh} [MPa]	Toename $R_{p0,2}$ of R_{eh} [MPa]	R_m [MPa]	Rek [%]	r_{90} (min.)	n_{10-20} (min.)
					$L_0 = 80$ mm		
H180B	1.0395	180-230	24	300-360	34	1,6	0,17
H220B	1.0396	220-270	32	320-400	32	1,5	0,16
H260B	1.0400	260-320	29	360-440	29		
H300B	1.0444	300-360	26	400-480	26		

IF-staal van hoge sterkte (zie ook tabel 5.7) is gebaseerd op een vacuüm ontkoold en met titaan en/of niobium gelegeerd staal, waaraan voor het bereiken van de hoge treksterkte nog fosfor en mangaan toegevoegd kan zijn. Dit staal kenmerkt zich in vergelijking met de andere hoge sterkte stalen tot een hoge waarde voor anisotropie (r-waarde), welke zeer belangrijk is bij dieptrekken. Vooral de hoge r-waarde in de 45° richting leidt tot geringe oorsvorming.

tabel 5.7 Hoge sterkte IF-stalen volgens NEN-EN 10268

IF-stalen EN 10268					
Aanduiding	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	Rek [%] $L_0 = 80$ mm	r_{90} (min.)	n_{10-20} (min.)
H180Y	180-220	340-400	36	1,7	0,19
H220Y	220-270	350-420	34	1,6	0,18
H260Y	260-300	380-440	32	1,4	0,17

Dual phase staal

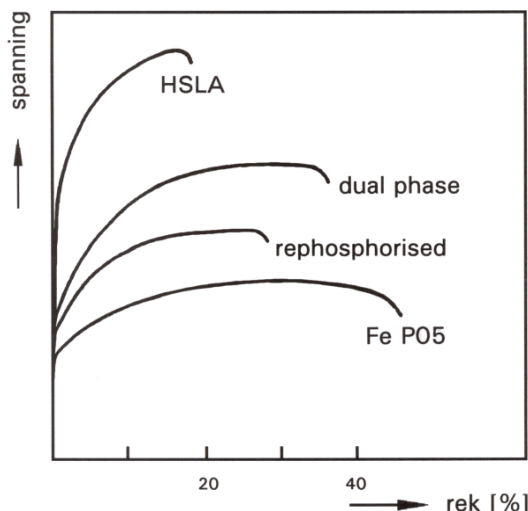
Deze staalsoort (zie ook tabel 5.8) is evenals het bake hardening staal afkomstig van de continu gloeilijn. Als na het gloeien, bij het verlaten van de oven, snel wordt afgekoeld, kan een dual phase staal worden verkregen. Dit is een staalsoort met een structuur bestaande uit ferriet (80% - 90%) en martensiet (20% - 10%). Deze structuur levert een goed vervormbaar staal op met een zeer hoge verstevigingsexponent (n-waarde). Vanwege deze uitzonderlijke versteviging, vooral bij beginnende vervorming, is dit bijzonder geschikt voor strekvervormingen. Verder vertoont dit staal het bake hardening effect. Dat het materiaal een interessante plaats inneemt is te zien in figuur 5.4.

tabel 5.8 Dual Phase stal volgens NEN-EN 10336

DP-stalen EN 10336					
Aanduiding	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	Rek [%] $L_0 = 80$ mm	n_{10-20} (min.)	BH ₂ waarde [MPa]
HT450X	250-330	450	27	0,16	30
HT500X	290-370	500	24	0,15	30
HT600X	330-410	600	21	0,14	30
HT800X	420-550	780	15		30
HT1000X	550-700	980	10		30

Partieel martensitisch staal

De soort partieel martensitisch staal is een uitbreiding op de Dual Phase stalen. Hierbij gaat het over stalen met een minimale treksterkte van 600 MPa tot 800 MPa. De partieel martensitische stalen zijn meerfasen stalen, waarbij de harde martensiet in een zachte ferrietmatrix is verdeeld. Naast martensiet kan er ook bainiet in voor komen.



figuur 5.4 Trekkrommen van diverse staalsoorten

In vergelijking tot de dual fase staal heeft dit staal een hogere rekgrens bij gelijkblijvende treksterkte, waarbij de breukrek wat lager ligt. Evenals bij het dual fase staal blijft het bake hardening effect aanwezig (zie tabel 5.9).

tabel 5.9 Partieel martensitisch staal volgens NEN-EN 10336

Partieel martensitisch staal EN 10336				
Aanduiding	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	Rek [%] $L_0 = 80$ mm	BH ₂ waarde [MPa]
HT600C	350-470	600	16	30
HT800C	500-640	780	10	30
HT900C	580-740	880	8	30
HT1000C	660-860	980	6	30

TRIP staal

TRIP (Transformation Induced Plasticity) staal (zie ook tabel 5.10) bestaat uit een ferritische matrix (ca. 75%), bainiet (ca. 10%), alsmede metastabiel restausteniet (tot 15%). Zowel het gedeelte van de harde fase (bainiet) als de stabiliteit van de restausteniet gedurende de vervorming beïnvloeden het spectrum van de mechanische technologische meetwaarden. Geïnduceerde transformerende plasticiteit betekent, dat de metastabiele "zachte" austeniet zich gedurende de vervorming (bijvoorbeeld het dieptrekken) gedeeltelijk omzet in "harde" martensiet. Hierdoor wordt lokale insnoering onderdrukt en de gelijkmatige rek naar hogere waarden verschoven. Hieruit resulteert de bekende goede vervormbaarheid van de TRIP staalen met tegelijk hoge treksterkten. De door de temperatuurbehandeling gedurende het lakproces nog te behalen verhoging van de rekgrens (bake hardening effect) verhoogt de gewichtbesparing nog aanmerkelijk.

tabel 5.10 TRIP-staal volgens NEN-EN 10336

TRIP-staal EN 10336					
Aanduiding	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	Rek [%] $L_0 = 80$ mm	n_{10-20} (min.)	BH ₂ waarde [MPa]
HT600T	380-480	600	26	0,2	40
HT700T	410-510	700	24	0,19	40
HT800T	440-560	780	22	0,18	40
HT1000T	afpraak	980	18	0,14	40

5.1.3 Staalsoorten, bekleed

Bekleding op staal wordt om diverse redenen aangebracht. Vaak is het een combinatie van een aantal redenen. De belangrijkste reden is wel het verbeteren van de weerstand tegen corrosie. Andere redenen kunnen zijn decoratie, smering, hechting van deklagen en soldeerbaarheid. Ook wordt de bekleding reeds op het basismateriaal aangebracht om het milieu minder te belasten. Door de bekleding op het basismateriaal aan te brengen, wordt bespaard op energie en milieu belastende grondstoffen door concentratie van de activiteiten.

De meest voorkomende bekledingsvormen zijn zink, tin, chroom, aluminium, lood, lak en kunststof.

Verzinkt staal

Het verzinken van staalplaat of van stalen producten gebeurt al sinds jaar en dag. De corrosiewerende werking van zink is dan ook al heel lang bekend en wordt gebruikt om de levensduur van producten te verlengen. Om de levensduur van producten, zoals automobielen, gevelbekleding of wasmachines te verlengen kan verzinkte staalplaat uitkomst bieden. Zowel het toegepaste verzinkproces als de staalbasis bepalen samen de inzetbaarheid van het verzinkte staal. De vervormbaarheid wordt bepaald door drie factoren, namelijk de zinklaag, de legeringslaag (de overgangslaag tussen zink en staal) en de staalbasis. Daarnaast worden vaak eisen ten aanzien van de oppervlaktegesteldheid opgelegd.

Er zijn twee verzinkprocessen ontwikkeld voor het continu verzinken van staalband. De keuze van het proces is afhankelijk van de toepassing, omdat het verzinkproces zowel de uiteindelijke materiaaleigenschappen bepaalt, als het uiterlijk. De twee processen zijn thermisch verzinken, hierbij wordt het materiaal ondergedompeld in een bad met vloeibaar zink, en het elektrolytisch verzinken, waarbij elektrochemisch zink wordt neergeslagen op het staal.

Thermisch verzinken

Thermisch verzinken wordt voorafgegaan door continu gloeien. Hierbij wordt het materiaal in een continu gloei-oven geoxideerd en gereduceerd op 675 - 870 °C om een schoon oppervlak te verkrijgen. Hierna wordt het materiaal afgekoeld tot de zinkbadtemperatuur. Het schone gegloeide staal wordt vervolgens ondergedompeld in een bad van vloeibaar zink van 450 tot 480 °C. Materiaal langs deze weg geproduceerd heeft andere eigenschappen dan het niet verzinkte materiaal met dezelfde chemische samenstelling, dat volgens de traditionele manier, met stolpgloeining, is vervaardigd. Thermisch verzinkt DX51D + Z275 gedraagt zich beslist anders dan de onbektele DC01 (zie tabel 5.11).

Het thermisch verzinken levert relatief dikke zinklagen: 90 - 600 gr/m² bij 6 - 40 µm per zijde.

Het zinkbad bevat een geringe hoeveelheid aluminium (ca. 5%) die de dikte van de Fe-Zn legeringslaag reduceert. Deze legeringslaag ontstaat aan het staaloppervlak en is weinig vervormbaar. Indien de legeringslaag dikker is dan 0,4 µm, kan deze laag er de oorzaak van zijn, dat de zinklaag loslaat tijdens de vervorming.

Door na het verzinken het materiaal nogmaals te gloeien, ontstaat op het oppervlak een ijzer-zink legering. Deze legeringslaag is weliswaar minder goed vervormbaar, maar heeft twee belangrijke voordelen.

Ten eerste zorgt de laag voor een betere hechting van laklagen. Ten tweede maakt de aanwezigheid van de laag het materiaal beter geschikt voor weerstandlassen, dan het normaal verzinkte materiaal, door een verbeterde elektrode standtijd. Het materiaal krijgt door deze behandeling een mat oppervlak. Deze materiaalsoort wordt aangeduid met de naam 'galvannealed'. Gebruikelijke laagdikten zijn 60 - 120 gr/m² ofwel 4 - 8 µm per zijde.

Voor het uiterlijk (bloemvorming, 'spangle') en de vervormbaarheid is de korrelgrootte van de zinklaag belangrijk. Grove korrels geven een ruw oppervlak, dat zelfs door een laklaag zichtbaar blijft. Grofkorrelig zink is ook minder vervormbaar, zodat kans bestaat op scheurvorming en bladderen. De aanwezigheid van lood veroorzaakt grove korrels en bloemvorming ('spangle'). De bloemvorming wordt wel toegepast in de bouw voor decoratieve doeleinden. Indien bloemvorming ongewenst is, moet er dus voor gezorgd worden dat het zinkbad geen lood bevat. (Lood komt voor in zink als verontreiniging). Korrelverfijning wordt verder verkregen door toevoegingen aan het zinkbad en snelle afkoeling, wanneer het materiaal het zinkbad verlaat.

De dikte van de zinklaag wordt beheerst door gasmassen. Door de gasdruk te variëren blijft meer of minder zink op het oppervlak achter. Op deze manier kan per kant een verschillende laagdikte worden aangebracht.

Om de vloeiwigheid te onderdrukken en de vorm te herstellen wordt het thermisch verzinken gevolgd door nawalsen, tenzij iets anders wordt overeengekomen. Na het verzinken wordt een conserveringslaag aangebracht door het materiaal in te oliën en/of chemisch te passiveren, tenzij iets anders wordt overeengekomen. Hierdoor wordt corrosie van de zinklaag ('witte roest') verhinderd (chemisch passiveren wordt steeds vaker vervangen door alternatieve methoden, omdat het belastend voor het milieu zou zijn. Echter nagenoeg 100% van het sendzimir verzinkte staal afkomstig uit West Europese fabrieken is vrij van chroom VI).

Thermisch verzinkt staal wordt vooral toegepast in de automobielsector, de bouw en de wit- en bruingoedsector. Tabel 5.11 geeft de belangrijkste eigenschappen weer volgens NEN- EN 10327.

Voor toepassingen in de bouw en de automobielsector is een variant ontwikkeld met 5% aluminium, het zogenoemde Galfan (NEN-EN 10327). Aan deze bekledingslaag wordt een betere vervormbaarheid toegeschreven. Ook is materiaal met een dergelijke bekleding geschikt voor weerstandlassen. De deklaag biedt een goed hechtende basis voor laksystemen. Een betere corrosieweerstand wordt geclaimd (de eigenschappen worden ook beschreven in NEN-EN 10327).

Vooraf voor toepassingen in de bouw is er een zink-aluminium (55% Al) coating en een aluminium-zink coating. Deze bekledingen zijn vooral ontwikkeld om een betere corrosiebescherming of een goed uiterlijk te leveren, zonder aanbrengen van een verfsysteem. Door het hoge aluminiumgehalte is het materiaal minder geschikt voor weerstandlassen (NEN-EN 10327).

In de automobielsector worden nog een tweetal deklagen toegepast die geen zink bevatten. Wel worden deze lagen via het dompelproces aangebracht. De twee bekledingen zijn lood (eigenlijk een lood-tin-antimoon legering), speciaal voor brandstoftanks, en aluminium-silicium (NEN-EN 10154) dat speciaal voor uitlaatsystemen (hoge temperaturen) wordt toegepast. Beide bekledingen bieden in de genoemde omgeving betere weerstand tegen corrosie.

Tabel 5.12 geeft enkele veel voorkomende laagdikten van thermisch verzinkte plaat.

tabel 5.12 Enkele veel voorkomende laagdikten van thermisch verzinkte plaat

Aanduiding zinklaag	minimum gewicht van de totale laagdikte aan beide zijden [gr/m ²]		theoretische waarden voor de laagdikte per oppervlak (micron)	
	driepunts-meting	eenpunts-meting	typische laagdikte	spreidingsgebied
Z100	100	85	7	5 - 12
Z140	140	120	10	7 - 15
Z200	200	170	14	10 - 20
Z225	225	195	16	11 - 22
Z275	275	235	20	15 - 27
Z350	350	300	25	19 - 33
Z450	450	385	32	24 - 42
Z600	600	510	42	32 - 55

Elektrolytisch verzinken

Elektrolytisch verzinkt materiaal verschilt sterk van het thermisch verzinkte materiaal. Dit wordt veroorzaakt door de productiewijze. Bij het elektrolytisch verzinken wordt het materiaal niet ondergedompeld in vloeibaar zink maar wordt het staal (bijvoorbeeld DC01 - DC06) door een bad

tabel 5.11 Belangrijkste eigenschappen van thermisch bedekt vervormingstaal (NEN-EN 10327)

Aanduiding	materiaal-nummer	thermische bedekking	R _p [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ [%] (min.)	r ₉₀ (min.)	n ₉₀ (min.)
DX51D	1.0226	+ Z, + ZF, + ZA, + AZ, + AS		270-500	22		
DX52D	1.0350	+ Z, + ZF, + ZA, + AZ, + AS	140-300	270-420	26		
DX53D	1.0355	+ Z, + ZF, + ZA, + AZ, + AS	140-260	270-380	30		
DX54D	1.0306	+ Z, + ZA	120-220	260-350	36	1,6	0,18
DX54D	1.0306	+ ZF	120-220	260-350	34	1,4	0,18
DX54D	1.0306	+ AZ	120-220	260-350	36		
DX54D	1.0306	+ AS	120-220	260-350	34	1,4	0,18
DX55D	1.0309	+ AS	140-240	270-370	30		
DX56D	1.0322	+ Z, + ZA	120-180	260-350	39	1,9	0,21
DX56D	1.0322	+ ZF	120-180	260-350	37	1,7	0,20
DX56D	1.0322	+ AS	120-180	260-350	39	1,7	0,20
DX57D	1.0853	+ Z, + ZA	120-170	260-350	41	2,1	0,22
DX57D	1.0853	+ ZF	120-170	260-350	39	1,9	0,21
DX57D	1.0853	+ AS	120-170	260-350	41	1,9	0,21

Z = thermisch zink (99%)
 ZF = thermisch zink, diffusie gegloeid (8-12% Fe)
 ZA = thermisch zink-aluminium (ca. 5% Al)
 AZ = thermisch aluminium-zink (55% Al + 1,6% Si)
 AS = thermisch aluminium-silicium (8-11% Si)

gevoerd dat een zinkoplossing bevat. Langs elektrochemische weg wordt het zink uit de oplossing op het staal neergeslagen. De structuur van de langs elektrolytische weg gevormde zinklaag wijkt af van de langs thermische weg gevormde zinklaag. Het elektrolytisch verzinken gebeurt zonder temperatuurverhoging, waardoor de materiaaleigenschappen niet worden gewijzigd en er geen legeringslaag ontstaat. Hierna wordt het materiaal gedroogd. De aldus gevormde zinklaag is over het algemeen vrij dun, meestal enkele μm tot - hoogst zelden - maximaal $10 \mu\text{m}$, vlakker maar ook matter dan de via thermisch verzinken gevormde laag. Het is ook mogelijk eenzijdig een zinklaag aan te brengen.

Na het verzinken wordt een conserveringslaag aangebracht door het materiaal te chromateren en/of te fosfateren, eventueel in combinatie met oliën, tenzij iets anders wordt overeengekomen. Hierdoor wordt corrosie van de zinklaag ('witte roest') verhinderd. Dikke fosfaatlagen kunnen echter problemen geven bij het weerstandlassen.

Voornaamste toepassing vindt dit materiaal in de automobiellindustrie en de wit- en bruingoedsector. De belangrijkste eigenschappen van deze materialen staan in NEN-EN 10152 (zie ook tabel 5.13).

Naast de zinkbekleding worden volgens dit proces ook legeringslagen aangebracht van zink-ijzer (als antwoord op het galvannealed materiaal), zink-nikkel, meestal bedekt met een organische laag, en zink-nikkel-ijzer, indien betere hechting en verfafwerking wordt vereist. Zink-nikkel (NEN-EN 10271) bekledingen zouden voordelen bieden bij het puntlassen.

Vertind staal

Het vertinproces is identiek aan het elektrolytisch verzinken. Na het vertinnen is het oppervlak dof. Voor veel toepassingen wordt het oppervlak heel kort verwarmd tot net boven de smelttemperatuur van tin en weer afgekoeld. Hierdoor wordt het oppervlak glanzend.

Het elektrolytisch vertinnen levert relatief dunne lagen, $1 - 10 \text{ gr/m}^2$ per zijde bij $0,16 - 1,6 \mu\text{m}$. De laagdikte kan per zijde verschillend worden aangebracht. In dat geval wordt de zijde met de dikste laag voorzien van een merklijn, tenzij iets anders wordt overeengekomen. Na het vertinnen wordt een conserveringslaag aangebracht door het materiaal in te oliën en/of te chromateren, tenzij iets anders wordt overeengekomen. Hierdoor wordt corrosie van de tinlaag verhinderd. De chromaatlaag verbetert bovendien de lakhechting.

Vertind staal wordt geleverd in dikten van $0,17$ tot $0,49 \text{ mm}$. Enkele soorten worden slechts geleverd met een dikte van $0,14$ tot $0,29 \text{ mm}$. Materialen worden geleverd volgens NEN-EN 10203. In deze norm worden de enkelvoudigste varianten ingedeeld volgens hardheidswaarden. De dubbelvoudigste varianten worden ingedeeld naar rekgrens en hardheidswaarde. De gloeiwijze is hierin niet opgenomen, maar dient bij bestelling wel te worden opgegeven.

Vertind materiaal wordt altijd in nagewalste toestand geleverd. Vertind materiaal wordt voornamelijk toegepast in de verpakkingindustrie.

Verchroomd staal

Voor de verpakkingindustrie wordt, in dezelfde dikte en hardheidsklassen als bij vertind staal vermeld, ook verchroomd materiaal geleverd. Het chroomlaagje wordt eveneens elektrochemisch aangebracht. Deze deklaag is echter veel dunner en daardoor minder corrosiebestendig. Aan de buitenzijde wordt een dunne laag chroomoxide aangebracht. Deze laag verbetert de lakhechting. Langs deze weg worden laagdikten bereikt van $50 - 140 \text{ mg/m}^2$ per zijde. De chroomoxide toplaag heeft een dikte van 7 tot 35 mg/m^2 .

Gegevens omtrent mechanische eigenschappen en bekledingslaag staan vermeld in NEN-EN 10202.

tabel 5.13 Eigenschappen van elektrolytisch verzinkt staal (NEN-EN 10152) ¹⁾

Staal-kwaliteit	definitie en aanduiding vlg EN 10020	desoxidatiemethode	geldigheidsduur van de mechanische eigenschappen	oppervlaktekwaliteit	afwezigheid van vloeilijnen	R _p ²⁾ [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ [%] (min.) ³⁾	r ₉₀ (min.) ^{4);5)}	n ₉₀ (min.) ⁴⁾
DC01 + ZE ⁶⁾	ongelegeerd kwaliteitsstaal ⁷⁾	overgelaten aan de producent	–	A	–	–/280 ^{8);10)}	270/410	28	–	–
			–	B	3 maanden					
DC03 + ZE	ongelegeerd kwaliteitsstaal ⁷⁾	volledig rustig staal	6 maanden	A	6 maanden	–/240 ⁸⁾	270/370	34	1,3	–
			6 maanden	B	6 maanden					
DC04 + ZE	ongelegeerd kwaliteitsstaal ⁷⁾	volledig rustig staal	6 maanden	A	6 maanden	–/220 ⁸⁾	270/350	37	1,6	0,160
			6 maanden	B	6 maanden					
DC05 + ZE	ongelegeerd kwaliteitsstaal ⁷⁾	volledig rustig staal	6 maanden	A	6 maanden	–/190 ⁸⁾	270/330	39	1,9	0,190
			6 maanden	B	6 maanden					
									r̄ (min.) ^{4);5)}	n̄ (min.) ⁴⁾
DC06 + ZE	gelegeerd kwaliteitsstaal ⁷⁾	volledig rustig staal	6 maanden	A	6 maanden	–/190 ⁹⁾	270/350	37	1,8	0,200
			6 maanden	B	6 maanden					

1) De mechanische eigenschappen hebben uitsluitend betrekking op nagewalste producten.

2) De waarden van de vloeigrens zijn die van de $0,2\%$ rekgrens bij producten die geen duidelijk vloeien vertonen en de onderste vloeigrens R_{eL} voor de andere producten. Bij een dikte $\leq 0,7 \text{ mm}$ en $> 0,5 \text{ mm}$ wordt de maximumwaarde van de vloeigrens met 20 MPa verhoogd. Bij een dikte $\leq 0,5 \text{ mm}$ wordt de maximumwaarde van de vloeigrens verhoogd met 40 MPa .

3) Bij een dikte $\leq 0,7 \text{ mm}$ en $> 5 \text{ mm}$ wordt de minimumwaarde voor de rek na breuk met 2 eenheden verminderd. Bij een dikte $\leq 0,5 \text{ mm}$ wordt de minimumwaarde voor de rek na breuk verminderd met 4 eenheden.

4) De r_{90} - en n_{90} -waarden of $\bar{r}$ - of $\bar{n}$ -waarden gelden alleen voor dikten $\geq 0,5 \text{ mm}$.

5) Bij een dikte $> 2 \text{ mm}$, wordt de r_{90} -waarde of $\bar{r}$ -waarde verminderd met $0,2$.

6) Het wordt aangeraden om producten van de staalkwaliteit DC01 + ZE te verwerken binnen 6 weken nadat ze beschikbaar zijn gesteld.

7) Tenzij anders wordt overeengekomen bij de bestelling, mogen de staalkwaliteiten DC01 + ZE, DC03 + ZE, DC04 + ZE en DC05 + ZE ook als gelegeerd staal worden geleverd (bijvoorbeeld met boor of titaan).

8) Ten behoeve van ontwerpdoeleinden kan voor de onderste vloeigrens R_{eL} van de staalkwaliteiten DC01 + ZE, DC03 + ZE, DC04 + ZE en DC05 + ZE worden uitgegaan van 140 MPa .

9) Ten behoeve van ontwerpdoeleinden kan voor de onderste vloeigrens R_{eL} van de staalkwaliteit DC06 + ZE worden uitgegaan van 120 MPa .

10) De bovenste vloeigrens R_{eH} van 280 MPa voor de staalkwaliteit DC01 + ZE is slechts geldig gedurende 8 dagen vanaf de beschikbaarstelling van het product.

Voorgelakt en met folie bekleed staal

Als basismateriaal voor voorgelakte en met folie beklede plaat wordt meestal verzinkt bandstaal gebruikt, omdat dit een betere weerstand tegen corrosie geeft. Voor toepassingen waar corrosie een minder belangrijke rol speelt, bijvoorbeeld bij toepassingen binnenshuis, wordt ook onbepaald staal voorzien van een coating (bekledingslaag). In een coatinglijn wordt de (verzinkte) band eerst ontvet en ondergaat vervolgens een voorbehandeling in de vorm van fosfateren of chromateren. Via de coatinglijn wordt eenzijdig een tweelaagsysteem aangebracht. Eerst wordt de primer aangebracht, gevolgd door een moffelbehandeling. Daarna volgt het aanbrengen van de deklaag en op nieuw een moffelbehandeling. In de meeste gevallen wordt tegelijk met de deklaag één eenvoudige laklaag op de achterzijde aangebracht. Bij folie beklede plaat wordt in plaats van de deklaag een lijmlaag aangebracht. De folie wordt direct na de oven op de nog warme band gewalst. Op de achterzijde van de band wordt meestal slechts één laklaag aangebracht.

Er bestaat een groot aantal verschillende soorten lak voor toepassing bij coilcoaten. In de meeste gevallen is het totale systeem 25 µm dik, 5 µm primer en 20 µm topcoat. Plastisol is met een dikte van 100 µm tot 200 µm een uitzondering. De keuze voor een bepaalde coating is afhankelijk van de toepassing en de gestelde eisen. De meest voorkomende soorten lak en folie zijn:

► *Plastisol*

Dit is een relatief dikke PVC laag. Dankzij de grote dikte is de coating goed bestand tegen beschadigingen en heeft een goede weerstand tegen corrosie. De taai coating is uitstekend vervormbaar. Doordat geen hoogglans geleverd kan worden en de laag relatief zacht is, is de coating minder geschikt voor een aantal binnentoepassingen.

► *Polyester*

Polyesters zijn met uiteenlopende eigenschappen beschikbaar. Afhankelijk van de toepassing zijn lakleveranciers in staat de eigenschappen te wijzigen. Polyesters worden zowel toegepast in de bouw, waar hoge eisen worden gesteld aan weerstand tegen klimaatinvloeden, als in binnentoepassingen, zoals witgoed, waar ook uiterlijk van groot belang is.

► *PVDF*

Polyvinylideenfluoride is een laklaag die vooral goed bestendig is tegen chemische invloeden en UV licht. Een belangrijke toepassing is in de bouw, daar waar bijzonder hoge eisen worden gesteld aan behoud van glans en kleur.

► *Polyester met polyamide (PE/PA)*

Door aan polyester of aan polyurethaan polyamide deeltjes toe te voegen, ontstaat een zeer slijtvaste coating. De polyamide deeltjes geven de coating een eigen uiterlijk.

► *Polyurethaan (PUR)*

Dit is een flexibele, vlekkenbestendige en slijtvaste coating, onder andere geschikt voor huishoudelijke toepassingen.

► *Polyvinylchloride (PVC)*

Is in zeer veel varianten te verkrijgen onder andere met hoge slijtage- en vlekbestendigheid, brandvertragend, enz.

► *Polyvinylfluoride (PVF)*

In NEN- EN 10169 staan definities, materialen, enz., voor continu organisch beklede platte staalproducten beschreven. In de publicatie VM 109 wordt aanvullende informatie gegeven over voorgelakt plaatstaal voor binnengebruik [lit.14].

Lak- en folieleveranciers zijn in staat om allerlei specialiteiten te maken. Zo zijn er coilcoatssystemen met een metallic uiterlijk en kunnen folies met allerlei decoraties worden geleverd, zoals houtnerf, textieluiterlijk of andere dessins.

Voorgelakt en met folie bekleed staal is geschikt voor koudvervorming. Lassen is niet mogelijk zonder de bekledingslaag te beschadigen en wordt om die reden ook niet toegepast. Lijmen en mechanische verbindingstechnieken worden wel toegepast.

Voor toepassing in de automobiellindustrie zijn in de afgelopen jaren (begin jaren 90) twee verfsystemen ontwikkeld, die tot doel hebben een deel van het bekledingsproces bij de autoproducent te verleggen naar de plaatleverancier.

Het ene systeem is een niet lasbare variant, waarop de verwerker alleen nog maar de deklaag hoeft aan te brengen. Het tweede systeem is een lasbare primer die de functie van de electrocoat bij de autoproducent overneemt. Deze coating kan op de gebruikelijke wijze worden gepuntlast. De lasbaarheid is zelfs beter dan van ongecoat verzinkte plaat (betere elektrodestandtijd).

Belangrijke kenmerken van veel toegepaste organische deklaagen staan in tabel 5.14.

De belangrijkste afnemers van organisch bekleed materiaal zijn de automobiellindustrie, de wit- en bruingoedindustrie en de bouw.

