

## Hærdning af legeret stål og værktøjsstål

### Hærdning af legeret stål og værktøjsstål

Der er sket meget siden vikingerne var dødeligt afhængige af optimal hærdning til i dag, hvor det er muligt at styre og dokumentere stålfremstillings- og hærdeprocessen ned til den mindste detalje. Foredraget vil bl.a. beskrive, hvorledes er det i dag er muligt at opnå den optimale kombination af styrke og sejhed ved brug af bestemte legeringselementer og optimal hærdning. Begreber som hærdbarhed, slidstyrke, træk- og trykstyrke vil blive nøje gennemgået. Og hvad med rustfrie stål? Kan de hærdes? Det og mange andre spørgsmål vil foredraget også komme med svar på.

v/. Niels Lyth, Bodycote Varmebehandling A/S

Hvorfor var nogle våben bedre end andre ?



# Hvorfor var nogle våben bedre end andre ?

Fordi...

Nogle opdagede, at hærdetemperaturen var afgørende

Nogle opdagede, at afgyssningen var afgørende

Nogle opdagede, at en anløbning var afgørende

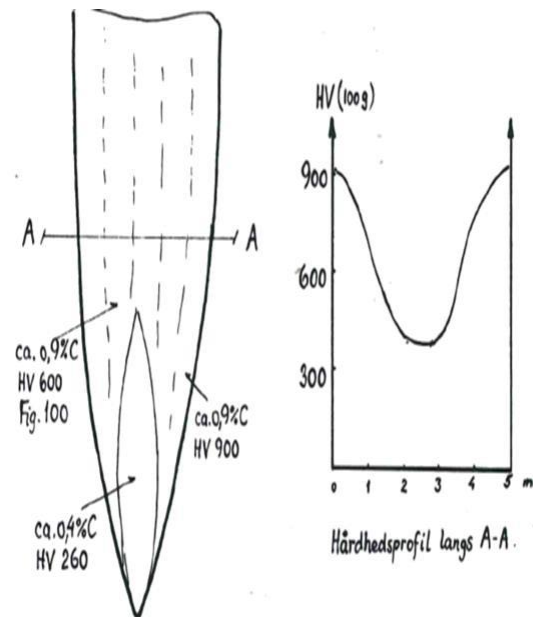
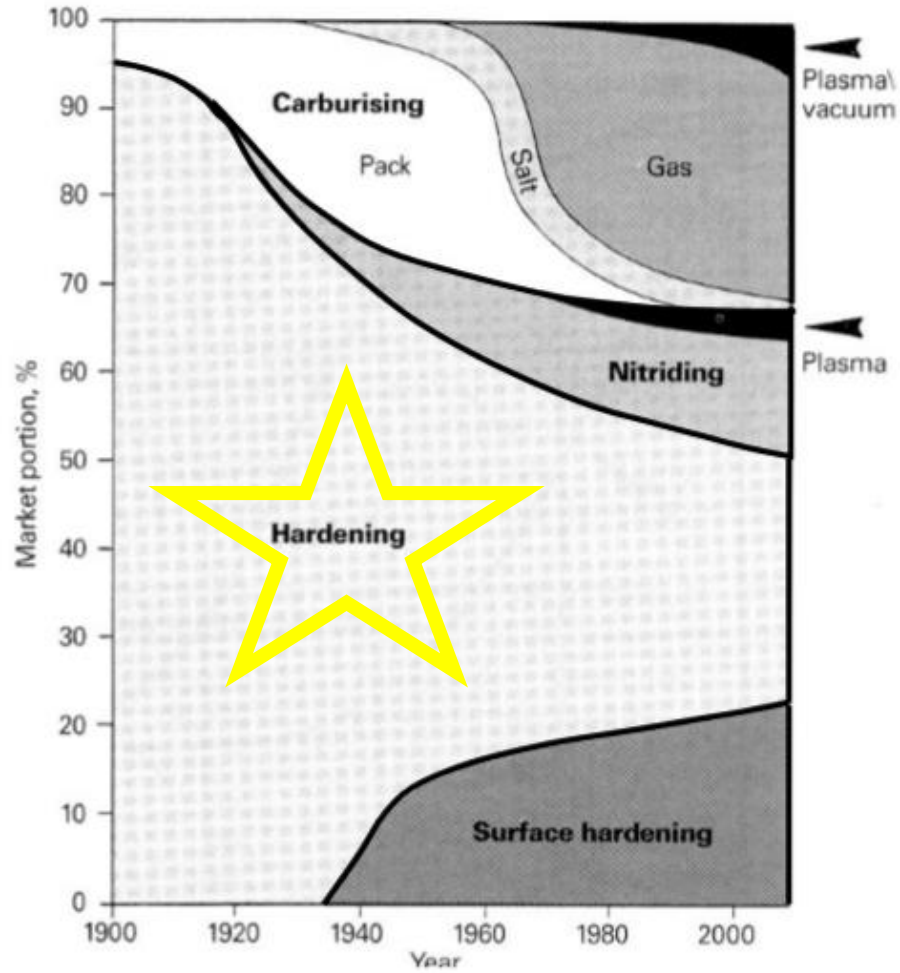


Fig. 2. Brækket tveagget sværd fra Vimose, ca. 300 e.Kr. Til venstre skitse af aggens opbygning midt på den ene langside. Til højre hårdhedsprofil. Selve aggen er fejlagtigt fremstillet af jern med relativt lavt kulstofindhold.



# Hvor skal VI starte?

- Start med at få analyseret situationen



Nogle problemstillinger er åbenlyse









# Hvad skal vi bruge styrke til ?

## Plastisk deformation



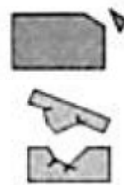
- +Hårdhed
- +Flydespænding

## Abrasivt slid



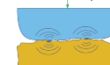
- +Hårdhed
- +Mængde **karbider**
- +Karbidsørrelse
- +Karbidsårdhed

## Udflisning/totalharveri



- +Duktilitet
- +Sejhed

## Adhæsivt slid



- +Hårdhed
- +Duktilitet
- Karbidsørrelse

Men, husk vi er ikke alkymister

 Bodycote



Den valgte stålkvalitet har afgørende betydning for, om den optimale løsning er mulig!!

## Valg af stål kvalitet



Hvad skal vi fremstille ?

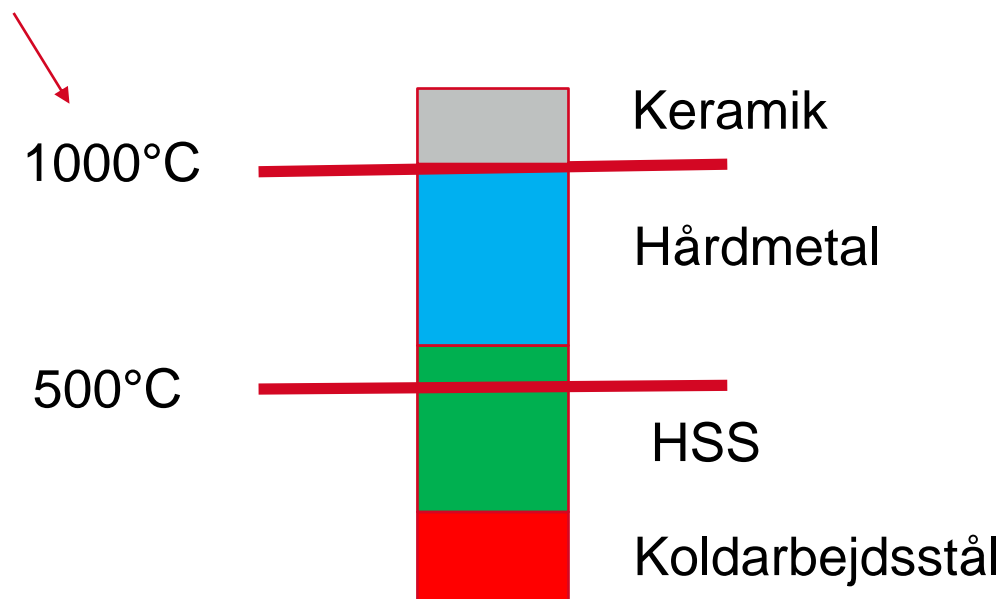
- Dims, dippedut, dingnot ?
- Plast, jern, stål, metal ?
- Seriestørrelse pr. år
- Produktets levetid

Hvad skal vi vurdere ?

- Design – Konstruktion
- Applikationer : slid, korrosion, trykstyrke, duktilitet, sejhed
- Værktøjets formåen
- Værktøjets levetid

# Arbejdtemp. spiller også en rolle mht. styrke

Arbejds-  
temp.





- Ulegeret stål -> Samlet legeringsmængde 1-2%
- Lavtlegeret stål -> Samlet legeringsmængde 2-5%
- Højtlegeret stål -> Samlet legeringsmængde >5%

# Start med stålet...

- **Kulstof (C):**
  - Styrke og hårdhed øges/sejheden forringes
  - Hærdbarheden øges
- **Mangan (Mn):**
  - Styrke og hærdbarhed øges (binder svovl og slagge)
- **Svovl (S)/Fosfor(P)/Kvælstof(N)**
  - Forureningselementer
- **Krom (Cr):**
  - Styrken øges/sejheden forringes
  - Varmebestandigheden øges
  - Korrosionsbestandigheden øges
- **Nikkel (Ni):**
  - Styrken øges uden at sejheden forringes
- **Wolfram(W):**
  - Virkning som Cr
  - Styrken øges ved højere temp.
- **Vanadin (V):**
  - Finkorndanner /øger sejheden
  - Styrken øges ved højere temp.
- **Molybdæn(Mo):**
  - Virkning som Cr (dog kraftigere effekt)
- .....



# Hvad var det nu... ?

## Plastisk deformation



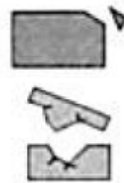
- +Hårdhed
- +Flydespænding

## Abrasivt slid



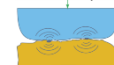
- +Hårdhed
- +Mængde **karbider**
- +Karbidsørrelse
- +Karbidsårdhed

## Udflisning/totalharveri



- +Duktilitet
- +Sejhed


## Adhæsivt slid

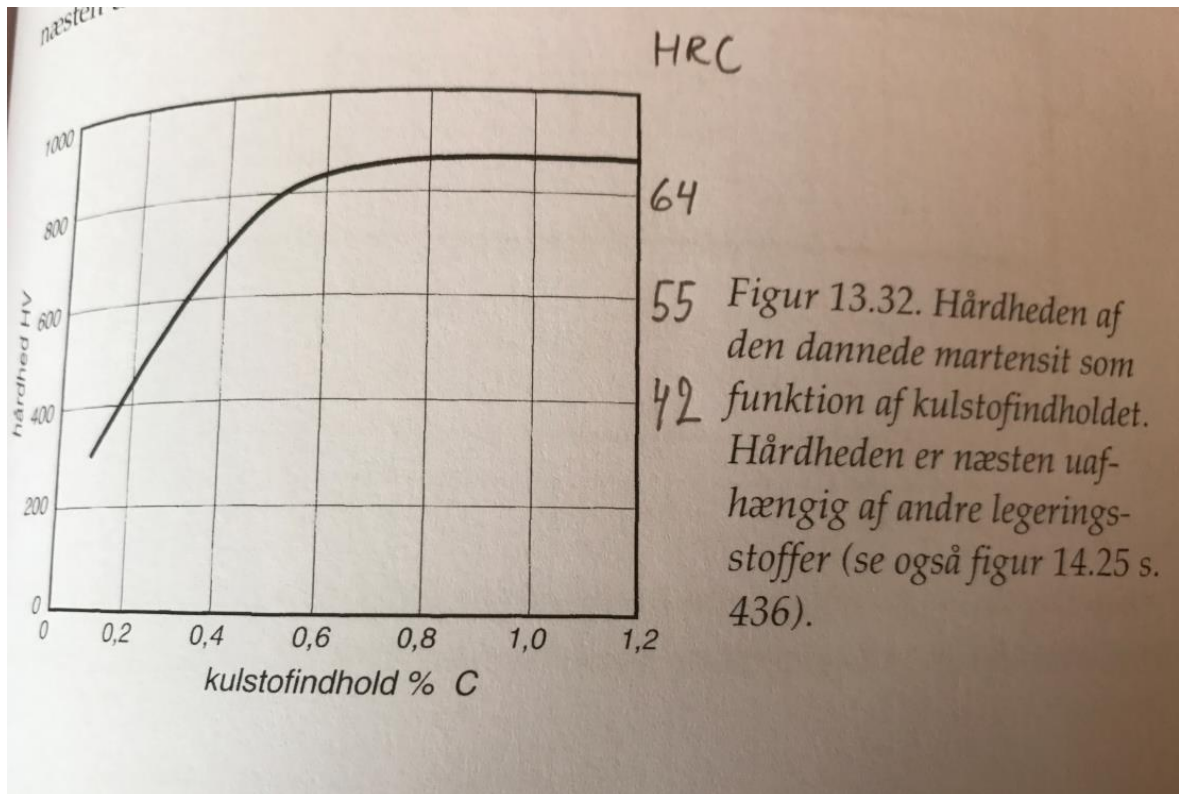


- +Hårdhed
- +Duktilitet
- Karbidsørrelse**



# Hårdheden af martensit er afhængig af C-indholdet

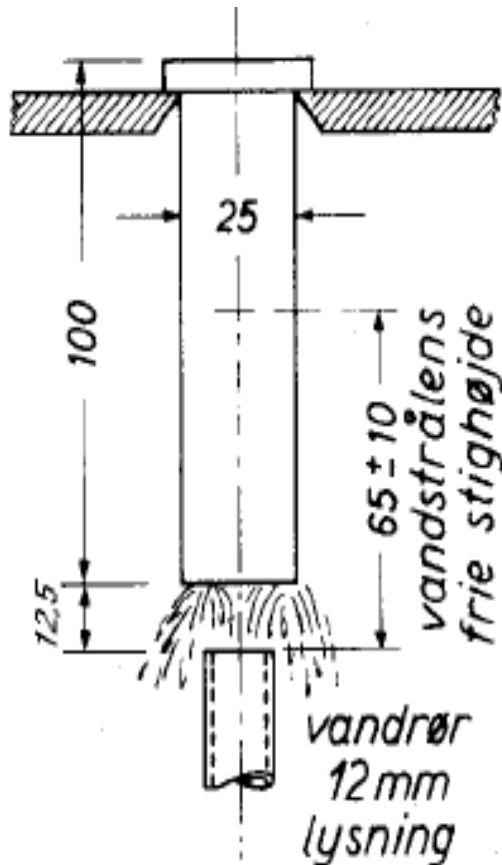
Plastisk deformation   
+Hårdhed  
+Flydespænding



# Hærdbarhed , Jominy prøve

Plastisk deformation 

+Hårdhed  
+Flydespænding



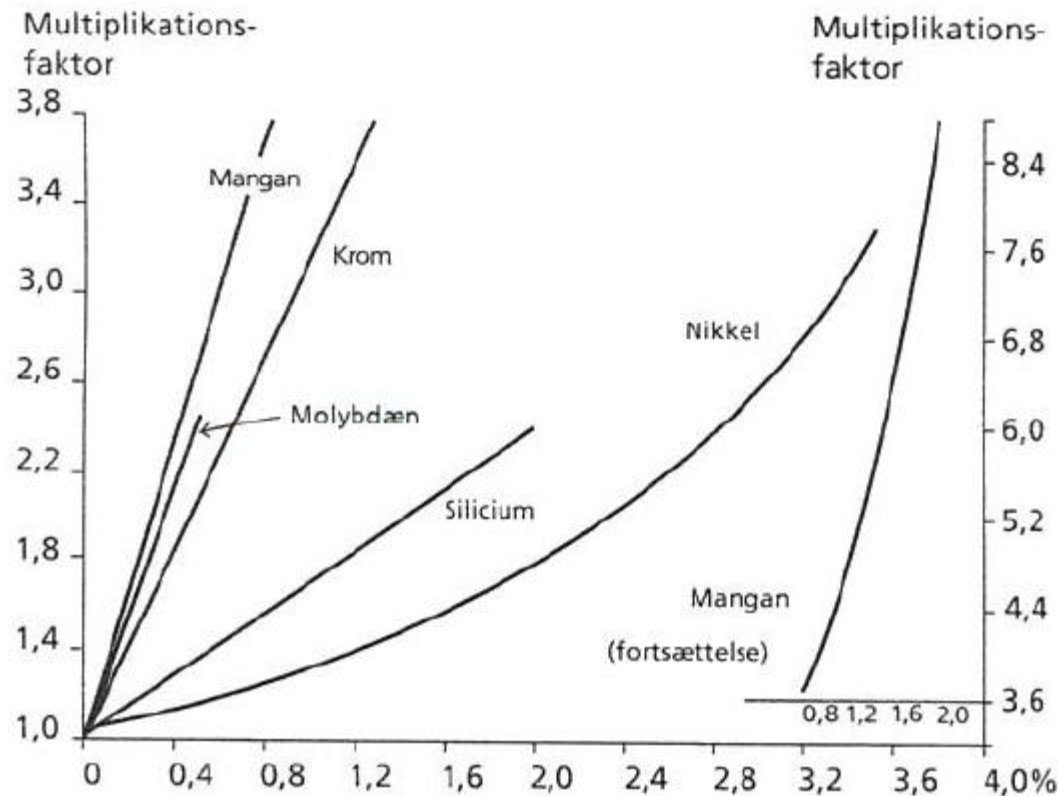
Selve prøven har de viste dimensioner. Der skal være 12,5 mm frigang mellem prøve og vandrørets munding. Vandrøret skal have en lysning på 12 mm og vandstrålen uden isat prøve bør opnå en højde på ca. 65 mm.



