

# Lasmetaalkunde

5a - koudscheuren

**Ir C.A. Brak**

Versie 2017

## Scheurvorming in lasverbindingen

### Als gevolg van het lassen

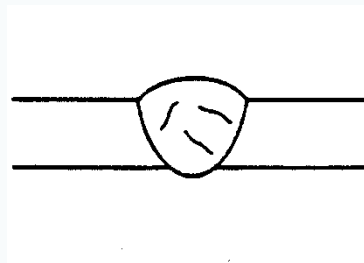
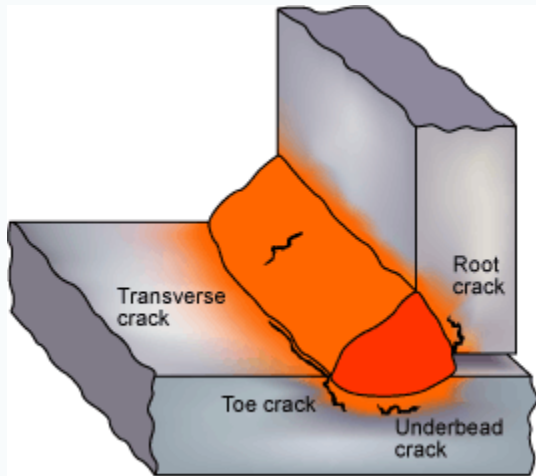
- Koudscheuren (waterstofscheuren)
- Lamellar tearing
- Reheat cracking
- Warmtscheuren

### Als gevolg van bedrijfsomstandigheden

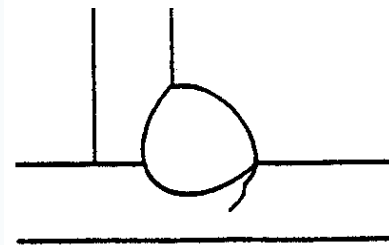
- Vermoeiing
- Corrosie
- Kruip
- Overbelasting
- ....

In deze presentatie beperken we ons tot scheuren die ontstaan door of tijdens het lassen

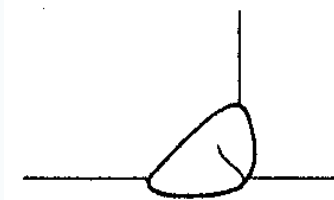
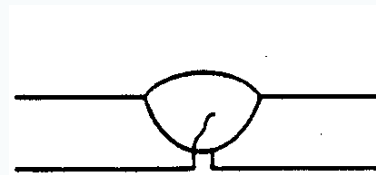
# Schematische indeling van koudscheurvormen



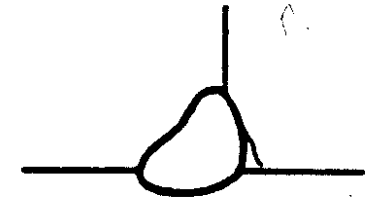
Micro crack



Toe crack

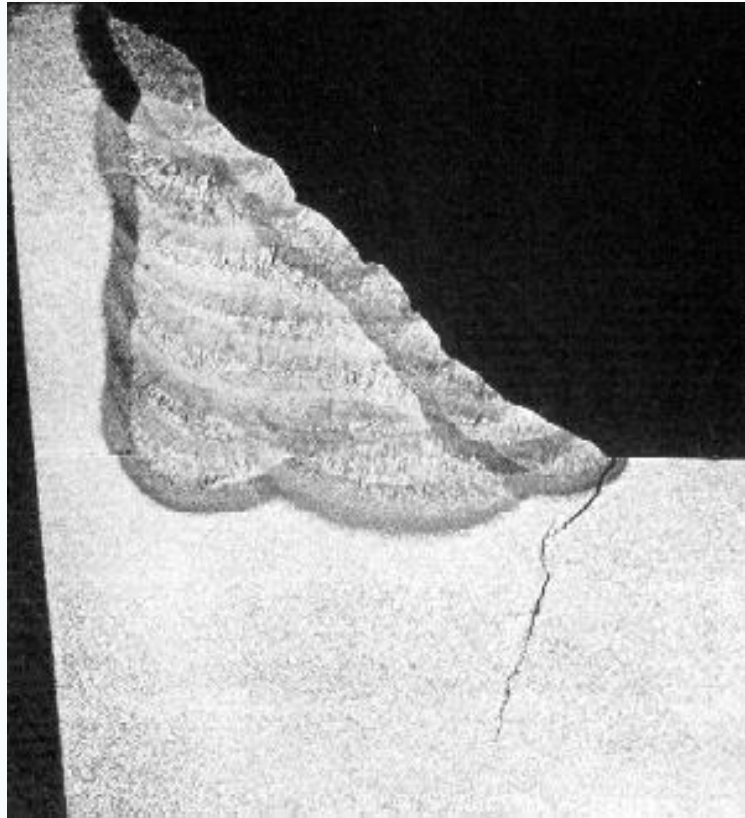


Root crack

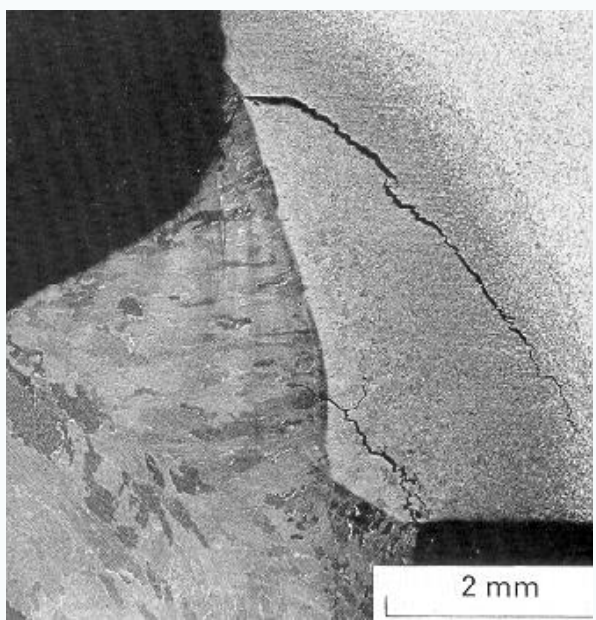
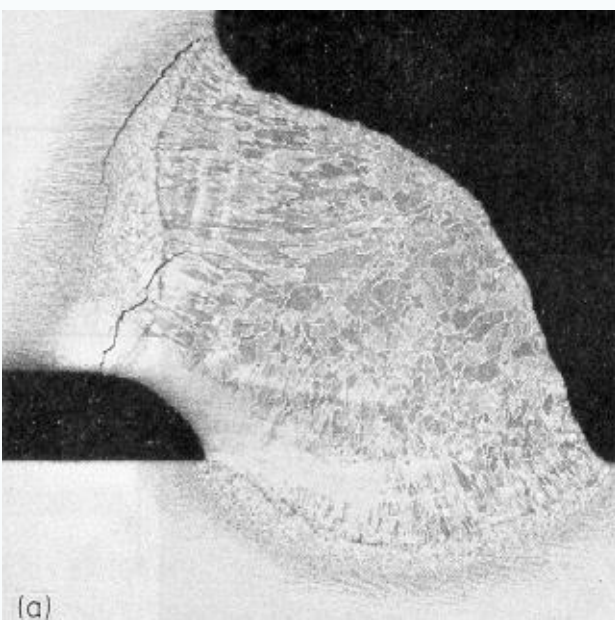
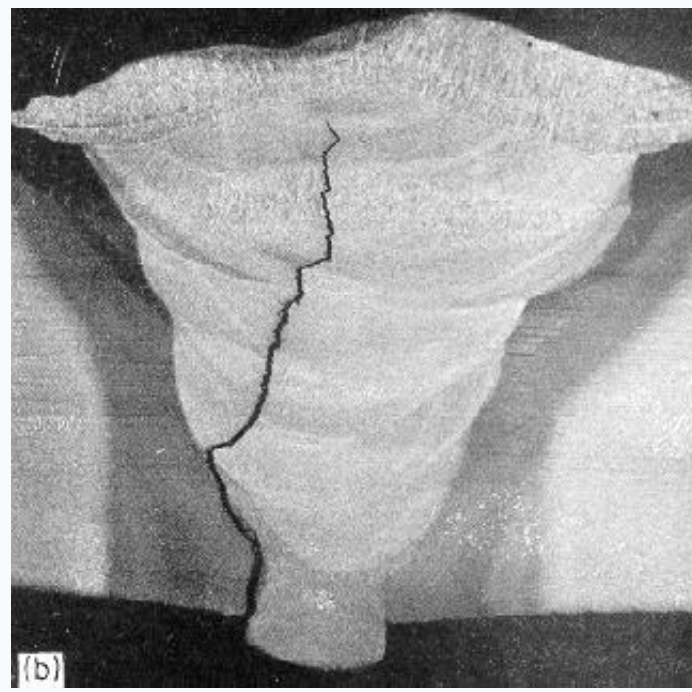
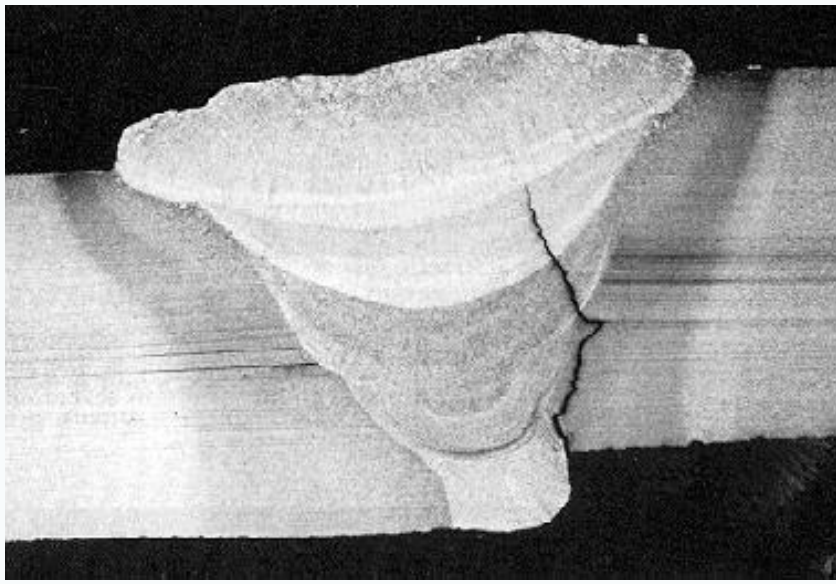


Underbead crack

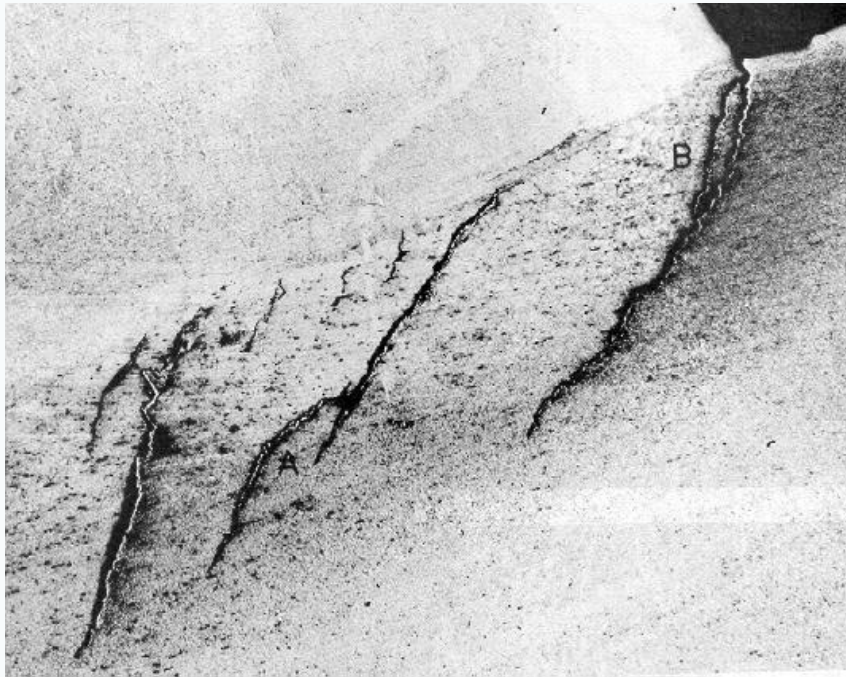
# Toe cracks



# Root cracks

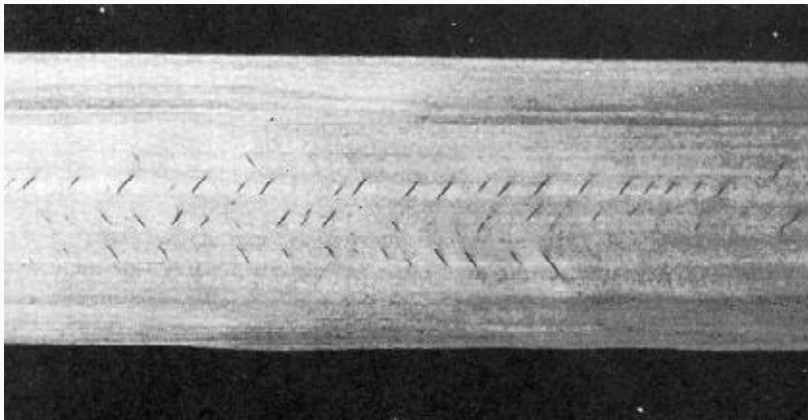
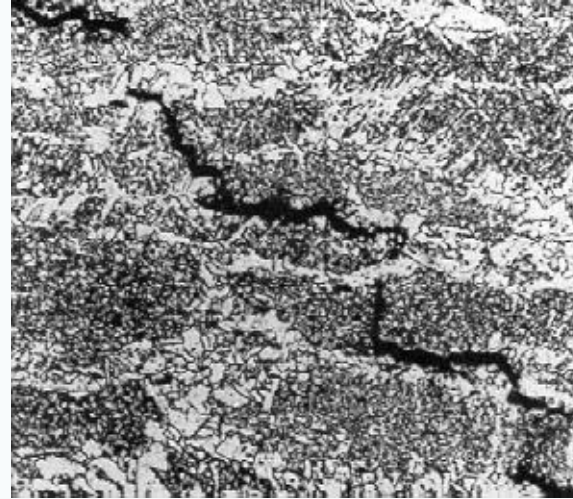
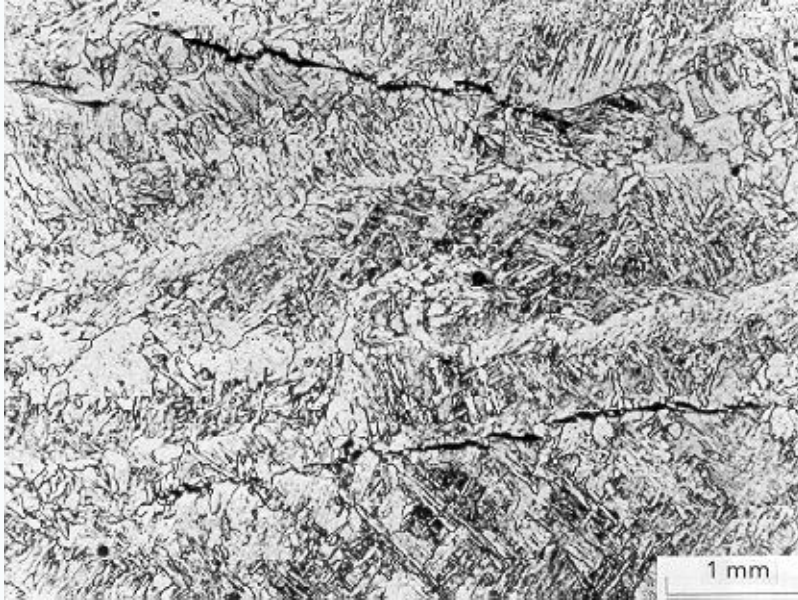


# Root & Toe cracks



**A: Underbead cracks  
&  
B: Toe crack**

## Micro cracks



## Chevron cracks

speciale vorm van microscheuren

# Koudscheuren of waterstofscheuren komen vooral voor in **staal**

## Oorzaken

Gelijktijdige aanwezigheid in lasmetaal of HAZ van elkaar beïnvloedende factoren.

