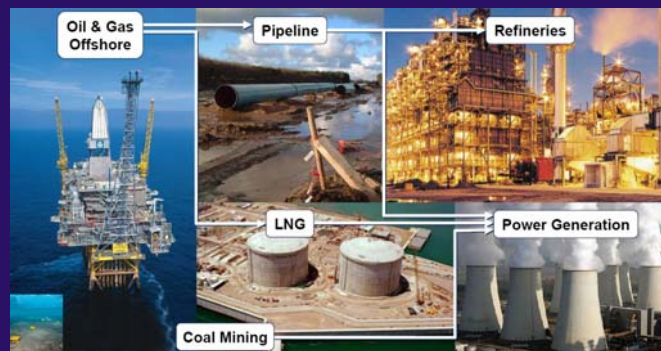


Lasgroep Zuid Limburg

Metaalkunde in de Lastechniek



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

40 % van de grote ongelukken wordt veroorzaakt door :

Slechte Fabricage en Ontwerp

Gebrek aan Kennis

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Voorbeelden slechte fabricage

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Lasmetaal

Lasmetaal te bros waardoor instorten gebouwen bij aardbeving.

Eind 1994 elektrode in de ban in USA.

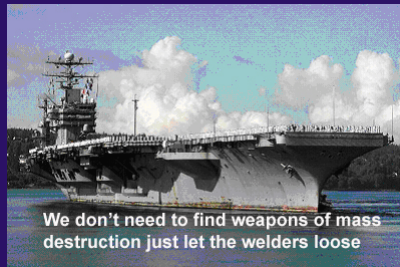


Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

USS Nimitz, 1 van de 100 lassen komt door inspectie.

USS Abraham Lincoln, the team found that only 2 out of approximately 100 welds passed their inspection



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



SS Jeremiah O'Brien

Scheuren door slechte procedures
en onervaren lassers

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Scooters

Gebrek lastechniek en daardoor scheuren overgang stuur – frame.

261 Incidenten geweest waarvan 16 ongelukken met gebroken armen enz.

246.000 stuks terug naar fabriek.



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

School Bussen

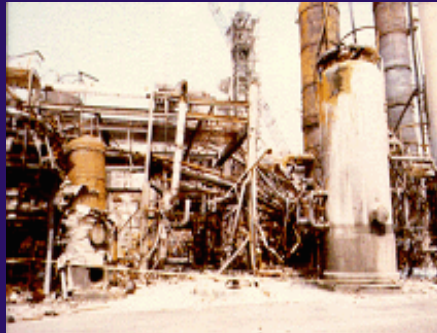


69 van de 300 bussen gescheurde of gebroken lassen.

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Union Oil Amine Absorber Tower 1984 Lemont USA



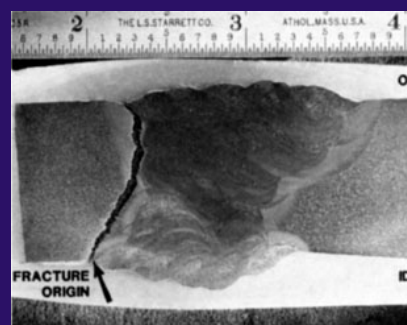
Waterstof uit elektrodebekleding.
(Koudscheuren)

17 Doden en 100 miljoen schade

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Gescheurd Drukvat.



Gelast zonder voorwarmen en zonder PWHT

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

John Thompson drukvat



Brosse breuk tijdens afpersen agv. Koudscheuren en slechte warmtebehandeling.

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Lasbaarheid Portevin

Een metaal is bij een gegeven wijze van lassen en een gegeven toepassing in een gestelde mate lasbaar,

- wanneer met dit metaal, nadat de voorzorgen bepalend voor die gestelde mate zijn getroffen,
- een lasconstructie kan worden verkregen met continu metalliek gelijkwaardige verbindingen die
- zowel door hun eigenschappen alsook door hun ligging in de constructie voldoen aan de eisen die als basis voor de beoordeling zijn overeengekomen".

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Bij lasbaarheid spelen :

Structuurveranderingen tengevolge van de lastemperatuurcyclus:

Reacties van het lasbad met:

- de omgeving, meestal lucht soms water;
- de gasbescherming, actief of inert;
- de gevormde slak uit bekleding, vulling of poeder.

Metallurgische aspecten van het lasbad:

- menging van basis- en toevoegmaterialen;
- vorming van intermetallische verbindingen;
- warscheuren
- verontreinigingen
- koudscheuren
- waterstof + martensiet + krimpspanningen.

Lasbaarheid

• Metallurgische lasbaarheid

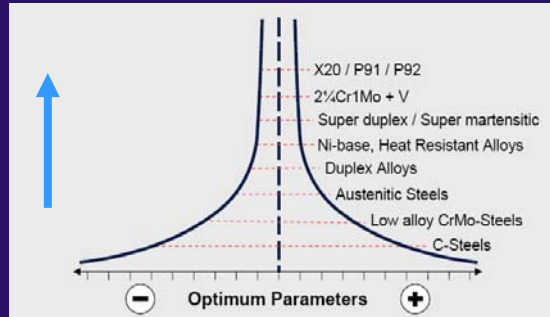
Samenstelling en eigenschappen voor en na het lassen

• Constructieve lasbaarheid

Gewenste sterkte en belastingswijze van de las

• Executieve lasbaarheid

Lasproces en wijze van uitvoering



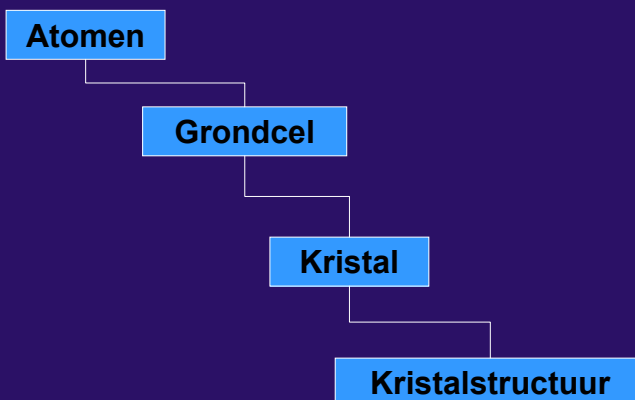
Vrijheid mbt.

Voorwarm temperatuur – Interpass temperatuur- Lasproces -
Lasparameters - Lasvolgorde – PWHT enz. wordt steeds
minder.

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Opbouw metalen

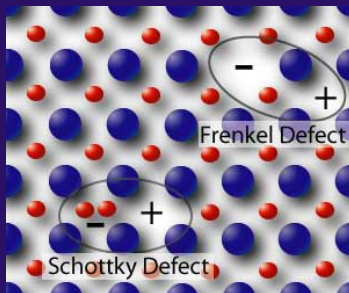


Harry Schrijen

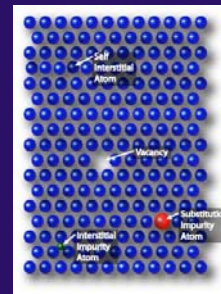
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Roosters

1 cm³ : 10⁶ - 10⁸ cm defecten



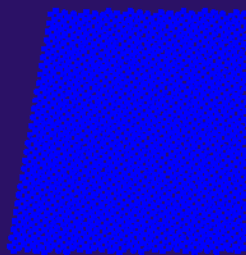
Dislocaties



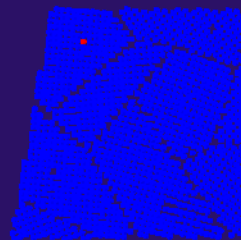
Defecten in kristal

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Perfect



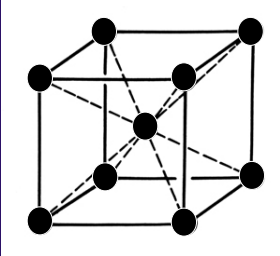
Defecten

Treksterkte = $E / 10$
Afschuifspanning = $G / 10$

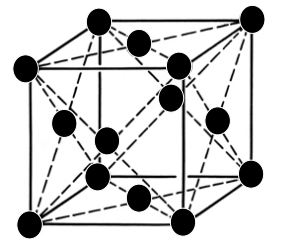
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

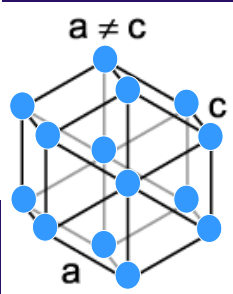
Grondcellen



KRG (Ferriet)
9 Fe-atomen
Kubisch
Ruimtelijk
Gecentreerd



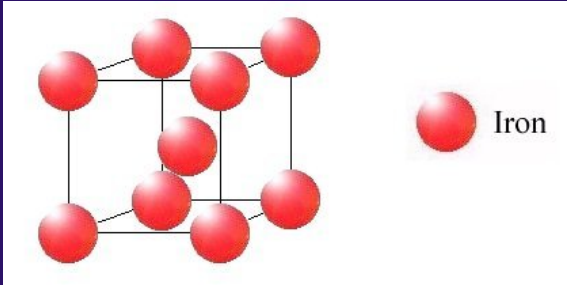
KVG (Austeniet)
14 Fe-atomen
Kubisch
Viakken
Gecentreerd



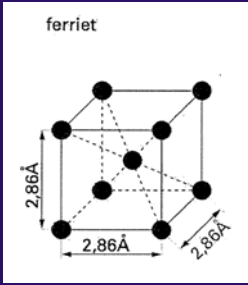
HEX (Titanium)
14 Ti-atomen
Hexagonaal

Harry Schrijen
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

KRG = Kubisch Ruimtelijk Gecenterd Rooster



Iron



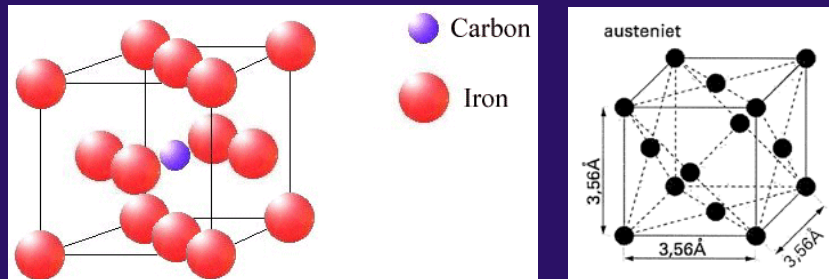
ferriet

W, Co , α -Fe (**Ferriet**) , Cr , Mo

Sterk en Bros

Harry Schrijen
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

KVG = Kubisch Vlakken Gecenterd Rooster



Cu , Ag , Au , Ni , Al , Pb , γ -Fe (**Austeniet**)

