



Vlaams Ministerie van Mobiliteit en Openbare Werken
Departement Mobiliteit en Openbare Werken
Technisch Ondersteunende Diensten
Expertise Beton en Staal (EBS)

Graaf de Ferrarisgebouw, verdieping 6
Koning Albert II-laan 20 bus 6
1000 Brussel

tel. 02 553 73 56 fax 02 553 73 55
expertise.betonenstaal@vlaanderen.be

Cursus bruginspecteur

Hoofdstuk 1.3

Staaltechnologie

Versie	Cursus 2012
--------	-------------

INHOUDSTAFEL

1	Constructiestaal	3
	1.1 Voor- en nadelen	3
	1.1.1 Voordelen	3
	1.1.2 Nadelen	3
	1.2 Vormen aangewend bij bruggen	4
	1.3 Benaming van constructiestaal	6
	1.4 Mechanische en technologische eigenschappen	6
	1.4.1 Vloegrens/breukgrens/verlenging voor breuk.....	7
	1.4.2 (Breuk)taaiheid	7
	1.4.3 Lasbaarheid.....	9
	1.4.3.1 Koudscheuren (waterstofscheuren)	9
	1.4.3.2 Stollingsscheuren (Warmzscheuren)	10
	1.4.3.3 Lamellair scheuren	11
	1.4.3.4 Te hoge warmtetoevoer.....	11
	1.5 Gewalste profielen.....	12
2	Verbindingen	13
	2.1 Bouten	13
	2.1.1 Definitie.....	13
	2.1.2 kwaliteitsklasse	13
	2.1.3 Afmetingen.....	14
	2.1.4 Boutverbindingen.....	15
	2.1.4.1 Boutenverbindingen op trek.....	16
	2.1.4.1.A Niet voorgespannen	16
	2.1.4.1.B Voorgespannen	16
	2.1.4.2 Boutenverbindingen op afschuiving	16
	2.1.4.2.A Bout op stuik belast	16
	2.1.4.2.A.1 Gewone bouten	16
	2.1.4.2.A.2 Pasbouten.....	16
	2.1.4.2.B Voorgespannen bouten	17
	2.1.5 Borgen van bouten	18
	2.1.6 Getapte boutverbindingen – verzonken bouten	18
	2.2 Lassen	19
	2.2.1 Soorten lasnaden	19
	2.2.1.1 Stompe las (zonder spleet).....	19
	2.2.1.2 Stompe las (met spleet).....	19
	2.2.1.3 Hoeklas.....	20
	2.2.1.3.A Beschrijving	20
	2.2.1.3.B Keeldoorsnede	20
	2.2.1.3.C Lasteen en laswortel.....	21
	2.2.1.4 Sleufas en proplas	21
	2.3 Klinknagels.....	22
	2.4 Stifdeuvels	23
3	Schadefenomenen	25
	3.1 Corrosievorming.....	25

3.2	Scheuren door vermoeiing	25
3.2.1	Fenomeen.....	25
3.2.2	Breukvlak	25
3.2.3	Schadegevoelige zones	26
3.2.3.1	Elementen met hoge dynamische/wisselende belastingen.....	26
3.2.3.1.A	Elementen onderhevig aan wiellasten.....	26
3.2.3.1.B	Zwaar belaste elementen in de omgeving van de tegengewichtkist en rotatie-as bij beweegbare bruggen.....	26
3.2.3.1.C	Elementen onderhevig aan spoorverkeer	27
3.2.3.2	Zones met hoge spanningsconcentraties.....	28
3.2.3.2.A	Gaten	28
3.2.3.2.B	Overgangen en uitsnijdingen.....	28
3.2.3.2.C	Dikteverschillen (zonder geleidelijke overgang),	28
3.2.3.2.D	Verandering van geometrie	29
3.2.3.2.E	Inkepingen en kerwen	29
3.2.3.3	Vermoeiingsgevoelige details bij bruggen	30
3.2.3.3.A	Gaten voor bout – of klinknagelverbindingen	30
3.2.3.3.B	Verbindingen in liggers en platen	31
3.2.3.3.C	Verbindingen tussen liggers	31
3.2.3.3.C.1	Gelaste verbindingen.....	31
3.2.3.3.C.2	Geklonken verbindingen	32
3.2.3.3.D	Uitsnijdingen in liggers.....	32
3.2.3.3.E	Zones met opgelaste onderdelen	33
3.2.3.3.E.1	Zones met opgelaste strippen en platen	33
3.2.3.3.E.2	Zones met opgelaste strippen ter versteviging van de flenzen	33
3.2.3.3.E.3	Andere opgelaste onderdelen	34
3.2.3.3.F	Aangelaste onderdelen die zelf aan een dynamische belasting onderhevig zijn	34
3.2.3.3.G	Bouten	35
3.2.3.3.H	Vermoeiingsgevoelige zones in orthotrope platen.	36
3.2.3.4	Naslagwerken voor vermoeiingsdetails	37
4	Interessante links	38

1 CONSTRUCTIESTAAL

1.1 Voor- en nadelen

1.1.1 Voordelen

In staalconstructies is de vormgeving haast onbeperkt.

Dit is voornamelijk te danken aan :

- De bewerk- en verwerkbaarheid van staal : men kan het snijden, gaten boren, lassen, ...
- De vervormbaarheid van staal : men kan het richten en plooiën.



Staal heeft een grote sterkte.

Omdat men het materiaal efficiënt kan gebruiken (door de doorsnede aan te passen aan het type belasting, en zo alleen materiaal te hebben waar men het nodig heeft, zijn staalconstructies relatief lichte constructies (t.o.v. beton).

Staal neemt druk én trek op.

Staal is 'ductiel', het kan lokaal de belastingen herverdelen door vervorming en maakt daardoor het toepassen (zowel berekenen als uitvoeren) eenvoudiger.

Staal van constructies die einde-levensduur zijn kan gerecupereerd worden en omgezet worden in nieuw staal.

1.1.2 Nadelen

Staal heeft onderhoud nodig.

Het moet geschilderd worden en de schilderwerken moeten na een bepaalde periode (+/- 15 jaar) vernieuwd worden, zo niet treedt corrosie op.

In zones met vuil- en waterstagnatie gaat de degradatie van het schilderwerk nog sneller.



Staal is niet hittebestendig : bij brand kan het bezwijken door de hoge temperaturen.
 Voor bruggenbouw is dit evenwel niet van belang.

Staal is gevoelig aan vermoeiing bij hoge dynamische belastingen.

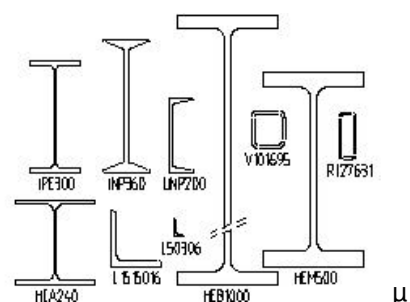
Staal is relatief duur, bv. t.o.v. beton.

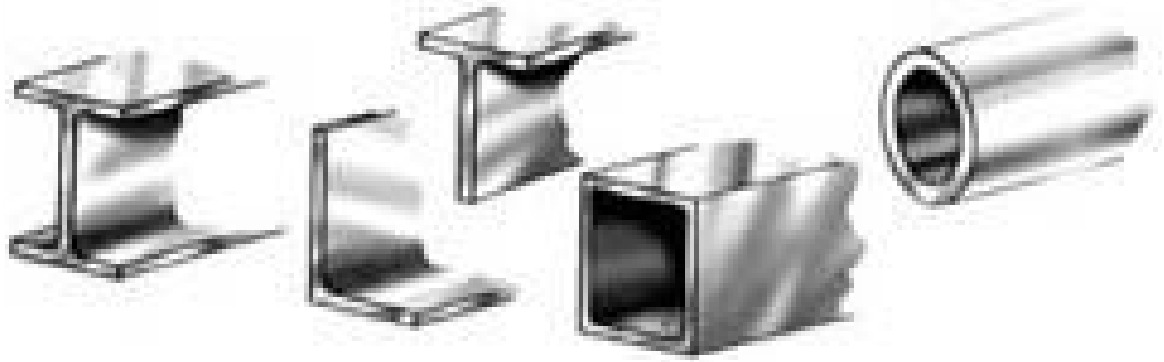
1.2 Vormen aangewend bij bruggen

Constructiestaal bestaat in twee vormen : plaatstaal en profielstaal.

Deze worden beide door warmwalsen bekomen uit gegoten stalen blokken.

Er bestaan ook koudgevormde profielen, deze worden in de bruggenbouw haast niet gebruikt.





Trekstaven zijn een bijzondere toepassing van profielstaal.



Door profielstaal (in plaats van plaatstaal) te gebruiken kan men dure verbindingen uitsparen, maar niet alle profielen zijn gewalst te verkrijgen.

In dat geval stelt men de profielen zelf samen door delen uitgesneden uit plaatstaal aan elkaar te lassen volgens de gewenste vorm.

Ingewikkelde onderdelen worden niet uit plaat- of profielstaal gemaakt maar in smeedstaal of gietstaal.



1.3 Benaming van constructiestaal

De benaming van constructiestaal bestaat uit een aantal letters en cijfers.

De staalsoort en de staalkwaliteit komen beide tot uitdrukking in de aanduiding van het staal,

'Staalsoort' is een indeling van staal op basis van sterkte (bepaald o.a. door de chemische samenstelling /fabricagemethode).

'Staalkwaliteit' is een indeling van staal op basis van de weerstand tegen bros breken en lasbaarheid.

Bijvoorbeeld **S355J2** :

De staalsoort is S355, de staalkwaliteit is J2.

- S staat voor constructiestaal ('S'tructural steel);
- 355 is de minimale vloeigrens in N/mm²;
- J2 zegt iets over de weerstand tegen brose breuk.

