

Hoge Sterkte Staal in dunne plaat en buis

Toeleveranciers van de auto-industrie worden steeds vaker geconfronteerd met vragen op het gebied van dunne plaat van Hoge Sterkte Staal (HSS). Daarnaast wordt HSS in veel andere toepassingen gebruikt, waarbij gewichtsbesparing van belang is. Deze publicatie, die binnen het project 'nieuwe materialen' is ontwikkeld, geeft antwoord op de meest voorkomende praktische vragen die zich bij de verwerking van dunne plaat van HSS voor kunnen doen. De vervormingsstaalsoorten met verhoogde sterkte, die in de strikte zin niet onder het begrip HSS vallen, zijn vanwege de brede toepassing in de dunne plaatverwerking in dit Tech-Info-blad inbegrepen. In het kader van dit project zijn tevens uitgegeven: TI.04.19 'Roestvast staal in dunne plaat en buis', TI.04.20 'Scheidingstechnieken voor dunne plaat en buis', TI.04.21 'Aluminium in dunne plaat en buis' en TI.04.22 'Ontwerpen van dunne plaat producten en de Eindige Elementen Methode. Deze publicaties zijn op <http://www.dunneplaat-online.nl/smartsite9719.htm?goto=13697> vrij te downloaden.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Gewichtsbesparing	1
3	Begripsbepaling	2
4	Overzicht van de verschillende soorten HSS	3
5	Materiaalvernieuwingen	3
6	De overstap naar HSS	3
6.1	Binnen de groep vervormingsstaal	3
6.2	Van vervormingsstaal naar HSS	4
7	De verwerking van HSS	4
7.1	Richten	4
7.2	Mechanische scheidingstechnieken	4
7.2.1	Knippen	4
7.2.2	Ponsen en nibbelen	4
7.2.3	Zagen en boren	4
7.3	Thermische scheidingstechnieken	4
7.4	Buigen	5
7.5	Dieptrekken en strekken	5
7.6	Lassen	5
8	Technische ontwerpaspecten	5
8.1	Stijfheid van het product	5
8.2	Verhitting van het product	5
8.3	Vermoeiing	5
8.4	Ontwerpvoorbeeld van een hoeksteun	5
8.5	Detail boutverbinding	6
8.6	Draagbalk	6
9	Toepassingsvoorbeelden	6
9.1	Toepassingsvoorbeelden in de carrosseriebouw	6
9.2	De Tailor Made Blank (TMB)	6
9.3	Buizen van HSS	7
9.4	Anti-diefstalcomputerbehuizing	7
9.5	Kinderzitje	8
10	Verkrijgbaarheid	8
11	Referenties en bronvermelding	8
12	Websites	8
13	Lijst met afkortingen	8
Bijlage 1	Aanduidingen en mechanische eigenschappen van Hoge Sterkte Staal	9
Bijlage 2	Lijst met een overzicht van de meest gebruikte normen voor staal	11
Bijlage 3	Mechanische eigenschappen	12
Bijlage 4	Sterkteverhogende mechanismen in staal	15
Bijlage 5	Productiewijze en microstructuur	17

1 Inleiding

In de auto-industrie is er een voortdurend streven naar een verbeterde veiligheid en een verminderd brandstofverbruik. Door toepassing van dunne plaat van Hoge Sterkte Staal (HSS) kan bij een lager gewicht van de carrosserie een verbeterde crashbestendigheid worden bereikt. Hierdoor kunnen tegen relatief lage prijs beide doelstellingen van de auto-industrie dichterbij worden gebracht. Het is om deze reden dat steeds meer bedrijven die toeleveren aan de auto-industrie geconfronteerd worden met vragen op het gebied van HSS. Hoewel de auto-industrie een voortrekker is in de toepassing van dunne plaat van HSS (zie ook figuur 1a en b), vindt het materiaal ook veel andere toepassingen zoals bijvoorbeeld in dragende constructies, magazijnstellingen, witgoed, meubilair, landbouwwerktuigen, tuingereedschap, enz. (zie ook figuur 2a en b). Dit is de aanleiding om dit Tech-Info-blad uit te brengen. Het is bedoeld om een antwoord te geven op de meest voorkomende praktische vragen die zich voor kunnen doen in het midden-

en kleinbedrijf bij de verwerking van dunne plaat van HSS.



(a)



(b)

figuur 1 Automotive toepassingen van HSS

- a) Zijpaneel
- b) Motorophangingsdeel, d.m.v. hydrovormen gemaakt uit laserlasergepaste DP1000-buis



(a)



(b)

figuur 2 Non-automotive toepassingen van HSS

- a) Vrachtkontainer
- b) Kinderfietsje

2 Gewichtsbesparing

De mogelijkheden om de voordelen van het gebruik van HSS te benutten, zijn vaak het grootst als men in staat is om reeds in de ontwerpfase rekening te houden met de toepassing ervan. De technische klantenservice van de staalleverancier kan in deze fase vaak advies geven op het gebied van sterkteberekeningen, vervormingsmethoden, lassen, snijden en corrosie.

De gewichtsvermindering door toepassing van HSS kan in het gunstigste geval zo'n 40% zijn, afhankelijk van de verhouding tussen buigings- en trekspanningscomponenten in de constructie. De potentiële diktevermindering kan worden vastgesteld met behulp van een vuistregel:

$$t_2 = t_1 \sqrt{(Re_1 / Re_2)}$$

Hierin zijn t_1 en Re_1 respectievelijk de dikte en de rek-grenzen van het staal met de lagere sterkte en t_2 en Re_2 de dikte en de rek-grenzen van het staal met de hogere sterkte.

Deze vuistregel kan worden geïllustreerd met het volgende voorbeeld.

Voor een vrachtcontainer is een materiaalsoort gebruikt met een minimale rekgrens van 350 N/mm² (of MPa). Door dit materiaal te vervangen door HSS met een rekgrens van 700 N/mm² kan de dikte van het materiaal voor de hoekstijlen worden gereduceerd van 6 tot 4,2 mm.

$$t_2 = 6\sqrt{(350/700)} = 4,2 \text{ (mm)}$$

Door consequent gebruik te maken van dit hogesterkte-staal kan het tarragewicht van een 45-foot-container met 730 kg worden verlaagd van 4750 tot 4020 kg. Dit is een gewichtsvermindering van circa 15%. De nuttige last kan op deze manier dus worden vergroot. Ook als het gewicht van een product op zich niet zo'n grote rol speelt, biedt een lager gewicht toch voordelen. In veel gevallen kan men materiaalkosten uitsparen door de sterkte te verhogen en het gewicht te verlagen en bovendien zijn de kosten van transport en opslag bij lichtere producten altijd lager.

3 Begripsbepaling

Onder dunne staalplaat wordt plaat met een dikte van 0,3 tot 3 mm verstaan. Het begrip Hoge Sterkte Staal is minder eenduidig, omdat het gaat om een verzamelnaam voor staalsoorten die allemaal een verhoogde sterkte hebben, maar die verschillen voor wat betreft productiewijze, toepassingsgebied en vervormbaarheid. Aan de hand van de voor de verschillende staalsoorten geldende normen, zie de tabellen 1 en 2 en bijlagen 1

en 2, wordt in dit hoofdstuk een indeling op hoofdlijnen gegeven.

In het dunne plaatgebied wordt zowel koudgewalst als warmgewalst bandstaal gemaakt. Het bandstaal, dat na het walsen is opgerold, wordt middels richten, slitten en knippen tot staalplaat verwerkt.

De gangbare diktes van koudgewalst staalplaat bestrijken het hele dunne plaatgebied van 0,3 tot 3 mm.

Koudgewalst staal wordt veelal gebruikt voor het maken van onderdelen, waarbij aanzienlijke vervormingsbewerkingen nodig zijn zoals persen of dieptrekken. Vandaar dat de vervormingsstalen een belangrijk onderdeel vormen van de categorie koudgewalst staal.

Bij koudgewalste staalplaat wordt het begrip HSS gebruikt voor kwaliteiten die voor vervormingsdoeleinden worden ingezet, maar die ten opzichte van de standaard vervormingsstalen een 20 tot 70% hogere sterkte hebben. Voorbeelden zijn IF-Rephos en bake hardening stalen (zie tabel 1). Typische rekgrensniveaus liggen tussen de 200 en 300 N/mm². Binnen de range van sterkteniveaus van de verschillende staalsoorten is dit niet hoog, maar binnen de range van de vervormingsstaalsoorten wel, vandaar dat de aanduiding Hoge Sterkte Staal voor deze staalsoorten toch gangbaar is. Daarnaast is er koudgewalst HSS met de hogere rekgrensniveaus boven de 300 N/mm². Deze microgelegeerde stalen hebben een enigszins verminderde vervormbaarheid ten opzichte van de vervormingsstalen met de lagere sterktes.

tabel 1 Koudgewalste Hoge Sterkte Stalen

Staaltype (Norm)	Structuur en eigenschappen	Rekgrens niveau's (N/mm ²)	Treksterkte niveau's (N/mm ²)	Rek (A ₈₀) niveau's (%)
Rephos staal prEN 10292:2002	Ferritische matrix zonder daarin opgeloste koolstof of stikstof die door microlegeringselementen als Ti en B afgebonden kunnen zijn. De sterkteverhoging wordt bereikt door oplosharding met P en Mn. Hoge r- en n-waarden. Goede strek- en dieptrekeigenschappen.	180 tot 360	280 tot 480	34 tot 26
Bake Hardening Staal prEN 10292:2002	Ferritische matrix met daarin opgeloste koolstof voor het BH-effect. P en Mn toevoeging voor sterkteverhoging door oplosharding. Goede strek- en dieptrekeigenschappen voorafgaande aan Bake Hardening op circa 170 °C/20 min.	180 tot 360	300 tot 480	34 tot 26
Microgelegeerd staal prEN 10268:2002	Fijnkorrelige ferriet en globulaire perliet/cementiet structuur met Ti-, V- of Nb carbonitriden. Hogere sterkteniveaus.	220 tot 520	350 tot 590	26 tot 17
Dual Phase staal prEN 10336:2002 (bekleed)	Ferritische matrix met daarin martensiet ingebed. Goede isotrope vervormingseigenschappen. Hoge energieabsorptie. Bake hardeningscapaciteit.	250 tot 700	450 tot 980	27 tot 10
TRIP-staal prEN 10336:2002 (bekleed)	Ferritisch-bainitische matrix met daarin restausteniet ingebed. Hoog verstevigingsvermogen en isotrope vervormingseigenschappen bij hoge sterkte. Hoge energieabsorptie. Bake hardeningscapaciteit.	380 tot 560	600 tot 780	26 tot 22

tabel 2 Warmgewalste Hoge Sterkte Stalen in dunne plaat uitvoering

Staaltype (Norm)	Structuur en eigenschappen	Rekgrens niveau's (N/mm ²)	Treksterkte niveau's (N/mm ²)	Rek (A ₈₀) niveau's (%)
HSLA EN 10149-2	Fijnkorrelige ferriet-perliet structuur. Met aanwezigheid van Ti-, V-, Nb of Cr-carbonitriden. Goede vervormbaarheid en lasbaarheid.	315 tot 700	390 tot 950	20 tot 10
Dual Phase staal prEN 10336:2002 (bekleed)	Ferritisch-martensitische structuur. Goede vervormbaarheid en hoge versteviging net na de rekgrens. Bake hardeningscapaciteit.	250 tot 700	450 tot 980	27 tot 10
Partially Martensitic staal prEN 10336:2002 (bekleed)	Fijnkorrelige ferriet-bainiet-martensiet structuur. Hoge sterkte en slijtvastheid. Bake hardeningscapaciteit.	350 tot 860	600 tot 980	16 tot 6

De gangbare diktes van warmgewalst bandstaal liggen tussen 1,2 en 15 mm. Een belangrijk toepassingsgebied van warmgewalst staal met diktes groter dan 3 mm zijn constructies zoals schepen, bruggen en gebouwen. Daarom worden veel van de warmgewalste staalsoorten in dit diktegebied aangeduid als constructiestalen. Constructiestalen met hoge rekgrens in diktes groter dan 3 mm worden behandeld in de Praktijkaanbeveling nr. PA.00.09 van maart 2000 [ref. 1]. Bij warmgewalste plaat met diktes groter dan 3 mm wordt het begrip HSS gebruikt voor kwaliteiten met een rekgrens hoger dan 420 N/mm² en bij warmgewalste dunne plaat is het begrip HSS van toepassing bij een rekgrens hoger dan 315 N/mm².