Sterk en Taai

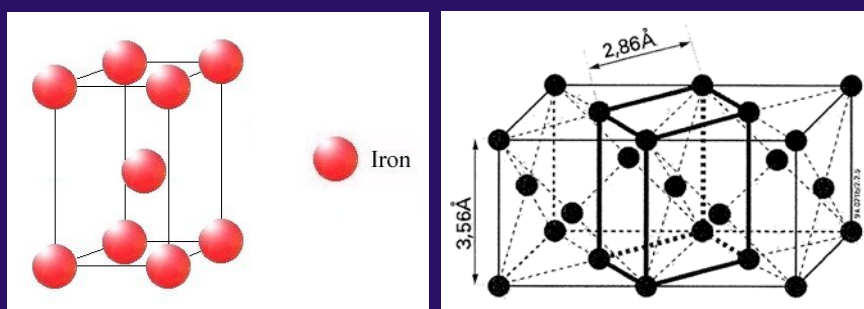
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Martensiet

KRG maar gedeformeerd en onder Spanning door oververzadiging Koolstof

= Ruimtelijk Gecentered Tetragonaal

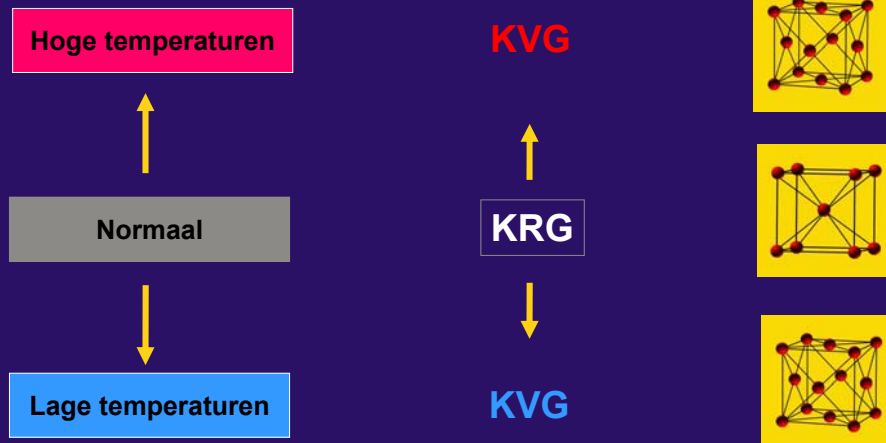


4.3 % uitzetting

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Algemene Toepassing



Harry Schrijen

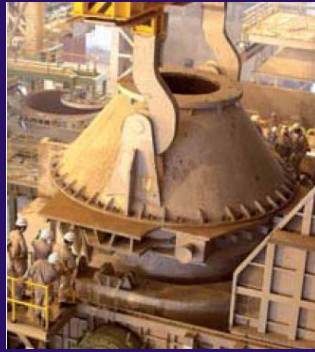
Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

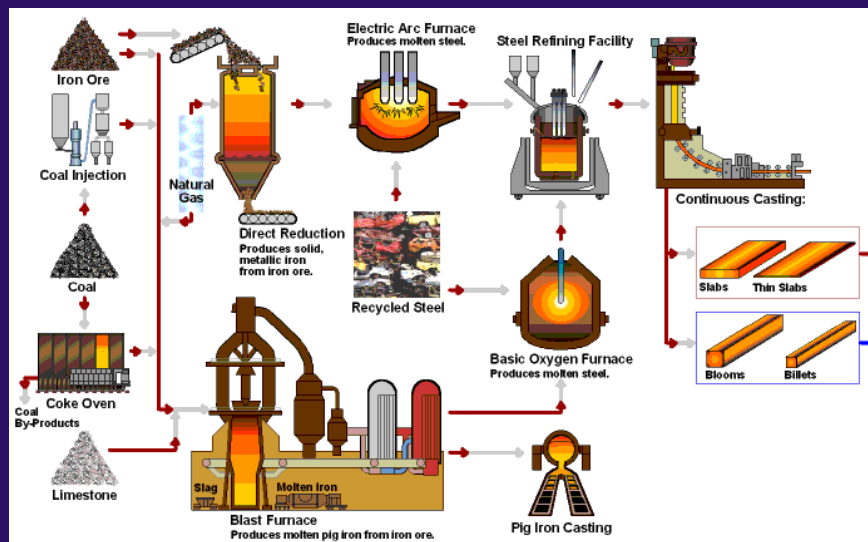
Staal-maken



Harry Schrijen

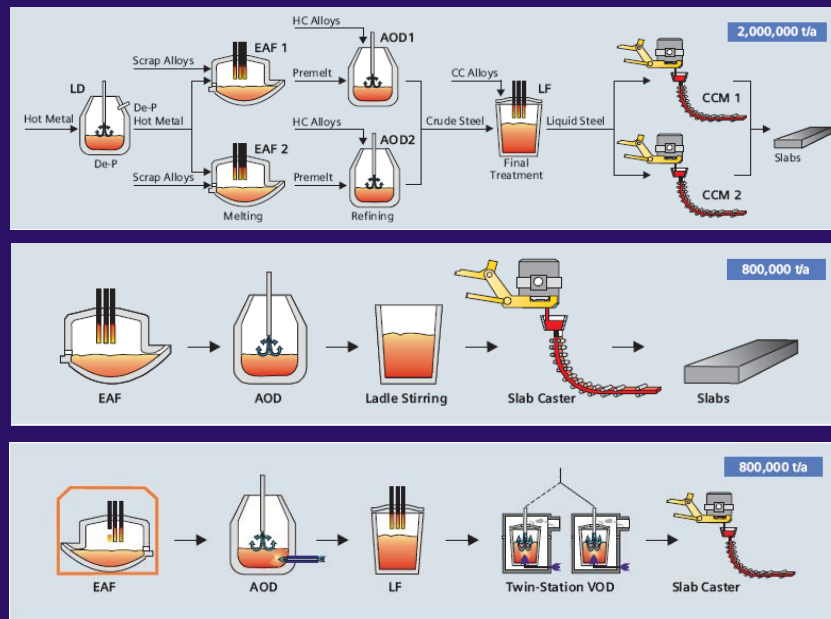
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Staal maken



Harry Schrijen

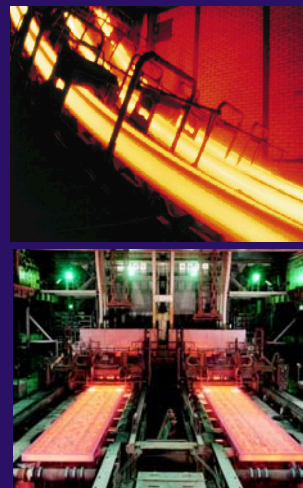
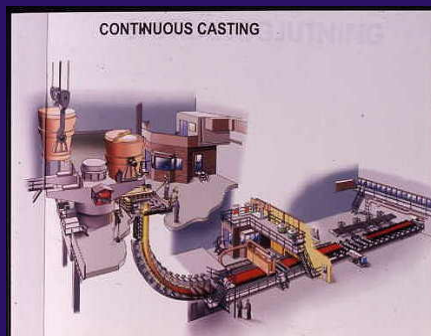
Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Continue Gieten → 80 - 90% van de staal productie



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Centrifugaal Gieten



Vertikaal



Horizontaal

Harry Schrijen

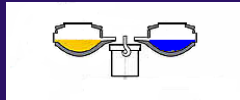
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Materiaalstructuren

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Legeren



Door toevoegen van bepaalde legeringselementen kunnen eigenschappen worden verbeterd en verandert de structuur.

Bijv. treksterkte, rekgrens, corrosiebestendigheid,

De mate van verandering van structuur en eigenschappen hangt af van:

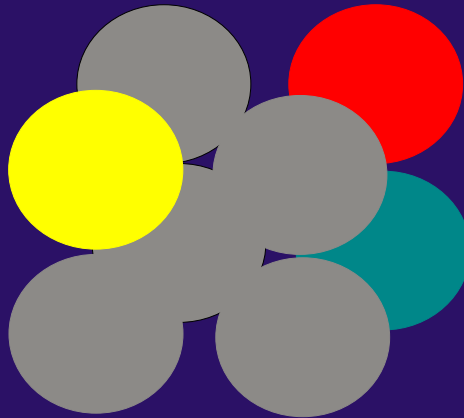
- soort legeringselement,
- hoeveelheid

Vreemde atomen in het rooster

Interstitiele plaatsing = er tussen in

Substitutionele plaatsing = op de plaats van

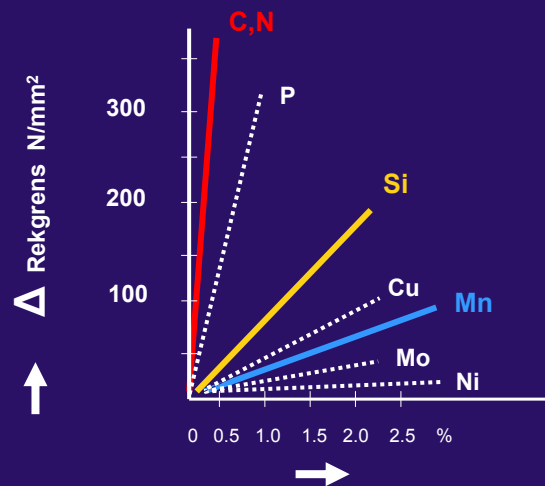
Substitutioneel = Legeren



Cr , Ni , Mo , Si , Mn

Harry Schrijen

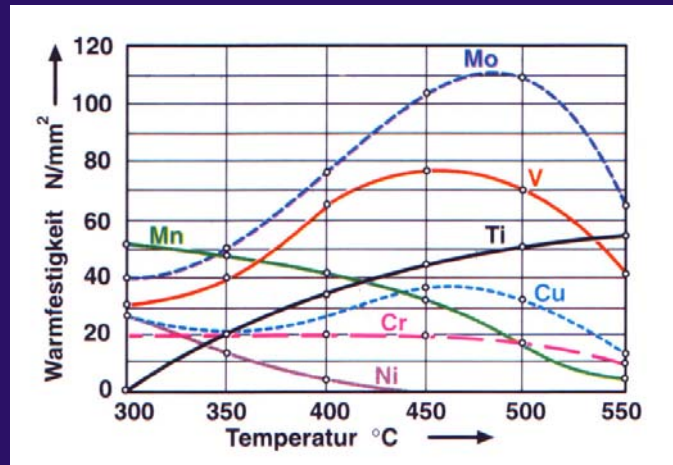
Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Effect Legeringselementen op Sterkte