- Waterstof
- “Scheurgevoelige” structuur
- Residuele Spanning

overige condities

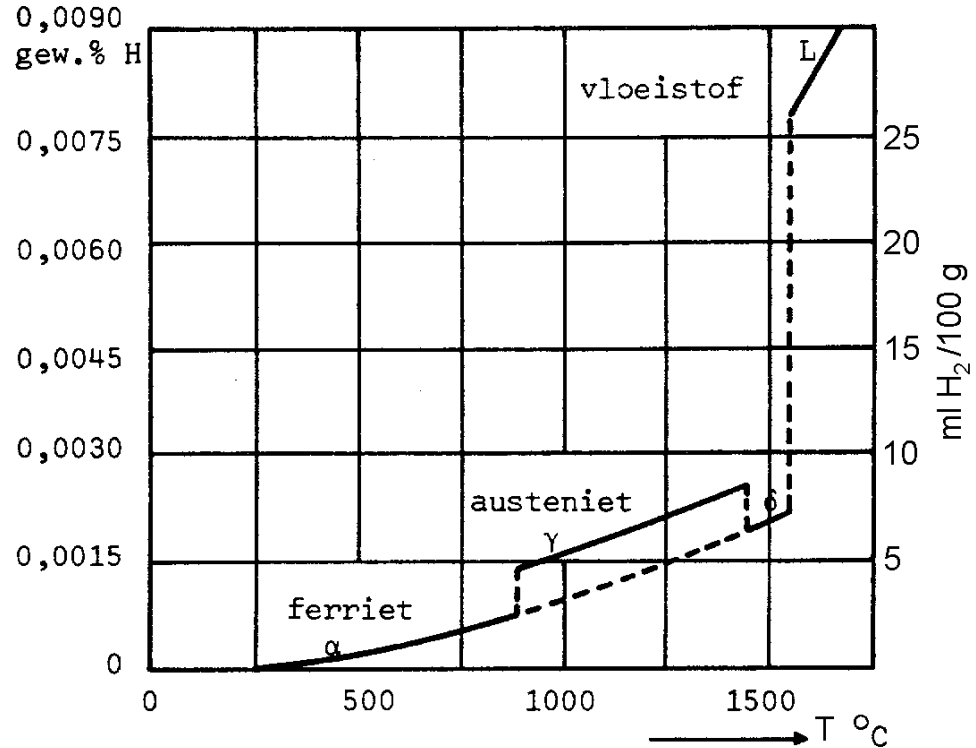
- $T < 200 \text{ } ^\circ\text{C}$

scheurvorming start meestal in HAZ  
scheuren verlopen transkristallijn



## Waterstof

- Slechte oplosbaarheid in staal bij lage temperaturen
- Diffusiesnelheid is laag bij temperaturen  $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

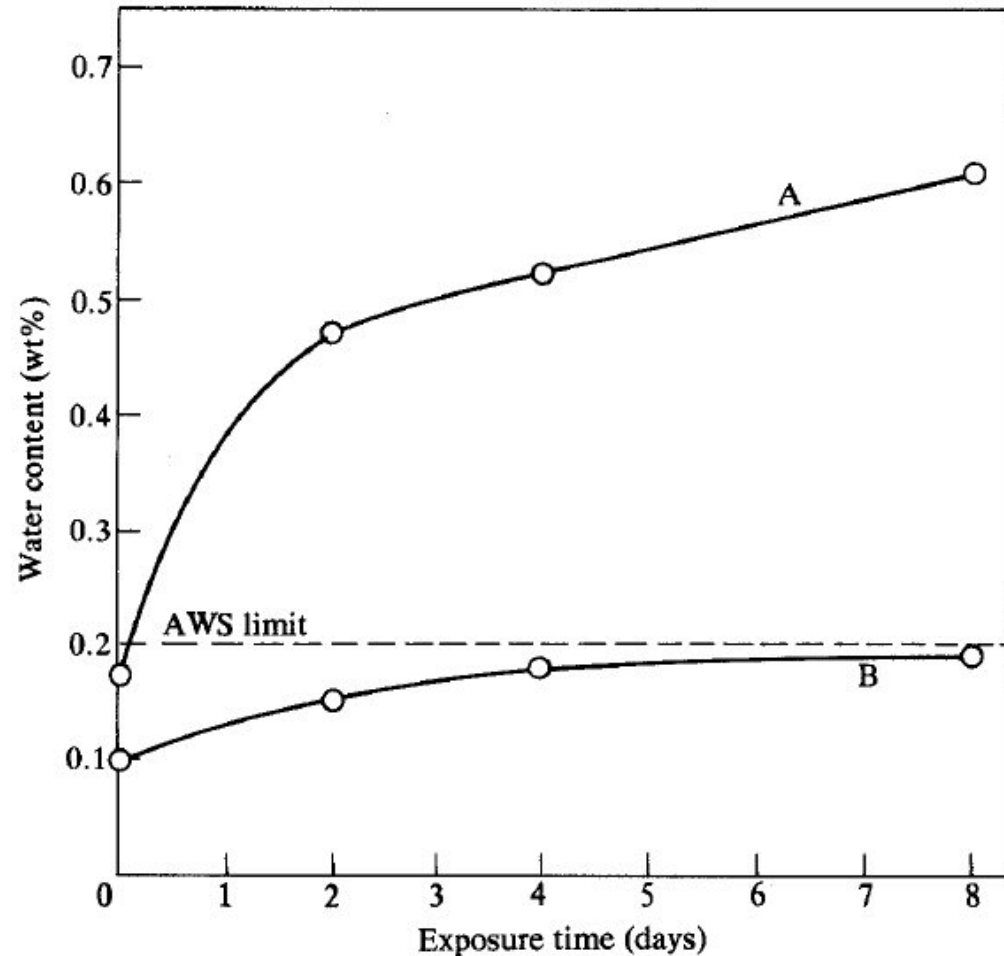


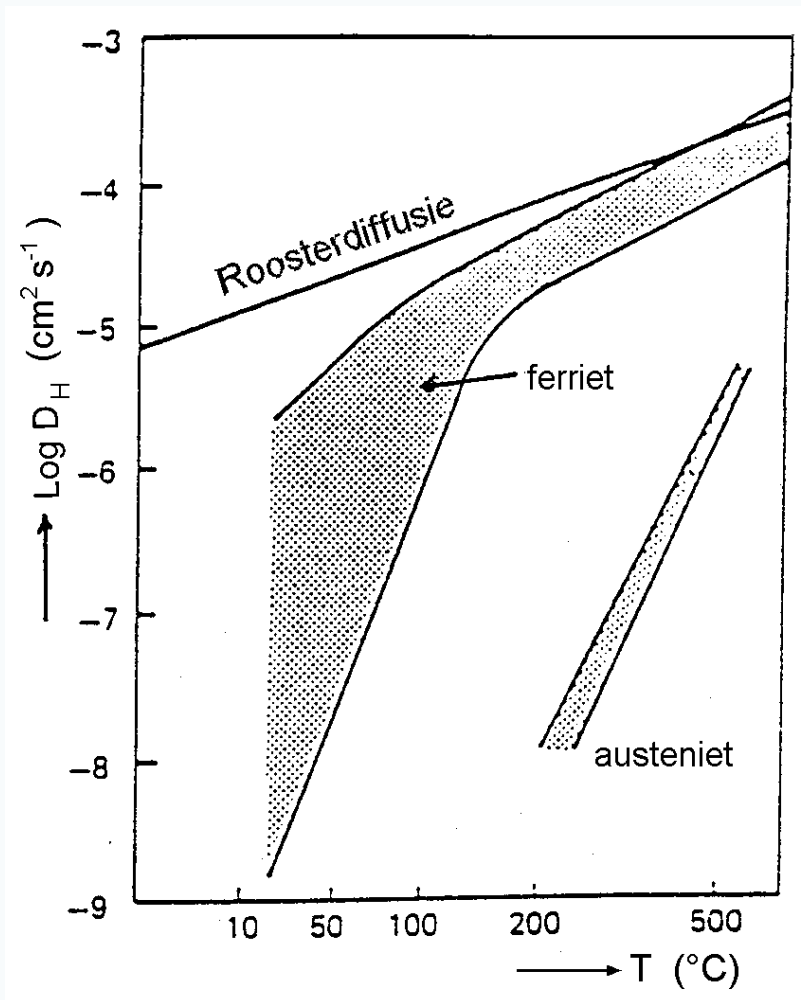
Oplosbaarheid van atomair waterstof in staal als functie van de temperatuur

## Bronnen van waterstof

- Lastoevoegmateriaal (bekleding, laspoeder, gevulde draad)
- Plaatoppervlak (vet, oxidehuid, verf)
- Aanhangend vocht aan draad, op de plaat
- Atmosfeer

Invloed van een binder op de opname van **water** door de bekleding van een elektrode (Rv=50%, 23 °C)





Roosterdiffusie is een theoretische waarde.

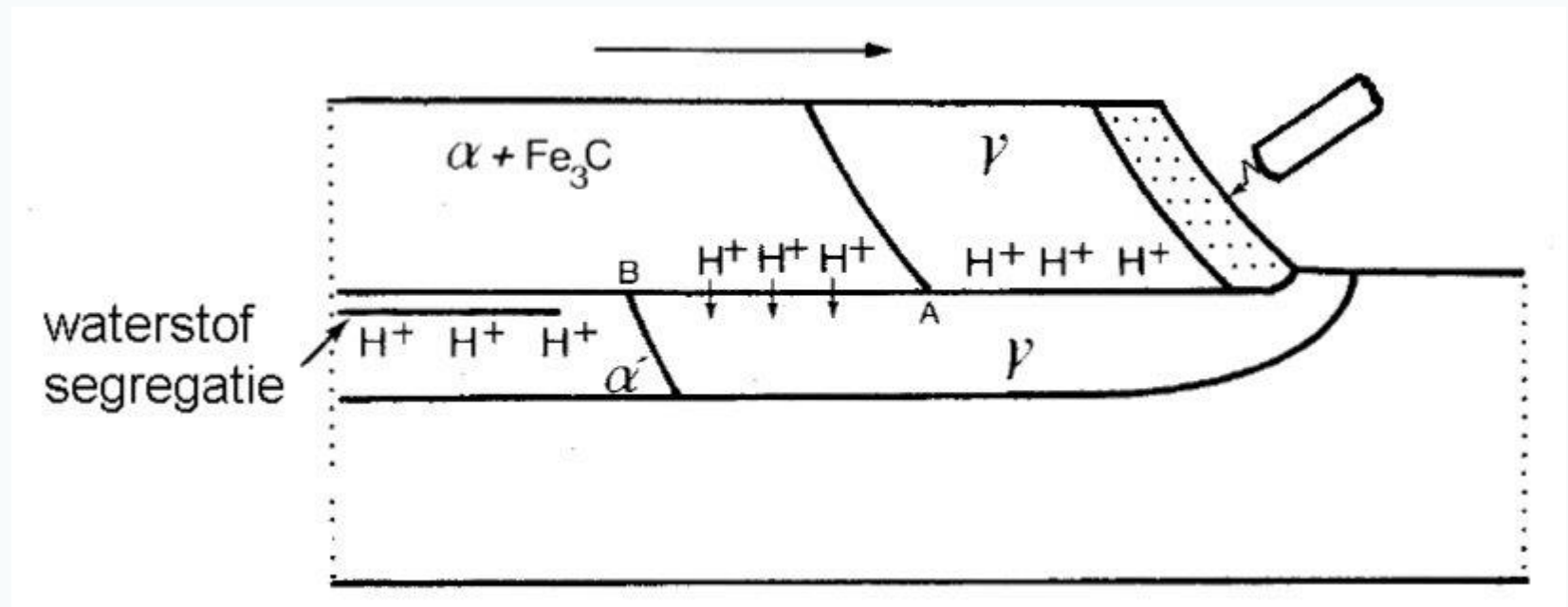
De grote spreiding in de diffusiecoëfficiënt van ferriet bij  $T < 150 \text{ }^\circ\text{C}$  komt door aanwezigheid van roosterfouten en verontreinigingen.

Diffusiecoëfficiënt  $D_H$  van waterstof (H) in staal

Voorals martensietstructuren zijn gevoelig voor waterstofscheuren omdat de diffusie van H in austeniet bij de transformatietemperatuur zeer laag is (en omdat martensiet natuurlijk een lage taatheid heeft) .

Waterstof uit de bekleding, zal onder invloed van de boogtemperatuur als ionen in het lasmetaal terechtkomen. Vandaar diffundeert tijdens de stolling **een deel** naar de WBZ.