4 Overzicht van de verschillende soorten HSS

De tabellen 1 en 2 geven een overzicht van de soorten HSS die op de markt zijn. De tabellen bevatten een verwijzing naar de normen die voor de betreffende staalsoorten gelden en ze geven per staalsoort een korte omschrijving van structuur en eigenschappen. De daarbij gebruikte begrippen worden toegelicht in de bijlagen 3, 4 en 5. Voor de rekgrens, treksterkte en rek is het gebied aangegeven dat door de norm bestreken wordt. Typeaanduidingen van HSS volgens de verschillende normen zijn gegeven in bijlage 1. Deze bijlage geeft tevens de mechanische eigenschappen volgens de van toepassing zijnde Europese normen. De genoemde staalsoorten zijn ook weergegeven in figuur 3, waarin de verschillende staaltypes gerangschikt zijn op de combinatie van sterkte en rek.

5 Materiaalvernieuwingen

Momenteel is er een ontwikkeling gaande naar dunner warmgewalst staal. Het is inmiddels leverbaar tot een ondergrens van 1,2 mm en binnen enkele jaren zal de kleinste leverbare dikte naar verwachting circa 0,7 mm zijn. Warmgewalst staal zal in dit diktegebied dus steeds vaker een concurrent van koudgewalst staal zijn waarbij de sterke punten van het koudgewalste staal de oppervlaktekwaliteit en vervormbaarheid zijn en die van het warmgewalste staal de hogere sterkteniveaus en een lagere prijs [ref. 2].

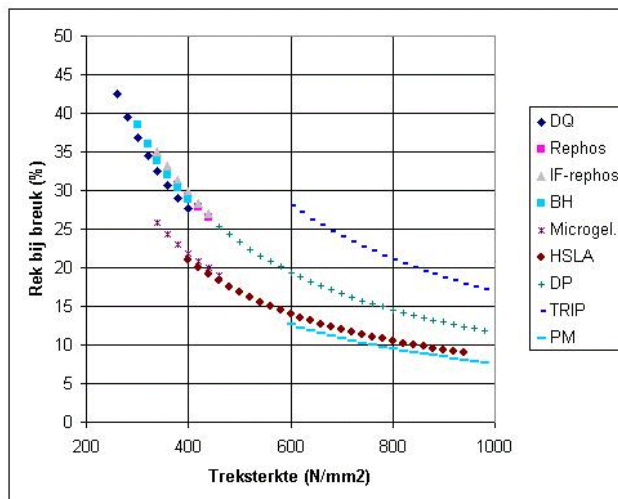
Eigenschappen die voor de toepassing van dunne staalplaat belangrijk zijn, zoals lasbaarheid, corrosieweerstand, deukweerstand, vermoeiingsweerstand, energieabsorptie, sterkte en vervormbaarheid, zijn door vernieuwingen in de staalproductie in de afgelopen decennia voortdurend verbeterd. Wat betreft de ontwikkeling van sterkte en vervormbaarheid geven de figuren 3 en 4 een indruk van de innovaties die momenteel op de markt beschikbaar zijn. In figuur 3 is voor verschillende nieuwe staalsoorten de breukrek uitgezet tegen de treksterkte. De figuur laat zien dat bij de nieuwe staalsoorten in het sterktegebied boven 400 N/mm², te weten de DP- en TRIP-stalen, het product van breukrek en treksterkte op een hoger niveau is komen te liggen, waardoor verhoging van de sterkte slechts in beperkte mate tot vermindering van de vervormbaarheid leidt. Hierdoor zijn de verwerkingseigenschappen in dit sterktegebied beter geworden. DP-stalen zijn inmiddels leverbaar tot een treksterkte van 1400 N/mm².

Naast ontwikkelingen in de combinatie van sterkte en vervormbaarheid zijn er de laatste jaren belangrijke ontwikkelingen geweest in de toepassing en verbetering van metallische en organische bekledingslagen, waardoor het materiaal beter tegen omgevingsinvloeden bestand is.

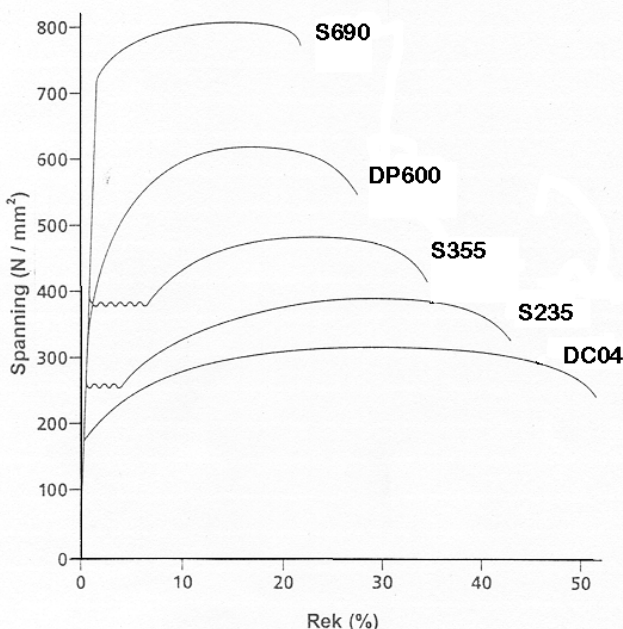
6 De overstap naar HSS

6.1 Binnen de groep vervormingsstaal

Het gebruik van IF-Rephos vraagt geen additionele maatregelen. Men kan volstaan met de gebruikelijke aanpas-



figuur 3 Treksterkte en rek bij breuk voor HSS staalkwaliteiten. Deze figuur is gebaseerd op de getallen uit de Euronormen uit bijlage 1. Vervormingsstaal (DQ) is als referentie opgenomen



figuur 4 Trekkrommes van een aantal staalkwaliteiten

singen bij inzet van een andere vervormingsstaalkwaliteit, zoals bijvoorbeeld de aanpassingen van de instellingen van een dieptrekpers op een nieuwe dikte of een andere oppervlakterutheid.

Met het bake hardening staal kan na vervorming een sterkteverhoging van ca. 80 N/mm² worden gerealiseerd door verwarming van het geperste product. Voor benutting van dit bake hardening effect heeft men een oven nodig, waarin de geperste delen kunnen worden gegloeid gedurende 15 tot 30 minuten op 170-200 °C. Dit kan bijvoorbeeld worden gecombineerd met het drogen van de lak in een lakstraat.

Men dient rekening te houden met een tijdige vervormingsbewerking van het materiaal in verband met natuurlijke veroudering. De natuurlijke veroudering veroorzaakt bij het persen vloeilijnen in het geperste product, die ook na lakken zichtbaar blijven. Dit stelt een eis aan de tijd die mag verstrijken tussen fabricage van het materiaal en de toepassing van een vervorming op het plaatmateriaal en het betekent dat het plaatmateriaal slechts een beperkte tijd (enkele weken) op voorraad kan worden gehouden. Overigens geldt een dergelijke eis ook voor andere vervormingsstalen.

6.2 Van vervormingsstaal naar HSS

Als men een overstap maakt van een vervormingsstaal-kwaliteit volgens NEN-EN 10130 (aangeduid met DC01 tot DC06) naar een materiaal met een duidelijk hoger sterkteniveau, zoals bijvoorbeeld koudgewalst of warmgewalst HSLA of DP-staal, dan zijn er in de meeste gevallen geen investeringen in nieuwe apparatuur benodigd. Wel zijn er wat betreft ontwerp en bewerkingstechnieken een aantal aspecten waar aandacht aan moet worden besteed, zoals een verhoogde gereedschapslijtage, een grotere terugvering bij vervormingsbewerkingen en een verminderde dieptrekbaarheid. Deze en andere aspecten worden in de hoofdstukken over ontwerpen voor HSS en verwerking en toepassing van HSS kort behandeld. De bedoeling hiervan is om voor de praktijk aan te geven waar mogelijke problemen en hun oplossingen liggen. Voor een meer diepgaande behandeling zijn referenties naar bestaande publicaties opgenomen [ref. 1-7]. Van deze publicaties wordt het Steel Sheet Handbook [ref.6] in het bijzonder aanbevolen.

7 De verwerking van HSS

7.1 Richtten

De verwerking van bandstaal begint met het afwikkelen van de rol, het richten en het op maat knippen tot plaat. Het richten heeft tot doel een vlakke band te maken. Daartoe wordt de band in een richtmachine tussen een aantal rollen door geleid, waarbij een zodanige plastische vervorming plaatsvindt, dat de kromming die de band op de rol heeft teniet wordt gedaan. Het belang van een goede instelling van de richtrollen neemt bij toepassing van Hoge Sterkte Staal toe. Men gaat er van uit dat 60 tot 80% van de doorsnede van de band tot over de rekgrens moet worden getrokken. Dit geeft een instelwaarde voor de intreerollen. De positie van de uitreerollen wordt vervolgens zo afgesteld, dat een vlakke band resulteert die op maat kan worden geknipt. Om de rollen goed te kunnen positioneren, is het van belang de positie van de rollen tot op 0,1 mm te kunnen meten en in te stellen.

7.2 Mechanische scheidingstechnieken

7.2.1 Knippen

Bij knippen en slitten moet bij inzet van HSS rekening worden gehouden met hogere krachten. Bij knippen is de benodigde kracht evenredig met de treksterkte van het materiaal en met het kwadraat van de materiaaldikte:

$$F = \frac{k \cdot R_m \cdot t^2}{2 \cdot \tan \eta}$$

met

F = knipkracht

k = evenredigheidsfactor (0,8 voor vervormingsstaal tot 0,6 voor HSS)

R_m = treksterkte

t = materiaaldikte

η = kniphoek

Voorbeeld: de knipkracht bij 1 mm dik koudgewalst vervormingsstaal met R_m = 300 N/mm² is 4,5 kN en bij 3 mm warmgewalst HSLA met R_m = 500 N/mm² komt de knipkracht uit op 51,5 kN bij een kniphoek van 1,5°. Het verschil in knipkracht tussen beide platen bedraagt dus meer dan een factor 10.

