

Svejsning af rustfrit stål

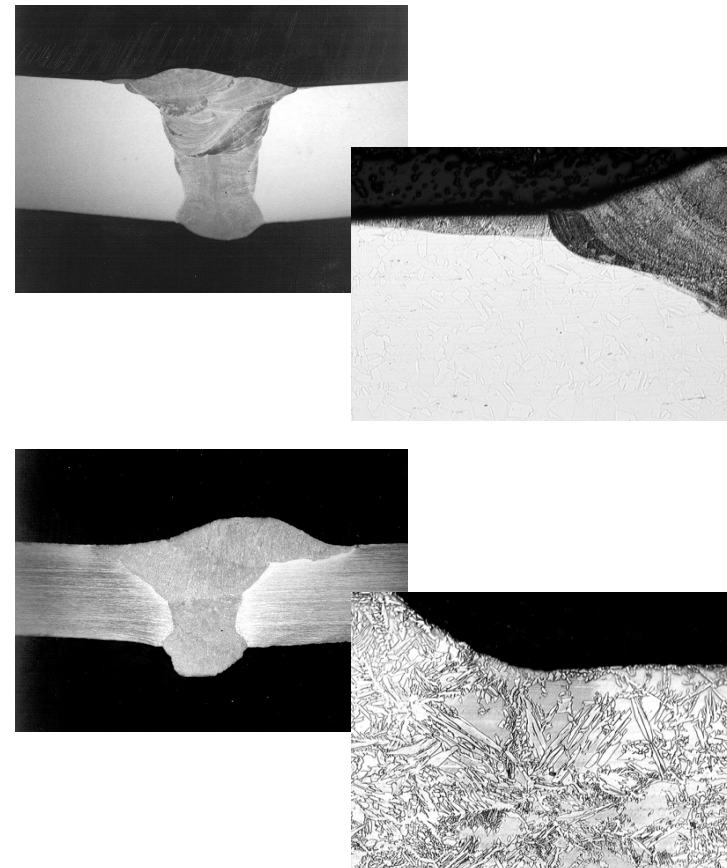
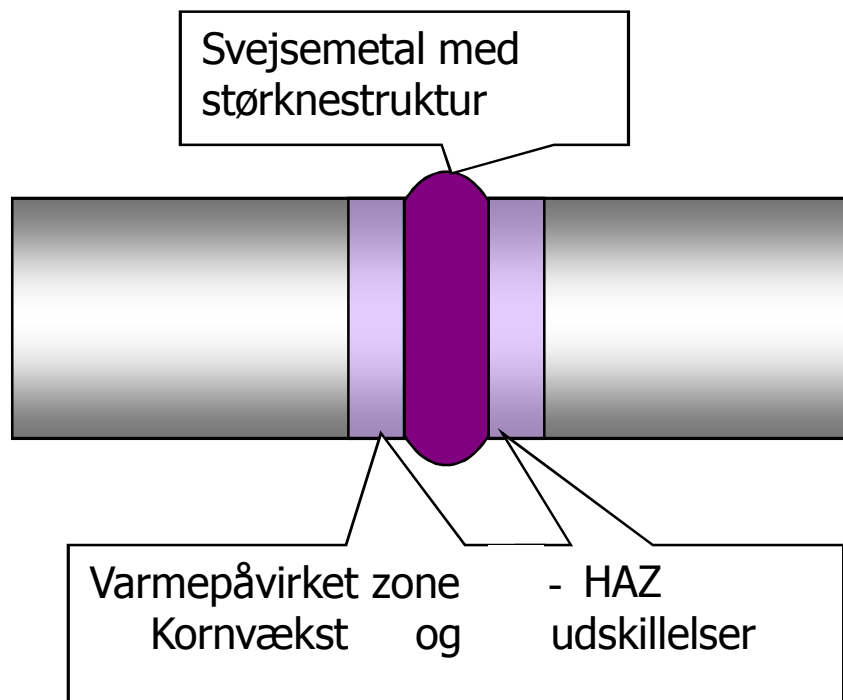
J. Vagn Hansen