Staalsandwiches en laminaat

Staalsandwiches en laminaat zijn relatief recente ontwikkelingen, waarbij tussen twee lagen dun metaal een kunststof vulling is aangebracht.

Bij sandwiches gaat het om een vrij dikke, stijve laag kunststof, die veelal uit polyurethaanschuim bestaat, van ca. 0,5 mm tot 10 cm. Het hoofddoel hierbij is gewichtsbeparing en het verkrijgen van een isolerende werking voor warmte en/of geluid. Ze zijn als regel weinig vervormbaar. Knikken en togen (hol of bol zetten van panelen) worden wel toegepast.

tabel 5.14 Kenmerken van enkele lak- en folietypen (volgens ECCA testmethode, zie [lit.14])

Testmethode	Laktype					Folietype	
	Plastisol	Polyester	PVDF	PE/PA	PUR	PVC	PVF
nominale droge filmdikte inclusief primer (T1)	200 µm	25 µm	25 µm	25 µm	25 µm	100-250 µm	35-40 µm
glans 60° (T2)	20 - 60	10 - 90	20 - 50	20 - 40	10 - 80	20 - 70	20 - 50
potloodhardheid (T3)	¹⁾	HB - 2H	HB - F	H	F - H	¹⁾	¹⁾
flexibiliteit - T-bend - test (T7)	0 - 1T	0 - 4T	1 - 2T	1 - 3T	0 - 2T	0 - 1T	1 - 2T
slijtvastheid	uitstekend	goed	goed	uitstekend	uitstekend	uitstekend	uitstekend
warmteweerstand continu (T13)	60 °C	80 °C	110 °C	80 °C	80 °C	60 °C	110 °C
chemische resistentie	zeer goed	goed	uitstekend	goed	goed	zeer goed	uitstekend
UVbestendigheid 100 hr. QUV (T10)	redelijk	goed	uitstekend	goed	zeer goed	redelijk	uitstekend
corrosieweerstand (T8) zoutspreeptest 500 hr	uitstekend	goed	uitstekend	goed	goed	uitstekend	uitstekend

¹⁾ De potloodhardheid is geen goede maat voor de hardheid van dikke laklagen en folies

Toepassingen zijn in hoofdzaak te vinden in de bouw als dak- en wandpanelen, en als geluidwerende omkapping van machines en telefooncellen.

Laminaten zijn opgebouwd uit twee lagen metaal met daartussen een laag kunststof die veel dunner is, enkele tienden van millimeters, en doorgaans visco-elastische eigenschappen heeft. Deze materialen zijn ontwikkeld om de volgende, soms combinaties van, redenen: gewichtsbesparing, geluiddemping, isolatie en verhogen van de stijfheid.

Laminaten zijn zowel in staal als in aluminium ontwikkeld. Ze zijn redelijk goed vervormbaar. Toepassing vindt plaats in het kader van geluidwering, bijvoorbeeld als omkapping van compressoren en in de automobiellindustrie voor onder andere oliepannen, deksels en luchtinlaatfilters, vloeren en schotten tussen motor en passagierscompartimenten. De markt voor automobielltoepassingen is groeiend. Ook de vliegtuigindustrie is afnemer. Leveringsvormen en eigenschappen zijn niet vastgelegd in normen.

5.2 Roestvast staal

Met de categorie roestvast staal worden staalsoorten aangeduid die minstens 10,5% chroom bevatten en maximaal 1,2% koolstof en waarbij de belangrijkste eigenschap de weerstand tegen corrosie is. De belangrijkste toepassingen van roestvast staal zijn te vinden in de procesindustrie (44%) en de huishouding (35%). Voor iedere toepassing worden andere eisen gesteld aan het materiaal zoals, naast weerstand tegen corrosie, lasbaarheid, bepaalde mechanische eigenschappen en vervormbaarheid. Deze gewenste eigenschappen bepalen mede de chemische samenstelling van de roestvaste staalsoorten.

Door toevoeging van aanzienlijke hoeveelheden chroom aan staal wordt de weerstand tegen (atmosferische) corrosie sterk verbeterd. Dit wordt veroorzaakt doordat aan het oppervlak van het metaal een laagje chroomoxide wordt gevormd, dat het onderliggende metaal tegen aantasting beschermt. Voor de vorming van een voldoende dichte beschermende laag moet het staal meer dan 12% niet gebonden chroom bevatten. Is dit het geval dan wordt bij beschadiging van het oppervlak, in oxiderend milieu, onmiddellijk een nieuw laagje oxide gevormd, waardoor verdere corrosie wordt verhinderd.

De roestvaste chroomstaalsoorten zijn uitsluitend bestand tegen corrosie in een omgeving die chroomoxide niet aantast. Chloorionen doen dit bijvoorbeeld wel, dus is roestvast staal zonder extra maatregelen niet geschikt in een chloorhoudend medium zoals zout water.

Chroom-nikkelstaal is beter bestand tegen atmosferische corrosie dan chroomstaal. Een bekende legering, die 18% Cr en 10% Ni bevat, wordt op grote schaal ingezet voor huishoudelijke apparaten en chemische installaties.

In gegloeide toestand is de aanwezigheid van koolstof van geringe invloed. Bij materialen die op temperaturen tussen de 450 en 800 °C zijn geweest, bijvoorbeeld door lassen of gloeibehandelingen, kan de weerstand tegen (interkristallijne) corrosie sterk afnemen, doordat chroom met koolstof chroomcarbiden vormt bij deze temperaturen. Hierdoor wordt chroom aan het materiaal onttrokken. De hoeveelheid niet gebonden of vrij chroom is bepalend voor de weerstand tegen corrosie. Ook andere elementen kunnen invloed hebben op de corrosiewerende werking van chroom door versterking van de chroomoxidelaag, bijvoorbeeld nikkel en molybdeen.

Voor het toepassen en verwerken van roestvaste staalsoorten is het belangrijk te weten tegen welke stoffen ze bestand zijn (dus ook welke hulpstoffen zijn toegestaan!). Over dit onderwerp bestaan tal van tabellen en handboeken. Het is verstandig deze vooraf te raadplegen.

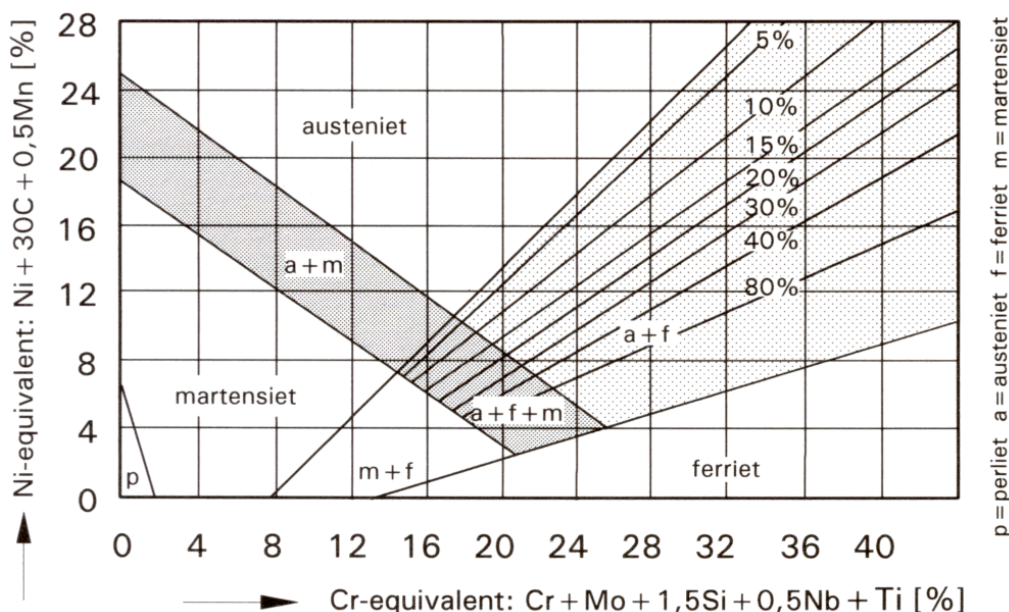
5.2.1 Indeling roestvaste staalsoorten

De roestvaste staalsoorten worden hoofdzakelijk ingedeeld naar hun kristalstructuur, zoals deze is ontstaan na gloeien en afschikken. Figuur 5.5 toont het Schaeffler diagram. Aan de hand van dit diagram is redelijk te voorspellen welke kristalstructuur bij een bepaalde chemische samenstelling zal worden gevormd (het diagram is oorspronkelijk ontwikkeld voor lasmaterialen, maar geeft niettemin een goede indicatie voor plaatmaterialen).

De vier hoofdgroepen hierbij zijn:

► Ferritisch roestvast staal

Deze staalsoort bevat 10,5 - 30% chroom en minder dan 0,08% koolstof. Verder kunnen in deze staalsoort de legeringselementen niobium, titanium en molybdeen voorkomen. Ferritisch roestvast staal is magnetisch en beperkt lasbaar. Deze staalsoort is niet hardbaar.



figuur 5.5 Schaeffler diagram

► **Martensitisch roestvast staal**

Deze staalsoort bevat 12 - 19% chroom en meestal minstens 0,08% koolstof. De koolstof maakt deze staalsoort hardbaar. Legeringselementen die kunnen voorkomen in deze staalsoort zijn nikkel en molybdeen. Martensitisch roestvast staal is magnetisch en beperkt lasbaar.

► **Austenitisch roestvast staal**

Deze staalsoort bevat 16 - 28% chroom en minstens 8% nikkel. Verder kunnen in deze staalsoort de legeringselementen titanium en molybdeen voorkomen. Austenitisch roestvast staal is in gegloeide toestand niet magnetisch. Austenitisch roestvast staal is in het algemeen goed lasbaar. Lassen is mogelijk met de meeste gebruikelijke lasprocessen. Deze staalsoort is niet hardbaar.

► **Ferritisch austenitisch roestvast staal (duplex)**

Deze staalsoort bevat 18,5 - 28% chroom, 3 - 8% nikkel en maximaal 0,1% koolstof. Molybdeen en stikstof zijn voorkomende legeringselementen. Het materiaal is magnetisch. Duplex roestvast staal is beperkt lasbaar. Deze staalsoort is niet hardbaar.

Een andere belangrijke groep roestvaste staalsoorten is die van de hittevaste staalsoorten. De aanwezigheid van chroom blijkt naast corrosievastheid ook een zeer gunstige invloed te hebben op de hittevastheid. Met hittevast wordt in dit verband het vermogen bedoeld om een beschermende oxidehuid te vormen bij hoge temperatuur, die het staal tegen verdere aantasting beschermt. Hittevaste staalsoorten kunnen zowel ferritisch (6 - 28% Cr) als austenitisch (15 - 26% Cr, 8 - 37% Ni) zijn.

De genoemde kristalstructuren ontstaan door een combinatie van chemische samenstelling en warmtebehandeling. Roestvaste staalsoorten voor vervormingsdoeleinden worden over het algemeen in gegloeide toestand geleverd. Wanneer het materiaal opnieuw op verhoogde temperatuur wordt gebracht, bijvoorbeeld door lassen, kunnen de eigenschappen gaan afwijken van de leveringstoestand.

De aanduiding van de roestvaste staalsoorten is vastgelegd in NEN-EN 10027 deel 1,2 en NEN-EN 10088 deel 1,2. Naast deze aanduiding wordt ook vaak de Amerikaanse aanduiding, AISI, gebruikt. In tabel 5.15 staan de diverse staalsoorten weergegeven volgens verschillende normen.

5.2.2 Ferritisch roestvast staal

Zonder extra toevoegingen zijn de ferritische staalsoorten met 10,5 - 12% Cr weinig bestand tegen atmosferische corrosie. Wanneer de atmosfeer geen verontreinigingen zoals zoutdeeltjes bevat, zijn ze redelijk corrosievast. Dit maakt ze voornamelijk geschikt voor toepassingen binnenshuis. Vanwege de geringe hoeveelheid koolstof, 0,015 - 0,08%, gelden ze als niet hardbaar. Ferritisch roestvast staal is magnetisch.

De ferritische roestvaste staalsoorten zijn beperkt lasbaar, daar tijdens het lassen korrelgroei kan optreden. Ook kan als gevolg van het lassen de gevoeligheid voor interkristallijne corrosie toenemen, door de vorming van chroomcarbiden op de korrelgrenzen.

Tijdens de vorming van chroomcarbiden wordt chroom aan de omgeving onttrokken, waardoor de randzone rondom de carbide weer gevoelig wordt voor corrosie. Titanium gaat de interkristallijne corrosie tegen. Door de sterkere neiging tot carbidevorming van titanium wordt de vorming van chroomcarbiden, en daarmee verarming aan chroom, voorkomen (bijvoorbeeld X 2 Cr Ti 12). Molybdeen toevoegingen maken de oxidehuid sterker, waardoor de weerstand tegen corrosie toeneemt, met name in chloorhoudend milieu.

tabel 5.15 Vergelijkingstabel voor de diverse roestvaste staalsoorten volgens verschillende normen

Verkorte benaming volgens NEN-EN 10088	materiaal nummer	USA AISI	Rusland GOST
X 12 Cr 13	1.4006	410	12CH13
X 20 Cr 13	1.4021	(420)	20CH13
X 30 Cr 13	1.4028	(420)	30CH13
X 46 Cr 13	1.4034	(420)	40CH13
X 39 Cr Mo 17 1	1.4122	–	–
X 105 Cr Mo 17	1.4125	440c	–
X 3 Cr Ni Mo 13 4	1.4313	–	–
X 4 Cr Ni Mo 16 5 1	1.4418	–	–
X 2 Cr Ni 12	1.4003	–	–
X 2 Cr Ti 12	1.4512	409	–
X 6 Cr 17	1.4016	430	12Ch17
X 3 Cr Ti 17	1.4510	430 Ti	08Ch17T
X 3 Cr Nb 17	1.4511	435	–
X 6 Cr Mo 17 1	1.4113	434	–
X 2 Cr Ti Nb 18	1.4509	–	–
X 5 Cr Ni 18 10	1.4301	304	08Ch18N10
X 4 Cr Ni 18 12	1.4303	(305)	06Ch18N11
X 2 Cr Ni 19 11	1.4306	304 L	03Ch18N11
X 10 Cr Ni 18 8	1.4310	–	–
X 5 Cr Ni Mo 17 12 2	1.4401	(316)	–
X 2 Cr Ni Mo 17 12 2	1.4404	(316 L)	–
X 2 Cr Ni Mo 18 14 3	1.4435	(316 L)	03Ch17N14M2
X 3 Cr Ni Mo 17 13 3	1.4436	–	–
X 2 Cr Ni Mo N 17 13 5	1.4439	–	–
X 1 Ni Cr Mo Cu 25 20 5	1.4539	–	–
X 6 Cr Ni Ti 18 10	1.4541	321	08Ch18N10T
X 6 Cr Ni Mo Ti 17 12 2	1.4571	–	10Ch17N13M2T

In de tabellen 5.16 en 5.17 worden de belangrijkste ferritische roestvaste staalsoorten weergegeven met hun chemische samenstelling en mechanische eigenschappen.

Wanneer hogere eisen worden gesteld aan de weerstand tegen corrosie, dan wordt de hoeveelheid chroom verhoogd tot 16 - 18%. Deze staalsoorten zijn goed koud vervormbaar en hebben dezelfde weerstand tegen atmosferische corrosie, in chloorvrij milieu, als de austenitische roestvaste staalsoorten (bij voorbeeld X 8 Cr 17). Ze vormen de belangrijkste groep binnen de ferritisch roestvaste staalsoorten.

Deze materiaalsoorten worden voornamelijk ingezet voor huishoudelijke toepassingen en apparatenbouw in de procesindustrie. Voor decoratieve doeleinden wordt het gebruikt in de architectuur binnenshuis.

Een bijzondere groep vormen de hittevaste staalsoorten. Ze zijn bruikbaar bij hoge temperaturen, een en ander afhankelijk van het milieu en de belasting waaraan de metalen worden blootgesteld. In lucht zijn de hittevaste staalsoorten, afhankelijk van de samenstelling, bruikbaar tot 1100 °C. Door het verder verhogen van de hoeveelheid chroom en toevoegen van 3 - 5% aluminium, kan de bruikbaarheidsgrens tot 1300 °C oplopen. In tabel 5.18 staan de mechanische eigenschappen van een aantal hittevaste staalsoorten volgens NEN-EN 10095.

tabel 5.16 Chemische samenstelling van enkele ferritisch roestvaste staalsoorten in gegloeide toestand ¹⁾ (NEN-EN 10088)

aanduiding staalkwaliteit	mate- riaal nummer	chemische samenstelling [gew. %] ¹⁾									
		C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	N max.	Cr	Mo	Ni	overig
X2CrNi12	1.4003	0,030	1,00	1,50	0,040	0,015	0,030	10,50 - 12,50		0,30 - 1,00	
X2CrTi	1.4512	0,030	1,00	1,00	0,040	0,015		10,50 - 12,50			Ti: 6x(C + N) - 0,65
X6CrNiTi12	1.4516	0,08	0,70	1,50	0,040	0,015		10,50 - 12,50		0,50 - 1,00	Ti: 0,05 - 0,35
X6Cr13	1.4000	0,08	1,00	1,00	0,040	0,015		12,00 - 14,00			
X6CrAl13	1.4002	0,08	1,00	1,00	0,040	0,015		12,00 - 14,00			Al: 0,10 - 0,30
X6Cr17	1.4016	0,08	1,00	1,00	0,040	0,015		16,00 - 18,00			
X3CrTi17	1.4510	0,05	1,00	1,00	0,040	0,015		16,00 - 18,00			Ti: 4x(C + N) - 0,15 - 0,80
X3CrNb17	1.4511	0,05	1,00	1,00	0,040	0,015		16,00 - 18,00			Nb: 12x(C) - 1,00
X6CrMo17-1	1.4113	0,08	1,00	1,00	0,040	0,015		16,00 - 18,00	0,90 - 1,40		
X2CrMoTi18-2	1.4521	0,025	1,00	1,00	0,040	0,015	0,030	17,00 - 20,00	1,80 - 2,50		Ti: 4x(C + N) - 0,15 - 0,80

1) In deze tabel niet vermelde elementen mogen niet zonder toestemming van de besteller met opzet aan het staal worden toegevoegd, behalve om de lading voor de laatste behandeling gereed te maken. Alle passende voorzorgsmaatregelen moeten worden getroffen om de toevoer van die elementen uit schroot en andere bij de vervaardiging gebruikte stoffen te vermijden, die de mechanische eigenschappen en de bruikbaarheid nadelig beïnvloeden.

tabel 5.17 Mechanische eigenschappen van enkele ferritisch roestvaste staalsoorten in gegloeide toestand

aanduiding staalkwaliteit	materiaal nummer	mechanische eigenschappen			weerstand tegen interkristallijne corrosie ²⁾	
		R _{p0,2} [MPa] (min.)	R _m [MPa]	rek [%] ¹⁾ L ₀ = 80 mm	leveringstoestand	na lassen
X2CrNi12	1.4003	280	450 - 650	20	n.g.	n.g.
X2CrTi	1.4512	210	380 - 560	25	n.g.	n.g.
X6CrNiTi12	1.4516	280	450 - 650	23	n.g.	n.g.
X6Cr13	1.4000	240	400 - 600	19	n.g.	n.g.
X6CrAl13	1.4002	230	400 - 600	17	n.g.	n.g.
X6Cr17	1.4016	260	450 - 600	20	g.	n.g.
X3CrTi17	1.4510	230	420 - 600	23	g.	g.
X3CrNb17	1.4511	230	420 - 600	23	g.	g.
X6CrMo17-1	1.4113	260	450 - 630	18	g.	n.g.
X2CrMoTi18-2	1.4521	300	420 - 640	20	g.	g.

1) De waarden gelden voor proefstaven met een meetlengte van 80 mm en een breedte van 20 mm.
2) Bij keuring volgens EURONORM 114: g. = geschikt, n.g. = niet geschikt.

5.2.3 Austenitisch roestvast staal

De austenitische roestvaste staalsoorten vormen de belangrijkste groep binnen de roestvaste staalsoorten. Veruit de meeste van alle toegepaste roestvaste staalsoorten komen uit deze groep. Belangrijkste kenmerk van austenitisch roestvast staal is, naast zo'n 18% chroom, de aanwezigheid van minstens 8% nikkel. Nikkel is het voornaamste legeringselement voor de austenitische structuur, maar de stabiliteit van de austenitische structuur wordt gevormd door de verhouding tussen Cr equivalent en Ni equivalent.

De grote hoeveelheden chroom en nikkel maakt deze groep materialen zeer goed bestand tegen corrosie. Om het materiaal beter bestand te maken tegen bijzondere corrosievormen, zoals interkristallijne corrosie, worden elementen zoals titanium of niobium toegevoegd, of de hoeveelheid koolstof verlaagd. Om bijvoorbeeld de weerstand tegen putcorrosie te verbeteren, wordt molybdeen toegevoegd. Toevoegen van titanium of niobium om het teveel aan koolstof te binden, wordt weinig meer toegepast. De titaniumtoevoeging heeft als nadeel dat het materiaal slecht polijstbaar wordt, de vervormbaarheid afneemt en gereedschappen sneller slijten door de aanwezigheid van harde titaancarbiden. Voor hittevaste toepassingen wordt wel titanium of niobium toegevoegd, zeker bij gebruik in het temperatuurtraject 450 - 800 °C. Langdurig gebruik bij verhoogde temperaturen heeft het risico van chroomcarbidevorming. De sterkere neiging tot carbidevorming van Ti en Nb verhindert de vorming van chroomcarbiden.

De austenitische roestvaste staalsoorten zijn evenals de ferritische staalsoorten niet hardbaar. De austenitische roestvaste staalsoorten zijn allemaal lasbaar, vertonen geen brosheidsverschijnselen en zijn in gegloeide toestand niet magnetisch.

Het vervormingsgedrag van austenitisch roestvast staal is in het algemeen, ten opzichte van de ferritische roestvaste staalsoorten, duidelijk beter. De hoge n-waarde zorgt voor een goed strekgedrag. Hoewel deze materialen een lage r-waarde vertonen, zijn ze toch goed dieptrekbaar door de hoge taaiheid.

Austenitische soorten met een laag nikkelgehalte zijn niet stabiel. Dit betekent dat tengevolge van plastische deformatie de austeniet (gedeeltelijk) kan omklappen, waardoor martensiet ontstaat. Hierdoor treedt een grote versterking van het materiaal op en kan het enigszins magnetisch worden.

De austenitische structuur laat zich evenwel het beste vervormen. Voor bijzondere vervormingen zoals dieptrekken wordt daarom gestreefd naar een volledig austenitische structuur. Dit wordt bereikt door de hoeveelheid nikkel te verhogen tot minstens 12%.

Het toepassingsgebied van de austenitische roestvaste staalsoorten is zeer breed. Enkele belangrijke toepassingen zijn te vinden in de chemie (apparatenbouw), de bouw (gevelbekleding) en op het vlak van keukeninrichting. In tabellen 5.19 en 5.20 staan respectievelijk de chemische samenstelling en de mechanische eigenschappen van een aantal austenitische roestvaste staalsoorten.

tabel 5.18 Mechanische eigenschappen van hittevast staal (NEN-EN 10095)

EN 10095: hittevast staal											
aanduiding	materiaal-nummer	product		warmte-behan-deling	HB _{max} ^{1), 2), 3)}	rekgrens		treksterkte R _m [MPa] ¹⁾	lange pro-ducten	Rek A [%]	
		vorm	dikte a of middellijn d			R _{p0,2} [MPa] (min.) ³⁾	R _{p1,0} [MPa] (min.) ³⁾			platte producten	
										0,5 ≤ a < 3	3 ≤ a
										l, tr	l tr
Ferritische hittevaste staalsoorten											
X10CrAlSi7	1.4713	platte producten	a ≤ 12	gegloeid	192	220		420 - 620	20		20 15
X10CrAlSi13	1.4724		a ≤ 12	gegloeid	192	250		450 - 650	15	13	15 15
X10CrAlSi18	1.4742		a ≤ 12	gegloeid	212	270		500 - 700	15	13	15 15
X10CrAlSi25	1.4762	staven	d ≤ 25	gegloeid	223	280		520 - 720	10	13	15 15
X18CrN28	1.4749	walsdraad en profielen	d ≤ 25	gegloeid	212	280		500 - 700	15	13	15 15
X3CrAlTi18-2	1.4736		d ≤ 25	gegloeid	200	280		500 - 650		25	25 25
Austenitische hittevaste staalsoorten											
X8CrNiTi18-10	1.4878	platte producten	a ≤ 75	afgeschrkt	215	190	230	500 - 720	40	40	40
X15CrNiSi20-12	1.4828		a ≤ 75	afgeschrkt	223	230	270	550 - 750	30	28	30
X9CrNiSiNc21-11-2	1.4835		a ≤ 75	afgeschrkt	210	310	350	650 - 850	40	37	40
X12CrNi23-13	1.4833		a ≤ 75	afgeschrkt	192	210	250	500 - 700	35	33	35
X8CrNi25-21	1.4845	staven	d ≤ 160	afgeschrkt	192	210	250	500 - 700	35	33	35
X15CrNiSi25-21	1.4841		d ≤ 160	afgeschrkt	223	230	270	550 - 750	30	28	30
X12NiCrSi35-16	1.4864		d ≤ 160	afgeschrkt	223	230	270	550 - 750	30	28	30
X10NiCrAlTi32-21	1.4876		d ≤ 160	afgeschrkt	192	170	210	450 - 680	30	28	30
X6NiCrNbCe32-27	1.4877		d ≤ 160	afgeschrkt	223	180	220	500 - 750	35		
X25CrMnNiN25-9-7	1.4872	walsdraad en profielen	d ≤ 25	afgeschrkt	311	500	540	850 - 1050	25		
X6CrNiSiNc19-10	1.4818		d ≤ 25	afgeschrkt	210	290	330	600 - 800	40	30	40
X6NiCrSiNc35-25	1.4854		d ≤ 25	afgeschrkt	210	300	340	650 - 850	40	40	40
X10NiCrSi35-19	1.4886		d ≤ 25	afgeschrkt	200	270	300	500 - 650	40		
X10NiCrSiNb35-22	1.4887		d ≤ 25	afgeschrkt	200	270	300	500 - 650	40		

1) De maximale HB-waarden mogen met 100 eenheden of de maximumwaarde voor de treksterkte mag met 200 MPa worden verhoogd en de minimumwaarde voor de rek met 20% voor bij koud nagetrokken profielen of staven met dikte < 35 mm worden verlaagd.

2) Richtwaarden.

3) Voor draad gelden alleen de waarden voor treksterkte.

tabel 5.19 Chemische samenstelling van austenitisch roestvast staal in warmtebehandelde toestand (NEN-EN 10088)

aanduiding staalkwaliteit	materiaal- nummer	chemische samenstelling [gew. %] ¹⁾										
		C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	N max.	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti
X10CrNi18-8	1.4310	0,05-0,15	≤ 1,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,015	≤ 0,11	16,00-19,00			6,00-9,50	
X2CrNi18-9	1.4307	≤ 0,030	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	17,50-19,50			8,00-10,00	
X2CrNi19-11	1.4306	≤ 0,030	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	18,00-20,00			10,00-12,00	
X2CrNiN18-10	1.4311	≤ 0,030	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	0,12-0,22	17,00-19,50			8,50-11,50	
X5CrNi18-10	1.4301	≤ 0,07	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	17,00-19,50			8,00-10,50	
X8CrNiS18-9	1.4305	≤ 0,10	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	0,15-0,35	≤ 0,11	17,00-19,00	≤ 1,00		8,00-10,00	
X6CrNiTi18-10	1.4541	≤ 0,08	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	17,00-19,00			9,00-12,00	5xC-0,70
X4CrNi18-12	1.4303	≤ 0,06	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	17,00-19,00			11,00-13,00	
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	≤ 0,030	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	16,50-18,50		2,00-2,50	10,00-13,00	
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	≤ 0,030	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	0,12-0,22	16,50-18,50		2,00-2,50	10,00-12,00	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	≤ 0,07	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	16,50-18,50		2,00-2,50	10,00-13,00	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	≤ 0,08	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	16,50-18,50		2,00-2,50	10,50-13,50	5xC-0,70
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	≤ 0,030	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	≤ 0,11	16,50-18,50		2,50-3,00	10,50-13,00	
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	≤ 0,030	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,030	0,12-0,22	16,50-18,50		2,50-3,00	11,00-14,00	
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	≤ 0,05	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,015	≤ 0,11	16,50-18,50		2,50-3,00	10,50-13,00	
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	≤ 0,030	≤ 2,00	≤ 2,00	0,045	≤ 0,015	0,12-0,22	16,50-18,50		4,00-5,00	12,50-14,50	
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	≤ 0,020	≤ 0,70	≤ 2,00	0,030	≤ 0,010	≤ 0,15	19,00-21,00	1,20-2,00	4,00-5,00	24,00-25,00	

1) In deze tabel niet vermelde elementen mogen niet zonder toestemming van de besteller met opzet aan het staal worden toegevoegd, behalve om de lading voor de laatste behandeling gereed te maken. Alle passende voorzorgsmaatregelen moeten worden getroffen om de toevoer van die elementen uit schroot en andere bij de vervaardiging gebruikte stoffen te vermijden die de mechanische eigenschappen en de bruikbaarheid nadelig beïnvloeden.

tabel 5.20 Mechanische eigenschappen van austenitisch roestvast staal in warmtebehandelde toestand ¹⁾ (NEN-EN 10088)

aanduiding staalkwaliteit	materiaal- nummer	mechanische eigenschappen ^{2),3)}				kerfslagwaarde ISO-V ⁴⁾ ≤ 75 mm dikte		weerstand tegen inter- kristallijne corrosie ⁵⁾	
		R _{p0,2} [MPa] (min.)	R _{p1,0} [MPa] (min.)	R _m [MPa]	Rek [%] L ₀ = 80 mm (min.)	lengte- richting	dwars- richting	leverings- toestand	na lassen ⁶⁾
X10CrNi18-8	1.4310	250	280	600 - 950	40	90	60	n.g.	n.g.
X2CrNi18-9	1.4307	220	250	520 - 670	45	90	60	g.	g.
X2CrNi19-11	1.4306	220	250	520 - 670	45	90	60	g.	g.
X2CrNi18-10	1.4311	290	320	550 - 750	40	90	60	g.	g.
X5CrNi18-10	1.4301	230	260	540 - 750	45	90	60	g.	n.g. ⁷⁾
X8CrNiS18-9	1.4305	190	230	500 - 700	35	90	60	n.g.	n.g.
X6CrNiTi18-10	1.4541	220	250	520 - 720	40	90	60	g.	g.
X4CrNi18-12	1.4303	220	250	500 - 650	45	90	60	g.	n.g.
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	240	270	530 - 680	40	90	60	g.	g.
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	300	330	580 - 780	40	90	60	g.	g.
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	240	270	530 - 680	40	90	60	g.	n.g. ⁷⁾
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	240	270	540 - 690	40	90	60	g.	g.
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	240	270	550 - 700	40	90	60	g.	g.
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	300	330	580 - 780	35	90	60	g.	g.
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	240	270	550 - 700	40	90	60	g.	n.g.
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	290	320	580 - 780	35	90	60	g.	g.
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	240	270	530 - 730	35	90	60	g.	g.