Het bovenstaande voorbeeld laat zien dat bij toename van de sterkte én de dikte van het materiaal de knipkracht erg hoog kan worden. Het is echter beslist niet zo dat bij toepassing van HSS voor een gegeven product de knipkracht altijd toeneemt. Stel dat voor een product dat op trek wordt belast, staal met een tweemaal zo hoge sterkte gebruikt gaat worden. Dan kan de materiaaldikte de helft van de oorspronkelijke dikte wor-

den. De knipkracht neemt met een factor 2 toe, vanwege de hogere materiaalsterkte, maar neemt met een factor 4 af vanwege de kleinere materiaaldikte. Uiteindelijk resulteert een knipkracht die de helft is van de oorspronkelijke!

Bij knippen is de instelling van de snijspleet afhankelijk van het sterkteniveau. Als richtwaarde wordt wel gehanteerd dat de snijspleet 5-8% van de materiaaldikte moet bedragen als R_m kleiner dan 450 N/mm² is en 9-15% van de materiaaldikte als R_m groter is dan 450 N/mm².

7.2.2 Ponsen en nibbelen

Evenals bij knippen moet bij ponsen en nibbelen rekening worden gehouden met hogere proceskrachten. Zowel bij het ponsen als bij het nibbelen komt de scheiding tot stand door afschuiving van het materiaal. De daarvoor benodigde kracht is evenredig met de treksterkte, de contourlengte en de materiaaldikte:

$$F = k \cdot R_m \cdot l \cdot t$$

met

k = evenredigheidsfactor, meestal tussen 0,8 en 1

R_m = treksterkte

l = afschuif- of contourlengte

t = materiaaldikte

Omdat de afschuiflengte bij nibbelen klein is, is ook de optredende kracht relatief klein en vormt een hogere proceskracht in het algemeen geen probleem. Bij het ponsen kan de afschuif- of contourlengte echter zo groot zijn, dat reeds een aanzienlijke ponskracht optreedt bij het ponsen van een product uit vervormingsstaal. In dat geval kan de bovenstaande formule worden gebruikt om na te gaan of de toelaatbare ponskracht bij toepassing van HSS niet zal worden overschreden.

Bij ponsen van vervormingsstaal wordt een snijspleet aanbevolen van 6-8% en bij het ponsen van HSS een snijspleet van 14 tot 16%. De snijspleet is hierbij uitgedrukt als percentage van de materiaaldikte.

7.2.3 Zagen en boren

De hardheid van DP1000 ligt op circa 300 HV. In een las kan dit oplopen tot circa 450 HV. In deze hardheidsrange zijn zagen en boren goed mogelijk, zij het dat het gereedschap en de instellingen van spoed en toerental moeten worden aangepast op de hardheid van het materiaal en de hardheidsverschillen.

7.3 Thermische scheidingstechnieken

De belangrijkste thermische scheidingstechnieken voor dunne plaat zijn plasmasnijden en lasersnijden. HSS laat zich met beide technieken goed scheiden. In het geval dat de krachten bij mechanisch scheiden te hoog worden voor de beschikbare apparatuur, zijn deze thermische scheidingstechnieken een alternatief. Bovendien is er bij thermisch snijden een grote vormvrijheid, die zeker bij kleine series economische voordelen biedt.

Een ander aandachtspunt bij de keuze van de scheidingstechniek is de snedekwaliteit, met aspecten als de ruwheid van het scheidingsvlak en braamvorming. Als een vervormingsbewerking op de snijrand volgt, zoals bijvoorbeeld kraagtrekken of omzetten, dan kan de snedekwaliteit bepalend zijn voor de keuze van de scheidingstechniek. Voor en nadelen van de verschillende scheidingstechnieken zijn op een rij gezet in de VM publicatie "Scheidingstechnieken voor metalen" (VM114) [ref. 3]. Bij DP- en CP-stalen moet rekening worden gehouden met een zekere onvlakheid na scheiden. Dit vloeit voort uit de interne spanningen, die in deze materialen aanwezig zijn. Verder reageert HSS in zijn algemeenheid op warmte-inbreng met een sterkte-afname of een verbroosing. De warmtebeïnvloede zones bij plasmasnijden en lasersnijden zijn respectievelijk circa 1 en 0,05 mm.

7.4 Buigen

De terugvering bij buiging is evenredig met de materiaalksterkte [ref. 4]. Een grotere terugvering kan worden gecompenseerd door iets verder door te buigen of door de buigradius te verkleinen. De minimaal toelaatbare buigradius is bij een hogere sterkte echter wel groter, circa 1x de plaatdikte bij een rekgrens van 500 N/mm² en circa 2x de plaatdikte bij een rekgrens van 700 N/mm². Om reproduceerbaar te kunnen werken, is het aan te bevelen zoveel mogelijk dezelfde materiaalkwaliteit te gebruiken en de omzethoek te meten, zodat deze nauwkeurig op het te verwerken materiaal kan worden aangepast.

7.5 Dieptrekken en strekken

Bij deze vervormingswijzen moet bij inzetten van HSS rekening worden gehouden met hogere proceskrachten en de verlaagde vervormbaarheidsgrenzen in een Forming Limit Curve (FLC), zie bijlage 3. De benodigde proceskracht is evenredig met de materiaaldikte en met de rekgrens van het materiaal [ref. 5]. De vervormbaarheidsgrenzen zijn afhankelijk van de oppervlaktestgesteldheid van het materiaal, van de r -waarde, de Δr -waarde en de n -waarde (bijlage 3). De maximale dieptrekverhouding is bij vervormingsstaal circa 2,1 en varieert bij HSS van 2,0 tot 1,85. De veilige dieptrekverhouding ligt lager en is circa 1,5 bij een treksterkte van 400 N/mm² tot 1,2 bij een treksterkte van 700 N/mm² [ref. 6]. Het kan daarom nodig zijn om het gereedschap zo aan te passen dat afrondingen worden aangebracht en hoogteverschillen in het product beperkt worden om voor een verminderde vervormbaarheid te compenseren. Door toepassing van speciale dieptrekoliën kan de smering worden aangepast aan de verhoogde proceskracht. Om ongeschikte combinaties van materiaal, ontwerp en vervorming te vermijden, is samenwerking van degenen die verantwoordelijk zijn voor ontwerp, gereedschap en productie belangrijk. Aangeraden wordt de benodigde wijzigingen van de procesinstellingen op basis van FEM berekening of een proef in te schatten.

7.6 Lassen

HSS reageert in zijn algemeenheid ongunstig op een warmte-inbreng zoals bij lassen. Afhankelijk van het type HSS, de eventuele aanwezigheid van koudversterking door een voorafgaande vervorming, en de afkoelsnelheid na lassen, kan een sterkteafname of materiaalverbrossing optreden. Daarom is het van belang geen lassen te maken op plaatsen waar het product juist op sterkte belast wordt, zoals bijvoorbeeld in de uiterste vezels van een dragende balk (zie ook figuren 5 en 8). Verder kan door toepassing van laserlassen de warmte-inbreng bij lassen worden geminimaliseerd. De breedte van de warmtebeïnvloede zone is bij laserlassen circa 1 mm aan beide zijden van de smeltzone, bij HF lassen (hoog frequent lassen) is deze breedte ongeveer gelijk aan de materiaaldikte en bij booglassen veelal groter dan 2 mm. Ook kan in plaats van lassen voor een andere verbindingstechniek worden gekozen, zoals lijmen of mechanisch verbinden. Voor- en nadelen van mechanisch verbinden en lijmen zijn gegeven in de NIL praktijkaanbeveling [ref. 7]. De website www.dunneplaat-online.nl biedt een handleiding bij de keuze van de meest geschikte verbindingstechniek.

8 Technische ontwerpaspecten

8.1 Stijfheid van het product

Bij gebruik van HSS zijn hogere trekspanningen toelaatbaar, waardoor dunner en dus lichter kan worden geconstrueerd. Als echter in de constructie buig- en drukspanningen optreden, dan kan dit stijfheidsproblemen opleveren zoals plooiën en knikken. De teruggang in stijfheid kan worden gecompenseerd door aanpassingen in het

ontwerp, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van verstevigingsrillen of het toepassen van grotere profieldoorsnedes. De te realiseren gewichtsvermindering moet per geval worden bekeken. Rekenvoorbeelden worden gegeven in Sheet Steel Handbook [ref. 6].

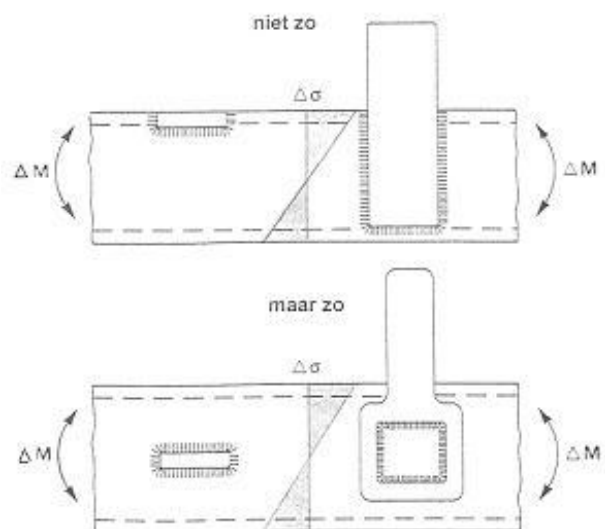
8.2 Verhitting van het product

Bij toepassing van HSS moet er rekening mee worden gehouden, dat deze stalen bij verhitting meer van hun sterkte verliezen dan klassieke constructiestalen. Dit gegeven kan van groot belang zijn voor de brandveiligheid van een constructie. De teruggang in sterkte is afhankelijk van de chemische samenstelling en de productiewijze en kan meer dan 40% bedragen voor de hoogste sterkteniveaus. De kritische temperatuur is voor PM-, CP- en DP-stalen circa 200 °C en voor HSLA kwaliteiten circa 650 °C.

8.3 Vermoeiing

Het gebruik van HSS voor onderdelen die een hoge wisselende belasting ondergaan, vraagt bijzondere aandacht. Vermoeiingsscheuren ontstaan op plaatsen waar als gevolg van kerfwerking spanningsconcentraties optreden. Daarom is het bij het ontwerp van een constructie van groot belang om een gelijkmatige krachtverdeling te waarborgen en scherpe hoeken op randen en uitsparingen te vermijden. Vermoeiing van lasnaden is hierin vaak de kritische factor. Bij puntlassen kan het een oplossing zijn om de afstand tussen de lassen te verminderen, zodat de spanning bij de las wordt verlaagd. Bij langsnaden is aan te raden om overgangen af te ronden en de naden zo glad mogelijk af te werken.

Figuur 5 geeft een voorbeeld hoe in het ontwerp rekening kan worden gehouden met een wisselende belasting. Het betreft een U-profiel met twee bevestigingsdelen daarop gelast. Het profiel ondergaat een wisselende belasting die in de figuur met ΔM is aangegeven. De spanning die als gevolg van deze belasting ontstaat, is aangegeven met $\Delta \sigma$. Deze spanning is in het midden het kleinst (gelijk aan 0) en aan de randen van het profiel het grootst. In het ontwerp dat in het bovenste deel van de figuur is weergegeven, zit een groot deel van het laswerk in de zones met de grootste spanning. In het onderste geval zit het laswerk zoveel mogelijk in het gebied met de kleinste spanning.