Deze verschillende aanduidingen voor constructiestaal zijn te vinden in NBN-EN 10025.

Deze bevat ook een lijst met overeenkomstige vroegere aanduidingen, die men op oude plannen al eens kan tegenkomen.

Designation according EN 10025-2:2004		Equivalent former designations in								
		According EN 10025:1990 +A1:1993	According EN 10025:1990	Germany according to DIN 17 100	France according to NF A 35-501	United Kingdom according to BS 4360	Spain according to UNE 36-080	Italy according to UNI 7070	Belgium according to NBN A 21-101	
S185	1.0035	S185	1.0035	Fe 310-0	St 33	A 33	A 310-0	Fe 320	A 320	
S235JR	1.0038	S235JR	1.0037	Fe 360 B	St 37-2	E 24-2		Fe 360 B	AE 235-B	
S235J0	1.0114	S235J0	1.0114	Fe 360 C	St 37-3 U	E 24-3	40 B	AE 235 B-FU		
S235J2	1.0117	S235J2G3	1.0116	Fe 360 D1	St 37-3 N	E 24-4	40 C	AE 235 B-FN	Fe 360 B	AE 235-B
S275JR	1.0044	S275JR	1.0044	Fe 430 B	St 44-2	E 28-2	40 D	AE 235 C	Fe 360 C	AE 235-C
S275J0	1.0143	S275J0	1.0143	Fe 430 C	St 44-3 U	E 28-3		AE 235 D	Fe 360 D	AE 235-D
S275J2	1.0145	S275J2G4	1.0145	Fe 430 D2	St 44-3 N	E 28-4	43 B	AE 275 B	Fe 430 B	AE 255-B
S355JR	1.0045	S355JR	1.0045	Fe 510 B		E 36-2	43 C	AE 275 C	Fe 430 C	AE 255-C
S355J0	1.0553	S355J0	1.0553	Fe 510 C	St 52-3 U	E 36-3		AE 275 D	Fe 430 D	AE 255-D
S355J2	1.0577	S355J2G3	1.0570	Fe 510 D1	St 52-3 N		50 B	AE 355 B	Fe 510 B	AE 355-B
S355K2	1.0596	S355K2G4	1.0596	Fe 510 D2		E 36-4	50 C	AE 355 C	Fe 510 C	AE 355-C
				Fe 510 DD1			50 D	AE 355 D	Fe 510 D	AE 355-D
				Fe 510 DD2			50 DD			AE 355-DD

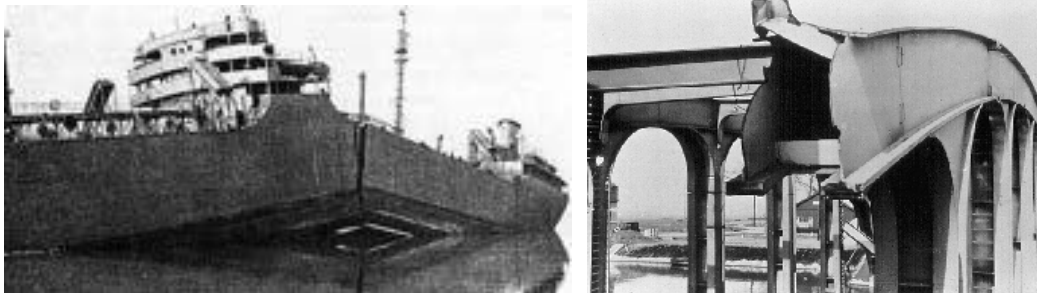
1.4 Mechanische en technologische eigenschappen

De belangrijke eigenschappen van constructiestaal zijn :

Men spreekt over 'brosse' breuk als materiaal plots breekt zonder vervorming.

Brosse breuk is zeer gevaarlijk, aangezien de breuk zich niet 'aankondigt' door een voorafgaande vervorming.

Historische grote schadegevallen van brosse breuk zijn de Liberty-schepen uit WO II en de Vierendeelbrug in Hasselt die het plots begaf in 1938, minder dan een jaar na zijn oprichting.



Brosse breuk komt vlugger voor bij (een combinatie van) :

- koude temperaturen
- drie-dimensionele spanningstoestanden (typisch in gelaste constructies)
- hoge spanningstoestanden en spanningsconcentraties
- schokbelastingen
- dikke platen

Het fenomeen bross/ductiel breken wordt dus naast de staalkwaliteit mede bepaald door de temperatuur.

Bij lage temperaturen krijgt men brosse breuk, bij hoge temperaturen ductiele breuk.

De 'overgangstemperatuur' is de temperatuur waaronder men brosse breuk en waarboven men ductiele breuk bekomt

De kerfslagproef (Charpy-V-test) is een gestandaardiseerde testmethode om de gevoeligheid voor brosse breuk van staal te voorspellen.

Eén van de parameters van de proef is de testtemperatuur.

In Europese normen zijn de temperaturen vastgelegd waarbij deze testen worden uitgevoerd: +20°, 0°C, -20°.

Bij de Charpy-V-test bepaalt men de breukenergie dat een gekerfd staafje (gesneden uit het te onderzoeken moedermateriaal) - 'absorbeert'.

Om aan het staal een bepaalde kwaliteit te kunnen toekennen moet het gekerfde proefstuk minstens de overeenkomende minimale breukenergie (meestal 27J) bij de overeenkomende temperatuur kunnen absorberen.

Soort	S 235			S 275			S 355			
	JR	J0	J2	JR	J0	J2	JR	J0	J2	K2
Temperatuur (°C)	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20	-20
Breukenergie (J)	27	27	27	27	27	27	27	27	27	40 33 (d>150mm)

JR ('R' van room-temperature, kamertemperatuur) is dus de minst strenge eis qua kwaliteit, J2 en K2 de meest strenge kwaliteitseisen.

Voor gelaste constructies is een goede bestandheid tegen bros breken noodzakelijk.

Dit omdat :

- door het lassen de breuktaaiheid (in de warmtebeïnvloede zone) negatief beïnvloed wordt;
- in gelaste constructies 3-dimensionele spanningstoestanden kunnen voorkomen : deze zijn gevoeliger zijn voor bros breken;
- in gelaste constructies spanningsconcentraties kunnen heersen;
- bij het lassen zelf een grote spanning kan opgebouwd worden door krimp van de las.

Vandaar dat men soms over de lasbaarheid van staal spreekt als men het over de kwaliteit heeft.

In gelaste toepassingen eist men voor constructies die dynamische belastingen kunnen ondergaan (bruggen) minstens J2, of voor dikkere stukken K2.

Voor leuning en secundaire stukken zal men JR of J0 reeds een voldoende hoge kwaliteit zijn.

1.4.3 Lasbaarheid

1.4.3.1 Koudscheuren (waterstofscheuren)

De 'lasbaarheid' bepaalt in welke mate bijzondere voorzorgen moeten genomen worden voor het lassen (voorverwarmen/ nagloeien/speciale lastoevoegmaterialen...) of dat het materiaal zelfs niet te lassen is.

De lasbaarheid wordt in hoofdzaak bepaald door de hoeveelheid legeringsmateriaal. Legeringselementen zorgen voor de positieve beïnvloeding van de sterkte van het materiaal. Maar : hoe hoger de hoeveelheid legeringsmateriaal hoe moeilijker het staal te lassen is.

De belangrijkste parameter hierbij is het koolstofequivalent.

Het koolstofequivalent wordt bepaald met behulp van onderstaande formule:

$$\text{Carbon equivalent (CE)} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{(\%Ni + \%Cu)}{15} + \frac{(\%Cr + \%Mo + \%V)}{5}$$

Staal met een te hoog koolstofequivalent zal 'koudscheuren' : de scheur, net naast de las, treedt op tot enige tijd na het lassen.

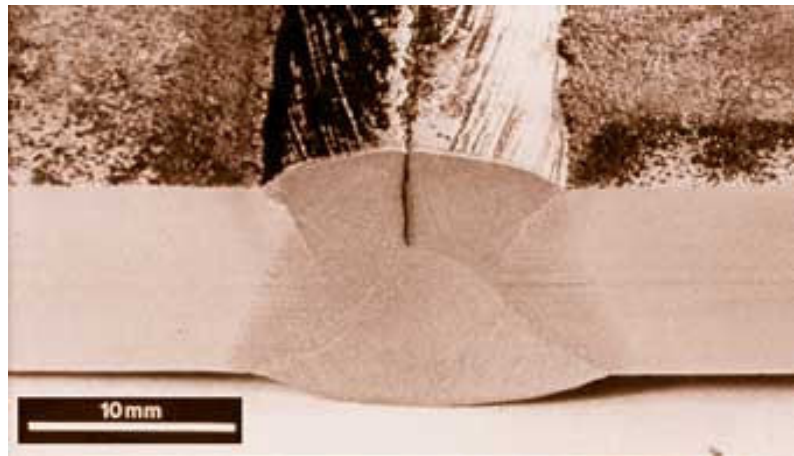


Zoals we hierboven zagen speelt ook de (breuk)taaiheid van het materiaal bij het optreden van deze scheuren een rol.

1.4.3.2 Stollingscheuren (Warmzscheuren)

Te hoge hoeveelheden onzuiverheden in het moedermateriaal (bv.. zwavel en fosfor) geven aanleiding tot warmzscheuren. De onzuiverheden blijven het stollingsfront voorafgaan en worden uiteindelijk te hoog in concentratie.

De scheur treedt op in het midden van de las.