1) Het oplosgloeien kan vervallen, indien de voorwaarden voor warmtebehandelen en aansluitend afkoelen zo zijn dat de eisen voor de mechanische eigenschappen van het product en de bestandheid tegen interkristallijne corrosie zoals gedefinieerd in EURONORM 114 worden behouden.
2) Indien, bij band met walsbreedten kleiner dan 300 mm, proefstaven uit de langrichting worden genomen, worden de minimumwaarden als volgt verlaagd: rek grens: minus 15 MPa; rek voor constante meetlengte: minus 5%; rek voor proportionele meetlengte: minus 2%.
3) Voor continu warmgewalste producten kunnen bij de bestelling 20 MPa hogere minimumwaarden van R_{p0,2} en 10 MPa hogere minimumwaarden van R_{p1} worden overeengekomen.
4) De waarden gelden voor proefstaven met een oorspronkelijke meetlengte van 80 mm en een breedte van 20 mm. Proefstaven met een oorspronkelijke meetlengte van 50 mm en een breedte van 12,5 mm kunnen ook worden gebruikt.
5) Bij beproeving volgens EURONORM 114: g. = geschikt; n.g. = niet geschikt.
6) De bestandheid tegen corrosie van corrosievaste staalsoorten is zeer afhankelijk van de soort omgeving en kan daardoor niet altijd eenduidig door beproeving in een laboratorium worden bepaald. Er wordt daarom aanbevolen om terug te grijpen naar beschikbare ervaring in het gebruik van de staalsoorten.
7) Behandeling voor de geactiveerde toestand van 15 min. bij 700 °C gevolgd door koelen in lucht.

5.3 Aluminium en aluminiumlegeringen

Aluminium is een licht en taai materiaal. De soortelijke massa van aluminium is 2,7 g/cm³ (ter vergelijking: staal 7,86 g/cm³). Ongelegeerd aluminium bezit echter een geringe mechanische sterkte ten opzichte van staal. Het heeft een elasticiteitsmodulus die ongeveer 1/8 is van die van staal en een lage treksterkte van 70 MPa. Bovendien is het met een hardheid van ongeveer 25 HV (Vickers hardheid) veel zachter dan staal. Ongelegeerd aluminium is daarom minder geschikt als constructiemateriaal.

Door legeren kunnen de constructieve eigenschappen worden verbeterd, met behoud van de lage soortelijke massa. Hierdoor kunnen gunstige sterkte/gewicht verhoudingen worden bereikt en in constructies aanzienlijke gewichtsbesparingen worden behaald ten opzicht van staal. Vandaar dat het op grote schaal wordt toegepast waar een laag gewicht vereist is, zoals in de lucht- en ruimtevaart, scheepsbouw en weg- en railtransport.

In constructies waar wisselende temperaturen optreden moet wel rekening worden gehouden met de hoge uitzettingscoëfficiënt, 23,7 · 10⁻⁶ K⁻¹, zeker wanneer het in combinatie met andere materialen wordt toegepast bijvoorbeeld met staal dat een uitzettingscoëfficiënt heeft van 11,1 · 10⁻⁶ K⁻¹.

Bij lage temperaturen vertoont aluminium geen achteruitgang in taaiheid, zodat het geschikt is voor bijvoorbeeld transport en opslag van vloeibare gassen. Voor gebruik bij hoge temperaturen is aluminium minder geschikt. Door het betrekkelijk lage smeltpunt van aluminium (658 °C) is de sterkte bij hoge temperaturen gering. De maximale gebruikstemperatuur van aluminium en bijna alle aluminiumlegeringen ligt bij 150 - 250 °C. Tabel 5.21 geeft de belangrijkste fysische eigenschappen van aluminium, aluminiumlegeringen en staal.

Een zeer belangrijke eigenschap van aluminium is de goede weerstand tegen atmosferische corrosie. Deze weerstand is te danken aan een zeer dun, dicht, goed hechtend oxidehuidje, dat zich spontaan vormt op blank aluminium in lucht. Verontreinigingen in het materiaal veroorzaken foutjes in de oxidehuid, vandaar dat zuiver aluminium beter bestand is tegen corrosie dan de normale handelsvormen.

Om toch een goede weerstand tegen corrosie te krijgen worden aluminiumlegeringen soms voorzien van een dun laagje zuiver aluminium. Ook wordt anodiseren (dit is het kunstmatig aanbrengen van een extra dikke, goed afgesloten oxidelaag) toegepast om de corrosieweerstand te verbeteren.

tabel 5.21 Belangrijkste fysische eigenschappen van aluminium, aluminiumlegeringen en staal

Eigenschappen		aluminium	aluminiumlegering	staal
soortelijke massa	[kg/m ³]	2700	2600 - 2800	7860
smeltpunt, smelttraject	[°C]	658	575 - 655	1530
lineaire uitzettingscoëfficiënt	[m/m.K × 10 ⁶]	23,7	22,5 - 24	11,1
gem. soortelijke warmte	[kJ/kg.K]	0,963	0,879 - 0,963	0,486
warmtegeleidingscoëfficiënt	[W/m.K]	226	113 - 218	196

Door de spontane oxidatie in lucht zijn de bekende verbindingstechnieken niet alle even bruikbaar. Voor het verbinden van aluminium zijn diensgevolge diverse lastechnieken ontwikkeld. Verder heeft het lijmen van aluminium grote vorderingen gemaakt.

Door legeren zijn de eigenschappen van zuiver aluminium in veel opzichten te verbeteren. Legeren echter verlaagt in het algemeen gesproken de taaiheid ten opzichte van het zuivere metaal, zoals ook het geval is bij staal.

Aan veel aluminiumlegeringen wordt een kleine hoeveelheid mangaan toegevoegd. Dit verhoogt de sterkte en de weerstand tegen corrosie.

De belangrijkste legeringselementen zijn silicium, koper, magnesium, mangaan, zink en combinaties hiervan.

Evenals staal verstevigt aluminium tijdens koudvervorming. Het verstevigingsgedrag is sterk afhankelijk van en beïnvloedbaar door chemische samenstelling en warmtebehandelingen. Warmtebehandelingen kunnen worden toegepast om de versteviging ongedaan te maken of de hardheid te verlagen. Ook kunnen warmtebehandelingen worden toegepast om de hardheid te verhogen. De invloed hiervan is echter minder sterk dan bij staal. Een heel belangrijke eigenschap van aluminiumlegeringen is dat door middel van warmtebehandelingen sterkteverhoging kan worden bereikt, met behoud van taaiheid.

Dit is in de praktijk een van de nuttige eigenschappen. Zo kunnen producten vaak eenvoudig worden vervaardigd van materiaal in de zachte uitgangstoestand. Door het materiaal vervolgens een warmtebehandeling te geven, kan sterkteverhoging worden bereikt (voor de in dit hoofdstuk gebruikte termen, zoals oplosgharden, precipiteren, enz. dient men op warmtebehandelingen gerichte literatuur te raadplegen).

Legeren met 0,9 - 1,5% mangaan verhoogt de treksterkte tot 120 MPa terwijl het een geringe invloed heeft op de taaiheid. Legeren met magnesium is effectiever, maar de breukrek neemt hierdoor af tot 20 - 30%. Dit geeft niettemin een vervormbaar plaatmateriaal met hoge koudversteving. Voor nog hogere sterkten worden door middel van warmtebehandelingen hardbare legeringen gebruikt. Een effectieve legering in de categorie hardbare legeringen is aluminium/koper. Er zijn veel Al-Cu legeringen ontwikkeld met treksterkten van ongeveer 420 MPa.

De sterkste legeringen zijn echter de kopervrije Al-Zn-Mg legeringen met een treksterkte van zo'n 550 MPa.

Warmtebehandelingen gaan echter wel gepaard met vormveranderingen. Dit levert een aanzienlijke beperking op! Vaak wordt daarom uitgegaan van oplosgegloeid materiaal dat na vervorming wordt uitgehard (verouderd). Door de lage verouderingstemperatuur treden hier geen vormveranderingen meer op.

5.3.1 Classificatiesysteem

De indeling van de hele groep van aluminium kneedlegeringen (plastisch vervormbare legeringen) geschiedt aan de hand van de daarin aanwezige legeringselementen. De legeringen zijn het best onder te verdelen in groepen volgens NEN-EN 573 (vertoont grote overeenkomst met de indeling volgens de Amerikaanse AA, The Aluminium Association). Dit is een code bestaande uit vier cijfers. Hierbij geeft het eerste cijfer de groep van legeringen aan volgens een (of twee) hoofdlegeringselement(en). Het tweede cijfer geeft aan dat het om de originele legering gaat, in dat geval is het tweede cijfer 0, of om een gewijzigde versie. Het derde en vierde cijfer geven de volgorde aan van aangemelde en geaccepteerde legeringen in die groep. Hierdoor onderscheiden de diverse legeringen in een groep zich van elkaar. De legering EN AW 2024 bijvoorbeeld bevat als hoofdlegeringselement koper (2xxx), is een originele legering (20xx) en draagt als volgnummer 24 (2024).

De code van de 1xxx groep wijkt hiervan af. Deze groep bevat de zuivere aluminiumsoorten, waarvan het percentage aluminium minimaal 99,00 is. Het derde en vierde cijfer slaan nu op het minimum percentage aluminium achter de komma. Het tweede getal geeft de mate van de verontreinigingen aan. Zo bevat aluminium EN AW 1050 bijvoorbeeld geen legeringselementen (1xxx), 99,50 % aluminium (1x50) en slechts 'natuurlijke' verontreinigingen (1050).

Overeenkomstig de Europese norm (NEN-EN 573) mogen de aluminiumsoorten zowel met de 4 cijfercode als met de chemische symbolen worden aangeduid, waarbij de cijfercode de voorkeur geniet. Voor de cijfercode dienen de letters EN AW te worden vermeld (European Normalisation Aluminium Wroughtproducts, ter onderscheiding van de Amerikaanse norm AA, The Aluminium Association). Aldus zijn er acht groepen ontstaan. Er is geen groep die met 0 begint om praktische reden. De groep beginnend met 9 is nog niet benoemd. De overige acht groepen kunnen als volgt kort worden omschreven (zie ook de tabellen 5.22 en 5.23):

- 1xxx Deze groep bevat 99,00% Al of meer. Goede weerstand tegen corrosie, maar de sterkte is gering.
- 2xxx Hoofdlegeringselement is koper. Dit zijn soorten die voornamelijk in de vliegtuigbouw worden gebruikt. Sommige legeringen uit deze serie behouden hun sterkte bij hogere temperaturen (tot $\pm 300^\circ\text{C}$). Op enkele uitzonderingen na zijn ze slecht lasbaar.
- 3xxx Hoofdlegeringselement is mangaan. Materialen uit deze groep hebben een matige sterkte en zijn geschikt voor algemeen gebruik.
- 4xxx Hoofdlegeringselement is silicium. Silicium werkt smeltpuntverlagend. Hierdoor zijn deze materialen onder andere geschikt voor las- en soldeerdraad.
- 5xxx Hoofdlegeringselement is magnesium. Kenmerkend voor deze groep legeringen is de goede lasbaarheid en weerstand tegen corrosie in zeewater. Ze hebben een gunstige sterkte.
- 6xxx Hoofdlegeringselementen zijn magnesium en silicium. Materialen uit deze groep zijn geschikt voor toepassing in dragende constructies door de combinatie van redelijke sterkte, goede extrusie-eigenschappen en lasbaarheid.
- 7xxx Hoofdlegeringselement is zink, terwijl soms ook koper en magnesium voorkomen. Deze groep legeringen is in het algemeen gevoeliger voor spanningscorrosie. Enkele soorten zijn ontwikkeld die minder gevoelig zijn en toch hun hoge sterkte behouden hebben. Vooral de koperhoudende legeringen zijn in het algemeen niet goed lasbaar.
- 8xxx Aluminium gelegeerd met andere elementen, bijvoorbeeld lithium. Een algemene beschrijving voor deze groep is niet te geven.
- 9xxx Deze serie wordt nog niet gebruikt.

Van materialen van de 1xxx, 3xxx, 5xxx en 8xxx serie kunnen de mechanische eigenschappen, zoals de treksterkte en de rekgrens, worden verhoogd door koudvervorming. Bij materialen uit de 2xxx, 6xxx en 7xxx serie kan een verhoging worden bereikt door een warmtebehandeling eventueel gecombineerd met koudvervorming.

Plaatmateriaal uit aluminiumlegeringen wordt geleverd in een grote variëteit van koudgewalste en warmtebehandelde toestanden en die moeten worden vastgelegd. Men doet dit door middel van een letter en cijfercombinatie die achter de materiaalcode wordt vermeld (NEN-EN 515). Indien het materiaal wordt geleverd zoals het is geproduceerd zonder speciale beheersing van temperatuur of vervormingsgraad, wordt de letter F toegevoegd. Voor materialen in deze conditie gelden geen grenzen voor de mechanische eigenschappen.

tabel 5.22 Chemische samenstelling van enkele veel gebruikte aluminiumlegeringen (NEN-EN 573)

EN AW cijfers	EN AW chemische symbolen	samenstelling [%]								
		Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
1050A	Al99,5	> 99,50	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05		0,07	0,05
1200	Al99,0	> 99,00	1,00 Si + Fe		0,05	0,05			0,10	0,05
2014	AlCu4SiMg	rest	0,5 - 1,2	0,7	3,9 - 5,0	0,04 - 1,2	0,2 - 0,8	0,10	0,25	0,15
2024	AlCu4Mg1	rest	0,5	0,5	3,8 - 4,9	0,3 - 0,9	1,2 - 1,8	0,10	0,25	0,15
3103	AlMn1	rest	0,50	0,7	0,10	0,9 - 1,5	0,30	0,10	0,20	
5052	AlMg2,5	rest	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2 - 2,8	0,15 - 0,35	0,10	
5083	AlMg4,5Mn0,7	rest	0,40	0,40	0,10	0,40 - 1,0	4,0 - 4,9	0,05 - 0,25	0,25	0,15
5086	AlMg4	rest	0,40	0,50	0,10	0,20 - 0,7	3,5 - 4,5	0,05 - 0,25	0,25	0,15
5251	AlMg2	rest	0,40	0,50	0,15	0,10 - 0,5	1,7 - 2,4	0,15	0,15	0,15
5454	AlMg3Mn	rest	0,25	0,40	0,10	0,50 - 1,0	2,4 - 3,0	0,05 - 0,20	0,25	0,20
5754	AlMg3	rest	0,40	0,40	0,10	0,50	2,6 - 3,6	0,30	0,20	0,15
6061	AlMg1SiCu	rest	0,40 - 0,8	0,7	0,15 - 0,40	0,15	0,8 - 1,2	0,04 - 0,35	0,25	0,15
6082	AlSiMgMn	rest	0,7 - 1,3	0,50	0,10	0,40 - 1,0	0,6 - 1,2	0,25	0,20	0,10
7020	AlZn4,5Mg1	rest	0,35	0,40	0,20	0,05 - 0,50	1,0 - 1,4	0,10 - 0,35	4,0 5,0	
7075	AlZn5,5MgCu	rest	0,4	0,5	1,2 - 2,0	0,30	2,1 - 2,5	0,18 - 0,28	5,1 6,1	0,2
7475	AlZn5,5MgCu(A)	rest	0,1	0,12	1,2 - 1,9	0,06	1,9 - 2,6	0,18 - 0,25	5,2 6,2	0,06

1) Indien slechts één getal is gegeven, dan is dat een maximale hoeveelheid.

tabel 5.23 Mechanische eigenschappen in diverse leverings-toestanden van enkele veel gebruikte aluminium legeringen met een dikte van 0,5 - 1,5 mm

type	hardheids-toestand	0,2% rek-grens $R_{p0,2}$ [MPa] (min.)	trek-sterkte R_m [MPa] (min.)	A_{50} rek [%] (min.)	Brinell hardheid
1050A	O	20	65	20	20
	H14	85	105	2	34
	H18	120	140	1	42
1200	O	25	75	19	23
	H14	95	115	2	37
	H18	130	150	1	45
2014	T4	240	395	14	110
2024	T4	275	425	12	120
3103	O	35	90	17	27
	H14	120	140	2	45
	H18	165	185	1	58
5052	O	60	160	13	44
	H32	120	190	4	56
	H34	140	200	3	62
5083	O	125	275	11	75
	H32	215	305	5	84
5086	O	100	240	11	65
	H32	185	275	5	80
5251	O	65	170	12	47
	H32	130	250	5	61
	H34	150	230	4	67
5454	O	85	215	12	58
	H32	180	250	5	74
	H34	200	270	4	80
5754	O	80	190	12	52
	H32	130	220	7	63
	H34	160	240	6	70
6061	T4	110	205	12	58
	T6	240	290	6	88
6082	T4	110	205	12	58
	T6	260	310	6	94
7020	T4	210	340	11	92
	T6	280	350	7	104
7075	T6	460	525	6	157

Materialen in volledig gegloeide toestand, waarbij de zachtste toestand wordt nagestreefd, krijgen de letter O als toevoeging, eventueel gevolgd door een getal.

In koudgewalste toestand wordt de letter H toegevoegd, gevolgd door een getal van (ten minste) twee cijfers dat toenemende sterkte en afnemende taaiheid aangeeft. Het koudwalsen kan eventueel worden gevolgd door een warmtebehandeling om de sterkte iets te reduceren en/of de vervormbaarheid iets te herstellen.

Warmtebehandelde legeringen in niet stabiele toestand krijgen de toevoeging W. De aanduiding is geldig voor legeringen die na oplosgloeien spontaan verouderen bij kamertemperatuur.

Warmtebehandelde legeringen in stabiele toestand, andere dan F, O of W, krijgen de toevoeging T, gevolgd door een getal van 1 tot 10. Ieder getal geeft een specifieke volgorde van standaard behandelingen aan. In tabel 24 is een beknopte aanduiding in schemavorm volgens NEN-EN 515 weergegeven. De volledige aanduiding is in deze norm vermeld.

De (vervallen) DIN-normen hanteren een gelijksoortig systeem. De betekenis van letters en cijfers wijkt echter af van de Europese en de Amerikaanse norm!

Plaatmateriaal is over het algemeen goed verkrijgbaar in alle categorieën behalve de 4xxx serie. Deze wordt voornamelijk toegepast voor gietproducten. De 1xxx, 3xxx en 5xxx series worden vooral toegepast wanneer goede vervormbaarheid de belangrijkste eis is. Materialen uit de 2xxx en 6xxx serie worden ook toegepast voor vervormingsdoeleinden. De laatste worden dan vervormd vóór het verouderen (Let op, sommige legeringen verouderen al bij kamertemperatuur).

Materialen uit de 2xxx, 6xxx en 7xxx serie worden vooral toegepast wanneer hoge sterkte wordt verlangd. Verderop in dit hoofdstuk worden de verschillende legeringsgroepen in detail besproken.

In tabel 5.22 staat de chemische samenstelling van enkele veel gebruikte legeringen. Tabel 5.23 geeft de mechanische eigenschappen in diverse leveringstoestanden van de materialen genoemd in tabel 5.22.

5.3.2 1xxx legeringen

Zacht zuiver aluminium wordt weinig toegepast voor persproducten, vanwege de zachtheid en daarmee de gevoeligheid voor beschadiging. Het is niet ongewoon deze legeringen te gebruiken in koudgewalste toestand voor eenvoudige dieptrekproducten, waarbij sterkten kunnen worden bereikt van 150 MPa in de H18 toestand.

tabel 5.24 Overzicht codering van enkele veel voorkomende leveringstoestanden (NEN-EN 515)

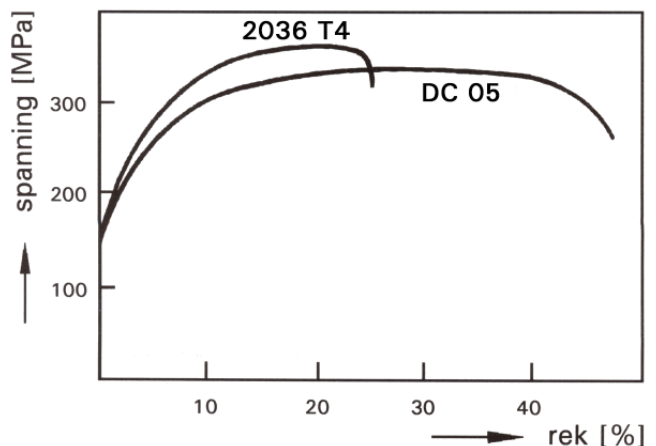
xxxx-F: zoals gefabriceerd				
xxxx-O: gegloeide toestand (kneedlegering)				
xxxx	H1	uitsluiten koudvervormd		niet warmtebehandelbare legeringen
	H2	koudvervormd en gegloeid		
	H3	koudvervormd en gestabiliseerd bij lage temperatuur		
	H4	koudvervormd en gemoffeld		
	Hx2	¼ hard	mate van koudvervorming	
	Hx4	½ hard		
	Hx6	¾ hard		
	Hx8	maximaal hard		
	T1	warmvervormen, afschrikken, natuurlijk verouderen		warmtebehandelbare legeringen
	T2	warmvervormen, afschrikken, koudvervormen, natuurlijk verouderen		
	T3	oplossend gloeien, koudvervormen, natuurlijk verouderen		
	T4	oplossend gloeien, natuurlijk verouderen		
T5	warmvervormen, afschrikken, kunstmatig verouderen			
T6	oplossend gloeien, kunstmatig verouderen			
T8	oplossend gloeien, koudvervormen, kunstmatig verouderen			

5.3.3 2xxx legeringen

De 2xxx legeringen hebben goede vermoeiingseigenschappen maar zijn helaas matig bestand tegen corrosie. Ze zijn over het algemeen niet geschikt voor toepassingen in de open lucht. Om de weerstand tegen corrosie te verbeteren wordt soms een dun laagje zuiver aluminium op het materiaal aangebracht door middel van walsen (cladding). Een veel toegepaste legering in de vliegtuigbouw, EN AW 2024, wordt meestal in gecladde uitvoering gebruikt. Een voorbeeld van de mechanische eigenschappen in de diverse leveringsvormen van EN AW 2024 volgens NEN-EN 485 is te zien in tabel 5.25. Indien 2xxx legeringen direct na oplosgloeien en afschrikken worden gedeformeerd, kan ook hier het Portevin-LeChatelier effect optreden (dit wordt verder toegelicht bij de 5xxx legeringen). Na enkele uren natuurlijk verouderen wordt het effect, in tegenstelling tot de 5xxx legeringen, niet meer waargenomen.

Een vroeger veel toegepaste legering in deze groep is AA 2036 T4 (komt niet voor in de Europese norm); deze wordt bij kamertemperatuur vervormd. Deze legering is ontwikkeld als een concurrent voor staal en alternatief in automobielconstructies. Figuur 5.6 laat de overeenkomsten zien in sterkte-eigenschappen van de AA 2036 T4 en staal DC05. Het vervangen van staal door aluminium heeft, door de beperkte taaiheid en r-waarde van aluminium, in het algemeen ook gereedschapaanpassingen tot gevolg.

Voor delen met hogere sterkte wordt EN AW 1045, een legering met 3,9 - 5,0% Cu en andere elementen, toegepast en warmtebehandeld, hetgeen resulteert in een treksterkte van 450 MPa in T4 toestand. Tot de ontwikkeling van de 7xxx serie was deze legering de basis voor de lucht- en ruimtevaartindustrie. Ook vandaag de dag worden nog vele tonnen van dit materiaal gebruikt.



figuur 5.6 Overeenkomst in sterkte-eigenschappen van de AA 2036 T4 legering met staal DC 05

Na afschrikken van 450 °C kunnen bij de EN AW 1045 legering rekken van 30% worden bereikt. Dit is voldoende voor eenvoudige vormen, hoewel veroudering bij kamertemperatuur optreedt en de taaiheid afneemt.

Een verdere ontwikkeling leverde de AA 2004 legering, de eerste superplastische aluminiumlegering. Dit is een Al-Cu-Zr legering, met een korrelgrootte kleiner dan 5 µm, die wel 800% uni-axiale rek kan bereiken bij 430 °C en een reksnelheid van $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Deze legering wordt, als plaat, vooral gebruikt in de lucht- en ruimtevaart.

tabel 5.25 Mechanische eigenschappen van EN AW 2024 [Al Cu4Mg1] (NEN-EN 485)

toestand	dikte [mm]		R _{p0,2} [MPa]		R _m [MPa]		rek na breuk A ₅₀ [%]	buigradius ¹⁾		hardheid HBS
	van	tot	min.	max.	min.	max.		180°	90°	
O	≥ 0,4	1,5		140		220	12	0,5 s ₀	0 s ₀	55
	1,5	3		140		220	13	2 s ₀	1 s ₀	55
	3	6		140		220	13	3 s ₀	1,5 s ₀	55
T4	≥ 0,4	1,5	275		425		12	4 s ₀		120
	1,5	6	275		425		14	5 s ₀		120
T3	≥ 0,4	1,5	290		435		12	4 s ₀	4 s ₀	122
T351 ²⁾	1,5	3	290		435		14	4 s ₀	4 s ₀	123
	3	6	290		440		14	5 s ₀	5 s ₀	124
T42	≥ 0,4	6	260		425		15			119
T8	≥ 0,4	1,5	400		460		5		5 s ₀	138
T851	1,5	6	400		460		6		7 s ₀	138
T62	≥ 0,4	12,5	345		440		5			129

1) s₀ = oorspronkelijke plaatdikte.

2) Aanzienlijk kleinere buigradii kunnen direct na het oplosgloeien worden bereikt.

5.3.4 3xxx legeringen

De varianten van de Al-Mn legeringen vertegenwoordigen een van de grootste verbruiksvolumen van aluminium plaatmateriaal. Legering EN AW 3004, welke nominaal 1% Mn, 1% Mg bevat, is in de H18 toestand, de belangrijkste legering voor de productie van diepgetrokken en wandgestrekte drankenbusjes.

Het is opvallend dat een materiaal met deze mechanische eigenschappen in staat is om, ná dieptrekken en volgtrekken, een wanddiktereductie te ondergaan van 65% tot een einddikte van ongeveer 0,1 mm, zonder te bezwijken. Hier zijn verschillende redenen voor aan te voeren. In de eerste plaats betekenen de verschillen in rekweg (dieptrekken, volgtrekken en wandstrekken) dat een voorspelling van de vervormbaarheid op basis van simpele trekproefparameters niet betrouwbaar is. In de tweede plaats leiden de hoge vervormingssnelheden tot temperatuurverhoging van het materiaal waardoor de vloeispanning verlaagd en breuk vertraagd wordt.

Een voorbeeld van de mechanische eigenschappen in de diverse leveringstoestanden van EN AW 3004 volgens NEN-EN 485 is te zien in tabel 5.26.

