

Kompendium / Høgskolen i Gjøvik, 2012 nr. 9

# Sveisbare konstruksjonsstål

Henning Johansen



Gjøvik 2012

ISSN: 1503-3708

# ***Sveisbare konstruksjonsstål***

---



*Henning Johansen*

	side:
INNHold	2
FORORD	3
1 INNLEDNING	3
2 HVA ER STÅL?	4
3 INNDELING AV STÅLTYPEN	4
4 GASSER I STÅL	6
5 TETTING AV STÅL. DESOKSYDASJON	7
5.1 Utettet stål	8
5.2 Halvtettet- eller balansert stål	8
5.3 Tettet stål	9
6 STÅLENES SVEISBARHET	9
6.1 Strukturovandling og indre spenninger	10
6.2 Varmsprekktendens og porer	12
6.3 Kaldsprekktensens, martensittdannelse	13
6.4 Hydrogensprøhet	14
6.5 Sprøbruddømfintlighet	14
6.6 Elding	16
7 KARBONEKVIVALENTENE CE OG PCM	17
8 KARBON-STÅL, (C-STÅL)	18
9 KARBON-MANGAN-STÅL, (C-Mn-STÅL)	18
10 MIKROLEGERTE STÅL (FINKORNSTÅL)	18
10.1 Valsing og varmebehandling. Metallurgisk bakgrunn.	23
11 SEIGHERDEDE MIKROLEGERTE STÅL	24
12 LAVLEGERTE KONSTRUKSJONSSTÅL	25
13 UTVIKLINGEN	26
14 REFERANSER	27
15 VEDLEGG	28

Copyright © 2012 Henning Johansen

Sist revidert 04.06.2012

## FORORD

Dette kompendium er beregnet på personer som er fortrolig med grunnleggende materiallære og som ønsker å få en grunnleggende innføring i sveisbare konstruksjonsstål som er den mest anvendte gruppen av stålmaterialer. Det er skrevet ut i fra en serie med forelesninger, først for sveiseteknisk personell på kurs holdt av Teknologisk Institutt og senere i forelesninger for bachelorstudenter i Materiallære ved Høgskolen i Gjøvik. Det er lagt stor vekt på gode illustrasjoner og kortfattet tekst.

Som mål har dette kompendium å gi en innføring i de forskjellige grupper av sveisbare konstruksjonsstål. Hvordan de er bygd opp ved legering, varmebehandling og mekanisk bearbeiding. Hvilke mekaniske egenskaper har de forskjellige gruppene og hvordan er egner de seg for sveising og varmebehandling. Det er også vist noen eksempler på stål i de forskjellige gruppene.

Den første delen av kompendiet inneholder noe grunnleggende teori for å forstå hvordan disse stålen vil oppføre seg ved for eksempel sveising og varmebehandling.

Forfatteren var tidligere ansatt som bl.a. seksjonsleder ved Teknologisk Institutt, avd. for materialteknologi, og er nå førsteamanuensis i materialteknologi ved Høgskolen i Gjøvik.

## 1 INNLEDNING

En stor del av verdens stålproduksjon brukes i konstruksjoner der de enkelte konstruksjons-elementer helt eller delvis sammenføres ved hjelp av sveising.

I moderne verkstedteknikk spiller sveising en så dominerende rolle at den på en avgjørende måte har influert utviklingen av stålens fasthetsklasser og kvaliteter. Dette gjelder både ulegerte, lavlegerte og noen høylegerte stål. Virkningen har vært størst på gruppen ulegerte stål, som inkluderer de rene karbonstål, karbon-mangan stål og mikrolegerte stål, for formål som broer, industribygninger, bore- og produksjonsplattformer for olje og gass, master, kjeler, skip og mange flere.

De sveisbare konstruksjonsstålene kan normalt sveises uten spesielle problemer. For store godstykker og høyt karbon- og manganinnhold vil sveising iblant måtte skje ved en forhøyet arbeidstemperatur. Også andre stål enn de sveisbare konstruksjonsstålene kan sveises. Vi må da kjenne til spesielle tiltak eller anvende spesielle sveisemetoder for å sikre et godt sveiseresultat.

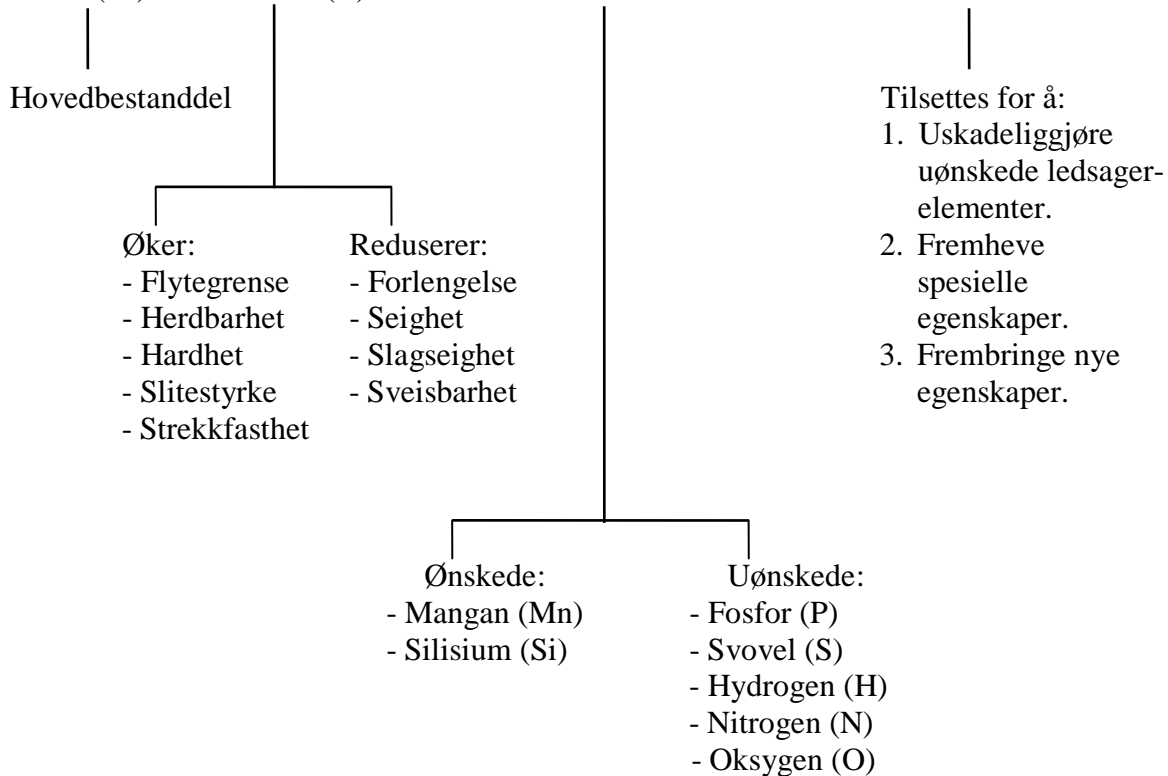
Et overordnet mål har vært å fremstille konstruksjonsstål med større styrke, større seighet og bedre sveisbarhet også for grovere materialtykkelser (opptil 150 mm) med minst mulig forbruk av legeringselementer og til lavest mulig produksjonsomkostninger.

Dette har vært mulig ved bruk av mikrolegeringsteknikk pluss normalisering, seigherding eller kontrollert valsing.

## 2 HVA ER STÅL?

**STÅL=**

JERN (Fe) + KARBON (C) + LEDSAGERELEMENTER + LEGERINGSELEMENTER



## 3 INNDELING AV STÅLTYPEN

Ståltypen kan inndeles på mange måter:

### I INNDELING ETTER BRUKSOMRÅDER:

- Konstruksjonsstål
- Verktøystål
- Fjærstål
- Varmefaste stål
- Rust- og syrebestandig stål
- osv.

Av disse er konstruksjonsstålene den største gruppen. Det er i denne gruppen storparten av alt sveisearbeid utføres.

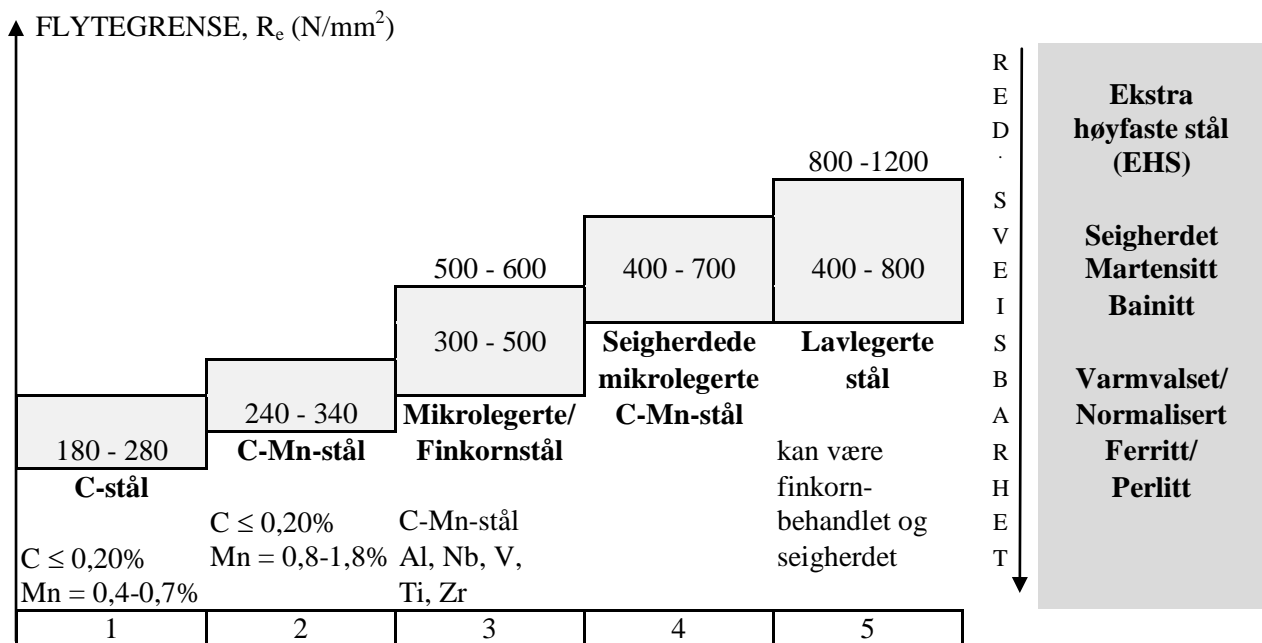
### II INNDELING ETTER SAMMENSETNING:

1. Ulegerte stål.  
Samlet innhold av legeringselementer utenom C, under 2%.
2. Lavlegerte stål.  
Samlet innhold av legeringselementer 2 - 6%.
3. Høylegerte stål.  
Samlet innhold av legeringselementer over ca. 6%.