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Verandering Sterkte als functie van 0,5 % Legeringselementen

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Inloed van legeringselementen op de eigenschappen van het staal

Eigenschappen	Legeringselementen									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
treksterkte	+	+	+	+	(-)	+	+	+	+	+
hardheid	+	+	+	+		+	+	+	+	+
vloeigrens	+	+	+	+		+	+	+	+	+
rek	-	<2%: (-) >2%: -	(-)	-		-	(-)	-	(-)	-
kerfslagtaaiheid	-	-	+	-	-	(-)	+	-	(-)	
koudvervormbaarheid	-	-	(-)	-		-		(+)	-	(-)
dieptrekbaarheid	-	--	(-)	-	(-)	-		(+)	-	(-)
smeedbaarheid	-	-	+		-	(-)		(-)	-	(-)
drukglasbaarheid	-	-	(+)	-	-	-		(+)	(-)	-
smeltglasbaarheid	-	-	+	-	-	-	-	(+)		(-)

(+) onbelangrijke verbetering
 + verbetering van de eigenschap
 ++ aanzienlijke verbetering

(-) onbelangrijke verslechtering
 - verslechtering van de eigenschap
 -- aanzienlijke verslechtering

lege vakjes: geen invloed of niet steeds dezelfde invloed

Invloed van legeringselementen op de eigenschappen van het staal

Eigenschappen	Legeringselementen									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
Rood- en warmbroosheid			--		++			+	(+)	
Hardbaarheid	++	+	+			+	+	(+)	(+)	
Warmvastheid	+ tot 400 °C	+		+	-	+	(+) indirect	+		
Kritische afkoel-snelheid	-	-	-			-	-	(-)		
Corrosie-bestendigheid		+		(+)	-	++	(+) indirect	(+)	(+)	
Afbrandbestendigheid		+				++	(+)			(+)
Koudversteving	+	+	+	+		(+)				
Kruipvastheid	(+) indirect bij veredelen		(+) als bij C			(+) als bij C	(+) als bij C	(+) als bij C		

(+) onbelangrijke verbetering

+ verbetering van de eigenschap

++ aanzienlijke verbetering

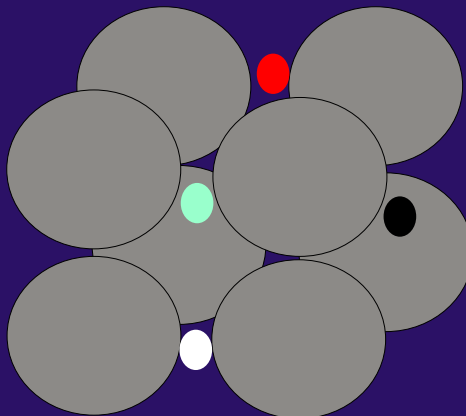
(-) onbelangrijke verslechtering

- verslechtering van de eigenschap

-- aanzienlijke verslechtering

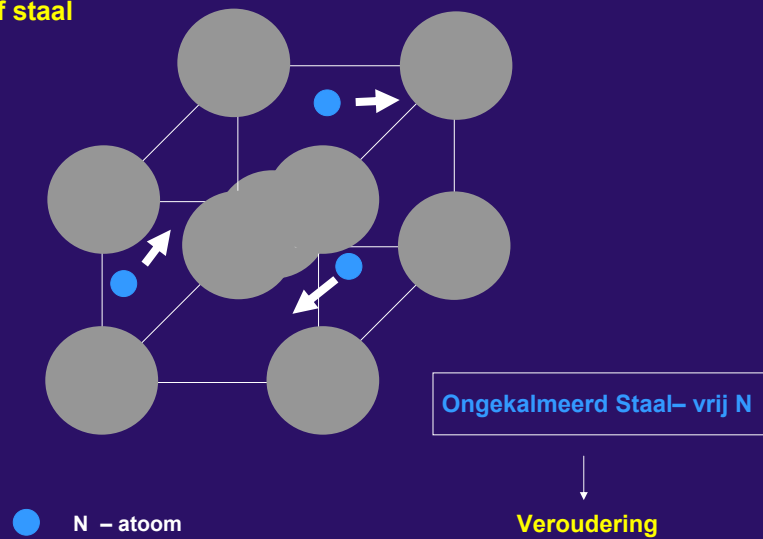
lege vakjes: geen invloed of niet steeds dezelfde invloed

Interstitial = "komt zelden iets goeds van"



C, N, O, H

Koolstof staal



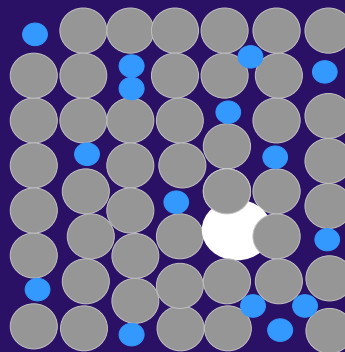
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Dislocaties en atomen "vastgepind"



Resultaat : Verbrossing



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Korrelverfijning

Meest belangrijke mechanisme omdat zowel Sterkte als Taaiheid verbeterd wordt.

Hall-Petch

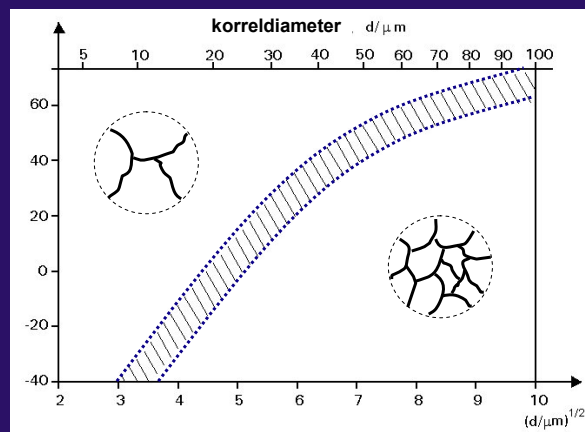
$$\sigma_{\text{ReL}} = \sigma_0 + C \cdot d^{-1/2}$$

minimum rekgrens

korrel diameter

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Invloed korrelgrootte op overgangstemperatuur

Kleine korrel ➡ Lage overgangstemperatuur

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Belangrijkste invloed op eigenschappen

Hardheid	Sterkte	Taatheid	Verspaning
B	C	Ca	Pb
C	Co	Ce	Mn
Cr	Cr	Cr	P
Mn	Cu	Mg	Se
Mo	Mn	Mo	S
P	Mo	Ni	Te
Ti	Ni	Nb	
	Nb	Ta	
	P	V	
	Si	Zr	
	Ta, Ti, V		

Harry Schrijen

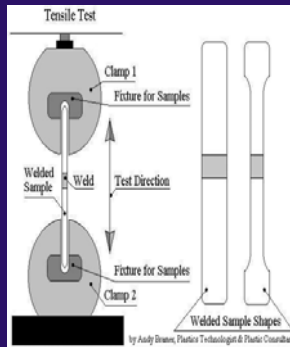
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Mechanische Eigenschappen