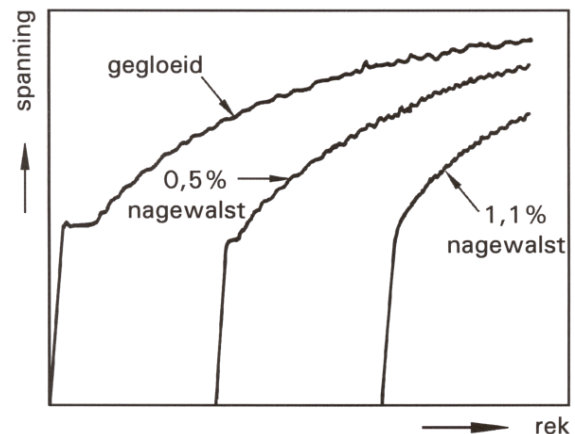
5.3.5 4xxx legeringen

Deze met silicium gelegeerde aluminiumlegeringen worden onder normale omstandigheden niet als plaatmateriaal geleverd.

5.3.6 5xxx legeringen

Deze magnesiumhoudende legeringen lijken in zeker opzicht op staal. Ze vertonen een vloeivlag en daarmee vloeilijnen na vervorming. Daarnaast vertoont de trekkromme

geen mooie vloeiende lijn maar een wat stoterige kromme (figuur 5.7). Dit secundaire vloeiverschijnsel wordt het Portevin-LeChatelier effect genoemd.



figuur 5.7 Afwijkende trekkromme van 5xxx legeringen. Nawalsen onderdrukt wel de vloeivlag, maar niet het secundaire vloeiverschijnsel

De oorzaak van het Portevin LeChatelier effect is als volgt:

In de Al-Mg legeringen worden de dislocaties 'gepinning' door magnesiumatomen, na gloeiing, maar de 'pinning' is zwakker dan bij staal het geval is. Zodra het materiaal wordt gerekt komen de dislocaties bij de magnesiumatomen weer los en begint het materiaal weer te vloeien. De magnesiumatomen echter, zijn relatief klein en kunnen bij kamertemperatuur diffunderen en doen dat naar de bewegende dislocaties en pinnen ze daar opnieuw. Vervolgens begint het proces opnieuw, hetgeen leidt tot het stoterige vloeigedrag (dynamische versteviging).

tabel 5.26 Mechanische eigenschappen van EN AW 3004 [Al Mn1Mg1] (NEN-EN 485)

toestand	dikte [mm]		$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]		rek na breuk A_{50} [%]	buigradius ¹⁾		hardheid HBS
	van	tot		min.	max.		180°	90°	
F ²⁾	≥ 2,5	80,0		155					
O/H111	≥ 0,2	0,5	60	155	200	13	0 s ₀	0 s ₀	45
	0,5	1,5	60	155	200	14	0 s ₀	0 s ₀	45
	1,5	3,0	60	155	200	15	0,5 s ₀	0 s ₀	45
	3,0	6,0	60	155	200	16	1 s ₀	1 s ₀	45
H12	≥ 0,2	0,5	155	190	240	2	1,5 s ₀	0 s ₀	59
	0,5	1,5	155	190	240	3	1,5 s ₀	0,5 s ₀	59
	1,5	3,0	155	190	240	4	2 s ₀	1 s ₀	59
	3,0	6,0	155	190	240	5	2 s ₀	1,5 s ₀	59
H14	≥ 0,2	0,5	180	220	265	1	2,5 s ₀	0,5 s ₀	67
	0,5	1,5	180	220	265	2	2,5 s ₀	1 s ₀	67
	1,5	3,0	180	220	265	2	2,5 s ₀	1,5 s ₀	67
	3,0	6,0	180	220	265	3	2,5 s ₀	2 s ₀	67
H16	≥ 0,2	0,5	200	240	285	1	3,5 s ₀	1 s ₀	73
	0,5	1,5	200	240	285	1	3,5 s ₀	1,5 s ₀	73
	1,5	4,0	200	240	285	2	3,5 s ₀	2,5 s ₀	73
H18	≥ 0,2	0,5	230	260		1		1,5 s ₀	80
	0,5	1,5	230	260		1		2,5 s ₀	80
	1,5	3,0	230	260		2			80
H19	≥ 0,2	0,5	240	270		1			83
	0,5	1,5	240	270		1			83
H22/32	≥ 0,2	0,5	145	190	240	4	1 s ₀	0 s ₀	58
	0,5	1,5	145	190	240	5	1 s ₀	0,5 s ₀	58
	1,5	3,0	145	190	240	6	1,5 s ₀	1 s ₀	58
	3,0	6,0	145	190	240	7	1,5 s ₀	1,5 s ₀	58
H24/34	≥ 0,2	0,5	170	220	265	3	2 s ₀	0,5 s ₀	66
	0,5	1,5	170	220	265	4	2 s ₀	1 s ₀	66
	1,5	3,0	170	220	265	4	2 s ₀	1,5 s ₀	66
H26/36	≥ 0,2	0,5	190	240	285	3	3 s ₀	1 s ₀	72
	0,5	1,5	190	240	285	3	3 s ₀	1,5 s ₀	72
	1,5	3,0	190	240	285	3	3 s ₀	2,5 s ₀	72
H28/38	≥ 0,2	0,5	220	260		2		1,5 s ₀	79
	0,5	1,5	220	260		3		2,5 s ₀	79

1) s₀ = oorspronkelijke plaatdikte.

2) Slechts ter informatie.

Nawalsen met ongeveer 1% reductie onderdrukt de vloeivlag en het materiaal blijft vloeivrij, zolang een hoge dichtheid van mobiele dislocaties blijft gehandhaafd. Gelukkig is dit bij de Al-Mg legeringen vrij lang het geval.

Een andere benadering is het walsen met ruwe walsen. De indrukkingen laten voldoende dislocaties ontstaan om de vloeivlag te onderdrukken zonder een meetbare verlenging van het materiaal.

De grootte van de vloeivlag neemt af met toenemende korrelgrootte en bij een korrelgrootte van 60 µm geven vloeilijnen geen problemen bij matige vervormingen. Bij groter vervormingen treedt echter verruwing op van het oppervlak door de grove korrels.

Ten slotte is het mogelijk om de vloeivlag te voorkomen. Dit wordt bereikt door de legering af te schrikken boven een kritische temperatuur.

Dit werkt voor substitutionele legeringen zoals AlMg, maar niet voor interstitiële legeringen zoals staal, waar de diffusie erg snel is.

Er is geen simpele oplossing om het stoterige vloeigedrag, de dynamische versteviging, te verwijderen, behalve door te vervormen bij een hogere temperatuur waarbij tevens, indien dit mogelijk is, een aanzienlijke toename in taaiheid ontstaat.

De vloeilijnen die door dit verschijnsel ontstaan, hebben slechts een tiende van de diepte van de lijnen ontstaan door de vloeivlag (Lüderslijnen) en er is niet aangetoond dat ze in de praktijk problemen opleveren. Een gevolg van het stoterige vloeigedrag, waarbij smalle banden worden gevormd die bewegen door het proefstuk, is dat bij het beëindigen van de versteviging, langs een van deze banden, ter plekke breuk ontstaat, zonder dat sprake is van diffuse insnoering.

Reeds in de 50er jaren werden AlMg 3,5 legeringen uitgebreid toegepast in de carrosseriebouw.

5.3.7 6xxx legeringen

Deze groep van legeringen bevat magnesium en silicium, en harding kan teweeggebracht worden door de verbinding Mg_2Si vanuit de vaste oplossing te laten precipiteren door middel van een geschikte warmtebehandeling. Van de hardbare legeringen zijn deze de meest toegepaste. Van origine werden deze legeringen niet serieus overwogen voor de toepassing in carrosseriedelen, vanwege hun lage vervormbaarheid vergeleken met 5xxx legeringen en hun neiging tot de vorming van grofkorrelige banen.

Echter, door gebruikmaking van de continu gloei praktijk die resulteert in snelle opwarming tot de oplostemperatuur, wordt een uniforme korrelgrootte en een redelijk goede verdeling van de tweede fase deeltjes bereikt. Hierdoor worden grofkorrelige banen voorkomen en is een rek van 27% haalbaar, hetgeen ruwweg gelijk is aan enkele 5xxx legeringen. 6xxx legeringen hebben twee voordelen boven de 5xxx legeringen. In de eerste plaats de afwezigheid van het stoterige vloeigedrag (dynamische versteviging), en in de tweede plaats de harding die optreedt bij moffeltemperatuur (een uit oplosgegloeid materiaal vervaardigd paneel met een plastische vervorming van 5% zal, na een uur verouderen/moffelen op 177 °C, zijn 0,2% rek grens hebben verdubbeld).

De verbeterde 6xxx legeringen zijn het meest populair vandaag de dag voor carrosseriedelen, hoewel enkele niet zichtbare delen van de carrosserie nog steeds van 5xxx legeringen worden gemaakt.

Ook in de vliegtuigbouw is de 6xxx serie populair, met name vanwege de combinatie van goed lasbaar en goed vervormbaar (EN AW 6061).

5.3.8 7xxx legeringen

Materialen uit deze groep, de sterkste van de aluminiumlegeringen (treksterktes van 550 MPa), zijn nauwelijks vervormbaar bij kamertemperatuur door de uiterst geringe taaiheid (rekken minder dan 8%). De hoge sterkte maakt ze gewild voor lucht- en ruimtevaarttoepassingen. Tot voor kort werden onderdelen vervaardigd uit dikke plakken door het grootste deel, ongeveer 90%, weg te frezen. De EN AW 7475 is een legering die wordt geproduceerd in de vorm van superplastische plaat. Dit materiaal kan uni-axiale rekken bereiken van 150% en meer bij 520 °C (bij lage reksnelheid).

Samen met EN AW 7075 zijn het op dit moment de meest toegepaste legeringen in de lucht- en ruimtevaart.

5.3.9 8xxx legeringen

De AlLiCuMg legering EN AW 8090 is een opmerkelijke toevoeging aan de reeks en werd ontwikkeld als een nog lichtere legering voor lucht- en ruimtevaarttoepassingen. Echter, bij de productie bleek het materiaal bij toeval een 10% hogere E-modulus te hebben. Het kan worden geproduceerd met een groot bereik aan mechanische eigenschappen, afhankelijk van de warmtebehandeling. In fijnkorrelige toestand is het superplastisch. Onder laboratoriumomstandigheden is het diffusieverbinden reeds gelukt.

In tabel 5.27 staat een aantal toepassingen van de materialen die in tabel 5.22 worden genoemd. Een complete omschrijving is te vinden in "The properties of aluminium and its alloys" [lit.13].

tabel 5.27 Materiaalkeuze van diverse aluminiumlegeringen afhankelijk van de toepassing

legering (EN AW)	soort toepassing
1050A, 1200	tankbekledingen voor chemische en levensmiddelenindustrie, bijvoorbeeld voor zuivelbedrijven en bierbrouwerijen; verpakkingindustrie; huishoudelijke artikelen, zoals keukengerei; elektrotechnische industrie: kabels, klemmen, verbindingstukken, enz.; lasdraad
3103	dakbedekking; golfplaten; sandwichpanelen; goten en afvoerpijpen voor gebouwen
5052, 5251	tanks; panelen en diverse andere constructies in contact met zeewater en zeelucht; rioolzuiveringsinstallaties
5083	scheepsbouw; tanks en leidingen voor transport en opslag van vloeibare gassen bij lage temperatuur; pantserplaat
5086	scheepsbouw en carrosseriebouw
5454	scheepsbouw; carrosseriebouw en transport; rioolzuiveringsinstallaties; lasdraad
6061	algemeen constructiemateriaal voor dynamisch belaste verbindingen; bruggen; wagonbouw; masten voor zeilschepen
6082	algemeen constructiemateriaal voor dynamisch belaste verbindingen; bruggen; wagonbouw; containerbouw
7020	niet maritieme lasconstructies; voertuigbouw; pantserplaat

5.4 Koper en koperlegeringen

Koper en koperlegeringen zijn zacht en hebben een op austenitisch roestvast staal gelijkende kristalstructuur. Materialen met deze structuur zijn zeer goed plastisch te vervormen. Koper verstevigt tijdens koudvervorming zodanig dat bij trekproeven breekreken van 40 tot 50% worden bereikt. Koper en veel koperlegeringen zijn leverbaar als gewalste plaat.

Koper vertoont onder vele omstandigheden een goede weerstand tegen corrosie. Veel koperlegeringen bezitten dezelfde of zelfs een sterk verbeterde corrosievastheid. Andere zeer belangrijke eigenschappen van koper zijn het elektrisch en warmtegeleidingsvermogen.

De belangrijkste legeringselementen in koper zijn zink en tin. Koper en koperlegeringen worden afhankelijk van de gewenste eigenschappen geleverd met of zonder warmtebehandeling. Door het opnieuw op verhoogde temperatuur brengen van het materiaal kunnen de eigenschappen veranderen. De belangrijkste fysische eigenschappen staan in tabel 5.28.

tabel 5.28 Belangrijkste fysische eigenschappen van koper

eigenschappen		
soortelijke massa	[kg/m ³]	8900
smeltpunt	[°C]	1083
lineaire uitzettingscoëfficiënt	[m/m.K.10 ⁶]	16,6
gem. soortelijke warmte	[kJ/kg.K]	0,39
warmtegeleidingscoëfficiënt	[W/m.K]	385

5.4.1 Koper

Koper dat voor vervormingsdoeleinden wordt gebruikt is fosfor gedeseoxideerd, elektrolytisch koper.

De aanwezigheid van zuurstof in koper kan bij hogere temperaturen aanleiding geven tot ongewenste brosheidsverschijnselen. Daarom wordt het koper in de laatste fase van de raffinage gedeseoxideerd met fosfor. Aldus ontstaat zuurstofvrij koper. Echter, het elektrisch geleidingsvermogen, een van de belangrijkste eigenschappen van koper, gaat hierdoor sterk achteruit. Het warmtegeleidingsvermogen blijft onaantast.

Door smelten en gieten in een zuurstofarme of reducerende omgeving te laten plaatsvinden, is het mogelijk om, zonder desoxideren, een laag zuurstofgehalte te bereiken in combinatie met een betrekkelijk hoog geleidingsvermogen. Deze kopersoort wordt aangeduid met de naam OFHC (Oxygen Free High Conductivity) koper. OFHC koper is over het algemeen minder zuiver dan fosfor gedeseoxideerd koper en moeilijker verkrijgbaar.

Een bekende toepassing van fosfor gedeseoxideerd koper is het waterreservoir van een boiler.

In tabel 5.29 staan de belangrijkste mechanische eigenschappen van koper.

tabel 5.29 Belangrijkste mechanische eigenschappen van fosfor gedeseoxideerd koper (NEN-EN 1652)

materiaal				R _m [MPa]		R _{p0,2} [MPa]	rek na breuk [%] (min.)		hardheid Vickers	
aanduiding	nummer	toestand	dikte [mm]	min.	max.		d ≤ 2,5 mm	d > 2,5 mm	min.	max.
Cu-DLP	CW023A									
Cu-DHP	CW024A									
		R200	> 5	200	250	(max. 100)		42		
		H040	> 5						40	65
		R220	0,2 - 5	220	260	(max. 140)	33	42		
		H040	0,2 - 5						40	65
		R240	0,2 - 15	240	300	(max. 180)	8	15		
		H065	0,2 - 15						65	95
		R290	0,2 - 15	290	360	(max. 250)	4	6		
		H090	0,2 - 15						90	110
		R360	0,2 - 2	360		(max. 320)	2			
		H110	0,2 - 2						110	

DLP koper bevat meer dan 99,90% Cu en 0,005% tot 0,014% P.
DHP koper bevat meer dan 99,90% Cu en 0,015 tot 0,040% P.
Bij bestelling met R-nummer wordt getest op treksterkte, 0,2%-rekgrens en breukrek.
Bij bestelling met H-nummer wordt getest op Vickershardheid.

5.4.2 Messing

Koper gelegeerd met zink wordt vaak aangeduid met de naam messing. Er is een hele reeks koper-zink legeringen beschikbaar met een zinkgehalte van 0 tot 50%. De legeringen met niet meer dan 39% Zn hebben een op austeniet gelijkende structuur. Met toenemend zinkgehalte nemen de treksterkte, rek en hardheid toe. Ook de koudvervormbaarheid neemt met het zinkgehalte toe tot het een maximum bereikt bij 30% zink om vervolgens weer af te nemen.

Bij aanwezigheid van meer dan 39% zink treedt een gedeeltelijke structuurverandering op, waardoor de koudvervormbaarheid sterk afneemt. De warmtevervormbaarheid daarentegen neemt sterk toe. Legeringen met een zinkgehalte boven de 46% hebben een volledig andere structuur. Deze structuur is uitsluitend warmtevervormbaar.

Heel belangrijk is de gevoeligheid voor spanningscorrosie (seizoenziekte) van koudgedeformeerde messinglegeringen met minder dan 85% koper.

Sporen ammoniak in de atmosfeer veroorzaken interkristallijne corrosie, waarbij de aantasting langs de korrelgrenzen tot diep in het materiaal doordringt. Door de inwendige spanningen scheuren of barsten deze gecorrodeerde legeringen spontaan open langs de korrelgrenzen. Deze corrosievorm komt bij de daarvoor gevoelige legeringen alleen voor wanneer het materiaal onder inwendige (trek-)spanningen staat. Om deze reden moeten deze legeringen na koudvervorming spanningsvrij gegloeid worden. Deze warmtebehandeling heeft weinig invloed op de hardheid, taaheid en sterkte.

CuZn30 is een bijzonder interessante legering die uitmunt door de zeer goede koudvervormbaarheid, gunstige elastische eigenschappen, relatief hoge treksterkte, hoge rek en voldoende corrosiebestendigheid. Het is een van de meest toegepaste koperlegeringen, omdat deze hogere n-waarden bereikt, ongeveer 0,6, dan zuiver koper (n=0,4). Uit oogpunt van kostenbesparing wordt meestal het bijna gelijkwaardige CuZn37 gebruikt. Toepassingen worden vooral gevonden in de vorm van blaasinstrumenten, lampfittings, veren en ander stamp- en dieptrekwerk. In de tabellen 5.30 en 5.31 staan de chemische samenstelling, toepassing en mechanische eigenschappen van CuZn30 en CuZn37.

Toevoeging van kleine hoeveelheden tin of aluminium maakt messing beter bestand tegen corrosie in zeewater.

tabel 5.30 Chemische samenstelling, eigenschappen en toepassingsvoorbeelden van enkele soorten messing (NEN-EN 1625)

materiaal		samenstelling in %									dichtheid [kg/dm³]
aanduiding	nummer	Cu		Zn	Al	Fe	Ni	Pb	Sn	overige	
		min.	max.		max.	max.	max.	max.	max.	max.	
CuZn30	CW505L	69,0	71,0	rest	0,02	0,05	0,30	0,05	0,10	0,10	8,5
CuZn37	CW508L	62,0	64,0	rest	0,05	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	8,4

CuZn30 is zeer goed koudvervormbaar d.m.v. dieptrekken, strekken en kraagtrekken, zeer goed soldeerbaar en goed op staal aan te brengen. CuZn30 wordt toegepast als warmtewisselaars, muziekinstrumenten, allerlei dieptrekproducten, bladveren en verende delen van stekers.

CuZn37 is de hoofdlegering voor koudvervormen d.m.v. dieptrekken, strekken, stuiken, walsen, draadrollen, knippen en buigen. Het is goed soldeer- en lasbaar.

tabel 5.31 Mechanische eigenschappen van CuZn30 en CuZn36/37 volgens NEN-EN 1625

materiaal				R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	rek na breuk [%] (min.)		hardheid Vickers		korrelgrootte	
aanduiding	nummer	toestand	dikte [mm]	min. - max.		d ≤ 2,5 mm	d > 2,5 mm	min.	max.	min.	max.
CuZn30	CW505L										
		R270	0,2 - 5	270 - 350	(max. 160)	40	50				
		H055	0,2 - 1,0					55	90		
		G010	0,2 - 2,0	(410)	(210)	(40)			120		0,015
		G020	0,2 - 2,0	(360)	(150)	(40)			95	0,015	0,030
		G030	0,2 - 2,0	(340)	(130)	(40)			90	0,020	0,040
		G050	0,2 - 2,0	(330)	(110)	(40)			80	0,035	0,070
		G075	0,2 - 2,0	(310)	(90)	(50)			70	0,050	0,100
		R350	0,2 - 5,0	350 - 430	(min. 170)	21	33				
		H095	0,2 - 5,0					95	125		
		R410	0,2 - 5,0	410 - 490	(min. 260)	9	15				
		H120	0,2 - 5,0					120	155		
		R480	0,2 - 2,0	480	(min. 430)						
		H150	0,2 - 2,0					150			
CuZn36	CW507L										
CuZn37	CW508L										
		R300	0,2 - 5,0	300 - 370	(max. 180)	38	48				
		H055	0,2 - 5,0					55	95		
		G010	0,2 - 1,0	(410)	(210)	(30)			120		0,015
		G020	0,2 - 2,0	(360)	(150)	(40)			95	0,015	0,030
		G030	0,2 - 2,0	(340)	(130)	(40)			90	0,020	0,040
		G050	0,2 - 2,0	(330)	(110)	(40)			80	0,035	0,070
		R350	0,2 - 5,0	350 - 440	(min. 170)	19	28				
		H095	0,2 - 5,0					95	125		
		R410	0,2 - 5,0	410 - 490	(min. 300)	8	12				
		H120	0,2 - 5,0					120	155		
		R480	0,2 - 2,0	480 - 560	(min. 430)	3					
		H150	0,2 - 2,0					150	180		
		R550	0,2 - 2,0	550	(min. 500)						
		H170	0,2 - 2,0					170			

Bij bestelling met R-nummer wordt getest op treksterkte, 0,2%-rekgrens en breukrek.
 Bij bestelling met H-nummer wordt getest op Vickershardheid.
 Bij bestelling met G-nummer wordt getest op korrelgrootte.

5.4.3 Brons

Koper gelegeerd met tin wordt brons genoemd. Er is een hele reeks koper-tin legeringen beschikbaar met tingealtes tot 20%. Voor plaatmateriaal gaat men meestal niet verder dan 8% tin. Daarboven treedt een gedeeltelijke structuurverandering op. De koudvervormbaarheid neemt daardoor af.

Brons heeft een goede weerstand tegen corrosie en is beter bestand tegen slijtage dan de bovengenoemde messingsoorten. Ook de sterkte van brons en de versteviging bij koudvervorming winnen het van messing. Fosfor wordt toegevoegd als desoxidatiemiddel. In de tabellen 5.32 en 5.33 staan de chemische samenstelling, toepassing en mechanische eigenschappen van enkele soorten brons.

5.4.4 Bijzondere koperlegeringen

Naast messing en brons bestaan er nog tal van andere koperlegeringen. Ieder van deze legeringen is ontwikkeld om een bepaalde eigenschap sterk te verbeteren en heeft zijn eigen handelsnaam en -vorm.

Kopernikkel bevat tot 50% nikkel. De belangrijkste eigenschappen zijn goede treksterkte, hoge rekgrens, goede vermoeiingssterkte, goede corrosiebestendigheid en goede koudvervormbaarheid. Vooral de corrosiebestendigheid bepaalt de toepassingen van deze legeringen. Om de corrosieweerstand ten opzichte van zeewater te verbeteren wordt soms 1% ijzer toegevoegd.

CuNi25 wordt veel gebruikt voor dieptrekwerk vanwege de uitstekende koudvervormbaarheid.

tabel 5.32 Chemische samenstelling en toepassing van enkele soorten brons (NEN-EN 1625)

materiaal		samenstelling in %										dichtheid [kg/dm³]
aanduiding	nummer	Cu	Sn		P		Fe	Ni	Pb	Zn	overige	
			min.	max.	min.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	
CuSn4	CW450K	rest	3,5	4,5	0,01	0,40	0,10	0,20	0,02	0,20	0,20	8,9
CuSn8	CW453K	rest	7,5	8,5	0,01	0,40	0,10	0,20	0,02	0,20	0,20	8,8

CuSn4 wordt voornamelijk toegepast voor stekkerverbindingen en stroomvoerende veren.
 CuSn8 wordt voornamelijk toegepast voor glij-elementen, met name voor dunwandige glijlagerbussen en geleiders.
 CuSn8 heeft t.o.v. CuSn6 een verhoogde slijtage- en corrosiebestendigheid.

tabel 5.33 Mechanische eigenschappen van enkele soorten brons (NEN-EN 1625)

materiaal				R _m [MPa]		R _{p0,2} [MPa]	rek na breuk [%] (min.)		hardheid Vickers	
aanduiding	nummer	toestand	dikte [mm]	min.	max.		d ≤ 2,5 mm	d > 2,5 mm	min.	max.
CuSn4	CW450K									
		R290	0,1 - 5,0	290	390	(max. 190)	40	50		
		H070	0,1 - 5,0						70	100
		R390	0,1 - 5,0	390	490	(max. 210)	11	13		
		H115	0,1 - 5,0						115	155
		R480	0,1 - 5,0	480	570	(min. 420)	4	5		
		H150	0,1 - 5,0						150	180
		R540	0,1 - 2,0	540	630	(min. 490)	3			
		H170	0,1 - 2,0						170	200
		R610	0,1 - 2,0	610		(min. 540)				
		H190	0,1 - 2,0						190	
CuSn8	CW453K									
		R370	0,1 - 5,0	370	450	(max. 300)	50	60		
		H090	0,1 - 5,0						90	120
		R450	0,1 - 5,0	450	550	(max. 280)	20	23		
		H135	0,1 - 5,0						135	175
		R540	0,1 - 5,0	540	630	(min. 460)	13	15		
		H170	0,1 - 5,0						170	200
		R600	0,1 - 5,0	600	690	(min. 530)	5	7		
		H190	0,1 - 5,0						190	220
		R660	0,1 - 2,0	660	750	(min. 620)	3			
		H210	0,1 - 2,0						210	240
		R740	0,1 - 2,0	740		(min. 700)	2			
		H230	0,1 - 2,0						230	

Bij bestelling met R-nummer wordt getest op treksterkte, 0,2%-rekgrens en breukrek.
 Bij bestelling met H-nummer wordt getest op Vickershardheid.

Kopernikkelzink, ook wel nieuwzilver genoemd, bevat ongeveer hoeveelheden nikkel tot 20% en zink tot 40%. Het dankt de naam nieuwzilver aan de zilverwitte kleur en is goed bestand tegen corrosie, goed koudvervormbaar en dieptrekbaar. Belangrijke toepassingen zijn bestek, schalen en kommen, siervoorwerpen en veren (CuNi18Zn27).

Het systeem koper-beryllium met maximaal 2,5% beryllium is een precipitatiehardende koperlegering. Na oplosgloeien en langzaam afkoelen ontstaat een materiaal met hoge rekgrens, lage elasticiteitsmodulus en goede corrosiebestendigheid. De bewerkbaarheid neemt hierbij af. Door afschrikken na het oplosgloeien blijft het materiaal betrekkelijk zacht en blijft de bewerkbaarheid behouden. Door vervolgens op een lagere temperatuur na te gloeien bereiken de eigenschappen waarden die gelijk, of nog beter zijn dan via de eerstgenoemde methode. Om het precipitatiegedrag te verbeteren wordt beryllium soms gedeeltelijk vervangen door kleine hoeveelheden kobalt of nikkel. De legering wordt toegepast voor onder andere veren en membranen.

Deel II Gereedschapmaterialen

Hoofdstuk 6

Inleiding gereedschapmaterialen

Gereedschapmaterialen zijn materialen die geschikt zijn om er gereedschappen van te maken voor het be- of verwerken van productmaterialen.

Tijdens het gebruik worden de gereedschappen zwaar belast. Deze belasting wordt meestal snel aangebracht. Het gereedschap moet deze belasting veelvuldig kunnen doorstaan zonder te vervormen, te scheuren of overmatig te slijten. Gereedschapmaterialen moeten daarom een voor het doel geschikte hardheid, taaiheid en weerstand tegen slijtage hebben. Vaak wordt het gereedschap tijdens het gebruik warm. Ook dan mogen de eigenschappen van het materiaal niet veranderen.

De meest gebruikte gereedschapmaterialen zijn gietijzer, gietstaal, (on)gelegeerd en hardbaar staal, poedermetallurgische materialen, hardmetaal en aluminium-brons (zie ook tabel 6.1).

Of een gereedschap in de praktijk goed voldoet, hangt niet alleen af van de materiaalkeuze, maar tevens van een goed ontwerp, de nauwkeurigheid waarmee het gereedschap is gemaakt en de toepassing van de juiste warmtebehandeling.

Afhankelijk van de toepassing, de optredende belastingen en de gewenste levensduur kunnen gereedschapmaterialen in verschillende condities worden toegepast, zoals:

- ▶ *onbehandeld.* Voorbeelden zijn gietijzer, aluminium-brons, (on)gelegeerd staal, hardmetaal;
- ▶ *warmtebehandeld.* Ter verbetering van diverse eigenschappen, zoals druksterkte en slijtvastheid, kunnen daartoe geschikte materialen een warmtebehandeling ondergaan. Warmtebehandelingen vinden in het algemeen na de fabricage van het gereedschap plaats;
- ▶ *oppervlakte-behandeld.* Daartoe geschikte materialen kunnen, in het algemeen ter verbetering van de slijtage eigenschappen, bijvoorbeeld worden genitreerd. Deze behandelingen worden veelal uitgevoerd aan een voltooid gereedschap.
- ▶ *gecoat.* Een andere methode om de weerstand tegen slijtage te verhogen is het aanbrengen van coatings (deklagen) op het gereedschapmateriaal. Coatings kunnen plaatselijk worden aangebracht op reeds voltooide gereedschappen.