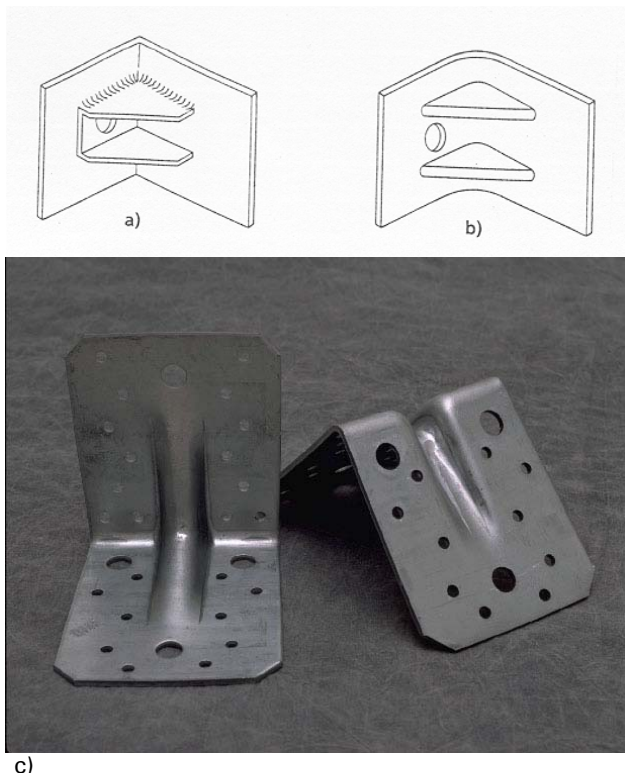


figuur 5 U-profiel met angelaste bevestigingen

8.4 Ontwerpvoorbeeld van een hoeksteun

Als HSS als een nieuw materiaal wordt ingezet voor een bestaand product, is het verstandig om het ontwerp van

het product onder de loop te nemen om de voordelen van de hogere sterkte optimaal te benutten en om eventuele wijzigingen in de productietechniek voor te bereiden. In figuur 6 is daarvan een voorbeeld gegeven. Een hoeksteun die gemaakt is van CMn staal en die twee ingelaste verstevigingen heeft, wordt vervangen door een hoeksteun uit DP-staal. De verstevigingen inlassen, zoals in de oorspronkelijke hoeksteun, zou de sterkte van het DP-staal nadelig beïnvloeden. Door de productietechniek te wijzigen en de verstevigingen in te persen in de hoeksteun, wordt echter dubbel voordeel behaald. De sterktevermindering door het lassen blijft achterwege en door het gunstige verstevigingsgedrag van DP-staal krijgen de verstevigingen extra sterkte. De nieuwe hoeksteun kan derhalve beduidend dunner en lichter zijn dan de oude.



figuur 6 Hoeksteun. a): ingelaste verstevigingen, b) en c): ingeperste verstevigingen

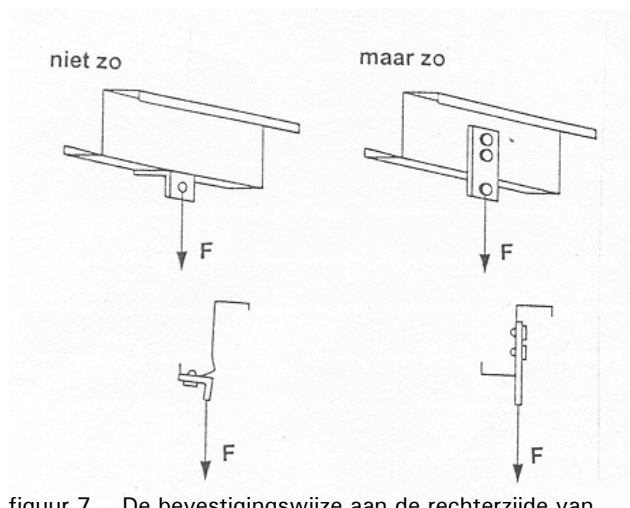
8.5 Detail boutverbinding

Figuur 7 toont een dunwandig Z-profiel, waarop via een enkele bevestiging een kracht aangrijpt. Als de bevestiging met een bout op de flens wordt gezet, zoals in de linkerzijde van de figuur, dan grijpt op de flens een buigend moment aan en ontstaat bij de hoek van de flens en het staande deel van het profiel een hoge spanning. Als de bevestiging daarentegen op het staande deel wordt gezet, zoals in de rechterkant van de figuur, dan is er geen buigend moment en zijn de spanningen veel lager.

8.6 Draagbalk

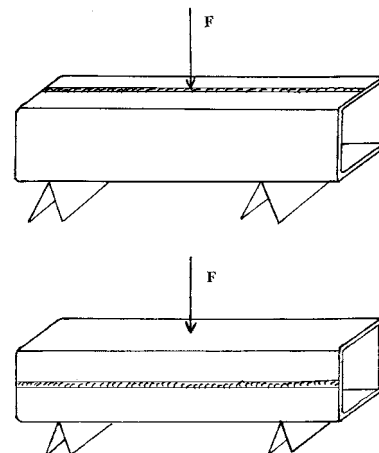
Figuur 8 geeft een draagbalk, die bestaat uit een profiel dat gezet en gelast is. De las ligt over de lengte van het profiel in het midden van een zijde. Vanwege de belasting van de draagbalk zitten de grootste spanningen aan de onder- en bovenzijde. Het profiel moet dus zo worden gedraaid, dat de las niet aan de boven- of onderzijde zit, maar aan één van de zijkanten.

Als het profiel op één van de hoeken dicht gelast zou zijn, zou het profiel niet zodanig kunnen worden gedraaid, dat de las in een zone met lage spanning komt te liggen. Het is dus in dit geval van belang om de las in



figuur 7 De bevestigingswijze aan de rechterzijde van deze figuur verdient de voorkeur

het midden van één van de kanten te leggen. Overigens geldt dit voorbeeld, evenals de voorbeelden in de figuren 5 en 7, ook voor ontwerpen in constructiestaal. De reden dat deze voorbeelden hier worden aangehaald is dat ze bij HSS van nog meer belang zijn om de materiaaleigenschappen optimaal te kunnen benutten.



figuur 8 In het onderste geval wordt de las minder zwaar belast

9 Toepassingsvoorbeelden

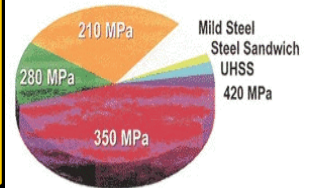
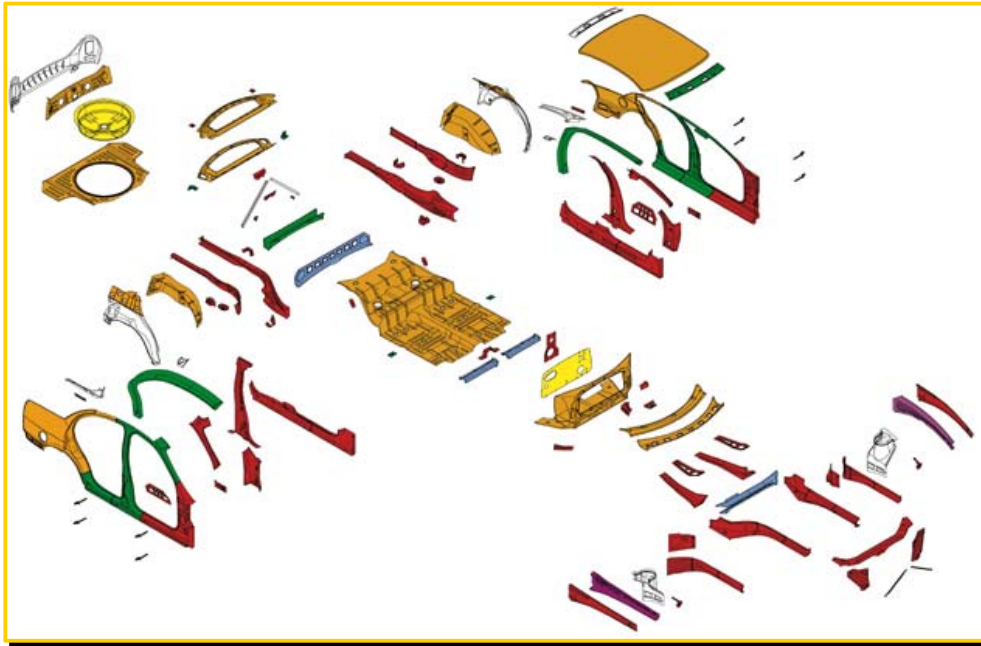
9.1 Toepassingsvoorbeelden in de carrosseriebouw

Een wereldwijd consortium van producenten van dunne staalplaat heeft in het ULSAB project (Ultra Light Steel Automotive Body) de optimale toepassing van staal in de carrosseriebouw onderzocht. In dit project is een carrosserie-ontwerp gemaakt en getest met toepassing van HSS en productietechnieken als hydrovormen en laserlassen. In 1998 was ten opzichte van de oorspronkelijke benchmark tegen gelijkblijvende of lagere kosten een gewichtsbesparing bereikt van 25%, een verbetering van de torsiestijfheid van 80% en een verbetering van de buigstijfheid van 52%.

Figuur 9 toont, op basis van de resultaten van het ULSAB project, een indicatie van mogelijkheden die er in de carrosseriebouw zijn om door toepassing van HSS te optimaliseren naar sterkte, stijfheid, gewicht en energie-absorptie.

9.2 De Tailor Made Blank (TMB)

Een "Tailor Made Blank" is samengesteld uit twee of meer blenks, die verschillen wat betreft dikte en/of materiaal-



figuur 9 Sterkteniveau's van staalkwaliteiten in de Ultra Light Steel Automotive Body

eigenschappen (zie figuur 10). De samenstellende blenks worden in verreweg de meeste gevallen aan elkaar gezet door middel van laserlassen. TMB's worden toegepast voor carrosserie-onderdelen zoals zijpanelen, vloerpanelen, wielbehuizing, motorophanging, enz. [ref. 8].

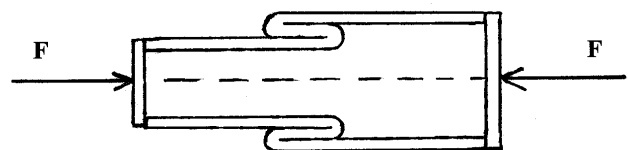


figuur 10 Binnendeel van een autoportier dat geperst is uit een TMB

Bij een conventionele blenk is de ontwerper genoodzaakt de materiaalkeuze en dikte voor de gehele blenk te baseren op de hoogste sterkte en vervormbaarheid die lokaal in de blenk benodigd zijn. De combinatie van verschillende diktes en sterktes maakt het mogelijk om de materiaaleigenschappen precies op die plekken aan te brengen, waar ze met het oog op bijvoorbeeld dieptrekbaarheid of stijfheid van het product nodig zijn. Dit leidt tot gewichtsbesparingen bij gelijkblijvende of verbeterde productprestaties.