Daarna vindt recombinitie plaats



# Waterstof in lasmetaal

1ml /100 g  $\equiv$  0,89 ppm

H<sub>D</sub> neergesmolten metaal; DEPOSITED METAL

H<sub>F</sub> omgesmolten metaal; FUSED METAL

Totale waterstof = Diffundeerbare H - Residuele H  
Wat gemeten wordt is de diffundeerbare waterstof

**Klasse A-E**  
**H<sub>D</sub> waarde**

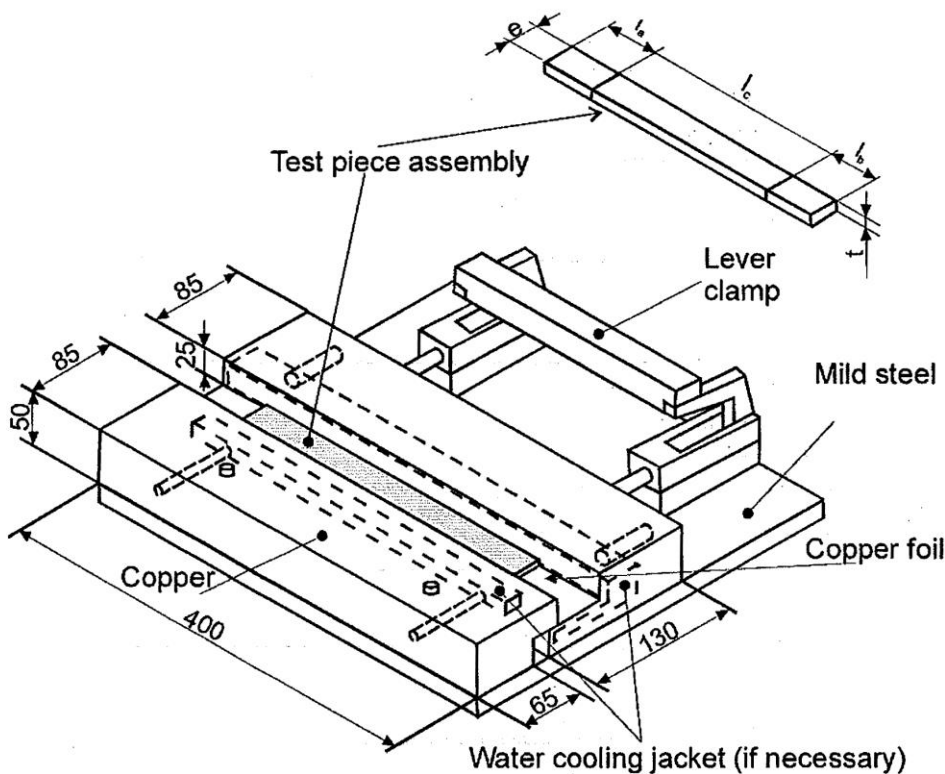
Hoeveelheden in  
ml / 100g

- |     |            |                           |
|-----|------------|---------------------------|
| • A | Hoog       | > 15                      |
| • B | Middel     | > 10 maar $\leq$ 15       |
| • C | Laag       | > 5 maar $\leq$ 10        |
| • D | Zeer laag  | $\leq$ 5                  |
| • E | Extra laag | $\leq$ 3 (niet officieel) |

# Waterstof bepaling

## ijkmethode = kwikmethode

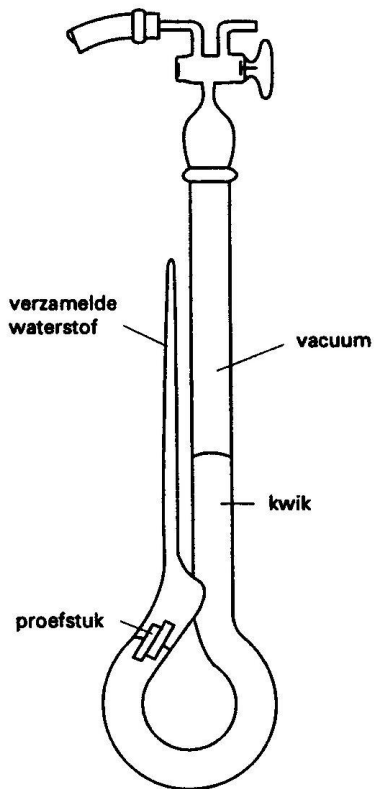
Beproevingstijd bij 25°C  
totdat er 24 hr lang geen / te verwaarlozen verhoging van het waterstofniveau optreedt. (kan enkele dagen duren)



Opstelling voor het maken van proefblokjes  
(ISO 3690: 2006 rev 3)

Praktische bepaling: met bijv gaschromatografie  
Afhankelijk van de methode kan meer dan 100°C zijn, zodat de bepaling snel gaat

## Waterstofbepaling kwikmethode



Voorbeeld van een buret voor de bepaling van waterstof mbv de kwikmethode

Het gebruik van kwik is verboden: hoe moet de primaire ijking nu plaatsvinden?

### NEN-EN-ISO 3690:2001 en



Pagina's: 20

Prijs: € 65.81 \*

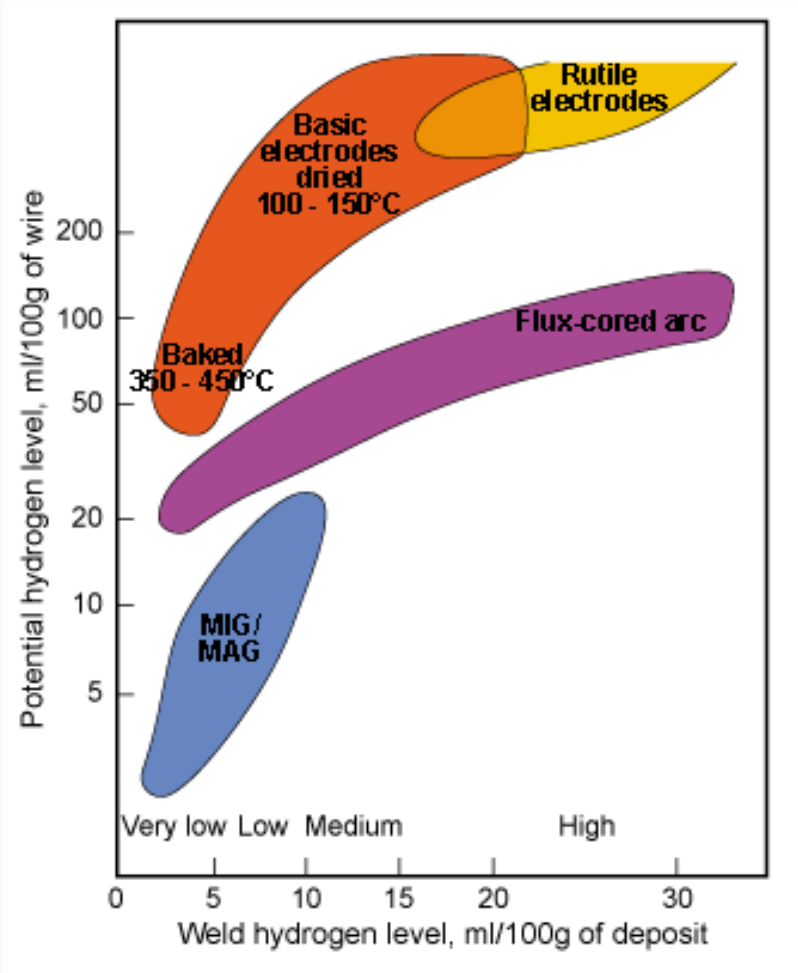
[BESTELLEN / DOWNLOAD](#)

#### Titel:

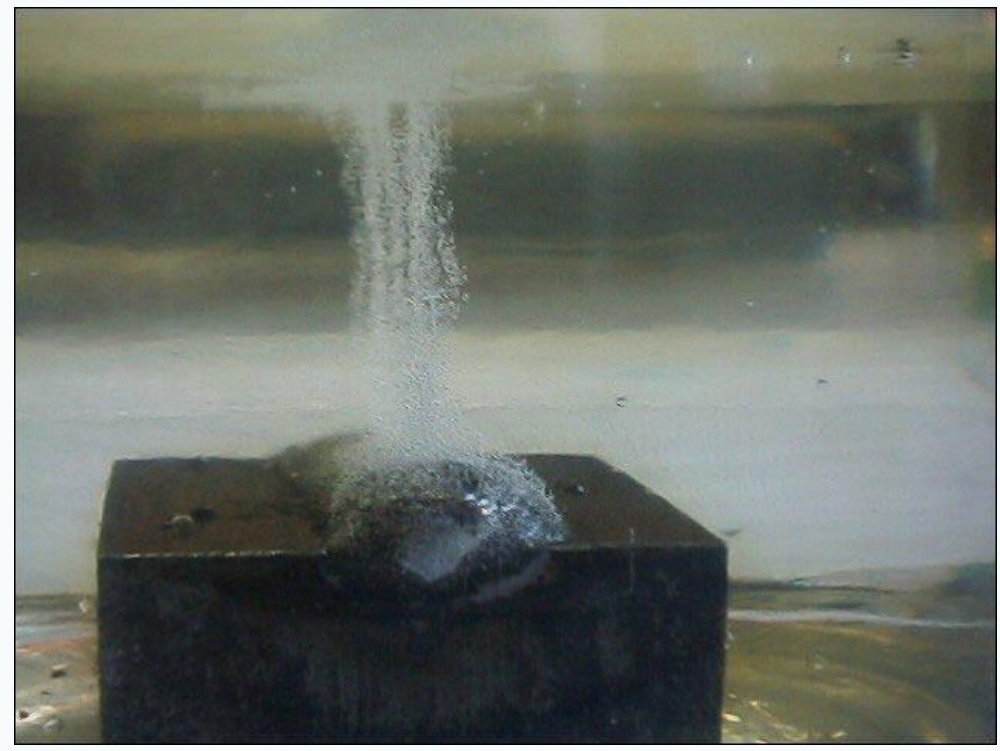
Lassen en verwante processen - Bepaling van het waterstofgehalte in ferritisch booglasmetaal

#### Omschrijving:

Specifies the sampling and analytical procedure for the determination of diffusible and residual hydrogen in weld metal arising from the welding of ferritic steel using arc welding processes with filler metal. Collection of the hydrogen over mercury is the primary method. Provided that the weld specimen size is maintained within limits dictated by the size of the test block, variations in welding parameters...



Waterstofniveau bij verschillende lasprocessen



Ontsnapping van waterstofgas uit lasmetaal, bij een rutiel elektrode.  
Het medium is glycerine

[Film: waterstof uit lasmetaal](#)



- Verpakking mag geen vocht doorlaten
- Karton bevat teveel water
- Als pak elektrodes open is : beperkt houdbaar of bewaren in een droogoven (droogkoker, quiver)

**Alternatieve oplossing:**  
speciale verpakking,  
bijvoorbeeld Sahara ReadyPack, met  
beperkte hoeveelheid elektrodes.

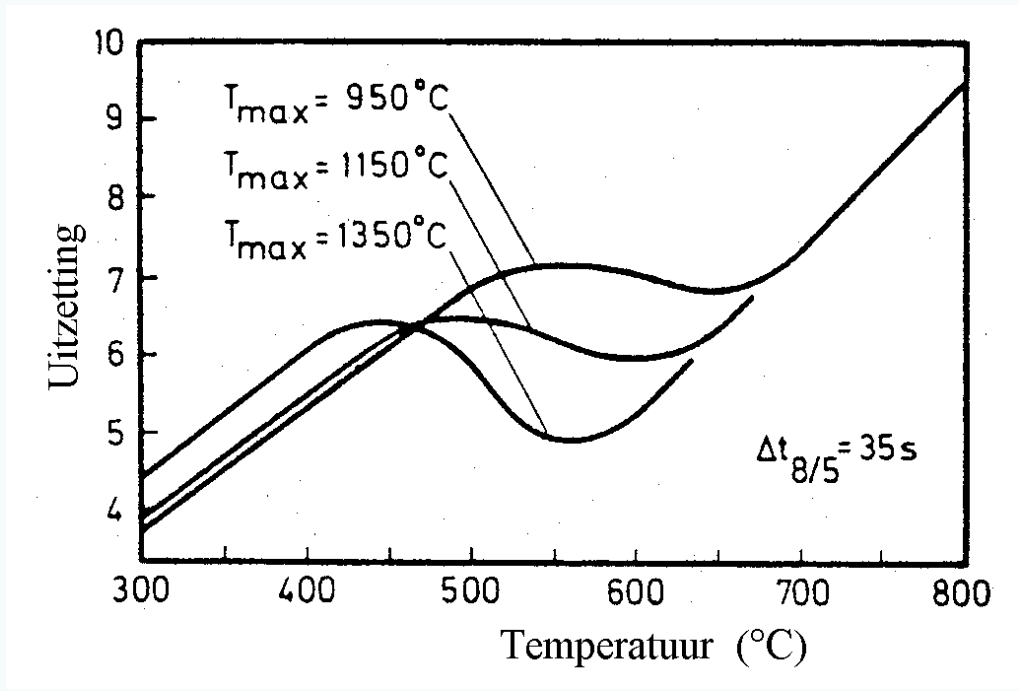
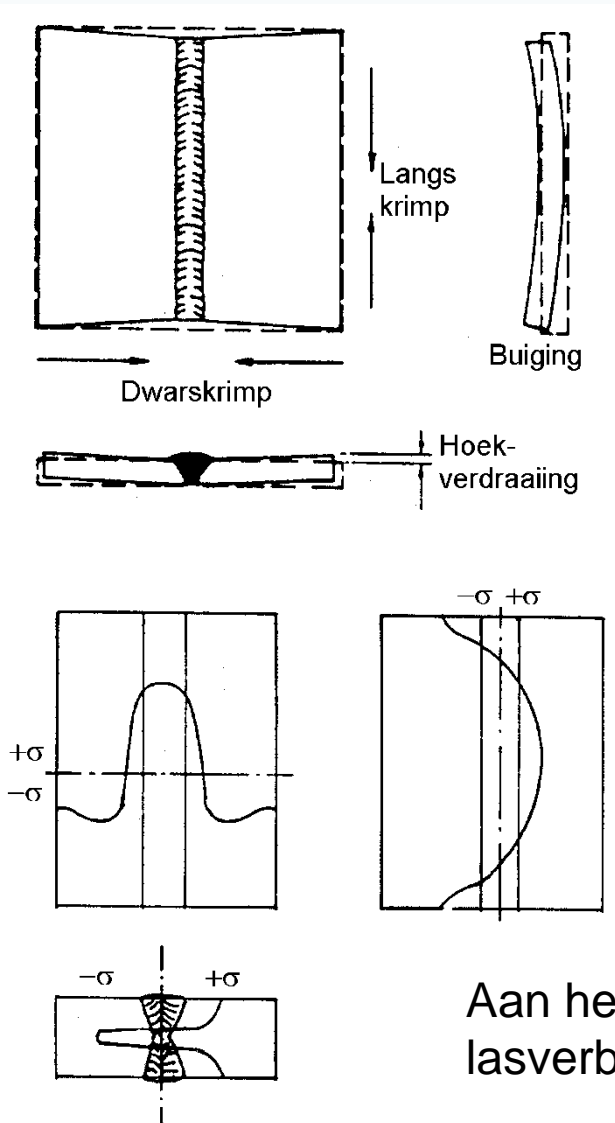


## Waterstofverbrossing in lasverbinding

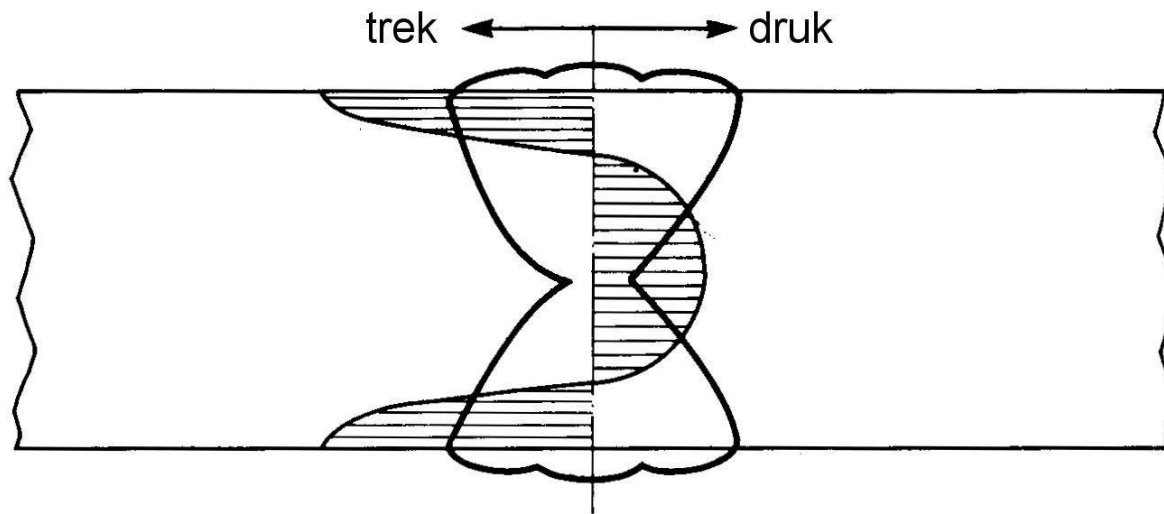
- H-atomen verbinden zich tot  $H_2$  in allerlei defecten (holtes (“voids”), dislocaties) waardoor drukopbouw ontstaat.
- H-atomen adsorberen aan de ijzeratomen in voids, en ruimtes bij dislocaties, waardoor adhesie-krachten tussen ijzeratomen verlaagd wordt.