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

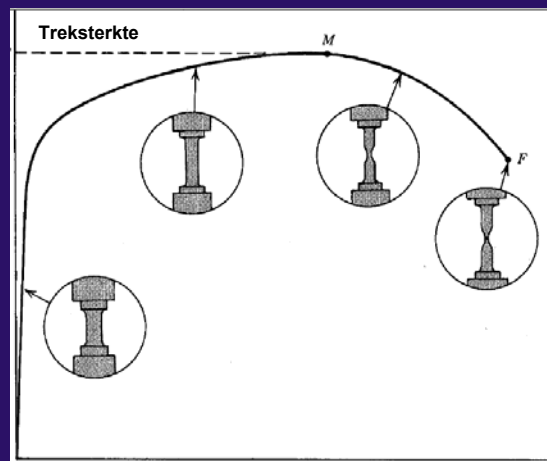
Trekproef



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Spanning



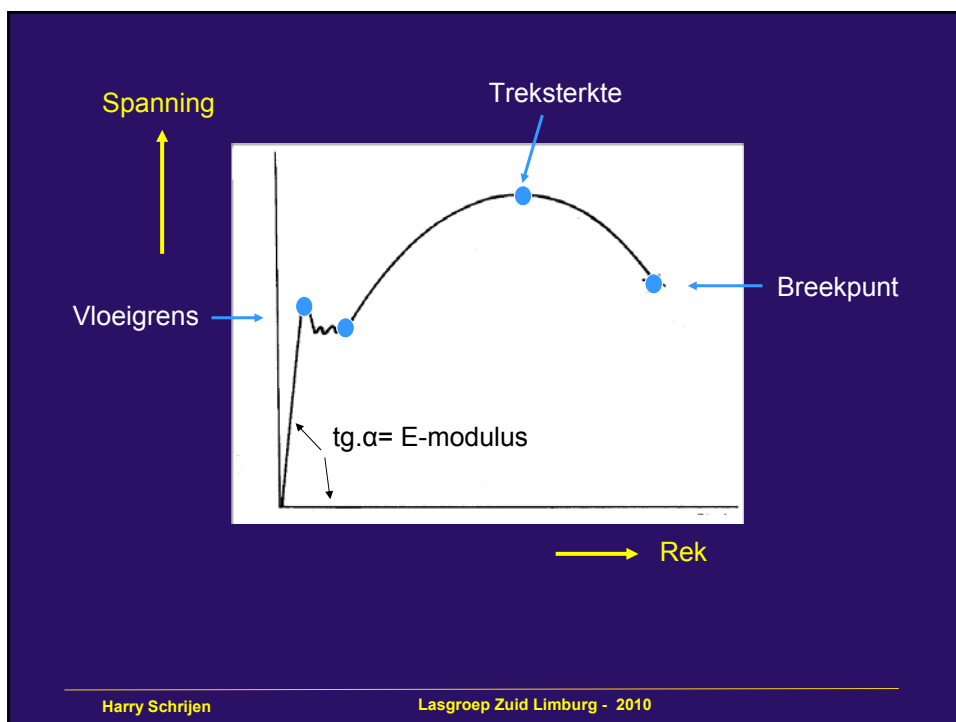
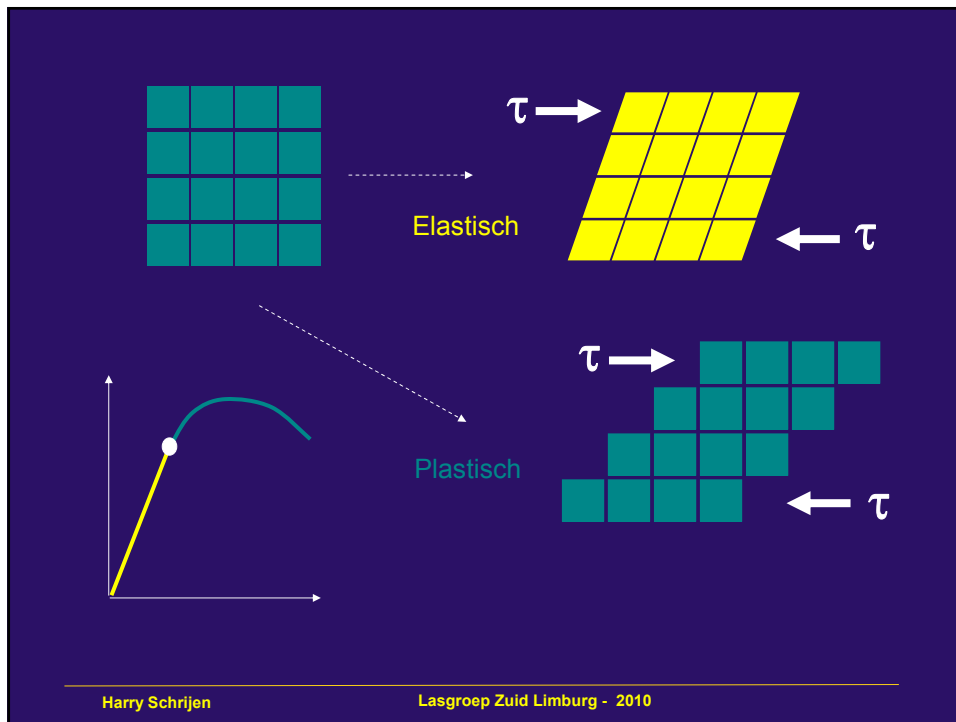
→ Rek

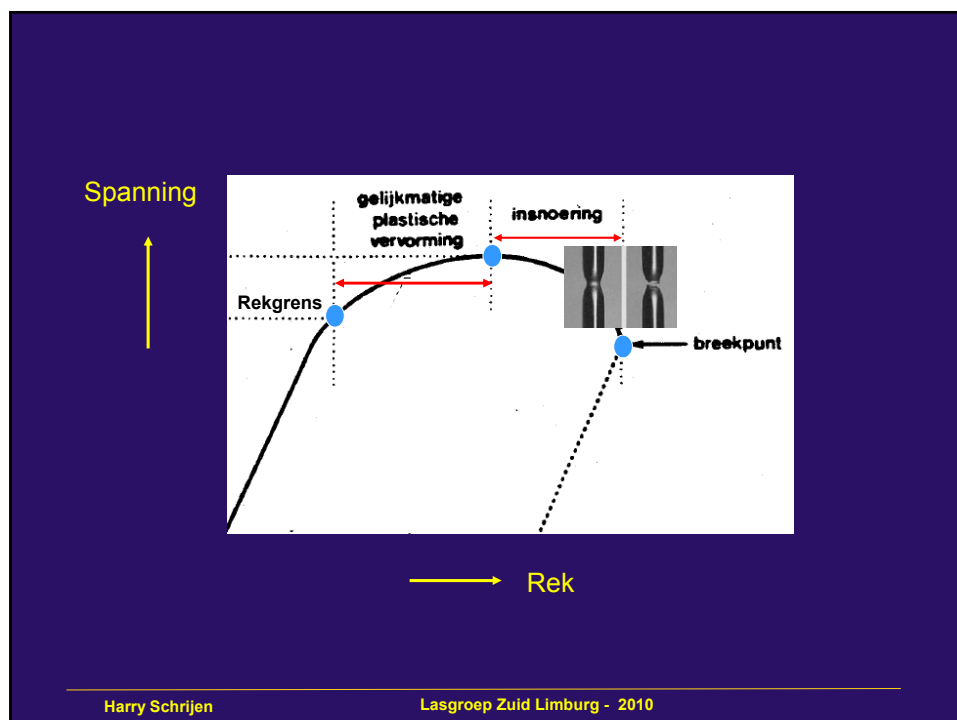
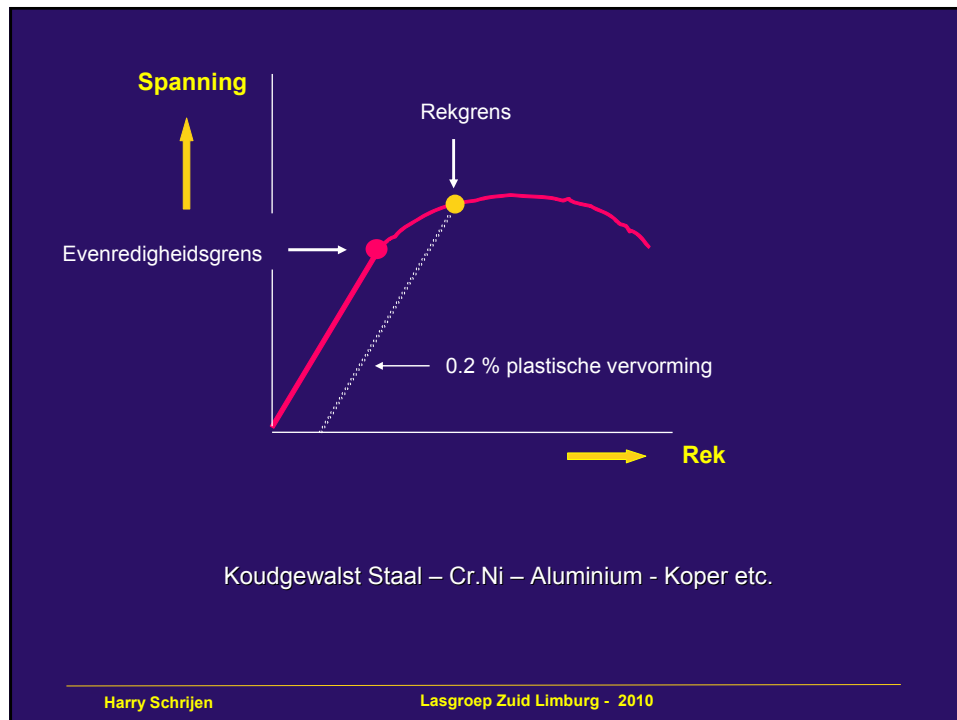
Geeft info over:

- rekgrens
- treksterkte
- vervormbaarheid
- rek
- insnoering
- breeksterkte
- elasticiteitsmodulus

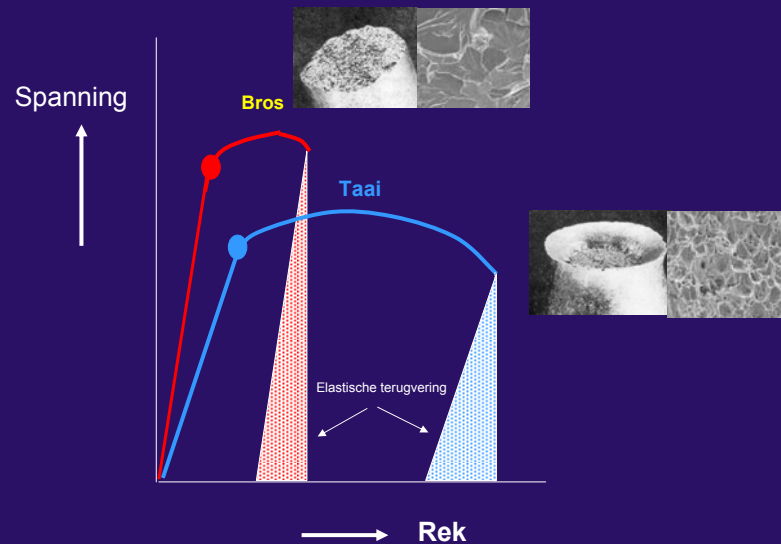
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010





Eigenschap	symbool	eenheid	hoge waarde / lage waarde
E-modulus	E	N/mm ²	stijf / slap
0,2%-rekgrens	R _{0,2}	N/mm ²	stug / week
bovenste vloeigrens	ReH	N/mm ²	stug / week
treksterkte	Rm	N/mm ²	sterk / zwak
breukrek	At	%	taai / bros
insnoering	Z	%	taai / bros



- de **treksterkte** (symbool R_m), de spanning bij maximale trekkracht.