9.3 Buizen van HSS

Buizen worden gewoonlijk van dunne band gemaakt door middel van rolvormen en hoog frequent lassen. Een nieuwe ontwikkeling is de productie van buis uit dunne plaat door middel van persen en laserlassen. Deze productiewijze maakt het mogelijk om buizen te maken met een grotere diameter/dikte-verhouding, die daardoor eenzelfde stijfheid hebben bij een lager gewicht. Door toepassing van HSS wordt daarbij een extra gewichtsbesparing bereikt. Met behulp van het hydrovormproces, waarbij grote vervormingen mogelijk zijn, kunnen uit de buizen gecompliceerde onderdelen worden gemaakt, zoals het motorophangingsdeel uit figuur 1b. Daarnaast zijn HSS buizen bijzonder geschikt als verstevigingen en elementen waarin, in geval van een botsing, energie moet worden geabsorbeerd, zoals een bumpersteun (figuur 11).



figuur 11 Dwarsdoorsnede van een uit buis gemaakte bumpersteun. Door de vouwen wordt de steun bij een botsing gelijkmatig vervormd, waardoor de energieopname wordt gemaximaliseerd

9.4 Anti-diefstalcomputerbehuizing

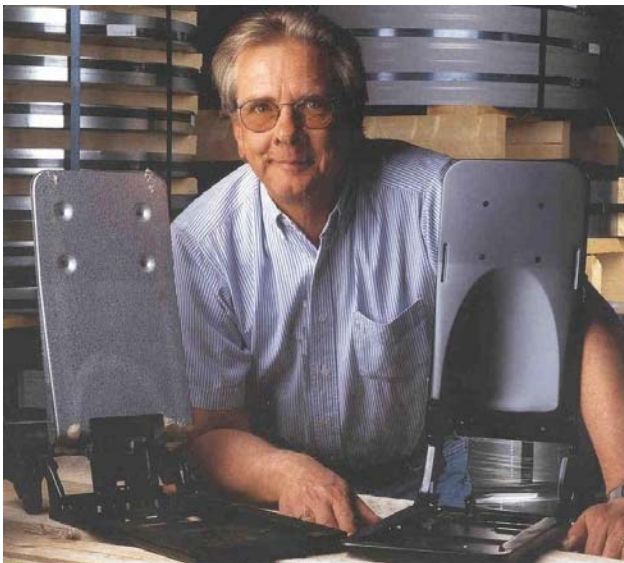
De verhoogde terugvering van Ultra Hoog Sterkte staal kan worden toegepast om een product te verbeteren. Een voorbeeld daarvan is de anti-diefstal behuizing voor computers in figuur 12. Deze behuizing van UHS staal is veel moeilijker door te zagen dan een behuizing van zacht staal en bovendien is deze behuizing veel moeilijker open te breken, omdat hij bij pogingen daartoe met hoge kracht terugveert.



figuur 12 Anti-diefstalcomputerbehuizing

9.5 Kinderzitje

De functionele en sterkte-eigenschappen van het vernieuwde kinderzitje uit figuur 13 zijn hetzelfde gebleven bij een gewicht dat met 41% is gereduceerd van 3,9 tot 2,3 kg. Deze gewichtsvermindering is bereikt door toepassing van een HSS met een rekgrens van 800 N/mm² in plaats van een vervormingsstaal DC01. Ook is het aantal samenstellende onderdelen verminderd van 14 naar 7 en zijn puntlassen vervangen door drukvoegen. Deze aanpassingen hebben de hoeveelheid restmateriaal verminderd en daarnaast het productieproces versoepeld.



figuur 13 Kinderzitje. Rechts de vernieuwde versie uit HSS

10 Verkrijgbaarheid

Grotere hoeveelheden (denk aan 20 ton of meer) kunnen direct van de staalfabrikant worden betrokken als plaat of op de rol. Kleinere hoeveelheden zijn leverbaar via de steel service centers en de handelscentra. Adressen zijn via het internet te vinden (zie ook hoofdstuk 12). Om tot een goede levering te komen, is het van belang kennis te nemen van de technische leveringsvoorwaarden volgens de van toepassing zijnde norm (zie bijlagen 1 en 2). Hierin wordt aangegeven welke gegevens in de order moeten worden opgenomen.

Daarbij gaat het om zaken als:

- ▶ Staalsoort, gespecificeerd volgens een geldige norm;
- ▶ Afmetingen en hoeveelheid;
- ▶ Ruwe walskanten of bezoomd (voor een rol);
- ▶ Toepassing;

- ▶ Vlakheid, oppervlakteruwheid, bekledingslaag;
- ▶ Verpakkingswijze, labels;
- ▶ Eventueel gevraagde inspectiedocumenten;
- ▶ Prijs en levertijd.

11 Referenties en bronvermeldingen

Referenties:

- [1] Verwerken van constructiestaal met hoge rekgrens. Praktijkaanbeveling nr. PA.00.09; maart 2000; FME-CWM.
- [2] Materialen. Vormgeven van dunne plaat VM 111; FME-CWM.
- [3] Scheidingstechnieken voor metalen. VM 114; FME-CWM.
- [4] Buigen. Vormgeven van dunne metaalplaat. VM 113; FME-CWM.
- [5] Dieptrekken. Vormgeven van dunne metaalplaat. VM 110; FME-CWM.
- [6] Sheet Steel Handbook. Uitgave SSAB, 1998.
- [7] Praktijkaanbeveling mechanisch verbinden en lijmen. NIL-V980801; Juli 1998.
- [8] Automotive Steel Design Manual. AISI 1998.

Bronvermeldingen:

Figuren 1, 2, 6, 13 en 14:
SSAB, zie ook www.ssabunnplat.com.
Figuur 3:
Automotive Steel Design Manual AISI 1998
Figuren 4, 5, 6, 7 en 8:
Sheet Steel Handbook. SSAB 1998.
Figuur 9:
www.ulsab.org.
Figuren 10,11, B3.1, B3.2, B3.3, B3.4 en B5.1:
Corus.

12 Websites

www.ssabunnplat.com
www.mcb.nl
www.corus-servicecentres.com
www.corusgroup.com
www.DunnePlaat-Online.nl
www.thyssenkruppstahlunion.de
www.a-sp.org
 met daarop o.a. Automotive Steel Design Manual
 en High Strength Steel Stamping Design Manual.
www.ulsab.org

13 Lijst met afkortingen

AISI	American Iron and Steel Institute
CP	Complex Phase
DP	Dual Phase
DQ	Drawing Quality (vervormingsstaal)
EEM	Eindige Elementen Methode
EN	EuroNorm
FLC	Forming Limit Curve
HR	Hoge Rekgrens
HSLA	High Strength Low Alloy
HSS	Hoge Sterkte Staal (of High Strength Steel)
IF	Interstitial Free
NIL	Nederlands Instituut Lastechiek
PM	Partially Martensitic
TM	Thermo Mechanisch
TMB	Tailor Made Blank
TRIP	TRansformation Induced Plasticity
UHS	Ultra Hoog Sterkte staal

tabel B1.1 Aanduidingen van koudgewalst en verzinkt Hoge Sterkte Staal volgens verschillende internationale normen

Europa	Duitsland	Amerika
EN10292		
Rephos	SEW094	
H220PD + Z/ZF	ZStE220P	
H260PD + Z/ZF	ZStE260P	
H300PD + Z	ZStE320P	
IF Rephos		
H220YD + Z		
H260YD + Z		
Bake Hardening		
H180BD + Z/ZF		
H220BD + Z/ZF		
Microgelegeerd	SEW093	ASTM A653
H260LAD + Z/ZF	ZStE260	-
H300LAD + Z/ZF	ZStE300	-
H340LAD + Z	ZStE340	-
H380LAD + Z	ZStE380	HSLAS A + B Gr.50
H420LAD + Z	ZStE420	HSLAS A + B Gr.60

tabel B1.2 Aanduidingen van koudgewalst Hoge Sterkte Staal volgens verschillende internationale normen. HSLA of microgelegeerd. Onbekleed

Europa	Duitsland	Frankrijk	Amerika
EN10268	SEW093	NFA 36-232	ASTM A1008 hslas
H240LA	ZStE260	E240C	-
H280LA	ZStE300	E280C	-
H320LA	ZStE340	E315C	Gr.45 Class 1 + 2
H360LA	ZstE380	-	Gr.50 Class 1 + 2
-	ZstE420	-	Gr.55 Class 1 + 2

tabel B1.3 Aanduidingen van warmgewalst Hoge Sterkte Staal volgens verschillende internationale normen. HSLA. Onbekleed

Europa	Verenigd Koninkrijk	Duitsland	Frankrijk	Amerika
EN 10149-2 ¹⁾	BS 1449	SEW 092 ²⁾	NFA 36-231 ¹⁾	A607 – SAE J 1392
	40F30	QstE260TM		
S315MC	43F35	QStE300TM	E315D	Gr.45 -045XL/YL
S355MC	46F40	QStE360TM	E355D	Gr.50 -050XL/YL
S420MC	50F45	QStE420TM	E420D	Gr.60 -060YL
S460MC		QstE460TM		Gr.65 -
			E490D	
S500MC		QStE500TM		Gr.70 -070XL/YL
S550MC	60F55	QstE550TM	E560D	-080XL
S600MC		QStE600TM		Gr.100-
	68F62		E620D	
S650MC		QStE650TM		
S700MC	75F70	QStE690TM	E690D	

N.B. Bij uitname van de proefstukken in dwarsrichting worden hogere sterktes gevonden dan bij uitname in langsrichting. Dit betekent, bijvoorbeeld, dat een S420MC sterker is dan een QStE420TM.
¹⁾ De waarden voor de trekproef van deze staalsoorten gelden voor proefstaven uit de langsrichting
²⁾ De waarden voor de trekproef van deze staalsoorten gelden voor proefstaven uit de dwarsrichting

tabel B1.4 Mechanische eigenschappen van koudgewalst vervormingsstaal met verhoogde rekgrens volgens EN 10292. Proefstaven uit de dwarsrichting. Het bake hardening effect is tussen haakjes aangegeven

EN 10292		Rekgrens R_p (N/mm ²)	Treksterkte R_m (N/mm ²)	Minimum rek na breuk A_{80} (%)
Rephos	H220PD	220-280	340-400	32
	H260PD	260-320	380-440	28
IF-Rephos	H220YD	220-280	340-410	32
	H260YD	260-320	380-440	30
	H300PD	300-360	400-480	26
Bake Hardening	H180BD	180-240 (+ 35)	300-360	34
	H220BD	220-280 (+ 35)	340-400	32

tabel B1.5 Mechanische eigenschappen van koudgewalst microgelegeerd HSS volgens EN10268. Proefstaven uit de langsrichting

EN10268	Minimum rekgrens R_p (N/mm ²)	Maximum rekgrens R_p (N/mm ²)	Minimum treksterkte R_m (N/mm ²)	Minimum rek na breuk A_{80} (%)
H240LA	240	310	340	27
H280LA	280	360	370	24
H320LA	320	410	400	22
H360LA	360	460	430	20
H400LA	400	500	460	18

tabel B1.6 Mechanische eigenschappen van warmgewalst HSS (HSLA) volgens EN10149-2. Proefstaven uit de langsrichting