Het duurt soms enige tijd (dagen, weken) voordat scheurvorming optreedt  
→ **delayed cracking**  
hou daar rekening mee!

# Spanningen in de lasverbinding



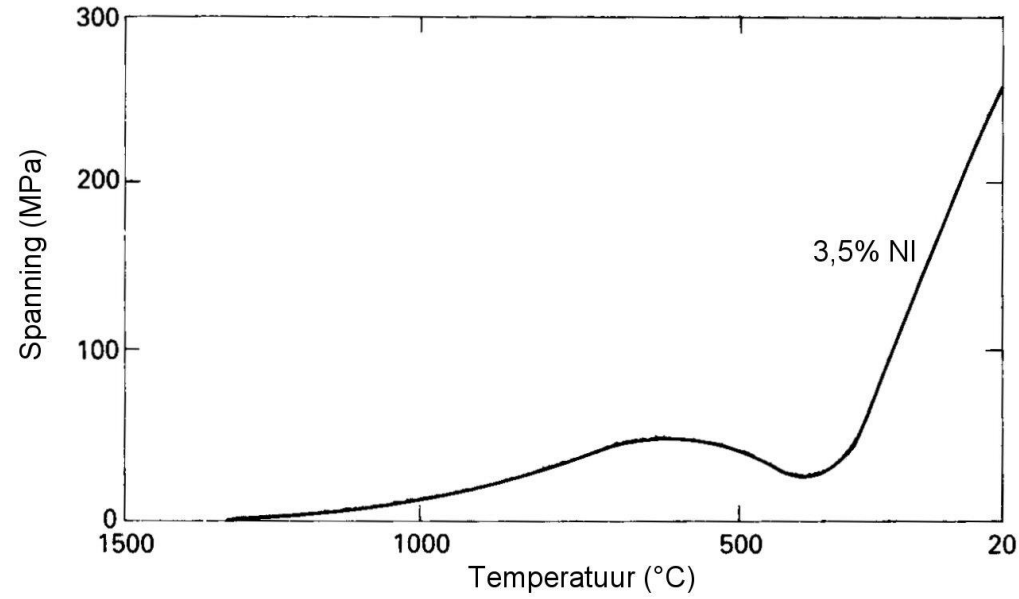
Aan het oppervlakte van de lasverbindingen ontstaan trekspanningen



restspanningen in een meerlagenlas

Spanningen in de lasverbinding (2 zijdig x-las, grotere dikte)

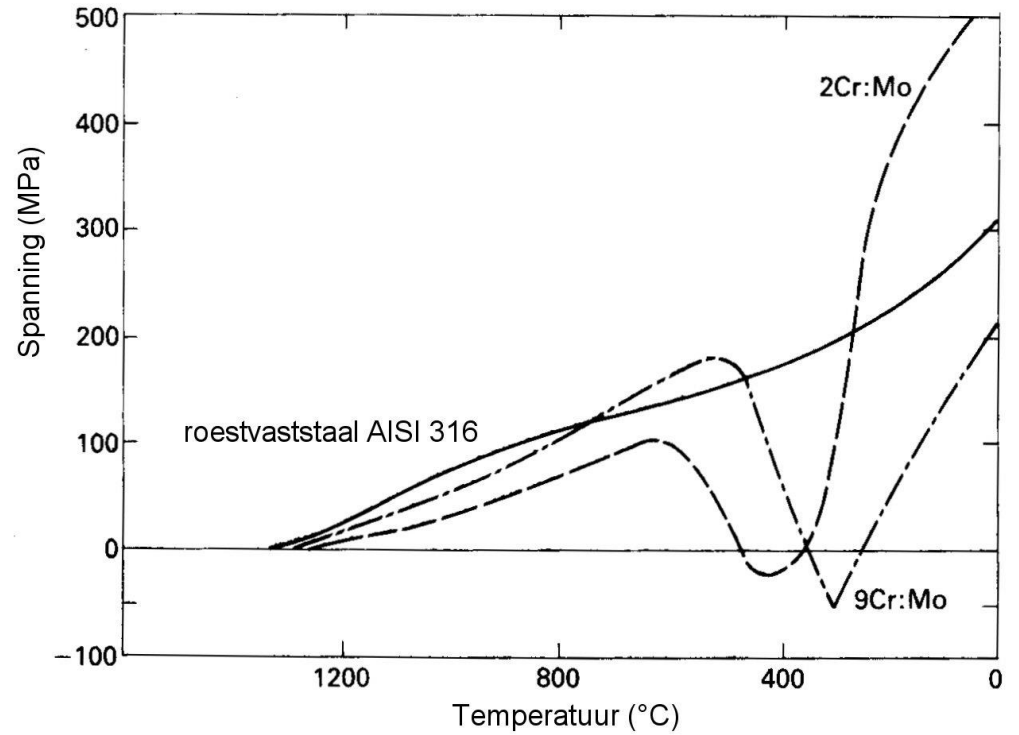
meerlagenlas → **lage kerftaaiheid in de root !! (hoe ga je daar mee om? )**



Residuele spanningen

Afhankelijk van

- Samenstelling
- Fase-overgang
- Warmtegeleidingsvermogen
- Uitzettingscoëfficiënt



# Structuur van de WBZ

Samenvattend

factoren	Wordt vooral – maar niet uitsluitend – bepaald door
Hardheid	%C
Doorharding	legeringselementen
Afkoelsnelheid	Q en plaatdikte
Korrelgrootte	Q
Soort ferriet	afkoelsnelheid, samenstelling

Deze factoren bepalen –samen met de hoeveelheid waterstof–  
**de voorwarmtemperatuur**

Het gaat om staalsoorten die beschreven zijn in EN 10025

## Aanduidingen voor staalsoorten volgens NEN-EN-10027-1: 2005

- Groep 1: Op basis van mechanische of fysische eigenschappen  
De aanduiding begint met een letter
- Groep 2: Op basis van de chemische samenstelling  
(zoals besproken in module H2.5)

## Aanduidingen voor staalsoorten volgens NEN-EN-10027-2: 2005

Op basis van een numeriek systeem (“Werkstoffnummers”)

## Symbolen voor de staalsoorten uit groep 1

<b>S</b>	Constructiestaal	<b>R</b>	Staal voor rails
<b>P</b>	Staal voor drukvaten	<b>H</b>	Koudgewalst plat product voor dieptrekken
<b>L</b>	Staal voor transportleidingen	<b>D</b>	Platte producten voor koudvervorming
<b>E</b>	Constructiestaal, zonder gespecificeerde eisen aan rek en lasbaarheid	<b>T</b>	Verpakkingsstaal
<b>B</b>	Betonstaal	<b>M</b>	Elektroplaat
<b>Y</b>	Voorspanstaal		

Na de letter volgt meer informatie over de rekgrens, treksterkte, hardheid, ect, afhankelijk van de specifieke toepassing (zie verder EN 10027)

**DE EERSTE 4 ZIJN VOOR LASSEN INTERESSANT.**

Na de letter volgt de minimum vloeigrens en informatie over de leveringstoestand



De staalsoorten uit groep 2 worden ingedeeld naar gelang het gehalte aan legeringselementen:

- Ongelegeerd staal met Mn <1% (muv automatenstaal)

→ C15

- Ongelegeerd staal met Mn >1% en gelegeerd staal (muv snelstaal), waarvan het gehalte van elk legeringselement < 5% is

→ 17Mn5, 13CrMo4-4

- Gelegeerd staal, waarvan het gehalte van minstens een van de legeringselementen > 5% is (muv snelstaal)

→ X8Ni9, X3CrNiMoN 22-5-3

- Snelstaal

Letter HS, gevolgd door legeringspercentages W, Mo, V, Co (in die volgorde).

→ HS 2-5-1-2, HS 18-0-1

(Cr, altijd ca. 4% aanwezig, wordt niet genoemd,

Ook als een van de drie elementen W, Mo of V niet aanwezig is wordt het genoemd)

In de vorige norm (1993) is nog sprake van ongekalmeerd en gekalmeerd staal (FU, resp FN en FF)

Thans is, behalve voor S185, alleen nog sprake van gekalmeerd staal

### Ongekalmeerd of onrustig staal

Door heftige gasontwikkeling ( $C + O \rightarrow CO\uparrow$ ) ontstaat na het gieten een vonkenregen van oxiderende ijzerdeeltjes.

Bij het stollen worden de gassen ingesloten; vooral in de kern zijn dan veel gassen aanwezig. In het laatst stollend deel hopen zich de elementen C, P en S op; deze segregatie is na walsen nog merkbaar.

### Gekalmeerd of rustig staal

Toevoeging van desoxidatiemiddelen aan het vloeibare staal verlaagt het aanbod van zuurstof, waardoor de CO ontwikkeling onderdrukt wordt.

De oxiden komen voornamelijk in de slak terecht.

kenmerk	Gietmethode		
	FU ongekalmeerd	FN gekalmeerd	FF extra gekalmeerd
samenstelling	Si: Spuren Mn: 0,2-0,4% Cmax: 0,25 %	Si: 0,1-0,4 % Mn: 0,2-0,6 %	Si: 0,1-0,4 % Mn: 0,2-0,6 % Al: > 0,02 %
belangrijke chemische reacties	$\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + \text{Fe}$ $\text{FeS} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnS} + \text{Fe}$ $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnO} + \text{Fe}$	$\text{FeS} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnS} + \text{Fe}$ $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$	$\text{FeS} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnS} + \text{Fe}$ $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$ $3\text{FeO} + 2\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Fe}$ $\text{FeN} + \text{Al} \rightarrow \text{AlN} + \text{Fe}$
bloksegregatie	sterk	gering	gering
slinkholte	geen	aanwezig	aanwezig
vervormings- eigenschappen	oppervlakte: goed kern: slechter en ongelijkmatig	slechter, maar gelijkmatig	slechter, maar gelijkmatig
gevoeligheid voor veroudering	groot	minder	minst
lasbaarheid	oppervlakte: goed kern: zeer slecht	beter	het best
kerfsslagarbeid	lage upper shelf hoge overgangstemperatuur	tussen FU en FF in	hoge upper shelf lage overgangstemperatuur

## Verwijzing in de normen

Huidige norm	staalsoorten	groep	Vervallen norm	
EN 10025-2	S235JR S355JR/-J0/-J2/-K2 S450J0	Ongeleerde constructiestalen	EN 10025	
EN 10025-3	S355N/-NL	Normaalgegleeid, normaliseren warmgewalst, fijnkorrelig constructiestaal	EN 10113-2	
EN 10025-4	S355M/-ML	Lasbaar thermomechanisch warmgewalst fijnkorrelig constructiestaal	EN 10113-3	
EN 10025-5	S235J0K/-J2W S355J0WP/-J2WP	Weervaste staalsoorten	EN 10155	
EN 10025-6	S460Q/-QL/-QL1 t/m S960Q/-QL/-QL1	Hoge sterkte staal in de "geharde en ontlaten toestand ("Quenched and tempered steel", Q/T)	EN 10137-2	

# S: constructiestaal (structural steel)

Table 1 — Structural steels

Principal symbols		Additional symbols for steel		Additional symbols for steel products		
G S n n n		an .....		+an +an .....		
Principal symbols		Additional symbols				
Letter	Mechanical property	For steel				For steel product
		Group 1 <sup>b</sup>		Group 2 <sup>c,d</sup>		
G = steel casting (where necessary)  S = structural steel	nnn = specified minimum yield strength <sup>e</sup> in MPa <sup>f</sup> for the smallest thickness range	Impact property Energy Joules (J)	Test temperature	C = Special cold forming		Tables 16, 17 and 18
				27J 40J 60J	°C	
		JR KR LR	20	E = Enamelling		
		J0 K0 L0	0	F = Forgings		
		J2 K2 L2	-20	H = Hollow section		
		J3 K3 L3	-30	L = Low temperature		
		J4 K4 L4	-40	M = Thermomechanically rolled		
		J5 K5 L5	-50	N = Normalised or normalised rolled		
		J6 K6 L6	-60	P = Sheet piling		
		A = Precipitation hardening		Q = Quenched and tempered		
M = Thermomechanically rolled		W = Weather resistant		T = Tubes		
N = Normalised or normalised rolled		an = Chemical symbol of specified additional elements, e.g. Cu, together, where necessary, with a single digit representing 10 x the average (rounded to 0,1%) of that specified range of the content of that element				
Q = Quenched and tempered						
G = Other characteristics followed, where necessary by 1 or 2 digits						

<sup>a</sup> n = numerical characters, a = alpha characters, an = alphanumeric characters.  
<sup>b</sup> Symbols A, M, N and Q in Group 1 apply to fine grain steels.  
<sup>c</sup> Symbols of Group 2, other than chemical symbols, may be suffixed by one or two digits in order to distinguish between qualities in accordance with the relevant product standard.  
<sup>d</sup> If two of the symbols of this Group are needed the chemical symbol shall be the last one.  
<sup>e</sup> The term "yield strength" refers to upper or lower yield strength ( $R_{wU}$ ) or ( $R_{wL}$ ) or proof strength ( $R_p$ ), or proof strength total extension ( $R_t$ ) depending on the requirement specified in the relevant product standard.  
<sup>f</sup> 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.