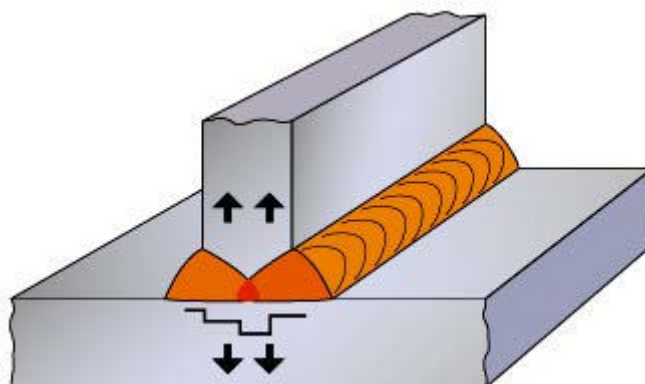


Door de steeds beter gecontroleerde processen van staalproductie is dit tegenwoordig geen probleem meer.

1.4.3.3 Lamellair scheuren

Staal dat in grote diktes gewalst wordt kan in vlakken evenwijdig aan de walsrichting een concentratie van onzuiverheden (sulfides en silicaten) vertonen, ontstaan tijdens het gieten.

Indien men loodrecht op deze vlakken last, kunnen hierbij grote krimpspanningen ontstaan die de verontreinigde, niet zo sterke vlakken van elkaar trekken.



Bij het continu-gieten komen onzuiverheden veel minder voor. Hierdoor is ook lamellair scheuren bij moderne staalproductie minder een probleem dan het vroeger was.

Er bestaan testen die de gevoeligheid van het materiaal voor lamellair scheuren beproeven.

Hierbij beproeft men de kwaliteit van het staal in de dikterichting.

Staal dat voldoet aan de proeven noemt men staal met 'Z-kwaliteit'.

Naargelang de strengheid van de proef bekomt men Z15/Z25/Z35.

Voor dik plaatstaal waarop lassen zullen worden uitgevoerd die lamellair scheuren kunnen veroorzaken zal men de zogenaamde 'Z-kwaliteit' (Z15,Z25 of Z35 naargelang de omstandigheden) eisen.

Dit wil zeggen dat dit staal getest moet worden op het bestand zijn tegen lamellair scheuren, dus op zijn kwaliteiten in de dikterichting

1.4.3.4 Te hoge warmtetoevoer

Te hoge warmteïnvloed van het lasproces kan de eigenschappen van het staal negatief beïnvloeden.

Dit speelt voornamelijk een rol bij de staalsoorten die hun eigenschappen danken aan ingewikkelde, gecontroleerde walsprocessen waarbij de walscycli en temperatuurscycli op elkaar zijn afgestemd om de optimale eigenschappen voor het staal te bekomen.

1.5 Gewalste profielen

Naar gelang de krachtswerking die de profielen moeten ondergaan zijn bepaalde vormen van doorsnede meer aangewezen.

Op trek belaste staven :

- massieve doorsnede/ koker/IPE/HEA/HEB/ L/U/T.....

Op druk belaste staven :

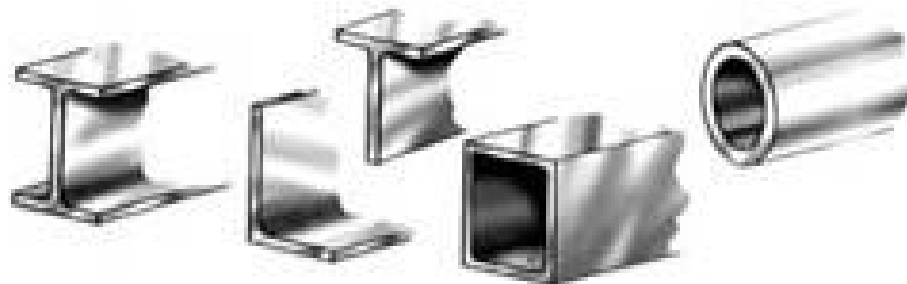
- koker (rond of vierkant) :
 - het materiaal zit aan de buitenkant : dit geeft een grotere weerstand tegen knik.
 - het profiel is in alle richting (ongeveer) even sterk, dus in alle richtingen evenveel bestand tegen knik.

Op buiging belaste liggers :

- IPE - profielen
- HE - profielen (HEA, HEB, HEM, ...)
- Het materiaal is geconcentreerd waar dit het efficiëntst werkt, nl aan de buitenkant : de ene zone staat onder druk, andere werkt op trek.

Op torsie (wringing) belaste liggers :

- kokervormige doorsnede :
 - gesloten doorsnedes (kokervormen) die op torsie belast worden zullen veel minder vervormen dan open doorsnedes (I,H,L,T).



De afmetingen van gewalste profielen zijn gestandaardiseerd.

Men kan de doorsnede-eigenschappen van profielen gemakkelijk terugvinden in tabellenboeken of op internet.

44

Staal
breedflansbalken, HEB

Normen: NEN-EN 10025-1 en 2
Interactie: NEN-EN 10260, DIN EN 10260
max. buikdikte: 25 mm

profiel nr.	C_g kg/m	A mm ²	h mm	b mm	t_w mm	t_f mm	$r_{w,f}$ mm	$r_{w,t}$ mm	$W_{pl,y}$ cm ³	$W_{pl,z}$ cm ³	$I_{y,net}$ cm ⁴	$I_{z,net}$ cm ⁴	profiel nr.
100	20,0	2004	100	100	8	10	0,507	0,60	80,0	107	22,0	100	100
120	27,7	2471	120	120	8,5	11	0,606	0,64	104	140	32,0	120	120
140	36,6	3296	140	140	9	12	0,690	0,69	130	176	46,0	140	140
160	46,4	3425	160	160	9	13	0,710	0,70	140	190	51,0	160	160
180	52,7	4020	180	180	9,5	14	0,74	0,73	150	200	56,0	180	180
200	62,5	4800	200	200	9	15	0,75	0,74	160	210	61,0	200	200
220	72,0	5700	220	220	9,5	16	0,77	0,76	170	220	66,0	220	220
240	82,0	6700	240	240	10	17	0,78	0,77	180	230	71,0	240	240
260	92,0	7800	260	260	10	18	0,79	0,78	190	240	76,0	260	260
280	102,0	9000	280	280	10,5	19	0,82	0,81	200	250	81,0	280	280
300	110	10200	300	300	11	20	0,83	0,82	210	260	86,0	300	300
320	120	11500	320	320	11,5	20,5	0,87	0,86	220	270	91,0	320	320
340	127	13000	340	340	12	21,5	0,89	0,88	230	280	96,0	340	340
360	140	14600	360	360	12,5	22,5	0,91	0,90	240	290	101,0	360	360

45

2 VERBINDINGEN

2.1 Bouten

2.1.1 Definitie

De term "bout" of "boutset" duidt het geheel aan bestaande uit de schroefbout, de moer en de sluitringen.



2.1.2 kwaliteitsklasse

De kwaliteitsklasse van een bout wordt aangeduid door een symbool bestaande uit twee getallen, gescheiden door een punt:

Op de boutkop is met een ISO code aangegeven wat de kwaliteit is, bijvoorbeeld 8.8 of 12.9.

Hierbij is het getal vóór de punt de 1% van de treksterkte in N/mm². Het getal achter de punt is het tienvoudige van de verhouding vloeigrens / treksterkte.

- het eerste getal = 1/100ste van de treksterkte f_u in N/mm².
- het tweede getal = 10 maal de verhouding vloeigrens f_y / treksterkte f_u .

Voorbeeld : bout 10.9 :

- treksterkte $f_u = 10 \times 100 = 1000 \text{ N/mm}^2$.
- vloeigrens $f_y = 1000 \times 9 / 10 = 900 \text{ N/mm}^2$.

boutklasse	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000



Bouten van een kwaliteitsklasse hoger dan of gelijk aan 8.8 noemt men bouten met hoge treksterkte, kortweg HT-bouten.

Bouten geschikt om voorgespannen te worden hebben een grotere boutkop en noemt men 'voorspanbouten'. Hiervoor worden enkel de kwaliteiten 8.8, 10.9 (of 12.9) gebruikt.

Bouten kunnen ook in roestvast staal uitgevoerd zijn.

Men vindt ze in de gangbare kwaliteiten A2-70 en A4-70.

Deze zijn vermeld op de boutkoppen.

A2 : materiaal is AISI 304

A4 : materiaal is AISI 316 (meer corrosiebestendig, maar ook duurder)

70 : geeft aan dat de treksterkte minimaal = 700N/mm².



2.1.3 Afmetingen

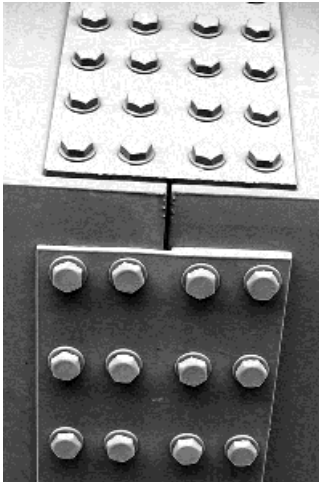
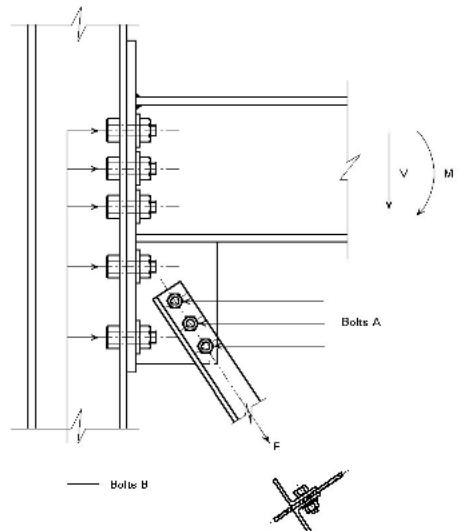
De boutdiameters zijn gestandaardiseerd.

De meest gangbare boutdiameters zijn :

M10 – M12 - M16 - M20 – M24 – M27 – M30 – M36 – M39.