### III SVEISBARE KONSTRUKSJONSSTÅL INNDELTE I HOVEDGRUPPER AVHENGIG AV SAMMENSETNING OG FREMSTILLINGSMÅTE:

1. Karbon-stål (C-stål)
  2. Karbon-mangan-stål (C-Mn-stål)
  3. Mikrolegerte stål, finkornstål
  4. Seigherdede mikrolegerte stål
  5. Lavlegerte konstruksjonsstål
- } Høyfaste stål
6. Trykkjele stål
  7. Sveisbare kamstål
  8. Rust- og syrebestandig stål

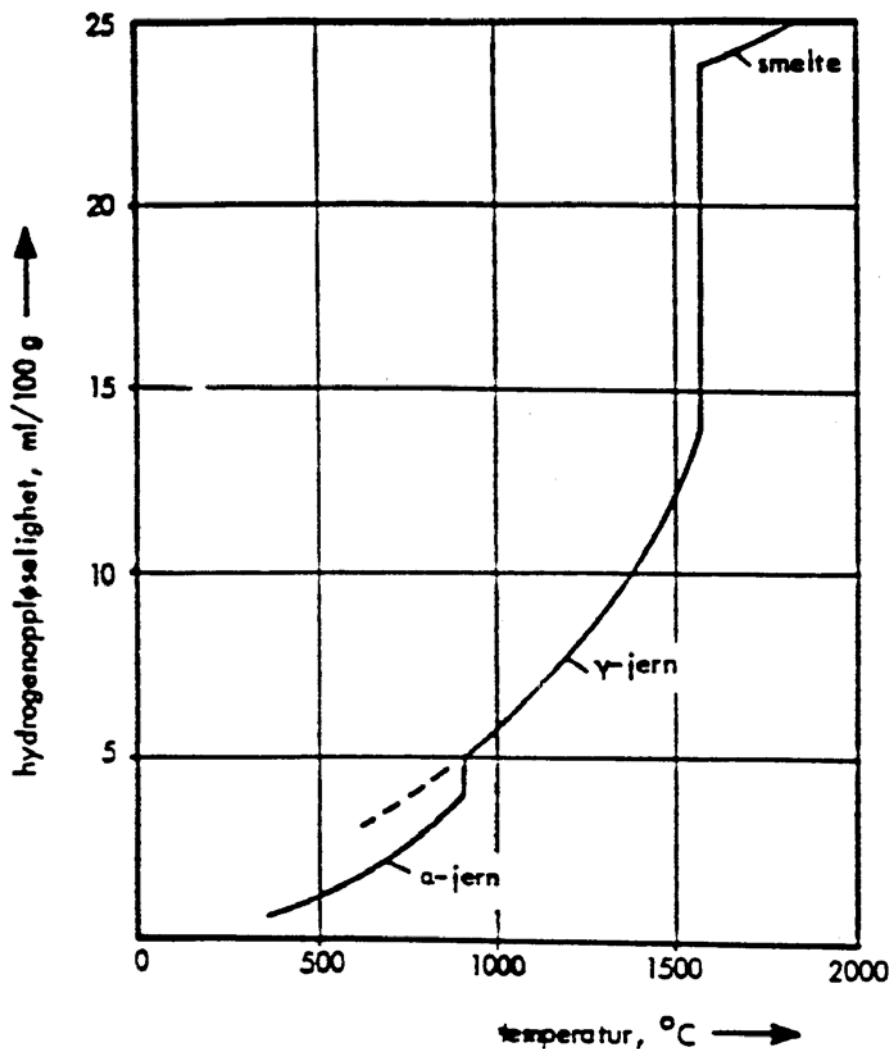
Figuren under side viser inndelingen av de sveisbare konstruksjonsstålene grafisk i grupper og etter flytegrenseverdier.



Figur 3.1  
Sveisbare konstruksjonsstål.  
Ståltyper og fasthetsnivåer (Stiplet område er tenkt utvikling).

## 4 GASSER I STÅL

Gasser som oksygen, O, nitrogen, N, og hydrogen, H, er oppløselige i stål, både i flytende og fast fase. Oppløseligheten er sterkt temperaturavhengig, og avhenger dessuten av strukturform og tilstand. Figur 4.1 på neste side viser oppløseligheten av hydrogen i sveisemetall, karbonstål, avhengig av temperaturen. Noenlunde tilsvarende avhengighet er det for de andre oppløselige gassene.

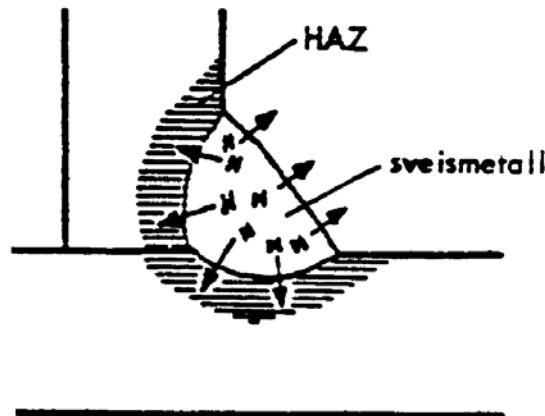


Figur 4.1

Oppløselighet av hydrogen i sveisemetall, karbonstål. (1)

I figuren ser vi at oppløseligheten er meget stor i smeltet stål med et drastisk fall ved overgang til fast fase.

Hvis metallet i smeltet tilstand har stor mengde H oppløst, kreves relativt langsom størkning og avkjøling for å unngå overmettet løsning. Gass som ikke rekker å komme ut til overflaten blir "innefrosset" som gassblærer. Det oppstår porer i metallet. O, N og H har alle uheldig virkning på sveisens kvalitet. Det er derfor mye om å gjøre at de ikke kommer inn i bueatmosfæren og dermed i kontakt med smeltet stål.



Figur 4.2

Hydrogen diffunderer fra sveismetallet inn i varmepåvirket sone (HAZ). (1)

OKSYGEN i smeltet stål reagerer med karbon, C, og danner karbonoksyd, CO, og karbondioksyd, CO<sub>2</sub>, gass. Noe av denne gassen blir innefrosset under størkning og danner porer i sveisen.

Oksygen forbinder seg også lett med jern, Fe, og danner jernoksyd, FeO, som fører til at stålet blir sprøtt.

NITROGEN nedsetter slagseigheten og hever omslagstemperaturen. N er derfor meget uheldig i stål og sveiser som skal tåle lave driftstemperaturer.

HYDROGEN kan forårsake porer i sveisene. Særlig farlig er H fordi det bidrar sterkt til å øke tendensen til herdesprekker i den varmepåvirkede sonen i materialet. Luften inneholder ca. 80% N og 20% O pluss små mengder H i form av vanndamp. Luft må derfor holdes borte fra lysbuen og smeltebadet. Dette oppnås ved bruk av dekkede elektroder, sveisepulver eller beskyttelsesgass under sveisingen.

## 5 TETTING AV STÅL. DESOKSYDASJON

Stål kan fremstilles som uttettet, halvtettet eller tettet.

Disse betegnelsene er utledet fra størkningsforløpet når stål utstøpes i blokk.

Størkningsforløpet påvirker den kjemiske sammensetningen som vil variere i blokkens forskjellige partier.

Det dannes såkalte seigringer som i stor grad kan påvirke det ferdige produkts egenskaper.

Under stålfremstillingen brukes O til fersking. O tilsettes for å "brenne" bort det meste av C i råjernnet. For å redusere O-innholdet, må prosessen kontrolleres nøye. I enkelte tilfeller foretas en såkalt desoksydasjon. Smelten tilsettes desoksydasjonsmidler, vanligvis silisium, Si, mangan, Mn, eller aluminium, Al, som danner oksyder i form av slagg. Denne slaggen flyter opp til overflaten og utskilles ved størkning. Rester av slagg kan også finnes igjen fordelt inne i stålet, men har liten virkning på egenskapene.

Desoksydasjonsprosessene har en dominerende innflytelse på viktige kvalitetsbestemmende faktorer som total sveisbarhet og bruddseighet.



## 5.1 Utettet stål

Utettet stål fremstilles uten tilsetning av desoksydasjonsmiddel.

O forbinder seg med C og danner CO-gass. Det oppstår små porer i blokken som motvirker volumminskning ved størkning.

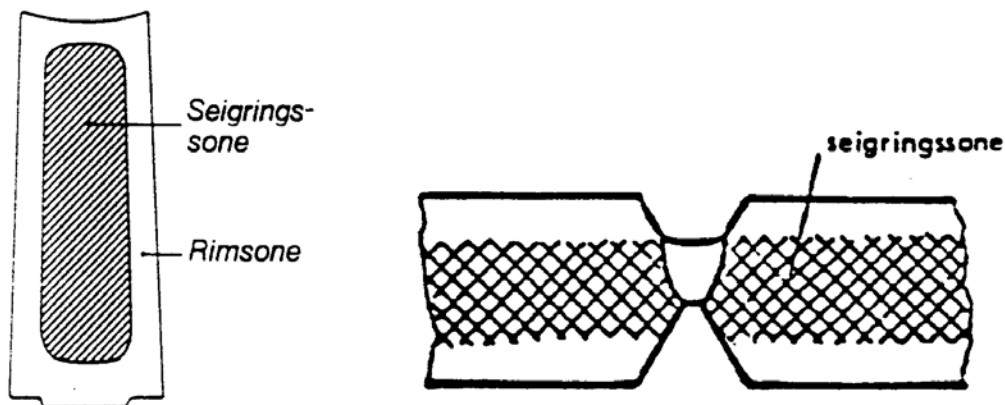
Midtpartiet av blokken inneholder en seigringszone med høyere innhold av C, svovel (S), fosfor (P), m.fl. enn nær overflaten.

Dette kan føre til herdesprekker, varmsprekker og porer ved sveising på stålet.

Stålet inneholder ikke-bundet N. Dette kan medføre elding og sprøhet.

Stålet er **ikke egnet for sveising**. Det kan tillates unntakelsesvis etter spesiell godkjenning i skipsbygging til mindre viktige detaljer forutsatt at materialtykkelsen ikke er større enn 12mm.

Eksempel: S 235 JRG1 (tidl. USt 37-2) etter NS-EN10025, med Si-innhold under 0.03%



Figur 5.1

Utettet stål. (3)

a) utstøpt stålblock, b) rotstreng i seigringszone

## 5.2 Halvtettet- eller balansert stål

I halvtettet stål er O-innholdet regulert ved tilsetning av mindre mengder Si og Mn eller Al. Volumet av den avgitte gasmengde under størkning tilsvarer stålets krymping, herav uttrykket "balansert".

Stålet brukes i stor utstrekning i store og viktige konstruksjoner, skip, oljetanker, offshore-konstruksjoner, etc.

Stålet bør ikke benyttes hvis materialtykkelsen er større enn 35 mm.

Halvtettet sveisbare konstruksjonsstål bør ha relativt lavt C-innhold, mindre enn 0.20%, og ett høyt Mn/C forhold, større eller lik 6, for å bedre sveisbarhet og bruddseighet, d.v.s. senke omslagstemperaturen.

Varmsprekkeskapene forbedres hvis %Mn er større enn  $20 \times \%S$ .

Stålets flytegrense bør beregnes til  $R_e = 280N/mm^2$ . Er større flytegrense ønskelig, bør stålet være tettet.

Eksempel: S235 JRG2 (tidl. RSt 37-2) etter NS-EN 10025, med Si-innhold 0.03-0.1%

### 5.3 Tettet stål

Tettet stål betyr at stålet ved hjelp av desoksydasjonsmidler, Si, Mn eller Al, er størknet uten avgivelse av gass.

Med *tettet* stål forstås i alminnelighet stål som er desoksydert med Si (+ Mn).

Siden det indre porevolum mangler, vil det måtte danne seg en sugetrakt (eng.: pipe) øverst i blokken når denne størkner, nedkjøles og krymper. Før valsing begynner, må derfor toppen skjæres av blokken (ca. 15%). Dette innebærer et merkbart materialtap.

Tettet stål er vesentlig kostbart i forhold til utettet og halvtettet stål.

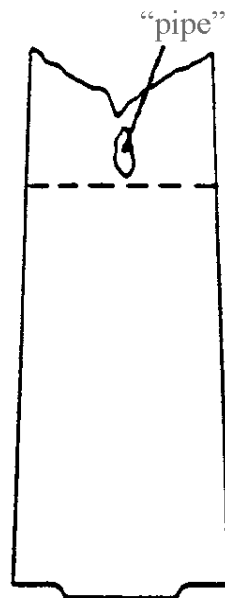
Med *Fulltettet* stål menes vanligvis at Al er benyttet.

Fulltettet stål, kan bety at finkornpraksis er benyttet. Hensikten er da foruten å sikre en fullstendig desoksydasjon, også å produsere et såkalt finkornstål eller mikrolegert stål.