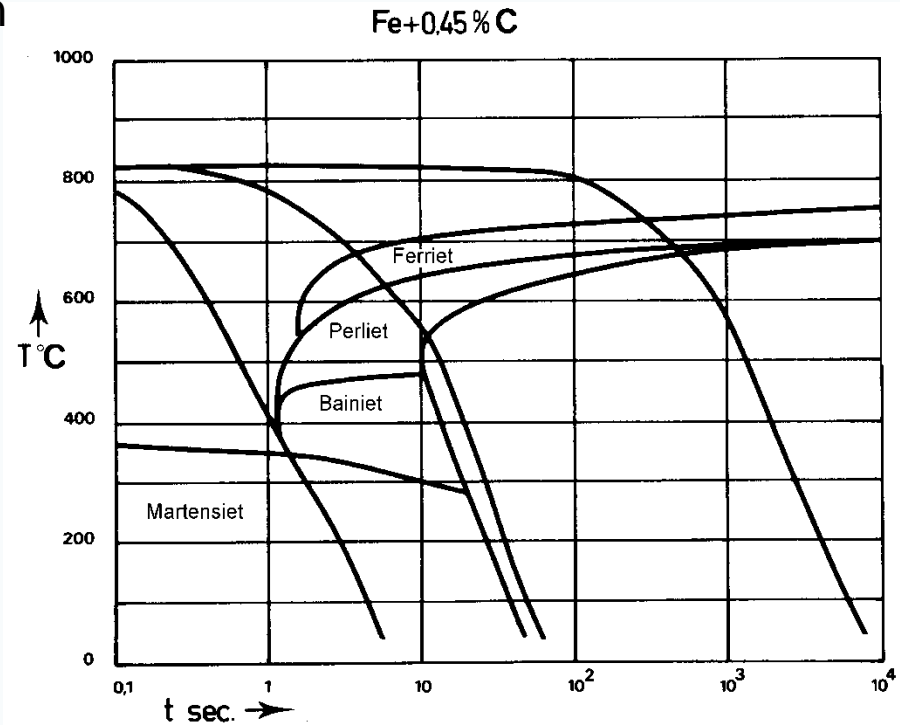


## Vergelijking met enkele vervallen aanduidingen

EN 10025-2: 2005 ongelegeerd constructiestaal:

Grade	werkstofnr	minimale rekgrens	treksterkte	vervallen aanduidingen volgens		
				NEN-EN 20025: 1993	Euronorm 25	DIN 17100
S185	1.0035	185	290-510	S185	Fe 310	St 33
--	--	--	--	S235	--	--
S235JR	1.0038	235	360-510	S235JRG2	Fe 360 BFN	RSt 37-2
S235J0	1.0114	235	360-510	S235J0	Fe 360 C	St 37-3
S235J2	1.0117	235	360-510	S235JRG4	Fe 360 D2	--
--	--	--	--	S275	--	--
S275JR	1.0044	275	410-560	S275JR	Fe 430 C	St 44
S275J0	1.0143	275	410-560	S275J0	Fe 430 D1	St 44-3
S275J2	1.0145	275	410-560	S275J2G3/G4	Fe 430 D2	--
--	--	--	--	S355	--	--
S355JR	1.0045	355	470-630	S355JR	Fe 510 B	--
S355J0	1.0553	355	470-630	S355J0	Fe 510 C	St 52-3
S355J2	1.0577	355	470-630	S355J2G3/G4	Fe 510 D1/D2	--
S355K2	1.0596	355	470-630	S355K2G3/G4	Fe 510 DD1/DD2	--
S450J0	1.0590	490	550-720	--	--	--
E295	1.0050	295	470-610	E295	Fe 490-2	St 50-2
E335	1.0060	335	570-710	E335	Fe 590-2	St 60-2
E360	1.0070	360	670-830	E360	Fe 690-2	St 70-2

In een CCT diagram kunnen de structuur en hardheid van een staalsoort als functie van de afkoelsnelheid worden vastgelegd



Nadeel voor lassen:

1. uitgangstoestand voor de afkoeling niet overeenkomstig lascondities
2. Voor elke isotherm in de WBZ zou een diagram nodig zijn

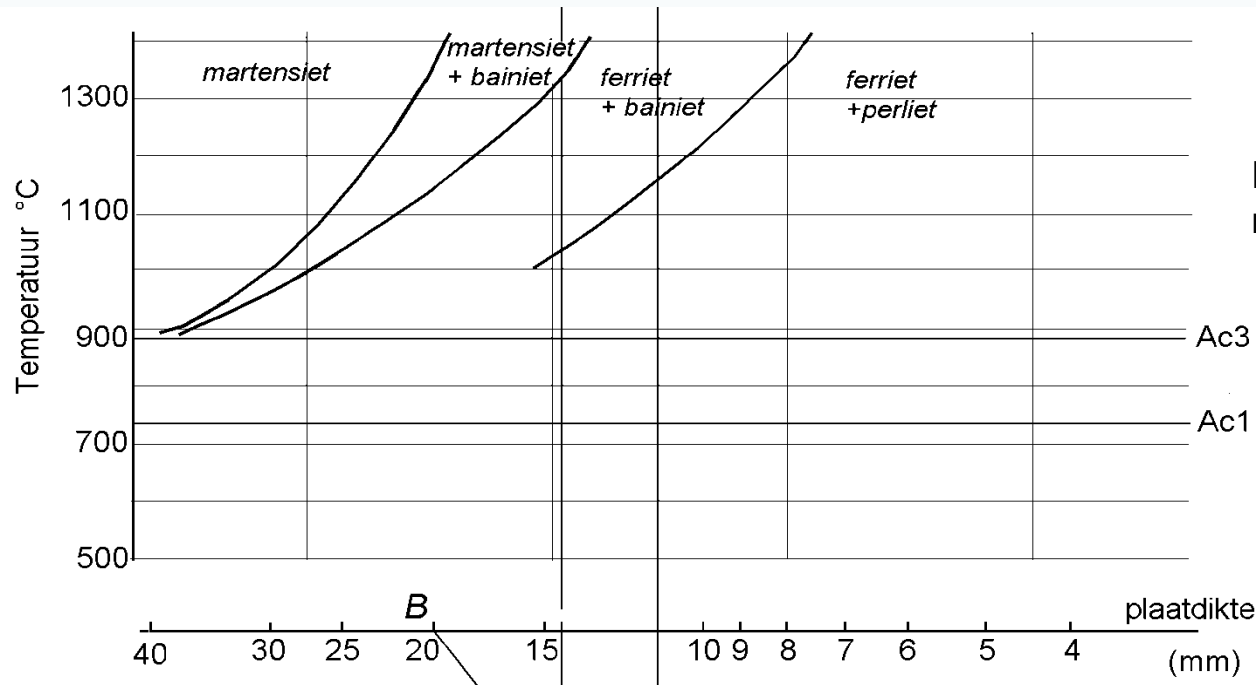
Probleem op te lossen met een diagram met de volgende uitgangspunten:

1. Maak een diagram dat uitgaat van de hoogste temperatuur (1300-1350 °C);
2. Plaats bij de afkoellijnen de bijbehorende waarden voor  $t_{8/5}$

Speciaal voor lassen zijn in het verleden **PTAT-diagrammen** ontwikkeld. Dit zijn diagrammen, waarmee de structuur en hardheid in de WBZ volledig kan worden beschreven.

Elke plaats in de WBZ wordt beschreven door een **PiekT**emperatuur en een **AfkoelT**ijd

TTT en CCT diagrammen zijn een transformatiediagrammen  
Een PTAT diagram is een stuctuurdiagram (van niet-evenwichtsstructuren)



Dit diagram wordt vrijwel niet meer gebruikt

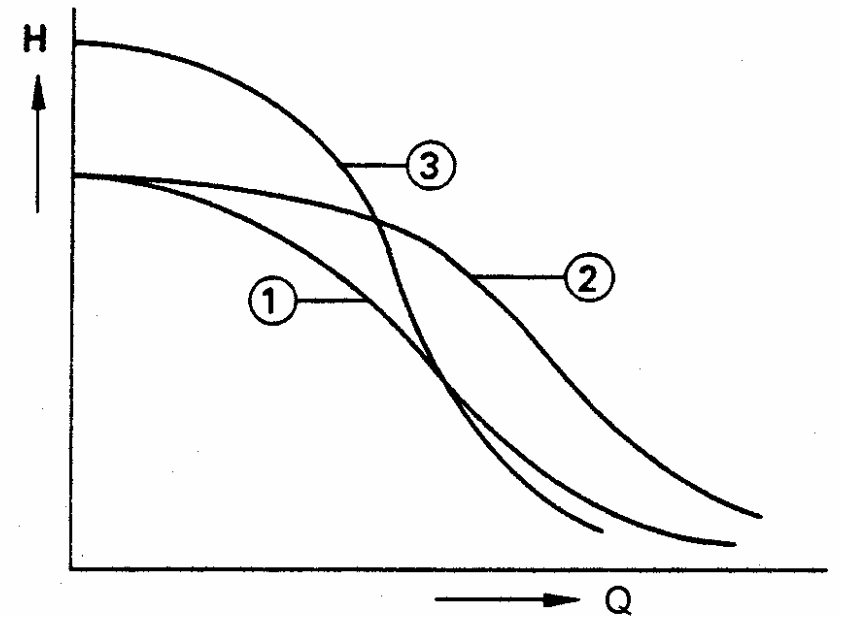


## Doorharding en doorhardingsdiepte

C bepaalt de initiële hoogte van de hardheid

De legeringselementen (Mn, Cr, Ni, Mo...) bepalen de doorharding

- 1 = ongelegeerd staal met bijvoorbeeld 0,14% C
- 2 = gelegeerd staal met eveneens 0,14 % C
- 3 = ongelegeerd staal met bijv. 0,22% C



Er geldt als **vuistregel** dat hardheden boven 350 HV30 aanleiding kunnen geven tot koudscheuren. **(Is dus geen wet!!)**

# Het koolstofequivalent

Met het koolstofequivalent wordt met een getal de invloed van C en (de) legeringselementen beschreven op de structuurvorming in **constructiestaal**:  
hardheid en doorharding

Het is een empirisch getal

Examples of carbon equivalent formulae

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

IIW  
(Ref. 26)

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Mo}{10} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{10} + \frac{Cu}{40}$$

Stout  
(Ref. 18)

$$Pcm = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{V}{10} + \frac{Cu}{20} + \frac{Si}{30} + 5B$$

Ito, Bessyo  
(Ref. 22)

$$CE = C + \frac{Si + Mn + Cu + Cr + Ni + Mo + V}{20}$$

Bersch & Koch  
(Ref. 27)

$$CEN = C + A(c) \cdot \left\{ \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Cu}{15} + \frac{Nb}{5} + 5B \right\}$$

Yurioka et al  
(Ref. 28)

$$A(c) = 0.75 + 0.25 \tanh [20(C - 0.12)]$$

$$CE_t = C + \frac{0.3}{1 - 0.5 \log t} \left( \frac{Si}{11} + \frac{Mn}{8} + \frac{Cu}{9} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{17} + \frac{Mo}{6} + \frac{V}{5} \right)$$

Lorenz & Duren  
(Ref. 29)

In de afgelopen jaren zijn zeer veel koolstofequivalenten gemaakt. Dit is slechts een beperkte selectie. Ze zijn niet allemaal voor dezelfde staalsoorten.

Thans zijn genormd in EN 1011:

**CE**  
**CET**

In AWS D1.1: 2000

**Pcm**

$$\text{CEV} = \text{C} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cu} + \text{Ni}}{15} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5}$$

IIW-1967 / Dearden en O'Neill

Het koolstofequivalent CE (=CEV) is geldig voor staalsoorten met de volgende samenstellingsgrenzen:

C	0,05 - 0,25
Mn	max. 1,7
Si	max. 0,8
Cr	max. 0,9
Cu	max. 1,0
Mo	max. 0,75
Ni	max. 2.5
V	max. 0,20

LET OP

**CE of CEV**

NB: in de norm EN 10025-2: 2004 is sprake van CEV, in oudere normen is het CE.

In de dictaten en deze presentatie wordt meestal CE gebruikt

**De waarde voor CEV moet liggen tussen 0,3 en 0,7**

Als alle waarden behalve C en Mn gelijk zijn aan 0, dan dient CEV verhoogt te worden met de waarde 0,03

Er geldt als **vuistregel** dat als  $\text{CEV} > 0.45$  de kans op koudscheuren groot wordt. (de hardheid kan dan hoger worden dan 350 HV30).

## Calculation of CE

CE (method A)

CET (method B)

Pcm (Ito and Bessyo)

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Composition of material

C	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Cu
0,05	0	0	0	0	0	0
0,25	1,7	0,9	0,75	0,2	2,5	1,0
<b>0.16</b>	1.5	0.1	0.05	0	0.05	0.2

**CE** **0,46**

The carbon equivalent CE is valid for steels within the following range of composition:

C	0,05 - 0,25
Mn	1,7 max
Si	0,8 max
Cr	0,9 max
Cu	1,0 max
Mo	0,75 max
Ni	2,5 max
V	0,20 max

The value of CE has to be within the range 0,3 to 0,7.