2.1.4 Boutverbindingen

Bouten in een verbinding worden belast in de richting evenwijdig met de steel (= op trek belaste bouten) of loodrecht op de steel (op afschuiving belaste bouten) of in een combinatie van beide.

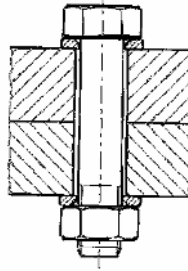


Indien een verbinding onderhevig is aan een (sterk) wisselende belasting moeten de bouten worden voorgespannen.

Indien voorgespannen niet toegelaten is (bv. bij onderwatertoepassingen), kan men voor op afschuiving belaste verbindingen ook pasbouten of injectiebouten gebruiken.

2.1.4.1 Boutverbindingen op trek

2.1.4.1.A Niet voorgespannen

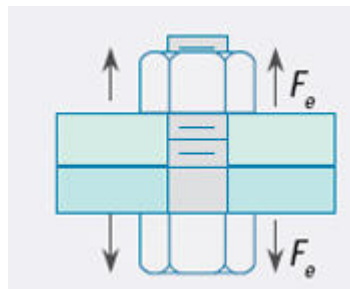


2.1.4.1.B Voorgespannen

Bij het aandraaien van de verbinding vindt het volgende plaats:

- trekspanning in boutsteel
- boutsteel verlengt
- drukspanning op verbonden delen
- verbonden delen worden ingedrukt
- constructie = verend systeem

De bout functioneert als een zeer stugge veer die de verbonden delen met voorspanning tegen elkaar geklemd houdt.



2.1.4.2 Boutenverbindingen op afschuiving

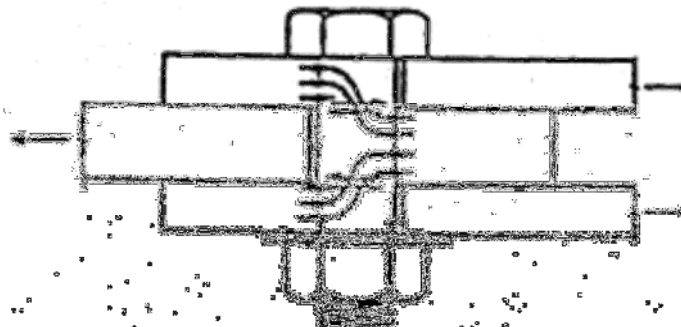
2.1.4.2.A Bout op stuk belast

2.1.4.2.A.1 Gewone bouten

Bij belasten van de verbinding wordt de kracht overgedragen door de boutsteel op de gatrand.

Hiervoor kan een kleine verplaatsing nodig zijn zodat contact gemaakt wordt.

Deze verbindingen zijn niet toegelaten bij wisselende belastingen.



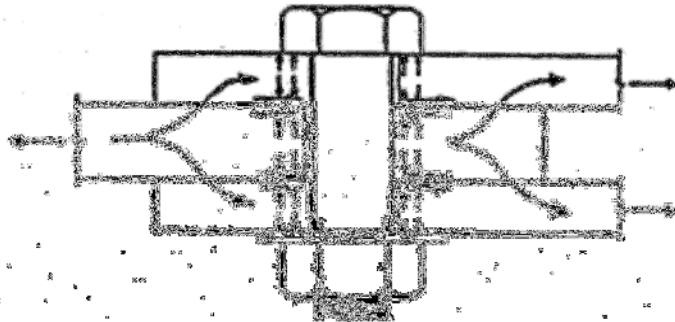
2.1.4.2.A.2 Pasbouten

Pasbouten worden zo uitgevoerd dat de bout precies in het gat past, waarbij dus geen verplaatsing nodig is. Deze verbindingen zijn wel toegelaten bij wisselende belastingen.

2.1.4.2.B Voorgespannen bouten

De belasting wordt overgedragen van plaat naar plaat door de grote afschuifkrachten die tussen de opeengeklemden platen kunnen worden overgedragen.

Deze verbindingen zijn meest aangewezen type bij wisselende belastingen.



2.1.5 Borgen van bouten

Bouten in niet-voorgespannen verbindingen kunnen loskomen door trillingen. Daarom worden ze geborgd.

Er zijn verschillende systemen om dit te verwezenlijken.,

Het meest gebruikte systeem bij de bruggen van de Vlaamse Overheid is het voorzien van een extra moer die het loskomen verhindert.



2.1.6 Getapte boutverbindingen – verzonken bouten

Indien niet allebei de kanten van de verbinding bereikbaar zijn maakt men soms gebruik van getapte gaten voor de bouten. Voor kritische verbindingen mogen deze niet worden toegepast.



Indien de vorm van de boutkop en de voorbereiding van de plaat zo is dat de bovenkant van de bout samenvalt met het plaatoppervlak spreekt men van 'verzonken bouten'.

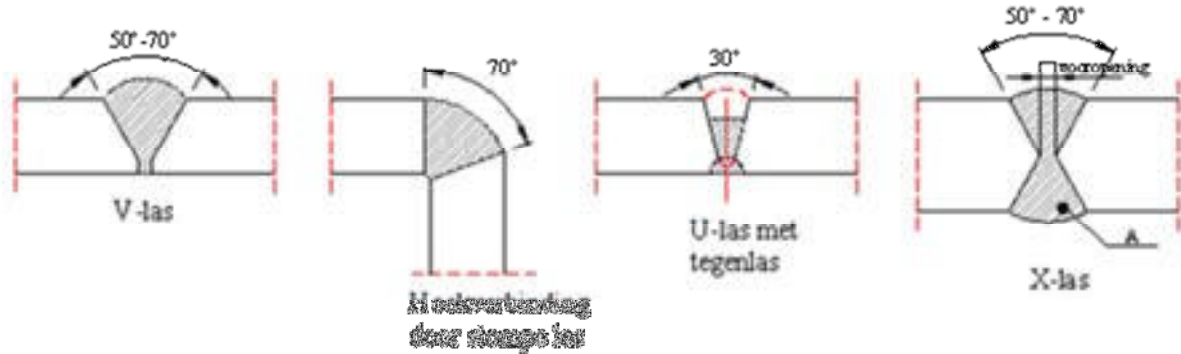
Verzonken bouten kunnen al dan niet in getapte gaten worden voorzien.



2.2 Lassen

2.2.1 Soorten lasnaden

2.2.1.1 Stompe las (zonder spleet)

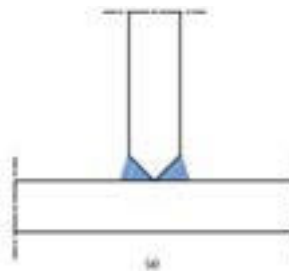


Een stompe las (zonder spleet) vormt een spleetloze verbinding tussen twee werkstukken, die al dan niet in elkaars verlengde liggen.

Vanaf een zekere dikte is een voorbereiding van de plaat - in de vorm van een afschuining van de hoeken - nodig om een kwaliteitsvolle las te leggen.

Deze voorbereiding geeft de naam aan de las : Men spreekt van V-lassen, X-lassen, U-lassen,...

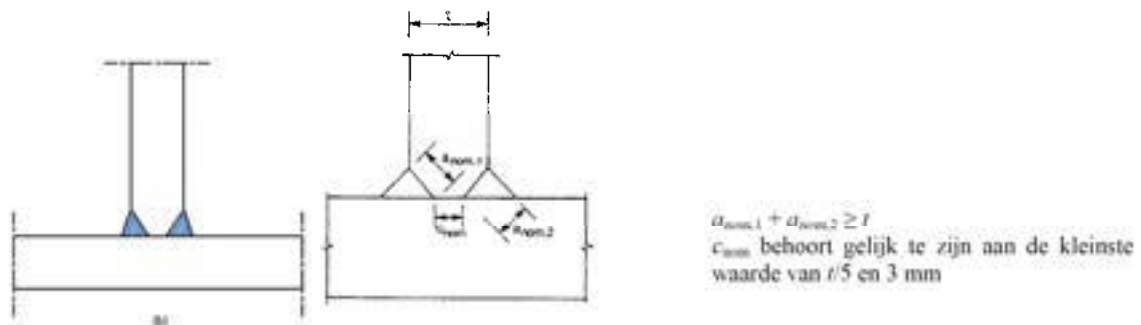
Men kan eveneens een halve V-las, of een halve X-las (= K-las) verwezenlijken.



In bovenstaand voorbeeld is een K-las aangebracht. Opgelet : dit zijn dus geen hoeklassen, maar dit is volgens de correcte terminologie een stompe las (zonder spleet).

2.2.1.2 Stompe las (met spleet)

Voorlopig wordt dit weinig toegepast, men kiest meestal voor ofwel een volledige doorlassing (= stompe las zonder spleet) ofwel voor hoeklassen.