Fulltettet stål av denne type brukes til formål hvor det stilles store krav til sveisbarhet og bruddseighet i kombinasjon med relativt høye fasthetsegenskaper,  $R_e$  større enn  $300 \text{ N/mm}^2$ , store materialtykkelser, over 40mm, og for komponenter med komplisert geometri hvor kraftig innspenning forekommer.

*Dobbelttettet* stål er tilsatt Si og Al. Al har også den egenskap at det binder N. Disse stålene er derfor eldingstrege.

Eksempel: S355 J2G3 (tidl. St 52-3) etter NS-EN 10025, tettet og finkornbehandlet, med Si-innhold 0.15-0.55%.



Figur 5.2.  
Stålblokk av tettet stål. (3)

## 6 STÅLENES SVEISBARHET

At et materiale er godt sveisbart, vil si at det kan sveises med vanlige metoder og tilsettmareialer på en enkel måte uten spesielle tiltak for å oppnå et tilfredsstillende resultat.

Sveisen skal være uten sveisefeil av betydning.

Både sveisemetallet og den varmpåvirkede sone av grunnmetallet skal ha egenskaper som er minst like gode som grunnmetallet.

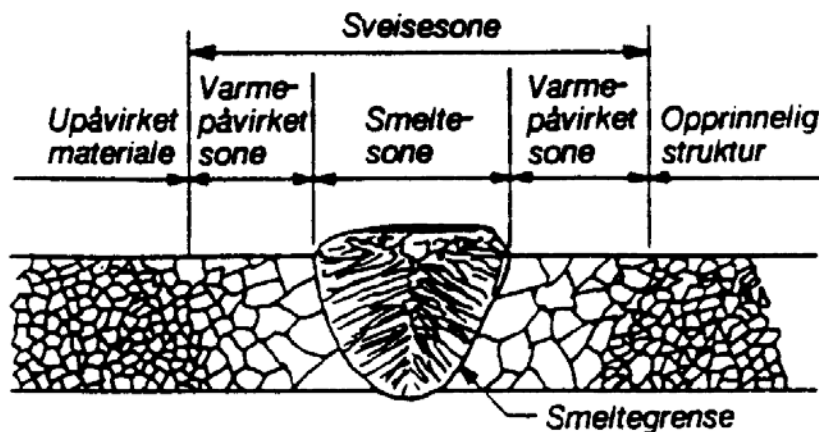
Ulike legeringselementer og forurensninger i stålet påvirker sveisbarheten på forskjellig måte. Sveisbarhetsbegrepet for sveisbare konstruksjonsstål omfatter i hovedsak:

- 1 Strukturomvandling og indre spenninger
- 2 Varmsprekktendens og porer
- 3 Kaldsprekktendens, martensittdannelse
- 4 Hydrogensprøhet
- 5 Sprøbruddømfintlighet
- 6 Elding

## 6.1 Strukturomvandling og indre spenninger

### STRUKTUROMVANDLING.

Sveiseforløpet innebærer en kraftig lokal oppvarming fulgt av en hurtig avkjøling. Dette fører til strukturomvandling i det varmpåvirkede grunnmaterialet i nærheten av sveisen. Figur 7.1. viser den varmpåvirkede sone (eng.: Heat Affected Sone, HAZ) i en en-lags sveis i et rent metall.



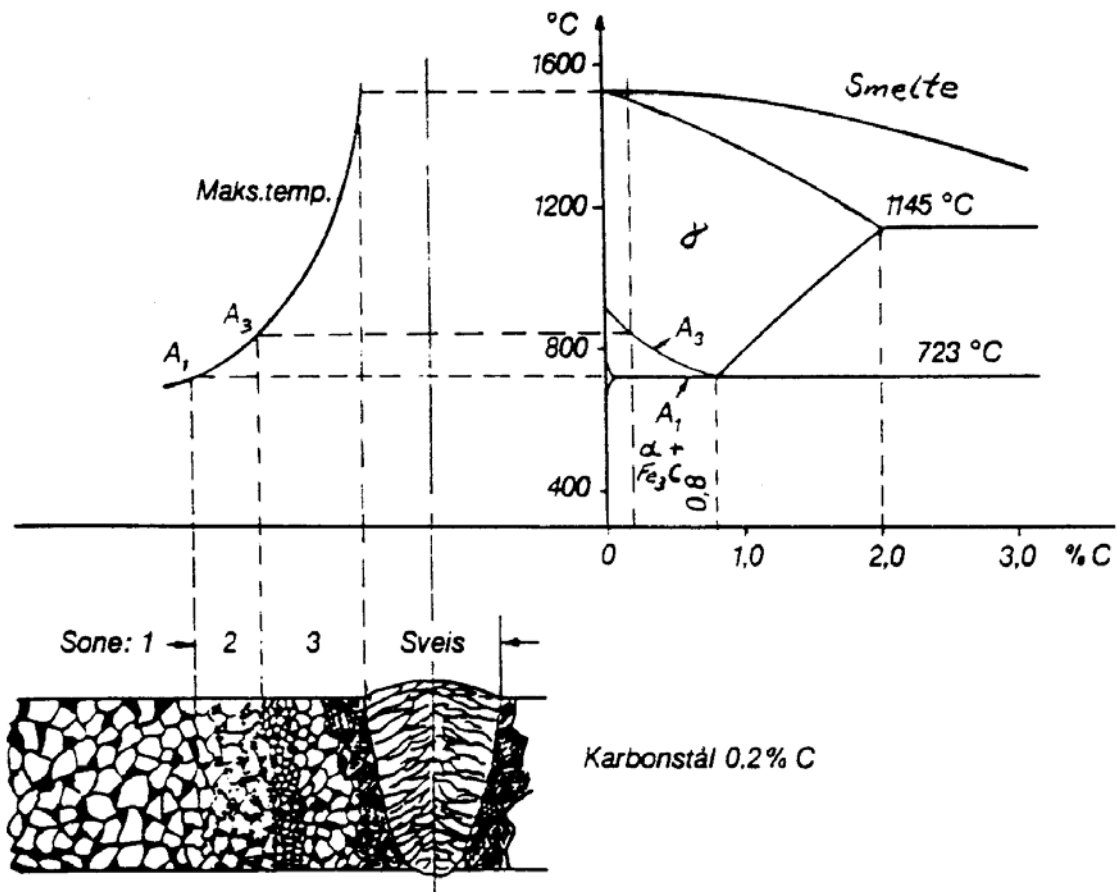
Figur 6.1

*En-lags sveis i et rent metall (varmvalset eller glødd). (3)*

Det materialet som ligger nærmere enn 3 ganger godstykkelsen, kan normalt anses å bli utsatt for varmpåvirkning. Ved grove dimensjoner blir avstanden mindre, og ved tynne dimensjoner noe større. I et sveisbart stål er disse strukturomvandlingene godartede, og fører ikke til alvorlige feil eller konsekvenser.

Normalt får vi en viss kornvekst like ved smeltegrensen, men materialet er fortsatt seigt.

Figur 6.2 på neste side viser soner og strukturer i sveis og varmpåvirket grunnmateriale for karbonstål med 0.2% C sammenholdt med Fe-C - fasediagrammet. Det er forutsatt langsom avkjøling.



Figur 6.2

Sveis i 0.2% karbonstål, strukturer i varmepåvirket sone (skjematisk). (3)

- Sone 1 : Maksimal temperatur har ikke overskredet  $A_1$  ( $723^{\circ}\text{C}$ ).  
Stålet er upåvirket med opprinnelig struktur av ferritt og perlitt.
- Sone 2 : Oppvarming til temperatur mellom  $A_1$  og  $A_3$ . Det har foregått en delvis strukturomvandling.  
Materialet er finkornet og duktilt.
- Sone 3 : Oppvarming til temperaturer over  $A_3$ .  
Strukturen består av ferritt- og perlittkorn.  
Materialet er finkornet hvor temperaturen har vært lavest, og grovkornet hvor den har vært høyest.  
Grovkornet struktur er vanligvis sprø med lav slagseighet.
- Smeltesonen : Her finner vi en blanding av grunnmateriale og tilsetmateriale.  
Materialet har langstrakte grovkornete stengelkrystaller av ferritt og perlitt.

Sveising på kaldt stål med stor godstykkelse, vil føre til hurtig avkjøling.

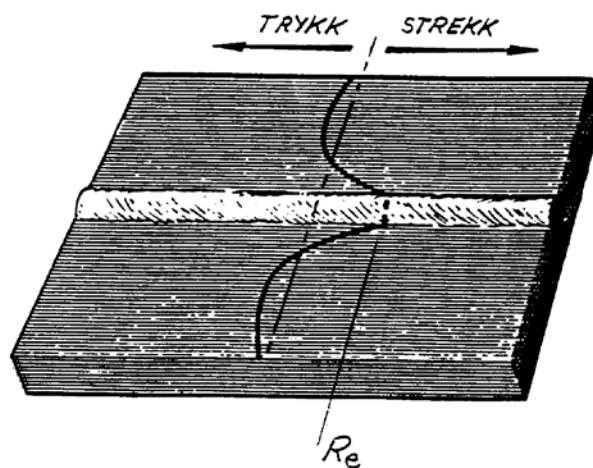
- Sone 3 : Omvandlingen fra austenitt til ferritt og perlitt undertrykkes.  
Omvandlingen foregår ved lavere temperaturer til martensitt.  
Særlig utsatt for herding til martensitt er stålet like inntil smeltegrensen.  
Herdestrukturen er hard og sprø.  
P.g.a. temperaturspenninger under avkjølingen, kan sprekker oppstå i grunnmaterialet.

## INDRE SPENNINGER

I tillegg til strukturomvandlinger opptrer høye indre spenninger i sveisesonen. Disse er et resultat av lokal oppvarming og avkjøling ved sveisingen, spesielt krympingen av sveisemetallet. Når sveisemetallet avkjøles fra smeltetemperaturen prøver det å krympe, men blir forhindret av grunnmaterialet rundt sveisen. Krympingen fører til plastisk deformasjon av sveisemetallet. Dette fører til at metallet blir utsatt for spenninger som overskrider flytegrensen. I materialer med høyere fasthet oppnås således høyere indre spenninger. I innspente konstruksjoner opptrer også tvangskrefter mellom ulike konstruksjonsdeler og i sveiser. Tvangskreftene blir også høyere i mere høyfaste stål.

De høye sveisespenningene og tvangskreftene i mere høyfaste stål fører til større vanskeligheter ved sveising, som større krav til gjennomtenkt konstruktiv utforming og sveiserekkefølge.

Indre spenninger og tvangskrefter kan reduseres ved sveising med forhøyet arbeidstemperatur og langsom balansert avkjøling.



Figur 6.3

Indre spenninger i overflaten på en plate sveist med en streng. (6)

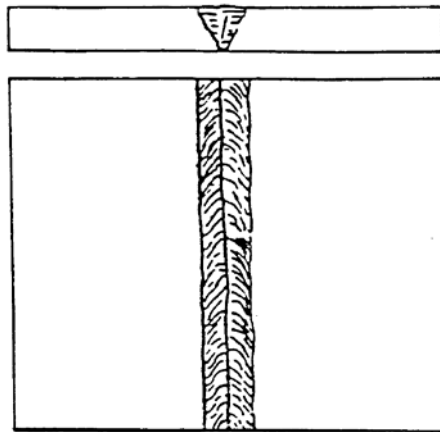
## 6.2 Varmsprekktendens og porer

Varmsprekker dannes fortrinnsvis i sveisemetallet under siste fase av størkningen. Sveisemetallet er en blanding av grunnmateriale og tilsettmateriale. Det er derfor ikke bare grunnmaterialet som bestemmer varmsprekktendensen, men også tilsettmaterialet. Når sveisemetallet størkner opptrer seigringsfenomenet. Dette fører til at konsentrasjonen av eventuelle forurensninger øker i de sist størknende deler, dvs. sentralt i sveisen og nær overflaten. Visse forurensninger, først og fremst S, nedsetter materialets fasthetsegenskaper både ved høyere temperaturer og ved romtemperatur.