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}$$

dimensie N/mm^2

•

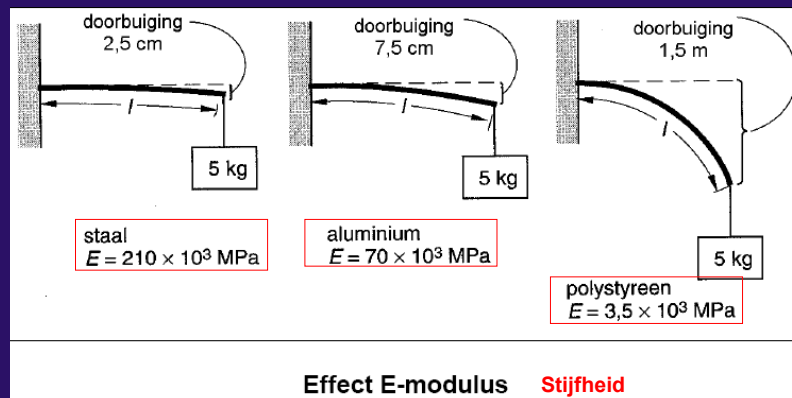
- de **insnoering** (symbool Z), de grootste vermindering in dwarsdoorsnede na breuk uitgedrukt als een percentage van de oorspronkelijke dwarsdoorsnede

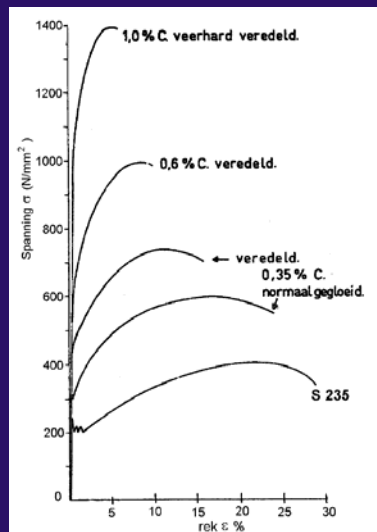
$$Z = \frac{S_o - S_v}{S_v} \times 100 \%$$

dimensieloos

- de **breukrek** (symbool A_t), de rek bij breuk.

$$A_t = \frac{L_v - L_o}{L_o} \times 100 \%$$

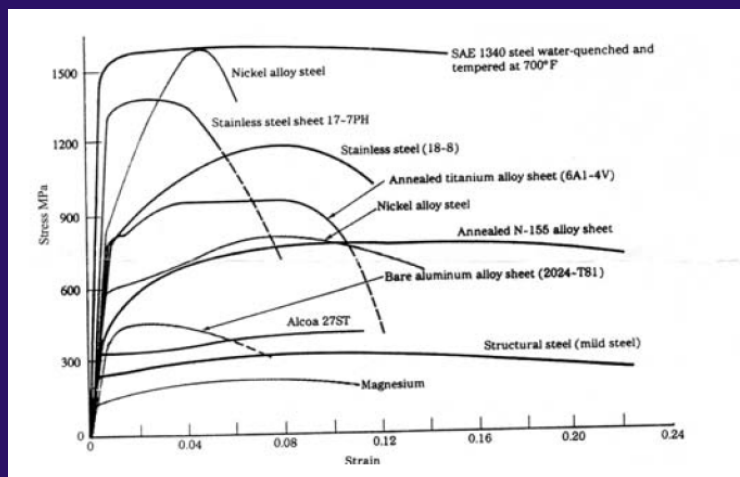




Trek krommen als functie van % C

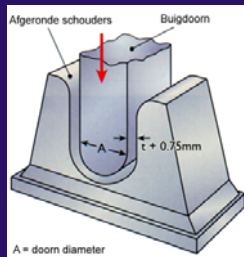
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

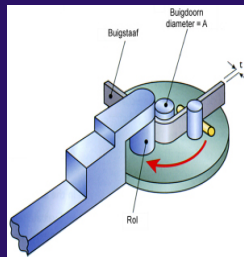


Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

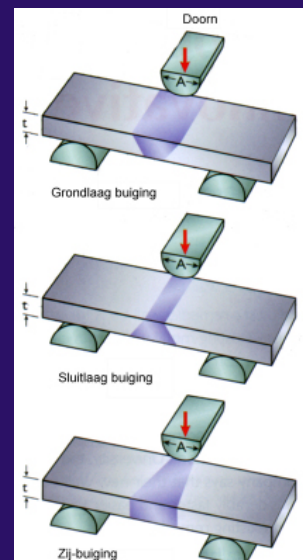
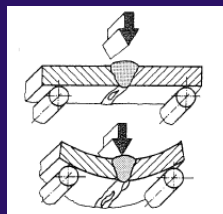


Buigproef



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

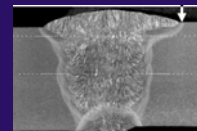


Harry Schrijen

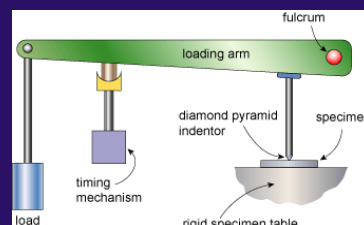
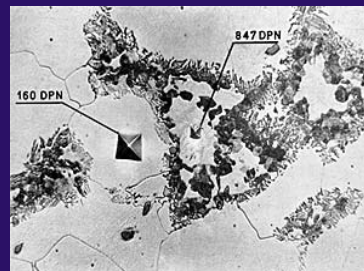
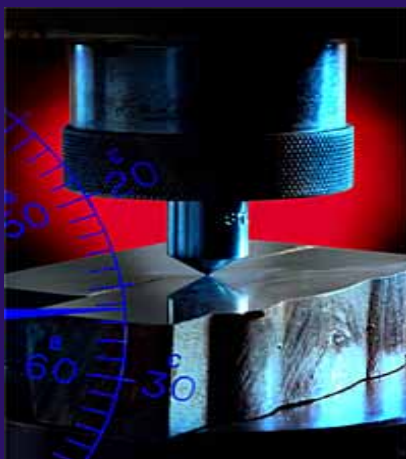
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Hardheid

- de weerstand van een materiaal tegen de **blijvende vervorming** door het indringen van een harder lichaam

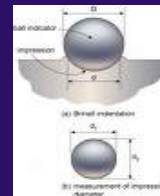
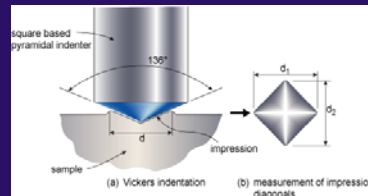


Test is simpel , snel en niet destructief.



Schematisch principe van Vickers hardheids meter

Correlatie Hardheid – Sterkte is ongeveer 3



Vaak gebruikt voor controle:

- Homogeniteit van een batch
- Warmtebehandelingen
- Temperatuur excursies tijdens bedrijf (hot spots)

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

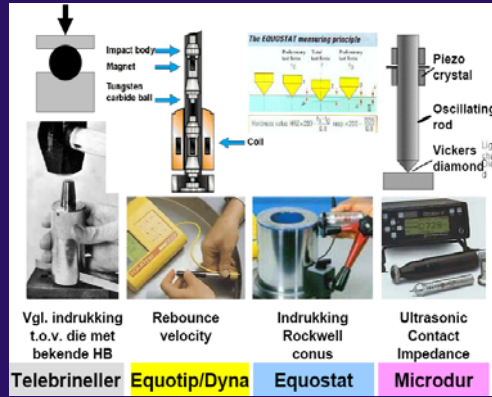
Table 7.4 Hardness Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/d^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Diamond cone} \\ \text{1/16, 1/32, 1/64 in. diameter steel spheres} \end{array} \right.$			$\left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ kg} \\ 100 \text{ kg} \\ 150 \text{ kg} \end{array} \right.$ Rockwell $\left\{ \begin{array}{l} 15 \text{ kg} \\ 30 \text{ kg} \\ 45 \text{ kg} \end{array} \right.$ Superficial Rockwell	

^a For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D , d , d_1 , and l are all in mm.
Source: Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffat, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



NQM
SGS

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Meetplek: toegankelijkheid



NQM
SGS

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

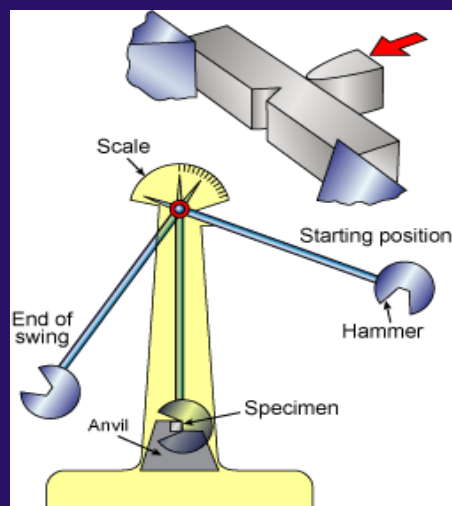
Kerfslag - Proef



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

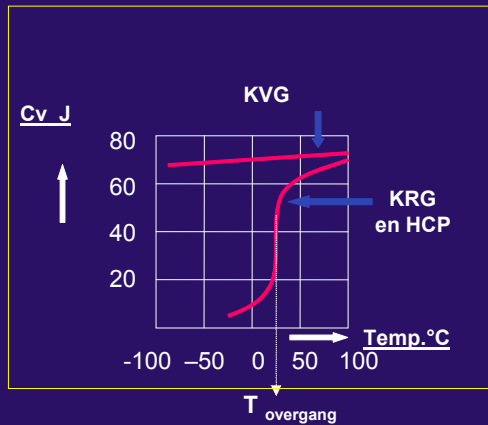
Charpy - V



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Taaheid



Brosse breuk afh. van

- tri-axiale spanningstoestand
- lage temperaturen
- deformatie snelheid

Toepassing

Quality control tijdens fabricage

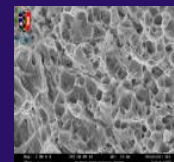
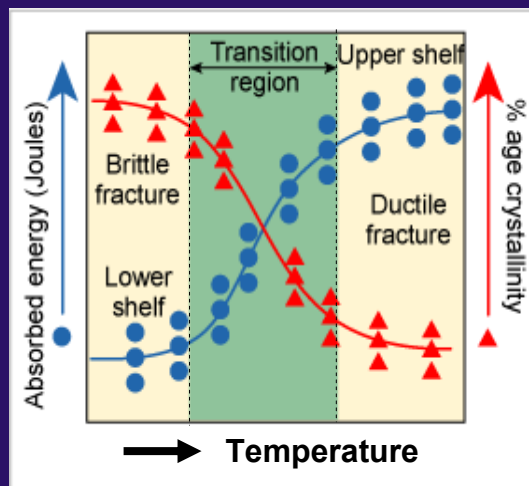
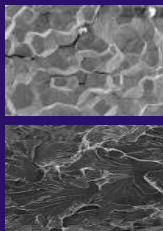
Bepaling effect warmtebehandelingen enz.