Civ.ing. Specialist

Korrosion og Metallurgi

Divisionen for Energi, Materialer og Svejsning

FORCE Technology



Varmetilførsel heat input

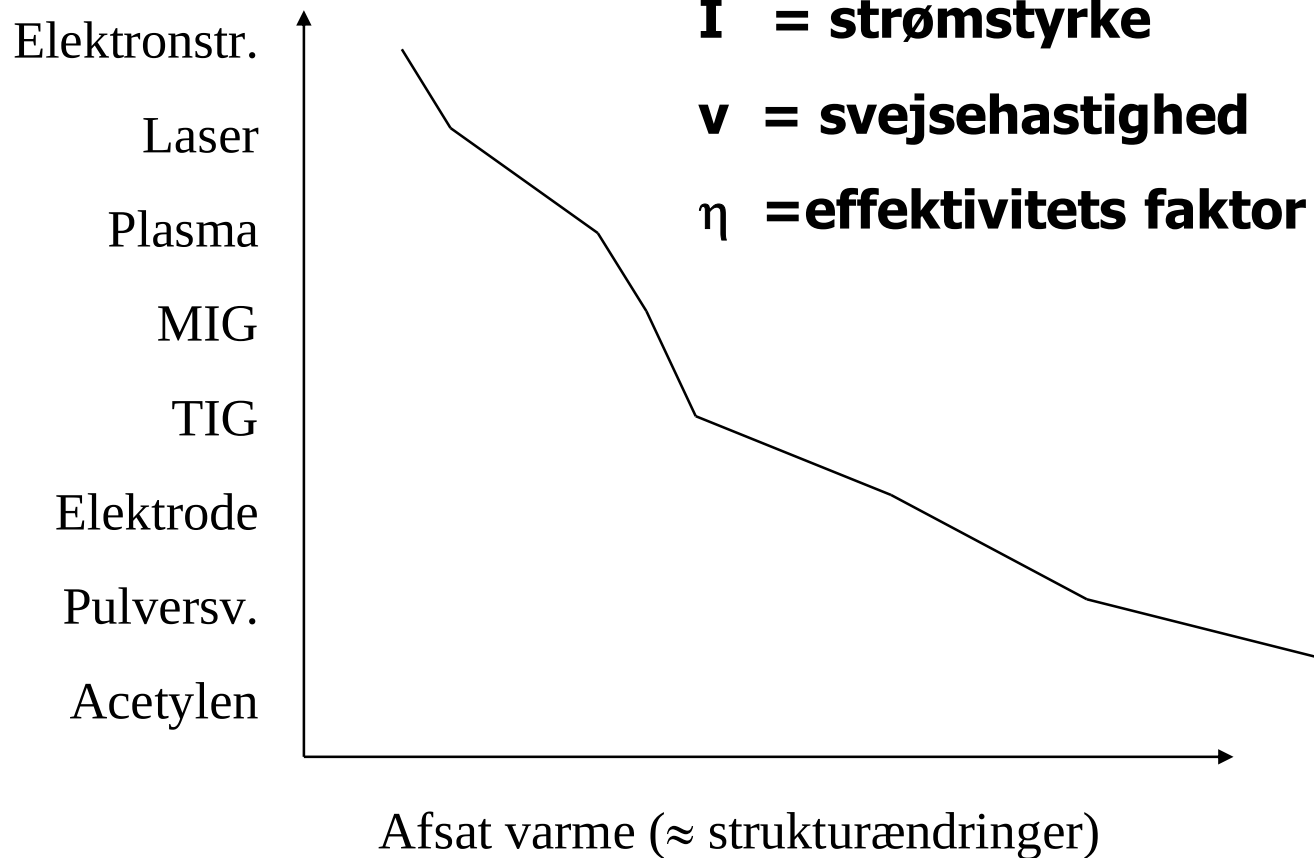
$$Q = (\eta \times U \times I \times 60) / (v \times 1000), \text{ kJ/mm} = \text{MJ/m}$$

U = spændingsfald over lysbue

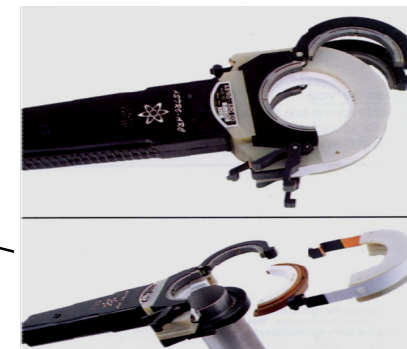
I = strømstyrke

v = svejsehastighed

η = effektivitets faktor



η	Beklædte elektroder MMA	TIG	Rørtråd FCAW	MIG/MAG
EN 1011	0,8	0,6	0,8	0,8



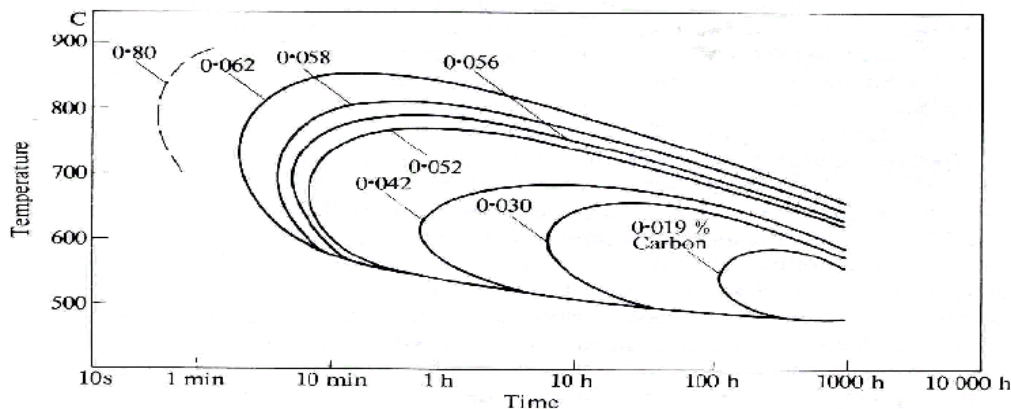
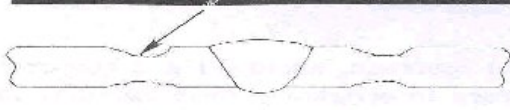
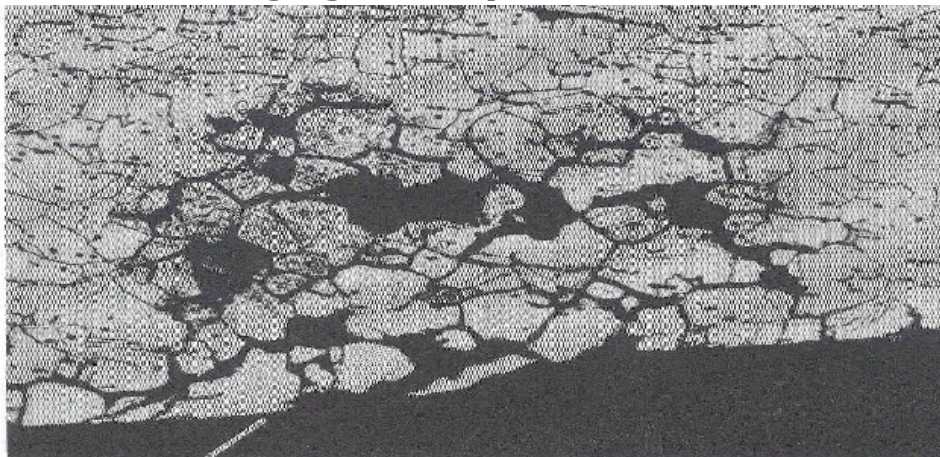
ORBITAL