Hvis innholdet av forurensninger i sveisen er stort, kan også ikke-metalliske utskillinger finne sted på korn grensene. Dette fører til at fasthetsegenskapene nedsettes ytterligere.

Når sveisemetallet størkner ved avkjøling, vil det oppstå spenninger p.g.a. krymping. Disse spenningene vil kunne overskride de reduserte fasthetsegenskapene til sveisemetallet og føre til at det oppstår sprekker allerede ved høye temperaturer.

Varmsprekker oppstår midt i sveisen, og ofte i en stor del av sveiselengden.



Figur 6.4  
Varmsprekk i sveis. (1)

Det er først og fremst S, men også andre forurensninger, og C som bidrar til seigringer med nedsatt varmekfasthet og varmsprekker som en følge.

Svovelfofurensningene i stålet kan også medvirke til dannelsen av overflateporer (eng.: pinholes) i sveisen.

S-innholdet begrenses i sveisbare konstruksjonsstål til lave verdier (under 0.035-0.06%).

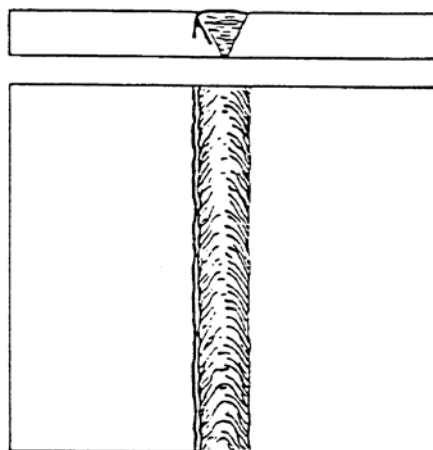
Faren for seigringer og varmsprekker i sveisen er størst i uttettet stål i grove dimensjoner, hvor det kan være en ansamling av forurensninger i midtpartiet.

### 6.3 Kaldsprekktensens, martensittdannelse

Kaldsprekker dannes særlig i den varmepåvirkede sonen av grunnmaterialet, og henger nøye sammen med stålets herdbarhet. Jo større herdbarhet stålet har, desto større er faren for dannelse av martensitt.

I stål med høyere innhold av legeringselementer, først og fremst C og Mn, kan vi ved hurtig avkjøling få dannelse av martensitt som er en hard og sprø strukturbestandighet.

Omdannelsen til martensitt kalles herding. Det oppstår en hard og sprø sone inntil sveisen med begrenset mulighet til å ta opp sveisespenninger. Sprekkdannelse kan derfor oppstå i grunnmaterialet inntil og parallelt med sveisen. Denne type sprekker kalles herdesprekker.



Figur 6.5  
Herdesprekk inntil en sveis. (1)

Dannelse av martensitt ved sveising medfører alltid komplikasjoner, og må unngås. Av den grunn begrenses legeringsinnholdet av C og Mn i sveisbare stål, C-innhold mindre enn 0.20% og Mn-innhold mindre enn 1.80%.

Det kreves en laveste kritisk avkjølingshastighet for dannelse av martensitt avhengig av mengden av legeringselementer. Jo høyere innhold av legeringselementer, jo lavere kritisk avkjølingshastighet.

Den kritiske avkjølingshastigheten for dannelse av martensitt i sveisbare konstruksjonsstål kan overskrides ved sveising på store godstykkelser med hurtig varmebortledning, og ved sveising med liten varmetilførsel, f.eks. med tynne elektroder eller punktsveising.

For å redusere faren for martensittdannelse, må vi redusere avkjølingshastigheten. Dette kan i praksis skje ved forvarming av grunnmaterialet, og ved sveising med forhøyet arbeidstemperatur. Høyt legeringsinnhold vil også kunne kreve forhøyet arbeidstemperatur ved sveising på mindre godstykkelser.

For bedømmelse av faren for herding, og om forhøyet arbeidstemperatur er nødvendig ved sveising, anvendes begrepet karbonekvivalent.

## 6.4 Hydrogensprøhet

Hvis det samtidig med martensittdannelse i sveiseonen er H til stede, er det større fare for herdesprekker.

Hvis den smeltede sveisen tilføres hydrogengass, kan H diffundere inn i grunnmaterialet i den varmpåvirkede sonen. Ved eventuell martensittdannelse synker løsligheten av H kraftig. H utskilles og danner gassporer med høyt trykk som fører til sprekkdannelse i området nær sveisen, spesielt i smeltegrensen. Vi kaller dette fenomenet hydrogensprøhet, og sprekkene for hydrogensprekker eller smeltegrensesprekker.

Hydrogenmengden som tilføres sveisen må begrenses. Dette gjelder spesielt i stål som er herdbare, og også i stål med stor godstykkelse.

H kan bli tilført sveiseonen fra fuktige elektroder eller fuktig sveisepulver, fra regn eller fuktighet på ståloverflaten, eller fra forurensninger som rust, fett og olje og visse typer maling.

Det er derfor viktig å beskytte sveiseonen mot H, ved å bruke f.eks. basiske elektroder som er tørket, og ved nøye rengjøring og beskyttelse mot fuktighet fra luften.

Fare for hydrogensprøhet kan oppstå i store godstykkelser med C-innhold over ca. 0.18% og Mn-innhold over ca. 1.60%, eller tilsvarende karbonekvivalent.

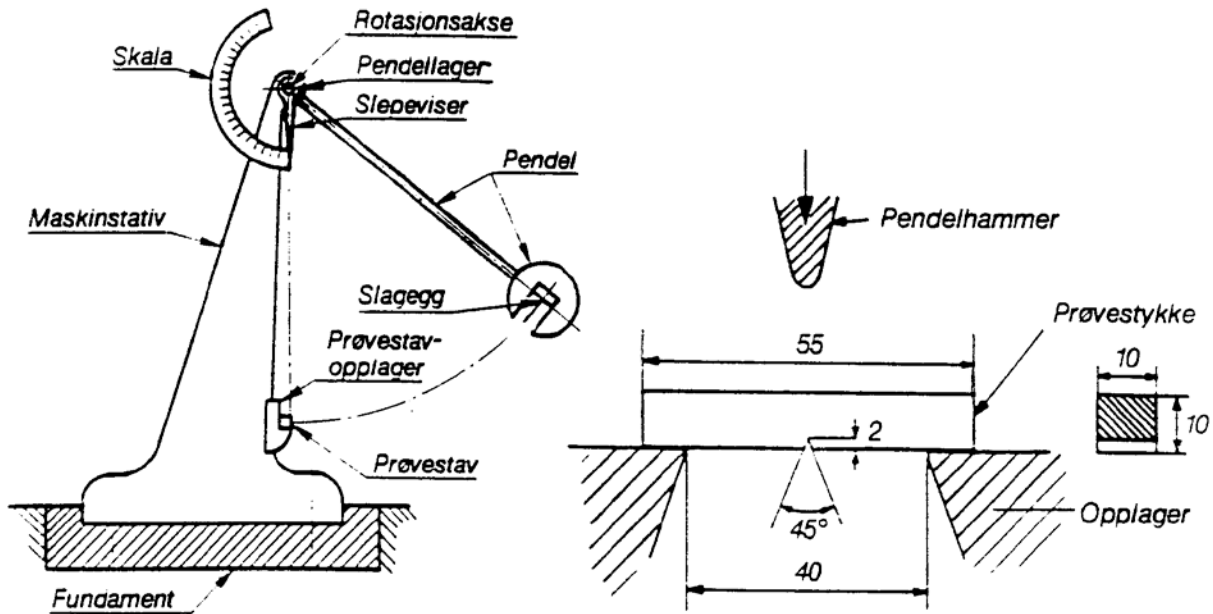
## 6.5 Sprøbruddømfintlighet

I tillegg til gode fasthetsegenskaper, må stålet ha høy seighet og sikkerhet mot sprøbrudd.

Dette er spesielt viktig for sveiser hvor det lett kan oppstå en fleraksiell spenningstilstand med forhindret deformasjon, og geometriske bruddanvisere eller sveisefeil som virker som bruddanvisere. I et sprøtt materiale vil sveisen kunne tjene som startpunkt for et sprøbrudd. Sprøbruddsikkerhet er derfor en meget viktig egenskap hos de sveisbare konstruksjonsstålene. For at stålet skal være seigt og ha høy sprøbruddsikkerhet, begrenses C-, legerings- og forurensningsinnholdet. I stål med spesielt høye krav til slagseighet og sprøbruddsikkerhet, begrenses spesielt innholdet av S og P til lavere verdier enn i basiskvalitetene.

Tettet stål har vesentlig høyere slagseighet og sprøbruddsikkerhet enn utettet stål. Utettet stål bør ikke anvendes i sveiste konstruksjoner der betingelser for sprøbrudd kan tenkes å foreligge, dvs. ved lav anvendelsestemperatur (under + 5°C).

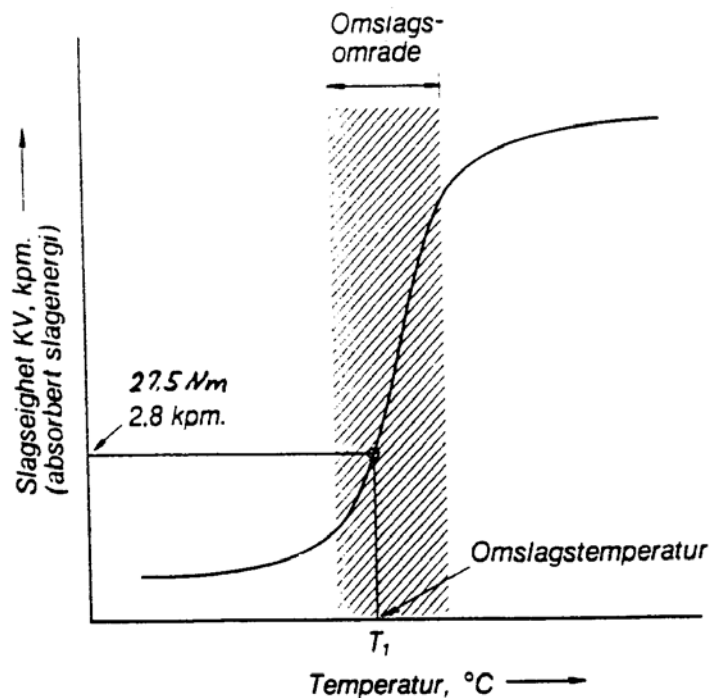
For kontroll av slagseighet og sprøbruddsikkerhet anvendes skårslagprøving, vanligvis Charpy stav med V-skår. V-skåret virker som en kjerv som innfører en treakset spenningstilstand i bunnen av skåret. Prøvemethoden er standardisert og foregår ved at prøvestaven blir slått av med et enkelt slag av en pendelhammer, se Figur 6.6.



Figur 6.6

Skårslagprøving med pendelhammer og Charpy stav med V skår etter NS. (3)

Slagarbeidet, vanligvis kalt slagseigheten, måles som differansen mellom pendelens kinetiske (bevegelses-) energi før og etter slaget. Det utføres prøver med staver av forskjellige temperaturer. Slagseigheten registreres, og en omslagskurve som viser hvordan slagseigheten varierer med temperaturen tegnes opp, se Figur 6.7.



Figur 6.7

Slagseigheten som funksjon av prøvetemperaturen. (3)



I et område skifter bruddet fra overveiende seigt til overveiende sprøtt. Omslagstemperaturen er et uttrykk for ved hvilke temperatur materialet skifter fra å være seigt til å være sprøtt, og defineres som temperaturen ved et slagarbeid på 27,5 J.