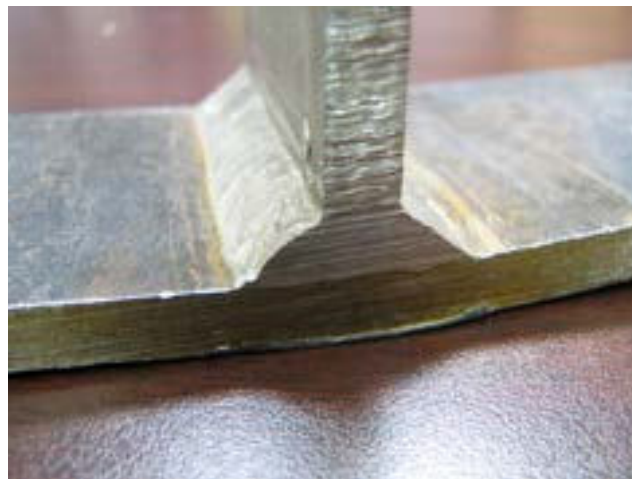
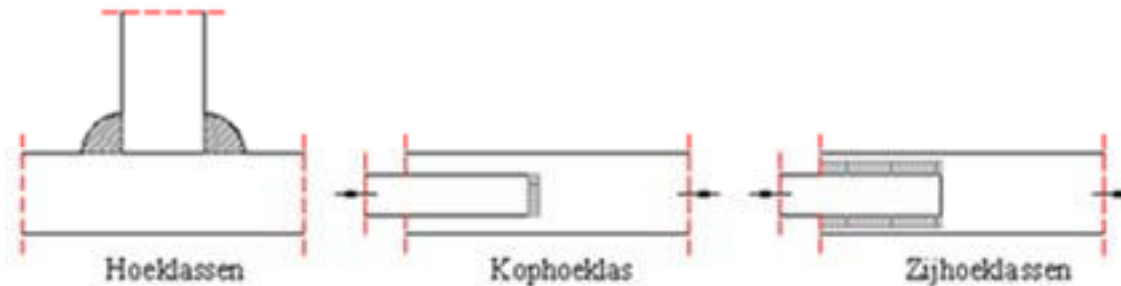


2.2.1.3 Hoeklas

2.2.1.3.A Beschrijving

Na het aanbrengen van hoeklassen blijft er tussen de twee verbonden werkstukken een spleet bestaan.

Naargelang de richting van de over te brengen kracht ten aanzien van de lasnaad spreekt men van een kophoeklas (kopse las) of van een zijhoeklas (langse las).



2.2.1.3.B Keeldoorsnede

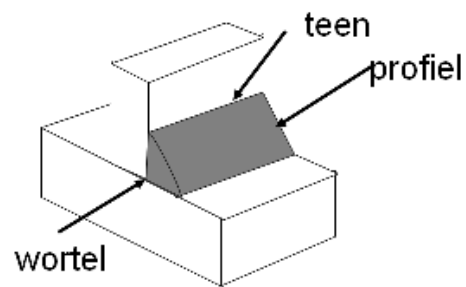
De keeldoorsnede van een hoeklas is de hoogte van de grootste ingeschreven (gelijkbenige of ongelijkbenige) driehoek tussen de hechtvlakken en het oppervlak van de las, gemeten loodrecht op de zijde die overeenkomt met de buitenkant van de las.

De keeldoorsnede wordt vaak met 'a' aangegeven.

De keeldoorsnede wordt gebruikt bij de sterkteberekening van de las.



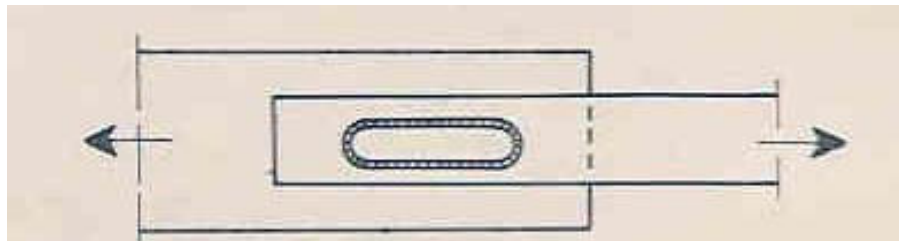
2.2.1.3.C Lasteen en laswortel



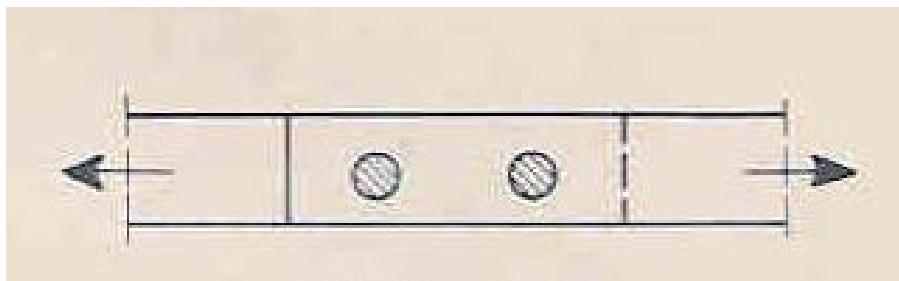
2.2.1.4 Sleuflas en proplas

Deze worden enkel toegepast indien er geen andere mogelijkheden zijn.

Een sleuflas is een bijzondere toepassing van hoeklassen.



Bij proplassen wordt het volledige gat volgelast.



2.3 Klinknagels

Klinken is de oudste methode van verbinden van stalen elementen. Men herkent geklonken verbindingen aan de mooi afgeronde koppen.



De klinknagel (stalen staaf met kop) wordt gloeiend gemaakt, in het gat geplaatst en de ontbrekende kop wordt gevormd door op het gloeiende uitstekende deel te kloppen.

De krimp die bij afkoelen van de steel optreedt zorgt ervoor dat de verbonden platen tegen elkaar aangeklemd worden, zodat de krachtsoverdracht kan gebeuren zoals bij de voorgespannen boutverbindingen.



Momenteel is klinken door de bewerkelijkheid van de uitvoering en de bijhorende kostprijs volledig voorbijgestreefd.

Enkel bij herstellen of renovatie van geklasseerde bruggen wordt soms nog geëist om te klinken.

Bij gewone herstellingen vervangt men klinknagels door voorgespannen bouten.



2.4 Stiftheuvels

Stiftheuvels worden gebruikt om krachten over te brengen van stalen naar betonnen onderdelen.

Stiftheuvels worden gebruikt om stalen onderdelen te verankeren in het beton, zoals bv. bij sluitplaten.



Hun grootste toepassing vinden de stiftheuvels echter in de gemengd staal-beton bruggen, waar ze de afschuifkrachten tussen de stalen liggerflens en de erop gebetonnerde betonnen dekplaat overbrengen.

Van belang hierbij is dat ook de wapening in het omhullende beton correct geplaatst is, zodat de kracht in het beton kan ingeleid worden.



De deuvels worden koud gevormd, de mechanische kenmerken van de meest gebruikte deuvels zijn :

- elasticiteitsgrens: min. 340 N/mm²;
- breukgrens: min. 420 N/mm²;
- verlenging na de breuk: min. 14%.

De gangbare afmetingen zijn :

diameter in mm	12,7	15,9	19	22,2
diameter in duim	1/2	5/8	3/4	7/8

lengte in mm	50	65	75	100
na het lassen	65	75	100	125
	75	100	125	150
				200



Het bevestigen van stifdeuvels aan stalen onderdelen moet gebeuren met speciale lasprocessen die hoge ontlading mogelijk maken.

3 SCHADEFENOMENEN

De belangrijkste schadefenomenen bij stalen bruggen zijn :

- Corrosievorming (met eventuele vermindering van de doorsnede);
- Scheuren door vermoeiing.
-

3.1 Corrosievorming

Zie verder : hoofdstuk corrosie /hoofdstuk gebreken.

3.2 Scheuren door vermoeiing

3.2.1 Fenomeen

Vermoeiing is een fenomeen waarbij een materiaal scheurt en uiteindelijk bezwijkt onder een zeer lang aangehouden wisselende belasting.

Door de wisselende belasting kan er breuk optreden zelfs als de nominale spanningen overal (ver) onder de maximale vloe- of breukspanning blijven.

Breuk door vermoeiing verloopt als volgt:

- Initiatie : de scheur begint vaak ter plaatse van een spanningsconcentratie (inlutsels, kerf, las enz.). Indien deze spanningsconcentratie niet aanwezig is, kan vermoeiing nog steeds optreden, zij het vaak pas na langere tijd.
- Propagatie : de scheur breidt zich door de dynamische belasting steeds verder uit. Dit proces gaat in het begin zeer langzaam. Naarmate de scheur groter wordt, stijgt de belasting op de niet bezweken rest, en verloopt het proces steeds sneller.
- Terminatie: hier breekt het materiaal veelal bros. Het materiaal bezwijkt wel degelijk aan zijn breukspanning, maar door de lopende scheur werd de weerstandbiedende doorsnede te klein.

3.2.2 Breukvlak

Een vermoeiingsbreuk herkent men aan een tweeledig breukoppervlak :

- Een glad deel waar de scheur geïnitieerd en stelselmatig gepropageerd is, waarbij men min of meer evenwijdige lijnen van de vooruitschrijdende scheur in het breukoppervlak kan herkennen.
- Een grover oppervlak : hier is de rest van de staaf gebroken (met een brossere breuk) op het moment dat de sectie te fel gereduceerd was door de scheur.
- Uit het breukoppervlak kan men de initiatie-plaats en ook de manier van belasten van de staaf (buigin, torsie, ..) afleiden.



3.2.3 Schadegevoelige zones

Schadegevoelige zones voor vermoeiing zijn zones met een combinatie van :

- hoge dynamische/wisselende belastingen;
- vermoeiingsgevoelige detailleringen.

In vermoeiingsgevoelige details heersen hoge spanningsconcentraties. Deze zijn verantwoordelijk voor de initiatie (ontstaan) en de propagatie (voortschrijding) van de scheur.

3.2.3.1 Elementen met hoge dynamische/wisselende belastingen

3.2.3.1.A Elementen onderhevig aan wiellasten

- Dekplaat
- Langsliggers
- Dwarsdraggers
- Brugdekvoegen

Bruggen met veel zwaar vrachtwagen verkeer hebben meer last van vermoeiingsproblemen dan andere.