<https://www.youtube.com/watch?v=qjsZVivfzcg>

Plastisk deformation


+Hårdhed  
+Flydespænding

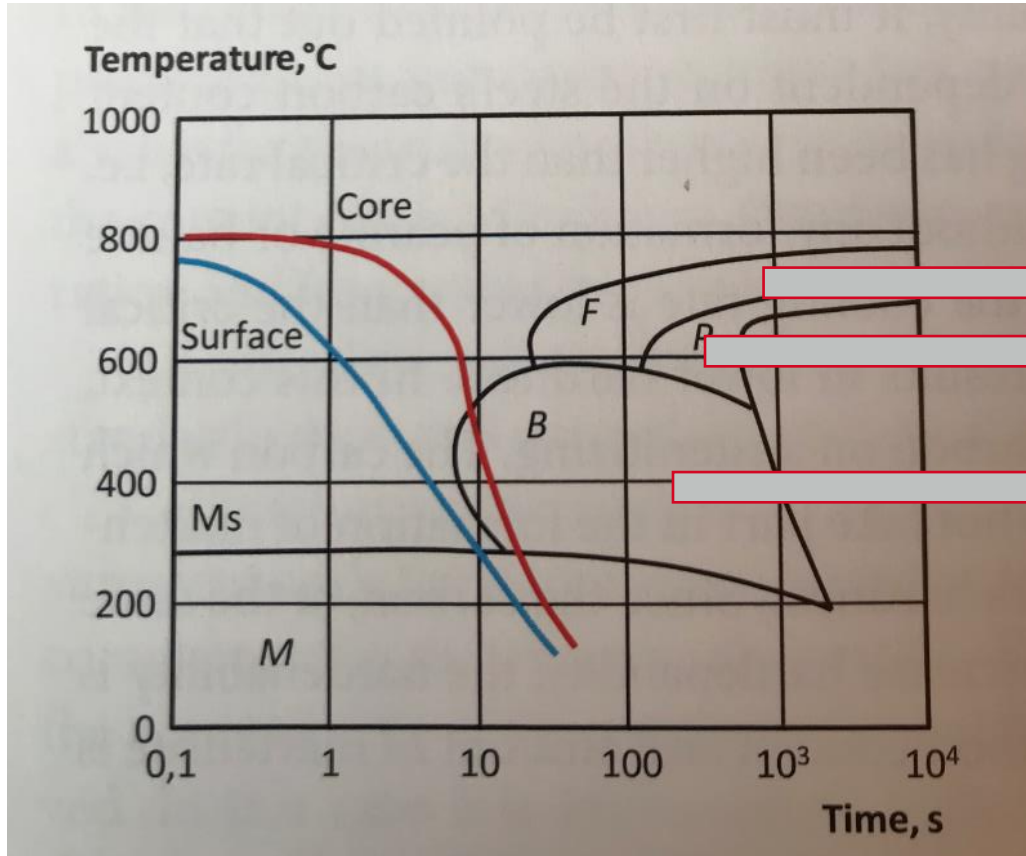


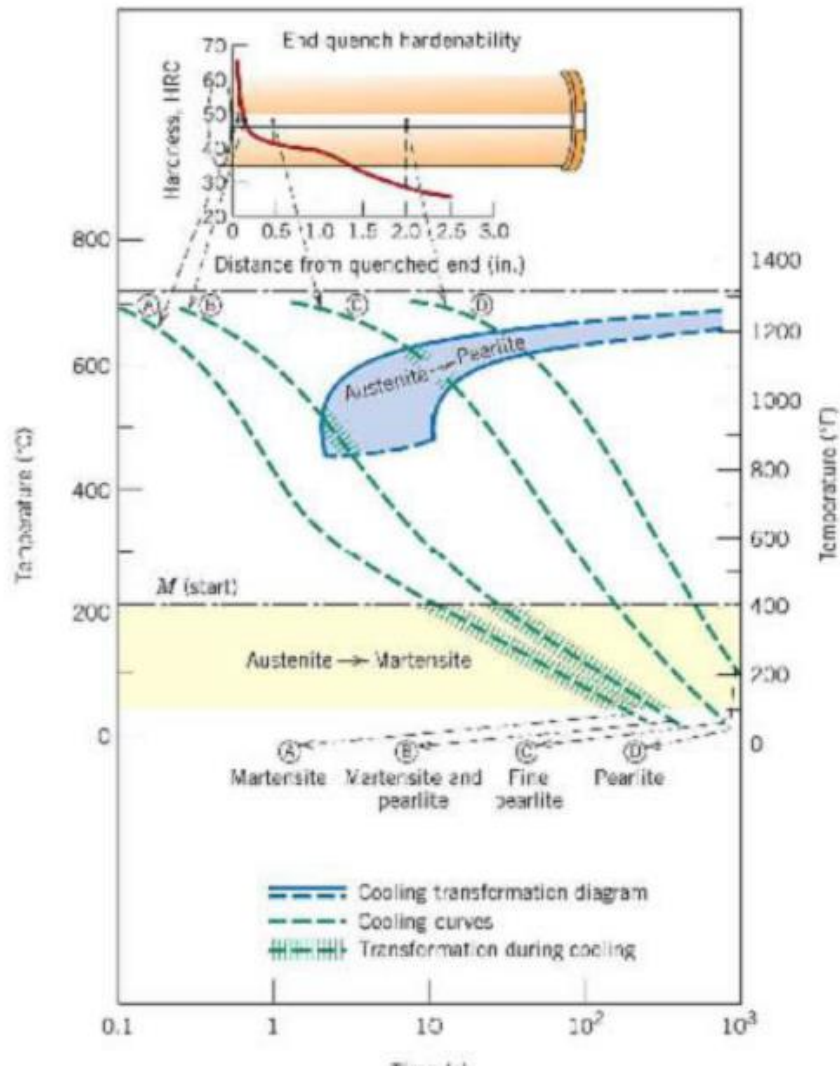
Legeringselementerne anvendes for at øge gennemhærdningsevnen og slidstyrken. Karbiderne bærer belastningen, mens det mere duktile Grundmateriale fastholder karbiderne.

# Legeringselementernes betydning for hårdheden **Bodycote**

Fx så flytter Cr "næserne mod højre"

Plastisk deformation   
+Hårdhed  
+Flydespænding





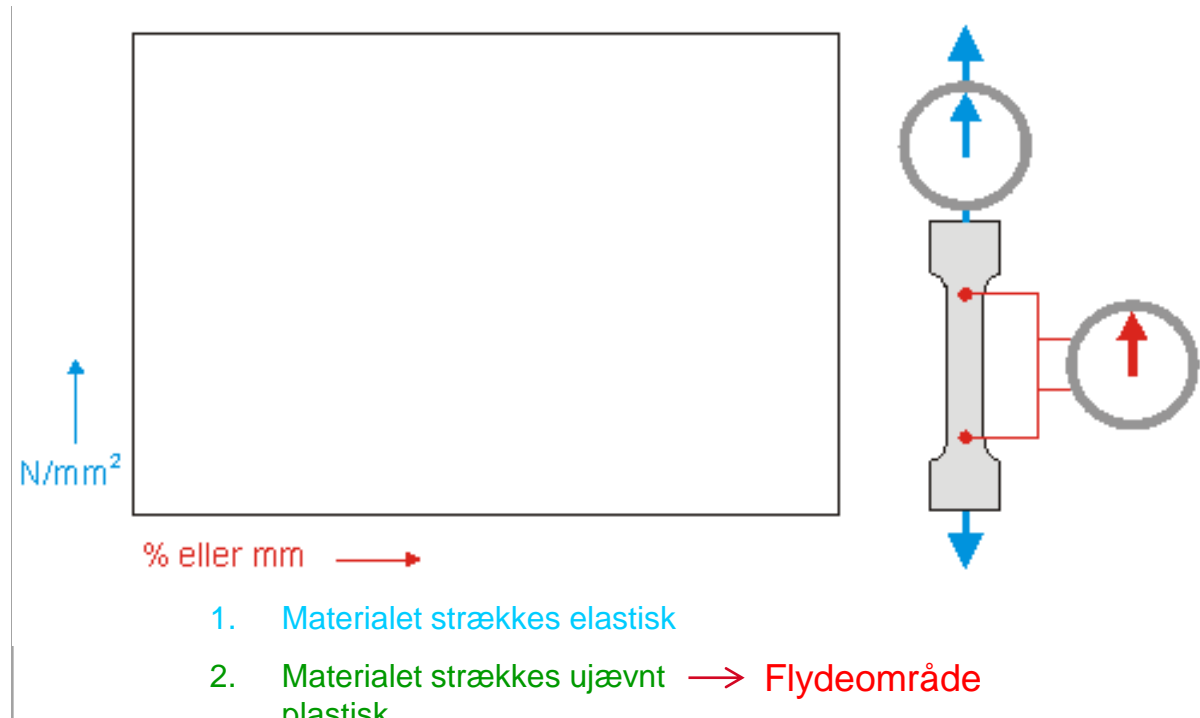
Plastisk deformation

+Hårdhed

+Flydespænding

- Hvad med flydespændingen ?


# Trækprøvning : Her bestemmes flydespændingen og den maksimale trækstyrke

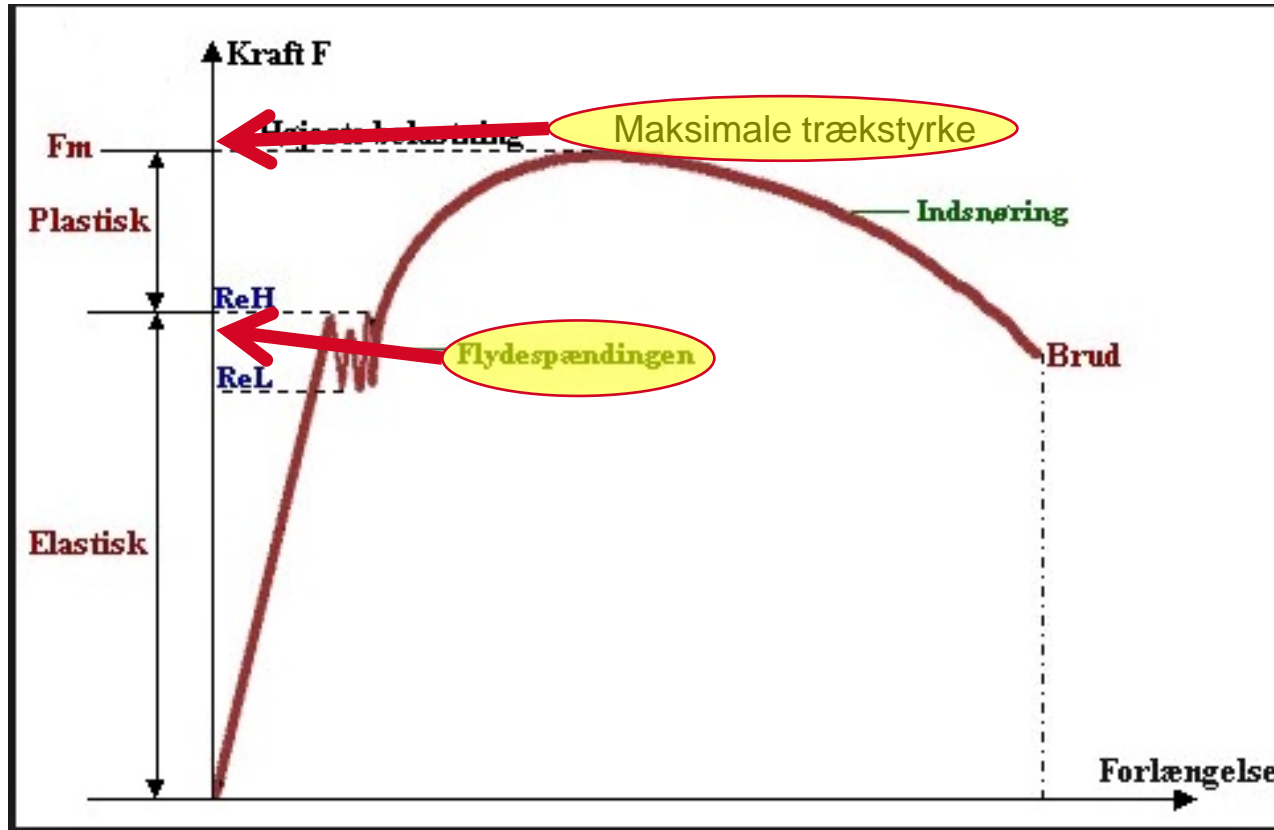


1. Materialet strækkes elastisk
2. Materialet strækkes ujævnt → Flydeområde plastisk
3. Materialet strækkes jævnt plastisk
4. Materialet indsnævres og knækker

<https://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kcpcM>




# Flydespænding

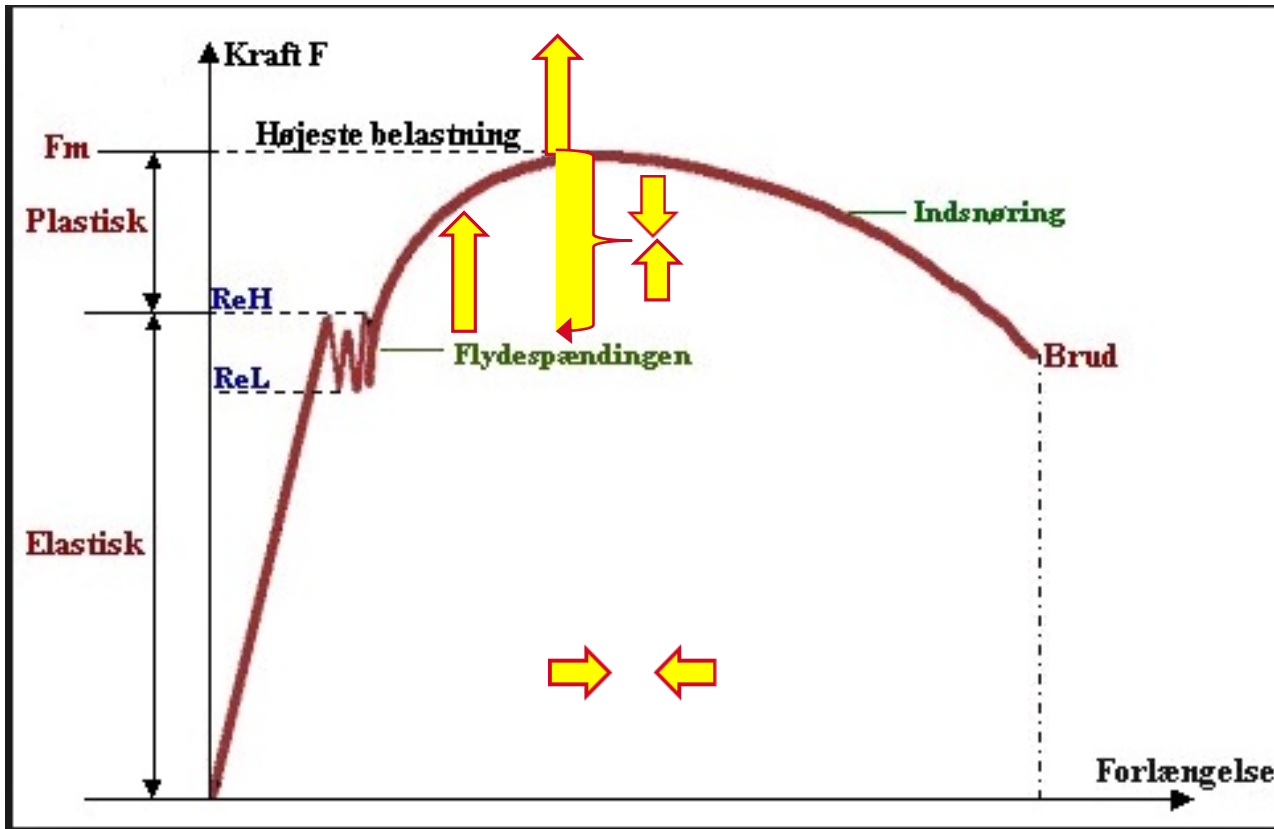
Plastisk deformation   
+Hårdhed  
+Flydespænding






# Arbejdskurve efter en hærdeproces

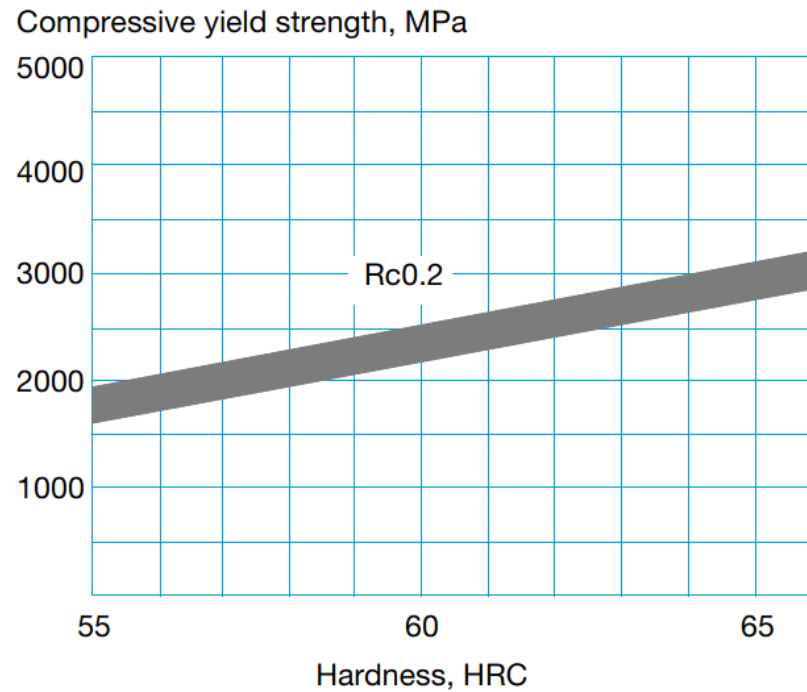
Plastisk deformation   
+Hårdhed   
+Flydespænding 



# Flydespændingen følger hårdheden

Plastisk deformation   
+Hårdhed  
+Flydespænding

Approximate compressive yield strength versus hardness at room temperature.