I praksis angis sprøbruddtendensen med omslagstemperaturen.

Prøvebetingelsene ved skårslagprøving er ganske spesielle og ligner lite på forholdene i praksis. Omfattende studier har vist at konstruksjoner i C-stål og C-Mn-stål, med tykkelser mindre enn 20-25mm, er sikre mot sprøbrudd, hvis de ikke utsettes for lavere temperaturer enn stålets omslagstemperatur. Ved større platetykkelser, f.eks. i store skip og offshore konstruksjoner, forlanges det at omslagstemperaturen skal være lavere enn konstruksjonens driftstemperatur. Sprøbruddrisikoen er også påvirket av størrelsen av de nominelle spenningene i konstruksjonen, men klare regler foreligger ikke.

Brudmekanisk prøving, sammenlignet med skårslagprøving, har den fordel at resultatet er knyttet til sprekkelengde og nominell spenning i den aktuelle konstruksjonsdel.

Brudmekanisk prøving har først og fremst funnet anvendelse for store materialtykkelser.

## 6.6 Elding

Et stål kan være seigt og ha god sprøbruddsikkerhet i leveringstilstanden, men bli sprøtt ved sveising. Dette kan inntreffe hvis stålet først utsettes for kalddeformasjon og deretter for oppvarming til 200 - 300°C.

Kalddeformasjon kan skje ved formgivning eller forberedelse før sveising. Oppvarming til kritisk temperatur opptrer under sveising innen den varmepåvirkede sonen. Fenomenet kalles elding eller eldingssprøhet.

Kalddeformasjonen har forårsaket en deformasjonsstyrking av stålet. C og N, som begge går i mellomromsløsning i Fe-gitteret, diffunderer og plasserer seg fortrinnsvis i "atmosfærer" omkring dislokasjoner (linjefeil i gitteret). Denne diffusjonen er sterkt temperaturavhengig. Ved romtemperatur skjer dette etter noen dager (naturlig elding), ved 300°C etter noen sekunder. Når stål deformeres plastisk, foregår det en atomplanglidning ved at dislokasjonene forskyver seg igjennom gitteret. "Atmosfærene" av C og N låser denne glidningen. Stålet blir sprøtt, og flytegrensen øker i disse områdene hvor det har vært utsatt for kalddeformasjon. Dette sprøhetsfenomenet kalles deformasjonselding. Høye tilførte spenninger i disse områdene som fører til at dislokasjonene løsriveres, vil kunne resultere i sprekker. Dette kalles eldings-sprøhet, som tidligere har vært og til dels fortsatt er et stort problem.

Stål med høyt innhold av fritt ikke bundet N er utsatt for eldingssprøhet. Derfor begrenses N-innholdet i sveisbare konstruksjonsstål, normalt til maksimalt  $N=0.009\%$ . Høyere innhold av N kan tilsettes stål med nitrogenbindende elementer, som aluminium, Al, niob, Nb og vanadium, V. I Al-behandlet finkornstål begrenses N-innholdet til maksimalt  $N=0,015\%$ . I finkornstål med Nb og V som nitrogenbinder tilsettes  $N=0.02\%$ .

Ved siden av N kan også høyere innhold av P føre til sprøhet og elding.

## 7 KARBONEKVIVALENTENE CE OG PCM

Karbonekvivalentene er empiriske uttrykk som kan anvendes til å vurdere konstruksjonsstålens herdbarhet. Det finnes en rekke forskjellige karbonekvivalenter som varierer med hensyn til hvilke legeringselementer som tas med og med hensyn til hvilken vekt de enkelte elementer er gitt i forhold til C.

Karbonekvivalenten i et stål er det innhold av C i en ren Fe-C legering som har samme herdbarhet som stålet.

Karbonekvivalenten er et uttrykk for sikkerheten mot kaldsprekker og hydrogensprekker i den varmepåvirkede sonen ved sveising.

Det er også en sammenheng mellom karbonekvivalenten og omslagstemperaturen. Denne er noe mer uklar.

IIW (International Institute of Welding) anbefaler ligningen:

$$CE = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

Denne ligningen baserer seg først og fremst på herdbarhetskriterier. Hvilke verdier som kan tillates vil blant annet være avhengig av driftspåkjenninger og/eller særlige spesifikasjoner. Opp til tykkelser på 25mm er verdier på CE = 0.41 - 0.45% ikke uvanlige.

British Welding Research Association foreskriver  $CE \leq 0.45\%$ .

I lavlegerte stål vil  $CE \leq 0.45$  nødvendigvis måtte overskrides. Da må arbeidstykket varmes og sveises med forhøyet arbeidstemperatur. Vi kan da også øke sveisevarmen beregnet pr. lengdeenhet av sveisen. Begge forholdsregler fører til at avkjølingshastigheten i sveisesonen blir mindre. CE kan da brukes som et tallmessig uttrykk for hvilke forholdsregler som bør anvendes.

The Welding Institute i England har utgitt publikasjonen "Welding steels without hydrogen cracing". Denne inneholder blant annet en grafisk oppstilling for bestemmelse av forvarmingstemperaturer ved sveising av stål hvis sveisbarhet kan defineres ved CE.

Ifølge IIW kan ligningen for CE benyttes for stål med bruddgrense opp til  $R_m = 500N/mm^2$  -  $700N/mm^2$  og som leveres i kontrollert valset eller normalisert tilstand. Videre skal ligningen ikke benyttes for seigherdede stål.

CE beskriver hardheten i den varmepåvirkede sonen bra for stål med C-innhold på rundt 0,15% og høyere.

Ito og Bessyo i Japan har utviklet en ligning som baserer seg på stålens oppførsel når det gjelder herdesprekker. Denne ligningen er også anvendbar for seigherdede stål og stål med lavere C-innhold enn 0,15%, som faller utenfor gyldighetsområdet til CE.

$$P_c \text{ (Parameter of cracing)} = P_{cm} + t/600 + H/60 \text{ [%]}$$

hvor:

$$P_{cm} = C + Si/30 + (Mn+Cu+Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B \text{ [%]}$$

hvor:

$$t = \text{Platetykkelse [mm]}$$

$$H = \text{Diffunderbart hydrogen [ml/100g sveiseavsett]}$$

Pc tar hensyn ikke bare til kjemisk sammensetning, men også til platetykkelse (innspenningsgrad) og til mengden av diffunderbart hydrogen i svisemetallet.

Basert på resultater fra sveising av prøver med stor innspenningsgrad, kan nødvendig forvarmingstemperatur for å unngå herdesprekker ved sveising bestemmes ved hjelp av Pc-verdier kombinert med kjente lengdeenergier.

Nyere arbeider har resultert i en kombinasjon av CE og Pcm

$$P_{cm} = (2 \cdot C + CE)/3 + 0,005$$

## 8 KARBON-STÅL, (C-STÅL)

De vanlige C-stål inneholder ved siden av C mindre mengder Mn, normalt 0.4% - 0.7%. En mindre mengde Mn, maks. 0.2%, kommer fra malm og skrot og resten tilsettes. Videre tilsettes Si i tett og halvtett stål. Forøvrig inneholder de vanlige C-stål ingen avmålte tilsetninger av legeringselementer. Derimot inneholder stålet mindre mengder av forurensninger som P, S, N, O og H. Med de rene C-stål oppnår vi normalt flytegrenser,  $R_e$ , på  $180\text{N/mm}^2$  -  $280\text{N/mm}^2$ .

## 9 KARBON-MANGAN-STÅL, (C-Mn-STÅL)

Høyere fastheter enn de rene C-stål oppnås ved økning av Mn-innholdet. Både C og Mn er fasthetsøkende elementer. Begge fører til en reduksjon av sveisbarheten ved økende innhold. Mn-innholdet i C-Mn stål begrenses vanligvis til 1,8% og vi kan da oppnå en flytegrense ( $R_e$ ) på  $340\text{N/mm}^2$ .

Eksempler på C- Mn stål finner vi i NS 12101, Oversikt over alminnelige konstruksjonsstål, se vedlegg.

Flytegrensen er ved siden av kjemisk sammensetning avhengig av dimensjon og nedvalsnings-grad samt varmebehandlingstilstand og struktur. Ved samme sammensetning oppnås noe lavere flytegrense ved større dimensjoner, se Norsk Standard. Hvis vi vil beholde samme flyte-grense ved større dimensjoner, må vi innholdet av legeringselementer noe.

For å oppnå høyere fasthet enn hva vi kan få med C-Mn stålene, kan vi gå frem på følgende 2 måter:

- Vi kan påvirke stålets struktur og derved øke fastheten ved finkornbehandling, varmebehandling eller spesielle valsemetoder.
- Øke tilsetningen av legeringselementer.

## 10 MIKROLEGERTE STÅL (FINKORNSTÅL)

Med finkornbehandling eller mikrolegering av C-Mn stål, kan vi oppnå flytegrenser ( $R_e$ ) mellom  $300\text{N/mm}^2$  og  $500\text{N/mm}^2$ . I fremtiden kan vi nok oppnå enda høyere flytegrenser, opp mot  $600\text{N/mm}^2$ .

Mikrolegering vil si at vi tilsetter små mengder, 0.01% - 0.1%, av et finkorndannende legeringselement til stålsmelten.

Finkorndannere er aluminium (Al), niob (Nb), vanadium (V) og titan (Ti).

Disse legeringselementene reagerer med C og N og danner karbider, nitrider og karbonitrider, som danner små harde partikler eller utskillinger i austenitten. Disse partiklene er i størrelsesorden  $0.03\mu\text{m} - 0.1\mu\text{m}$  ( $1/1000\text{mm}$ ).

Når disse partiklene opptrer i tilstrekkelig antall, låser de korngransene og hindrer kornvekst i austenitten under varmvalsing og i nedkjølingsperioden etter avsluttet varmvalsing.

Vi får en mer finkornet ferritt-struktur enn vi ellers ville oppnådd.

Ved mikrolegering oppnås en flytegrenseøkning på  $50\text{N/mm}^2 - 150\text{N/mm}^2$  i forhold til de rene C-Mn stålene.

Slagseigheten forbedres, og en senkning av omslagstemperaturen på  $50^\circ\text{C}$  eller mere kan oppnås.

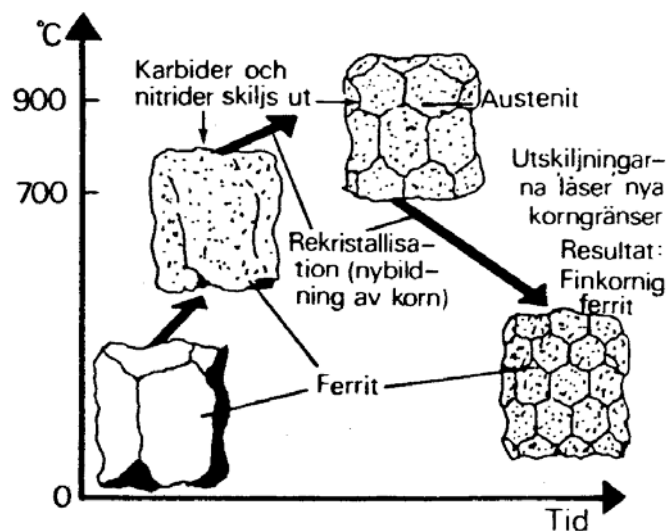
Ved mikrolegering låses en stor del av N i stålet i form av nitrider. Det tillates derfor et høyere N-innhold i disse stålene.

Mikrolegerte stål utføres alltid som tettet. De kan leveres som normalisert, kontrollert valset eller termomekanisk behandlet (prosess-styrt varmvalsing).

Mikrolegerte stål vales som plater, bånd og profiler.

Sveisbarheten er i prinsippet den samme som for et C-Mn stål med samme

basissammensetning. Den høye fastheten kan føre til vanskeligheter ved sveising p.g.a. høyere sveisespenninger og større tvangskrefter.