**TIG - svejsning
lukket kammer
uden tilsatsmateriale**

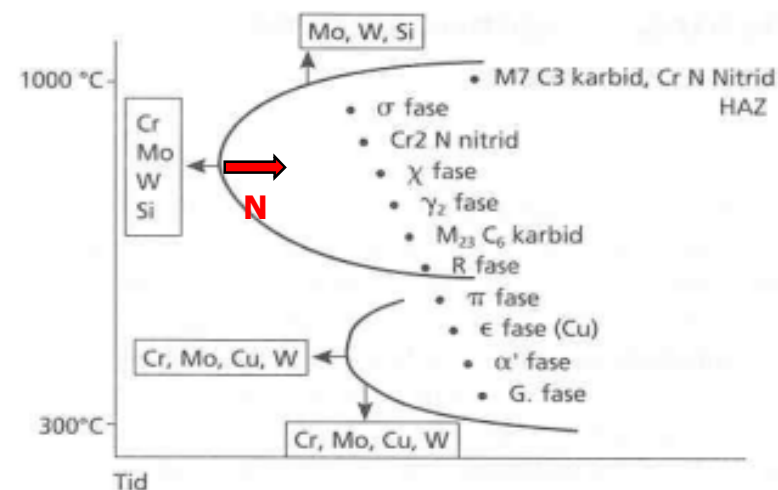
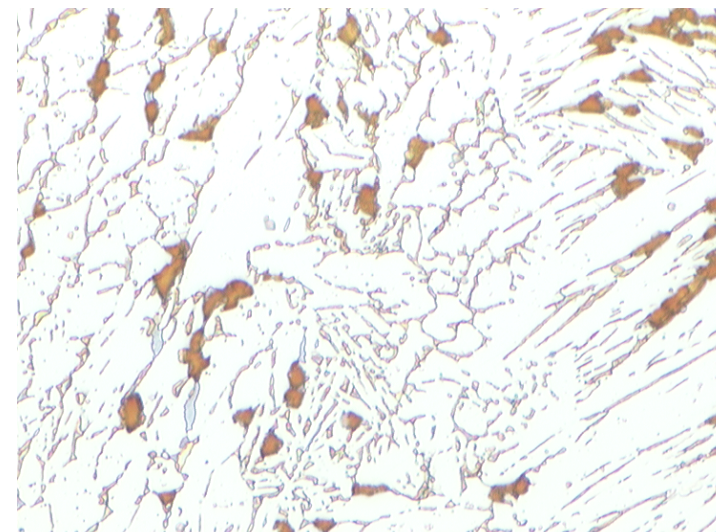
Svejsning af rustfrit stål

Strukturforandringer – Sensibilisering Karbider – Sigmafase - nitrider

Sensibilisering og interkrystallinsk korrosion

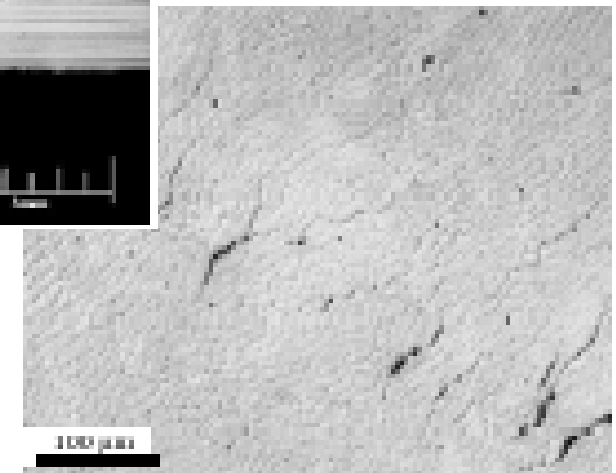
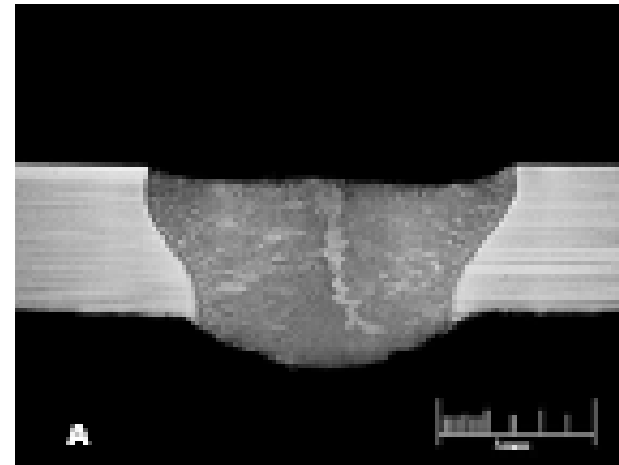