Vanadis 4E

## COMPRESSIVE STRENGTH Calmax

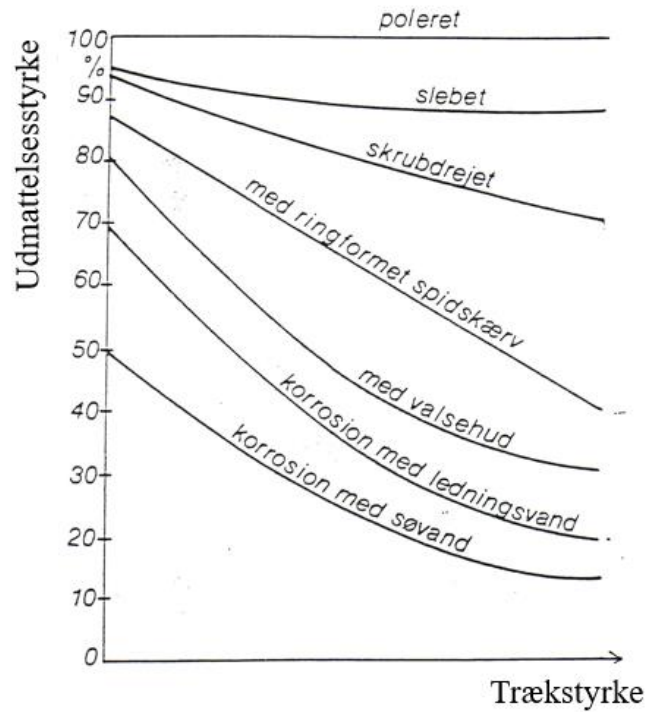
Approximate values at room temperature.

Hardness HRC	Rcm N/mm <sup>2</sup>	Rc0,2 N/mm <sup>2</sup>
56	2300	1900
58	2500	2000
60	2700	2100



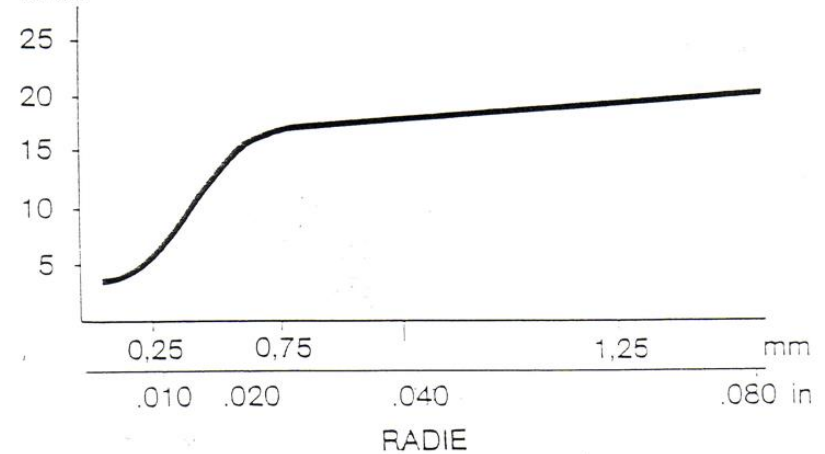
Flydespænding er ca 80% af den  
Maksimal trækstyrke

# Inden vi går videre.... Må jeg minde om disse



## SLAGHÅLLFASTHET

Izod  
ft/lbs



## Abrasivt slid



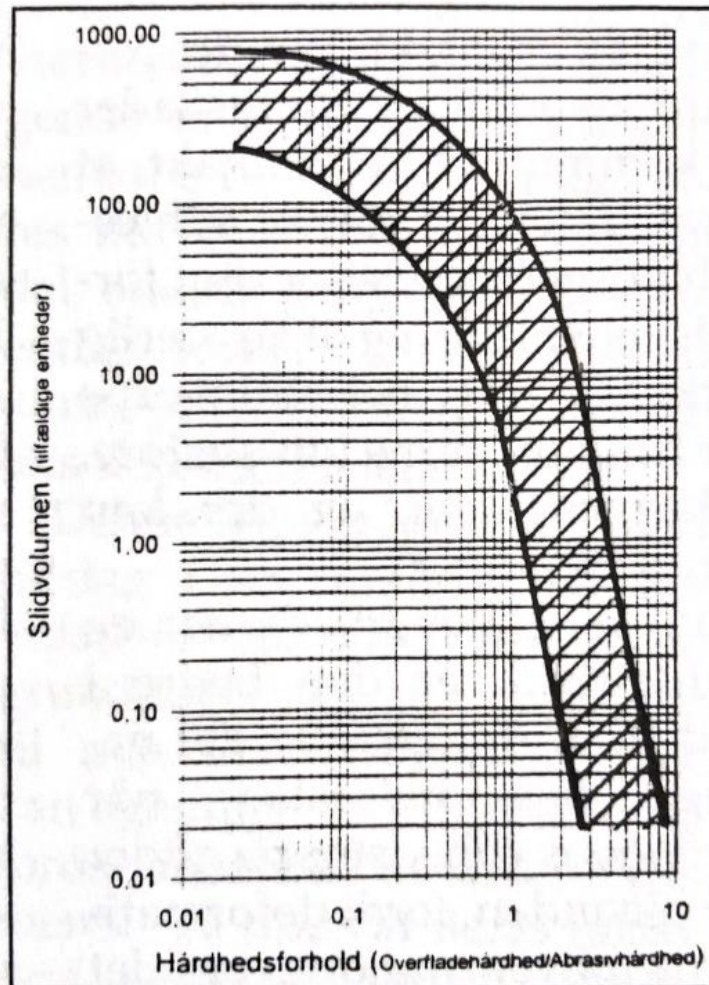
- +Hårdhed
- +Mængde **karbider**
- +Karbidstørrelse
- +Karbidhårdhed

## Adhæsivt slid



- +Hårdhed
- +Duktilitet
- Karbid**størrelse

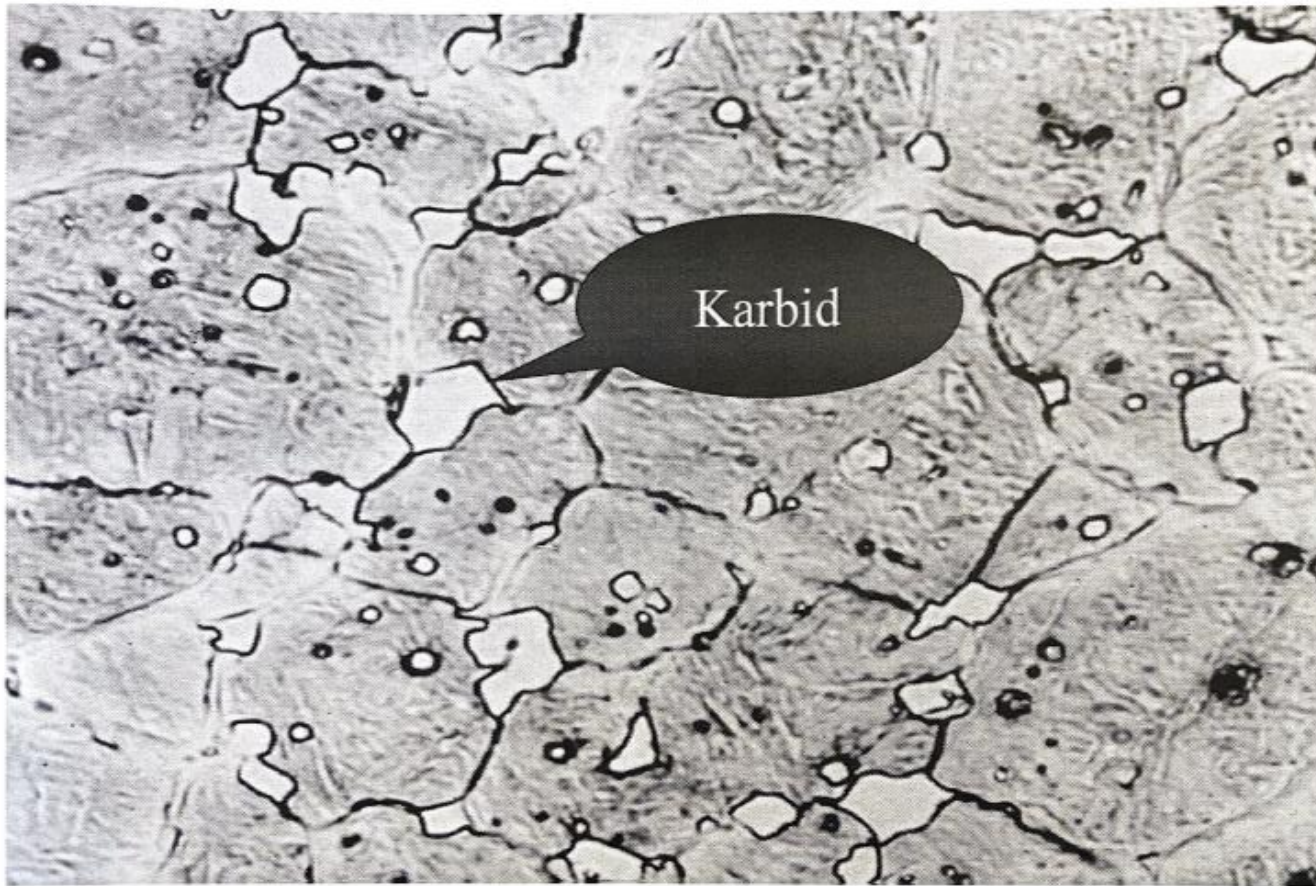
# Abrasiv slidtage



# Karbider ?



# Abrasiv slidtage





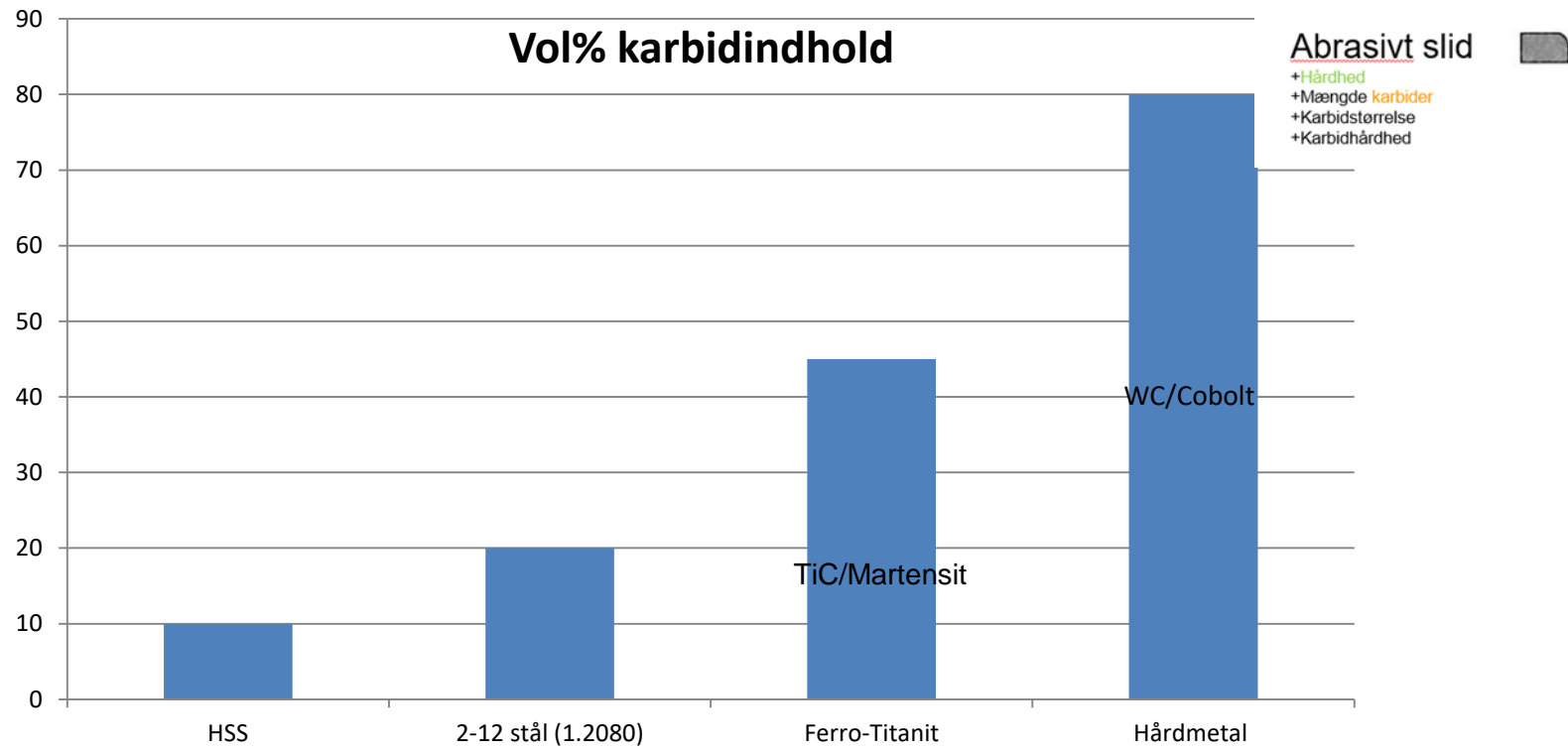
# Hårdheder, karbider

Material	Hardness, HV	Material	Hardness, HV
Gypsum	36	Fe <sub>3</sub> C	1 400
CaCO <sub>3</sub>	140	Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	1 650
CaF <sub>2</sub>	190	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	2 100
Glass	500	Mo <sub>2</sub> C	1 600
Apatite	540	TaC	1 800
Felspar	600–750	WC	2 200
Flint	950	NbC	2 400
Quartz	900–1 280	ZrC	2 600
Topaz	1 430	SiC	2 600
Corundum	1 800	VC	2 800
Diamond	10 000	TiC	3 200
		B <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	3 700