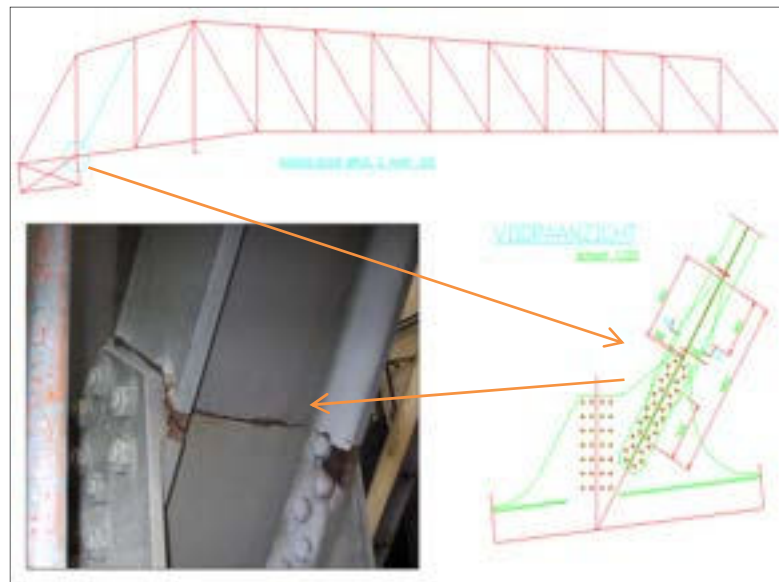
De rechterraijvakken zijn gevoeliger dan de linker rijvakken, aangezien daar meer zwaar verkeer rijdt.

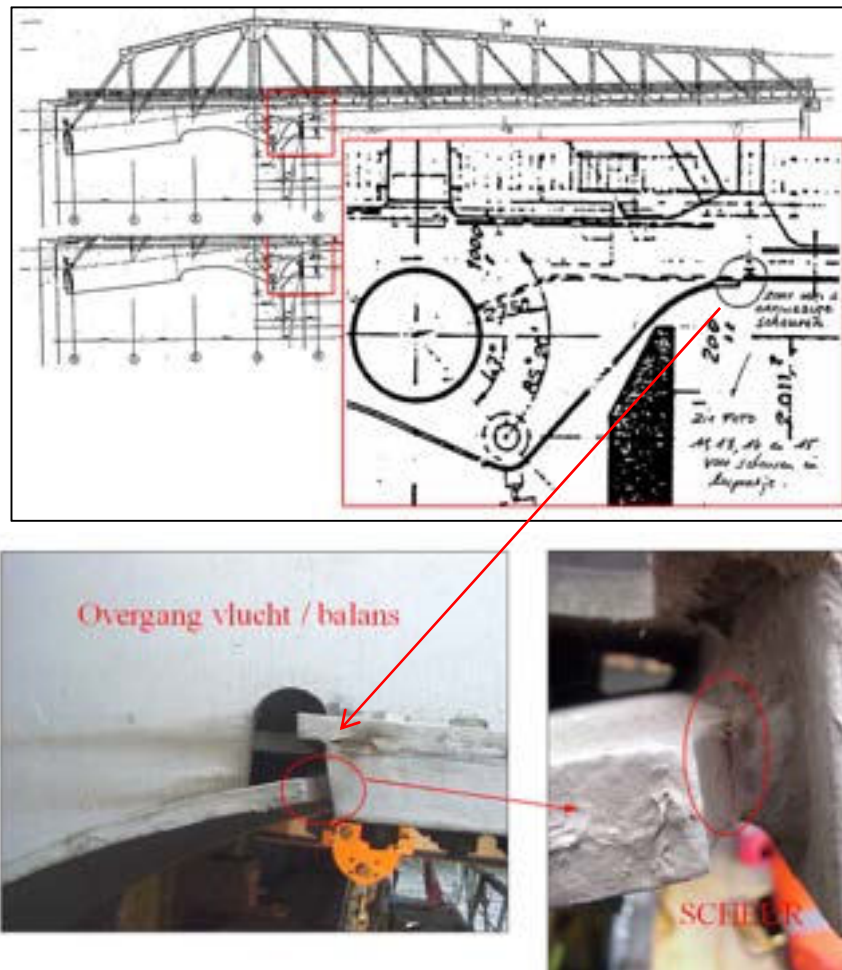
De zones met de schade bevinden zich meestal ter hoogte van de wielsporen.

De dikte van de bekleding speelt een grote rol aangezien deze voor een spreiding van de belasting zorgt.

3.2.3.1.B Zwaar belaste elementen in de omgeving van de tegengewichtkist en rotatie-as bij beweegbare bruggen

Deze elementen worden bij elke beweging tot de maximumwaarde waarvoor ze berekend zijn belast. Daardoor zijn de spanningswisselingen in deze elementen hoog.





Bruggen van het Strauss-type zijn gekend om hun specifieke problemen met vermoeiing in de tegengewicht- en balansconstructie.



3.2.3.1.C Elementen onderhevig aan spoorverkeer

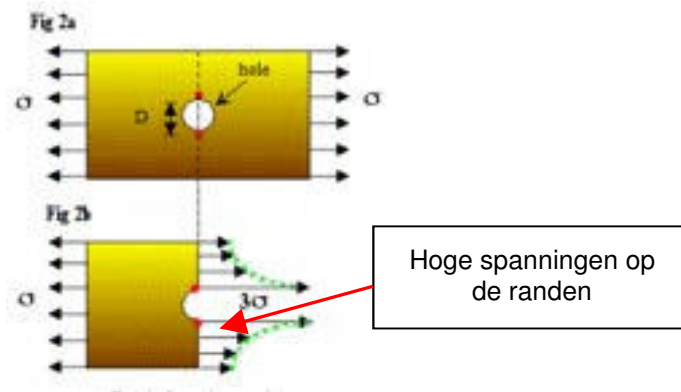
In stalen bruggen voor spoorverkeer komen meer problemen met vermoeiing voor dan in bruggen voor wegverkeer. Dit is te verklaren door het feit dat de belasting door een courante trein vaker dichter aanleunt bij de maximale belasting dan de belasting die een brug onder het wegverkeer ondervindt.

3.2.3.2 Zones met hoge spanningsconcentraties

Spanningsconcentraties zijn lokale verhoogde spanningen. Zij ontstaan ter hoogte van 'discontinuïteiten'.

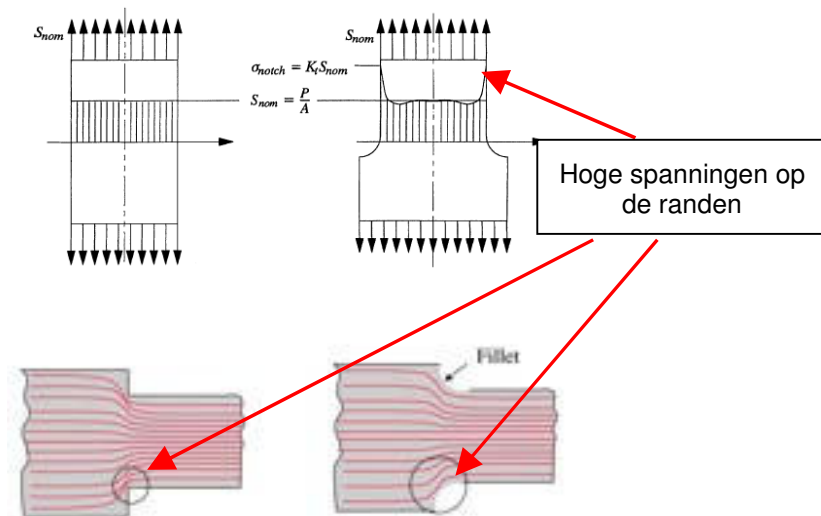
Deze discontinuïteiten kunnen van verschillende aard zijn : gaten, dikteverschillen, overgangen, opgelaste stukken, inkepingen, kerven, ...

3.2.3.2.A Gaten



3.2.3.2.B Overgangen en uitsnijdingen

Hoe bruusker de overgang (= hoe kleiner de afrondingsstraal), hoe groter de spanningsconcentratie.

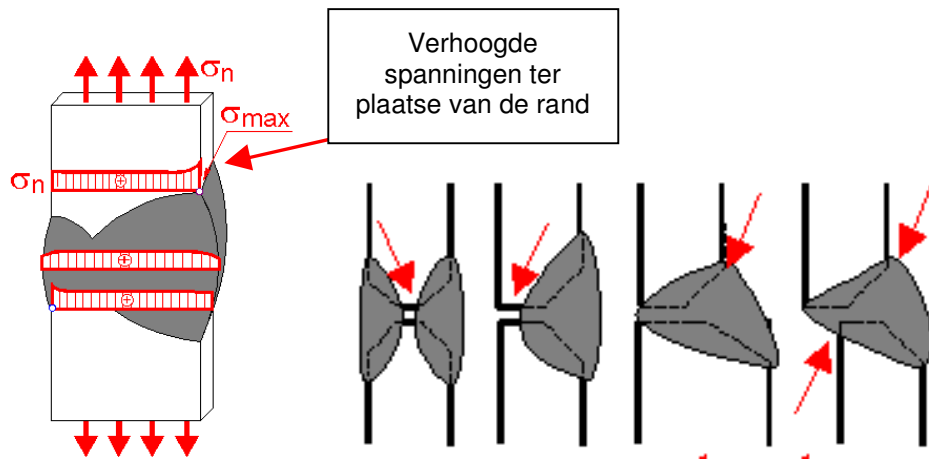


3.2.3.2.C Dikteverschillen (zonder geleidelijke overgang),

Bijvoorbeeld ter plaatse van lassen.

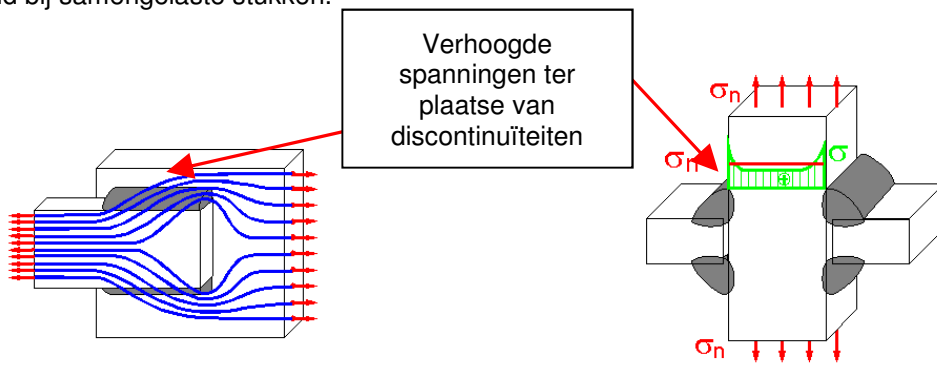
Hoe bruusker de overgang, hoe groter de spanningsconcentratie.