Duplex 2205 svejsesøm, glødet 2h ved 850°C



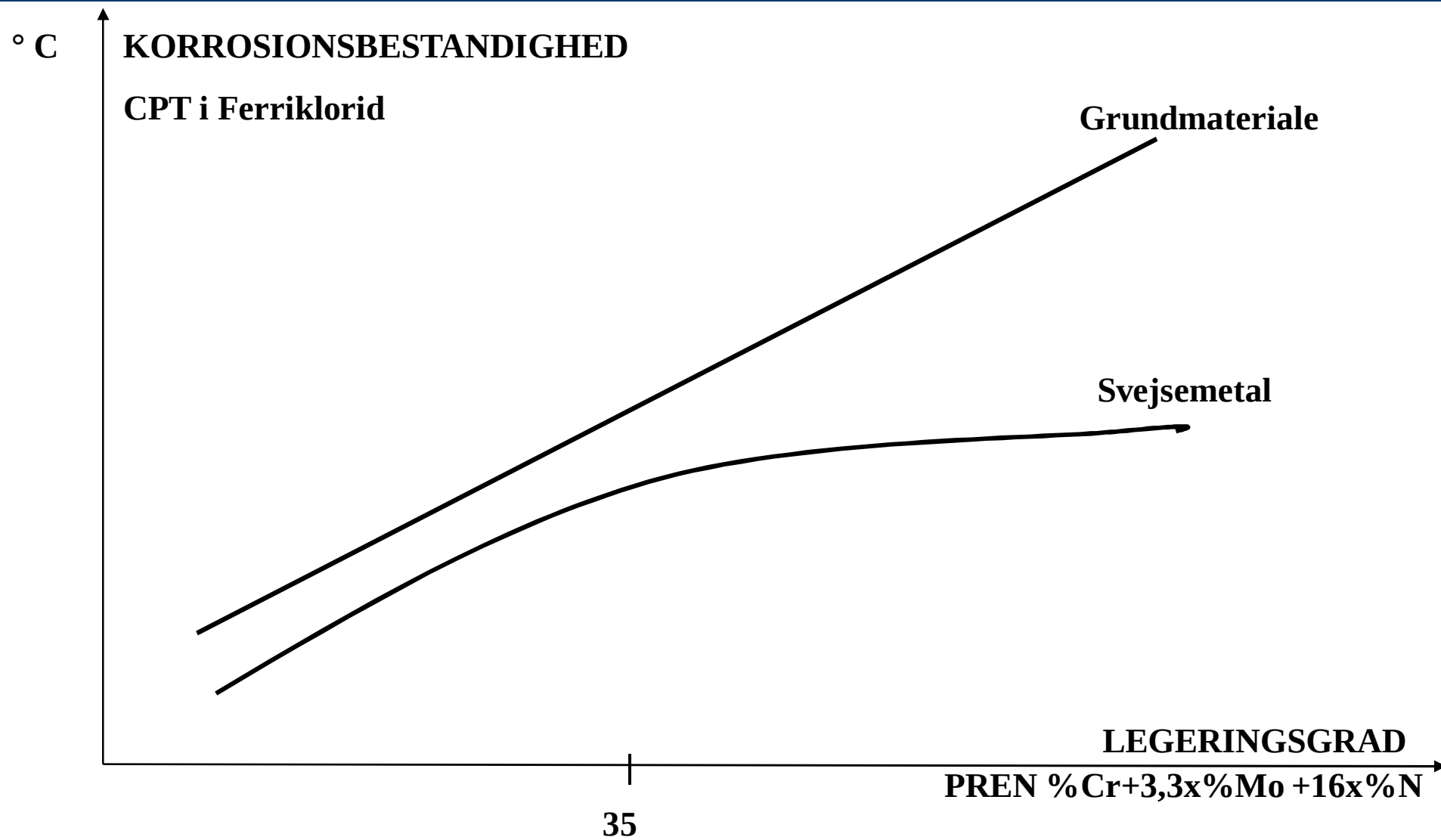
Svejsning af rustfrit stål

- Svejsmetal er støbegods – med hurtig størkning og afkøling
- Visse legeringselementer og urenheder sejrer
- Kan medføre
 - Magnetiske deltaferritfaser
 - Revner
 - Udskillelser
 - Korrosionsfølsomhed
- Urenheder som svovl og fosfor
- => Øget risiko for kraterfejl og varmrevner
- Standardlegeringer giver 2 – 5% ferrit
- => Mindre sejring af svovl og fosfor