Veruit de meeste gereedschappen worden van gelegeerd gereedschapsstaal gemaakt en in geharde toestand toegepast.

Het is in het algemeen niet verstandig om gelegeerd gereedschapsstaal in ongeharde toestand te gebruiken. Is het gezien de gestelde eisen mogelijk om gereedschappen van staal in zachte toestand (onbehandeld) te gebruiken, dan kan het beste van goedkoper en beter bewerkbaar constructiestaal worden uitgegaan.

Verder kan een onderscheid worden gemaakt tussen laaggelegeerd en hooggelegeerde gereedschapstalen. Laaggelegeerde gereedschapstalen worden overwegend in water, soms in olie gehard, terwijl hooggelegeerde gereedschapstalen in lucht of vacuüm worden gehard. Hooggelegeerde gereedschapstalen zijn over het algemeen slijtvaster, omdat deze naast martensiet ook uit carbiden bestaan. Tenslotte zijn sommige hooggelegeerde gereedschapstalen door ESR (Electro Slag Remelting) en VAR (Vacuum Arc Remelting) ook met grotere zuiverheid verkrijgbaar.

Poedermetallurgische gereedschapstalen

PM gereedschapstalen worden gekenmerkt door een

optimale combinatie van hardheid (dus slijtvastheid en daarmee standtijd) en taaiheid. Deze eigenschappen worden bereikt door het materiaal in gesmolten toestand te verstuiven, waardoor een metaalpoeder ontstaat. De vorming van grove carbiden wordt hierdoor onderdrukt. Het poeder wordt onder hoge druk en temperatuur samengeperst (gesinterd). Door deze fabricagemethode ontstaat een materiaal met kleine, homogeen verdeelde carbiden. Dit in tegenstelling tot conventioneel vervaardigd gereedschapsstaal, waarin de carbiden groter zijn en in banen in het materiaal liggen. Door deze vervaardigingsmethode zijn materiaalsamenstellingen te vervaardigen, o.a. met hoge Vanadiumgehaltes, die op conventionele manier niet gemaakt kunnen worden. Poedermetallurgisch gereedschapsstaal is in het algemeen duurder is dan conventioneel gereedschapsstaal. Echter door de betere slijtvastheid en taaiheid en daarmee een langere standtijd, kan poedermetallurgisch gereedschapsstaal toch voordelen bieden. Naast poedermetallurgisch gereedschapsstaal is er ook poedermetallurgisch snelstaal op de markt.

Hardmetaal

Hardmetaal wordt verkregen door metaalcarbiden (in poedervorm) te sinteren met een metallisch bindmiddel. De voor spaanloze vormgevingstechnieken belangrijkste soorten zijn samengesteld uit wolframcarbiden (WC) en kobalt (Co). Hardheid en slijtvastheid zijn gebaseerd op de wolframcarbiden. Stijver en meer drukvast is het materiaal naarmate de wolframcarbide fijner verdeeld is en een groter aandeel vormt. Minder bros wordt en een grotere weerstand tegen schokken krijgt het materiaal wanneer het gehalte aan (plastisch) bindmiddel (Co) groter is. Dit wordt nog enigszins verbeterd, doordat het materiaal aan het eind van het sinterproces op hoge temperatuur en onder druk (ca. 50 bar) tot bijna 100% wordt verdicht. Voor spaanloze vormgeving worden, met betrekking tot de gewenste optimale taaiheid, voornamelijk hydrostatische (HIP of sinterhip) verdichte soorten aangeraden. Het sinterproces van hardmetaal is een dermate gecompliceerd proces, dat zelfs bij de meest betrouwbare fabrikanten schommelingen met betrekking tot de kwaliteit verwacht mogen worden.

Voor gereedschappen in de spaanloze vormgeving worden hoofdzakelijk hardmetaalsoorten met kobaltgehaltes van 6 tot 15% en (WC) korrelgrootten in de klasse "fijn" (0,8 - 1,3 micron) en "medium" (1,3 - 2,5 micron) gekozen. Met deze hardmetalen is in het algemeen een minstens 5 × langere standtijd te bereiken dan met gereedschapsstaal.

Aluminium-brons wordt meestal toegepast als andere gereedschapmaterialen aanlaadverschijnselen vertonen.

Bij grote gereedschappen, zoals deze onder andere worden gebruikt in de automobiellindustrie, wordt soms gebruik gemaakt van inzetstukken. Het gereedschap wordt dan vervaardigd uit gietijzer, gietstaal of constructiestaal. Op de zwaardere belaste plaatsen worden stukken in het gereedschap aangebracht, die zijn uitgevoerd in gehard en/of gelegeerd staal of aluminium-brons.

Voor het maken van proefseries of producten in kleine series staat ook nog een reeks van alternatieve gereedschapmaterialen ter beschikking (zie tabel 6.1). Deze zijn vaak eenvoudig en tegen lage kosten te bewerken. De standtijd is echter zeer beperkt. Deze worden hier niet verder besproken. Voor de volledigheid wordt verwezen naar de literatuur [lit. 23].

Gereedschapmateriaalnormen

Hoewel er bijna voor alle stalen intussen Europese normen bestaan, geldt dit nog niet voor gereedschapstalen. Dit komt, omdat gereedschapstaalfabrikanten allen proberen via minimale verschillen in toevoegingen, of een beter alternatief te vervaardigen, of patenten van de concurrent proberen te omzeilen. Een algemene norm voor gereed-

schapsstalen zal dus nog enige tijd op zich laten wachten. Een aantal poedermetallurgische gereedschapsstalen zijn zelfs dermate specifiek, dat er zelfs geen Werkstoffnummer van bestaat.

Van de meeste hooggelegeerde en poedermetallurgische gereedschapsstalen worden brochures op internet weergegeven ¹⁾, waarin samenstelling, hardingsmethode, toepassing en eigenschappen uitgebreid worden behandeld. Hoewel hardmetaal intussen een zeer belangrijk gereedschapmateriaal in de spaanloze vormgeving geworden is, zijn er met betrekking tot de materiaalkwaliteit geen nationale of internationale normen voorhanden. Reeds in de 80er jaren heeft Philips het voortouw genomen en eigen normen voor gereedschapshardmetalen gemaakt. Deze normen zijn rond de eeuwwisseling nogmaals aangepast en worden in tabel 6.1 weergegeven. Naast een aantal relevante eigenschappen worden in de tabel tevens Palmqvist waarden aangegeven. Hiermee wordt de mate van scheurvoeligheid bepaald, door de scheurlengten te meten die tijdens de Vickers hardheidsmeting aan de hoeken van de indrukking ontstaan.

1) Uddeholm: www.uddeholm.com
Böhler: www.bohler.nl
Carpenter: www.carttech.com
Robert Zapp: www.crucibleservice.com

tabel 6.1 Toepassing en keuze van enkele veel gebruikte gereedschapmaterialen voor stempels en matrijzen

toepassingsgebied gereedschap	eigen-schappen	materiaal-soort	materiaal-nummer	afschrik-medium ¹⁾	Ph-norm	Bohler	Uddeholm/R.Zapp	aanduiding volgens NEN-EN-ISO 4957
frames voor grote gereedschappen; matrijzen en stempels met grote afmetingen voor dieptrekken en strekken	persdicht slijtvast	lamellair gietijzer	0.6025 (CrMoV) 0.6030 0.6040					EN - GJL - 250 EN - GJL - 300 EN - GJL - 400
		nodulair gietijzer	0.7060 0.7070					EN - GJS - 600 - 3 EN - GJS - 700 - 2
	zwaar belastbaar	gietstaal	1.0553					GS 60
ponsen & stampen			1.1545	w	N085	K990		C105U
ponsgereedschap tot 20 mm			1.2063	w, o				145Cr6
kleine snijplaten			1.2067	o			UHB 20C15/-	100Cr6
ponsen van gaten			1.2101	o		K245		62SiMnCr4
			1.2108	o			UHB SR 1855/-	90CrSi5
gecompliceerd stampgereedschap			1.2127	o				105MnCr4
ponsen van gaten			1.2210	w, o	N094			115CrV3
stampgereedschap			1.2243	o				61CrSiV5
stampgereedschap, dikte < 5 mm			1.2419	o	N775		Arne/-	105WCr6
stampgereedschap			1.2510	o	N775	K460	Arne/-	100MnCrW4
ponsen van gaten			1.2516	w				120WV4
stampgereedschap voor dikke materialen			1.2542	o			Regin3/-	45WCrV7
			1.2550	o		K455	Regin3/-	60WCrV7
			1.2721	o		K300	Grane/-	50NiCr13
			1.2823	o				70Si7
afbraamgereedschap			1.2826	o				60MnSiCr8
dieptrekgereedschap			1.2838	w				145V33
stampen electrical steels			1.2842	o		K720		90MnCrV8
hoogwaardig stampgereedschap			1.2080	o, l		K100 ²⁾		X210Cr12
gereedschap met enige corrosie weerstand			1.2083	o			Stavax/-	X42Cr13
stampgereedschap voor gemiddelde materiaaldikten			1.2363	o	N1149	K305	Rigor S1/A2	X100CrMoV5 1
fijnstamp-, stamp-, dieptrek-gereedschap			1.2376	o				X96CrMoV12
breukgevoelig stampgereedschap			1.2379	o, l, v	N1019	K110	Sverker 21/D2	X155CrVMo12 1
hoogwaardig stampgereedschap			1.2436	o, l, v	N1033	K107	Sverker 3/-	X210CrW12
breukgevoelig stampgereedschap			1.2601	o, l, v	N1019	K105		X165CrMoV12
koudpers en buiggereedschap			1.2767	o, l, v		K600	Grane/-	X45NiCrMo4
stampen electrical steels			1.2884	o, l, v				X210CrCoW12
hoogwaardig stampgereedschap, goede slijtvastheid en taaiheid			1.3333	o, l, v		S690		HS 3-3-2
			1.3343	o, l, v	N1054	S600	-/CPM REX M4	HS 6-5-2
roestvast gereedschapsstaal			1.3549	o				X89CrMoV18 1
				l, v, s			Vanadis 10/CPM 10V	X290CrVMo8 10 2
				l, v, s			Vanadis 4/-	X150CrVMo8 4 2
hoogwaardig poedermetallurgisch gereedschapsstaal			1.2380	l, v, s		K190 ³⁾		X220CrVMo 13 4
				l, v, s		M130 ³⁾	Elmax/CPM T 440V	X170CrVMo17 3 1
				l, v, s		S790 ³⁾	Vandis 23/ASP 2023	HS 6-5-3
				l, v, s		K390		X245VCrMoCoW
dieptrekken strekken	licht belastbaar	aluminum-brons	Ampco 20					CuAlFe
	zwaar belastbaar	aluminum-brons	Ampco 25					CuAlFe
dieptrekken strekken (kleine of proefseries)	redelijk belastbaar	aluminum-legeringen						AlZn5,5MgCu
	licht belastbaar	zink-legeringen	Zamak Kirkosite					ZnAlCu
	licht belastbaar; weinig maatvast	polyester						kunstthars (glasvezel en metaalpoeder ter versteving)
	licht belastbaar	epoxy						
	licht belastbaar; weinig maatvast	polyurethaan						
	licht belastbaar	verdicht hout	OBO					hout, kunstthars
matrijsmateriaal voor dieptrekken en strekken (proefseries)	licht belastbaar	bismut-legeringen	Cerrottru					BiPbSnCd

1) o = olie; w = water; l = lucht, v = vacuüm; s = stikstof

2) Regulit

3) Isomatrix

Hoofdstuk 7

Bezwijken van gereedschappen

Tengevolge van de heersende belastingen bij het verwerken van productmaterialen kunnen de gebruikte gereedschappen door een aantal mechanismen bezwijken. Te noemen zijn:

- ▶ plastische deformatie;
- ▶ scheuren of breken;
- ▶ oppervlaktevermoeiing (ook wel chipping genoemd);
- ▶ overmatige slijtage.

Bezwijkt een gereedschap, dan moet in de eerste plaats worden nagegaan of het juiste gereedschapmateriaal voor die toepassing is gebruikt, danwel of het een materiaalfout betreft. In de tweede plaats moet worden gekeken naar de afwerking en moeten, indien mogelijk, afrondingsstralen worden aangebracht. Eventueel moet een ander materiaal worden gekozen.

7.1 *Plastische deformatie*

Plastische deformatie van het gereedschap treedt op als de vloe- of rekgrens van het gereedschapmateriaal wordt overschreden. In het algemeen betekent dit, dat de hardheid van het gereedschapmateriaal te laag is. Het uit zich in het algemeen in de vorm van deuken, dat wil zeggen, plaatselijke vervorming. Om plastische deformatie te voorkomen moet in voorkomende gevallen, eventueel plaatselijk, voor een harder materiaal worden gekozen.

7.2 *Scheuren of breken*

Scheuren of breken van het gereedschap treedt op indien plaatselijk de toegelaten trek- of drukspanning in het gereedschapmateriaal wordt overschreden. Scheuren of breken treedt meestal op bij kerven, bewerkingsgroeven, scherpe dik-dun overgangen, scherpe hoeken, oppervlaktebeschadigingen, materiaalinhomogeniteiten en dergelijke. Een bijzondere vorm van breuk kan optreden, indien gereedschappen worden gemaakt door middel van vonkverspanen uit een gehard gereedschapsstaal of hardmetaal. Tijdens het vonkverspanen smelt een klein beetje gereedschapmateriaal dat voor een deel verdampt. Een ander deel stolt op het snijvlak en vormt daar een harde brosse laag, waarin meestal (micro)scheuren aanwezig zijn. Onder belasting kunnen de (micro)scheuren in deze laag verder groeien tot in het basismetaal en tot breuk leiden. Om deze reden verdient het aanbeveling om gereedschappen die via vonkverspanen zijn gemaakt, direct na de fabricage te ontlaten. Soms wordt de harde brosse laag door bijvoorbeeld polijsten verwijderd. Bij hardmetaal is dit zelfs de enige mogelijkheid. Afhankelijk van de vonkverspaningscondities bedraagt de dikte van de harde brosse laag 0,01 tot 0,1 mm.

7.3 *Oppervlaktevermoeiing*

Indien het oppervlak plaatselijk wisselend plastisch wordt gedeformeerd, dan kan na een aantal belastingswisselingen een scheurtje ontstaan. Dit wordt oppervlaktevermoeiing genoemd. Als gevolg van deze oppervlaktevermoeiing kunnen, door het uitgroeien van scheurtjes, kleine deeltjes uitbreken. Het uitbreken van deeltjes gebeurt dan met name uit het zwaarst belaste deel van het oppervlak van het gereedschap. Dit fenomeen wordt aangeduid met chipping.

7.4 *Overmatige slijtage*

Gereedschappen kunnen ook bezwijken door overmatige slijtage. Door een onjuiste materiaalkeuze, smering of

afstelling van het gereedschap kunnen gereedschappen plaatselijk zeer sterk slijten, waardoor het gereedschap tijdens de bewerking van het productmateriaal vastloopt of delen van het gereedschap vervormen of afbreken. De juiste combinatie gereedschapmateriaal/productmateriaal, keuze hulpstoffen en goed onderhoud en afstelling van machines kan overmatige slijtage voorkomen.

Hoofdstuk 8

Slijtage

Gereedschappen die niet bezwijken tengevolge van de in het vorige hoofdstuk genoemde mechanismen, zullen op den duur door normale slijtage toch onbruikbaar worden. Naar de aard van het slijtagemechanisme is het nuttig onderscheid te maken in twee slijtagevormen:

- abrasieve slijtage;
- adhesieve slijtage.

8.1 Abrasieve slijtage

Bij deze vorm van slijtage vindt verwijdering van materiaal van het gereedschapoppervlak plaats door de schurende werking van harde deeltjes, welke aanwezig zijn in het te bewerken productmateriaal.

Deze vorm van slijtage treedt in het algemeen op bij de materiaalcombinaties metaal/niet metaal. Dit treedt bijvoorbeeld op bij de verwerking van keramische materialen, papier, maar ook bij gelegeerd staal waarin carbiden aanwezig zijn en materialen waarop een walshuid aanwezig is.

Vermindering van de abrasieve slijtage moet vooral worden gezocht in een hogere hardheid van het gereedschapoppervlak (met behoud van de taaiheid) ten opzichte van de hardheid van de abrasieve deeltjes.

Mogelijkheden hiertoe zijn:

- andere materiaalkeuze, bijvoorbeeld gehard (on)gelegeerd staal in plaats van onbehandeld staal; hardmetaal in plaats van gehard staal;
- oppervlaktebehandelen, zoals nitreren, carboneren, vlamharden, laserharden;
- aanbrengen van deklagen, zoals chroom en nikkel, langs elektrochemische weg, door oplassen of door thermisch opspuiten.

8.2 Adhesieve slijtage

Hierbij vindt materiaaloverdracht plaats door adhesie, dat is de vorming van verbindingen, meestal op microschaal. Voorwaarde voor het ontstaan van dit soort verbindingen is het optreden van metaal/metaal contact tussen de twee ten opzichte van elkaar bewegende oppervlakken. Onder invloed van de optredende hoge drukken en temperatuur ontstaan dan meestal lasverbindingen.

Lasverbindingen hebben in het algemeen een hogere sterkte dan de aangrenzende basismaterialen. Bij verdergaande beweging treedt daarom geen breuk op in de las maar in het grensvlak ernaast, in het materiaal met de laagste sterkte. Dit is meestal het productmateriaal. Het gereedschap wordt langzamerhand bedekt met een laagje van het verwerkte productmateriaal. In dergelijke gevallen wordt vaak gesproken over 'aanladen' of 'vreten'. Het microlassen kan uiteindelijk op zo'n grote schaal plaatsvinden, dat bijvoorbeeld het gereedschap vastloopt of zelfs breekt. Vaak ook zal het product tijdens de fabricage scheuren.

Aanladen of vreten treedt bij het verwerken van metalen veelvuldig op.

Soms breken de microlassen in zijn geheel uit. De zo losgebroken slijtagedeeltjes kunnen:

- als slijtagedeeltje worden afgevoerd;
- in het systeem aanwezig blijven en daarbij leiden tot abrasieve slijtage;
- als laag worden afgezet op bijvoorbeeld het gereedschap.

Bij het gebruik van zachte gereedschapmaterialen bestaat het risico dat door adhesieve slijtage deeltjes van het gereedschap uitbreken. Dit leidt uiteraard tot desastreuze slijtage van het gereedschap. In deze gevallen moet er,

bijvoorbeeld door toepassing van een gehard gereedschap, voor worden gezorgd dat de sterkte van het gebruikte gereedschapmateriaal hoger is dan dat van het te verwerken materiaal. Hierdoor vindt het uitbreken niet meer in het gereedschap plaats.

Beter is het om adhesieve slijtage te vermijden.

Zoals vermeld treedt adhesieve slijtage op, indien er sprake is van metaal-metaal contact. Dit betekent dat deze vorm van slijtage kan worden bestreden door het metaal-metaal contact te voorkomen. Mogelijkheden hiertoe zijn:

- het gebruik van smeermiddelen, waarbij een smeerfilm tussen gereedschap en productmateriaal beide oppervlakken van elkaar scheidt;
- het op het gereedschap aanbrengen van niet-metallische lagen, zoals titaannitride (met behulp van speciale technieken zoals PVD en CVD);
- het kiezen van een gereedschapmateriaal dat weinig neiging tot vreten vertoont met het te verwerken materiaal, zoals aluminium-brons als gereedschapmateriaal voor de verwerking van roestvast staal;
- het zodanig legeren van het gereedschapsstaal dat de (geharde) matrix veel harde, (complexe) carbiden bevat.

Sinds de jaren tachtig zijn er langs poedermetallurgische weg vervaardigde gereedschapmaterialen op de markt. Deze materialen bevatten in vergelijking met de conventionele gereedschapsstaalsoorten meer, kleinere en beter verdeelde carbiden, waardoor de weerstand tegen slijtage is toegenomen. Dit gaat meestal ten koste van de taaiheid. Dit materiaal wordt onder andere toegepast voor zwaar belaste ponsgereedschappen.

Hoofdstuk 9

Corrosie

Gereedschappen kunnen zowel tijdens opslag als tijdens gebruik worden aangetast door corrosie.

Tijdens opslag is dit in het algemeen het gevolg van op het gereedschapoppervlak aanwezig vocht (bijvoorbeeld condens), al of niet gecombineerd met mogelijke agressieve bestanddelen uit de omgeving of de gebruikte hulpstoffen. Het verdient dus aanbeveling om gereedschappen voordat ze worden opgeslagen te reinigen en te voorzien van een geschikt conserveringsmiddel.

Ook tijdens gebruik kan corrosie optreden als gevolg van agressieve bestanddelen uit het toegepaste smeermiddel. Ter voorkoming van dit soort corrosie zal een ander smeermiddel moeten worden gekozen. Aangeraden wordt in overleg met de leverancier van hulpstoffen de keuze van conserveringsmiddelen en smeermiddelen te bepalen. Zie ook deel III "Hulpstoffen" van deze publicatie.

Hoofdstuk 10

Bewerkbaarheid van gereedschap-materiaal

Voor de vervaardiging van gereedschappen staat een groot scala materialen ter beschikking.

Materialen zoals gietijzer, staal (in niet-geharde toestand) en in mindere mate aluminium-brons zijn in het algemeen goed te verspanen. Verder kan bij gereedschapmaterialen worden gesteld dat de bewerkbaarheid door middel van verspanen afneemt, indien de hoeveelheid harde, slijt-vaste deeltjes in het materiaal toeneemt.

In tabel 10.1 is een aantal belangrijke eigenschappen van gereedschapmaterialen uitgezet. Hieruit blijkt onder andere dat een goede bewerkbaarheid in de leveringstoestand niet altijd samengaat met een hoge weerstand tegen slijt-tage in de gebruikstoestand.

Voor de staalsoorten die veel carbiden bevatten zijn minder goed bewerkbaar. Naast minder goed verspaanbaar

zijn deze kwaliteiten ook slecht hoogglans te polijsten. Tijdens het polijsten wordt namelijk de zachtere matrix weg gepolijst en blijven de harde carbiden achter, welke dan boven het oppervlak uitsteken. De lager gelegen en ongelegeerde staalkwaliteiten zijn door de afwezigheid van carbiden beter polijstbaar.

Gereedschappen van hardmetalen worden in het algemeen via de poedermetallurgische fabricagemethode op de gewenste maat en vorm gemaakt. Poedermetallurgisch gereedschapsstaal en hardmetalen zijn nauwelijks of niet verspanend te bewerken. Als nabewerking komt eigenlijk alleen polijsten in aanmerking.

Voor het maken van proefseries of producten in kleine series staan tal van alternatieve gereedschapmaterialen ter beschikking. De belangrijkste eigenschappen van deze materialen zijn, dat ze eenvoudig te bewerken zijn en vaak weinig nabewerking behoeven. De bewerkingskosten zijn hierdoor laag. De levensduur van gereedschappen die van deze materialen zijn gemaakt is echter beperkt. Hoewel ze hier niet verder worden besproken, verdienen ze wel aandacht, vandaar dat ze zijn opgenomen in tabel 10.2 (zie verder [lit.23]).

tabel 10.1 Eigenschappen van enkele veel gebruikte gereedschapmaterialen voor stempels en matrijzen

materiaalnummer (zie tabel 6.1)	taaiheid	slijt- vastheid	maat- vastheid	hardbaar- heid	bewerk- baarheid	bijzonderheden
0.6025	gering	goed	matig	slecht	goed	
0.6025 CrMoV 0.6030 0.6040 0.7060 0.7070	gering gering gering matig matig	goed goed goed matig goed	matig matig matig matig matig	matig matig matig matig matig	goed goed goed goed goed	lasbaar; deklagen aanbrengen mogelijk
1.0553	groot	goed	goed	matig	goed	deklagen en oppervlakteharden mogelijk
1.2080 1.2436 1.2601	gering gering gering	goed goed goed	matig goed gering	goed goed goed	slecht slecht matig	hoog koolstof- en chroomgehalte
1.0503 1.0601 1.1530 1.2067 1.2341 1.2363 1.2510 1.2542 1.2721 1.2767 1.2842	groot groot matig gering matig gering gering matig matig matig gering	matig goed goed goed goed goed goed matig matig matig goed	goed goed matig matig matig goed matig matig goed matig matig	matig goed goed matig matig goed matig matig goed goed goed	goed goed goed goed goed goed goed matig matig matig goed	
1.2379 1.2550	matig matig	matig matig	matig matig	matig matig	matig matig	schokbestendig
Ampco 20 Ampco 25	matig matig	goed goed	goed goed	-- --	matig matig	vormgeving d.m.v. gieten; bijzonder geschikt voor gladde producten, in het bijzonder voor roestvast staal

tabel 10.2 Eigenschappen van enkele alternatieve gereedschapmaterialen voor stempels en matrijzen

materiaal	taai- heid	slijt- vastheid ¹⁾	maat- vastheid	hardheid ²⁾	bewerk- baarheid	bijzonderheden
aluminium- legeringen	goed	goed	goed	85-145 H _B	goed	basisvormgeving d.m.v. gieten, goed verspaanbaar
zink- legeringen	gering	goed	goed	90-105 H _B	goed	basisvormgeving d.m.v. gieten, meerdere malen bruikbaar, goed verspaanbaar
bismut- legeringen	goed	gering	gering	20 H _B	goed	vormgeving d.m.v. gieten, meerdere malen bruikbaar, zeer laag smeltpunt
polyester	goed	gering	gering	75-90° Shore D	goed	weinig reactief met productmateriaal, goed corrosiebestendig
epoxy	matig	matig	goed	75-90° Shore D	goed	verbeterde eigenschappen t.o.v. polyester
polyurethaan	goed	matig	matig	75-90° Shore D	goed	construeren door gieten of lamineren, weinig reactief met productmateriaal
verdicht hout	goed	matig	goed	37 H _B ³⁾	goed	prestaties kunnen worden verbeterd door metalen inzetstukken, weinig reactief met productmateriaal

1) De sterkte en de slijtvastheid zijn van al deze materialen gering. De hier gegeven aanduiding is relatief ten opzichte van elkaar.

2) Ter vergelijking: Gietijzer GG 25 (materiaalnummer 0.6025) heeft een hardheid die varieert van 180 tot 220 H_B.

3) Normaal wordt de hardheid van dit materiaal volgens DIN 53456 bepaald, ter vergelijking is hier echter een gemeten waarde in H_B aangegeven.

Hoofdstuk 11

Warmtebehandelingen

11.1 Inleiding

Een eerste eis die aan een gereedschapmateriaal wordt gesteld, is dat het gereedschap zonder plastisch (blijvend) te vervormen de erop uitgeoefende krachten moet kunnen weerstaan. In veel gevallen betekent dit, dat het gereedschap een warmtebehandeling moet ondergaan om voldoende weerstand tegen plastische vervorming te krijgen. De warmtebehandeling die gereedschapsstaalsoorten ondergaan ter verbetering van de bulkeigenschappen, zoals sterkte, slijtvastheid en dergelijke, wordt in het algemeen 'harden' genoemd.

De weerstand tegen plastische vervorming kan op diverse manieren worden bepaald, bijvoorbeeld door drie- of vierpuntsbuigproeven, trekproeven en dergelijke. Het probleem hierbij is, dat deze beproevingen niet aan het gereedschap kunnen worden uitgevoerd. Meestal wordt daarom de hardheid van het gereedschap bepaald. De gewenste en gemeten hardheid wordt opgeven in Vickers (H_V) of in Rockwell cone (HRC); de voor zachte materialen ook wel gebruikte Brinell hardheid (H_B) wordt voor geharde materialen niet gebruikt.

In het algemeen geldt voor de gereedschapsstaalsoorten dat voor een bepaalde soort een hogere hardheid samen gaat met een lagere taaiheid. Om te voorkomen dat het gereedschap bij belastingspieken plotseling breekt of scheurt, is naast de juiste sterkte (hardheid) van een gereedschap tevens voldoende taaiheid van groot belang.

11.2 Harden

Het harden van staal bestaat uit drie stappen, te weten:

1. Verhitten van het staal op een voor dat type staal geschikte temperatuur, de zogenoemde hardings- of austeniteertemperatuur. Afhankelijk van de staalsoort ligt deze temperatuur tussen 800 en 1200 °C.
2. Het afkoelen (afschrikken) van het staal naar een lagere temperatuur, in het algemeen kamertemperatuur. De meest gebruikelijke afkoelmedia zijn water, olie, zoutbad en lucht (eventueel vloeibare stikstof, vacuümharden).

De bedoeling van het afschrikken is om in het staal structuuromzettingen te laten plaatsvinden die een stijging van de hardheid tot gevolg hebben. In het ideale geval ontstaat een structuur welke martensiet wordt genoemd.