Ook lasonvolkomenheden (gebrekkige doorlassing, uitlijningsfouten, ...) geven aanleiding tot spanningsconcentraties.



Verhoogde spanningen ter plaatse van de rand

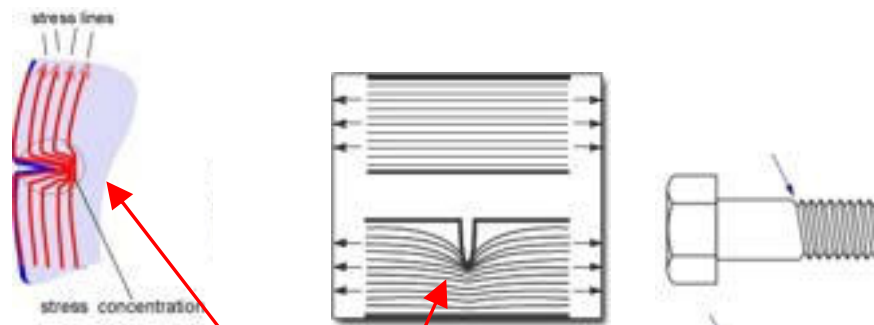
3.2.3.2.D Verandering van geometrie
Bijvoorbeeld bij samengelaste stukken.



Verhoogde spanningen ter plaatse van discontinuïteiten

3.2.3.2.E Inkepingen en kerven

Hoe scherper de inkeping (= hoe kleiner de afrondingsstraal), hoe groter de spanningsconcentratie.

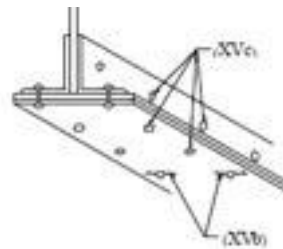
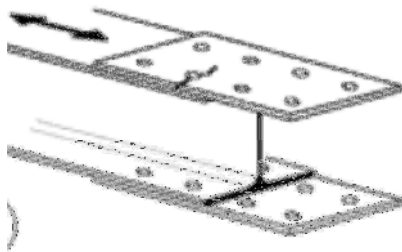


Verhoogde spanningen ter plaatse van inkepingen

3.2.3.3 Vermoeiingsgevoelige details bij bruggen

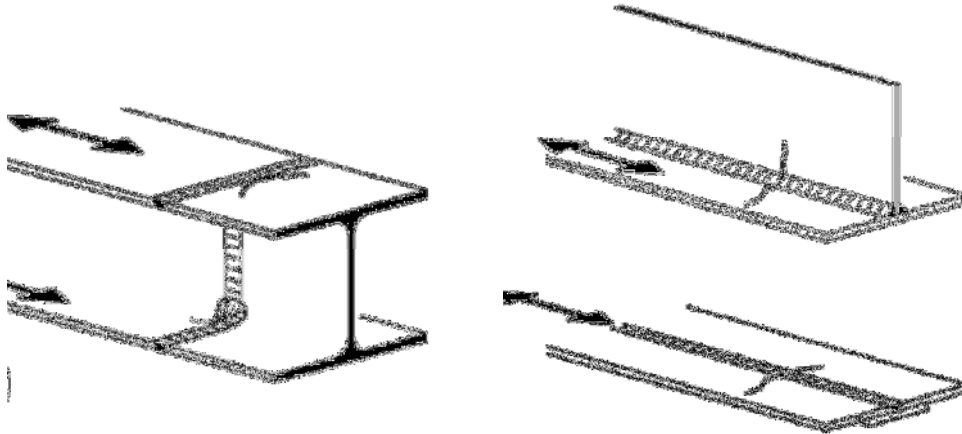
3.2.3.3.A Gaten voor bout – of klinknagelverbindingen

De scheuren ontstaan rond een gat.



3.2.3.3.B Verbindingen in liggers en platen

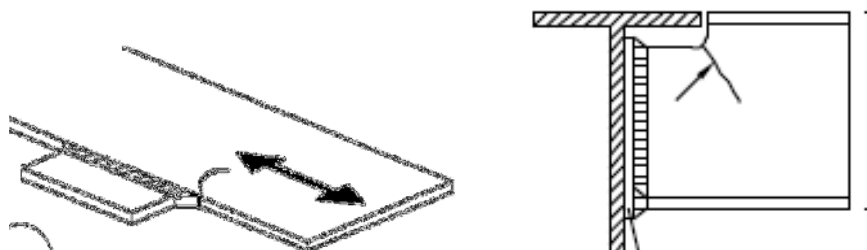
Scheuren lopen loodrecht op de trekrichting.



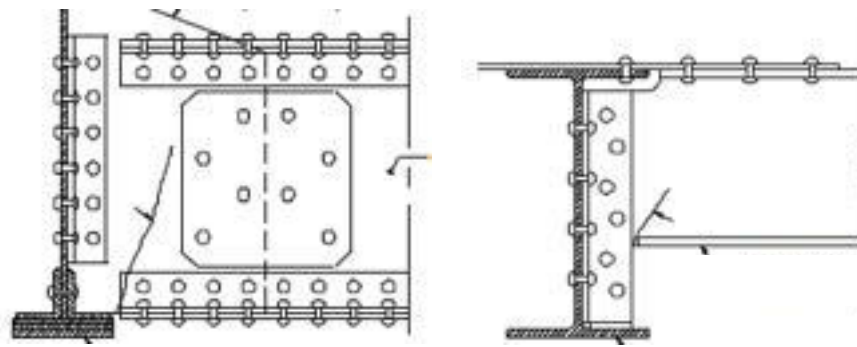
3.2.3.3.C Verbindingen tussen liggers

3.2.3.3.C.1 Gelaste verbindingen

Scheuren ontstaan in de hoek van de overgang (juist naast de las) of in de hoek van de uitsnijding. Hoe scherper de overgang, hoe groter de kans op problemen.



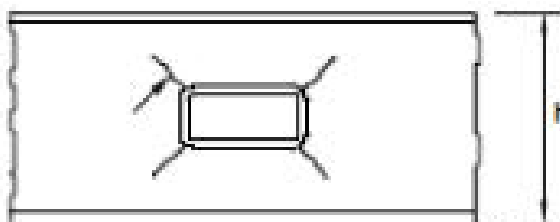
3.2.3.3.C.2 Geklonken verbindingen



3.2.3.3.D Uitsnijdingen in liggers

Bijvoorbeeld bij gaten voor doorvoer van afwateringen of bij mangaten.

Vermoeiingsscheuren ontstaan in de hoeken van de openingen.



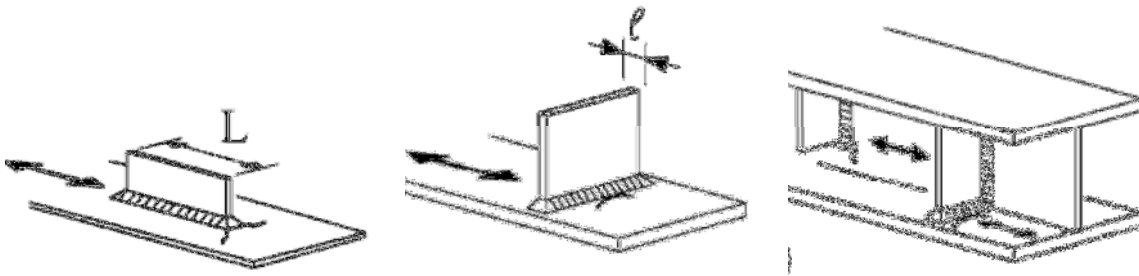
3.2.3.3.E Zones met opgelaste onderdelen

3.2.3.3.E.1 Zones met opgelaste strippen en platen

Scheuren lopen loodrecht op de trekrichting, vlak naast de las.

Voorbeeld :

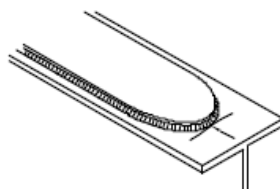
- Opgelaste strippen voor windverbanden
- Verstijvers
- Flenzen of lijfplaten van de ene ligger gelast op de andere



3.2.3.3.E.2 Zones met opgelaste strippen ter versteviging van de flenzen

De vermoeiingsscheuren treden op loodrecht op de as van de ligger, vlak naast de las.

Indien het einde van de strippen niet volledig afgerond is, bestaat een hoger risico op scheuren.