If all values except C and Mn are zero, a value of 0,03 is added to the carbon equivalent CE

**Berekening geldig voor  
onlegeleerde -, laaglegeerde – en fijnkorrelstaalsoorten**

# Calculation of CET

CE (method A)

**CET (method B)**

Pcm (Ito and Bessyo)

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$$

Composition of material

C	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu
0,05	0,5	0	0	0	0
0,32	1,9	1,5	0,75	2,5	0,7
<b>0,15</b>	1,4	0,4	0,2	0,2	0,3

**CET** **0,35**

The carbon equivalent CET is valid for steels within the following range of composition:

C	0,05 - 0,32
Mn	0,5 - 1,9
Si	0,8 max
Cr	1,5 max
Cu	0,7 max
Mo	0,75 max
Nb	0,06 max
Ni	2,5 max
Ti	0,12 max
V	0,18 max
B	0,005 max

The value of CET has to be in the range 0,2 to 0,5

**Berekening geldig voor ongelegeerde, fijnkorrelige en laaggelegeerde staalsoorten uit de groepen 1 t.m. 4 volgens CR ISO 15608**

## Groep Staaltipe EN-ISO 15608

1. Staal met een minimal gespecificeerde rekgrens  $ReH \geq 460 \text{ N/mm}^2$  en een gelimiteerde analyse
2. Thermomechanisch behandeld fijnkorrel staal en gietstaal met een gespecificeerde minimale rekgrens van  $ReH > 360 \text{ N/mm}^2$
3. Afgeschrikt en ontlaten staal en precipitatiehardend staal (behalve roestvast staal) met een minimale rekgrens van  $ReH > 360 \text{ N/mm}^2$
4. Laag vanadium gelegeerd Cr-Mo-(Ni) staal met  $Mo \leq 0,7 \%$  en  $V \leq 0,1 \%$
5. Cr-Mo staal vrij van vanadium met  $C \leq 0,35 \%$
6. Hoog vanadium gelegeerd Cr-Mo-(Ni) staal
7. Ferritisch, martensitisch of precipitatie hardend roestvast staal met  $C \leq 0,35 \%$  en  $10,5 \% \leq Cr \leq 30\%$
8. Austenitisch staal
9. Nikkel gelegeerd staal met  $Ni \leq 10,0 \%$
10. Austenitisch ferritisch roestvast staal (duplex)
11. Staal gedekt in groep 1 behalve  $0,25 \% < C \leq 0,5 \%$

## Calculation of P<sub>cm</sub>

CE (method A)

CET (method B)

**P<sub>cm</sub> (Ito and Bessyo)**

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

Composition of material

C	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Cu	Si	B
0,15	1,4	0,2	0,01	0	0,2	0,4	0,3	0

The carbon equivalent P<sub>CM</sub> is valid for steels within the following range of composition (weight %):

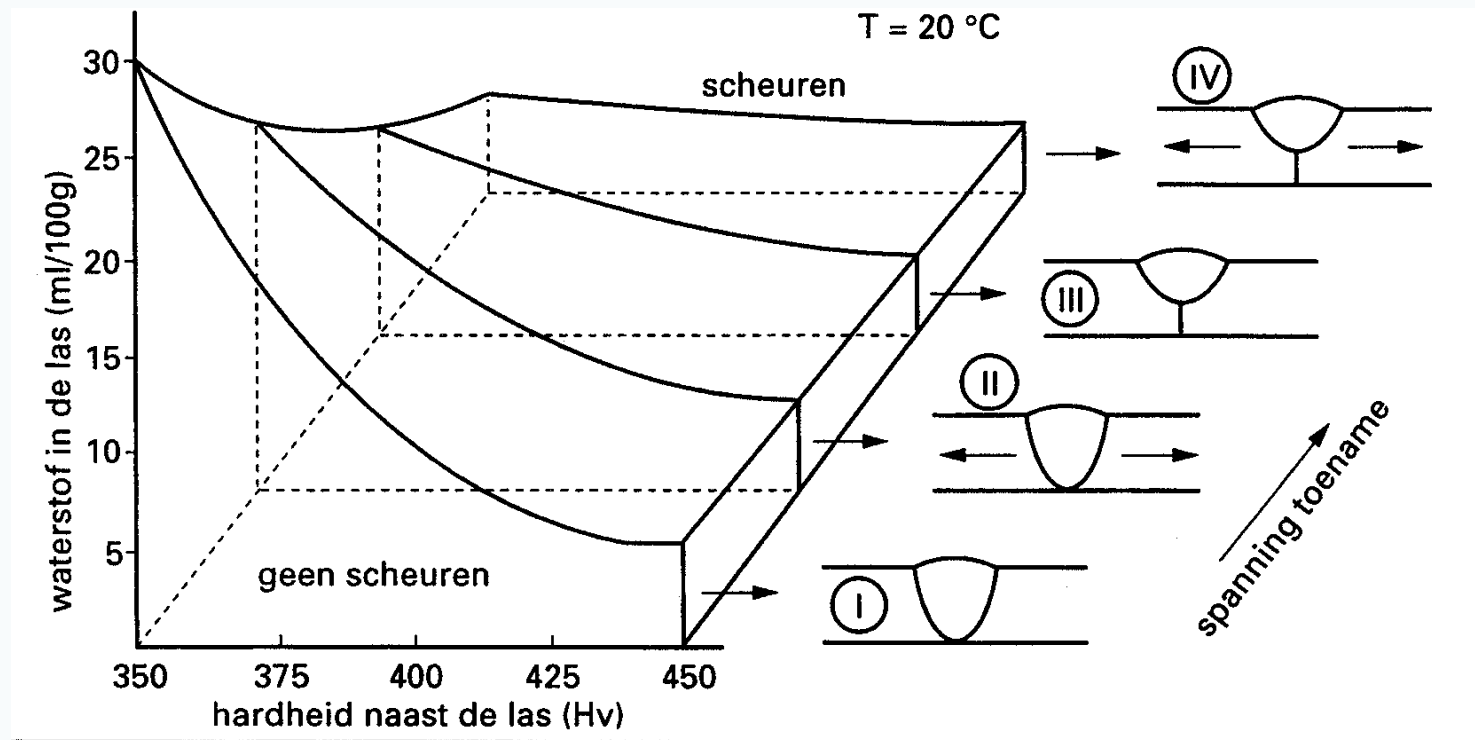
C	0,07 - 0,22
Mn	0,4 - 1,4
Si	0,6 max
Cr	1,2 max
Cu	0,5 max
Mo	0,7 max
Ni	1,2 max
V	0,12 max
B	0,005 max

**P<sub>cm</sub>** 0,26



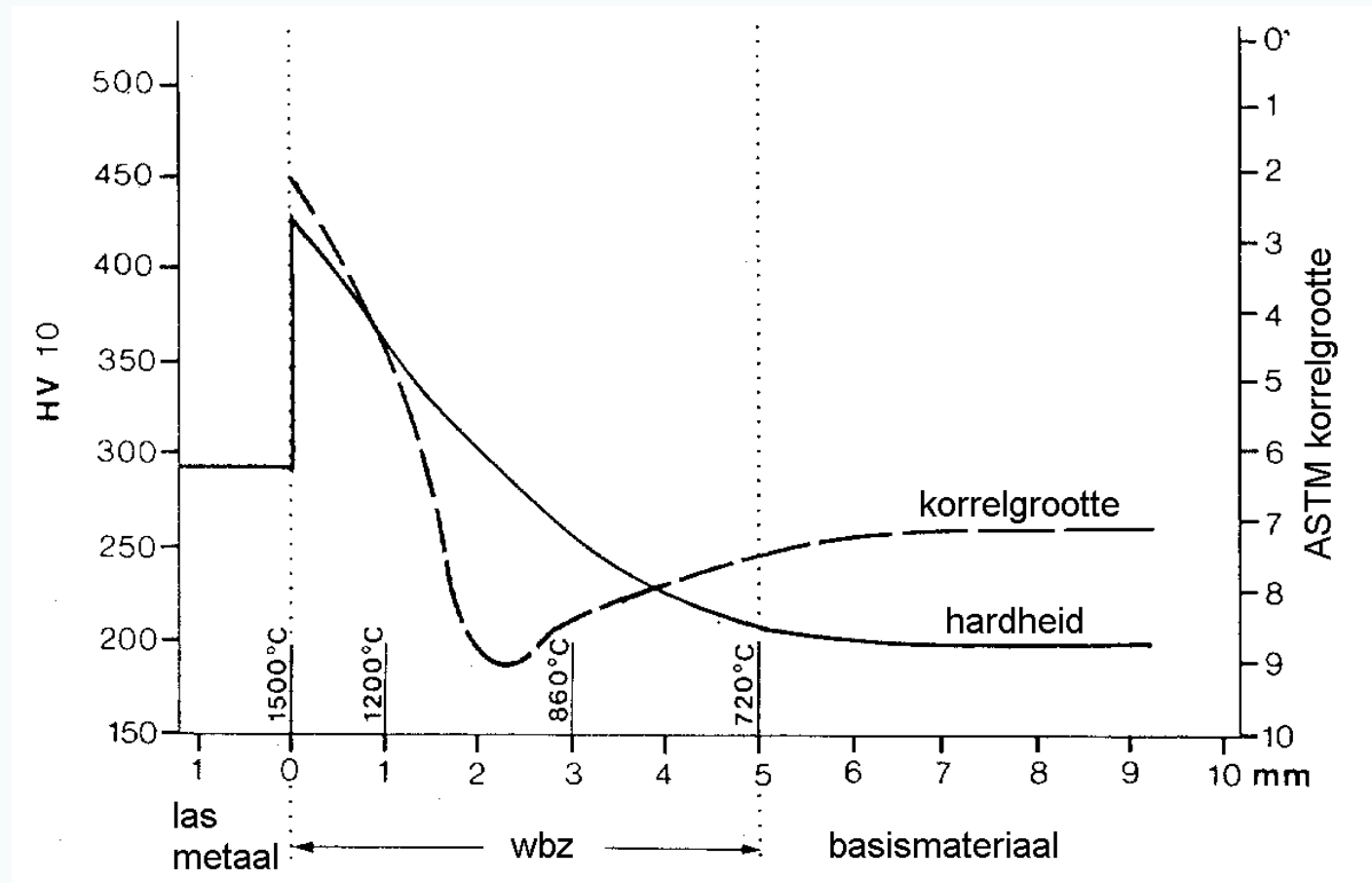
# Mogelijkheden om koudscheuren te voorkomen

- Verlagen  $H_2$  → goedkope oplossing, zonder nadelen
- Verhogen  $Q$  ( $t_8/5$ ) → goedkoopste oplossing -- mits mogelijk
  - ❖ Nadeel: verlaging kerftaaiheid in de WBZ
  - ❖ Voordeel: kortere lastijd, minder lagen, waardoor ook minder restspanningen
- Voorwarmen → dure oplossing
  - ❖ Voordeel: efficiënte diffusie van waterstof  
lagere restspanningen  
minder kans op “brosse” structuren
- Gebruik van austenitische of nikkel-gelegeerde elektroden
  - ❖ Alleen in speciale gevallen (bijvoorbeeld als de voorwarmtemperatuur te hoog wordt)
  - ❖ Maakt voorwarmen niet altijd overbodig



- I. Goede las, kan vrij krimpen
- II. Goede las, met krimpverhindering
- III. Onvolkomen doorlassing, kan vrij krimpen
- IV. Onvolkomen doorlassing, met krimpverhindering

Koudscheurvorming als functie van de drie factoren:  
 Waterstof – structuur (hardheid, CE) – en spanning (restraint)

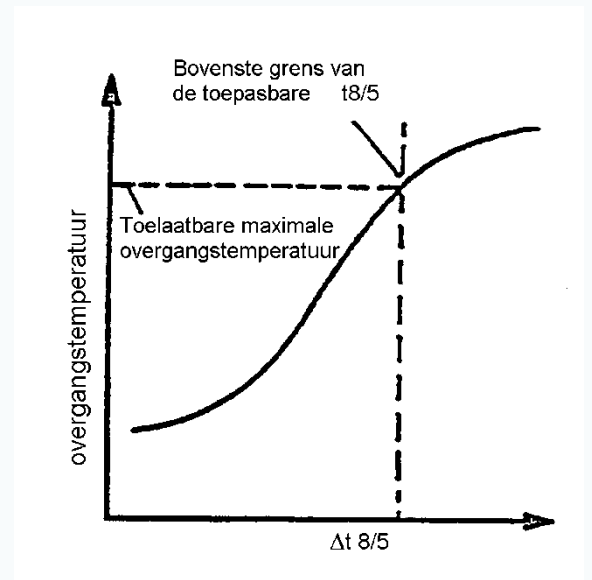
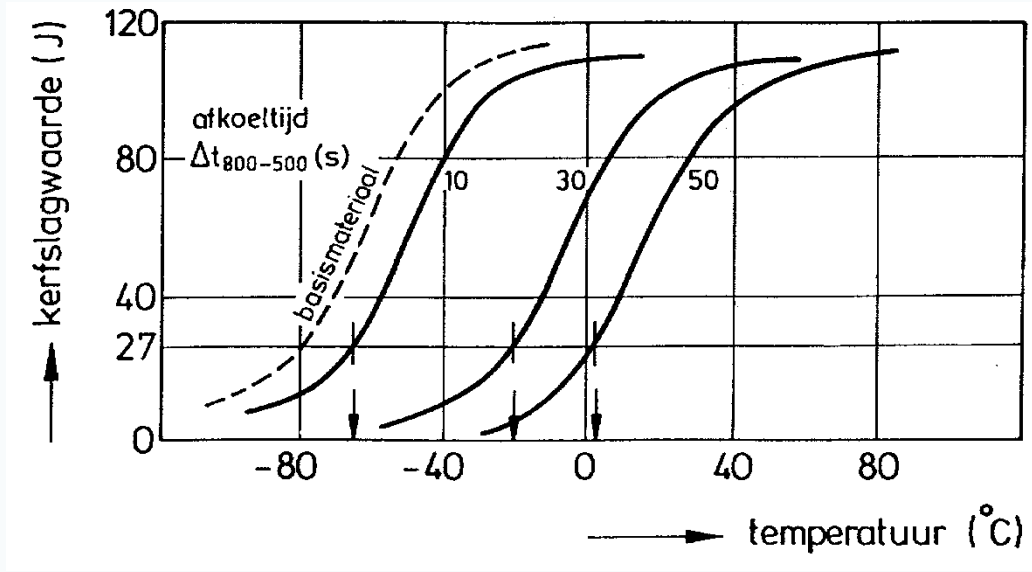
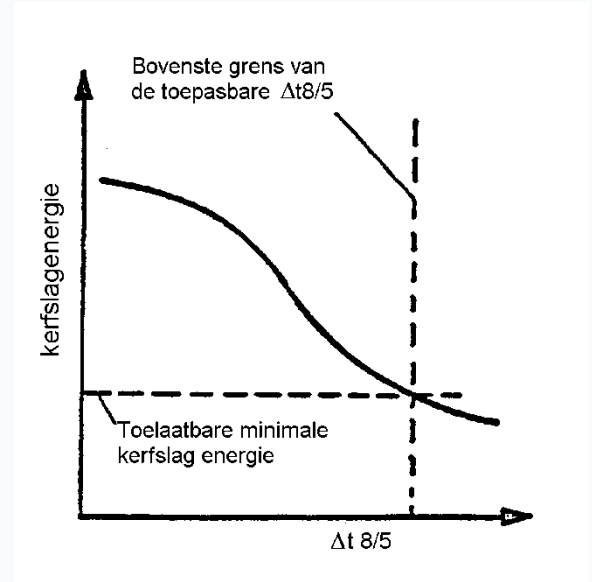


Voor normaalgegløeid staal, zoals S355N (EN 10025-3), geldt:  
 De hardheid in de wbz is bij de smeltlijn het hoogst: daar zit dus het zwakste punt.