Of deze structuur ontstaat is afhankelijk van de samenstelling van het staal en de afkoelsnelheid. In het algemeen geldt dat, hoe hoger het percentage legeringselementen is, des te lager de afkoelsnelheid kan zijn. In dit verband wordt vaak gesproken over de "kritische afkoelsnelheid"; dit is de afkoelsnelheid, waarbij nog juist martensiet ontstaat.

De keuze van het afkoelmedium wordt dus bepaald door de staalsamenstelling; ongelegeerde staalkwaliteiten worden in water afgeschrikt, hooggelegeerde kwaliteiten in lucht.

3. In het algemeen is het staal in de afgeschrikte conditie niet bruikbaar vanwege de zeer geringe taaiheid; het materiaal is bros. Om deze brosheid geheel of gedeeltelijk op te heffen, ondergaat het staal nog een warmtebehandeling, het zogenaamde ontlaten. Het ontlaten vindt plaats op een temperatuur beduidend lager dan de hardingstemperatuur. Door het ontlaten daalt in het algemeen de hardheid en neemt de taaiheid toe. De keuze van de ontlaattertemperatuur is afhankelijk van de staalsamenstelling en de gewenste hardheid.

11.3 Maat- en vormveranderingen bij het harden

Bij het harden van gereedschappen moet rekening worden gehouden met mogelijke maat- en vormveranderingen. Door de reeds genoemde structuromzettingen die tijdens het harden plaatsvinden, neemt in het algemeen het volume toe. Deze volumetoename veroorzaakt maatveranderingen, die dus inherent zijn aan de warmtebehandeling. De grootte van de maatverandering is afhankelijk van de staalsamenstelling en de walsrichting. In het algemeen zijn maatveranderingen niet ernstig en tot op zekere hoogte voorspelbaar en te compenseren. Vormveranderingen ("trekken") daarentegen kunnen leiden tot afkeur. In welke mate vormveranderingen optreden is niet in algemene regels onder te brengen. De optredende vormveranderingen zijn van een groot aantal factoren afhankelijk, zoals:

► de materiaalkeuze

De materiaalkeuze bepaalt de te volgen warmtebehandeling en met name het te gebruiken afschrikmedium. Afschrikken in water leidt tot grotere vormveranderingen dan afschrikken in lucht;

► de geometrie

Met name lengte- en dikteverschillen kunnen leiden tot ontoelaatbare vormafwijkingen. Scherpe hoeken kunnen zelfs leiden tot scheuren;

► de inwendige spanningstoestand

De voor het harden aanwezige inwendige spanningen leiden eveneens tot vormveranderingen. De hoogte van de inwendige spanningen is onder andere afhankelijk van de uitgangstoestand van het materiaal, de verspanningscondities en dergelijke.

Worden aan een gereedschap hoge eisen gesteld ten aanzien van de vormvastheid tijdens het harden, dan kan het voordelig zijn de volgende bewerkingsvolgorde te volgen:

- voorbereiden tot een bepaalde toegift;
- spanningsarm gloeien (550 tot 600 °C);
- nabewerken; deze bewerking dient zorgvuldig te gebeuren om niet opnieuw spanningen in het materiaal te brengen;
- harden.

De grootte van de toegift bij het voorbereiden bedraagt in het algemeen ca. 0,5 mm;

► de toegepaste warmtebehandeling

Door een te hoge opwarmingsnelheid, inhomogene ovenbelading en dergelijke kunnen ook ontoelaatbare vormveranderingen ontstaan.

Het zal duidelijk zijn dat maatveranderingen en met name vormveranderingen tijdens een hardingsbehandeling niet zijn te voorkomen. Ze kunnen hooguit worden beperkt. Dit betekent dat producten die een hardingsbehandeling moeten ondergaan met een zekere bewerkingstoegift aan de harderij moeten worden aangeboden. Heeft men hier zelf geen ervaring mee, dan verdient het zeker aanbeveling om in een vroeg stadium overleg te plegen met vakmensen uit de harderij.

Hoofdstuk 12

Oppervlaktebehandelingen

Ter verbetering van de oppervlakte-eigenschappen en met name verhoging van de weerstand tegen slijtage, staat een groot aantal mogelijkheden ter beschikking, zoals:

- het elektrochemisch aanbrengen van bescherm lagen van bijvoorbeeld chroom of nikkel. Het voordeel van het elektrochemisch aanbrengen van een bescherm laag is onder andere de lage temperatuur waarop dit gebeurt, waardoor de materiaalkeuze niet kritisch is (de temperaturen zijn te laag om structuromzettingen teweeg te brengen).

Elektrochemisch aangebrachte lagen liggen echter op het oppervlak, zodat bij de maatvoering hiermee rekening moet worden gehouden. Bij gehard of veredeld staal moet rekening worden gehouden met het mogelijk optreden van waterstofbroosheid. Nadelen van elektrochemisch aangebrachte lagen zijn de in het algemeen minder goede hechting in vergelijking met de hierna genoemde lagen en de relatief geringe weerstand tegen schok- of stootbelastingen, zoals deze bijvoorbeeld bij ponsen optreden.

- diffusielagen zoals nitreer-, nitrocarboneer-, carboneer- en carbonitreerlagen. Dit zijn lagen die bij verhoogde temperatuur worden aangebracht, waardoor de eigenschappen van het basismateriaal mogelijk (ongunstig) worden beïnvloed. Nitreertemperaturen lopen van 450 tot 520 °C. Nitreeren wordt bij voorkeur toegepast op geharde of veredelde staalkwaliteiten welke voldoende ontlaatbestendig zijn.

Nitrocarboneertemperaturen lopen van 550 tot 580 °C. De maatveranderingen bij het nitreeren en nitrocarboneeren bedragen slechts 10 tot 20 µm. Maatveranderingen tengevolge van het proces treden in principe nauwelijks op, omdat er geen structuromzettingen plaatsvinden. Tengevolge van inwendige spanningen, ongelijkmatige temperatuurverdeling tijdens opwarmen en afkoelen kunnen wel vormveranderingen ontstaan. Het verdient daarom aanbeveling vooraf spanningsarm te gloeien en eventuele vormverandering te corrigeren.

Nitreer- en nitrocarboneerlagen worden in principe niet nabewerkt, hooguit gepolijst.

Carboneren en carbonitreren vinden plaats op een temperatuur boven de 850 °C, gevolgd door een normale hardingsbehandeling (afschrikken in olie of zoutbad). De maatveranderingen bij het carboneren en carbonitreren zijn daarom vergelijkbaar met die van een hardingsbehandeling.

- PVD (physical vapour deposition) lagen; bij dit proces worden op relatief lage temperatuur (circa 400 tot 500 °C) in het algemeen keramische lagen, zoals titaannitridelagen aangebracht. Deze lagen zijn dun (1 tot 4 µm), zeer hard en slijtvast.
- CVD (chemical vapour deposition) lagen; ook bij dit proces worden veelal keramische lagen, zoals titaancarbid en titaannitride lagen aangebracht met een dikte van enkele µm's. Het nadeel van dit proces is de hoge procestemperatuur, nl. 750 tot 1.000 °C, gevolgd door harden, zodat met relatief grote maat- en/of vormveranderingen rekening moet worden gehouden.

Wordt gebruik gemaakt van oppervlaktelagen, dan moet worden bedacht dat deze lagen vooral de oppervlakte-eigenschappen wijzigen. Dit betekent dat het dragend vermogen moet worden geleverd door het basismateriaal. Is het dragend vermogen van het basismateriaal onvoldoende, dat wil zeggen dat er onder de heersende belastingen plastische deformatie optreedt, dan kan de aangebrachte laag uitbreken (eierschaaleffect).

Bij de materiaalkeuze en eventuele warmtebehandeling zal dus rekening moeten worden gehouden met het type laag dat aangebracht gaat worden.

Deel III Hulpstoffen

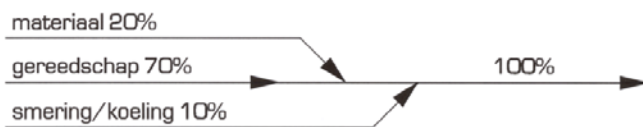
Hoofdstuk 13

Inleiding hulpstoffen

In dit deel worden smeermiddelen, het reinigen van metaaloppervlakken en conserveringsmiddelen behandeld. Centraal staan daarbij de smeermiddelen.

Tijdens het omvormen treedt intensief contact op tussen het productmateriaal en het gereedschap. Zonder smering kan wrijving en slijtage t.g.v. dit contact ernstige verstoring van het omvormproces veroorzaken. Hierdoor is een nauwkeurig en reproduceerbaar procesresultaat niet haalbaar. In het ergste geval kan het gereedschap zelfs bezwijken.

Het ontwerp en de kwaliteit van het gereedschap, de keuze en constante kwaliteit van het productmateriaal bepalen voor 90% een goed verloop van het omvormproces. De resterende 10% is afhankelijk van de juiste smering en/of koeling (zie figuur 13.1).



figuur 13.1 Schematische weergave van de invloed van gereedschap, productmateriaal en smering op het omvormproces

Koeling bij omvormprocessen is primair belangrijk voor de maatnauwkeurigheid van de gereedschappen en daarmee de gevormde producten

Smering, in welke vorm dan ook, kan slechts in beperkte mate procesfouten verbeteren of geheel teniet doen. Smeermiddelen passen als zodanig in de categorie "hulpstoffen". Een smeermiddel kan het resultaat, met name de standtijd van een gereedschap, echter wel degelijk positief of negatief beïnvloeden.

Wanneer de juiste procesparameters zijn gevonden en ongewijzigd blijven, zal een eenmaal geselecteerd smeermiddel zijn functie blijven vervullen. Treden er echter wijzigingen op, zoals bijvoorbeeld een verandering in het productmateriaal, dan wordt de procesbalans verstoord. Een voorbeeld is het vervangen van staal door verzinkt staal. Vaak moet dan een smeermiddel met een andere samenstelling worden gekozen.

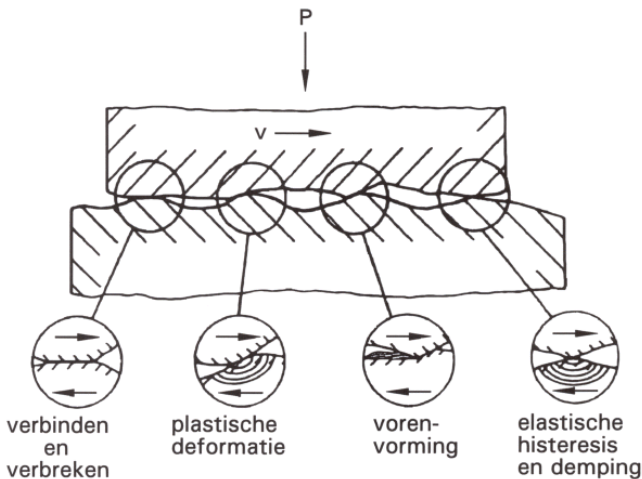
Een andere categorie hulpstoffen vormen de conserveringsmiddelen. De meeste vloeistoffen hebben ook enige smerwerking, voor zwaardere omvormbewerkingen echter nooit genoeg. Een bijzondere klasse smeermiddelen zijn de zogenaamde pre-lubes. Dit zijn zowel smer- als conserveringsmiddelen. Ze worden veelal gebruikt als conserveringsolie op de plaat zoals geleverd door de walsen.

Hoofdstuk 14

Smeermiddelen

14.1 Inleiding

In het algemeen kan worden gesteld, dat bij het omvormen de wrijving wordt veroorzaakt door het intensieve contact tussen het productmateriaal en het gereedschap (zie figuur 14.1).



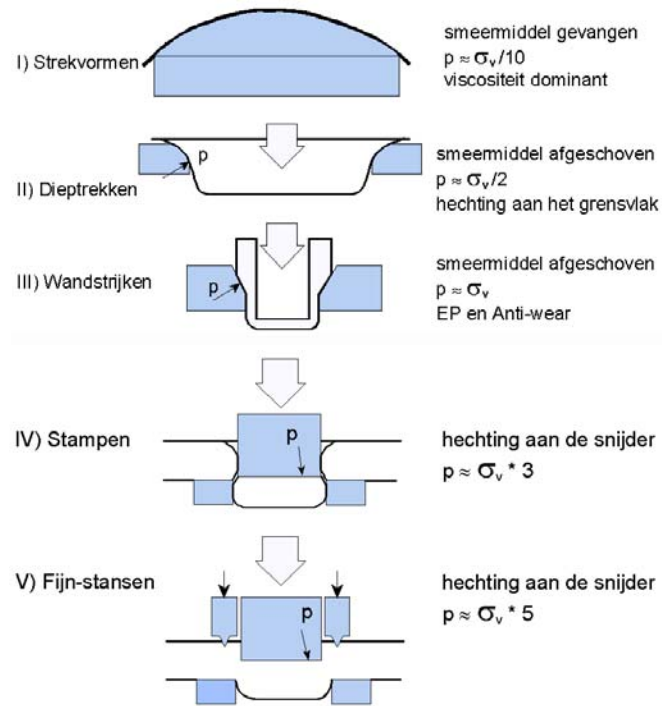
figuur 14.1 Verschillende vormen van contact tussen het productmateriaal en een gereedschap. Het gereedschap beweegt onder een druk P en met een snelheid v langs het productmateriaal

De contactdrukken bij het omvormen zijn in het algemeen zo hoog, dat plaatselijk metaal-metaal contact optreedt (zie ook figuur 14.2). Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld zwevende contacten, zoals optreden in glijlagers, kogellagers en tandwielen (bij voldoende snelheid).

De wrijving kan worden verminderd door het 'directe' contact te verminderen of, indien mogelijk, volledig te voorkomen. Met andere woorden, tussen het gereedschap en het productmateriaal moet een scheiding worden gecreëerd. Door gebruik te maken van een scheidingshulpstof (een smeermiddel) kan deze scheiding worden bewerkstelligd.

Een juiste keuze van het smeermiddel verlaagt de wrijving en de temperatuur van het gereedschap tijdens het omvormen. Het voorkomt aanladen van het product (zie § 8.2), reduceert de totale benodigde energie en bevordert een regelmatig en nauwkeurig procesverloop.

De gebruikte smeermiddelen variëren van olie, emulsies, vetten en pasta's tot lakken en folies.



figuur 14.2 Typische contact-druk als functie van de omvormbewerking bij diverse omvormprocessen

In tabel 14.1 wordt een overzicht gegeven van de functie van de smering en de toegepaste soorten smeermiddel voor verschillende omvormprocessen.

De basis van de klassieke smeermiddelen is minerale olie. Oliën zijn bijna altijd mengsels van diverse stoffen. In smeermiddelen vinden we onder andere minerale olie, vetzuren, dierlijke en plantaardige vetten, zepen en alle synthetische equivalenten van deze stoffen. Dan wordt nog niet eens gesproken over dopes, die koudlassen voorkomen, roestbescherming geven of van de smeermiddelen die met water vermengd kunnen worden.

Olie en water zijn onder normale omstandigheden niet mengbaar. Door het toevoegen van emulgatoren is het echter wel mogelijk olie en water te mengen, waarbij er een emulsie ontstaat.

Men onderscheidt emulsies van water in olie en omgekeerd (zie § 14.4). Emulsies hebben een beter koelende werking dan zuivere oliën.

In geval van zware omvormprocessen worden ook pasta's gebruikt. Ook folies zijn bekend voor bijvoorbeeld roestvast staal. Daarbij heeft het een dubbele werking: wrijvingsverlaging bij het omvormen en transportbescherming van het oppervlak bij (intern) transport van delen.

tabel 14.1 Rol van de smering en toegepaste smeermiddelen voor een aantal omvormprocessen

omvormprocessen	gevraagde functie van de smering			soort smeermiddel
	wrijving verlagen	koelen ¹⁾	aanladen voorkomen	
dieptrekken - stempel - matrijs/plooihouder	-/□ +	- -/□	-/□ +	emulsies, oliën, vetten; bij roestvast staal en Al. ook folie
strekken - stempel - matrijs/plooihouder	+ +	- -/□	-/□ +	emulsies, oliën; bij roestvast staal en Al. ook folie
vrijbuigen - matrijs/inloopradius	- ²⁾	-	-	dunne oliën; bij roestvast staal en Al. ook folie
strijkbuigen	□	-	□	
ponsen	-/□	+	+	zware emulsies en oliën
duntrekken	-/□	+	+	fijn disperse emulsies

+ = belangrijk; □ = minder belangrijk; - = niet belangrijk
¹⁾ belangrijker naarmate de omvormsnelheid hoger is.
²⁾ belangrijker naarmate de verhouding van inloopradius en plaatdikte groter is.

Het verwijderen van de folie voor gebruik is een moeilijk karwei en dus weer een nadeel.

Er worden ook smeermiddelen op basis van vluchtige oplosmiddelen (zoals isoparafinische koolwaterstoffen) gebruikt. Dat gebeurt bijvoorbeeld bij de fabricage van onderdelen voor elektrische apparaten en televisies en bij het rolvormen van voorgelakte band. Een voordeel is dat het product na het omvormen niet gereinigd hoeft te worden. Nadeel is dat de stoffen onverbrand verdampen, daarom worden deze stoffen in de toekomst steeds verder verboden. Beter bekend als de wetgeving om VOC (Volatile Organic Components) te beperken.

Aan de basis-olie of emulsie worden additieven toegevoegd. Dat zijn chemicaliën om bijvoorbeeld de hechting van het smeermiddel op het productoppervlak te verbeteren. Ze worden toegevoegd in concentraties van enkele ppm's tot circa 25%.

14.2 Basis-olie

De (basis)olie waarvan wordt uitgegaan bij de vervaardiging van de meeste smeermiddelen kan bestaan uit meerdere oliën, die verschillend van aard en oorsprong zijn, namelijk:

- ▶ minerale olie, verkregen door de raffinage van aardolie;
- ▶ synthetische olie, via chemische processen verkregen uit minerale en anorganische bestanddelen;
- ▶ plantaardige olie, gewonnen uit koolzaad, noten (kokos), soja, enz.;
- ▶ dierlijke olie, afkomstig uit dierlijk vet en vis.

Deze oliën kunnen worden gemengd in iedere denkbare verhouding en aldus ontstaat dan een basis-olie.

Al dan niet samengesteld of puur, varieert de vloeibaarheid van basis-olie van waterdun tot stroperig dik. De term voor de aanduiding van vloeibaarheid is de viscositeit (zie § 14.4).

De viscositeit van een olie verdient veel aandacht. Een dikke olie (hoge viscositeit) wordt minder snel weggedrukt tussen gereedschap en productmateriaal, dan een dunne olie (lage viscositeit). Een dikke olie zorgt daardoor voor een betere scheiding tussen gereedschap- en productmateriaal.

Een veel gebruikte eenheid voor de viscositeit is de kinematische viscositeit: mm^2/s . Voor de introductie van het SI-eenheden stelsel werd de centiStoke (cSt) gebruikt. Gelukkig is $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Evenals de temperatuur op meerdere manieren kan worden bepaald en aangegeven (Celsius, Fahrenheit, Kelvin, Reomur), is ook voor de meting van de vloeibaarheid in het verleden een aantal methoden ontwikkeld. In Europa hanteerde men als norm daarvoor graden Engler, terwijl in Engeland en de Verenigde Staten de vloeibaarheid werd uitgedrukt in: Saybolt Universal Seconds (SUS) of Redwood No. 1. Sinds een aantal decennia zijn de meest algemeen gebruikte methoden voor bepaling van de viscositeit, die van Stokes.

De viscositeit is temperatuurafhankelijk. Daarom wordt bij de viscositeit van een olie aangegeven bij welke temperatuur deze is gemeten. Het meeste gebruikt is het resultaat gemeten bij 40° Celsius. De viscositeit wordt aangegeven met: $25 \text{ mm}^2/\text{s}$ bij 40 °C.

Wanneer de temperatuur van de olie wordt verhoogd, wordt de olie dunner. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt doordat de onderlinge bewegingsvrijheid van de oliemoleculen toeneemt.

Bij het opstarten van de machine is het gereedschap nog koud en vloeit de olie nog traag. Met andere woorden, de viscositeit bij het starten is anders dan gedurende de continue productie. Wanneer olie uit een niet verwarmd magazijn wordt gehaald, dient deze voor het gebruik eerst op temperatuur te worden gebracht.

Omdat de viscositeit zo gevoelig is voor de temperatuur, is te begrijpen dat als gereedschappen opwarmen, een ander resultaat bereikt wordt. Het smeermiddel werkte goed in de proef, maar toch ontstaan scheuren bij continue productie, omdat het gereedschap is opgewarmd.

De gevoeligheid voor temperatuur wordt onder andere vastgelegd door de zogenaamde ViscositeitsIndex (V.I.). Voor definitie zie ASTM D 2270-93, DIN ISO 2909. Een gemiddelde minerale olie heeft een V.I. van "100". Olie met een V.I. van "120" wil zeggen dat deze minder snel dunner wordt dan een "gemiddelde" olie.

Zo is $V.I. = 80$ een olie die sneller dunner wordt bij toenemende temperatuur, maar ook sneller dikker bij een lagere temperatuur dan een gemiddelde olie.

Een dikke olie scheidt de oppervlakken wel goed, maar heeft ook vele nadelen:

- ▶ een dikke laag geeft veel verbruik;
- ▶ een dikke laag kan afdruipt en vervuiling van de werkvloer en volgende bewerkingen (lassen!!) veroorzaken;
- ▶ door een dikke laag smeermiddel kan de plooihouder niet goed aanliggen en kunnen kleine golven in het oppervlak ontstaan. Anderzijds kan een deel van de onvlakheid van een oud gereedschap door het smeermiddel worden opgevuld;
- ▶ een dikke laag is moeilijk homogeen op te brengen, of bijvoorbeeld te verspuiten.

Beter is het daarom een dunne laag, matig viskeus smeermiddel te kiezen, dat een hoge V.I. heeft en wrijvingsverlaging bewerkstelligt door effectieve dopes.

Voor plaatvormen worden veelal smeermiddelen met een viscositeit tussen 30 en 300 mm^2/s bij 40 °C gebruikt.

Voor een goed afgestemd proces zou een smeefilm dat de ruwheid van het plaatmateriaal bedekt voldoende moeten zijn. Effectief betekent dat voor koudgewalste plaat een laagdikte van ca 1 - 2 gr/m^2 . Voor warmgewalst gebeitste oppervlakken 3 - 6 gr/m^2 .

14.3 Additieven

Voor een goede smerende werking moet het smeermiddel zich hechten aan het product- en gereedschapoppervlak en lokaal grote drukken kunnen opnemen. Van groot belang zijn daarom de additieven die daarvoor aan de basis-olie en emulsie worden toegevoegd.

Additieven worden toegevoegd om:

- a) viscositeitsgedrag te optimaliseren.
- b) hechting aan het metaaloppervlak te verbeteren.
- c) wrijvingsgedrag bij matige contactdrukken te beïnvloeden.
- d) wrijvingsgedrag bij hoge contactdrukken te beïnvloeden (Extreme Pressure).
- e) adhesieve slijtage (koudlassen) te voorkomen (Anti Wear).
- f) roestbescherming.
- g) emulsiegedrag te krijgen van de olie.
- h) voorkomen groei micro-organismen.

Ad a) Viscositeitsgedrag

Middels speciale polymeren kan men een olie elk wenselijk viscositeitsgedrag geven, tot aan pasta's toe, met een zeer hoge V.I., om bijvoorbeeld afdruipt te voorkomen. Kortom, elk viscositeitsgedrag is mogelijk. Verder moet er rekening mee worden gehouden, dat veel materialen gevoelig zijn voor veroudering. Vooral natuurlijke grondstoffen kennen vaak een snellere veroudering dan synthetische grondstoffen. Middels anti-oxidanten kan de veroudering worden vertraagd.

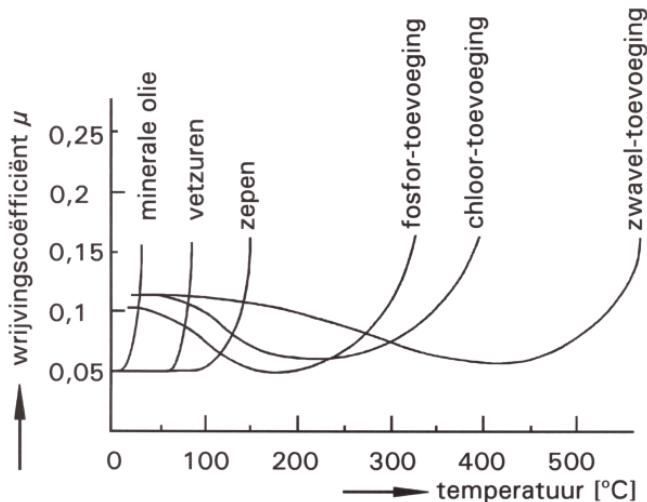
Ad b), c) Hechting aan het metaal oppervlak

Veel gebruikt zijn de zogenaamde polaire additieven. Dit zijn toevoegingen die door hechting aan het product- en gereedschapoppervlak een dunne laag vormen dat goed hoge vlaktedrukken kan opnemen. Het directe contact tussen het product- en het gereedschapmateriaal wordt

daardoor verminderd. Het meest gebruikt worden:

- esters, zoals synthetische esters, en plantaardige oliën;
- vetzuren;
- zepen.

Omdat deze media zich vooral aan de grens olie-metaal manifesteren worden ze ook wel grenslaagsmering genoemd (boundary lubrication). De effectiviteit is sterk temperatuur bepaald (zie ook figuur 14.3).



figuur 14.3 Invloed van een aantal toevoegingen bij oplopende temperatuur

Ad d),e) **Hoge-druk additieven en slijtage beperkend (EP additieven (Extreme Pressure) en Anti Wear)**

Dit zijn toevoegingen, die bij verhoogde temperatuur en/of druk, chemisch reageren met het product- en gereedschap-materiaal. Deze toevoegingen bevatten meestal chloor, zwavel of fosfor. Veel gebruikt worden:

- chloorparaffine; maar nu steeds minder in verband met milieubezwaren en het risico voor corrosie van werkstuk en gereedschap. Behalve enkele speciale Nikkellegeringen, kunnen tegenwoordig de meeste legeringen uitstekend met chloorvrije additieven worden omgevormd;
- gebonden of vrije zwavel in diverse vormen zoals gezwavelde dierlijke vetten, plantaardige esters, enz.;
- fosforkoolwaterstoffen.

De reactieproducten vormen een zeer dunne laag op het product en gereedschap die de wrijving verlaagt. Hoge druk toevoegingen worden vooral gebruikt voor het omvormen van ferro-materialen. De chemische reactie is sterker met ongelegeerd dan met gelegeerd staal (en gecoate staal-soorten).

Ad f) **Roestbescherming**

Roestbescherming voor geperste delen is een wenselijke eigenschap. Om voldoende grote series bij het afpersen mogelijk te maken, worden delen wel langere tijd bewaard. Reserve delen zelfs vele maanden. Vroeger, bij gebruik van zeer actieve chloorparaffines, moesten de delen onmiddellijk gewassen en beschermd worden. Dit gold ook voor de gereedschappen. Vaak werd niet gezien dat de oorzaak van snelle slijtage aan de gereedschappen, eigenlijk een soort van corrosie was. Tegenwoordig bieden veel smeermiddelen drie maanden roestbescherming, of zijn ze tenminste niet agressief. Anderzijds moet men begrijpen dat een hoge dosis EP-dope, die moet reageren met het oppervlak om slijtage-bescherming te bieden en bescherming tegen roesten (roestwerende middelen) niet goed samen gaan. In die gevallen blijft reiniging nodig.

Ad g,h) **emulsie/waterige systeem**

Middels een grote aantal soorten van emulgatoren is het mogelijk olie en water samen te laten gaan. Voor omvor-

men zijn de eisen duidelijk anders dan voor emulsie-systemen zoals gebruikt in de verspaning (koelsmeermiddelen). Grote verschillen zijn:

- schuimgedrag is voor het omvormen nauwelijks relevant;
- roestbescherming: zeker gegalvaniseerde plaat is erg gevoelig voor de pH van het medium;
- EP-dopes kunnen in media met een hoge pH nauwelijks actief worden.

Het selecteren van het juiste smeermiddel voor een complexe omvormbewerking is niet eenvoudig. Het verdient aanbeveling om hierbij een leverancier met kennis van productmateriaal, omvormen en chemie te betrekken.

14.4 *Bijzondere technieken*

Voor zeer zware bewerkingen worden andere technieken gebruikt dan alleen olie/vet.

Enkel voorbeelden zijn:

Zepen en fosfateren

Voor zeer zware bewerkingen, extrusie en koudsmeden van staal, wordt eerst via een nat proces een dunne fosfaatlaag over het staal aangebracht. Deze laag verzorgt een goede hechting van droge zeep, zoals Zink-Stearaat. De combinatie van fosfaatlaag en zeep is een zeer goed smeermiddel. Groot nadeel is, dat de zeep zich moeilijk laten reinigen en dat een galvanisch proces nodig is om de fosfaatlaag aan te brengen.