## Abrasivt slid

- +Hårdhed
- +Mængde karbider
- +Karbidsørrelse
- +Karbidthårdhed






Fe Cr W Mo V



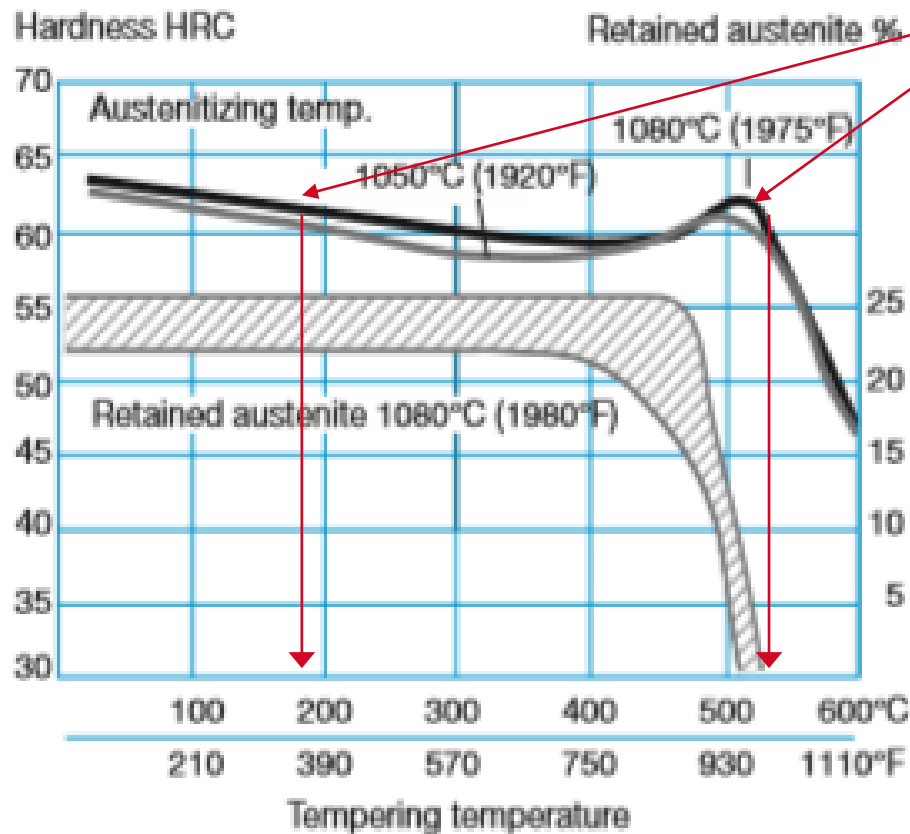
Stigende affinitet til kulstof

Abrasivt slid 

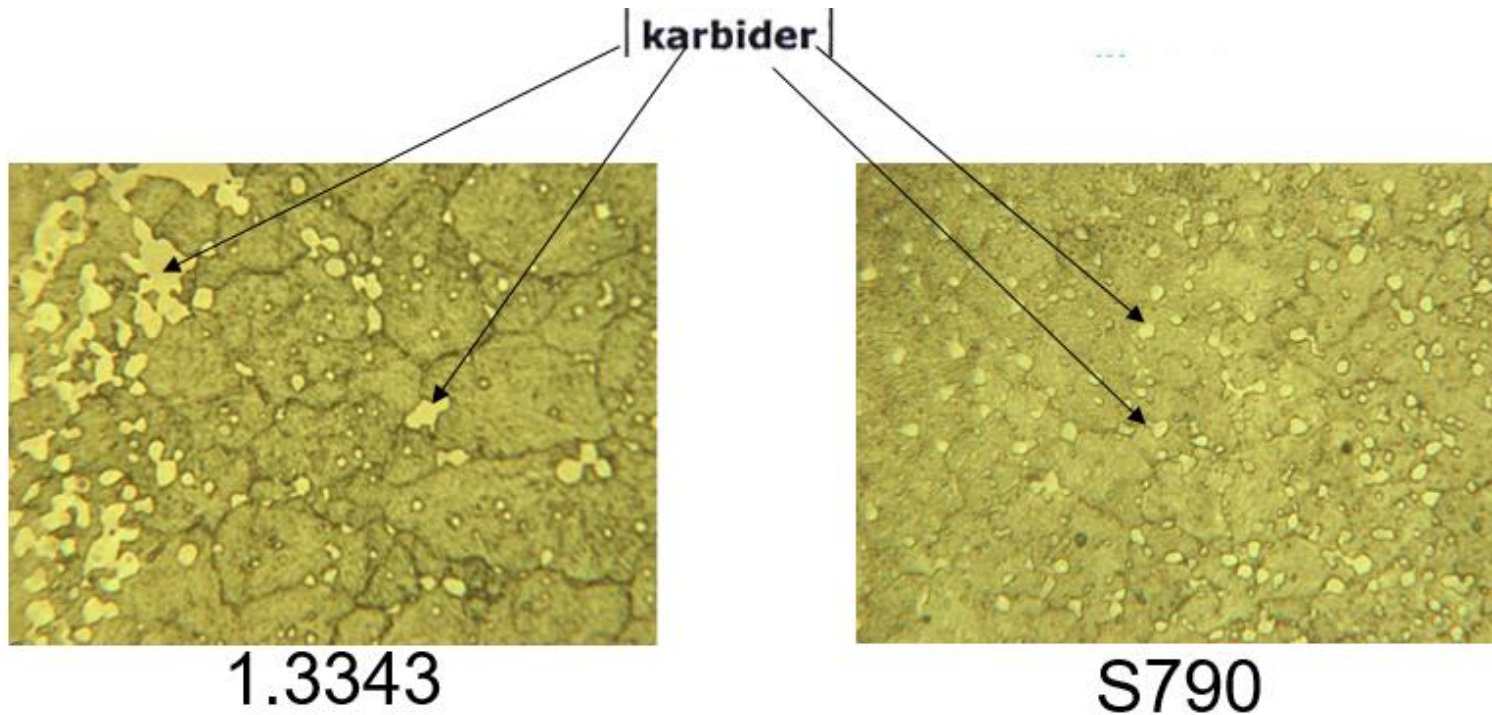
- +Hårdhed
- +Mængde karbider
- +Karbidsørrelse
- +Karbidsårdhed

## Martensitdannelse+karbidudskillelse

TEMPERING GRAPH



2 standardprocesser:  
Anl. 180°C  
Anl. 525°C

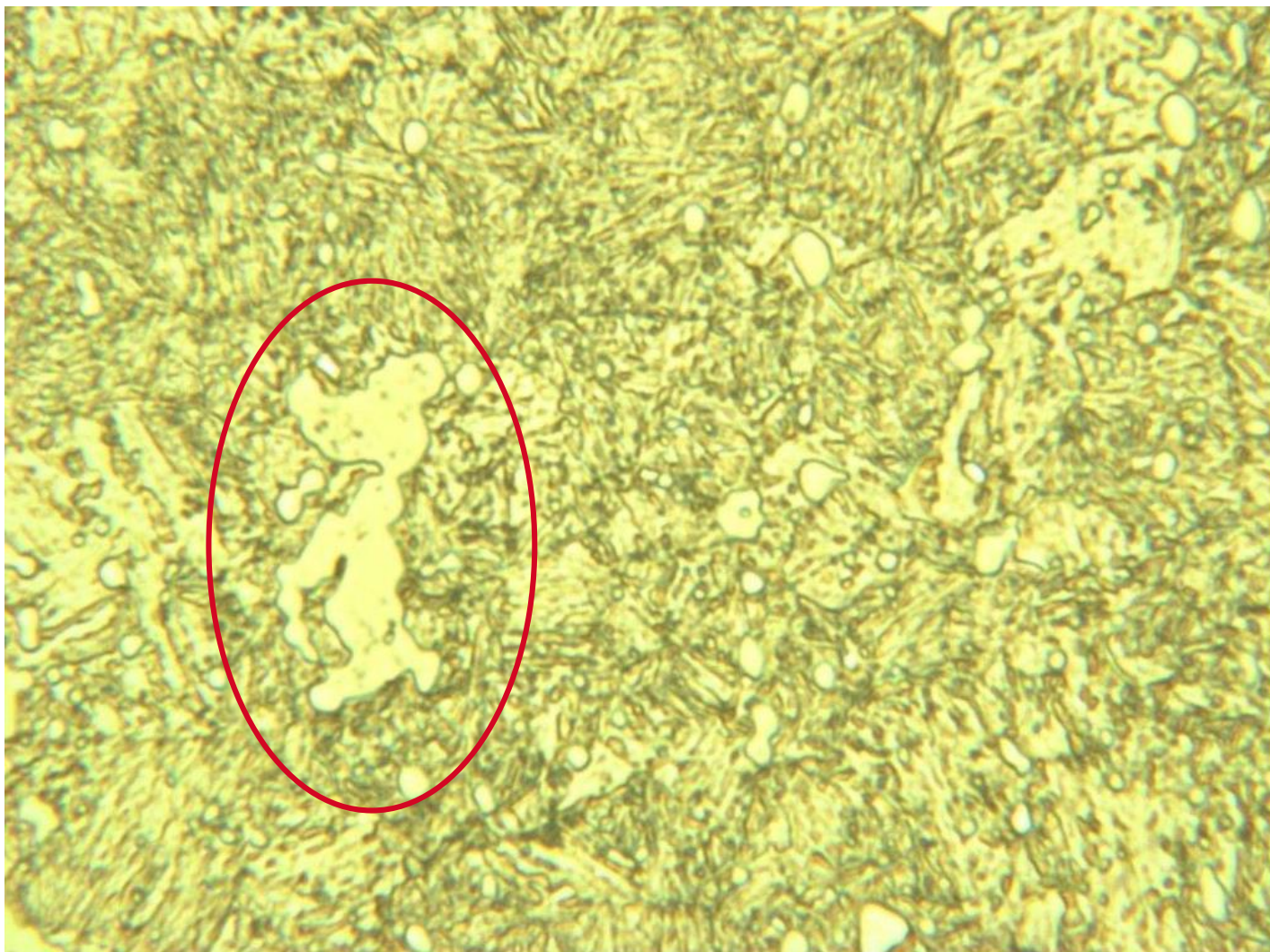


## Adhæsivt slid



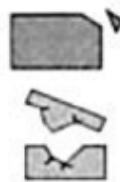
- +Hårdhed
- +Duktilitet
- Karbidstørrelse

# Adhæsiv slidtage



## Udflisning/totalharveri

+Duktilitet  
+Sejhed



## Adhæsivt slid

+Hårdhed  
+Duktilitet  
-Karbidstørrelse



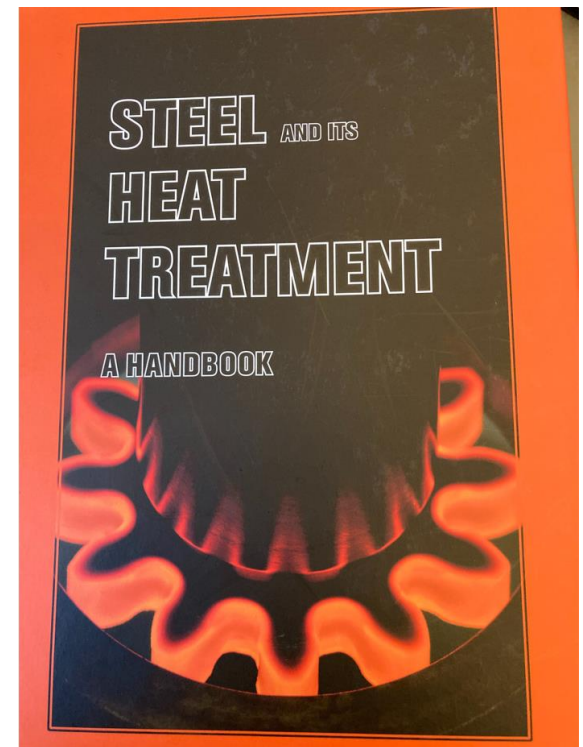


## ■ Sejhed

- Et ståls evne til at "bære en belastning" uden at en eksisterende revne begynder at vokse uregelmæssigt.

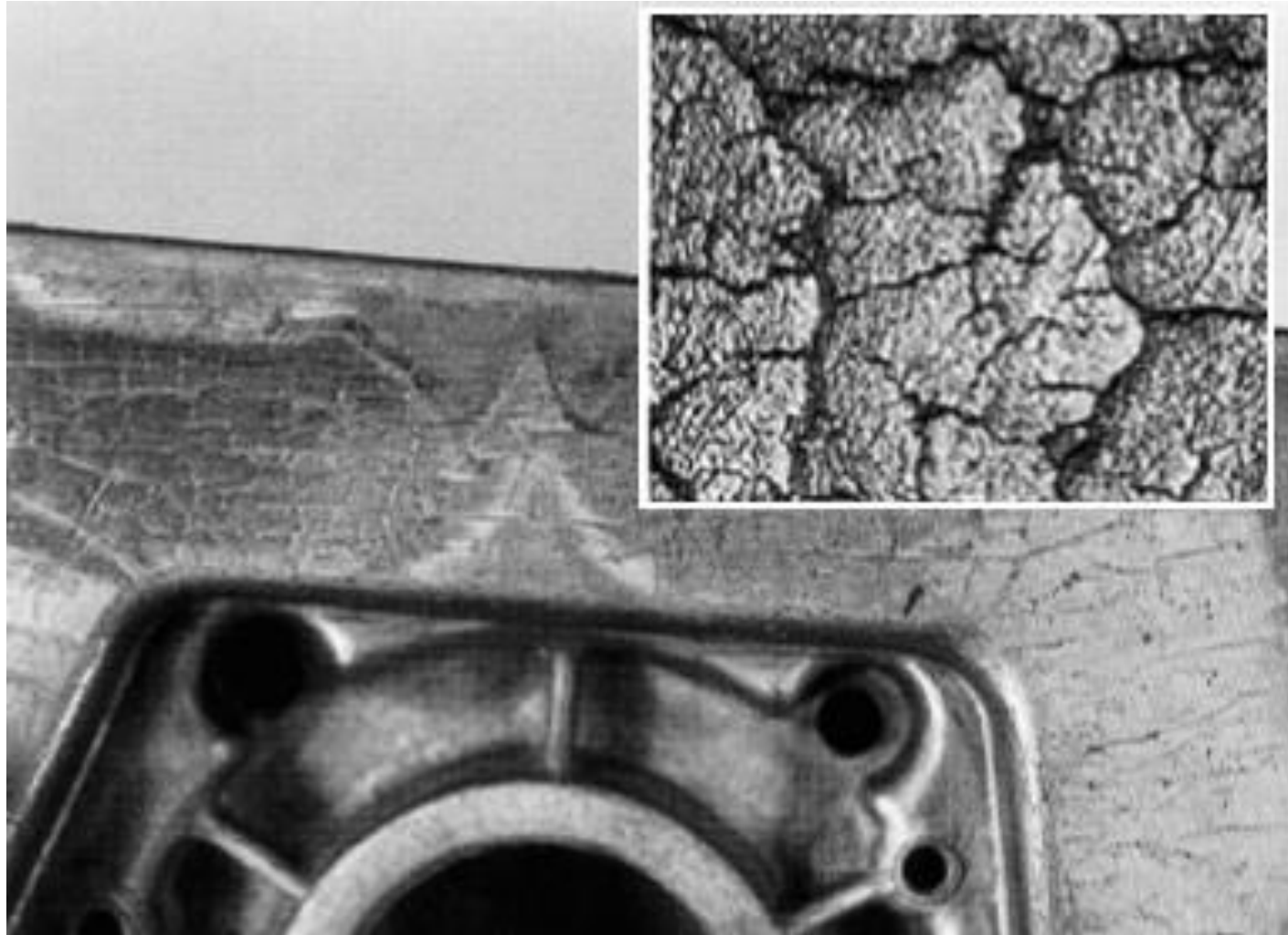
## ■ Duktilitet

- Et materiales evne til at deformere plastisk uden at det revner (= evnen til at modstå den første revne...)





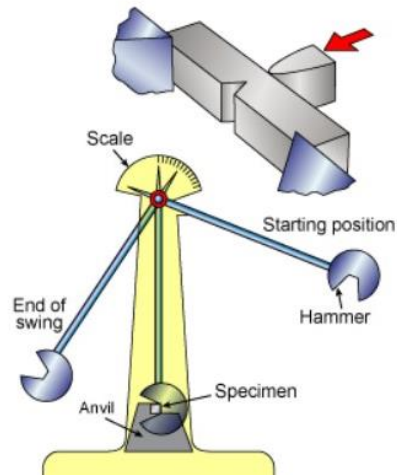
# Sejhed + Duktilitet



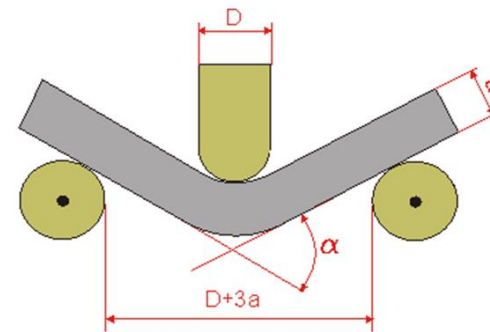
# Hvordan bestemmes et materiales seghed?

Udflisning/totalharveri  
+Duktilitet  
+Seghed

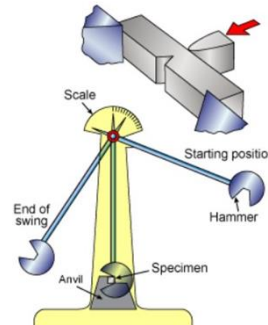
## Charpy V



## Bøjningsprøve



# Charpy V



Udflisning/totalharveri

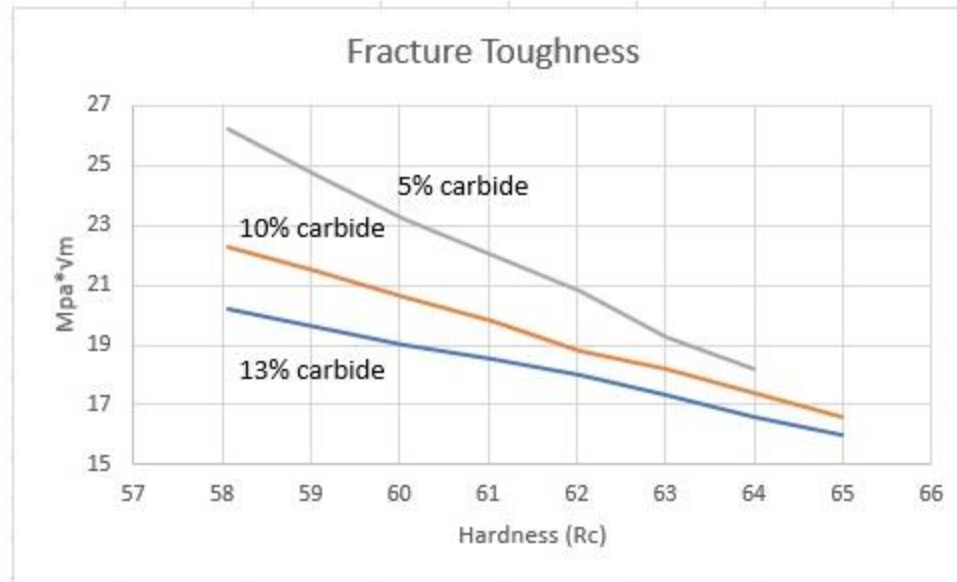
+Duktilitet

+Sejhed



Resultatet er faktisk mere korreleret til materialets kærnfølsomhed end til sejheden, men den bruges ofte til karakterisering af et hærdet ståls sejhed.