Figur 10.1

Finkornbehandling. (1)

1. Tilsetning av finkorndannere
2. Støping i kokille eller strengstøpeanlegg
3. Varmvalsing ved ca.  $1100^\circ\text{C}$ , avkjøling i luft
4. Normalisering ved ca.  $900^\circ\text{C}$ , avkjøling i luft

Finkornbehandling er den eneste kjente metallurgiske prosess som samtidig forbedrer både flytegrense, slagseighet og sveisbarhet.

Prosessen følger nokså nøyaktig Hall & Petch-ligningen:

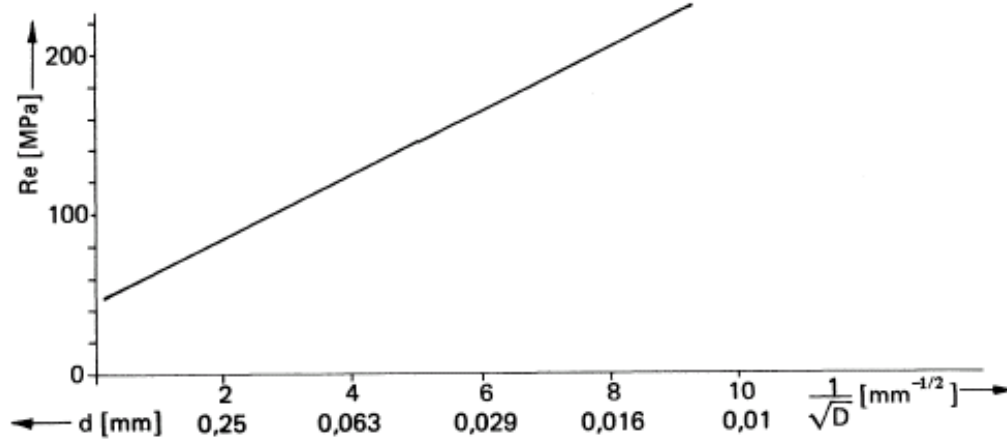
$$R_e = R_i + K_f \cdot d^{-1/2}$$

hvor :  $R_e$  = Stålets flytegrense

$R_i$  = Indre friksjonsspenning i gitteret

$K_f$  = Konstant avhengig av kornstørrelsen (vanligvis 2)

$d$  = Ferritt kornstørrelsen (midlere kornsekant)



Figur 10.2

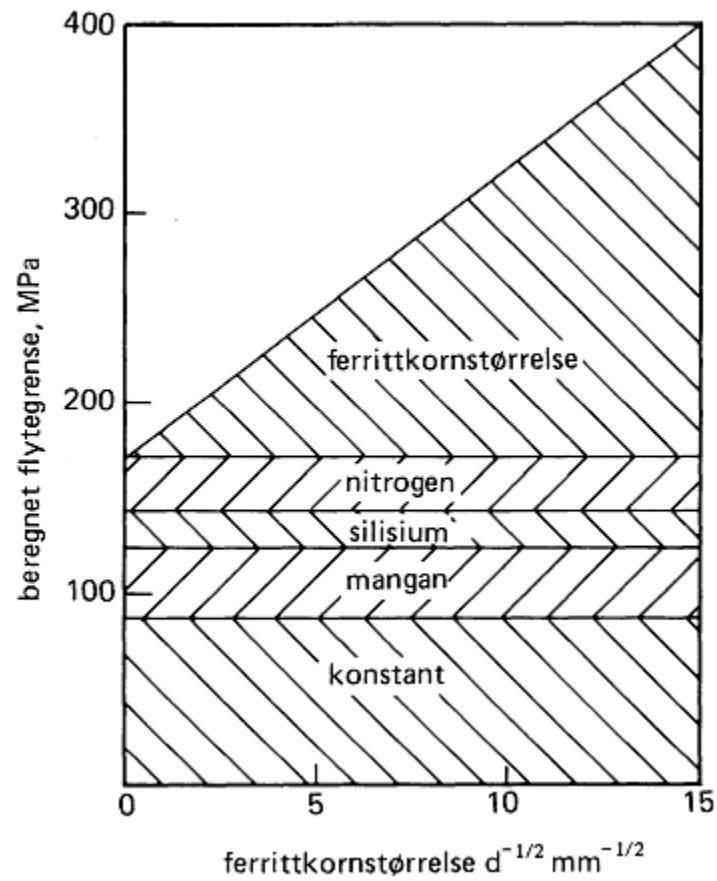
Flytegrenseens avhengighet av kornstørrelsen i bløtt stål. (2)

Ligningen indikerer at flytegrensen kan økes enten ved:

- Forhindre en glidning av atomplan, dvs. å øke  $R_i$
- Redusere kornstørrelsen, dvs. å gjøre  $d$  mindre

I stål med ferrittisk - perlittisk struktur uten utfellingsstyrking og  $C < 0,23\%$ , viser teoretiske og eksperimentelle studier at flytegrensen kan skrives som:

$$\sigma_F(\pm 31) = 88 + 37 \cdot (\% \text{Mn}) + 83 \cdot (\% \text{Si}) + 2918 \cdot (\% \text{N}_{\text{oppløst}}) + 15,1 \cdot (d^{-1/2}) [\text{N/mm}^2]$$

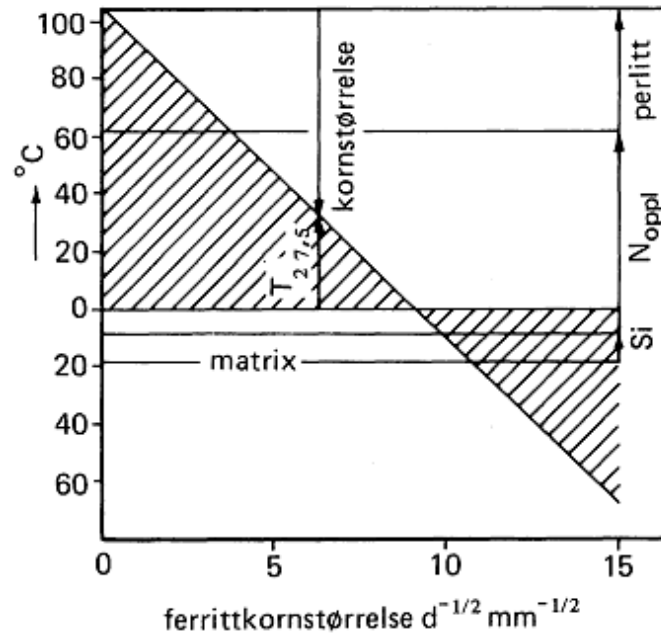


Figur 10.3

Flytegrensekomponenter i et C-Mn stål med 0,15% C, 1,0% Mn, 0,25% Si og 0,01% oppløst N. (2)

En tilsvarende ligning kan uttrykkes for materialets omslagstemperatur. Det viser seg at omslagstemperaturen faller når ferritt-kornstørrelsen avtar.

$$T_{27,5}(\pm 30) = -19 + 44 \cdot (\% \text{Si}) + 700 \cdot (\% N_{\text{oppløst}})^{1/2} + 2,2 \cdot (\% \text{perlitt}) - 11,5 \cdot (d^{-1/2}) [^{\circ} \text{C}]$$



Figur 10.4

Omslagstemperatur-komponenter i et C-Mn stål med 0,15% C, 1,0% Mn, 0,25% Si og 0,01% oppløst N.  $T_{27,5}$  er omslagstemperaturen. (2)

Av dette følger at flytegrensen ( $R_e$ ) øker med avtagende kornstørrelse ( $d$ ). Samtidig øker seigheten jo finere kornstørrelsen er. Sveisbarheten forbedres fordi C-innholdet kan senkes uten at flytegrensen påvirkes i særlig grad. Lavere C-innhold bidrar også sterkt til at stålet blir mindre sprøtt.

Reduksjonen av kornstørrelsen er derfor en veldig viktig metode for å øke materialstyrken. Styrkemessig kan vi oppfatte polykrystallinske metaller og legeringer som et tredimensjonalt nettverk av korn grenseflater. Styrken ligger i nettverket, og jo større nettverkstetthet, jo større materialstyrke. Materialet inne i nettmaskene bidrar lite til styrken, men er nødvendig for å stabilisere nettverksformen.

Ferritt-kornstørrelsen er veldig avhengig av austenitt-kornstørrelsen siden ferritten kimdannes på austenitt-korn grensene.

Det er derfor viktig å hindre at austenitt-kornene vokser.

Mikrolegeringselementene danner små partikler som felles ut på austenitt-korn grensene og hindrer kornvekst i austenitten.

I NS-EN10025 er S235J2G3, S275J2G3 og SJ2G3 finkornbehandlet.

Tabellen på neste side viser noen andre eksempler.

Stål:	Domex 450	OX 602	NJA 503 XP
$\sigma_F$ [N/mm <sup>2</sup> ]	min. 440	min. 490	min. 490
$\sigma_B$	min. 590	590 - 710	ca. 610
C [%]	max. 0,2	max. 0,17	ca. 0,08
Si	max. 0,8	0,15 - 0,50	ca. 0,1
Mn	max. 1,6	max. 0,15	ca. 1,4
P	max. 0,040	max. 0,030	max. 0,030
S	max. 0,040	max. 0,030	max. 0,025
N	max. 0,02		
V	max. 0,10		
Al		max. 0,03	

Tabell 10.1  
Eksempler på finkornbehandlede stål.

Finkornstål valeses som plater, bånd og profiler.

## 10.1 Valsing og varmebehandling. Metallurgisk bakgrunn.

Varmvalsing skjer i temperaturområdet 1200°C - 950°C. Temperatur og hastighet avpasses slik at stålet rekrystalliserer etter hvert valsestikk, og vi ender opp med en fin austenittstruktur like etter avsluttet valsing. Under den videre nedkjøling og til omdannelsen til ferritt begynner ved 750°C - 700°C, skjer det en betydelig vekst av austenittkristallene. Finkornbehandlingen av smelten motvirker veksten, men stanser den ikke. Når en grov austenittstruktur omdannes til ferritt, blir også ferrittstrukturen grov og tilfredsstillende ikke de høyeste krav til flytegrense og omslagstemperatur. For å sikre en tilstrekkelig fin struktur med de ettertraktede egenskaper som følger den, har vi bl.a. følgende muligheter:

### MIKROLEGERING OG VARMVALSING.

Det er mulig å oppfylle moderate krav til flytegrense og omslagstemperatur for platetykkelser under 15mm som er mikrolegert og varmvalset.

### NORMALISERING ETTER VANLIG VARMVALSING.

Normalisering er gjenoppvarming til 900°C etter avsluttet varmvalsing. Ved at ferritt - perlitt blir omvandlet til austenitt og så omvandlet til ferritt - perlitt igjen, kan vi oppnå en betydelig kornforfining.

### KONTROLLERT VALSING.

Kontrollert valsing er en valseprosess som fremstiller stål med tilnærmet samme egenskaper som om det var normalisert. Valseprosessen avsluttes like over A<sub>3</sub> - linja (i Fe - C fasediagrammet), og hvor mikrolegeringselementene blir spesielt tilpasset valsing ved lav temperatur. Best resultat oppnås ved legering med niob (Nb) og aluminium (Al). Vi får en veldig fin ferrittstruktur med flytegrense på 450 - 500N/mm<sup>2</sup>. Ved å benytte denne prosessen sparer vi energi og tid, og vi får et billigere stål.