Solidification cracking in Fe-0.1C weld metal produced by transverse impact test

Korrosion i svejsemetal



Svejsning af rustfrit stål

Beskyttelsesgas, typer. Rustfrit stål, Ni og Ti



Materiale	Gastyper						
	Ar	Ar-H ₂	Ar-CO ₂	Ar-He	Ar-N ₂	Ar-O ₂	N ₂ -H ₂ Formier
Lysbuebeskyttelse							
Austenitisk rustfrit stål							
TIG	++	++ ¹	-	+	-	-	-
MIG/MAG	(+)		+ ²	+	-	+ ³	-
Duplex rustfrit stål							
TIG	++	+ ⁴	÷	+	+ ⁵	-	-
MIG/MAG	(+)	-	+ ²	+	-	+ ³	-
Ferrit og martensitisk	+	-	+ ²	+	-	+ ³	-
Nikkellegeringer	++	+ ⁶	+ ²	+	-	+ ³	-
Titanlegeringer	+	÷	÷	+	÷	÷	-
Baggas							
Austenitisk rustfrit stål	+	+	÷	+ ⁷	+	÷	++
Duplex rustfrit stål	+	+	÷	+ ⁷	++	÷	++
Ferrit og martensitisk	+	÷	÷	+ ⁷	÷	÷	(+) ⁸
Nikkellegeringer	+	+	÷	+ ⁷			
Titanlegeringer	+	÷	÷	+ ⁷			

1 Max. 10% i austenitisk

2 Max. 2,5%

3 Max. 2%

4 Max. 5% og kun med ferritindhold under ca. 65 samt en finkornet struktur også i HAZ

5 Max 2% af hensyn til elektroden

6 Max 5% og ikke i visse legeringer med højt nikkelindhold

7 Uøkonomisk

8 Kun for ikke hærdbare, eller hvor der anløbes i tilknytning til svejsning

Argon	99,998	99,998 øget renhed	99,999
O ₂ max. ppm	5	2	0,1
N ₂ max. ppm	10	5	0,3
H ₂ O max. ppm	5	3	0,6
Formier			
O ₂ max. ppm	20	10	5
H ₂ O max. ppm	20	10	5

- Specifikation af emballering, håndtering og lager
 - Undgå ridser og forurening bl.a. med jernholdigepartikler
- Svejseprocedure som sikrer mod svejsefejl og strukturbeskadigelse
 - God indtrængning, lavt heat input, varmrevner og kraterfejl, slope down
 - Svovlproblematik kan give kraterporer, revner eller forsatte sømme
- Brint (og Helium) kan bedre indtrængningen (hindrer fejl i roden)
- Svejsning med tilstrækkelig rene beskyttelsesgasser
- Undgå oxidation på kritiske overflader eller efterbehandle

Ideale egenskaber i svejsezonen



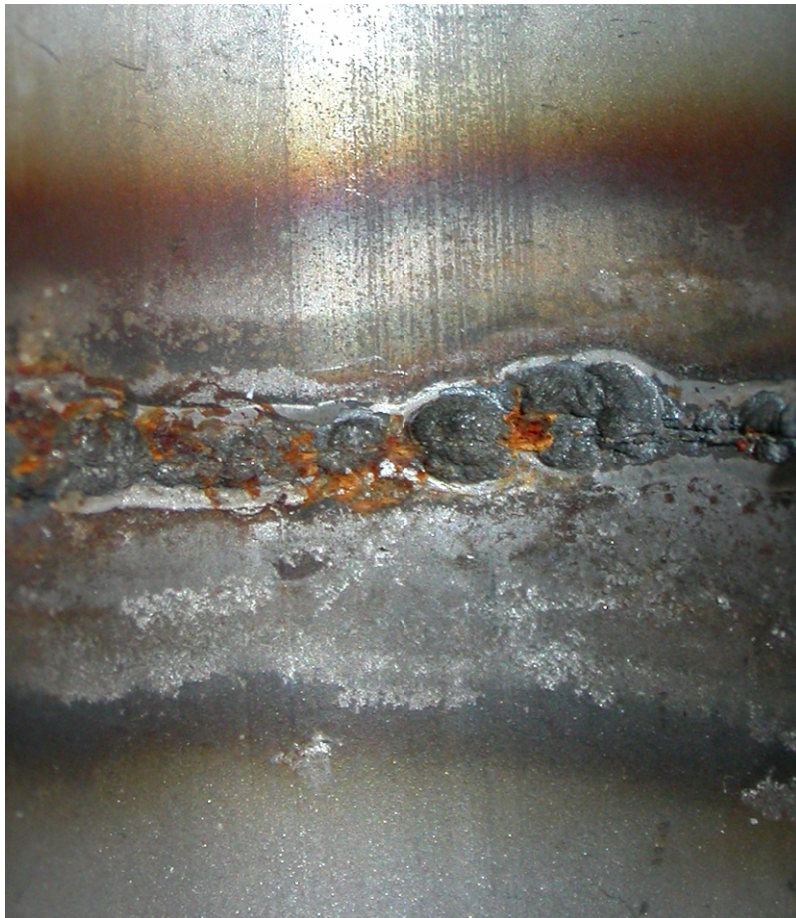
Den optimale svejsning medfører en svejsezone med samme egenskaber som rør eller plade

Som mål er det optimale uopnåeligt !!!