# Mængden af karbiders indflydelse på sejheden

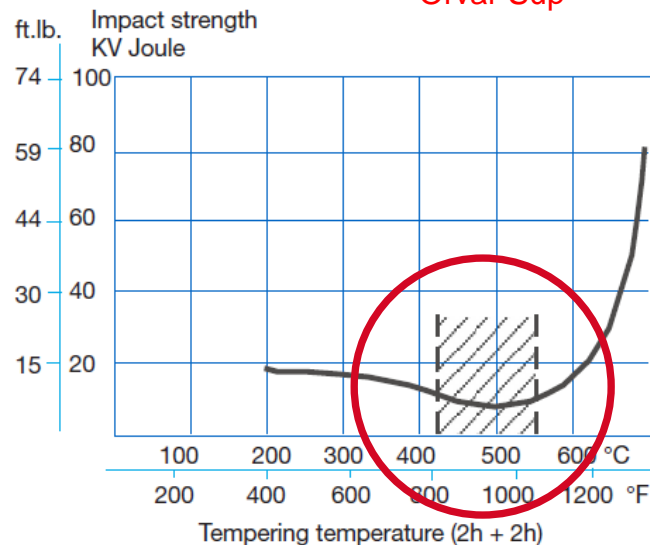




## APPROXIMATE IMPACT STRENGTH AT DIFFERENT TEMPERING TEMPERATURES

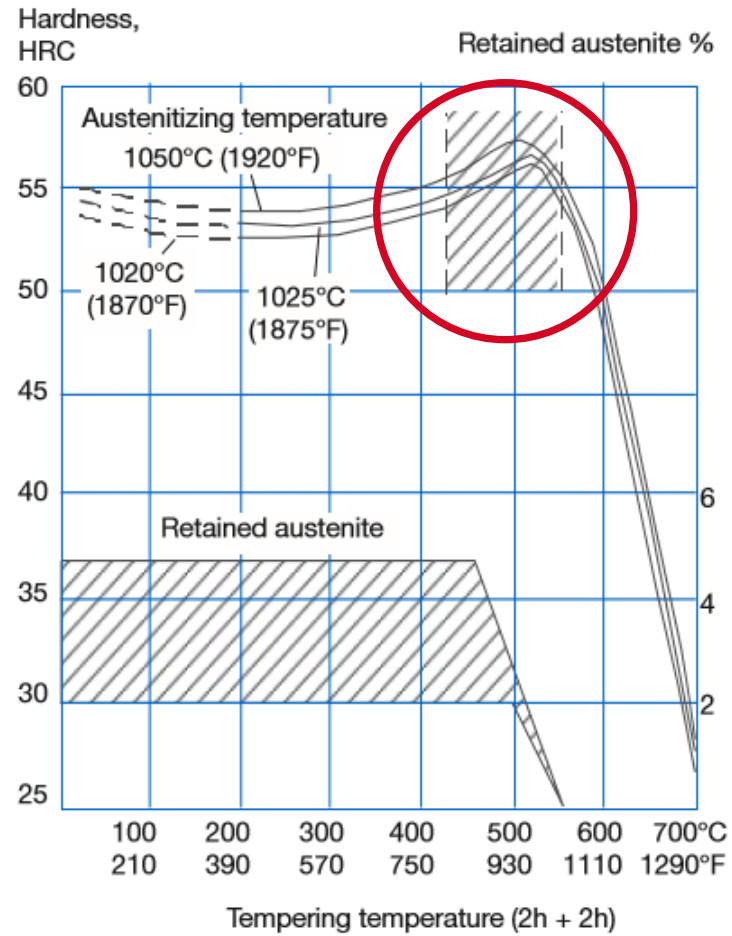
Charpy V specimens, short transverse direction.

Uddeholm  
Orvar Sup



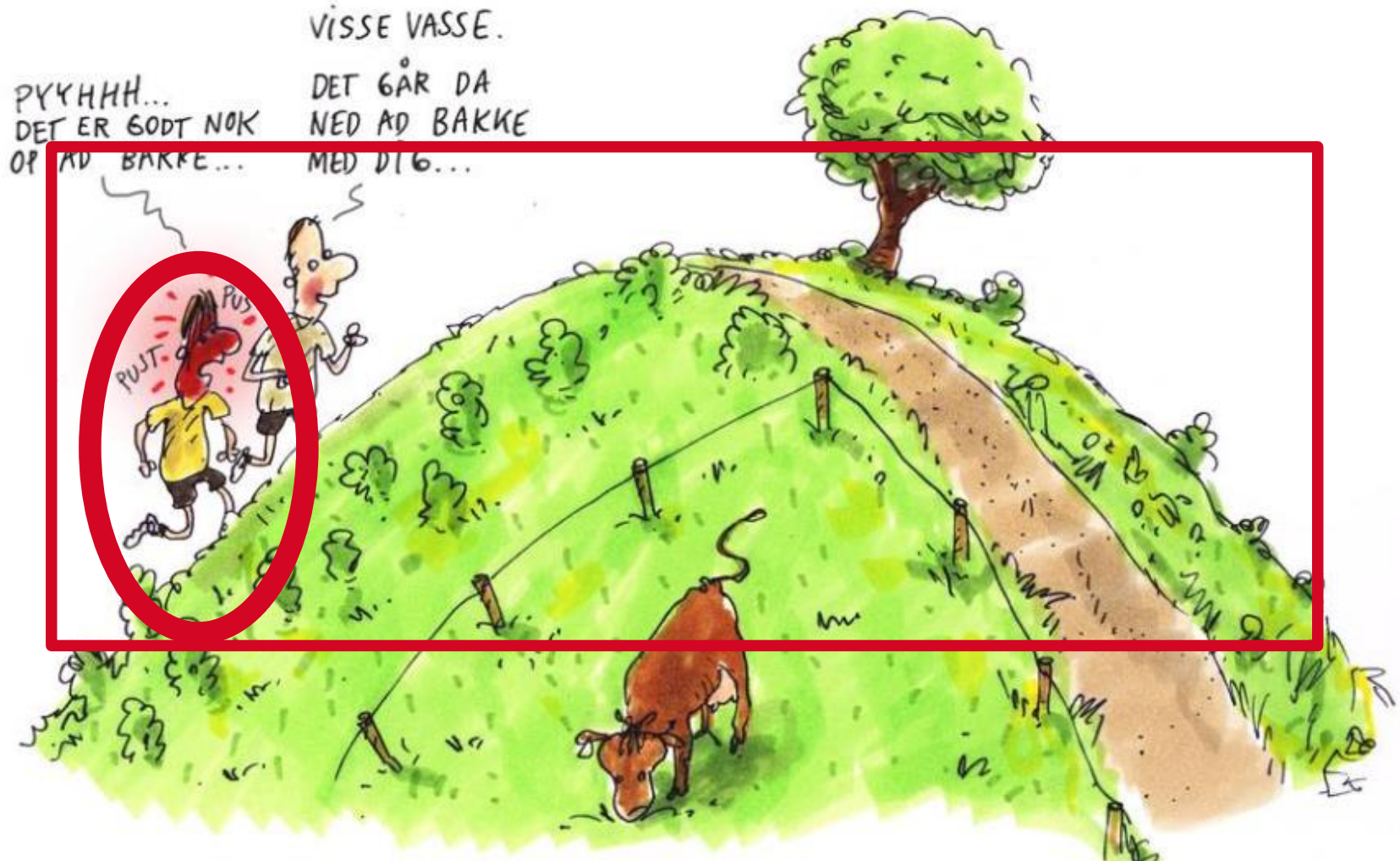
Tempering within the range 425–550°C (800–1020°F) is normally not recommended due to the reduction in toughness properties.

### TEMPERING GRAPH



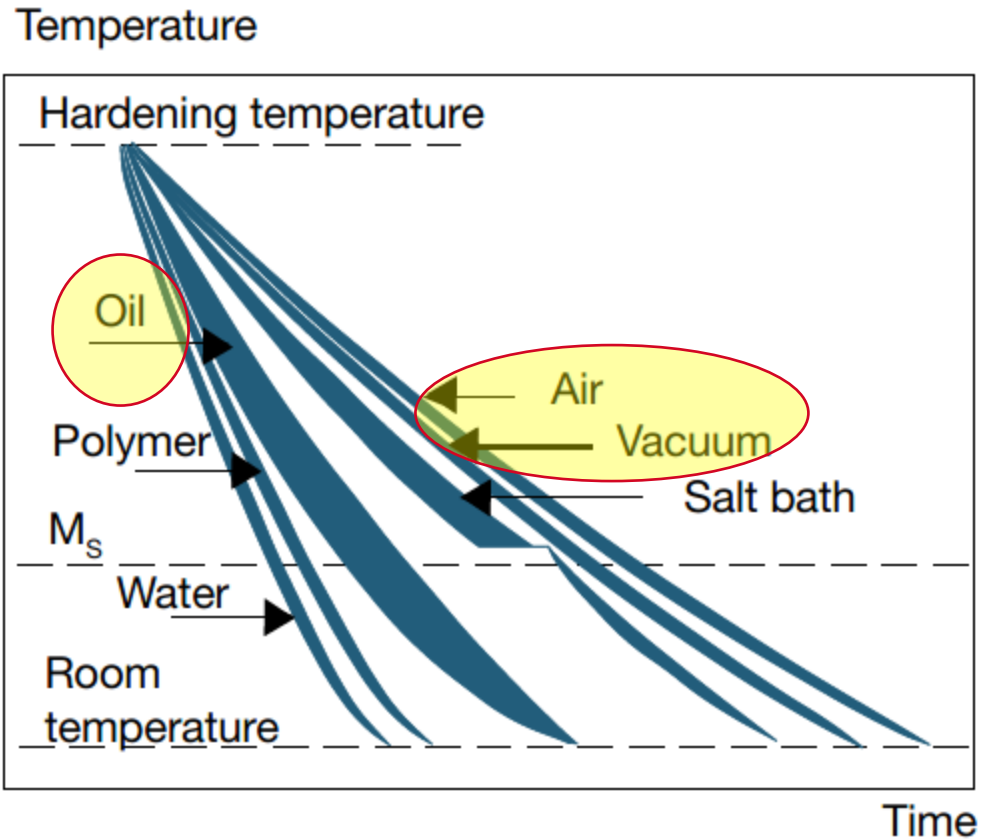


# Må jeg minde om denne....



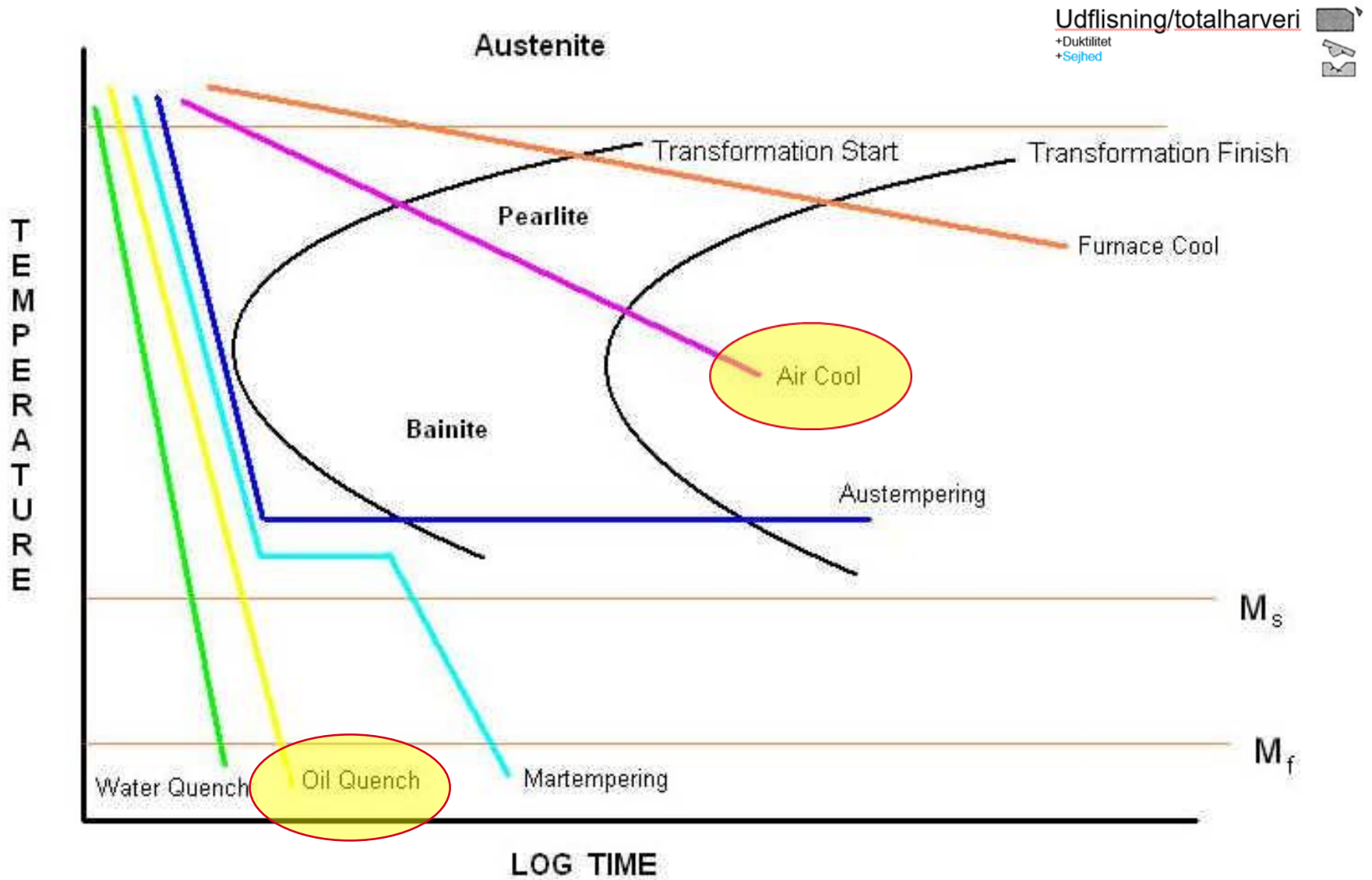
**Bodycote**

# Kølehastighedens betydning for hårdheden/sejhed ?



*Cooling rates for various media.*

# CCT



# Kølehastighed?

Traditionel tankegang:  
Så hurtigt som muligt, når  
der tages hensyn til :  
-risiko for revner i emnet  
-struktur  
-mål-/formændringer



Udflysning/totalharveri

+Duktilitet  
+Sejhed



Hvordan er virkeligheden...