EN10149-2	Minimum rekgrens R_p (N/mm ²)	Treksterkte R_m (N/mm ²)	Minimum rek na breuk A_{80} (%)
S315MC	315	390-510	20
S355MC	355	430-550	19
S420MC	420	480-620	16
S460MC	460	520-670	14
S500MC	500	550-700	12
S550MC	550	600-760	12
S600MC	600	650-820	11
S650MC	650	700-880	10
S700MC	700	750-950	10

tabel B1.7 Aanduidingen en mechanische eigenschappen van bekleed HSS (DP-, TRIP- en PM-staal) volgens prEN 10336:2002. Indien aanwezig, is tussen haakjes het bake hardening effect aangegeven

PrEN 10336:2002		Rekgrens R_p (N/mm ²)	Treksterkte R_m (N/mm ²)	Minimum rek na breuk A_{80} (%)
DP-staal	HT450X	250-330 (+ 30)	450	27
	HT500X	290-370 (+ 30)	500	24
	HT600X	330-410 (+ 30)	600	21
	HT800X	420-550 (+ 30)	780	15
	HT1000X	550-700 (+ 30)	980	10
TRIP-staal	HT600T	380-480 (+ 40)	600	26
	HT700T	410-510 (+ 40)	700	24
	HT800T	440-560 (+ 40)	780	22
	HT1000T	n.t.b. (+ 40)	980	18
PM-staal	HT600C	350-470	600	16
	HT800C	500-640	780	10
	HT900C	580-740	880	8
	HT1000C	660-860	980	6

N.B. Het getal in de aanduiding heeft bij deze staalsoorten betrekking op de treksterkte en niet op de rekgrens zoals bij de staalsoorten in de andere tabellen

B2.1 Normen met betrekking tot de beproeving

NEN-EN 10 002-1	Metalen - Trekproef, beproevingsmethode bij omgevingstemperatuur.
NEN-EN-ISO 6506	Metalen - Hardheidsmeting volgens Brinell.
NEN-EN-ISO 6508	Metalen - Hardheidsmeting volgens Rockwell.
EURONORM 5	Vickers hardheidsbepaling voor staal.
EURONORM 6	Vervormingsbuigproef voor staal.
EURONORM 12	Vervormingsbuigproef voor staalplaat en bandstaal met een dikte kleiner dan 3 mm.
EURONORM 18	Monsterneming en behandeling van monsters en proefstaven voor staal en staalproducten.
EURONORM 49	Meting van de ruwheid van koudgewalste, niet beklede dunne stalen plaat en band.

B2.2 Normen met betrekking tot de definitie van staalsoorten, producten en documenten

NEN-EN 10 020	Definitie en indeling van staalsoorten.
NEN-EN 10 027	Systemen voor het aanduiden van staalsoorten.
NEN-EN 10 079	Definitie van staalproducten.
NEN-EN 10 204	Producten van metaal, soorten keuringsdocumenten.
EURONORM 168	Producten van de ijzer- en staalindustrie, inhoud van keuringsdocumenten.

B2.3 Normen met betrekking tot warmgewalste producten, technische leveringsvoorwaarden, toleranties op vorm en afmeting

NEN-EN 10 021	Algemene technische leveringsvoorwaarden voor staal en staalproducten.
NEN-EN 10111	Continu warmgewalste plaat en band van laag koolstofstaal voor koud dieptrekken of zetwerk - Technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 10 025	Warmgewalste producten van ongelegeerd constructiestaal - Technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 10 051	Continu warmgewalste niet-beklede plaat en band van ongelegeerd en gelegeerd staal - Toleranties op vorm en afmeting.
NEN-EN 10149	Warmgewalste platte producten gemaakt van staalsoorten met een hoge vloeigrens voor koud vervormen. Deel 1 Algemene leveringsvoorwaarden. Deel 2 Leveringsvoorwaarden voor thermomechanisch gewalste staalsoorten. Deel 3 Leveringsvoorwaarden voor normaalgegloeide of normaliserend gewalste staalsoorten.

B2.4 Normen met betrekking tot koudgewalste producten, technische leveringsvoorwaarden, toleranties op vorm en afmeting

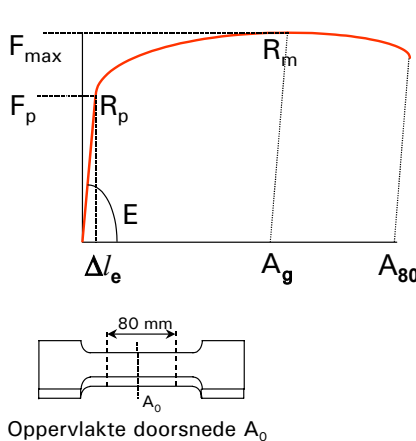
NEN-EN 10 021	Algemene technische leveringsvoorwaarden voor staal en staalproducten.
NEN-EN 10 130	Koudgewalste platte producten van laag koolstofstaal voor koud dieptrekken of zetwerk - Technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 10 131	Koudgewalste, niet-beklede producten platte producten van laag koolstofstaal en staal met een hoge vloeigrens voor koud dieptrekken of zetwerk, toleranties op vorm en afmeting.
NEN-EN 10139	Niet-bekleed koudgewalst smalband van zacht staal voor koudvormen - Technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 10140	Koudgewalst smalband van staal - Toleranties op vorm en afmetingen.
NEN-EN 10 149 en NEN-EU 149-4	Platte producten van staal met hoge rekgrens voor koudvervorming – strip, plaat, rol en band – technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 10268	Cold rolled flat products with higher yield strength for cold forming - Technical delivery conditions.

B2.5 Normen met betrekking tot gewalste beklede producten van staal, technische leveringsvoorwaarden, toleranties op vorm en afmetingen

NEN-EN 10 021	Algemene technische leveringsvoorwaarden voor staal en staalproducten.
NEN-EN 10 142	Continu dompelverzinkte plaat en breedband van laag koolstofstaal voor kouddieptrekken of zetwerk - Technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 10 143	Plaat en band van staal bekleed met een metaal door continu dompelen - Toleranties op vorm en afmeting.
NEN-EN 10 147	Continu-dompelverzinkte plaat en band van staal voor constructiedoeleinden - Technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 10 152	Elektrolytisch verzinkte gewalste platte staalproducten, technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 154	Continu dompelverzinkte aluminium-silicium (AS) plaat en band - Technische leveringsvoorwaarden.
NEN-EN 10 202	Koudgewalst blik met een elektrolytisch aangebrachte chroom-/chromoxidelaag - Technische leveringsvoorwaarden.
prEN 10336	Continuously hot-dip coated and electrically coated strip and sheet of multiphase steels for cold forming – Technical delivery conditions.
DIN-EN 10292	Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen.

B3.1 Trekproef

Staal wordt gekarakteriseerd door middel van gestandaardiseerde testen, waarvan de trekproef de meest gangbare is. Naast de trekproef komen ook hardheidsmeting, microscopisch onderzoek, buigproef en Erichsentest veel voor. In de trekproefnorm NEN-EN 10002 is genormeerd hoe de grootheden worden bepaald die men vaak in een keuringsrapport terugziet, zoals de rekgrens ($R_{p0,2}$), de treksterkte (R_m) en de breukrek (A_{80}). De definities van de n-waarde en de r-waarde zijn gegeven in NEN-EN 10130.



E modulus: $E = \frac{F_p}{\Delta l_e}$

Rekgrens: $R_p = \frac{F_p}{A_0}$

Treksterkte: $R_m = \frac{F_{max}}{A_0}$

Rek: $A = \frac{\Delta l}{l_0}$

Gelijkmatige rek: A_g

Breukrek: A_{80}

figuur B3.1 Grootheden uit de trekproef

De rekgrens is de spanningswaarde waarboven blijvende vervorming op zal gaan treden. De treksterkte is de hoogste spanning die het materiaal na versteviging (zie B4.6) kan verdragen zonder te breken. Als deze spanning wordt overschreden, snoert de trekstaaf plaatselijk in en breekt dan vervolgens. De totale verlenging die de staaf op het moment van breuk ondergaan heeft, is de breukrek A_{80} . De rek tot aan de treksterkte wordt de gelijkmatige rek genoemd (A_g). De n-waarde of verstevigingsexponent is een maat voor de versteviging die bij een gegeven rek optreedt ($0,16 < n < 0,23$).

$$n = \frac{\ln \sigma - \ln K}{\ln \varepsilon}$$

met σ = ware spanning, ε = ware rek en K = materiaalafhankelijke constante

NB: A_{80} en A_g worden uitgedrukt in de technische rek $\Delta l/l_0$ en in de definitie van de n-waarde en de r-waarde wordt gebruikgemaakt van de ware rek $\ln(\Delta l/l_0)$.

Vanwege de wijze waarop de n-waarde gedefinieerd is, resulteert eenzelfde totale versteviging bij een hogere rekgrens in een kleinere n-waarde. n-waarden zijn derhalve alleen bij gelijke rekgrensniveaus direct met elkaar te vergelijken. Bij een gelijk rekgrensniveau staat een hogere n-waarde voor een hogere versteviging en daarmee voor een betere buigbaarheid en strekbaarheid.

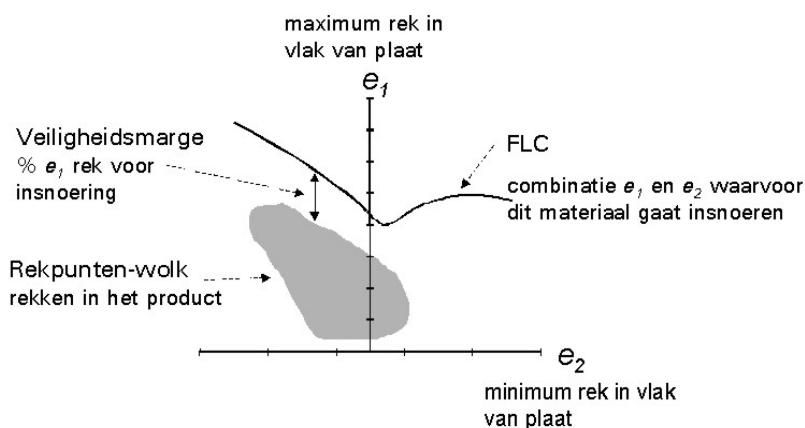
De r-waarde geeft de verhouding tussen de ware breedterek en de ware dikterek van de trekstaaf ($r = \varepsilon_b/\varepsilon_d$). De r-waarde, die gewoonlijk tussen 1 en 2 ligt, wordt groter bij een grotere breedterek. Er kunnen verschillen optreden tussen r-waarden bij uitname van trekstaven met verschillende oriëntaties ten opzichte van de walsrichting. Deze richtingafhankelijkheid van de materiaaleigenschappen wordt anisotropie genoemd. De gemiddelde r-waarde bij uitname van trekstaven met een hoek van 0, 45 en 90 graden ten opzichte van de walsrichting is een maat voor de normaalanisotropie: $r_m = 0,25(r_0 + r_{90} + 2r_{45})$. De vlakanisotropie, die uit dezelfde meetgegevens wordt bepaald, is een maat voor de gevoeligheid van het materiaal voor oortrekking bij dieptrekken: $\Delta r = 0,5(r_0 + r_{90} - 2r_{45})$.