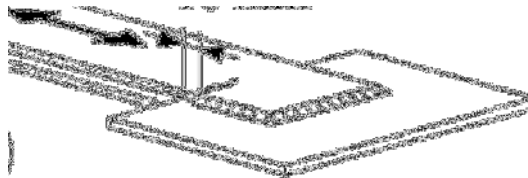


3.2.3.3.E.3 Andere opgelaste onderdelen

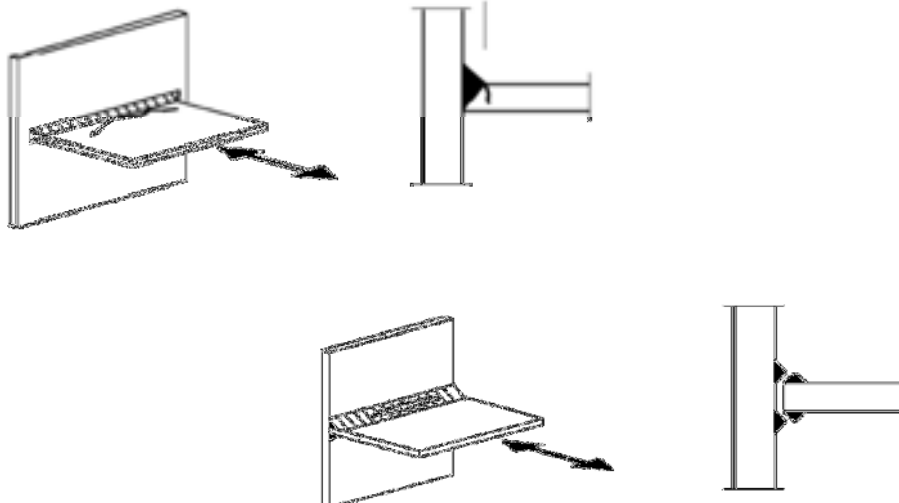
Voorbeeld van een voegprofiel uit een meervoudige voeg

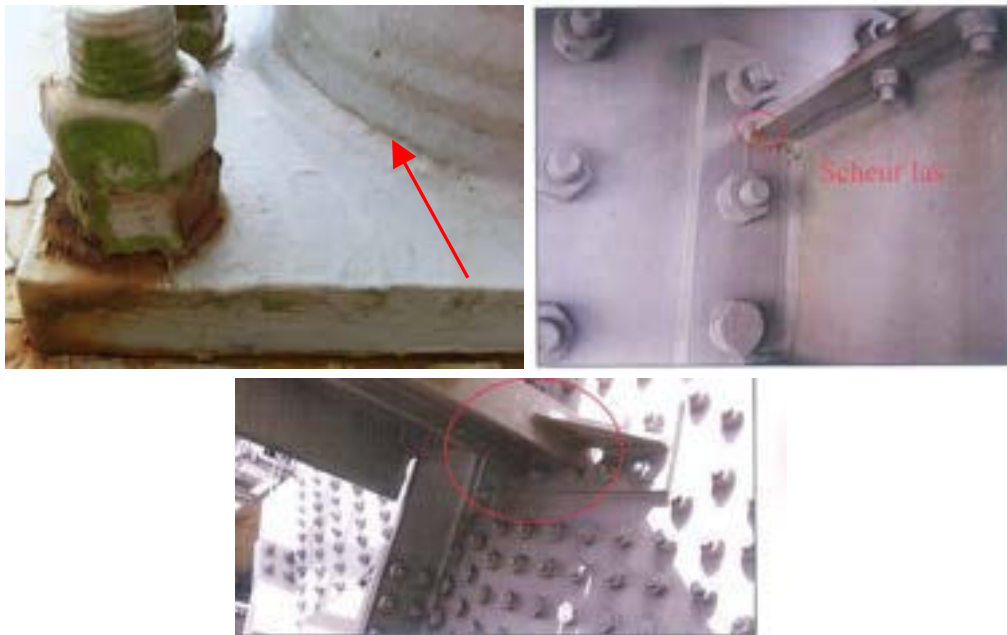


3.2.3.3.F Aangelaste onderdelen die zelf aan een dynamische belasting onderhevig zijn
Scheuren lopen loodrecht op de trekrichting, vlak naast de las of in de las.



Scheuren lopen loodrecht op de trekrichting, vlak naast de las of in de las.



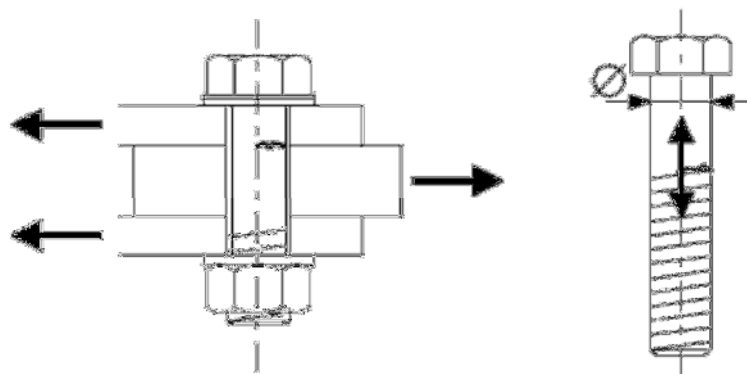


3.2.3.3.G Bouten

Zowel bij bouten op afschuiving als bij bouten op trek.

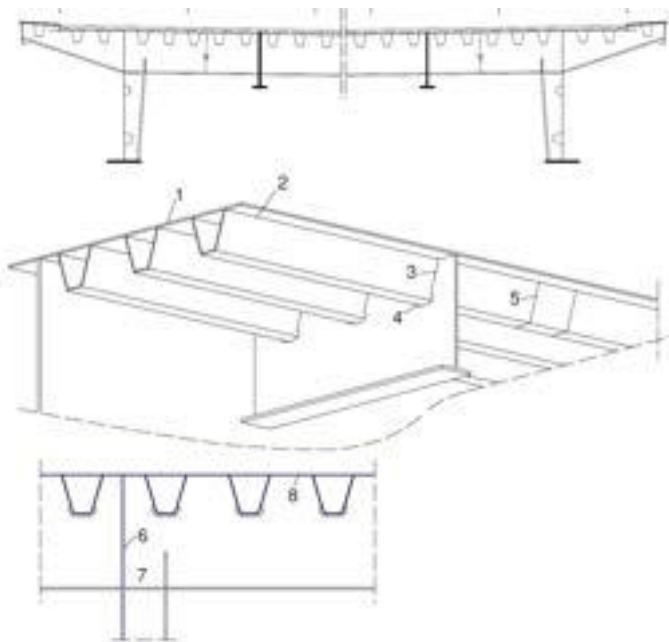
De schroefdraad werkt als een soort 'kerf'.

Indien een bout in een voorspanverbinding breekt op vermoeiing, duidt dit meestal aan dat de voorspanning niet meer effectief is.



3.2.3.3.H Vermoeingsgevoelige zones in orthotrope platen.

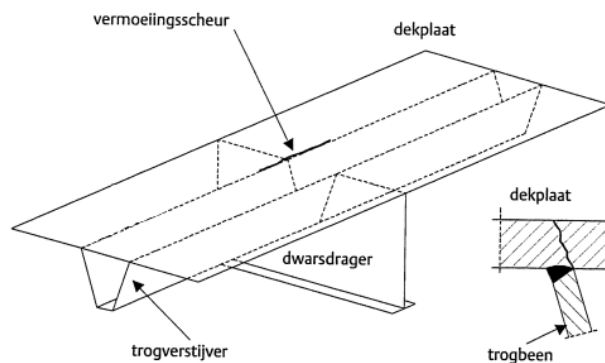
Verschillende elementen van de orthotrope plaat zijn gevoelig voor vermoeiing.



1. Dekplaat
2. Las van de langsligger aan de dekplaat
3. Las van de langsligger aan het lijf van de dwarsdrager
4. Uitsnijding in het lijf van de dwarsdrager
5. Voeg in de langsligger
6. Las van dwarsdragerlijf aan hoofdligger
7. Las van dwarsdragerflens aan hoofdligger
8. Las van dwarsdragerlijf aan dekplaat

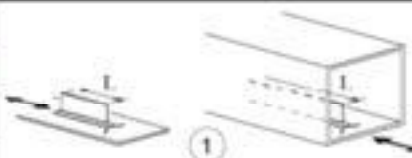

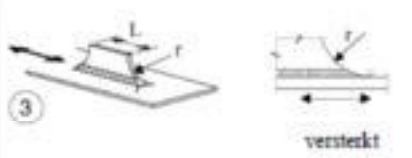


De meest gevoelige zone voor scheurinitiatie is de laswortel van de las waarmee de trogvormige lange liggers aan de dekplaat zijn gelast.

De troggen ter plaatse van de wielsporen in de rechterrajstroken worden het meest belast. De scheur ontstaat aan de laswortel aan de binnenkant van de trog en loopt door de dekplaat naar boven.



3.2.3.4 Naslagwerken voor vermoeiingsdetails

- Vermoeiingsgevoelige detailleringen zijn opgenomen in EN 1993-1-9, ingedeeld in detailcategorieën. Hoe lager het cijfer van de categorie, hoe gevoeliger het detail.

detail - categorie		constructiedetail
80	$L \leq 50 \text{ mm}$	 <p>①</p>
71	$50 < L \leq 80 \text{ mm}$	
63	$80 < L \leq 100 \text{ mm}$	
56	$L > 100 \text{ mm}$	
71	$L > 100 \text{ mm}$ $\alpha = 45^\circ$	 <p>②</p>
80	$r > 150 \text{ mm}$	 <p>③</p> <p>versterkt</p>
90	$\frac{r}{L} \geq \frac{1}{3}$ or $r > 150 \text{ mm}$	 <p>④</p>
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{L} \leq \frac{1}{3}$	
50	$\frac{r}{L} < \frac{1}{6}$	
40		 <p>⑤</p> <p>L: lengte van de aangelaste plaat volgens details 1, 2 of 3</p>

- 'Schouwen van Kunstwerken' opgesteld door de NMBS bevat een overzicht van de vermoeiingsgevoelige details specifiek voor spoorwegbruggen.

4 INTERESSANTE LINKS

Productnormen van staal

<http://www.infosteel.be/staalacier/sa08p44.pdf>

Taatheid

<http://materials-welding.blogspot.be/2007/09/toughness-ability-of-metal-to-deform.html>

Borgen van bouten

<http://members.home.nl/abrok/M&O%20Semester%206%20Kw11/H5%20BoutverbindingenBorgen.pdf>

Lassen

<http://www.kokch.kts.ru/me/t1/index.html>

Spanningsconcentraties

<http://www.kokch.kts.ru/me/t8/index.html>