Desto nærmere målet desto højere svejseomkostninger:

- Høj kvalitet og renhed i leverede rør
- Højeste kvalitet beskyttelsesgas
- Tidskrævende og ofte dyre hjælpeværktøjer og svejserutiner
- Højtkvalificerede svejsere og/eller automatisk svejsudrustning
- Intensiv kontrol

Svejsning uden forsøg på beskyttelse af åbne smeltebad og varme overflader medfører:



- Lav geometrisk svejsekvalitet, spalter, lommer og porøs oxid (koks)
- Tykke farvede - og til dels porøse - oxidlag (anløbninger)

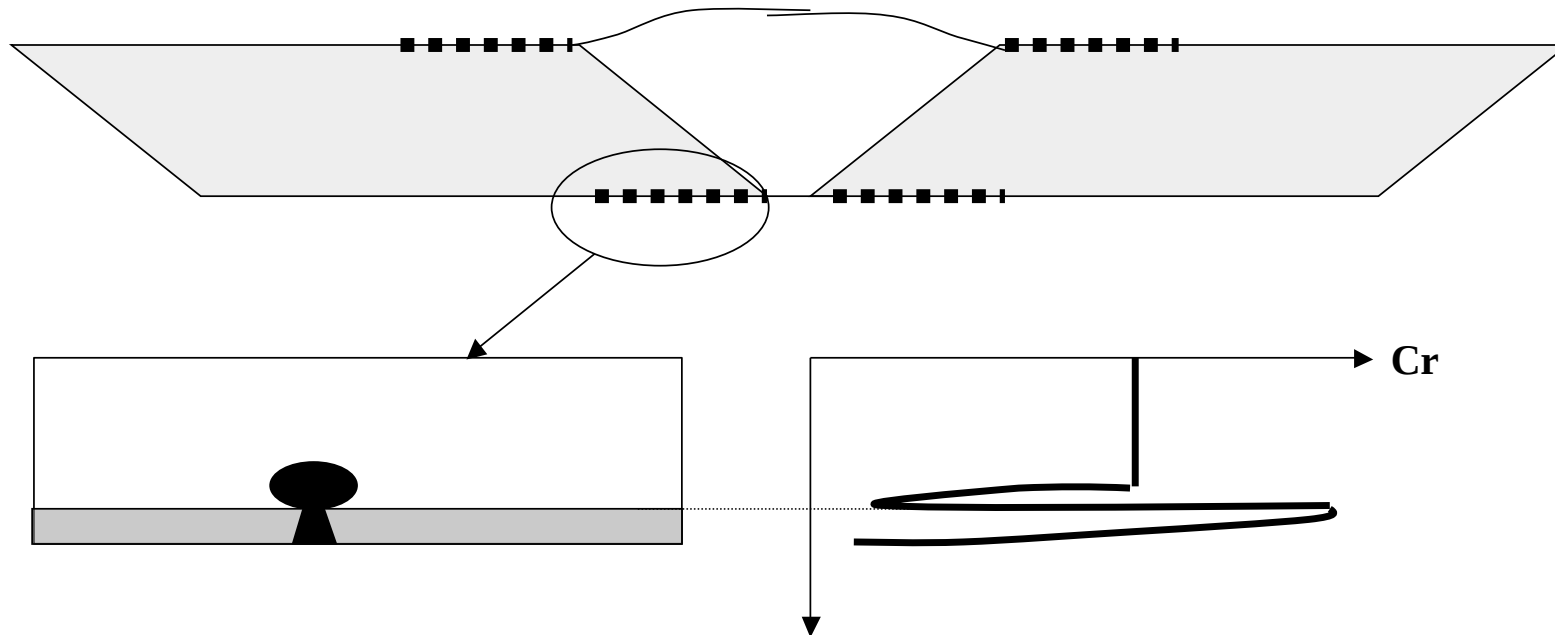
Svejsning af rustfrit stål

Lav kvalitet i gasbeskyttelsen giver billigere etablering –
men stor risiko for dyrere drift og/eller vedligehold



- Overfladerne bliver vanskelige at rengøre
- Risiko for overfladerust
- Øget risiko for Rouge i ultra-rent vand
- I kritiske anlæg – risiko for tæring

Svejsning af rustfrit stål



Anløbningsgraden afhænger af:

- Gasdækningens kvalitet
- Svejseparametre (temperatur og tid på temperatur)
 - Heat input, antal strenge, materialetemperatur og gasflow
- Overfladens renhed og tørhed