B3.2 Grensvervormingskromme

Een meer geavanceerde methode om de vervormingsmogelijkheden van plaatmateriaal te karakteriseren is de grensvervormingskromme of FLC (Forming Limit Curve). Deze curve geeft aan welke combinaties van rekken nog juist mogelijk zijn in twee loodrecht op elkaar staande richtingen in het plaatvlak voor een gegeven materiaal (elk materiaal heeft zijn eigen FLC), zie figuur B3.2. Als de werkelijk optredende vervormingen in het product de FLC overschrijden, treedt scheurvorming op. In dat geval moet een aanpassing plaatsvinden van de procesinstellingen, de smeringscondities, het productontwerp, het gereedschap of het materiaal. Computersimulaties met behulp van eindige-elementenberekeningen (FEM) kunnen hierbij worden gebruikt om na te gaan of de werkelijk optredende vervormingen na de voorgenomen aanpassingen onder de FLC zullen blijven of niet.

In figuur B3.3 is aangegeven hoe voor een daadwerkelijk geperst onderdeel de gemeten rekken zich tot de FLC verhouden. Bij dit gebruik van de FLC wordt zichtbaar waar de kritische punten in het onderdeel zitten. Deze informatie is nuttig als men bijvoorbeeld een ander materiaal wil gaan inzetten. In het voorbeeld blijven de vervormingen op de portierdorpel die in een zijwand van een auto wordt geperst, juist binnen de FLC.

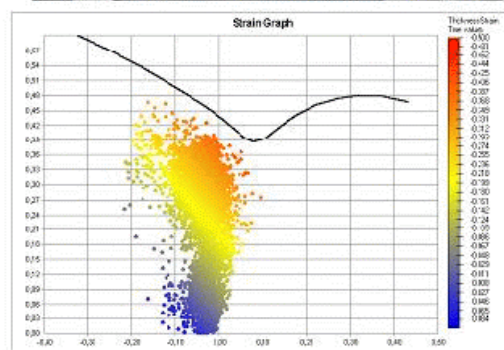
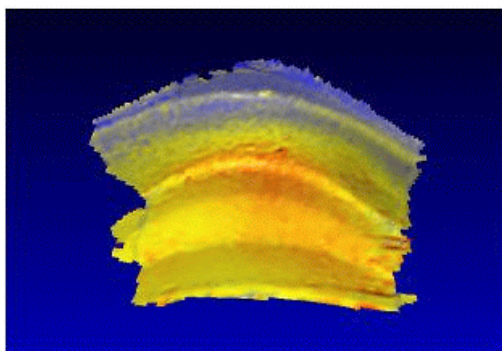
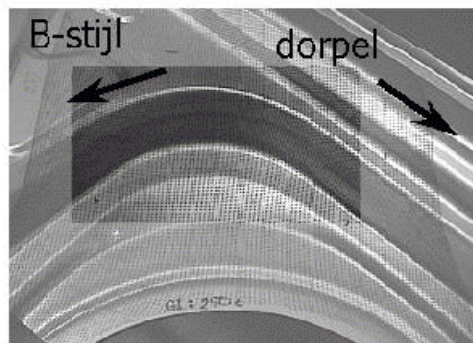
Forming Limit Curve (FLC)



- FLC altijd in combinatie met de rekpunten wolk bekijken

figuur B3.2 FLC met ingetekende puntenwolk voor een strek/dieptrekvervorming

Rekmetingen van een zijwand



figuur B3.3 Toepassingsvoorbeeld FLC. De met rood aangegeven vervormingen zijn kritisch

B3.3 Materiaaldata

De n -waarde of de gelijkmatige rek A_g dient bekend te zijn voor het uitvoeren van vervormingsberekeningen. Bij anisotroop materiaal geldt dit ook voor de r -waarde. Bij het beoordelen van de optredende rekken dient de *Forming Limit Curve* (FLC) bekend te zijn. De staalleveranciers kunnen behulpzaam zijn bij het aanleveren van deze gegevens.

B3.4 Terugvering

De terugvering is de elastische vervorming die weer ongedaan wordt gemaakt als de kracht wordt weggenomen. De elastische vervorming is samengesteld uit de elastische vervorming tot aan de rekgrens en de elastische component die in de plastische vervorming schuilt. De totale elastische vervorming is evenredig met de voor de vervorming benodigde kracht (zie figuur B3.4).



figuur B3.4 Terugvering

De terugvering is evenredig met de materiaalsterkte en omgekeerd evenredig met de elasticiteitsmodulus. Daar de elasticiteitsmodulus nagenoeg onafhankelijk is van het staaltype zal de terugvering toenemen bij toepassing van staal met een hogere sterkte. De terugvering wordt echter niet alleen door de materiaalsterkte bepaald, maar ook door de materiaaldikte en het gebruikte gereedschap. Bij een kleinere materiaaldikte zal de terugvering groter zijn evenals bij een grotere buigradius.

B3.5 Dieptrekverhouding

Als uit een ronde blenk een beker diepgetrokken wordt dan is de dieptrekverhouding de diameter van de blenk gedeeld door de diameter van de beker.

B4.1 Sterkteverhogende mechanismen

In staal zijn een aantal fenomenen van belang voor de sterkte. Dit zijn:

- fasemodificatie;
- oplosharding;
- precipitatie;
- dislocatiepinning en bake hardening;
- versteviging;
- korrelverfijning.

B4.2 Fasemodificatie

In de microstructuur van staal kunnen verschillende fasen voor komen zoals ferriet, cementiet, perliet, bainiet, martensiet en (rest)austeniet. Deze fasen, die verschillende vormen van het metaalrooster vertegenwoordigen, zijn onder een lichtmicroscopisch zichtbaar te maken. Het is afhankelijk van de chemische samenstelling en van de wals- en gloeibehandelingen die het staal ondergaan heeft welke fasen het uiteindelijk bevat en in welke verhouding ze aanwezig zijn. Perliet, bainiet en martensiet zijn de fasen die belangrijk bijdragen aan sterkteverhoging. Ferriet is de fase die belangrijk bijdraagt aan de vervormbaarheid. Bij wals- en gloeibehandelingen met snelle afkoelingen die leiden tot de vorming van bainiet en martensiet in plaats van ferriet en perliet spreekt men van fasemodificatie.

B4.3 Oplosharding

Bij afkoeling van staal vanaf de warmwaltemperatuur (tussen 850 en 950 °C) vindt een fasetransformatie plaats. De austenitische fase die bij warmwaltemperatuur aanwezig is wordt omgezet naar een ferritische structuur bij kamertemperatuur. Bij aanwezigheid van koolstof wordt naast ferriet ook cementiet (Fe_3C) gevormd. Koolstof, maar ook een element als stikstof, borium of fosfor, is beter oplosbaar in austeniet dan in ferriet. Daarnaast is het zo dat er minder koolstof in ferriet opgelost kan worden naarmate de temperatuur van het ferriet lager is. Bij de omzetting van austeniet naar ferriet wordt de koolstof uitgedreven. Als de afkoelsnelheid hoog is blijft er echter koolstof achter in de ferrietmatrix. Deze koolstof maakt de ferriet harder en sterker. Bij zeer hoge afkoelsnelheden blijft er zoveel koolstof achter dat de omzetting van austeniet naar ferriet niet kan plaatsvinden en dan wordt er in plaats van ferriet bainiet of martensiet gevormd. Deze structuren bevatten veel koolstof, ze zijn hard en sterk en ze hebben een significant verminderde vervormbaarheid. Andere in tabel 7 genoemde elementen kunnen evenals koolstof en op soortgelijke wijze tot oplosharding leiden.

tabel 7 Rekgrensverhoging (N/mm^2) door oplosharding per gewichtsprocent toevoeging

ΔR_p	B	C	N	P	Si	Mn	Ni	Cr
(N/mm^2)	> 6000	> 4000	> 4000	1100	70	40	40	-30

B4.4 Precipitatieharding

Als een structuur die bij kamertemperatuur een overmaat aan koolstof bevat, verwarmd wordt, dan krijgt de koolstof grotere beweeglijkheid binnen de matrix waarin het opgesloten zit en kunnen zich clusters van stabiele verbindingen zoals Fe_3C vormen. Deze clusters vormen uitscheidingen binnen de matrix en worden precipitaten genoemd. Ze dragen bij aan de sterkte van de matrix zolang ze daarin fijn verdeeld zijn. Bij voldoende hoge temperatuur kunnen enkele precipitaten uitgroeien ten koste van andere waardoor precipitaatvrije gebieden ontstaan en het sterkteverhogend effect van de precipitaten afneemt.

Oplosharding en precipitatieharding staan met elkaar in verband. Koolstofatomen die bij gaan dragen aan precipitatieharding dragen niet meer bij aan de oplosharding. Behalve koolstof is ook stikstof een element dat bij kan dragen aan oplos- en precipitatieharding. De precipitaten kunnen verbindingen met ijzer zijn maar ook verbindingen met Mn, Si, B, V, Nb.

B4.5 Verouderen, pinnen van dislocaties. Bake hardening

In het metaalrooster bevinden zich dislocaties. Dit zijn net zoals vacatures onvolkomenheden in de atoomstapeling van het metaalrooster. Door de aanwezigheid van deze dislocaties verloopt de plastische vervorming bij lagere spanningsniveaus. Koolstof en stikstof kunnen bij kamertemperatuur naar de dislocaties bewegen en ze vastzetten of pinnen. Hierdoor wordt het initiële spanningsniveau dat nodig is voor plastische deformatie hoger. Indien een rekgrens aanwezig was, krijgt deze het karakter van een vloeigrens. Dit verschijnsel wordt veroudering genoemd en wordt als ongewenst beschouwd omdat het bij plastische vervorming vloeilijnen veroorzaakt die bijvoorbeeld in persdelen ook na lakken zichtbaar blijven.

Door een goede keuze van de legeringssamenstelling kan het verouderingsverschijnsel bij kamertemperatuur onderdrukt worden en juist opgeroepen worden bij verhoogde temperatuur (170-180 °C). In dit geval wordt het bake hardening genoemd en kan het op een gewenst moment toegepast worden, bijvoorbeeld in een lakstraat na het vormen van een persdeel.

B4.6 Verstevinging

Bij blijvende vervorming, ook wel aangeduid als plastische vervorming, van staal treedt verstevinging op. Hiermee wordt bedoeld dat voor een verdere vervorming een hogere kracht nodig is. Dit verschijnsel heeft zijn oorsprong in de microstructuur. Plastische vervorming heeft, zowel op macroscopische als op microscopische schaal, plaats in vlakken met afschuifspanningen. Door de afschuiving die als gevolg van de afschuifspanningen plaatsvindt verandert op microscopische schaal de oriëntatie van het kristalrooster, wat samen met het annihileren en vastlopen van dislocaties verdergaande afschuiving moeilijker maakt.

Staal kan derhalve door een (koude) vervorming sterker gemaakt worden. Hierbij wordt het resterende vervormingspotentieel minder.

B4.7 Korrelverfijning

Bij het warmwalsen van staal wordt de korrelstructuur van het austeniet waaruit het staal bij die temperatuur bestaat langgerekt. De langgerekte korrels hebben de energetische drang om weer een bolvorm aan te nemen. Bij warmwalstemperaturen hebben de atomen voldoende beweeglijkheid om dit ook mogelijk te maken. Deze vormverandering naar de energetisch gunstigere bolvorm heet rekristallisatie. Rekristallisatie is een proces van kiemvorming en groei. Als het proces op veel plaatsen tegelijk start dan ontstaan er veel kleine korrels. Bij voldoende tijd en voldoende hoge temperatuur kan het proces zich voortzetten waarbij dan enkele korrels uitgroeien en groter worden ten koste van andere.