### TERMOMEKANISK BEHANDLING.

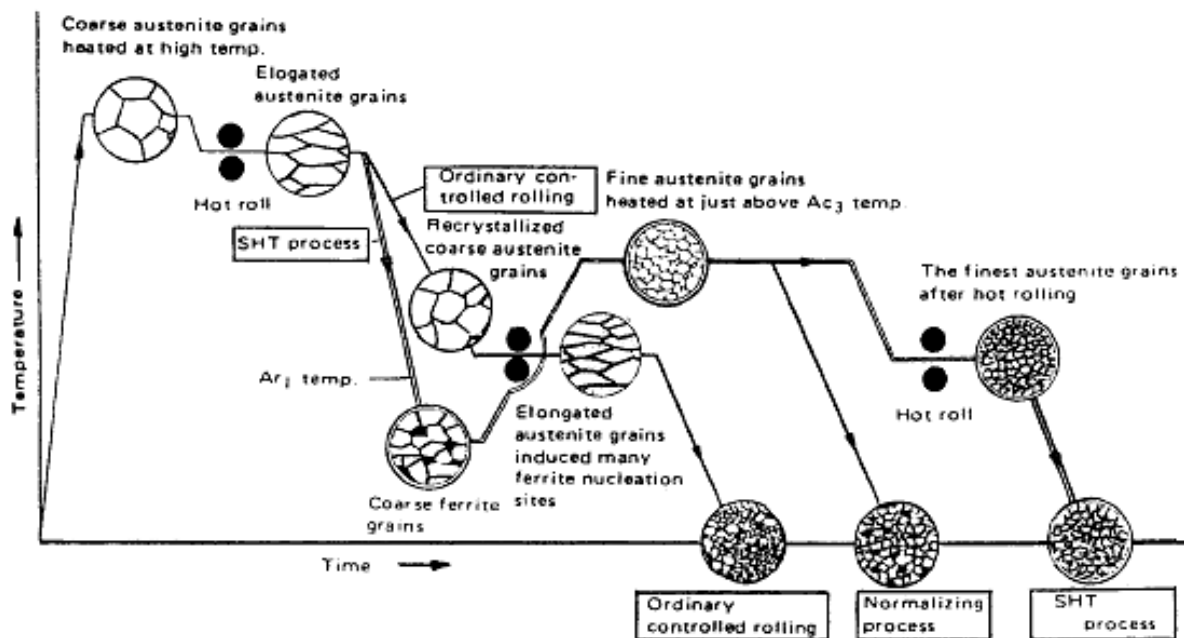
Termomekanisk behandling er en avart av kontrollert valsing. Vi kombinerer moderne stålfremstilling og mikrolegeringsteknikk og får en ny generasjon konstruksjonsstål med spesielt god sveisbarhet og gode seighetsegenskaper.



Disse stålene har flytegrenser opptil ca.  $450\text{N/mm}^2$ .

Ved termomekanisk behandling skjer dannelsen av ferritt både i austenitkristallenes indre og på austenittens korngrenser. Resultatet blir en ekstremt fin ferritt kornstruktur.

Figuren under viser skjematisk vanlig kontrollert valsing, normalisering og termomekanisk behandling, her ved SHT (Sumitomo High Toughness)-prosessen.



Figur 10.5

Skjematisk fremstilling av vanlig kontrollert valsing, normalisering og termomekanisk behandling, her ved SHT-prosessen. (4)

Stålets fasthet, slagseighet og sveisbarhet forbedres ved:

- 1) Finkornet ferritt-struktur
- 2) Partikkelstyrking (utfellingsstyrking)
- 3) Deformasjonsstyrking (fasting)
- 4) Løsnings- eller blandkristallstyrking

Faktorene 1) - 4) nevnt ovenfor gir alle bidrag til øket fasthet og øket hardhet i stålet.

Faktorene 2) - 4) har vanligvis også en negativ virkning på slagseigheten.

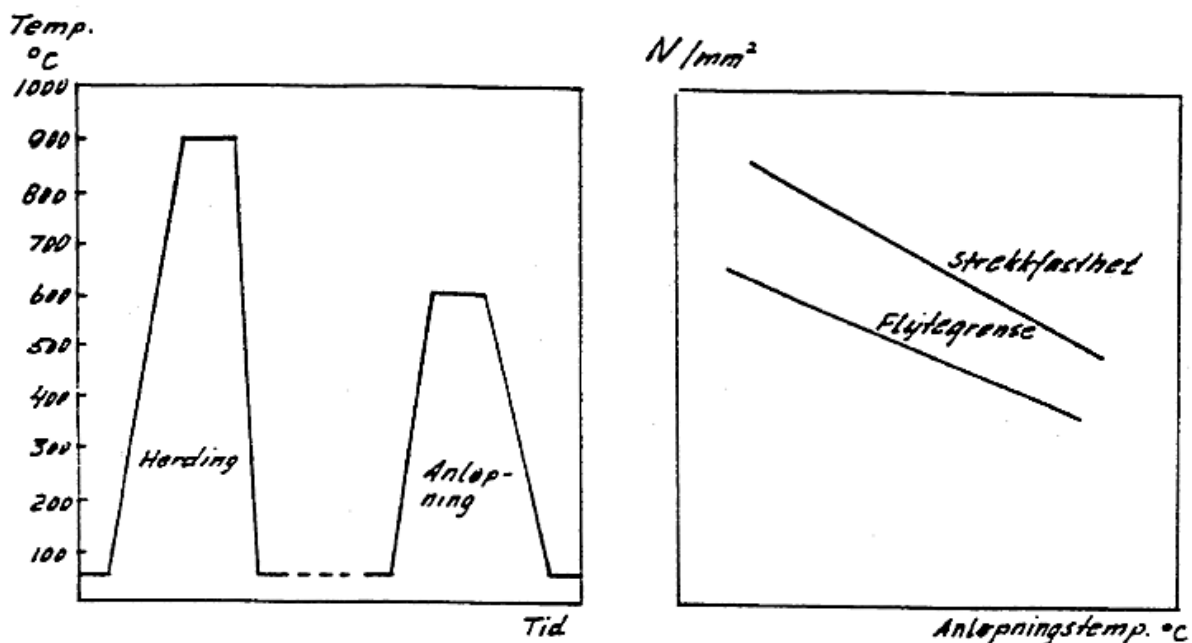
Den ubetinget beste metode til å optimalisere disse viktige egenskapene er den som gir den mest finkornete ferritt-strukturen. Dette er den eneste kjente metallurgiske prosess som samtidig forbedrer både flytegrense, slagseighet og sveisbarhet.

## 11 SEIGHERDEDE MIKROLEGERTE STÅL

Ved å seigherde de mikrolegerte stålene, kan flytegrensa økes ytterligere.

Seigherding vil si herding (oppvarming til austenitt, holdetid og etterfølgende avkjøling i olje eller vann) og anløping (gjennoppvarming til  $500^{\circ}\text{C}$  -  $700^{\circ}\text{C}$  etterfulgt av avkjøling i luft).

Seigherding gir høyere flyte- og bruddgrense og bedre slagseighet enn hos de samme stål i varmvalset eller normalisert tilstand.



Figur 11.1

Prinsipdiagram for seigherding, samt hvordan fastheten avhenger av anløpningstemperaturen. (5)

Det finnes kontinuerlige anlegg for seigherding av plater. Disse stålene kan ha flytegrense opp til ca.  $700\text{N/mm}^2$ . De er sveisbare på samme måte som de mikrolegerte stålene. Seigherdingen går tapt i en tynn stripe av den varmepåvirkede sonen. Stålene har likevel tilstrekkelig fasthet.

Tabellen under viser et eksempel på et slikt stål.

Stål:	OX 812
$\sigma_F$ [N/mm <sup>2</sup> ]	690
$\sigma_B$	ca. 900
C [%]	max. 0,13
Si	0,30
Mn	1,35
P	0,020
S	0,004
V	0,05
B	0,002

Tabell 11.1

Eksempl på seigherdet mikrolegert stål.

## 12 LAVLEGERTE KONSTRUKSJONSSTÅL

Ved å tilsette legeringselementer som krom (Cr), molybden (Mo) og kobber (Cu) i stålene, kan flytegrensen forhøyes ytterligere. Leveringsinnholdet velges lavt av hensyn til sveisbarhet og kostnader.

Disse stålene kan være både finkornbehandlet og seigherdet.

Stålene kan ha flytegrenser opp til  $700\text{N/mm}^2$  og høyere.

Tabellen under viser to eksempel på slike stål.

Stål:	OX 802	Corten A
$\sigma_F$ [ $\text{N/mm}^2$ ]	min. 690	min. 340
$\sigma_B$	790 - 940	ca. 480
C [%]	max. 0,16	ca. 0,12
Si	0,15 - 0,50	0,25 - 0,75
Mn	max. 0,15	0,20 - 0,50
P	max. 0,025	0,07 - 0,15
S	max. 0,025	max. 0,05
Mo	ca. 0,6	
Nb	ca. 0,04	
B	max. 0,005	
Cu		0,25 - 0,55
Cr		0,30 - 1,25
Ni		max. 0,65
	finkornbehandlet og seigherdet	normalisert

Tabell 12.1

Eksempler pålavlegerte konstruksjonsstål.

## 13 UTVIKLINGEN

Utviklingen har gått i retning av bruk av stål med høyere og høyere fasthet i sveiste konstruksjoner, f.eks. trykkbeholdere, lagertanker for olje, broer, bygninger, rørledninger, lavtemperaturtanker og marine konstruksjoner.

Utviklingen av disse stål har foregått over en periode på over 30 år.

Ekstra høyfaste stål med gode sveise-egenskaper kombinert med god formbarhet og bruddseighet er fremstilt ved hjelp av:

- | seigherding
- moderne stålverkspraksis
  - svovelrensning
  - vakuumavgassing
  - formkontroll av inneslutninger
  - slaggherhet
- Flytegrense,  $R_e = 500 - 900\text{ N/mm}^2$  framstilles
- Platetykkelser 12-15mm med  $R_e = 900\text{ N/mm}^2$  er fullt sveisbare uten forvarming
- Større platetykkelser bør forvarmes
- Kvaliteter med  $R_e = 500 - 700\text{ N/mm}^2$  er mest benyttet
- Det finnes en rekke varianter på markedet
- Felles for alle stålene er lavt C-innhold max 0,16% og vanligvis 0,60-1,20% Mn + små mengder Cu, Cr, Ni, Mo, V og B

## 14 REFERANSER

- 1 Lars Wallin (1976). *Svetsbara konstruksjonsstål*, SBI. Stålbyggnadsinstituttet.
- 2 A. Almar Næss (2003). *Metalliske materialer*, Tapir akademisk forlag. ISBN 82-519-1786-7.
- 3 Arne Baggerud (1972). *Elektrisk buesveising*. H. Aschoug & Co. ISBN 82 03041 95 7.
- 4 Professor Herman Wintermark (1984). *Stål I marine konstruksjoner*. NITO-kurs.
- 5 AS Stormbull. *Sveiseinformasjon for N-A-XTRA og XAR stål*.
- 6 K. G. Richards (1980). *Weldability of steel*. The Welding Institute, England.
- 7 NS-EN 10025 (1993). *Varmvalsede produkter av ulegert stål*.