**Bodycote**



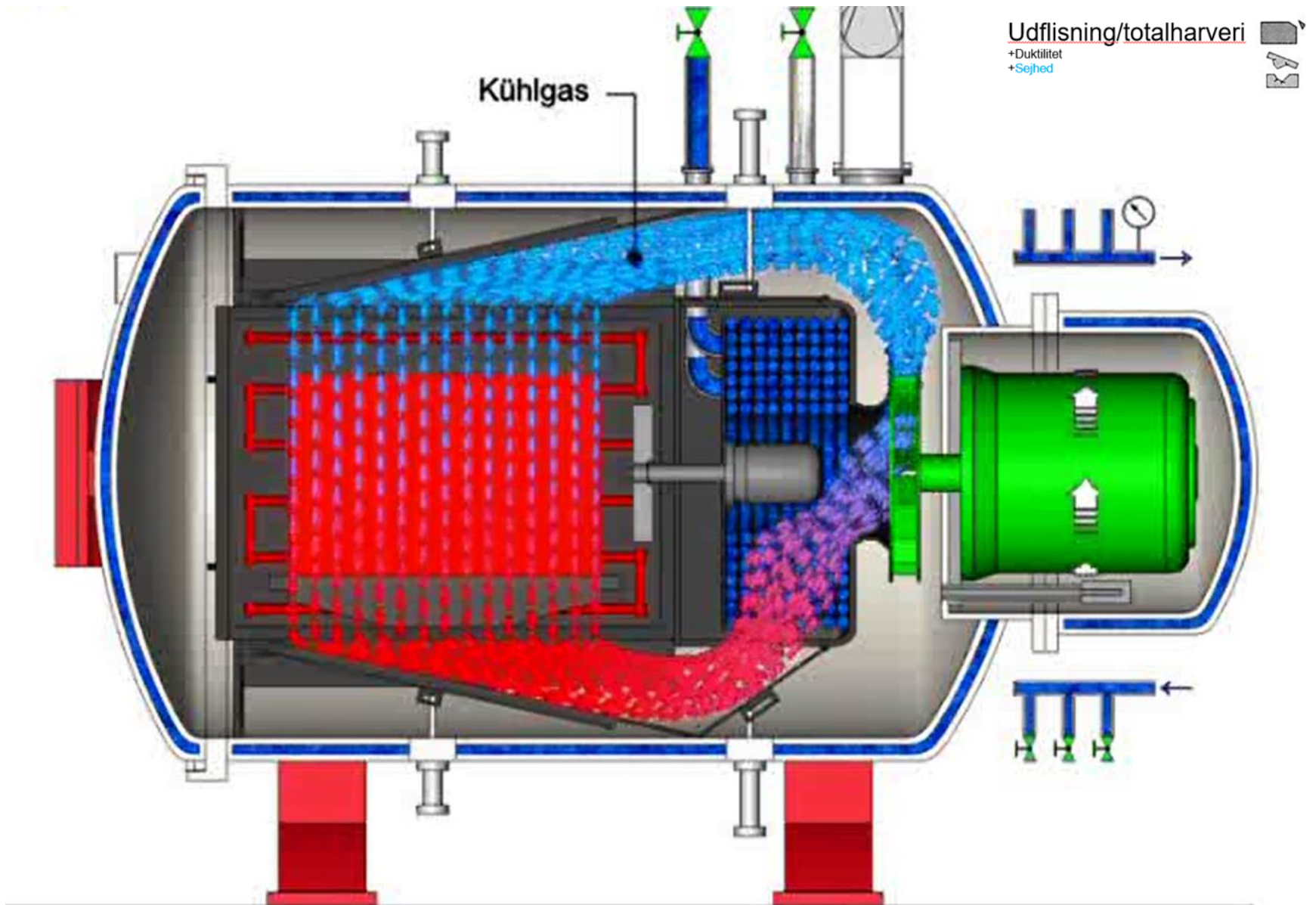
# Moderne tider



**Bodycote**



# 1 kammer vakuumovne





# 2 kammer, vakuumovne

Dimension:  
600x900x600 mm

Max. chargevægt:  
brutto 600 Kg

Køletryk 10 bar

Køleretninger:  
2 horisontalt + 2 vertikalt

Gasflow 21.000 m<sup>3</sup>/h

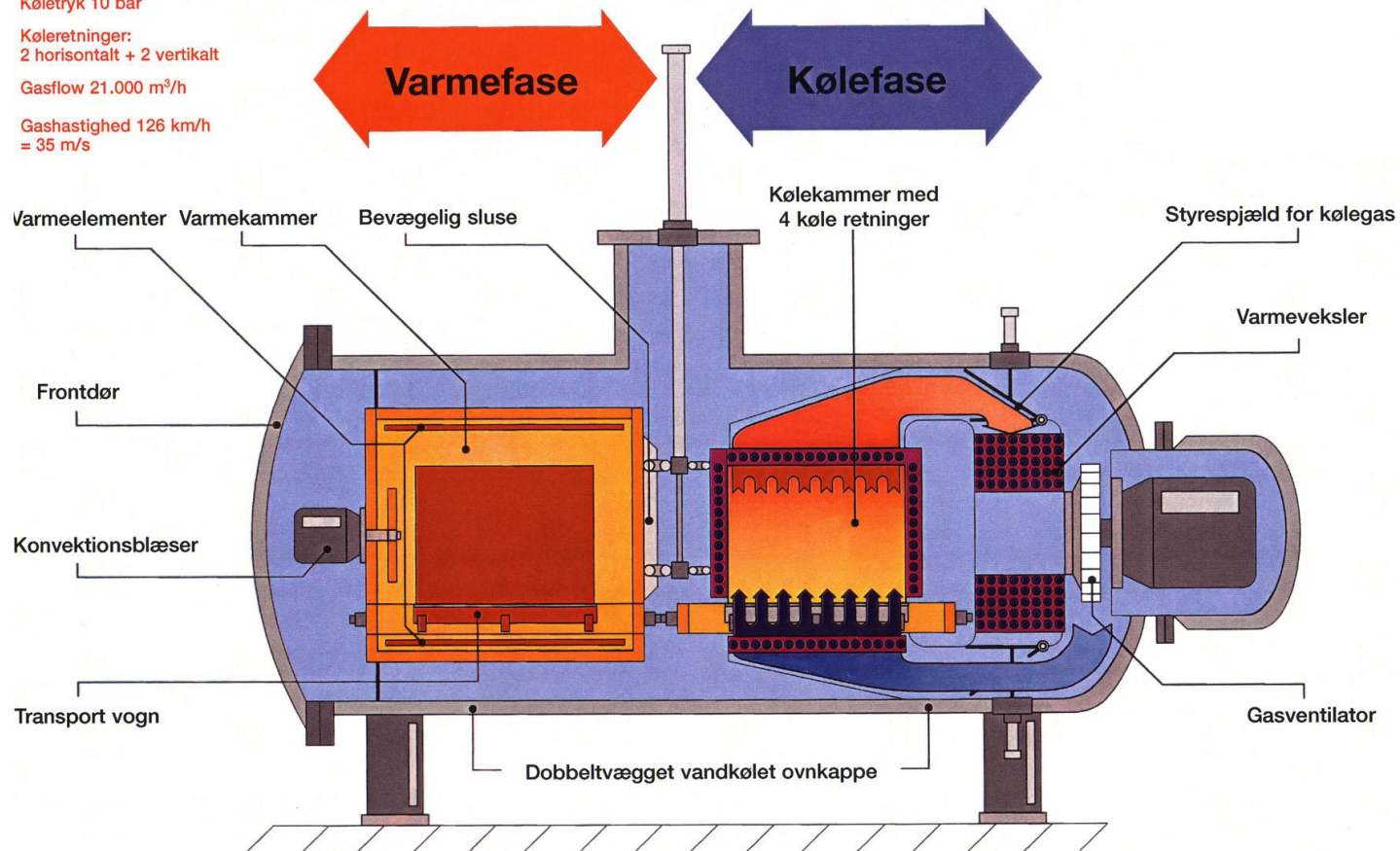
Gashastighed 126 km/h  
= 35 m/s

## SCHMETZ System \*2 PLUS\*

IKU 140/2F 600x900x600 2x2 R - 10 bar

Udflysning/totalharveri

+Duktilitet  
+Sejhed



# Dummy

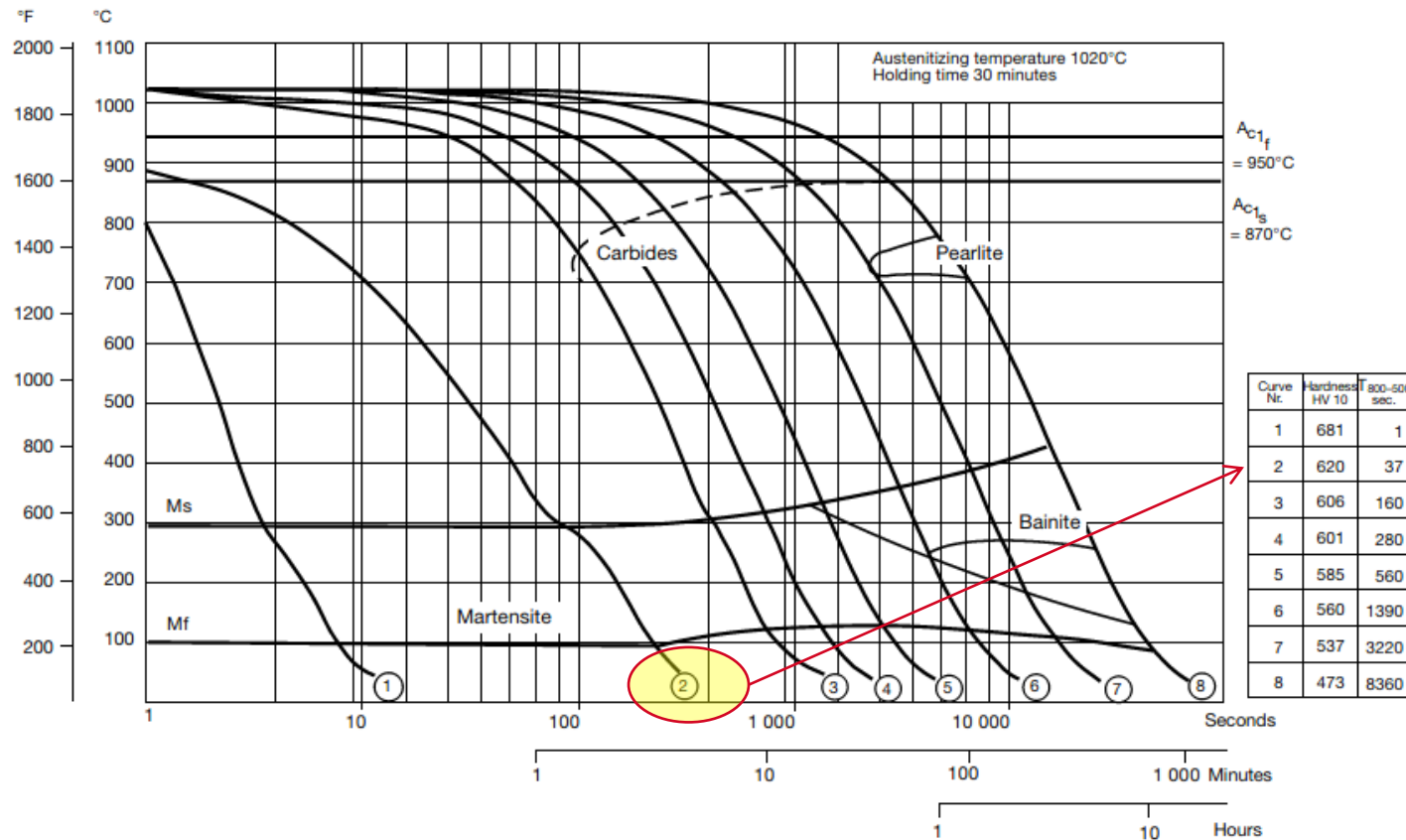


# Kølehastigheden har betydning for hårdheden

Udflisning/totalharveri  
 +Duktilitet  
 +Sejhed

CCT GRAPH Orvar Sup / 1.2344/W302

Austenitizing temperature 1020°C (1870°F). Holding time 30 minutes.

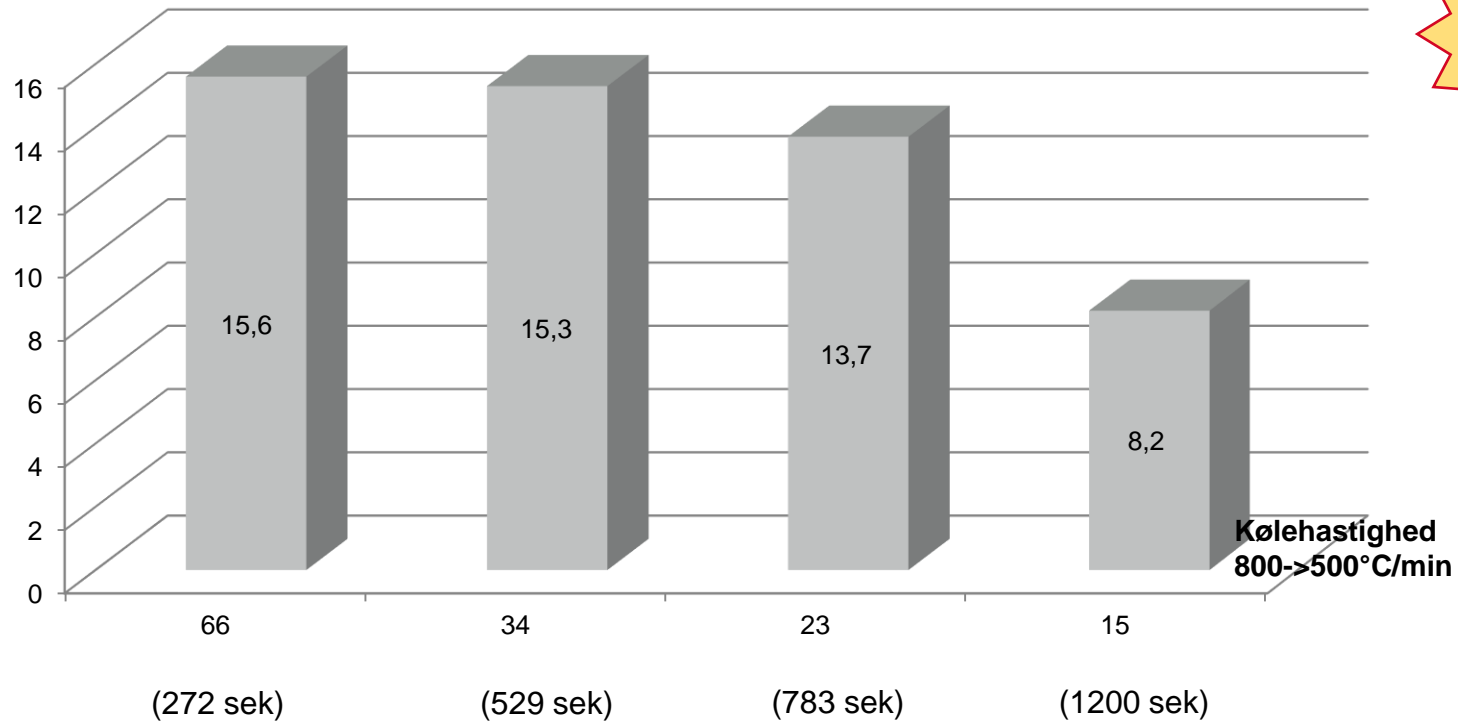


# Men også betydning for sejheden

Udflisning/totalharveri  
+Duktilitet  
+Sejhed



Sejhed, Charpy V, J



Orvar Sup dim : 762 x 305 x 250 mm



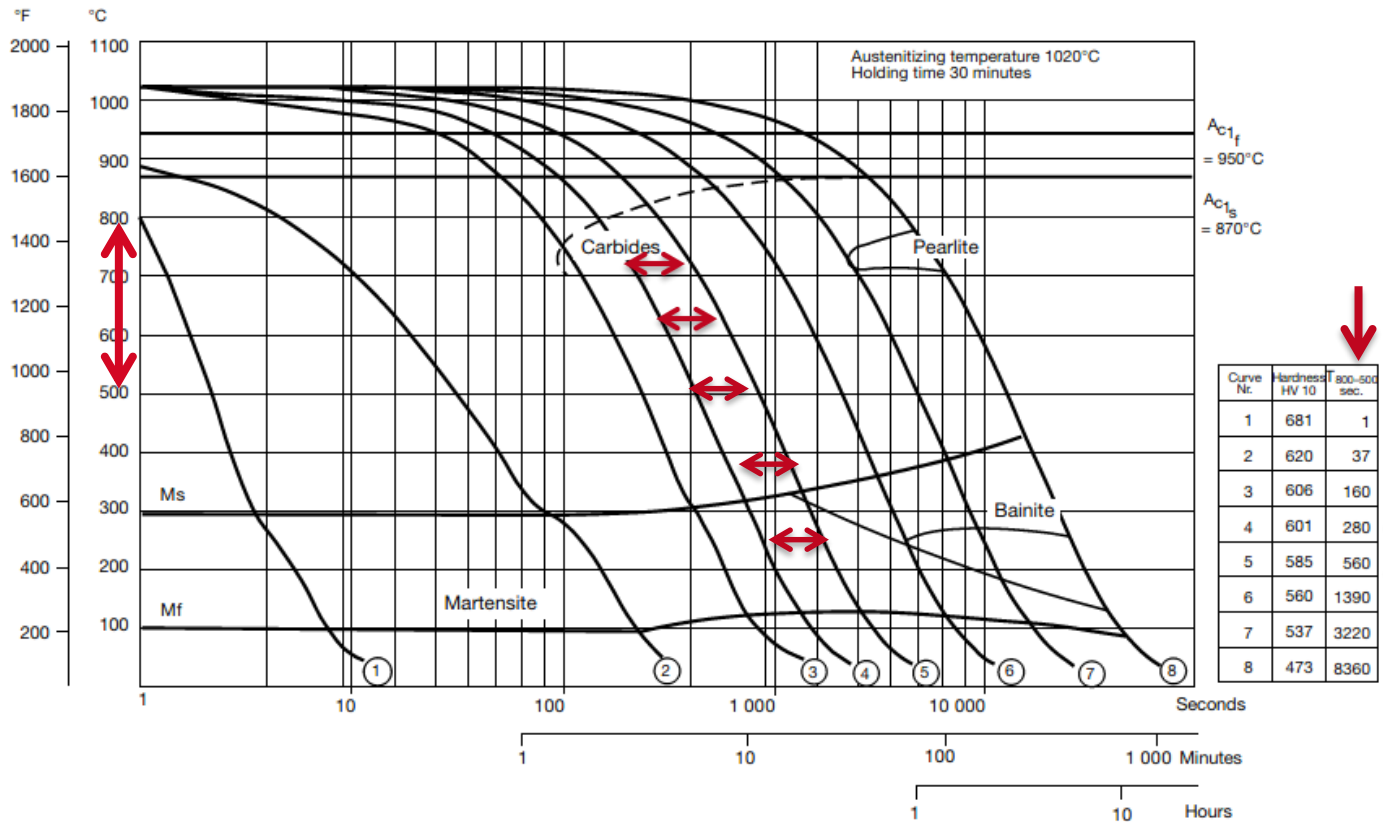
# Orvar Sup – optimal kølehastighed

## CCT GRAPH

Austenitizing temperature 1020°C (1870°F). Holding time 30 minutes.