**Geldt dit ook voor S355Q (volgens EN 10025-6)?**

# Hogere Q = hogere t8/5

- + economisch(er)
- + minder kans te hoge hardheid
- + minder restraint (want minder snoeren)
- meer korrelgroei
- verhoging van de overgangstemperatuur
- kans op warmscheuren
- minder uitgloeien van voorgaande snoeren



## Hogere $T_0$

- + Meer tijd voor waterstofdiffusie (zeer belangrijk, vooral bij grotere plaatdiktes)
- + Lagere afkoelsnelheden
- + Minder restraint
- kostbaar (tijd en energie)

Voor het voorkomen van koudscheuren / waterstofscheuren komt daar nog bij:

## Verlagen waterstofgehalte toevoegmateriaal

- + zeer effectief tegen –naar verhouding– lage extra kosten
- maakt voorwarmen niet altijd overbodig → hangt van de andere factoren af

## Bepaling voorwarmtemperatuur \*EN-1011

Methode CE voor ongelegeerd en laaggelegeerd staal en fijnkorrelstaal

- Stap 1 Bepaal het  $H_D$  van het toevoegmateriaal (A t/m E)  
(bron: leverancier, moet vermeld zijn op de verpakking en voor basische elektrodes ook op de elektrode zelf)
- Stap 2 Bepaal CEV (= CE)
- Stap 3 Bepaal de gecombineerde dikte
- Stap 4 Bepaal de warmte-inbreng

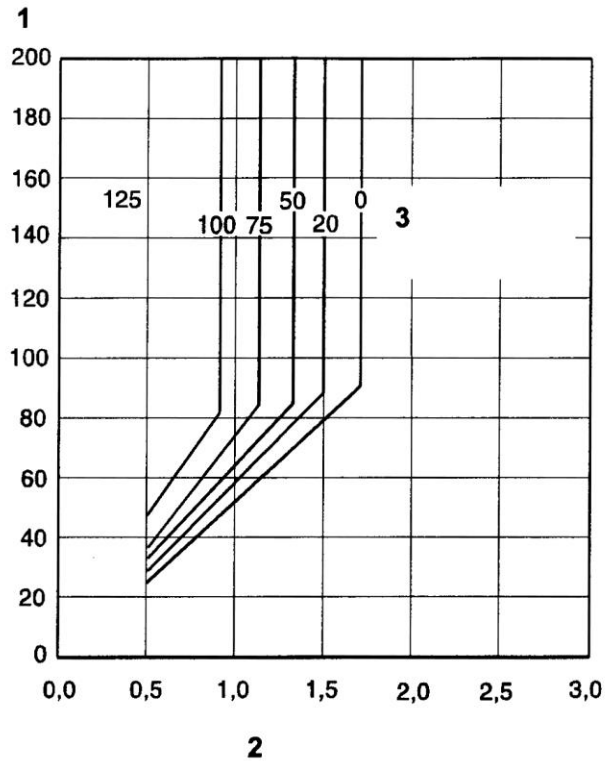
Kies de grafiek waar de combinatie  $H_D$  en CE in de erbij gevoegde tabel boven elkaar staan.

Als ze niet boven elkaar staan verhoog dan CE tot deze waarden wel boven elkaar staan.

*Voorbeeld de combinatie B – 0,46 bestaat niet → kies dan B – 0,47*

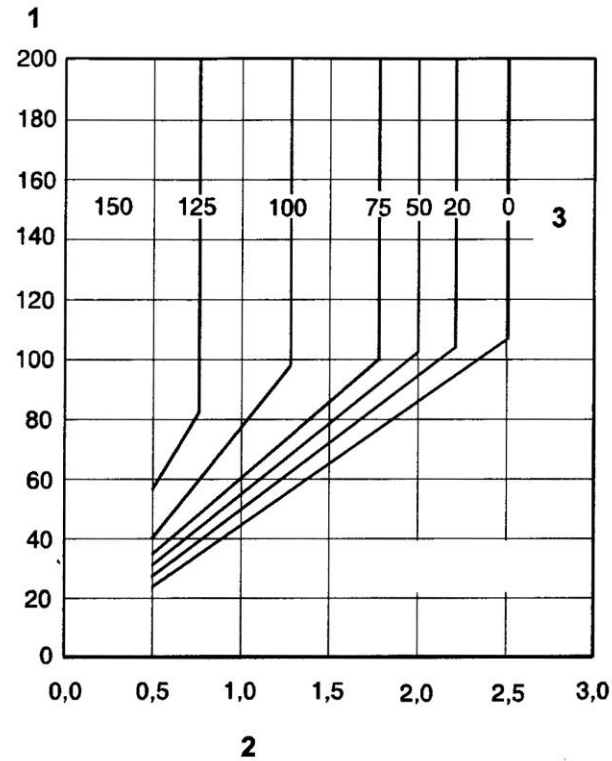
In de gevonden grafiek kan de voorwarmtemperatuur worden afgelezen (dikte als functie van de warmte-inbreng)

## Twee van de 13 grafieken voor de bepaling van de voorwarmtemperatuur



<b>4</b>	A	B	C	D	E
	0,38	0,41	0,43	0,48	0,50
<b>5</b>					

**Figuur C.2 c)**



<b>4</b>	A	B	C	D	E
	0,41	0,43	0,45	0,50	0,52
<b>5</b>					

**Figuur C.2 d)**

**Verklaring**

- 1 Gecombineerde dikte, mm
- 2 Warmte-inbreng, kJ/mm
- 3 Minimale voorwarmtemperatuur, °C

- 4 Waterstofwaarde
- 5 Toepassen voor koolstofequivalent onder

**Figuur C.2 — Voorwaarden voor lassen van staal met gedefinieerd koolstofequivalent**

Het verschil tussen methode A (CE) en methode B (CET) betreffende de bepaling van de voorwarmtemperatuur>

- A** | Bij methode A wordt  $T_0$  bepaald met een grafiek waarin alle gegevens zijn verwerkt.  
Daarvoor moet een keus gemaakt worden uit 13 grafieken.
- B** | Bij methode B wordt mbv een formule of een grafiek de bijdrage van de 4 factoren (waterstof, warmte-inbreng, plaatdikte en CET) apart bepaald en gesommeerd.



## Bepaling van de voorwarmtemperatuur volgens AWS (D1.1)

1. Bereken PCM
2. Bepaal het waterstofgehalte

deze combinatie levert een “gevoeligheidsindex (SI)” (A-G)

3. Bepaal de mate van restraint (laag, middel, hoog)
4. Bepaal de plaatdikte

In de tabel is de geadviseerde minimale voorwarmtemperatuur nu terug te vinden

Deze methode kan ook vervangen worden door een formule.

**susceptibility index:**

$$SI = 12 \times P_{cm} + 10 \log HD$$

Waterstofgehalte $H_D$ (ml/100 g)	$P_{CM}$				
	<0,18	<0,23	<0,28	<0,33	<0,38
$H1 \leq 5$	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
$H2 \leq 10$	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
$H3 \leq 30$	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>

Gevoeligheidsindex A-G voor koudscheuren afhankelijk van  $P_{CM}$  en  $H_D$ .

## AWS formule methode

susceptibility index =  $12 \cdot P_{cm} + 10 \log HD$

Na berekening volgt hier een waarde uit,  
die gekoppeld wordt aan de letters A-G

In de tabel is nu de minimale  
voorwarmtemperatuur terug te vinden

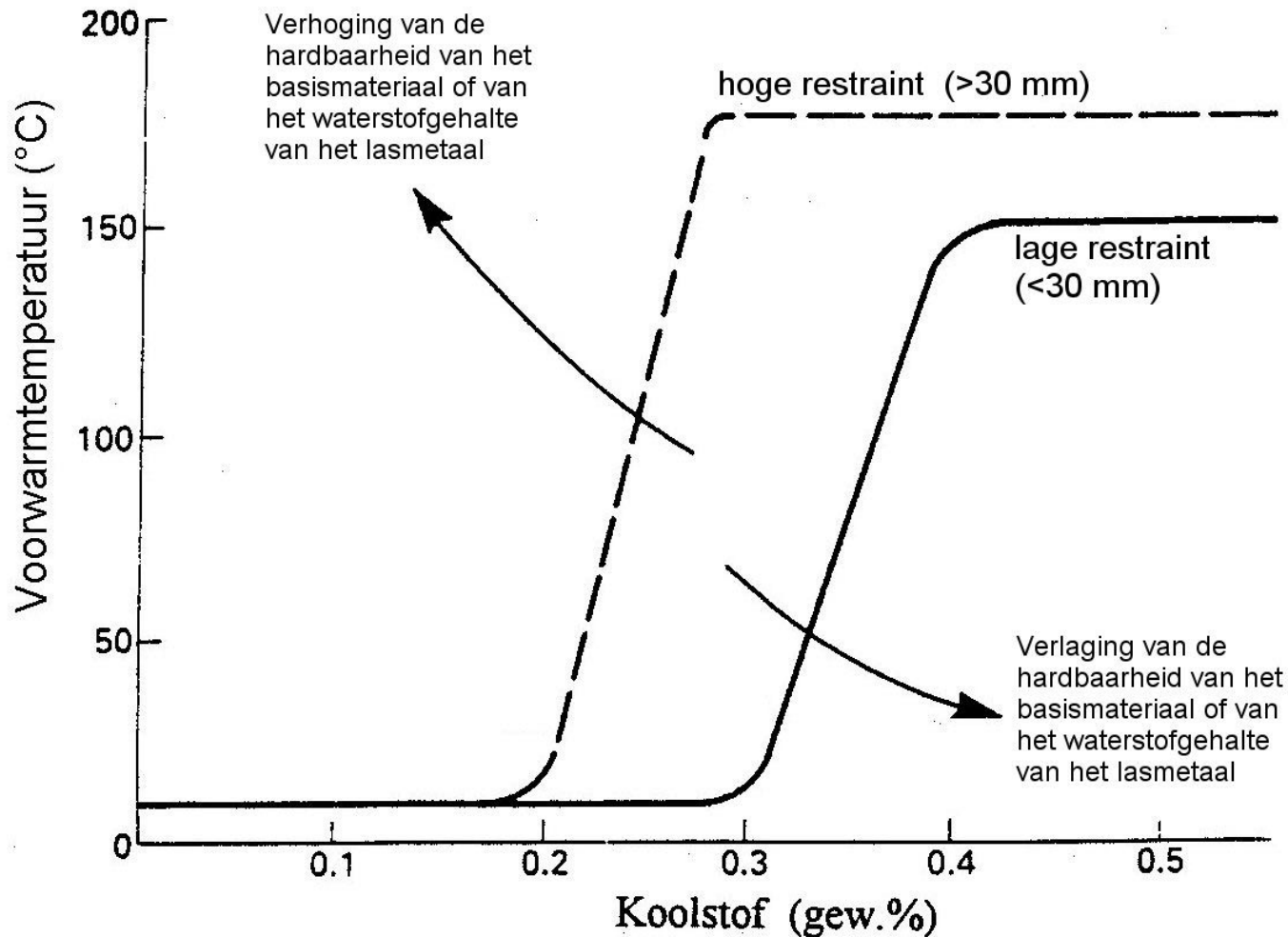
A	< 3
B	3,1-3,5
C	3,6-3,0
D	4,1-4,5
E	4,6-5,0
F	5,1-5,5
G	5,6-7,0

Mate van vervormingsverhindering c.q. vervormingsvrijheid bij het lassen	Plaat dikte	Geadviseerde voorwarmtemperatuur bij gegeven gevoeligheidsindex Temperatuur in °C						
	mm	A	B	C	D	E	F	G
<b>Lage restraint</b>	< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	60	140	150
Gebruikelijke hoeklassen en stompe lassen welke een redelijke mate van vervormingsvrijheid hebben	10-20	< 20	< 20	20	60	100	140	150
	20-40	< 20	< 20	20	80	110	140	150
	40-75	20	20	40	95	120	140	150
	>75	20	20	40	95	120	140	150
<b>Middelmatige restraint</b>	< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	70	140	160
Hoeklassen en stompe lassen waarbij een verminderde vervormingsvrijheid bestaat doordat er al verstijvingen zijn aangebracht	10-20	< 20	< 20	20	80	115	145	160
	20-40	< 20	20	75	110	140	150	160
	40-75	20	80	110	130	150	150	160
	>75	95	120	140	150	160	160	160
<b>Hoge restraint</b>	< 10	< 20	< 20	< 20	40	110	160	160
Lassen waarbij er vrijwel geen vervormingsvrijheid meer bestaat, zoals bijvoorbeeld bij reparatielassen, met name in dik materiaal	10-20	< 20	20	70	105	140	160	160
	20-40	20	85	115	140	150	160	160
	40-75	115	130	150	150	160	160	160
	>75	115	130	150	150	160	160	160

Geadviseerde voorwarmtemperatuur afhankelijk van de gevoeligheidsindex voor koudscheuren, de mate van restraint en de plaatdikte volgens AWS D 1.1.

## Relatie tussen

- voorwarmen,
- koolstofequivalent (hardbaarheid)
- waterstofgehalte.