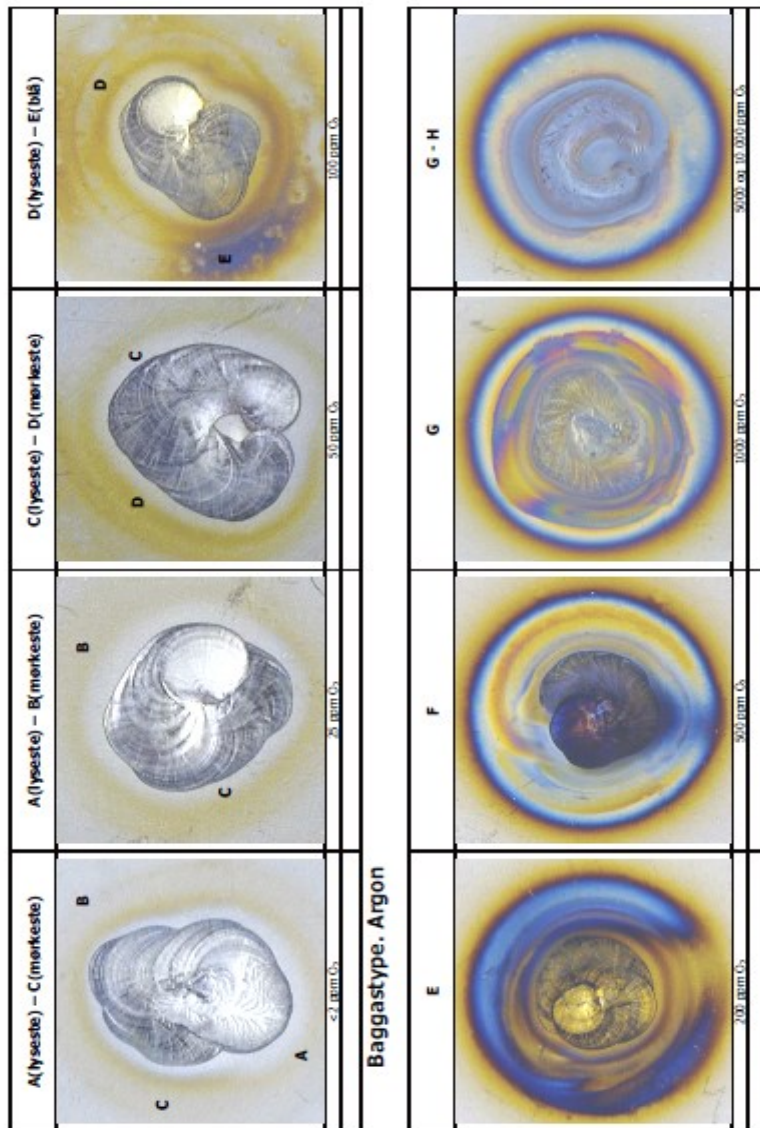
Svejsning af rustfrit stål

REFERENCE ATLAS revision december 2013

Rapport 1337-3-da/en FORCE Technology.



Reference Colour - Charts 1



Acceptance criteria:

For chloride containing aqueous media and surfaces exposed without post weld treatment:

Heat tint levels A to C are acceptable
D and above to be rejected.

Surfaces exposed after proper post weld treatment (e.g. pickling):

Heat tint levels to G may be accepted

Svejsning af rustfrit stål

For illustration only, not to be used as reference

- Projektspecifikationen skal give et grundlag at arbejde på
- Krav til svejsningens geometriske kvalitet eks. ISO 5817
- Krav til anløbningsgrad
 - **Referenceatlas FORCE rapport 1337-3**
 - **Anden kundespecifik reference eks. en svejseprøve**
 - **AWS 18.1 (noget mere tolerant end europæiske krav)**

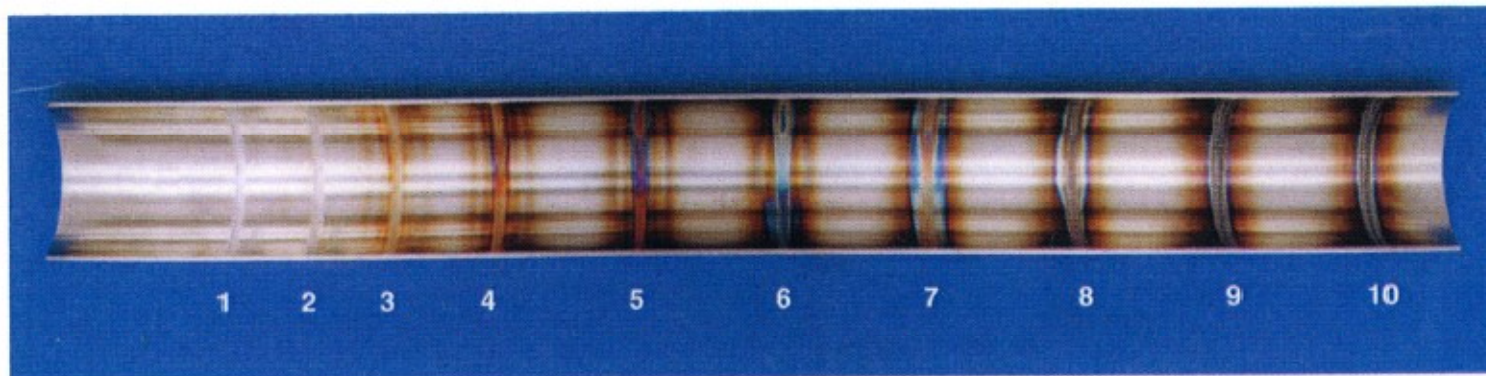
No. 1—10 ppm
No. 2—25 ppm

No. 3—50 ppm
No. 4—100 ppm

No. 5—200 ppm
No. 6—500 ppm

No. 7—1000 ppm
No. 8—5000 ppm

No. 9—12 500 ppm
No. 10—25 000 ppm



Weld Discoloration Levels on Inside of Austenitic Stainless Steel Tube



Rusting of iron contamination during the service life of stainless steel is unsightly. Removal can be time-consuming and expensive.