Een alternatief is soortgelijke additieven aan een vloeibaar smeermiddel toe te voegen. Tijdens de omvormbewerking vindt onder invloed van druk en temperatuur een lichte reactie met het metaaloppervlak plaats. Een zinkfosfaat bijvoorbeeld, hecht zich tijdens het omvormen aan het metaaloppervlak. Groot voordeel is dat op deze wijze het risico van koudlassen wordt voorkomen. Het meest gebruikt worden zeep en/of fosfaten van zink en aluminium.

Mengsels met vaste stoffen

Een zeer goede scheiding tussen oppervlakken wordt verkregen door het gebruik van vaste stoffen met een structuur die makkelijke afschuift. Bekende stoffen zijn Molybdeen-disulfide en grafiet.

Deze technieken wordt vaak gebruikt bij extrusie en koudpersen. De stof is gedispergeerd in olie of water om een goede dosering mogelijk te maken. Meestal moet de vloeistof gemengd blijven worden, omdat vaste stoffen makkelijk uitzakken. Verder zijn toch nog anti wear additieven nodig, omdat anders incidenteel materiaal-contact toch nog tot koudlasverschijnselen kan leiden. Ook wil een volledige scheiding niet zeggen dat de wrijving erg laag is. Molybdeen-disulfide heeft nog een behoorlijke wrijving.

14.5 *Terminologie*

Hierna volgt een omschrijving van een reeks begrippen die direct of indirect in verband staan met smeermiddelen. Een aantal hiervan wordt gebruikt bij de productinformatie van smeermiddelen (Technisch Informatie Blad).

- *voorkomen*
De normale aggregatie toestand (vloeibaar, vast) en kleur van een smeermiddel;
- *geur*
De specifieke reuk van een smeermiddel;
- *relatieve dichtheid*
De verhouding tussen het gewicht van een vloeistof en dat van een gelijk volume van een referentiestof (water) bij een bepaalde temperatuur (DIN 51757);
- *vlampunt*
De laagste temperatuur waarbij een vloeistof nog ontvlambare dampen afgeeft. Dat wil zeggen, dampen die ontstoken door een externe bron vlamverschijnselen geven, maar deze na het wegnemen van de externe

ontstekingsbron niet instandhouden (DIN 51376). Hoewel de Lower Explosion Limit een ander begrip is (% gas in lucht waarbij zich een explosie kan vormen), is toch het vlampunt een gerelateerd begrip. Voor vele snel verdampende vloeistoffen geldt dat bij een temperatuur gelijk aan het vlampunt de LEL bereikt wordt. Voor vloeistoffen met een vlampunt onder de 100 °C gelden speciale opslagregels en -maatregelen. Voor vloeistoffen met een vlampunt onder de 60 °C worden de regels nog strenger, omdat het gevaar voor explosie en brand nog groter is.

► **brandpunt**

De vloeistoftemperatuur waarbij de dampen ook na het wegnemen van de externe ontstekingsbron blijven branden (DIN 51376).

► **viscositeit**

Een maat voor de onderlinge weerstand die de vloeistofmoleculen ondervinden in laminaire stroming bij een bepaalde temperatuur en druk (DIN 51562).

► **concentratie**

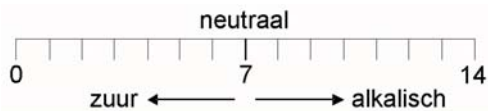
Het volume van het emulsieconcentraat, waaruit de emulsie wordt bereid, per liter water. Het geeft de sterkte van de oplossing weer. De concentratie wordt aangegeven in procenten, bijvoorbeeld 5% of met een verhoudingsgetal, bijvoorbeeld 1:5.

Regel bij toepassing van emulsieconcentraten is, dat bij aanmaak van de emulsie het concentraat aan het water moet worden toegevoegd en nooit andersom. Let op, omdat ook vaak gewichtsconcentratie gebruikt wordt (%wt (= gew. %)).

► **pH-waarde**

Een maat voor de zuurgraad. De schaal voor de pH-waarde loopt van 0 tot 14 (zie figuur 14.4). Het is gebruikelijk om bij de pH-waarde van een emulsie de concentratie te vermelden, bijvoorbeeld pH 8,9 in 5% emulsie (DIN 51369).

Extreme pH-waarden zijn gevaarlijk en kunnen bij huidcontact leiden tot irritatie of zelfs verbrandingsverschijnselen;



figuur 14.4 PH-waarden

► **bacteriën, schimmels en gisten**

Deze kunnen corrosie, stank en/of het uiteenvallen van emulsies veroorzaken. De aanwezigheid wordt vastgesteld met behulp van een kweektest op een voedingsbodem, waarop de eventuele verontreinigingen in de emulsie zich vermenigvuldigen. Het resultaat wordt bijvoorbeeld aangegeven als: bacteriën 10^3 (laag) of 10^5 (hoog);

► **KWS 2000**

Een in 1989 opgesteld convenant tussen de overheid en het bedrijfsleven met betrekking tot koolwaterstoffen. Het doel is de uitstoot van vluchtige organische stoffen door industrie, kleine bedrijven en huishoudens, in het jaar 2000 teruggebracht te hebben tot de helft van het niveau in 1981. Ook bekend als het streven naar vermindering van VOC's;

► **REACH**

Een nieuwe wetgeving om effect van nieuwe synthetische stoffen op mens en milieu beter te bepalen, voordat een stof voor de handel vrijgegeven wordt. Wetgeving wordt van kracht tussen 2008 en 2020. Dientengevolge wordt verwacht dat vele grondstoffen en half-fabrikaten niet meer beschikbaar zullen zijn in de toekomst, omdat bepalen van de schadelijkheid voor de kleine volumes zoals gebruikt in smeermiddelen te kostbaar zal zijn;

► **VOC/VOS**

Volatile Organic Components/Vluchtige Organische stoffen: verdampende stoffen, zoals bijvoorbeeld verdwijnt-olie die, als ze onverbrand verdampen, schadelijk zijn voor het milieu. In de EG richtlijn 1999/13/EG 11 maart 1999 staat dat organische stoffen met een dampdruk bij 20 °C groter dan 0,1 mBar tot de VOC gerekend worden. Het beleid van de overheid is erop gericht het gebruik van deze stoffen te minimaliseren (zie KWS 2000). Hoewel niet helemaal exact, is een handige vuistregel dat producten met een vlampunt < 100 °C in het algemeen tot de VOC stoffen gerekend moeten worden. Inclusief de bezwaren, zoals gemeld bij "vlampunt", dus een extra rede om dit soort middelen minder te gebruiken;

► **skimmer**

Apparatuur die wordt gebruikt om opdrijvende olie- en vetlagen bij emulsiebaden te verwijderen. Hiervan bestaan schijf-, band-, slang- en drijvende uitvoeringen. De slang-skimmer geeft het beste resultaat (to skim = afschuimen, afromen);

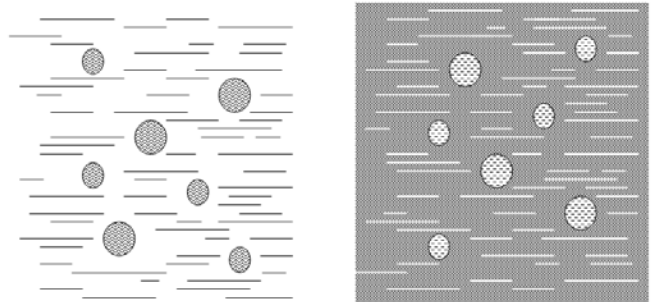
► **emulsie van olie in water**

Water met daarin fijn verdeelde oliedeeltjes (inclusief toevoegingen), zie figuur 14.5.

De oliedeeltjes zijn watermengbaar gemaakt met een emulgator met een hydrofoob en hydrofiel deel.

► **emulsie van water in olie**

Olie met daarin fijn verdeelde waterdeeltjes (zie figuur 14.5).



figuur 14.5 Type emulsies: links = olie in water (zoals bijv. melk); rechts = water in olie (invert emulsie zoals bijv. Mayonaisse)

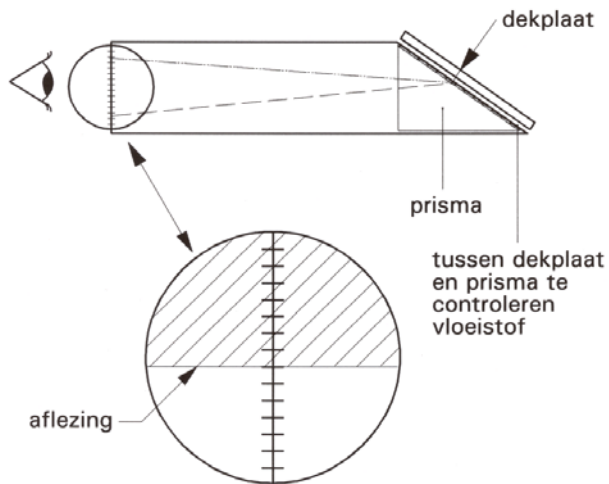
► **oplossingen**

Men spreekt van een oplossing wanneer een stof (vast of vloeibaar) in een vloeistof geheel uiteengevallen en gemengd is. Een voorbeeld is een "zout in water" oplossing.

► **handrefractometer**

Dit is een eenvoudig te gebruiken meetinstrument ten behoeve van de dagelijkse controle van de concentratie van emulsies en oplossingen (zie figuur 14.6). Stoffen die oplossen in water veranderen de brekingsindex. De mate van verandering is evenredig met de concentratie van de opgeloste stof. Het resultaat wordt aangegeven als een Brix-waarde, waaruit via een vermenigvuldigingsfactor of curveblad de werkelijke concentratiewaarde wordt berekend. 1° Brix is een verandering van de brekingsindex, die men vindt na het toevoegen van 1 gram suiker aan 100 gram water. De Brix-schaal wordt ook wel "suiker"-schaal genoemd. Bijvoorbeeld, de meting geeft een Brix-waarde van 6° aan, terwijl de vermenigvuldigingsfactor 0,9 is. Dan volgt daaruit een concentratie van 5,4%.

Let wel op, want bij een gebruikte emulsie zal andere vervuiling ook effect op de refractie index hebben. Mogelijk wordt dan een verkeerde waarde gemeten.



figuur 14.6 Principe van een handrefractometer

► *WCA*

De Wet op Chemisch Afval, voorziet in de regelgeving voor een legale en verantwoorde wijze van afvoeren van onder andere chemicaliënhoudend scheepsafval, fotochemisch afval, verontreinigde grond, afgewerkte olie, enz. Een overzicht van de verschillende categorieën chemisch afval en een landelijke lijst van inzamelbedrijven voor chemisch afval zijn verkrijgbaar bij het ministerie VROM.

Hoofdstuk 15

Praktisch gebruik van smeermiddelen

15.1 Inleiding

In het algemeen zijn de verbruikte volumes van smeermiddelen niet groot. Om alle delen voor een personen-auto af te persen is minder dan 0,4 liter olie nodig, en daarbij is de tijdelijke roestbescherming al meegerekend. In verband met logistieke verdeling en omdat smeermiddelen veelal op verschillende locaties binnen een bedrijf worden gebruikt, vindt de levering meestal plaats in vaten.

Vanuit het centraal opgestelde vat worden kleinere hoeveelheden overgetapt in, bij voorkeur schone en droge, blikken of emmers voor gebruik aan de pers. Wanneer gebruik wordt gemaakt van een emulsieconcentraat, gebeurt het mengen nog vaak op het oog. Dit bemoeilijkt het aanhouden van de voorgeschreven concentratie. Met eenvoudige hulpapparatuur voor het mengen, bijvoorbeeld een Curtis® mixer en refractometer, zie § 14.4), is het mogelijk om het mengen professioneel, zonder verspilling en met de juiste dosering uit te voeren.

15.2 Voorbereiding

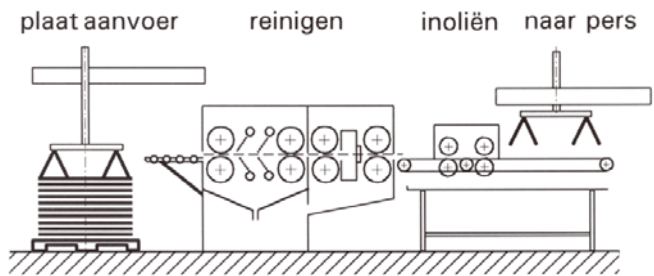
Onbekleed staal is in het algemeen van een corrosiewerende olie voorzien. Voorgelakte plaat of band, verzinkt staal en non-ferro metalen worden 'droog' geleverd. Ze zijn soms aan de knip- of snijkant voorzien van een corrosiewering of edge sealer (kantenbescherming).

In principe is het materiaal zoals aangeleverd door de walserij erg schoon. De olie op het oppervlak is meestal een pre-lube, die zowel smering voor veel processen biedt als roestbescherming. Door navolgende bewerkingen, zoals knippen en "handling" kunnen metaalsplinters, stof en vuil zich op het plaatoppervlak verzamelen.

Om deze te verwijderen worden voor oppervlakte-critische delen de platines gereinigend vlak voordat ze de pers ingaan (zie ook figuur 15.1).

Dit "platine-wassen" is meestal niet ontvetten, maar afborstelen, al dan niet ondersteund door een dunne wasolie. Reinigen met waterige afwasmiddelen komt ook voor, maar is zeer zeldzaam.

Kritisch bij het reinigen zijn de rollen aan de uitgaande zijde. Deze moeten zorgen voor een goede evenredige laagdikte van de olie. 1 - 2 gr/m² is de streefwaarde.



figuur 15.1 Schematische weergave van het vooraf reinigen van plaat of band

Voordelen van het reinigen

- ▶ evenredige verdeling van de olie/smeermiddel;
- ▶ minder slijtage door het inbedden van hard stof en metaal splinters van het snijden van het gereedschap;
- ▶ minder oppervlaktebeschadigingen van het product;
- ▶ beter reproduceerbaar proces.

Nadelen van het reinigen

- ▶ vereist een extra handeling;
- ▶ reinigingskosten, waaronder olieconsumptie en onderhoudskosten van borstels en rollen.

De beslissing om al dan niet vooraf te reinigen, is sterk afhankelijk van het omvormproces, de nabewerkingen en de uiteindelijke productfunctie.

Voor zeer zware omvorming wordt plaatselijk nog extra smeermiddel, meestal hoog viskeus, opgesprayd (zogenoemde spotbevetting). Voordeel is een laag verbruik en plaatselijk kan de wrijving beïnvloed worden.

Voor een goede smering moet de smeerolie goed hechten op de wasolie/corrosiebeschermingsolie.

Het kan voorkomen dat de dikkere smeerolie van de dunne wasolie afloopt. Bij gebruik van emulsies is de hechting aan het olieachtige oppervlak ook moeilijk. Daarom zijn de emulsies die voor het omvormen worden gebruikt, duidelijk anders dan de koelsmeermiddelen die voor het verspanen worden gebruikt.

15.3 Aanbrengen

Voor een goede, ongestoorde productie is het noodzakelijk dat het smeermiddel steeds in de juiste dosering, en bij gebruik van een emulsie, ook in de juiste concentratie, wordt aangebracht. Dit is goed uitvoerbaar, wanneer de juiste hulpapparatuur wordt gebruikt.

In tabel 15.1 wordt een overzicht gegeven van de meest gebruikte aanbrengmethoden. Overigens wordt het smeermiddel na het passeren van de richt- en aanvoerapparatuur aangebracht, vlak voor de omvormbewerking.

tabel 15.1 Verschillende methoden voor het aanbrengen van een smeermiddel

aanbrengmethode		watermengbare smering			niet watermengbare smering				folie
		dunne emulsie	dikke emulsie	zeep-oplossing	dunne olie (70 cSt)	dikke olie (70-350 cSt)	vet	pasta	
handmatig	kwast/roller	+	+	+	+	+	+	+	-
	vernevelen	+	□	□	+	+	-	-	-
	dompelen	+	□	+	□	-	-	-	-
	kleven	-	-	-	-	-	-	-	+
mechanisch	rollen	+	+	+	+	+	□	□	-
	druppelen	+	□	□	□	-	-	-	-
	vernevelen	+	□	□	+	+	-	-	-
	dompelen	+	□	□	+	-	-	-	-
	kleven	-	-	-	-	-	-	-	+

+ = toepasbaar; □ = beperkt toepasbaar; - = niet toepasbaar

Vooral dunne emulsies en oliën kunnen met goed resultaat, door middel van vernevelen, met goed gerichte nozzles, worden aangebracht.

Met elektrostatische vernevelapparatuur kan het smeermiddel met een nauwkeurige dosering en positionering worden aangebracht. De nevel vormt nagenoeg geen belasting voor de omgeving. Deze methode is geschikt voor toepassing van emulsies en oliën met een viscositeit van 10 tot 350 cSt/40°C.

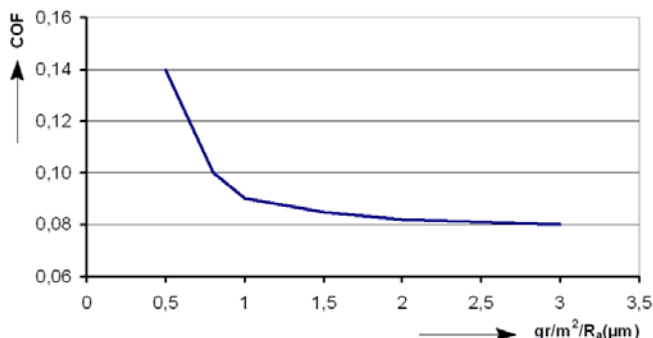
Door de dosering van smeermiddelen nauwkeurig te regelen en constant te houden, worden niet alleen de directe kosten gereduceerd, maar ook de bijkomende kosten van bijvoorbeeld het reinigen en verwijderen van lekolie van de werk- en opslagvloer.

Te veel aangebracht smeermiddel leidt tot extra vervuiling van het gereedschap en kan het product beschadigen (indrukkingen door opgehoopt vet). Verder vervuiling van lasmatten en veel rook. Ook hier geldt dat overdaad schaadt.

De dosering van smeermiddelen wordt vaak in gr/m^2 plaatoppervlak opgegeven. Aangezien de soortelijke massa van olie meestal 0,8 - 1,1 is, is 1 gram ook ongeveer 1 ml. Zo doende kan dus als vuistregel genomen worden: 1 gr/m^2 is 1 ml/m^2 geeft een laagdikte van 1 μm .

Een goede denkwijze is de oliefilm te definiëren in verhouding tot de ruwheid.

Als de ruwheid eenmaal met olie is gevuld, heeft "meer" olie niet veel effect meer op de wrijving (zie figuur 15.2).



figuur 15.2 Effect van olielaagdikte op de wrijving als functie van de relatieve laagdikte

15.4 Reinigen na het omvormen

Bij reinigen (wassen) worden vuil en stof, olie en vet (geheel of gedeeltelijk) verwijderd. Reinigen moet niet worden verward met ontvetten. Bij ontvetten worden alleen oliën en vetten verwijderd, niet noodzakelijk ook het vuil en stof.

In het algemeen moeten de producten na het omvormen worden gereinigd. Een uitzondering is, wanneer er bijvoorbeeld geen smeermiddel of verdampende dunne olie is gebruikt. Wordt lang gewacht met reinigen, dan kunnen problemen ontstaan als de olie geen roestbescherming biedt, of als deze gevoelig is voor veroudering.

Aangezien in het kader van KWS 2000 (zie § 14.4) het gebruik van oplosmiddel gebaseerde reinigingssystemen (TRI, PER, enz.) moet worden teruggedrongen, worden hierna alleen waterige reinigers behandeld.

Afhankelijk van de functie van het reinigen wordt het wasproces gekozen:

- ▶ verwijderen van overtollig smeermiddel (bijvoorbeeld voor roestvast staal, of in verband met lassen);
- ▶ chemisch reinigen van het oppervlak als voorbereiding voor lakken of metal bedekking (zink, nikkel, enz.);
- ▶ roestbescherming voor tussentijdse opslag.

Voor een optimale reiniging is vaak spoelen van het oppervlak nodig na het reinigingsbad.

Door het spoelen in een aantal stappen te doen, kan het waterverbruik geminimaliseerd worden. Dit heet het zogenaamde cascade systeem.

Het reinigingsbad zelf bestaat meestal uit water met daarin opgelost het wasmiddel (in vaste of vloeibare vorm). De reinigers worden toegepast bij verschillende temperaturen. Van omgevingstemperatuur tot ongeveer 80 °C. Er is een tendens om de reinigingstemperatuur te beperken tot maximaal 60 °C.

De reinigers worden ingedeeld naar:

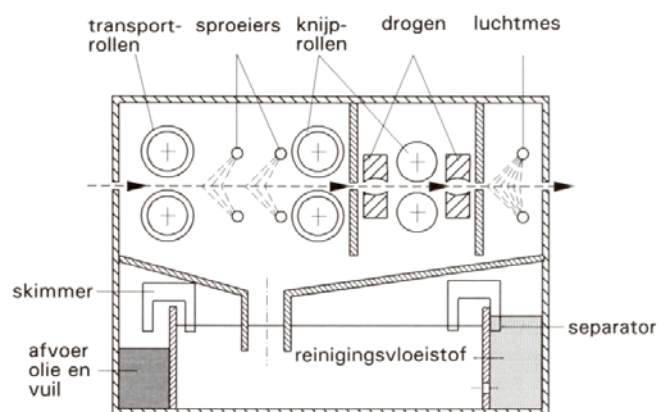
- ▶ pH-waardegebied: zuur - neutraal - alkalisch (zie figuur 14.4);
- ▶ sproei of dip reinigers;
- ▶ met of zonder roestbescherming.

Tijdens het reinigingsproces worden de producten ondergedompeld, gesproeid, of ondergaan een combinatie van beide, waarbij de bestanddelen van de reiniger gedurende 3 tot 15 minuten hun werk doen. Het te verwijderen vuil, olie of vet wordt dan afgewassen en meegenomen door het waswater.

Het reinigingsbad heeft echter een beperkt opnamevermogen voor oliën en vetten. Wanneer de oliën en vetten niet regelmatig worden verwijderd, of de inhoud van het bad niet wordt ververs, zullen na verloop van tijd de producten er even vet uitkomen als dat ze er in zijn gegaan.

Een aantal reinigers bezit de eigenschap om opgenomen oliën en vetten los te laten, nadat het waswater tot stilstand is gekomen. Door hun lagere soortelijke massa gaan de oliën bovenop het bad drijven en kunnen vervolgens door middel van een skimmer (zie § 14.4) of een vacuümzuiger worden verwijderd. Daar de afvoer van de inhoud van reinigingsbaden onder de Wet Chemisch Afval (WCA, zie § 14.4) valt, kunnen op deze manier kosten worden bespaard. Dit proces werkt alleen als de reiniger en het smeermiddel goed samen werken.

De benodigde reinigingsinstallaties zijn in diverse uitvoeringen - van eenvoudig tot zeer complex - bij meerdere leveranciers verkrijgbaar (zie figuur 15.3). Men onderscheidt onder andere dompel- en sproei-installaties of combinaties daarvan.



figuur 15.3 Voorbeeld van een reinigingsinstallatie

Algemeen kan worden gezegd dat het transport en de tussenopslag van producten een grotere kostenpost zijn dan de reiniging zelf. Het is gunstig als de reinigingsinstallaties in lijn opgesteld kan worden. Tussentransport kan dan worden beperkt of volledig vervallen. Indien voor zo'n opstelling wordt gekozen, dienen de machines en meetgereedschappen extra aandacht te krijgen in verband met de verhoogde luchtvochtigheid in de directe omgeving.

Na het reinigen moeten de producten drogen. Dit kan op een aantal manieren gebeuren, bijvoorbeeld met warme

lucht, door middel van een lichte onderdruk, of door afblazen met een luchtmes. Wanneer er is gewassen op een verhoogde temperatuur, kan men de producten gewoon laten opdrogen. Daarbij moet erop worden gelet dat bij holle producten of in eventuele blinde gaten geen waswater achterblijft.

Na het reinigen en drogen zijn vooral stalen producten gevoelig voor corrosie. Er is geen olielaagje meer dat voor roestbescherming zorgt. Een aantal reinigingsmiddelen bezit een kortdurende corrosiebescherming van 8 à 10 dagen bij binnenopslag. Dit kan een voordeel zijn, maar een nadeel hiervan is, dat er reinigingsmiddel op het oppervlak achterblijft. Bij aansluitende oppervlaktebehandelingen kan dat een storende invloed hebben. Bij de keuze van reinigingsproces en -middel moet men dus het de hele proces in ogenschouw nemen, inclusief de afvalstromen.

Hoofdstuk 16

Corrosiebescherming

16.1 Bij opslag en verzending zonder reinigen

Wanneer de producten na het bewerken niet zijn gereinigd, moet het smeermiddel voor de corrosiewering zorgen. Bedenk dat op bepaalde plaatsen op het oppervlak het smeermiddellaagje erg dun kan zijn geworden. Verder veroorzaken actieve EP dopes ook vaak vlekken, als de olie lang op het oppervlak blijft.

Een grote groep moderne oliën, pasta's en vetten bezitten een redelijke tot goede corrosiewering. Bij langdurige opslag en/of (zee)transporten kan alleen een goede bescherming worden verkregen door de producten te reinigen en vervolgens van een goede corrosiewering voorzien.

Smeermiddelen voor staal hebben een redelijke corrosiewering, vooral sinds deze geen chloorparaffine meer bevatten. Chloorparaffine trekt vocht uit de lucht aan. Dat veroorzaakt vooral bij onbekleed staal corrosie tijdens de opslag.

De beschermtijd van klassieke emulsies bij binnenopslag is maximaal 2 à 3 weken, van oliën 3 à 4 maanden.

Oliën en emulsies voor aluminium en koper(legeringen) bevatten toevoegingen (inhibitoren) om verkleuring en oxidatie te voorkomen.

Overigens moet men met het oog op vlekken erop letten dat opslag en transport van producten uit aluminium en koper(legeringen) niet in of op onbedekt hout of (gegalvaniseerd) staal plaatsvinden.

Het is belangrijk dat men zich realiseert dat een stapel nog niet omgevormde platen anders reageert in een corrosief milieu dan een rek omgevormd producten. Van de stapel wordt alleen de zijkant en de bovenste plaat aangetast.

Van een omgevormd product zijn vooral de horizontale vlakken en de bovenzijde erg kwetsbaar. Dit komt omdat uit de lucht kleine verontreinigen op het oppervlak kunnen vallen die de corrosie sterk bevorderen. Vooral berucht is roet van vrachtwagens of intern transport en bouwstof.

Wil men vaststellen hoelang een product tegen corrosie beschermd is, dan kan dat eenvoudig door enkele omgevormde producten daadwerkelijk in de betreffende hal op te slaan. Beruchte maanden zijn het voorjaar (maart - mei) of het najaar (september - november).

16.2 Bij opslag en verzending met reinigen

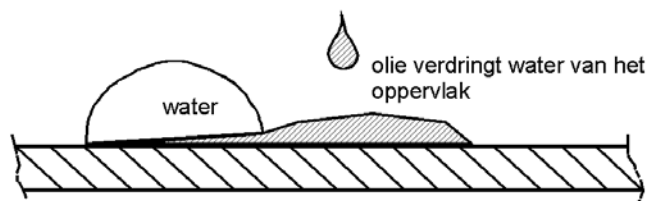
In het voorgaande is uitgegaan van corrosiewering door het achtergebleven smeermiddel. In deze paragraaf wordt de situatie behandeld waarin een gereinigd product wordt geëist, voorzien van een corrosiewering.

Warme lucht kan meer vocht opnemen dan koude lucht. De omgeving van de net gereinigde, nog warme producten zal een verhoogde vochtigheid hebben. Daarom is het

noodzakelijk om voor het aanbrengen van een corrosiewerend middel - in welke vorm dan ook - de producten af te koelen met geforceerde lucht of onder licht vacuüm.

De conventionele corrosiewerende oliën vormen een dunne isolerende laag. Ze zijn verkrijgbaar in oplopende viscositeiten, uiteenlopend van waterdunne tot stroperig dikke oliën en vetten met een al evenzo grote verscheidenheid in beschermingsduur (zie tabel 16.1).

De dunvloeibare kwaliteiten bezitten daarbij in het algemeen waterverdringende eigenschappen (zie figuur 16.1). Dat wil zeggen, dat als ze over een nat oppervlak aangebracht kunnen worden. Het water wordt niet ingesloten, maar vormt druppels boven op de olielaag. Bij vlakke producten, zoals bijvoorbeeld vierkante buizen, moeten de buizen wel droog zijn als de buizen gebundeld worden, omdat anders deze waterdruppels ingesloten worden en zo corrosie kunnen veroorzaken in de bundel.



figuur 16.1 Waterverdringende corrosiewerende olie

Corrosiewerende oliën met hogere viscositeit daarentegen zijn niet waterverdringend en mogen alleen aangebracht worden op een schoon en droog oppervlak.

Non-ferro metalen vereisen in het algemeen corrosiewerende oliën van een iets andere samenstelling. Dat is met name het geval voor koper(legeringen), onder andere om vlekken te voorkomen.

Naast deze pure oliën en vetten bestaan er concentraten, die gemengd met water - dus als corrosiewerende emulsie - kunnen worden ingezet ten behoeve van tussenopslag, met een beschermingstijd van 6 tot 8 weken bij binnenopslag.