## Koudscheurproeven

Testen om na te gaan of er met bepaalde lascondities scheuren ontstaan  
zie ook NEN-EN-ISO 17642-1/2/3

### starre inklemming - vaste restraint (eigenbelasting)

- Tekkentest
- Control thermal severity test (CTS)
- Lehigh proef

### regelbare restraint (uitwendige belasting)

- Implant test
- Rigid Restraint Cracking test (RRC)

**NEN-EN-ISO 17642-2:2005 en**



Pagina's: 22  
Prijs: € 64.31 <sup>^</sup>

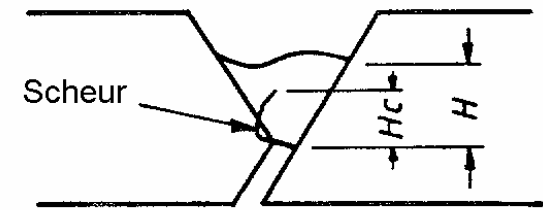
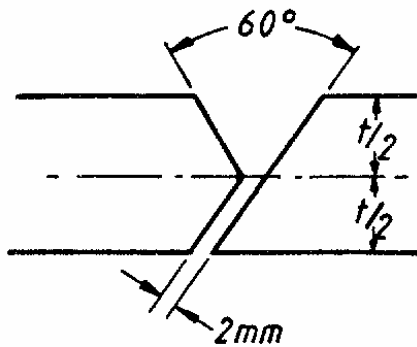
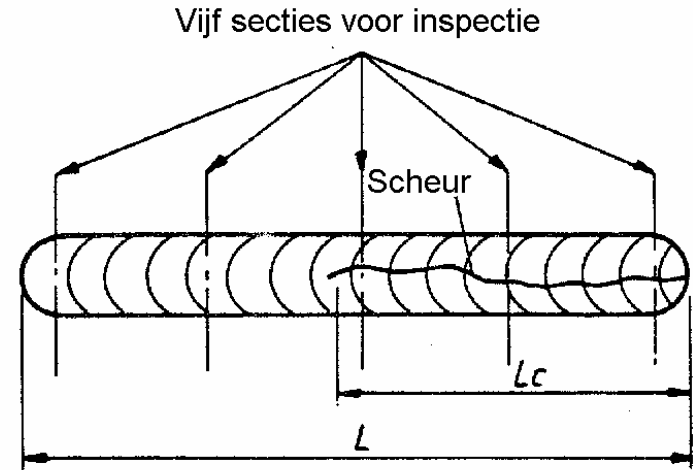
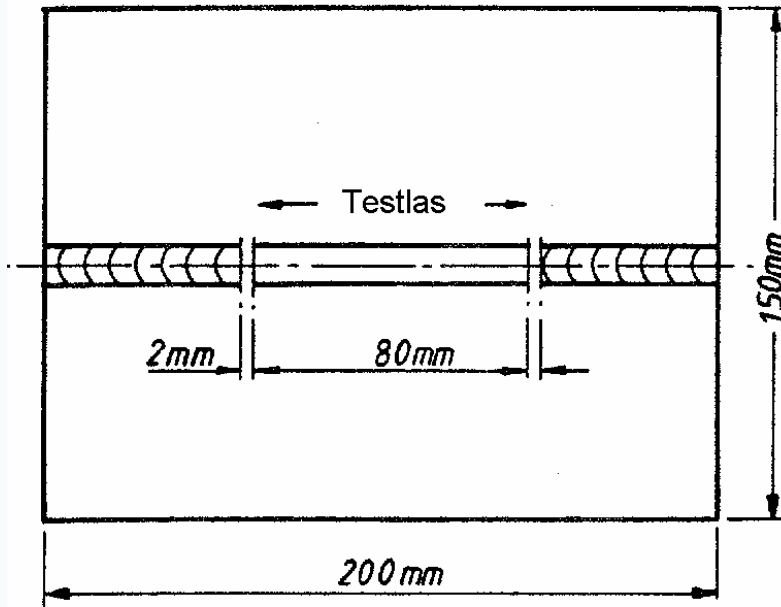
**Titel:**  
Destructieve beproevingen van lassen in metalen -  
Beproevingen op koudscheuren in lassen -  
Booglasprocessen - Deel 2: Beproevingen bij  
eigenbelasting

[BESTELLEN / DOWNLOAD](#)

**Omschrijving:**  
This standard specifies the sizes of the test pieces, the specimens and the procedures for carrying out self-restraint cold cracking tests by: - CTS (Controlled Thermal Severity)-test - Tekken (Y-groove) or Lehigh (U-groove) test in order to obtain information about the cold cracking sensitivity during welding. This standard applies primarily but not exclusively to C-Mn and low alloy steels.

**Doelgroep:**  
Productietechniek

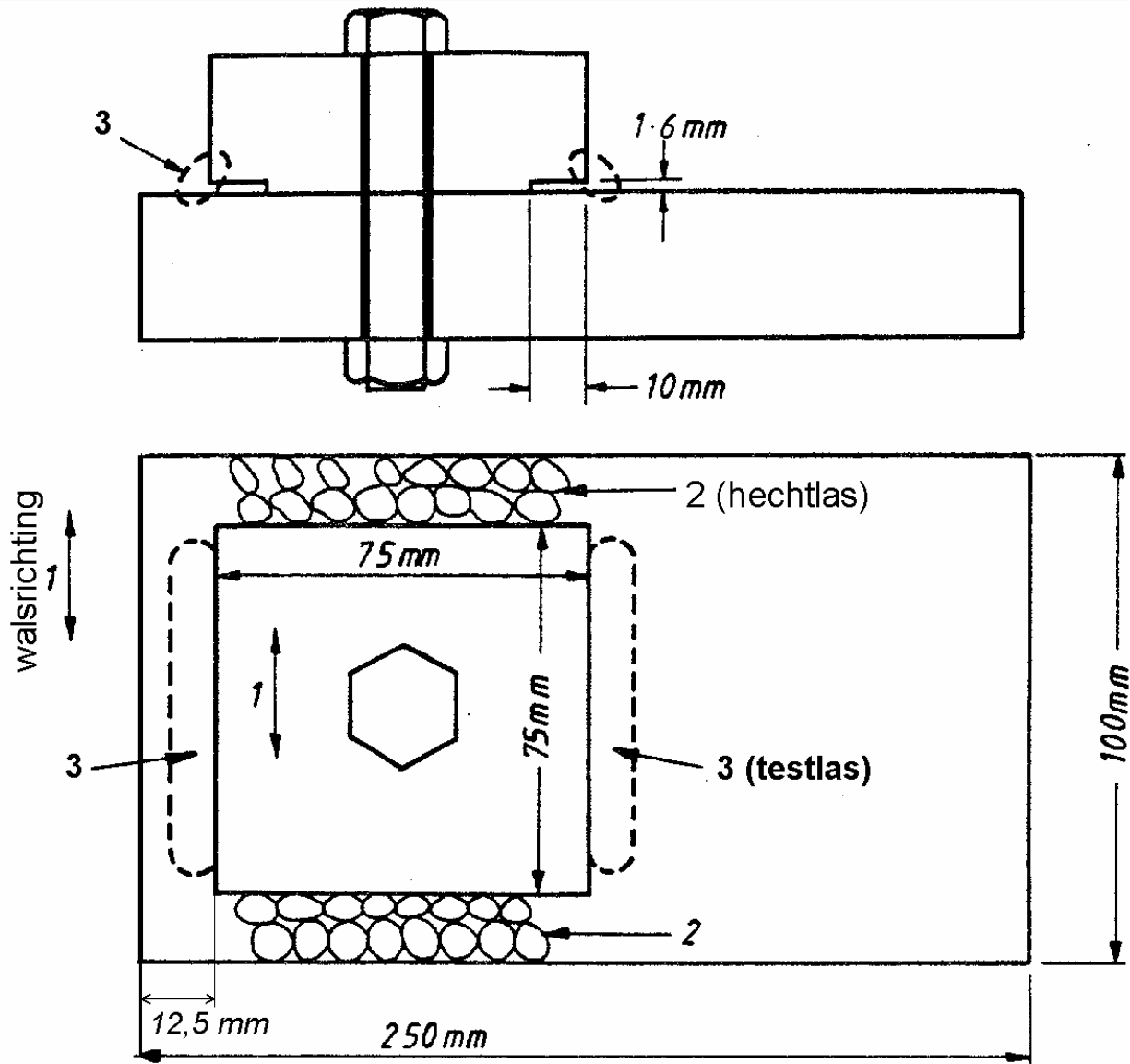
**Trefwoorden:**  
Lassen, Destructief onderzoek, Metalen, Productietechniek, Lassen, Lasverbindingen ,



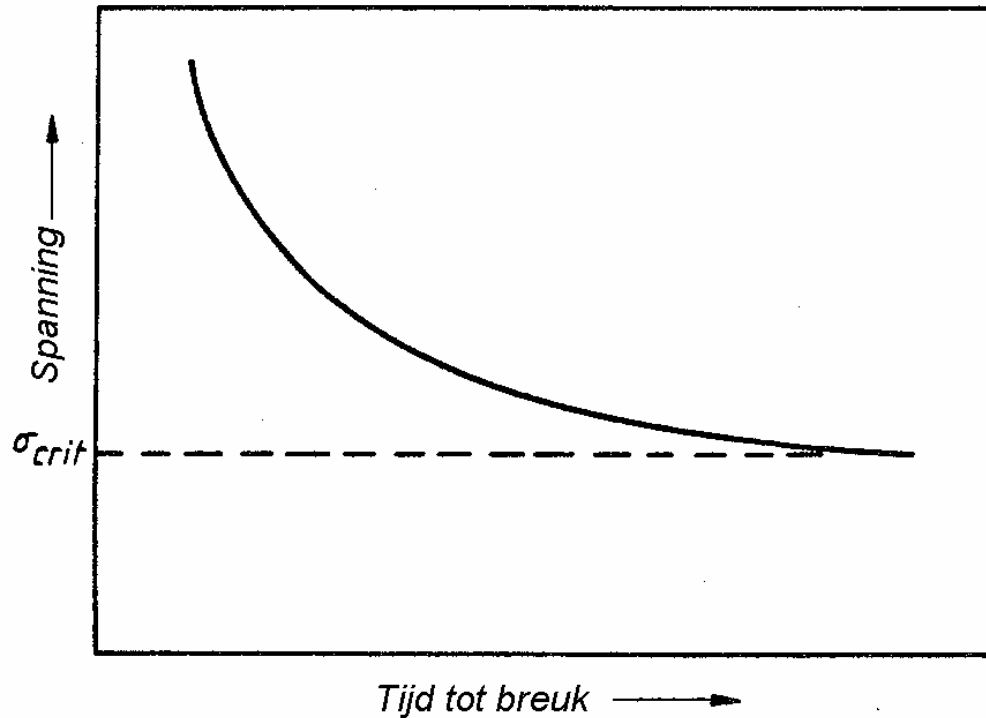
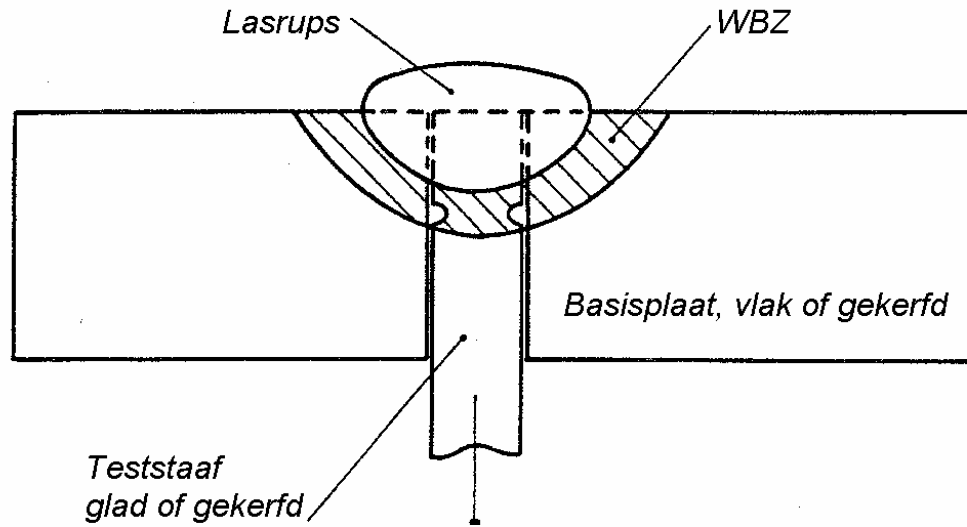
## JIS Y-groove test (Tekken test)

Vaste  $H_I \rightarrow$  varieer  $T_0$  en bepaal zo de scheurgevoeligheid.

De mate van restraint kan met de dikte geregeld worden.



## (Modified) Control Thermal Severity test



## Implant test

Een (meestal) gekerfde staaf wordt in een gat geplaatst waarna een las wordt gelegd.

Na afkoeling wordt een gewicht aangebracht en de tijd tot breuk vastgelegd.

(Zie ook DIN 50120-122 en DVS-Guidelines 1001 en 1006)

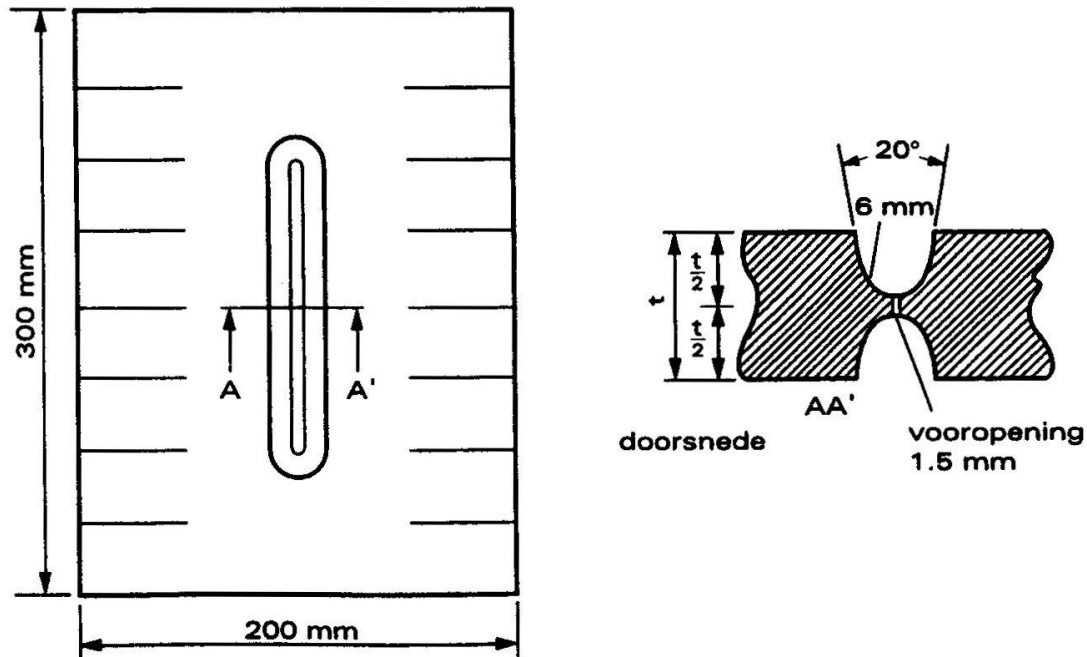


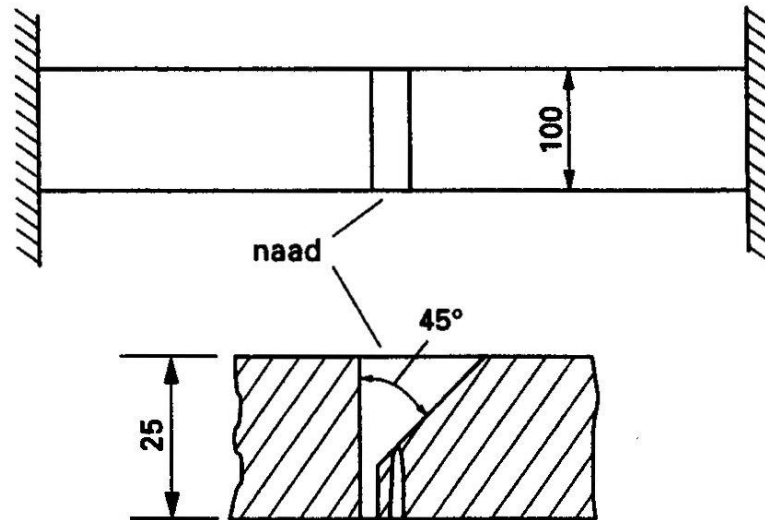
## Lehigh proef

Dit kan beschouwd worden als een variant van de Tekkentest.

De diepte van de sleuf bepaalt de mate van restraint.

Ook  $T_0$  kan een variabele in deze proef zijn.





## Rigid Restraint Cracking test (RRC)

In feite een star opgespannen Y-groove test  
 Hiermee wordt een z.g restraint factor bepaald

$$K = \frac{Ed}{l}$$