Bepaling effect proces excursies

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

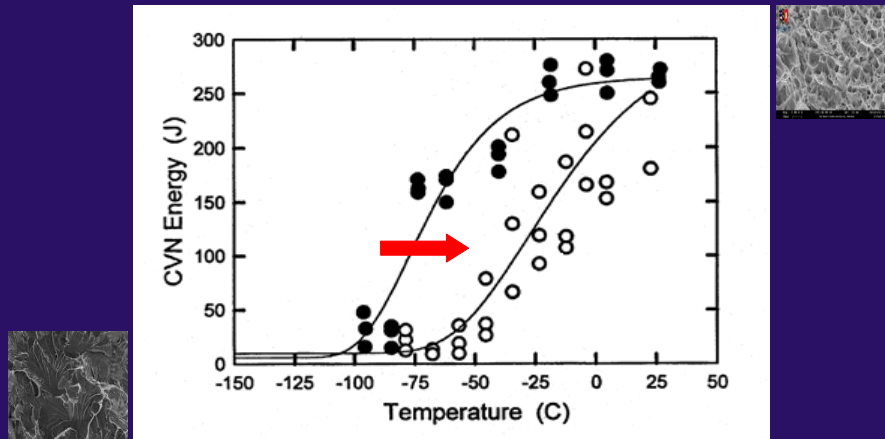
Taaheid



Harry Schrijen

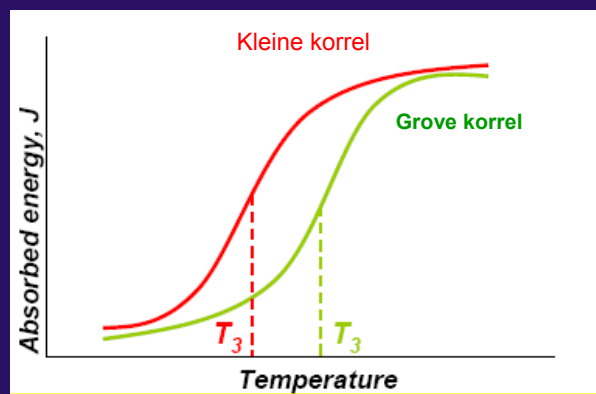
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Verandering taaheid door bijv. veroudering



Harry Schrijen

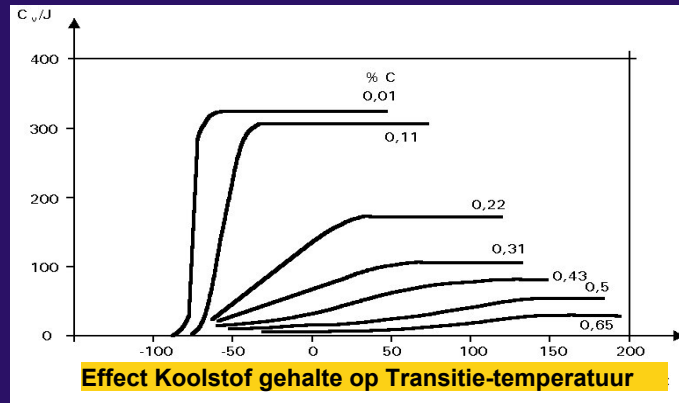
Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Invloed Korrelgrootte.

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Toepassing	Boiling point type of gas	°C
Fine grained steel with increasing strength	CO ₂ Propane	-28 -42
10 Ni 14	CO ₂ solid Acetylene Ethaan Ethylene	-78 -84 -88 -104
12 Ni 19	Krypton Methane	-153 -161
X8Ni9 Austenitic CrNi steel AISI 304 AISI 316 LN AISI 317 LN	Oxygen Argon Nitrogen	-183 -186 -196
X2CrNi 18.9 X5CrNi 18.10	Hydrogen Helium	-253 -269

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Afkoel - Diagrammen



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

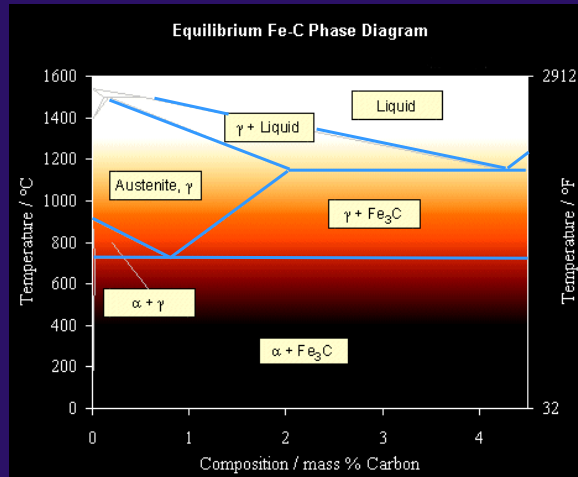
Fe – C Diagram

ijzer – koolstof diagram

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Evenwicht situatie

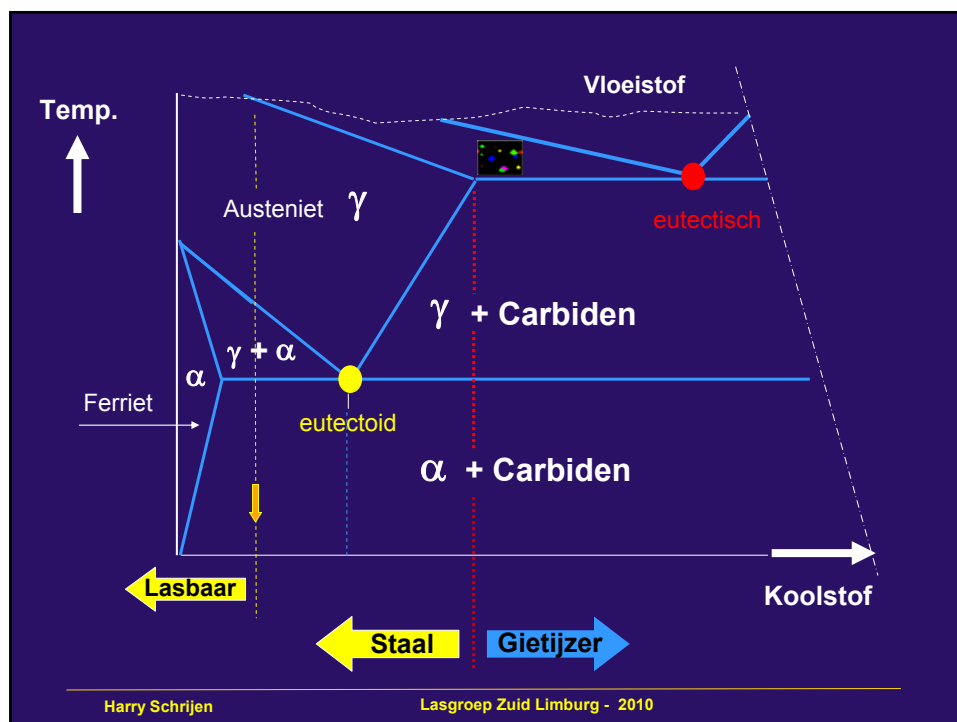


T= oneindig

ijzer – koolstof diagram

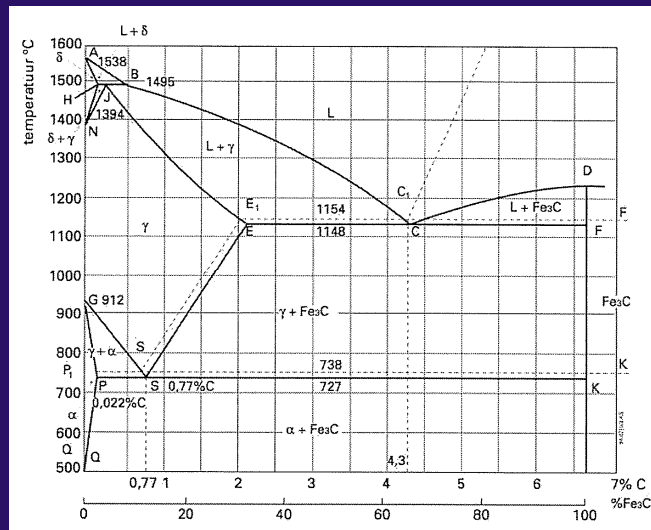
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



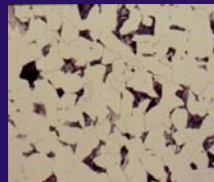
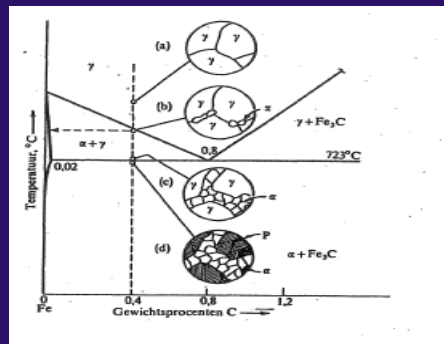
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