Dunne corrosiewerende pure oliën geven een dunne film met een kortere beschermingsduur, in vergelijking met de soorten met een hogere viscositeit en de corrosiewerende vetten. Dit wordt dan veroorzaakt door de dikte van de beschermingslaag. Door andere verschillen in samenstelling, kunnen dunne lagen toch erg effectief zijn.

Dunne waterverdringende oliën met een beschermingsduur van 6 tot 12 maanden bij binnenopslag, zijn in principe niet geschikt voor buitenopslag, maar wel voor transport (mits verpakt).

De producten zoals aangeboden door diverse fabrikanten kunnen duidelijk verschillen van de gegevens in tabel 16.1. Advies van een specialist is wenselijk. Soms moet het corrosiewerend middel weer afgewassen worden, soms moet het geabsorbeerd kunnen worden door een verlijming, enz.

tabel 16.1 Corrosiewerende middelen, een eerste indicatie

corrosiewerend middel		bescherming		gemiddeld vlampunt [°C]	gemiddelde laagdikte [mm]	verbruik [gr/m ²]	geschikt voor transport
		binnen	buiten				
emulsie		6 à 8 weken	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	45	neen
olie	lage viscositeit, waterverdringend	6 à 12 maanden	1 maand	60 - 80	0,003 na drogen	20	beperkt
	gemiddelde viscositeit, niet waterverdringend	1 jaar	3 maanden	> 120	0,02	25	ja
	hoge viscositeit	2 jaar	1 jaar	> 150	0,1	100	ja

Producten met een laag vlampunt ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) zullen op termijn erg duur worden en mogelijk verboden, omdat deze meestal onder de VOS-wet vallen. Waterverdringing is ook mogelijk met producten met een vlampunt boven de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

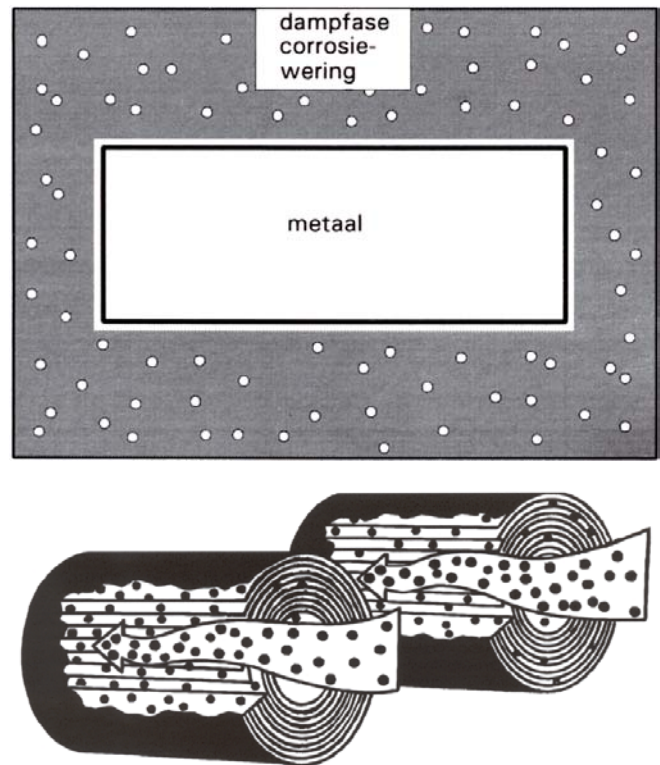
Het is beter om nu al producten met een vlampunt $< 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ te vermijden, in verband met gevaar voor explosie, brand en inademen van dampen.

Oliën met een hogere viscositeit, en vetten met een beschermingsduur tot één jaar bij buitenopslag, geven bij binnenopslag een veel langere bescherming. In de praktijk blijkt dat voor producten een corrosiewerende olie met lage viscositeit veelal voldoende is, terwijl voor de opslag van het gebruikte omvormgereedschap de zwaardere oliën en vetten worden gebruikt.

Een bijzondere vorm van corrosiewering is dampfase corrosiewering (zie figuur 16.2). Deze wordt toegepast in een afgesloten ruimte, (vaak de verpakking) waarin het corrosiewerende middel uitdampt en een laagje vormt op het product. Een voordeel is dat de producten droog blijven en zo direct inzetbaar zijn voor nabewerkingen, zoals lakken. De maximale beschermingsduur is twee jaar onder voorwaarde dat de verpakking gesloten blijft.

Bij het verpakken van de producten dient te worden gelet op de kwaliteit van het verpakkingsmateriaal, aangezien de zuurgraad van papier, karton en hout een nadelige invloed op de corrosiebestendigheid van metalen kan hebben.

Net als bij smeermiddelen pakt bij corrosiewerende oliën de regel 'veel is goed' totaal verkeerd uit. Los van het economische aspect, kan dit op of rond de plaats van aanbrengen een 'smeer'-boel veroorzaken. Mogelijke gevolgen zijn bijvoorbeeld uitglijden of het wegdruijen van (het teveel aan) olie in bijvoorbeeld kabelgoten. Verpakkingsmateriaal kan vet worden of zelfs uiteenvallen. Het verdient daarom aanbeveling niet meer dan de benodigde hoeveelheid op de juiste plaats te gebruiken.



figuur 16.2 Principe van dampfase corrosiewering (boven) en een voorbeeld van toepassing bij rollen staal (onder)

Hoofdstuk 17

Opslag van smeermiddelen

Bij opslag moeten extreem hoge en lage omgevingstemperaturen worden voorkomen. Een temperatuur, hoger dan 40 tot 45 °C kan een scheiding van de samenstellende oliën en/of toevoegingen tot gevolg hebben. Bij temperaturen vanaf het vriespunt en daaronder, worden emulsieconcentraten en pasta's instabiel, terwijl bij oliën de verpompbaarheid sterk afneemt. Aan dergelijke lage temperaturen blootgestelde emulsieconcentraten en pasta's zijn soms naderhand door middel van verwarmen tot 50 à 60 °C en roeren weer bruikbaar te maken.

Wanneer de temperatuur van een smeermiddel uit de opslagruimte veel lager is dan de omgevingstemperatuur op de gebruiksplek, wordt aangeraden deze een à twee dagen voor gebruik in de betreffende bedrijfshal te plaatsen, zodat ze op temperatuur kunnen komen.

Bij opslag van oliën en aangemaakte emulsies in voorraad-tanks, moet de inhoud daarvan bij voorkeur dagelijks twee à drie maal worden rondgepompt of gedurende 15 minuten door middel van een roerder in beweging worden gebracht.

In grote olie-opslagtanks kan zich water verzamelen onder in de tank. Zorg er voor dat 2x per jaar dit water wordt afgevoerd.

Wellicht ten overvloede, moet hier nogmaals worden vermeld: **smeermiddelen mogen onderling nooit worden vermengd.**

Adviezen met betrekking tot opslag en gebruik:

- ▶ Smeermiddelen opslaan in een schone, droge en vorst-vrije opslagruimte.
- ▶ Plaats vaten niet in de zon of regen. Als op een warme zomerdag het vat plotseling wordt afgekoeld door een regenbui, zal in het vat onderdruk ontstaan en via de kleinste spleetjes wordt water aangezogen.
- ▶ Voor smeermiddelen met een laag vlampunt gelden bijzondere regels, ook betreffende de maximale hoeveelheden op de werkvloer.
- ▶ De lekbak onder de containers moet minimaal de inhoud van de container kunnen opvangen, in geval van lekkage.
- ▶ Bij morsen of lekken, het smeermiddel opnemen met een goed absorptiegranulaat dat eventueel na uitlekken nogmaals kan worden gebruikt. Afvoer van gebruikt absorptiemiddel moet gebeuren overeenkomstig de WCA (Wet op Chemisch Afval, zie § 14.4). Een absorptiemiddel dat meerdere malen kan worden gebruikt, betekent dus een vermindering in afvoerkosten.
- ▶ Voorkom onnodige opslag door niet meer dan de benodigde hoeveelheid te bestellen of door het plaatsen van een opdracht op afroep ('just in time'). Past men de 'just in time' methode toe, dan kan het voorkomen dat de verzekeringsmaatschappij een reductie van de premie voor brand- en milieuschade toestaat.
- ▶ De op de verpakking van smeermiddelen aangegeven standaardsymbolen voor veiligheid altijd in acht nemen.

Hoofdstuk 18

Gezondheid, milieu en veiligheid

18.1 Algemeen

Met betrekking tot gezondheid, milieu en veiligheid zijn er regelmatig ontwikkelingen gaande. Om problemen op deze gebieden te voorkomen is het raadzaam om zich regelmatig hierover te laten voorlichten.

De totale wetgeving op dit gebied zal de komende jaren ingrijpend worden aangepast. Dit programma heet REACH, en wordt in Helsinki door de ECHA, European Chemicals Agency, begeleid.

Doel van REACH is dat van alle chemicaliën die door de mensheid gecreëerd en verhandeld worden, de gevaren goed in kaart worden gebracht. Reactie-producten moeten daarom veelal uitgebreid getest worden, en geregistreerd bij de ECHA. Het project moet voltooid zijn 2018, maar voor 2012 moet voor de grotere volumes de zaken al rond zijn. Gevolgen voor de smeermiddelen en roestbeschermingschemicaliën zijn:

- ▶ aanpassing van het veiligheidsblad;
- ▶ veel meer accurate informatie op de veiligheidsbladen;
- ▶ eenduidige veiligheidsbladen over heel Europa;
- ▶ de kosten voor onderzoek en registratie zijn hoog, dus een aantal additieven zal van de markt verdwijnen.

18.2 Gezondheid

Het personeel kan via de huid en luchtwegen in aanraking komen met hulpstoffen voor het omvormen. Het is daarom belangrijk dat bij de keuze van de hulpstoffen ook wordt gelet op de invloed op de gezondheid.

Enkele typische gevaren zijn:

Carcinogene stoffen

In de OSHA voorschriften (Occupational Safety and Health Act), sinds 1985 in de Verenigde Staten van kracht, zijn de carcinogene eigenschappen van minerale koolwaterstoffen (minerale oliën) gedefinieerd en ingedeeld. Deze indeling heeft vooral betrekking op minerale koolwaterstoffen die een te hoog gehalte aan polycyclische aromaten (PCA) bevatten, waarvan bekend is dat ze carcinogeen zijn.

Minerale oliën zijn een hoofdbestanddeel van veel smeermiddelen. De toegepaste minerale oliën moeten derhalve zo min mogelijk, liefst geen, polycyclische aromaten bevatten. Om daar zeker van te zijn, gebruiken bonafide fabrikanten en leveranciers van smeermiddelen alleen minerale oliën die voldoen aan de IARC monograaf 33 norm. Deze certificaten kunnen bij de leverancier opgevraagd worden.

Lucht

Er zullen ook eisen moeten worden gesteld aan de lucht waarin het personeel zich gedurende het werk bevindt. Voor dat doel zijn door de overheid grenswaarden voor hinderlijke of schadelijke stoffen vastgesteld, de zogenoemde MAC-waarden (Maximaal Aanvaarde Concentratie) [lit.22]. Deze worden aangegeven in milligram per m³. Voor een minerale olienevel is de MAC-waarde $\leq 5 \text{ mg/m}^3$. Ingeval van een combinatie van oliedamp en -nevel is de MAC-waarde $\leq 20 \text{ mg/m}^3$. Bij omvormen ontstaan meestal geen olienevels. Dit is vaak het geval bij slijpbewerkingen. Een risico voor olienevels is het verspuiten van de olie. Bij het aanbrengen middels sprayen is dus afzuiging gewenst, of sprayen met een grote druppel, die snel uit de lucht zakt.

Sommige additieven, zeker voor emulsies, kunnen een hoge MAC-waarden geven. Toelaatbaar niveau staat vermeld in het veiligheidsblad volgens EG besluit 2001/58/EC, op paragraaf 8.

Bij twijfel kan het niveau van diverse oliën gemeten worden op de werkplek met zogenaamde Dräger buisjes (Dräger sampling tubes). Met de hulp van een specialist kan een betrouwbaar beeld van de ernst van de situatie worden verkregen.

18.3 Milieu

Met betrekking tot het milieu geldt dat verbruikte oliën, vetten of emulsies voor het smeren van omvormprocessen moeten worden afgevoerd als chemisch afval en daarom onder de WCA (Wet op Chemisch Afval, zie § 14.4) vallen. Bij veel omvormbewerkingen verdwijnt het grootste deel van het smeermiddel, circa 90%, via het afwaswater, het schroot en de reststroken van het plaatmateriaal. Slechts een klein deel wordt rechtstreeks als afgewerkt smeermiddel afgevoerd.

Overigens vallen de hydraulische oliën, leibaanoliën, enz. voor het smeren van de pers en het gereedschap ook onder de term smeermiddelen en moeten derhalve overeenkomstig de WCA via erkende afvalverwerkende, dan wel -verzamelende bedrijven worden afgevoerd.

Regelmatig worden smeermiddelen voor het omvormen verontreinigd met lekoliën in de voet van de pers. Door goed preventief onderhoud aan de machines kan dat worden voorkomen. Bovendien kunnen dan ook de kosten van inkoop en afvoer van bijvoorbeeld hydraulische olie worden beperkt.

Hierna volgen enkele eenvoudige manieren om onnodige milieubelasting te voorkomen:

- ▶ Voorkom onnodige opslag, door niet meer dan de benodigde hoeveelheid te bestellen of door het plaatsen van een opdracht op afroep.
- ▶ Controleer bij binnenkomst de verpakking op eventueel lekken en zweten aan de rand van het vat.
- ▶ Gebruik een goedwerkende aftapkraan en een vatenbok met een lekbak eronder.
- ▶ Gebruik in geval van emulsies een goede doseerpomp of mengapparatuur en controleer regelmatig met behulp van een refractometer de concentratie.
- ▶ Gebruik schone lekvrije interne draagverpakkingen.
- ▶ Gebruik, indien mogelijk, gerichte nevelsmering met druijprijze nozzles, bij voorkeur van het airless type.
- ▶ Zorg voor goed preventief onderhoud aan persen en randapparatuur.
- ▶ Product, schroot en reststroken verzamelen, scheiden, opslaan en transporteren in lekvrije bakken en containers, voorzien van aftap en/of uitneembaar rooster, die regelmatig worden gereinigd.

18.4 Veiligheid

Binnen een bedrijf moeten ten behoeve van de bescherming van het bedrijf en zijn werknemers adequate maatregelen tegen ongevallen en calamiteiten worden opgesteld en nageleefd. In het kader hiervan geldt voor de gebruikte smeermiddelen, oplosmiddelen, enz. dat hiervan de algemene veiligheidsdocumentatie binnen het bedrijf aanwezig moet zijn. Dit mag niet ouder zijn dan 1 jaar. Het is daarom aan te bevelen bij de jaarlijkse prijsaanvraag, een nieuw veiligheidsblad voor de betreffende producten te laten toesturen, en de geldigheidsdatum hierop te controleren.

Zo'n informatieblad voor chemische stoffen en preparaten bevat de volgende gegevens:

- ▶ algemene omschrijving inzake globale samenstelling, voorkomen, geur, enz.;
- ▶ omschrijving van de fysische en veiligheidstechnische gegevens;
- ▶ voorschriften voor het transport;
- ▶ maatregelen in verband met eventuele wetgeving;
- ▶ veiligheidsmaatregelen voor opslag en hantering;

- maatregelen ingeval van ongevallen en brand;
- toxicologische gegevens;
- ecologische gegevens;
- eventuele overige aanwijzingen.

Het op pagina 64 t/m 66 afgebeelde informatieblad, is opgesteld volgens Richtlijn 2001/58/EG van de Europese Commissie. Niet alle mogelijkheden hoeven ingevuld te worden of zijn van toepassing. Hoewel alle relevante informatie daarin staat vermeld, is de leverancier verplicht de bedrijfsarts of geneeskundige dienst toegang te geven tot de generische formule van het betreffende product om een beter gefundeerde beoordeling of advies te kunnen geven over een eventueel toxisch effect.

Model:**VEILIGHEIDSINFORMATIEBLAD**

volgens Richtlijn 2001/58/EG van de Commissie

Afdrukdatum: xx/xx/2006, Datum van herziening: xx/xx/2005 Versie: x

1. IDENTIFICATIE VAN DE STOF OF HET PREPARAAT EN DE VENNOOTSCHAP/ONDERNEMING**Identificatie van de stof of het preparaat**

- Productmerknaam : SMEERMIDDEL
- Interne code : xyz
- Gebruik van de stof of het preparaat :
- Toepassing : Trekolie

Identificatie van de vennootschap/onderneming

- Leverancier : FIRMA
- : Adres
- Inlichtingen gevende afdeling :
- Telefoonnummer voor noodgevallen : + 31 30 2748888 - Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NL)
This number is only accessible for the doctor in case of accidental poisoning.

2. SAMENSTELLING EN INFORMATIE OVER DE BESTANDDELEN**Chemische karakterisering van de stof of het preparaat**

- Product is een mengsel van :
- Opsomming componenten :
- Opsomming gevaarlijke componenten,
inclusief het gevaar (dat wil dus niet
zeggen dat het uiteindelijk product
gevaarlijk is) :

3. IDENTIFICATIE VAN DE GEVAREN (voor het product in leverttoestand)

Gevaaraanduiding:

Labels

Belangrijkste gevaren:

Labels en veiligheidszinnen

4. EERSTE HULP MAATREGELEN

- Algemene aanbevelingen :
- Inademing :
- Huidcontact :
- Oogcontact :
- Inslikken :
- Opmerkingen voor de arts :

5. BRANDBESTRIJDINGSMAATREGELEN

- Vlampunt (°C) :
- Vlampuntmethode : COC (meet methode)
- Explosiegrenzen :
 - onderste:
 - bovenste:

Geschikte blusmiddelen :

Blusmiddelen die om veiligheids-
redenen niet gebruikt mogen worden :Speciale blootstellingsgevaaren die veroorzaakt worden door de stof of het preparaat zelf, verbrandingsproducten of
vrijkomende gassen :

Koolmonoxide (CO) is altijd vermeld, omdat het organische middelen zijn

Bijzondere gevaren:

Ongebruikelijke gevaren:

Speciale beschermende uitrusting voor brandweerlieden:

Bijzondere methoden:

Vaak wordt vermeld: Verontreinigd bluswater gescheiden opnemen, het mag niet naar het riool aflopen.

6. MAATREGELEN BIJ ACCIDENTEEL VRIJKOMEN VAN DE STOF OF HET PREPARAAT

Persoonlijke voorzorgsmaatregelen:

Milieuvoorzorgsmaatregelen:

Vaak wordt vermeld: Niet naar het oppervlaktewater of de riolering laten afvloeien.

Reinigingsmethoden:

7. HANTERING EN OPSLAG**Hantering**

Technische maatregelen/voorzorgsmaatregelen:

Advies voor veilig hanteren:

Opslag

Technische maatregelen/opslagomstandigheden:

Onverdraagzame stoffen : Hier wordt vermeld beperkingen voor opslag samen met andere stoffen
 Veiligheidsopslagtemperatuur : Bewaren bij een temperatuur tussen ? en ? °C

8. MAATREGELEN TER BEHEERSING VAN BLOOTSTELLING/PERSOONLIJKE BESCHERMING

Grenswaarden voor blootstelling:

Verdere informatie:

Maatregelen ter beheersing van blootstelling:

Beheersing van beroepsmatige blootstelling:

Technische maatregelen:

Bescherming van de ademhalingsorganen:

Bij ontoereikende ventilatie een geschikt ademhalingsapparaat dragen.

Bescherming van de handen:

Bescherming van de ogen:

Bescherming van de huid en het lichaam:

Beheersing van milieublootstelling:

Aanbevelingen:

9. FYSISCHE EN CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN**Algemene informatie**

- Voorkomen: Vloeistof, pasta, enz.

- Kleur:

- Geur:

Belangrijke informatie met betrekking tot de gezondheid, de veiligheid en het milieu

pH-waarde:

Kookpunt/kooktraject (°C):

Vlampunt (°C):

Ontvlambaarheid (vast, gas)

Ontploffingseigenschappen:

- bovengrens:

- ondergrens:

Oxiderende eigenschappen:

Dampspanning: bij 20 °C

Relatieve dichtheid bij: bij 20 °C

Oplosbaarheid:

- in water:

- in vet:

Verdelingscoëfficiënt (n-octanol/water, log Pow):

Viscositeit: xxx mm²/sec, bij 40 °C-

Dampdichtheid: bij 20 °C

Verdampingssnelheid:

Andere gegevens

Mengbaarheid:

Geleidbaarheid:

Smeltpunt/smeltraject (°C):

Gasgroep:

Zelfontbrandingstemperatuur:

Moleculairgewicht:

Ontledingstemperatuur:

10. STABILITEIT EN REACTIVITEIT

Stabiliteit: Stabiël onder de aanbevolen opslagomstandigheden.

Te vermijden omstandigheden:

Te vermijden substanties:

Gevaarlijke ontledingsproducten:

Polymerisatie:

11. TOXICOLOGISCHE INFORMATIE

Acute giftigheid

LD50 (oraal/rat): xxx mg/kg (calculated)

Lange-termijneffecten:

- Andere lange-termijneffecten:

Plaatselijke effecten:

- Oraal:

- Inademing:

- Huidirritatie:

- Oogirritatie:

- Overgevoeligheid:

- Aanvullende toxicologische informatie:

12. MILIEU-INFORMATIE

Ecotoxiciteit

- Inhiberende effecten:
- Effect op waterzuiveringsinstallaties:

Mobiliteit

- Distributie over milieucapartimenten:
- Oppervlaktespanning: bij lage oppervlaktespanning geldt aanvullende wetgeving

Persistentie en afbraak

- BZV:
- Afbraakvermogen:
- Afbraakhalveringstijden:
- Afbraak in waterzuiveringsinstallaties:

Mogelijke bioaccumulatie

- Bioaccumulatie:

Andere schadelijke effecten

Ozonafbrekend vermogen (R-11 = 1):

Fotochemisch ozonvormend vermogen:

Broeikaseffect:

13. INSTRUCTIES VOOR VERWIJDERING

Afval van residuen/niet-gebruikte producten:

Besmette verpakking:

Reinigingsmethoden:

EWC afval No. : bij voorbeeld: 120107 - Afval van halogeenvrije machineolie (geen emulsies)

14. INFORMATIE MET BETREKKING TOT HET VERVOER

ADR:

Klasse: (geeft aan transportmaatregelen en verpakkingseisen)

RID:

Klasse:

IMO/IMDG

Klasse:

ICAO

Klasse:

IATA:

Klasse:

15. WETTELIJK VERPLICHTE INFORMATIE (herhaling van 3; hetgeen op de verpakking vermeld moet worden)

EG indeling en etikettering (67/548/EEC - 1999/45/EC) (67/548/EEC - 1999/45/EC)

Gevaaraanduiding:

R-zinnen:

S-zinnen:

Nationale voorschriften

Water endangering class:

WGK (voor Duitsland):

Maladies Professionnelles (F): 36

EG EINECS/ELINCS/NLP lijst: This product complies with EINECS.

16. OVERIGE INFORMATIE (dit gedeelte is vrij voor de leverancier om in te vullen)

Einde

Literatuur

- [1] Metals Handbook, ASM, Ohio (in Nederland verkrijgbaar via de Bond voor Materialenkennis, 's-Hertogenbosch).
- [2] Tool and manufacturings engineers handbook volume II forming, SME, Dearborn, Michigan, 1984, 4th ed.
- [3] Pearce, R.: Sheet metal forming, Adam Hilger, Bristol, 1991.
- [4] Hosford, W.M.; Caddell, R.M.: Metal forming mechanics and metallurgy, Prentice Hall International Inc., 1983.
- [5] VM 112: "Machines en gereedschappen (vormgeven van dunne metaalplaat)"; FME, Zoetermeer, 2008.
- [6] Korevaar, B.M. e.a.: Kennis der metalen, deel I en II, DUM, 1991
- [7] Koper en koperlegeringen, Ned. Koperinstituut, Den Haag, 1971
- [8] Dieb, K.: Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, Springer Verlag, Berlin, 1967
- [9] Hatch, J.E.: Aluminium, Properties and Physical Metallurgy, ASM, Ohio
- [10] Aluminium Taschenbuch, Aluminium Zentrale, Aluminium Verlag, Düsseldorf
- [11] Altenpohl, D.: Aluminium und Aluminiumlegierungen, Springer Verlag, Berlin
- [12] Mondolfo, L.F.: Aluminium Alloys, Structure and Properties, Butterworths, Londen
- [13] The properties of aluminium and its alloys; Aluminium Federation, Birmingham
- [14] VM 109: "Voorgelakt plaatstaal voor binnengebruik"; FME, Zoetermeer, 2007.
- [15] VM 110: "Dieptrekken (vormgeven van dunne metaalplaat)"; FME, Zoetermeer, 2008.
- [16] VM 113: "Buigen (vormgeven van dunne metaalplaat)"; FME, Zoetermeer, 2008.
- [17] Lange, K: Lehrbuch der Umformtechnik, Band 3 Blechformung; Springer Verlag, Berlin 1990
- [18] Gezond werken met toxische stoffen in de metaal- en elektrotechnische industrie; Raad van overleg in de Metaal- en elektrotechnische Industrie, Leidschendam, 1994
- [19] Stahlschlüssel, Verlag Stahlschlüssel, Wegst, Marbach, 1992
- [20] Handboek Technische Materialen, Samsom bedrijfsinformatie BV, Alphen a/d Rijn, 1994
- [21] Lassen, lijmen en plaatbewerken; Cursushandboek Stichting Teleac, Utrecht, 1994
- [22] Nationale MAC lijst, P145, Directoraat Generaal van Arbeid/Arbeidsinspectie
- [23] Alternatieve gereedschapmaterialen; CS/NIL, VT 95-133, 1995

Trefwoorden

	blz.		blz.
aanladen	45, 51	staal,	19
alternatieve gereedschapmaterialen	41, 47	- bake hardening	23, 24
aluminium	32	- dual phase	23
- legeringen	32	- fosforstaal	15, 22, 23
Aluminium Association	33	- gekalmeerd	19, 21
aluminium-brons	42, 46, 48	- koudgewalst	15, 17, 20, 21, 22
anisotropie	8, 12, 14, 23	- laminaat	27
bestelspecificatie	14	- sandwiches	27
buigproef	8, 16	- ultralaag-koolstof	20
chemische analyse	8	- verchroomd	17, 26
conserveringsmiddelen	14, 46, 50	- vertind	26
corrosie,	46	- verzinkt	24 - 27, 50, 56
- aluminium	32	- voorgelakt	27, 56
- roestvast staal	28	- warmgewalst	15, 17, 20, 22
- staal	24	terugvering	12
corrosiewerende middelen	59, 60	trekproef	8 - 12, 14, 16
elasticiteitsmodulus	9, 10, 12, 14, 32, 40	treksterkte	10, 11, 12
Erichsenproef	8, 11, 16	verouderen	34, 35, 37
gietijzer	19, 41, 43, 47	verpakking	7, 14, 18, 60 - 62
gietstaal	19, 41, 43	versteviging	9 - 11, 12, 14, 19, 23,
hardheidsmeting	8, 16, 42		30, 33, 36, 37, 39
Hooke	10	- dynamische	36, 37
insnoering	8, 9, 11, 24, 37	vertinnen	26
keuringsdocumenten	7, 14, 15, 16, 18	vervorming,	
koper,	15, 16, 37	- elastisch	9, 10
- OFHC	38	- plastisch	9, 37, 48
- fosfor gedesoxydeerd	38	verzinken,	
- messing	38	- thermisch	24 - 26
- brons	39	- elektrolytisch	24 - 26
- kopernikkel	40	vloeivlag	9, 10, 19, 23, 25,
- nieuwzilver	40		36, 37
leveringstoestand, alum.	34, 35, 36	warmtebehandelingen,	
materiaalkeuze	7, 37, 41, 44, 48, 49	- aluminium	33, 34, 37
microscopisch onderzoek	8	- gereedschapmateriaal	48
normen,	7, 14, 15, 16, 17, 41	witte roest	25, 26
- bedrijfs	7, 14		
- DIN	14		
- EN	14		
- Euronorm	14		
oervorming	12, 16, 23		
oppervlaktebehandelen,	45, 49, 58		
oppervlakteruwheid	15, 19, 20		
oppervlaktevermoeiing	44		
plane strain	11		
Portevin LeChatelier	35, 36		
rek	9, 10, 11, 12		
rekgrens	10, 12, 14, 17		
roestvast staal,	28 - 32		
- chroomstaal	28		
- chroom-nikkelstaal	28		
- duplex	29		
- hittevast	15, 16, 29, 31		
röntgenonderzoek	8		
smeermiddelen	45, 46, 50 - 54, 56,		
	57, 59 - 62		
- viscositeit	52, 54, 57, 59, 60		
- emulsie	51 - 54, 56, 57, 59,		
	61, 62		
- additieven	52, 53, 62		
- WCA	55, 57, 61, 62		
- gezondheid	62		



Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

T (079) 353 11 00

F (079) 353 13 65

E alg@fme.nl

I www.fme.nl