## 15 VEDLEGG

Legeringselement	Strekfasthet	Hardhet	Slitestyrke	Korrosjonsegenskap	Herdbarhet	Varmefasthet	Eldingssikkerhet	Duktilitet	Skårslageighet	Sveisbarhet	Anmerkning
1 Karbon C	☺	☺	☺	○	☺	☹	⊗	⊗	⊗	⊗	
2 Aluminium Al	☹	☹	○	○	○	○	☺	⊗	⊗	☺	Finkorndannende
3 Bly Pb	★	★	★	⊗	★	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	
4 Bor B	☹	☹	☹	★	☹	☹	⊗	⊗	⊗	○	
5 Fosfor P	☹	☹	☹	⊗	○	○	⊗	⊗	⊗	⊗	Uønsket
6 Kobolt Co	☹	☺	☺	☹	☹	⊗	○	⊗	⊗	⊗	
7 Kopper Cu	☹	☹	○	☹	☹	○	○	○	⊗	⊗	
8 Krom Cr	☹	☺	☺	☺	☺	☹	○	⊗	⊗	⊗	Finkorndannende
9 Mangan Mn	☹	☹	☹	○	☹	★	★	⊗	○	☹	
10 Molybden Mo	☹	☹	☺	☹	☺	☹	☹	⊗	☹	☹	Finkorndannende
11 Nikkel Ni	☹	☹	○	☹	☹	☺	○	○	☺	○	
12 Niob Nb	☹	○	○	☹	★	★	☹	⊗	⊗	⊗	Finkorndannende
13 Silisium Si	☹	☹	★	☹	☺	☹	○	⊗	⊗	⊗	
14 Svovel S	○	○	○	⊗	○	⊗	○	⊗	⊗	⊗	Uønsket
15 Tan al Ta	☹	☹	★	★	★	★	☹	★	★	★	Finkorndannende
16 Titan Ti	☺	☹	★	☹	★	★	☹	⊗	⊗	⊗	Finkorndannende
17 Vanadium V	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☹	⊗	☹	★	Finkorndannende
18 Wolfram W	☹	☺	☺	☹	☺	☺	☹	⊗	★	⊗	Finkorndannende

☺ markert virkning

☹ mindre virkning

○ ingen virkning

⊗ negativ virkning

⊗ mindre negativ virkning

★ ukjent virkning

Tabell 14.1

Innvirkning av legeringselementer i stål.

Betegnelse	deoksi- dasjon	under gruppe	C	Mn	Si maks %	P	S	N
S185	valgfri	BS	-	-	-	-	-	-
S235JR	valgfri	BS	0,20	1,40	-	0,045	0,045	0,009
S235JRG1	FU	BS	0,20	1,40	-	0,045	0,045	0,007
S235JRG2	FN	BS	0,17	1,40	-	0,045	0,045	0,009
S235J0	FN	QS	0,17	1,40	-	0,040	0,040	0,009
S235J2G3	FF	QS	0,17	1,40	-	0,035	0,035	-
S235J2G4	FF	QS	0,17	1,40	-	0,035	0,035	-
S275JR	FN	BS	0,21	1,50	-	0,045	0,045	0,009
S275J0	FN	QS	0,18	1,50	-	0,040	0,040	0,009
S275J2G3	FF	QS	0,18	1,50	-	0,035	0,035	-
S275J2G4	FF	QS	0,18	1,50	-	0,035	0,035	-
S355JR	FN	BS	0,24	1,60	0,55	0,045	0,045	0,009
S355J0	FN	QS	0,20	1,60	0,55	0,040	0,040	0,009
S355J2G3	FF	QS	0,20	1,60	0,55	0,035	0,035	-
S355J2G4	FF	QS	0,20	1,60	0,55	0,035	0,035	-
S355K2G3	FF	QS	0,20	1,60	0,55	0,035	0,035	-
S355K2G4	FF	QS	0,20	1,60	0,55	0,035	0,035	-
E295	FN	BS	-	-	-	0,045	0,045	0,009
E335	FN	BS	-	-	-	0,045	0,045	0,009
E360	FN	BS	-	-	-	0,045	0,045	0,009

Tabell 14.2a

Utdrag av NS-EN 10025. Varmvalsede produkter av ulegert konstruksjonsstål.

Kjemisk sammensertning i øsen for flate og lange produkter. (7)

S = konstruksjonsstål, E = maskinstål.

De første tre tall angir flytegrense og de etterfølgende bokstav- og tallkombinasjoner angir egnethet for sveising.

FU = uttettet stål, FN = uttettet stå ikke tillatt og FF = fult tett.

BS = basisstål og QS = kvalitetssål.

Stål, betegnelse	deoksi- dasjon	under- gruppe	Min. flytegrense $R_{eH}$ i N/mm <sup>2</sup> Nominell tykkelse i mm				Strekfasthet $R_m$ i N/mm <sup>2</sup> Nominell tykkelse i mm		
			>16 <40	>40 <63	>63 <80	>80 <100	<3 >3 <100	>3 >100	>100 <150
S185	valgfri	BS	175	-	-	-	310-540	290-510	-
S235JR	valgfri	BS	225	-	-	-	360-510	340-470	-
S235JRG1	FU	BS	225	-	-	-	360-510	340-470	-
S235JRG2	FN	BS	225	215	215	215	360-510	340-470	340-470
S235J0	FN	QS	225	215	215	215	360-510	340-470	340-470
S235J2G3	FF	QS	225	215	215	215	360-510	340-470	340-470
S235J2G4	FF	QS	225	215	215	215	360-510	340-470	340-470
S275JR	FN	BS	265	255	245	235	430-580	410-560	400-540
S275J0	FN	QS							
S275J2G3	FF	QS							
S275J2G4	FF	QS							
S355JR	FN	BS	345	335	325	315	510-680	490-630	470-630
S355J0	FN	QS							
S355J2G3	FF	QS							
S355J2G4	FF	QS							
S355K2G3	FF	QS							
S355K2G4	FF	QS							
E295	FN	BS	285	275	265	255	490-660	470-610	450-610
E335	FN	BS	325	315	305	295	590-770	570-710	550-710
E360	FN	BS	355	345	335	325	690-900	670-830	650-830

Tabell 14.2b

Utdrag av NS-EN 10025. Varmvalsede produkter av ulegert konstruksjonsstål.  
Mekamniske egenskaper for flate og lange produkter. (7)

Stål, betegnelse	Deok- sida- sjon	Under grup- pe	Tem- pe- ra- tur	Minimum energi i J	
				Nom. tykkelse i mm >10 <150	>150 <250
S185	valgfri	BS	-	-	-
S235JR	valgfri	BS	20	27	-
S235JRG1	FU	BS	20	27	-
S235JRG2	FN	BS	20	27	23
S235J0	FN	QS	0	27	23
S235J2G3	FF	QS	-20	27	23
S235J2G4	FF	QS	-20	27	23
S275JR	FN	BS	20	27	23
S275J0	FN	QS	0	27	23
S275J2G3	FF	QS	-20	27	23
S275J2G4	FF	QS	-20	27	23
S355JR	FN	BS	20	27	23
S355J0	FN	QS	0	27	23
S355J2G3	FF	QS	-20	27	23
S355J2G4	FF	QS	-20	27	23
S355K2G3	FF	QS	-20	40	33
S355K2G4	FF	QS	-20	40	33
E295	FN	BS	-	-	-
E335	FN	BS	-	-	-
E360	FN	BS	-	-	-

Tabell 14.2c

Utdrag av NS-EN 10025. Varmvalsede produkter av ulegert konstruksjonsstål.  
Slagseighet for flate og lange produkter. (7)



## LAVLEGERTE KONSTRUKSJONSSTÅL AVPASSET FOR SVEISING.

Tabelle 4.14. Chemische Zusammensetzung für wasservergütete schweißbare Baustähle<sup>a</sup>

Stahlsorte	Legierungsgehalt in %												
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Zr	Ti	B	Cu	V
N-A-XTRA 55	≤0,20	etwa 0,5	etwa 0,7	≤0,035	≤0,035		0,5/0,9	0,2/0,6	0,04/0,10				
N-A-XTRA 60	≤0,20	etwa 0,5	etwa 0,7	≤0,035	≤0,035		0,5/0,9	0,2/0,6	0,04/0,10				
N-A-XTRA 65	≤0,20	etwa 0,6	etwa 0,9	≤0,035	≤0,035		0,6/1,0	0,2/0,6	0,06/0,12				
N-A-XTRA 70	≤0,20	etwa 0,6	etwa 0,9	≤0,035	≤0,035		0,6/1,0	0,2/0,6	0,06/0,12				
T 1	0,10/0,20	0,15/0,35	0,60/1,0	≤0,035	≤0,040	0,70/1,0	0,40/0,65	0,40/0,60		0,01/0,03	0,002/0,006	0,15/0,50	0,03/0,08
T 1 A	0,12/0,21	0,20/0,35	0,70/1,0	≤0,035	≤0,040		0,40/0,65	0,15/0,25			0,0005/0,005	(0,20/0,40)	0,03/0,08
T 1 B	0,12/0,21	0,20/0,35	0,95/1,30	≤0,035	≤0,040	0,30/0,70	0,40/0,65	0,20/0,30			≥0,0005	(0,20/0,40)	0,03/0,08
BH 70 V	≤0,20	0,10/0,40	0,20/0,60	≤0,025	≤0,025	3,0/3,7	0,20/0,60	0,20/0,60		≤0,05			0,03/0,08
HY 80	≤0,18	0,15/0,35	0,10/0,40	≤0,025	≤0,025	2,00/3,25	1,00/1,80	0,20/0,60					

<sup>a</sup> Die Stähle enthalten ausreichende Legierungszusätze zur Erzielung der Feinkörnigkeit.

Tabelle 4.15. Mechanische Eigenschaften für wasservergütete schweißbare Baustähle

Stahlsorte	Streckgrenze N mm <sup>-2</sup> mind.	Bei Blechdicke max. mm	Zugfestigkeit N mm <sup>-2</sup>	Bruchdehnung % A <sub>5</sub> mind.	Kerbschlagzähigkeit in J cm <sup>-2</sup>					Warmstreckgrenze in N mm <sup>-2</sup>					
					Probenform	Probenlage	±0°C	-20°C	-40°C	-60°C	-75°C	100°C	200°C	300°C	400°C
N-A-XTRA 55	540	50	640 bis 785	18	ISO-V	längs	69	59	49	39	34	500	460	430	400
						quer	49	39	39	34					
N-A-XTRA 60	590	50	690 bis 825	18	ISO-V	längs	69	59	49	39	34	550	510	480	450
						quer	49	39	39	34					
N-A-XTRA 65	640	50	690 bis 885	17	ISO-V	längs	69	59	49	39	34	590	550	520	490
						quer	49	39	39	34					
N-A-XTRA 70	690	50	785 bis 990	16	ISO-V	längs	69	59	49	39	34	640	600	570	540
						quer	49	39	39	34					

Tabell 14.3

Lavlegerte konstruksjonsstål avpasset for sveising Utdrag av NS-EN 10025. Varmvalsede produkter av ulegert konstruksjonsstål. Slagseighet for flate og lange produkter. (2)

Maksimalverdier %									
Kvalitet	C	Mn	Si	P	S	N	B	Cr	Cu
-				0,025	0,015				
L	0,20	1,70	0,80	0,020	0,010	0,015	0,005	1,50	0,50
L1				0,020	0,010				

Maksimalverdier %									
				Mo	Nb	Ni	Ti	V	Zr
Alle kvaliteter				0,70	0,06	2,0	0,05	0,12	0,15

Stål, betegnelse	Min flytegrense $R_{eH}$ Nominell tykkelse mm			Strekfasthet $R_m$ Nominell tykkelse mm			Min brudd- forleng- else %
	$\geq 3$ $\leq 50$	$> 50$ $\leq 100$	$> 100$ $\leq 150$	$\geq 3$ $\leq 50$	$> 50$ $\leq 100$	$> 100$ $\leq 150$	
S460Q S460QL S460QL1	460	440	400	550-720		500-670	17
S500Q S500QL S500QL1	500	480	440	590-770		540-720	17
S550Q S550QL S550QL1	550	530	490	640-820		590-77	16
S620Q S620QL S620QL1	620	580	560	700-890		650-830	15
S690Q S690QL S690QL1	690	650	630	770-940	760-930	710-900	14
S890Q S890QL S890QL1	890	830	-	940-1100	880-1100	-	11
S960Q S960QL	960	-	-	980-1150	-	-	10

Tabell 14.4

Utdrag av NS-EN 10137. Plater og bredflatstål av høyfast stål. Kjemis sammensetning.  
Mekaniske egenskaper av seigherdestål. (7)