Udflysning/totalharveri

+Duktilitet  
+Sejhed



# Vakuumovn - procesudskrift

Udflysning/totalharveri  
+Duktilitet  
+Sejhed






1.forvarmningstrin

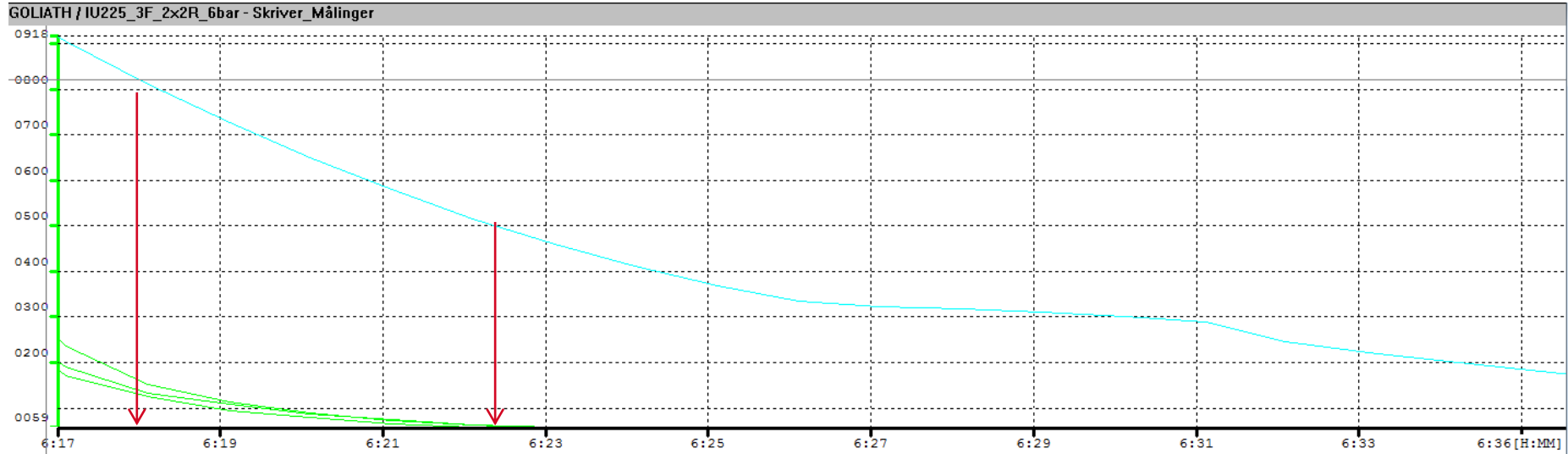
2.forvarmningstrin

Hærdetemperatur

Køling

# Tid, 800°C->500°C

Udflysning/totalharveri   
+Duktilitet   
+Sejhed 

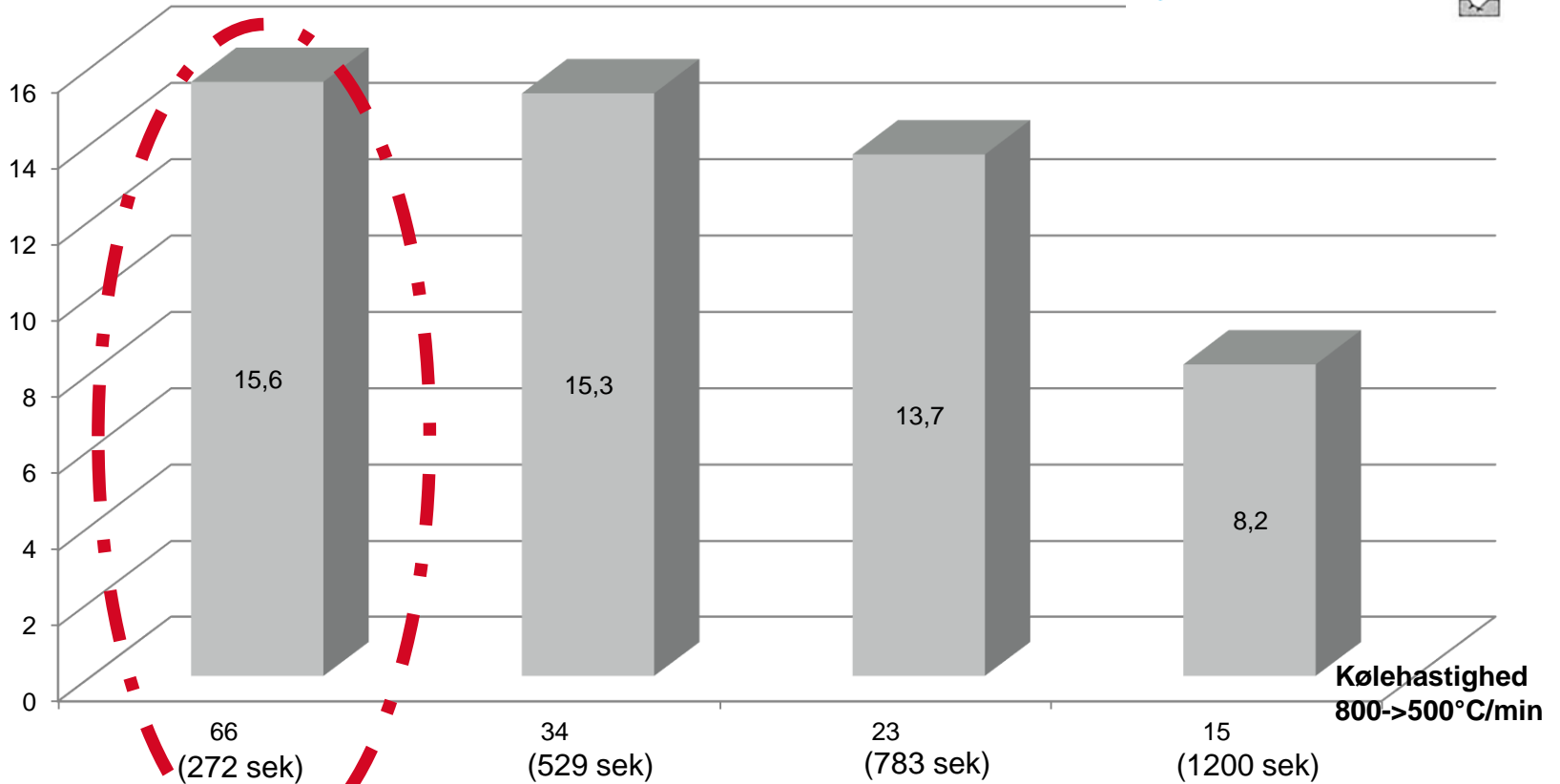


Fra 6:18:00 -> 6:22:30 = 270 sek -> 66,7°C/min

# Hvor ligger vi så med Orvar Sup ?

Sejhed, Charpy V, J

Udflisning/totalharveri   
+Duktilitet   
+Sejhed






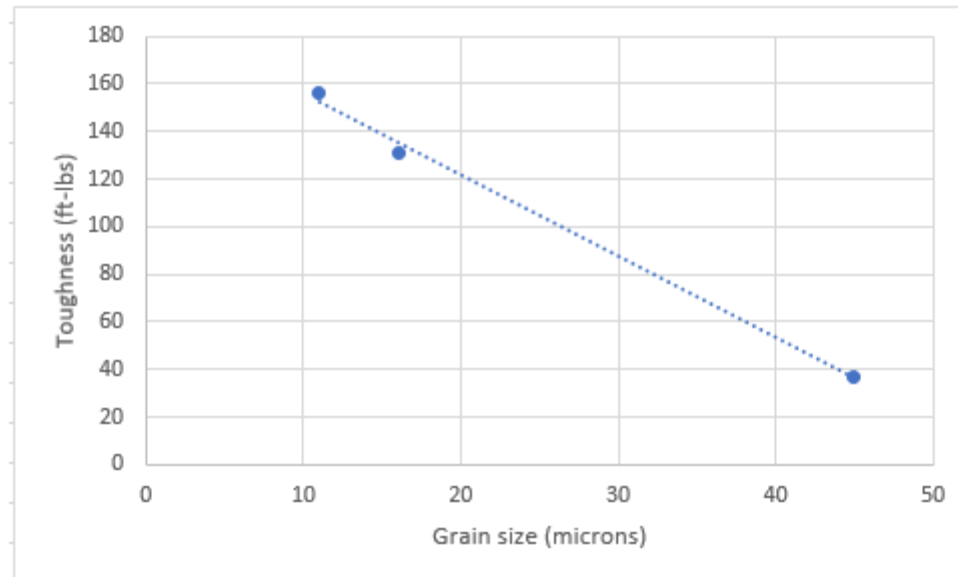
Orvar Sup dim : 762 x 305 x 250 mm





# Kornstørrelsens indflydelse på sejheden

Udflisning/totalharveri   
+Duktilitet   
+Sejhed 



G:

10

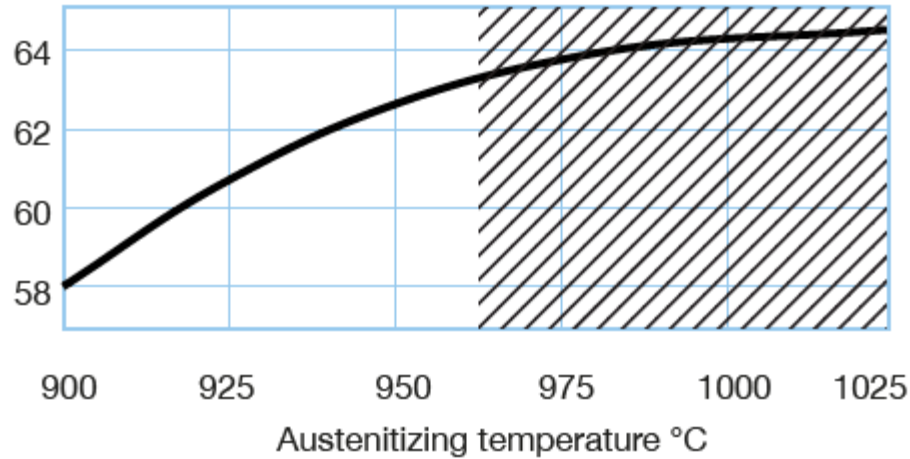
7

6

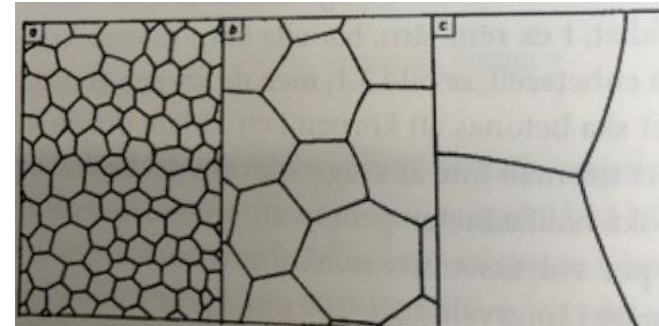
# Kornstørrelsens indflydelse på sejheden

Calmax

Hardness, HRC



Risk for grain growth and reduced toughness.



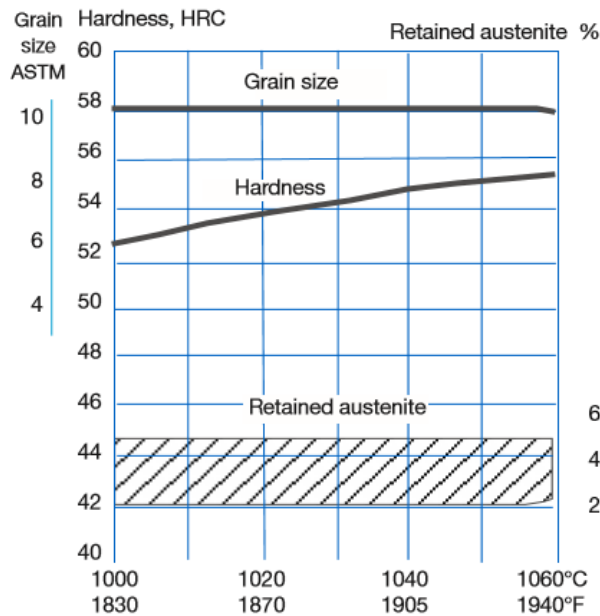
Stigende hærdetemperatur

# Hvordan kan vi styre kornstørrelsen?

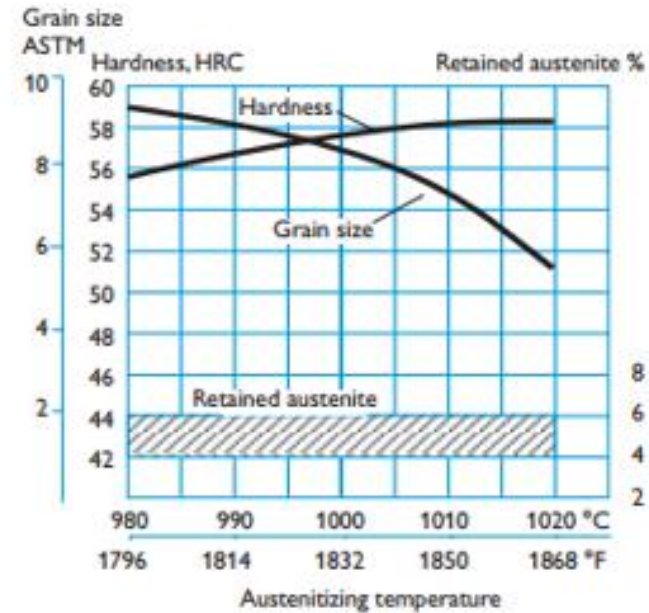
- Kornforfinende legeringselementer (f.eks. Vanadin (V))

1.2344

1.2343



C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0.39	1.0	0.4	5.2	1.4	0.9



C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0.38	1.0	0.4	5.0	1.3	0.4

**Bodycote**

# Hvad så med de rustfrie stål....?



**BÖHLER**

HIGHLIGHT GRADES

- BÖHLER M 303 EXTRA
- BÖHLER M 333 ISOPLAST®
- BÖHLER M 340 ISOPLAST®
- BÖHLER M 390 MICROCLEAN
- BÖHLER N 690 EXTRA

A PURE MATTER OF TASTE

BÖHLER special steels for the food industry

BÖHLER special steels for the food industry are absolutely safe in terms of health risks due to their high purity and corrosion resistance, and they do not lead to any taste impairment in direct contact with foods.

voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG  
[www.voestalpine.com/bohler-edelstahl](http://www.voestalpine.com/bohler-edelstahl)

voestalpine  
ONE STEP AHEAD.

# Uddeholm

## Stavax<sup>®</sup> ESR

Typical analysis %	C 0.38	Si 0.9	Mn 0.5	Cr 13.6	V 0.3
Standard specification	AISI 420 modified				
Delivery condition	Soft annealed to approx. 190 HB.				
Colour code	Black/Orange				

Generelt kan siges, at desto hårdere stålet er, desto længere levetid har skæret, før det bliver sløvt. I det følgende ses en oversigt over de ståltyper, der i dag oftest anvendes til fremstilling af sakse:

**420: \***

Denne ståltipe er stadig meget brugt til sakse. Mange tyske sakse er lavet af 420-stål, og de har en god smidighed og sejhed samt middel modstandsdygtighed overfor rustangreb.

Hårdhed	48-50Rc
Indhold	C: 0,15%, Cr: 12-14%, Mn: 1%, Si: 1%, P: 0,04%, S: 0,03%
Holdbarhed	Typisk 6-12 måneder

**440A og 440B: \*\***

Disse typer har et lidt lavere kulstofindhold end type 440C og kan derfor ikke hærdes så højt som 440C. Typen giver derimod en lidt bedre beskyttelse overfor rustangreb end type 440C.

Hårdhed	56-57Rc
Indhold	C: 0,65-0,95%, Cr: 16-18%, Mo: 0,75%, Mn: 1%, Si: 1%, P: 0,04%, S: 0,03%
Holdbarhed	Typisk 10-16 måneder

**6CR14: \*\***

Denne ståltipe anvendes til produktion af frisørsakse, klippeskær samt barberblade. Stålet er meget lig det meget anvendte ståltipe 440C dog uden indhold af molybdæn.

Hårdhed	57-59Rc
Indhold	C: 0,6%, Cr: 13,5%, Mn: 0,4%, Si: 0,4%, P: 0,035%, S: 0,03%
Holdbarhed	Typisk 12-18 måneder

**9CR18: \*\***

Denne ståltipe anvendes også til produktion af kuglelejer. Stålet er meget lig det meget anvendte ståltipe 440C dog uden indhold af molybdæn.