Bij de snelle opeenvolging van de walsstappen die in een warmwalsstraat gerealiseerd wordt, worden de austenietkorrels door rekristallisatie steeds kleiner. En ook na transformatie tot ferriet resulteert dan een fijne korrel. Wel zijn er in dit opzicht significante verschillen tussen de verschillende staalsoorten die samenhangen met samenstelling en oprottemperatuur.

Ook bij koudwalsen wordt de korrelstructuur, die in dat geval in het algemeen voornamelijk uit ferriet bestaat, langgerekt. De temperatuur is echter niet hoog genoeg voor rekristallisatie. Hierdoor neemt de deformatieweerstand van het materiaal snel toe en moet het aantal koudwalsstappen beperkt blijven (2 à 3). Na koudwalsen resulteert full hard materiaal. Dit materiaal heeft een hoge sterkte en een lage vervormbaarheid. Door een gloeibehandeling na koudwalsen keert de vervormbaarheid terug en neemt de sterkte weer af doordat het materiaal dan rekristalliseert. Afhankelijk van de voorafgaande procesvoering bij het warmwalsen en de chemische samenstelling van het staal kan bij de gloeibehandeling naast rekristallisatie ook veroudering en precipitatie optreden.

Het gegloeide materiaal ondergaat een nawalssteek om het verouderingsverschijnsel te onderdrukken en om het oppervlak de gewenste ruwheid en textuur te geven.

B5.1 Productiewijze

Hoge Sterkte Stalen worden gemaakt door het gericht toepassen van combinaties van legeringselementen en versneld koelen vanaf temperaturen tussen 900 en 600 °C.

Juist bij de productie van dunne plaat zijn er goede mogelijkheden om de vereiste hoge afkoelsnelheden te realiseren. In het geval van warmgewalste dunne plaat kan dat zelfs direct na het warmwalsen. Bij koudgewalste plaat worden de uiteindelijke plaaieigenschappen gerealiseerd door een gloeibehandeling, met eventueel een versnelde koeling, na het koudwalsen. Dit is ook het geval bij staalplaat met een bekledingslaag zoals zink.

Een hoger koolstofgehalte leidt tot een microstructuur die meer perliet en minder ferriet bevat. Daarnaast leiden wals- en gloeibehandelingen met snelle afkoelingen tot de vorming van bainiet en martensiet in plaats van perliet. Van deze mogelijkheden wordt bij het warmwalsen gebruik gemaakt. Na het warmwalsen (afwalstemperaturen typisch tussen 850 °C en 930 °C) wordt bandstaal met water versneld afgekoeld tot de temperatuur waarop het op een rol wordt gewikkeld (oproltemperaturen typisch tussen 450 °C en 700 °C). Door een juiste keuze van chemische samenstelling, afwalstemperatuur, afkoelsnelheid en oproltemperatuur kunnen de verschillende staalsoorten gemaakt worden die in tabel 1 en 2 zijn aangegeven.

B5.2 Microstructuur en sterkteverhogende mechanismen

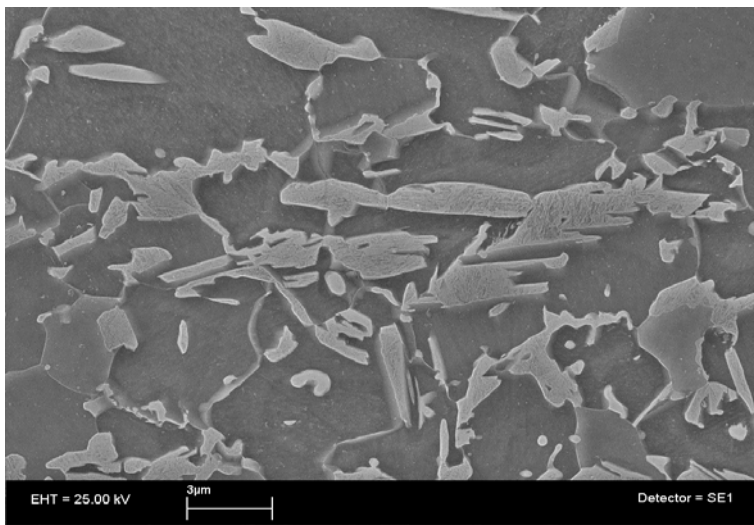
Bij de HSLA staalsoorten wordt de sterkteverhoging bereikt door verhoging van het mangaangehalte en door gebruik van de microlegeringselementen niobium en vanadium. Toepassing van niobium leidt tot fijnere ferriet- en perlietkorrels en vanadium levert door precipitatieharding een bijdrage aan de verhoging van de sterkte. Mangaan geeft evenals koolstof een vergroting van het perlietaandeel in de microstructuur.

Bij IF-Rephos staal wordt de sterkteverhoging bereikt door oplosharding met fosfor in de ferriet matrix. Bij de bake hardening kwaliteiten leveren fosfor en koolstof een bijdrage door oplosharding. Ook is mangaan toegevoegd voor sterkteverhoging.

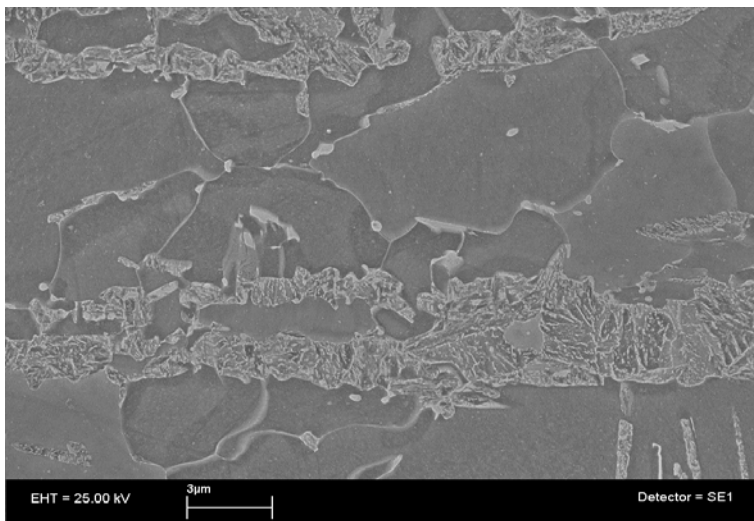
Bij DP-staal is door snelle afkoeling de harde fase martensiet aanwezig. De martensiet is ingebed in een ferriet matrix. De verhouding tussen de hoeveelheden martensiet en ferriet is afhankelijk van het koolstofgehalte en de temperatuur waarbij de versnelde koeling is ingezet. Bij CP-staal is naast martensiet en ferriet ook bainiet aanwezig. Bij TRIP-staal komt naast martensiet en ferriet restausteniet voor. Deze restausteniet geeft het staal extra plastische vervormbaarheid.

B5.3 Microstructuurveranderingen door lassen

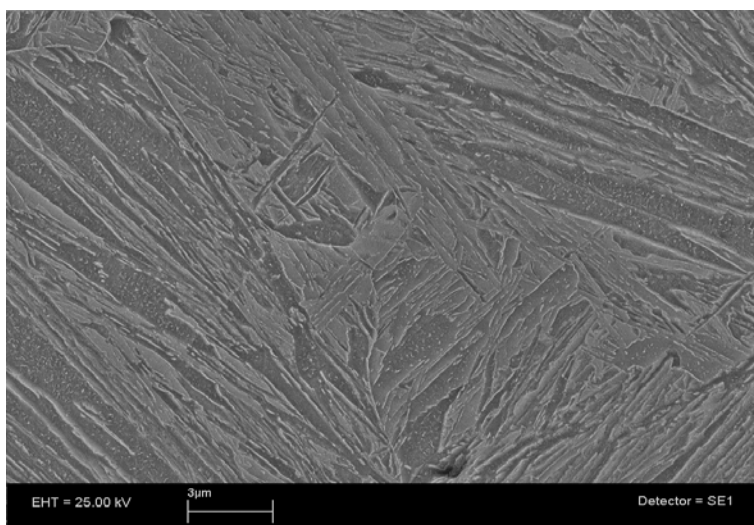
Figuur B5.1 op de volgende bladzijde laat een voorbeeld zien van veranderingen die bij lassen van HSS in de microstructuur kunnen optreden. Figuur B5.1a. toont DP-moedermateriaal, waarbij de lichte martensieteilanden zijn ingebed in de grijze ferrietmatrix. Deze structuur zorgt voor de goede combinatie van sterkte en vervormingseigenschappen van DP-staal. Figuur B5.1b. toont een structuur van ontlaten martensiet in een matrix van ferriet. Deze structuur bevindt zich in de warmtebeïnvloede zone en heeft ook goede vervormingseigenschappen, maar wel een verminderde sterkte. Figuur B5.1c. toont de ferriet/bainiet structuur in de smeltzone. De structuur bevat meer bainiet dan ferriet en het ferriet vormt geen aaneengesloten matrix meer. Deze structuur is sterker dan het DP-moedermateriaal maar heeft een sterk verminderde vervormbaarheid. Deze voorbeelden van structuurveranderingen gelden alleen voor DP-staal. De andere hoge sterkte stalen hebben andere microstructuren en sterkteverhogende mechanismen en derhalve ook andere specifieke reacties op warmte-inbreng



(a)



(b)



(c)

figuur B5.1 Veranderingen in de microstructuur van DP1000-staal door lassen. De ferriet fase is grijs en de andere fasen zijn licht. De opnames zijn gemaakt met een elektronenmicroscop. Vergroting circa 3000x

Auteurs

Dit Tech-Info-blad is samengesteld door P.D. Marchal (Corus RD&T) op basis van informatie die beschikbaar is gesteld door SSAB, Corus en MCB. De samensteller werd ondersteund door een klankbordgroep bestaande uit: T. Gales (TNO Industrie), J. van de Put (Syntens), H.L.M. Raaijmakers (Federatie Dunne Plaat), F. Stap (NIMR), G. Vaessen (GVA), B. Wats (SSAB) en G. van Wijngaarden (MCB).

Technische informatie

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot Corus RD&T, SSAB of MCB.

De adressen zijn:

Corus RD&T

Postbus 10.000
1970 CA IJmuiden
tel. 0251-498276
0251-494073
e-mail: automotive.applications@corusgroup.com

SSAB Swedish Steel B.V.

Postbus 131
6640 AC Beuningen
tel. 024-6790562

MCB Nederland B.V.

Postbus 2
5550 AA Valkenswaard
tel. 040-2088691

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

Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX ZOETERMEER
Correspondentie-adres: Postbus 190,
2700 AD ZOETERMEER
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41
Fax: (079) 353 13 65
E-mail: pbo@fme.nl
Internet: www.fme-cwm.nl

Nederlands Instituut voor Lastetechniek (NIL)

Adres: Krimkade 20,
2251 KA VOORSCHOTEN
Telefoon: (071) 560 10 70
Fax: (071) 561 14 26
E-mail: info@nil.nl
Internet: www.nil.nl

© Vereniging FME-CWM/november 2005

Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd 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 Technische Bedrijfskunde
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: pbo@fme.nl
internet: www.fme-cwm.nl