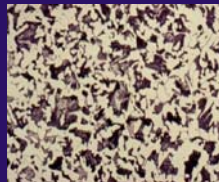


Harry Schrijen

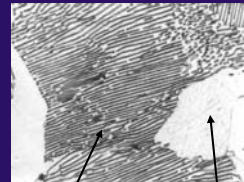
Lasgroep Zuid Limburg - 2010



0,2 % C



0,4 % C



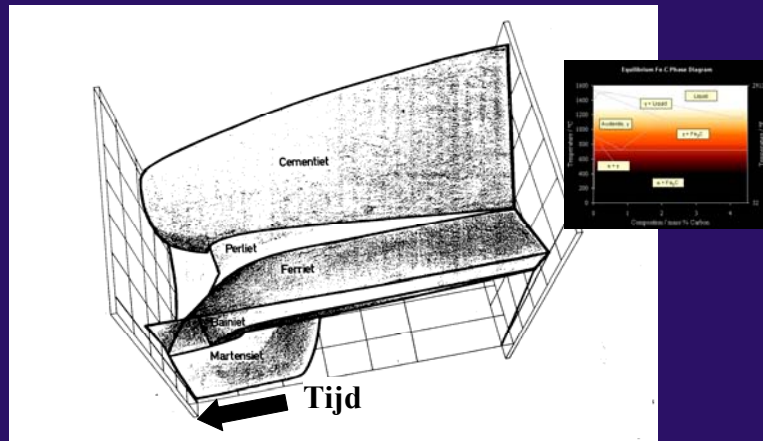
Pearlit

Ferriet

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Introductie van afkoeltijd

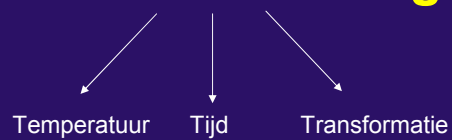


Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Isotherme Transformatie

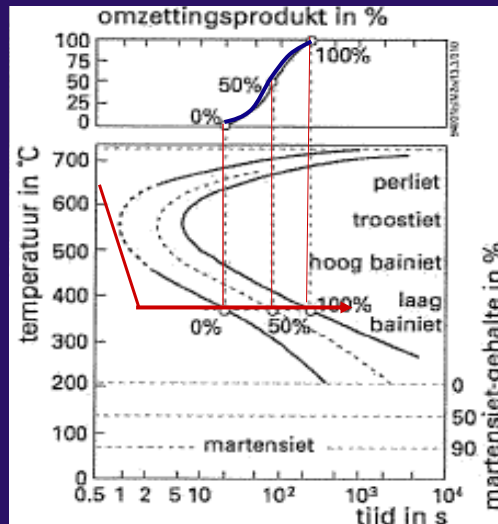
T.T.T - Diagram



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

TTT - onderperlitisch staal

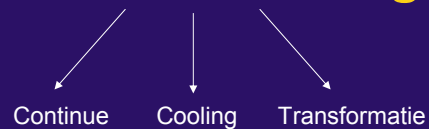


Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Continue Transformatie

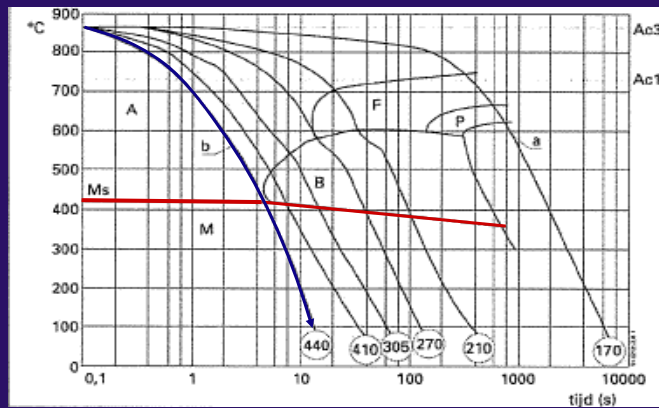
C.C.T - Diagram



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

C.C.T - Diagram voor St.355

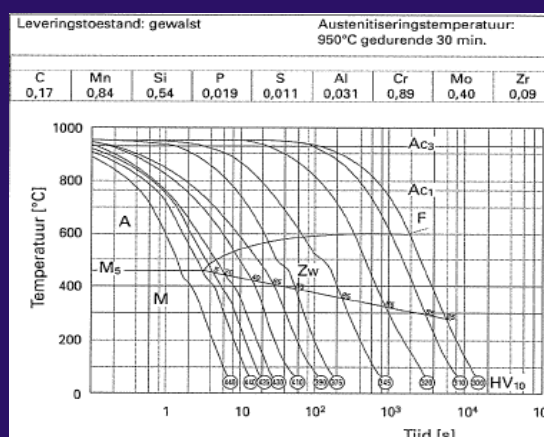


C	= 0.17 %	A	= austeniet
Si	= 0.51 %	M	= martensiet
Mn	= 1.39 %	B	= bainiet
P	= 0.025 %	F	= ferriet
S	= 0.024 %	P	= perliet
Al	= 0.069 %		
N	= 0.005 %		

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

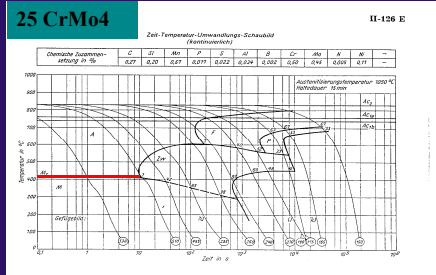
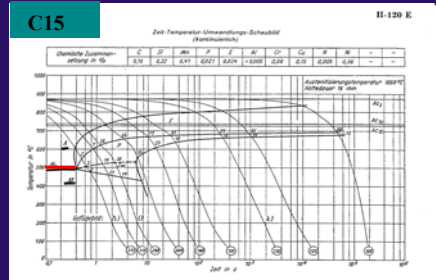
C.C.T – Diagram Cr Mo - staal



Harry Schrijen

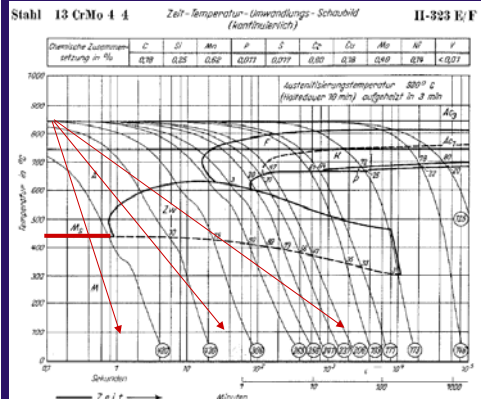
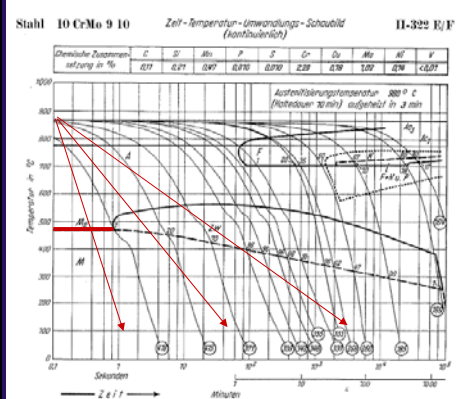
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

C.C.T - diagram



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Harry Schrijen

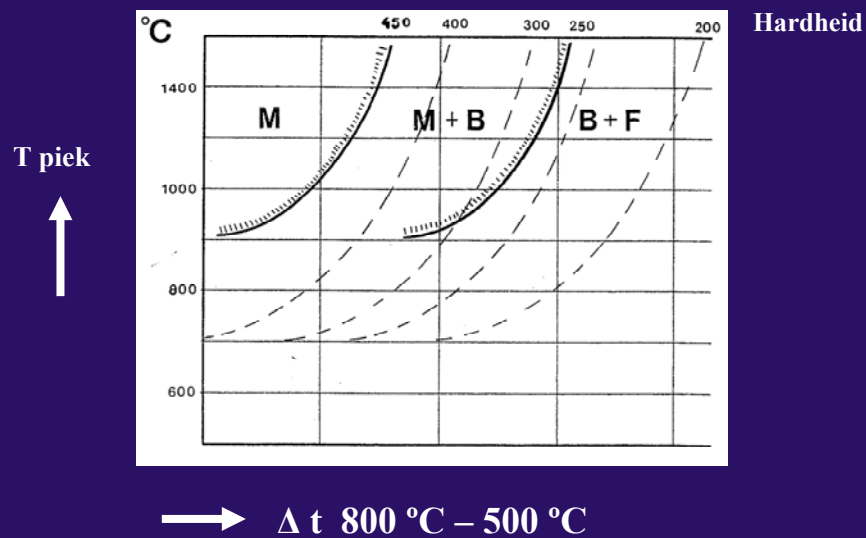
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Piek Temperatuur Afkoel Tijd -Diagram

P.T.A.T - Diagram

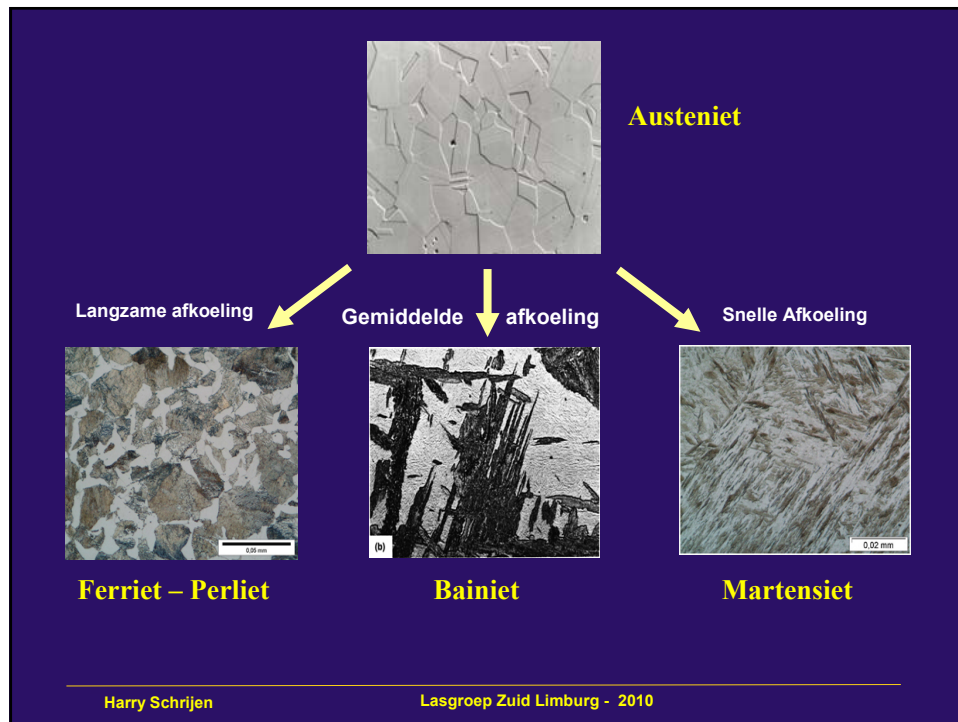
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