Hårdhed	57-59Rc
Indhold	C: 0,95-1,2%, Cr: 17-19%, Mn: 0,8%, Si: 0,8%, P: 0,035%, S: 0,03%
Holdbarhed	Typisk 12-18 måneder

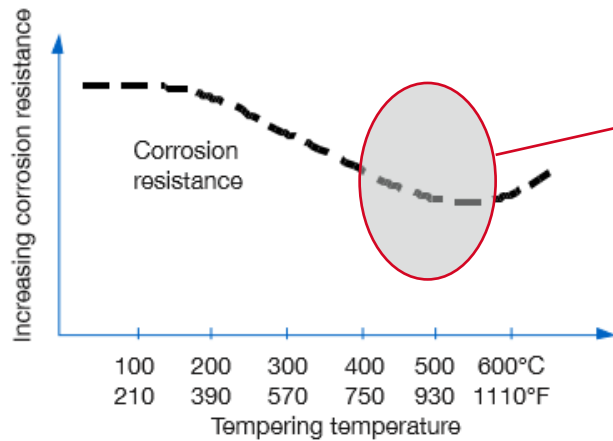
**440C: \*\*\***

Dette er den mest anvendte ståltipe til sakse i den bedre kvalitet, især hvis stålet kommer fra Hitachi. Ydermere er 440-serien uden indhold af nikkel, hvilket gør den perfekt til dem, der lider af nikkelallergi.

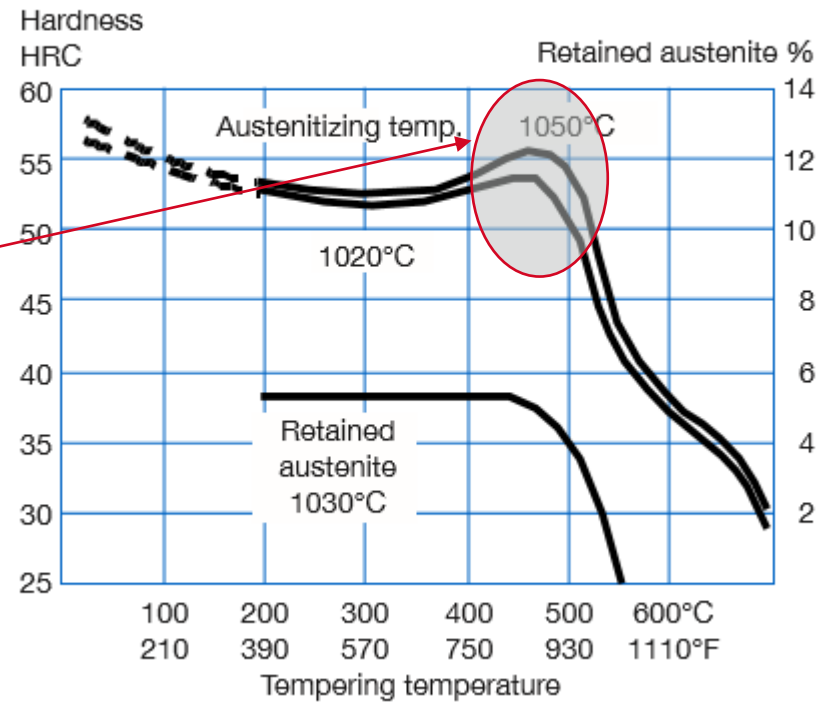
Hårdhed	57-59Rc
Indhold	C: 0,95-1,2%, Cr: 16-18%, Mo: 0,75%, Mn: 1%, Si: 1%, P: 0,04%, S: 0,03%
Holdbarhed	Typisk 12-18 måneder



### THE INFLUENCE OF TEMPERING TEMPERATURE ON CORROSION RESISTANCE

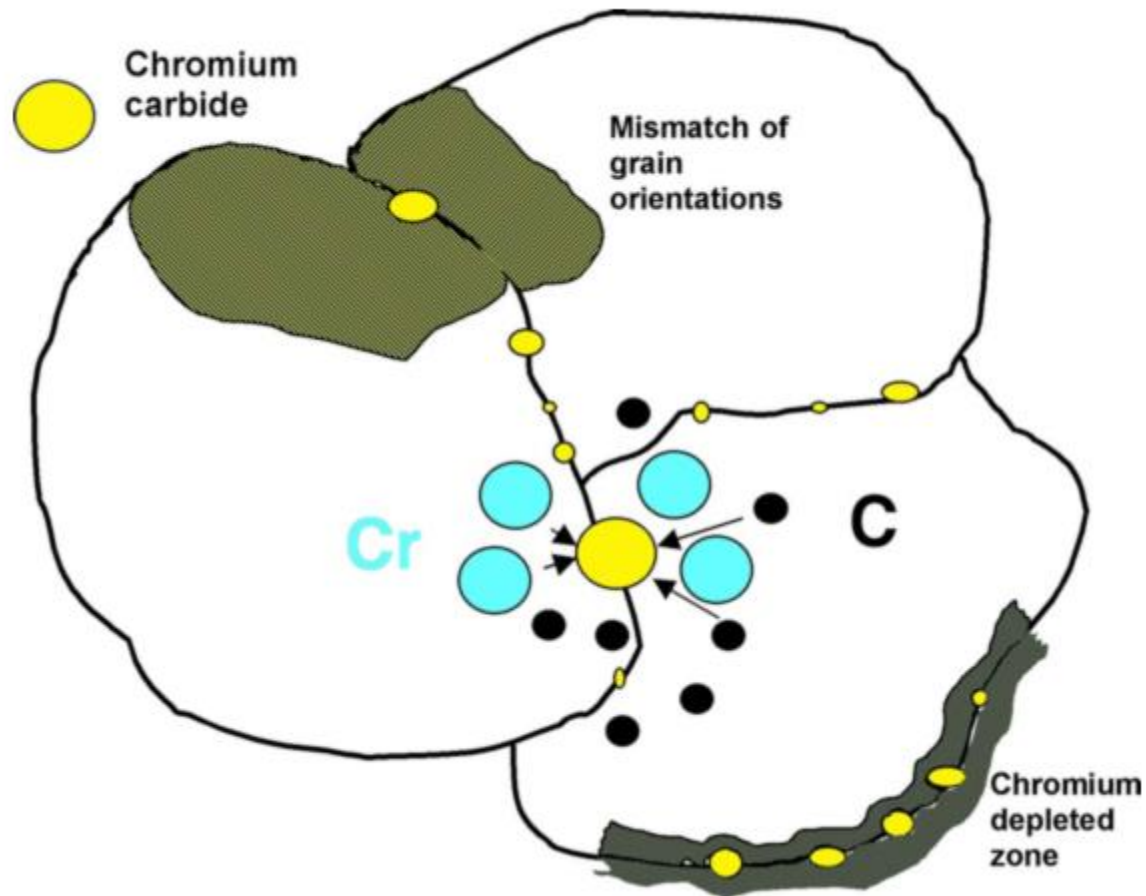


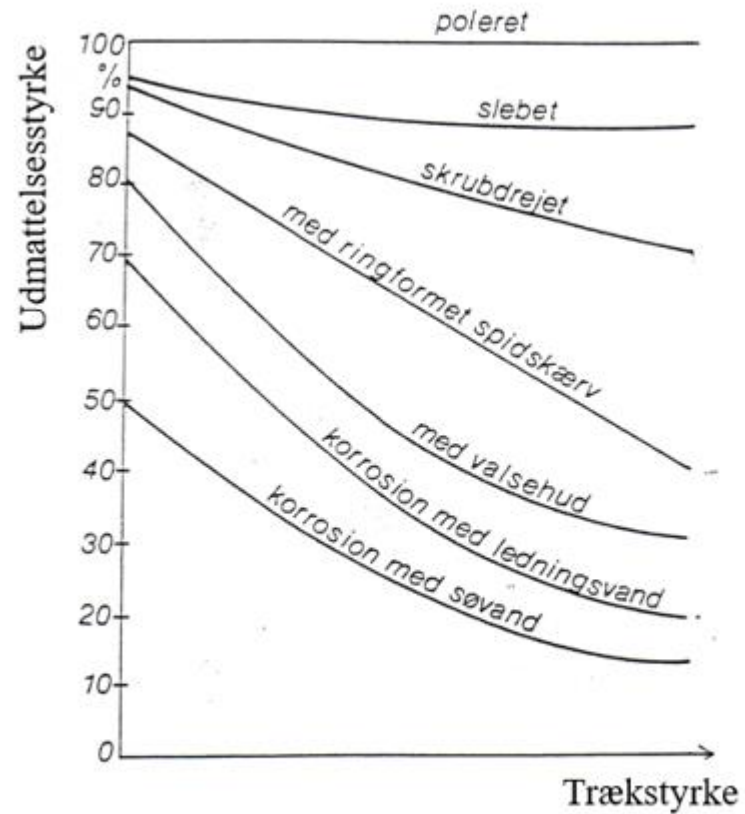
### TEMPERING GRAPH





# Udskillelse af kromkarbider





## Stavax ESR

Temperature		Soaking time* minutes	Hardness before tempering
°C	°F		
1020	1870	30	56±2 HRC
1050	1920	30	57±2 HRC

\* Soaking time = time at hardening temperature after the tool is fully heated through

## Orvar Sup

Temperature		Soaking* time minutes	Hardness before tempering
°C	°F		
1025	1875	30	53±2 HRC
1050	1920	15	54±2 HRC

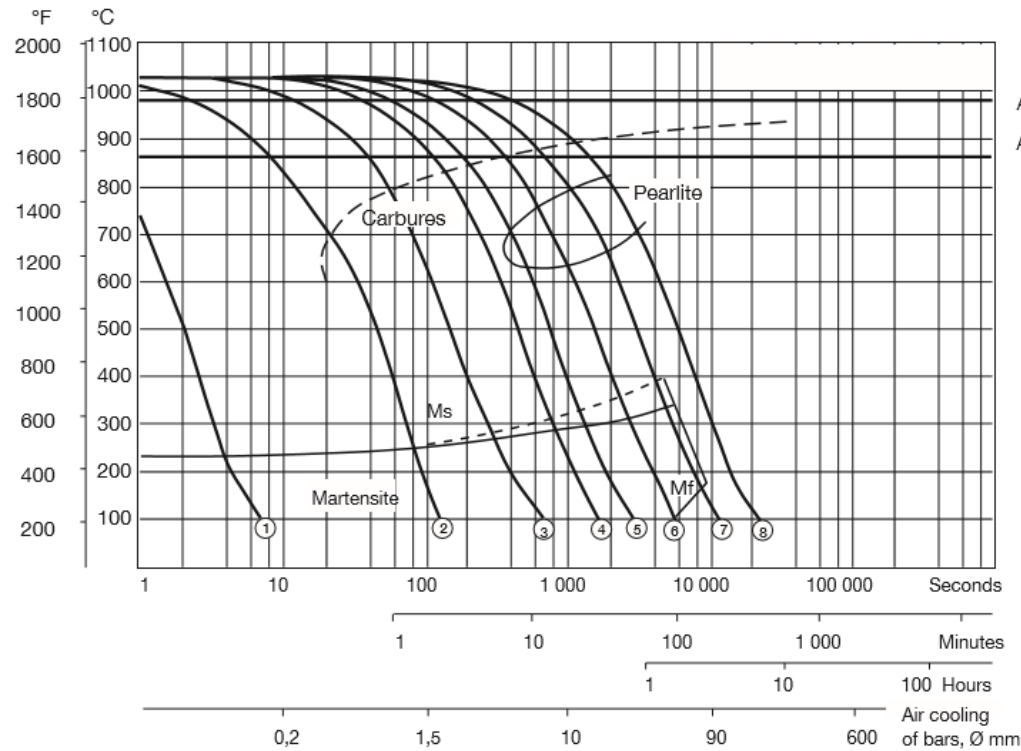
\* Soaking time = time at hardening temperature after the tool is fully heated through

# Køles hurtigere....

Uddeholm Stavax ESR

## CCT-GRAPH

Austenitizing temperature 1030°C (1890°F). Holding time 30 minutes.



$A_{C1f} = 980^{\circ}\text{C}$  (1800°F)

$A_{C1s} = 860^{\circ}\text{C}$  (1580°F)

Cooling curve No.	Hardness HV10	$T_{900-500}$ sec.
1	649	1
2	634	31
3	613	105
4	592	316
5	585	526
6	421	1052
7	274	2101
8	206	4204

# Kan det blive hårdt ?

Chemical composition (average %)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
1,90	0,70	0,30	20,00	1,00	4,00	0,60

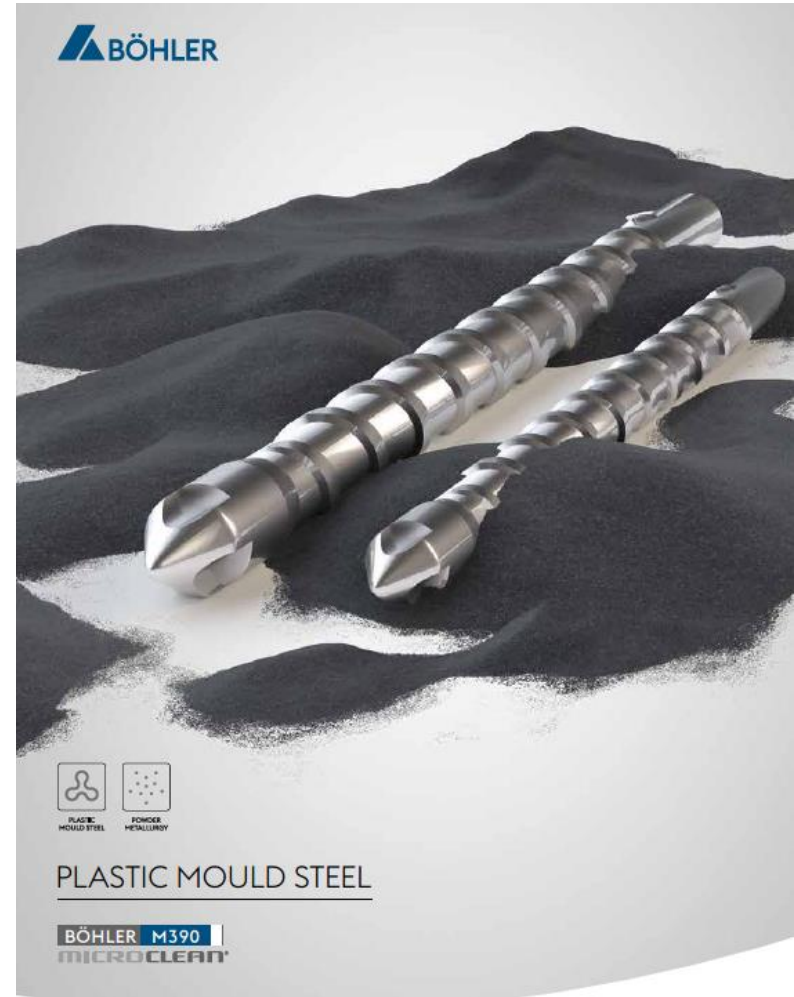
C  
1,90%

Cr  
20%

V  
4%

W  
0,6%

- ✓ Kulstof
- ✓ Karbiddanner (V, W, Mo, Cr og naturligvis Fe)



# Kan det blive hårdt ?

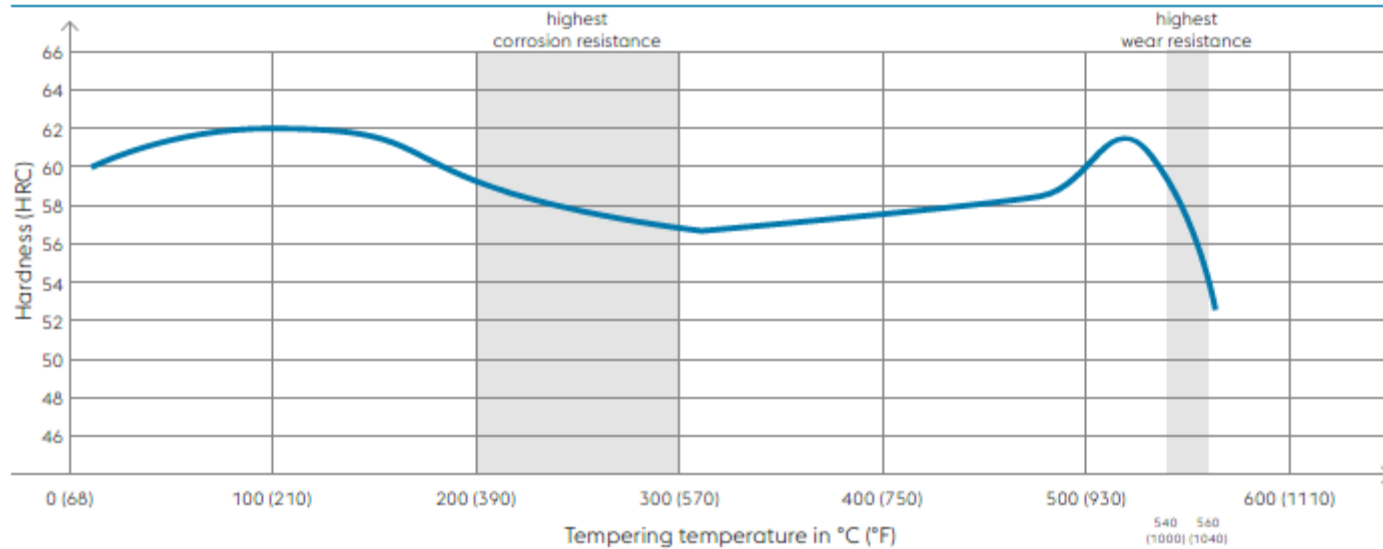
- ✓ Kulstof
- ✓ Karbiddanner (V, W, Mo, Cr og naturligvis Fe)

# Hærdetemperaturen ?

- 1100-1180°C

# Anløbning ?

Tempering chart (without subzero treatment)





**Bodycote**