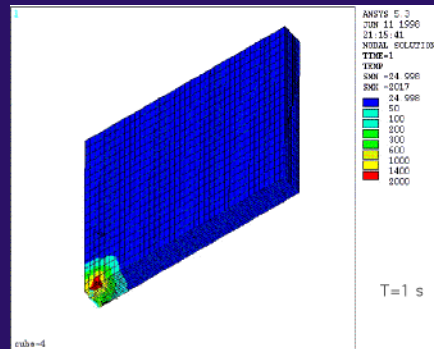
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



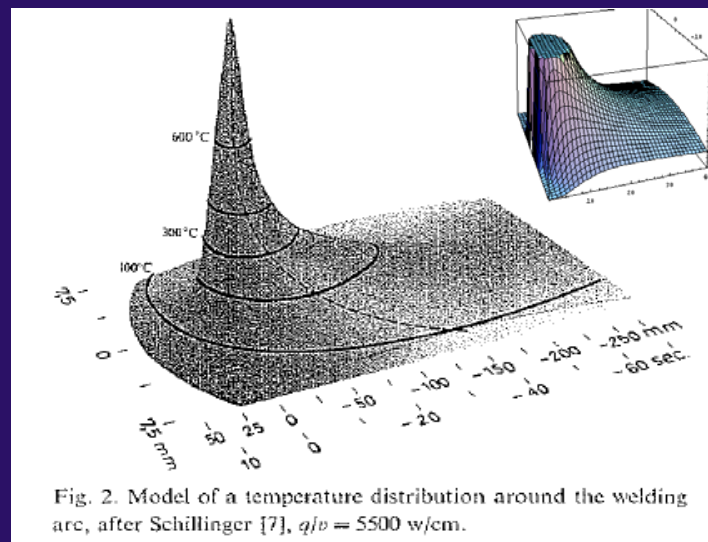
Temperatuur Veld



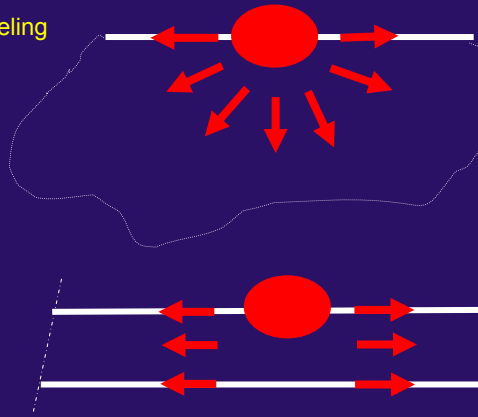


Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Warmte verdeling



3 D

2 D

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

2-dimensionaal

$$\Delta t_{800-500} = \frac{1}{\eta} \cdot \left(\frac{Q}{d} \right)^2 \cdot \frac{1}{4\pi\lambda\rho c} \cdot \left\{ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right\}$$

3-dimensionaal

$$\Delta t_{800-500} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{Q}{2\pi\lambda} \cdot \left\{ \frac{1}{(500 - T_0)} - \frac{1}{(800 - T_0)} \right\}$$

Overgangsdikte

$$d_e = \sqrt{\frac{Q}{2\rho c} \cdot \left(\frac{1}{500 - T_0} + \frac{1}{800 - T_0} \right)}$$

Harry Schrijen

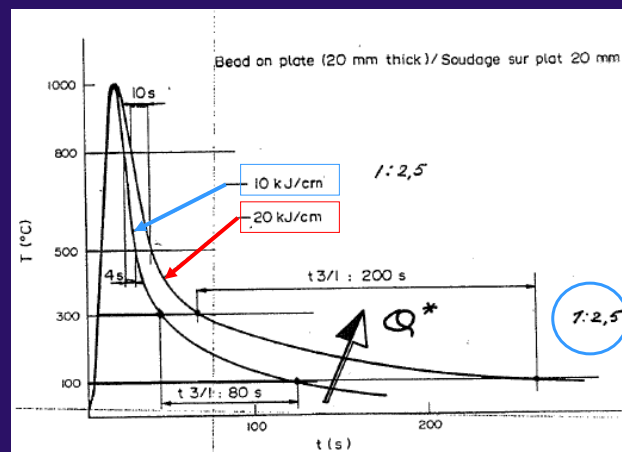
Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Vereenvoudiging

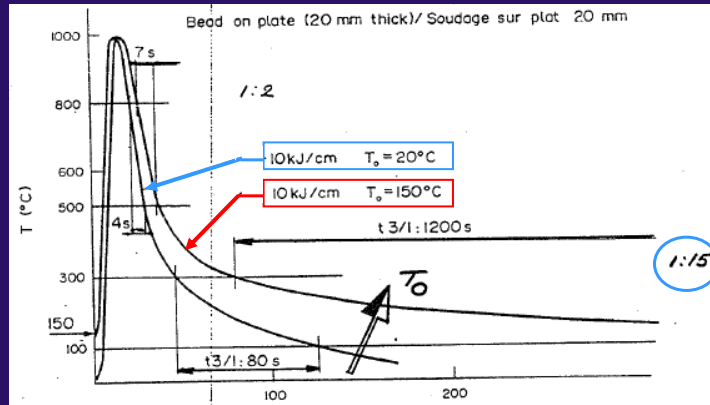
Overgangs-dikte	$15 Q^{1/2} - 16 Q^{1/2}$	
Δt (800°C – 500°C)	5 Q	$T_0 = 20^\circ\text{C}$
	8 Q	$T_0 = 150^\circ\text{C}$

$d = \text{mm}$

$Q = \text{KJ/mm}$



Invloed Warmte-inbreng



Invloed Voorwarmen

Warmte Inbreng



Calculation

Welding

Warmte Inbreng voor Booglassen

$$Q = \frac{U \cdot I}{S} \eta$$

SMAW : $U \approx 20 + I / 25$
GTAW : $U \approx 10 + I / 25$

Q	Warmte Inbreng	J/cm
I	Stroom	A
U	Boogspanning	V
S	Lassnelheid	cm/s
η	Rendement	

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Boogrendement

SMAW	65 - 80 %
GMAW	65 - 80 %
FCAW	65 - 80 %
SAW	90 - 99 %
GTAW DC	35 - 60 %
PAW	50 - 60 %



NEN-EN 1011

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

SMAW

$$Q = \frac{U \cdot I}{s} \cdot \eta$$



Uittreklengte = Snelheid x Boogtijd

$$Q = \frac{U \cdot I}{R.O.L} t_b \cdot \eta$$



Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Heat Input vergelijking lasprocessen



	SMAW	SAW	Narrow Gap	EB
Q KJ	160.000	216.000	24.000	6.000
n	200	100	33	1
Kg	35	33	8	0

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Koolstof

en

Koolstof - Equivalent

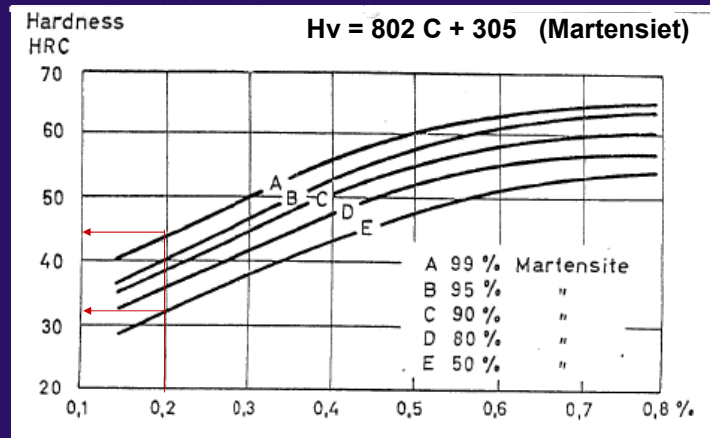
Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

Koolstof

Harry Schrijen

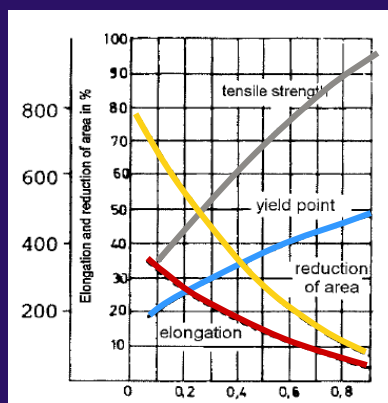
Lasgroep Zuid Limburg - 2010



→ **Koolstof**

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010



Eigenschappen versus Koolstof %

Harry Schrijen

Lasgroep Zuid Limburg - 2010

- De lasbaarheid van staal wordt primair beïnvloedt door het koolstof %.
- Bij hoge koolstof % wordt voorwarmen en/of spanningsarm gloeien nodig om problemen te voorkomen.

C- equivalent

C - equivalent

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

IIW – Lloyds 1940

Algemeen

$$C \leq 0.23$$

$$C_{eq} \leq 0.45$$

$$\text{Dikte} \leq 32 / 40\text{mm}$$

Lassen zonder voorwarmen mogelijk als er geen speciale eisen zijn gesteld aan hardheid.

C	$\leq$	0.22	Goed lasbaar
Mn	$\leq$	1.0	
Ceq.		0.22 - 0.29	Pas op !
Mn		1.0 - 1.6	
C	$\geq$	0.30	Lasbaarheid slecht
Ceq.	$\leq$	0.40	Voorwarmen niet noodzakelijk
Ceq.	=	0.40 - 0.60	Voorwarmen