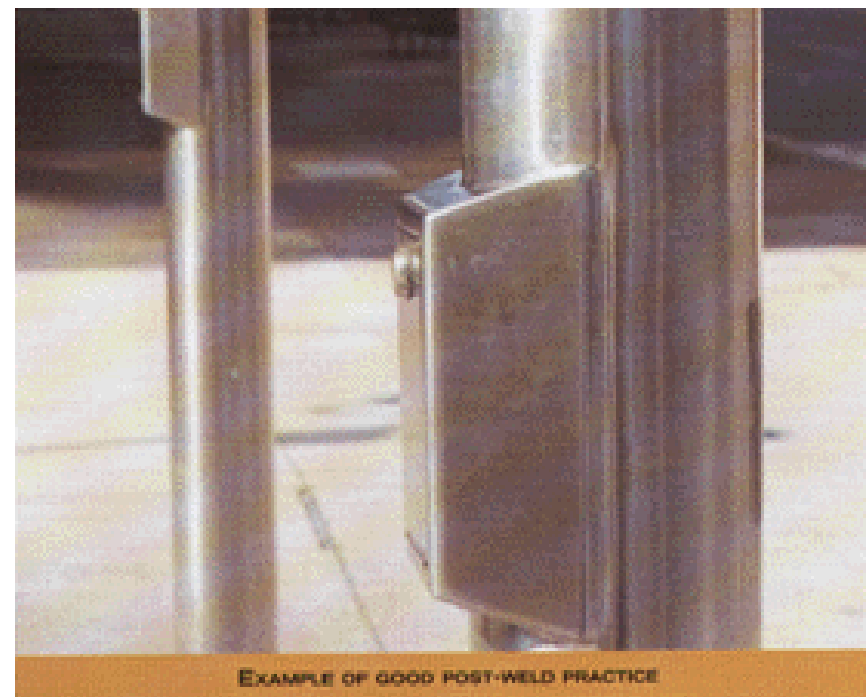


Contamination of stainless steel by iron: the example displayed is a typical case of iron contamination caused by the mixed use of iron (or steel) and stainless in the same shop without proper materials segregation. In the process of decontamination, it is important that the traces of iron are really removed and not just spread.



Kemiske metoder

Mekaniske metoder



FORMÅL:

- Sikre optimale korrosionsegenskaber**
- Rense overfladen for forureninger**
- Accelerere passivfilmdannelse**
- Fjerne oxider og slagger**
- Fjerne evt. lavtlegerede zoner/faser**

METODER:

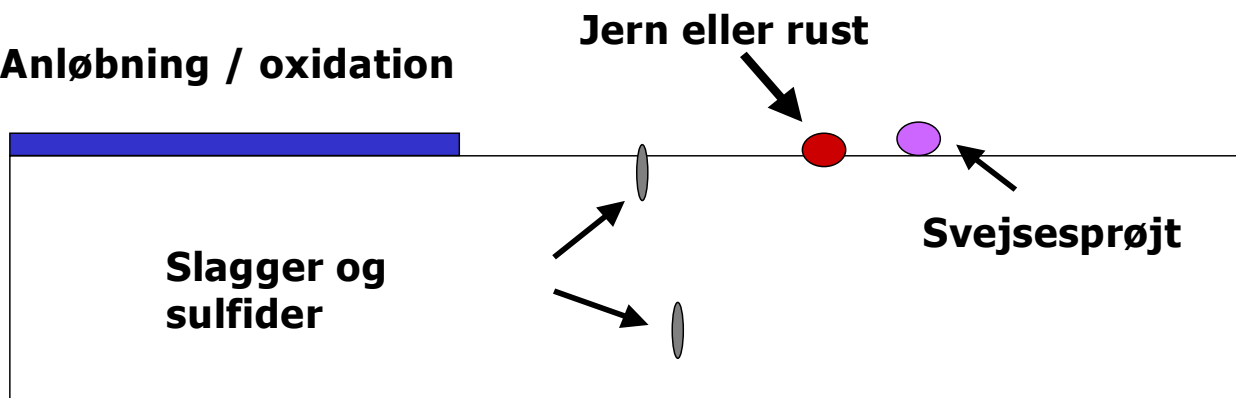
Mekanisk	-	slibning (fin-)
	-	blæsning
Kemisk	-	dekontaminere (rense)
	-	passivere
	-	bejdse

Mekanisk + kemisk

Svejsning af rustfrit stål

Overfladeurenheder i svejsezzone

Anløbning / oxidation



Før: Affedtning
5 % NaOH, 1/2 time 70-90 °C.

Efter: Eventuel Neutralisering
5 % NaOH, 20 min. 70-90 °C

Dekontaminering, alternativer

2-10% Salpetersyre (<50ppm klorid)

1-10% Citronsyre

5-10% Ammoniumcitrat

Fosforsyre eller org. syrer

Systemer med flere metaller kræver specielle syrer eller inhibitorer

Bejdsning

10-20 % Salpetersyre,

1-5 % Flussyre

1 time ved 20-60 °C

Passivering

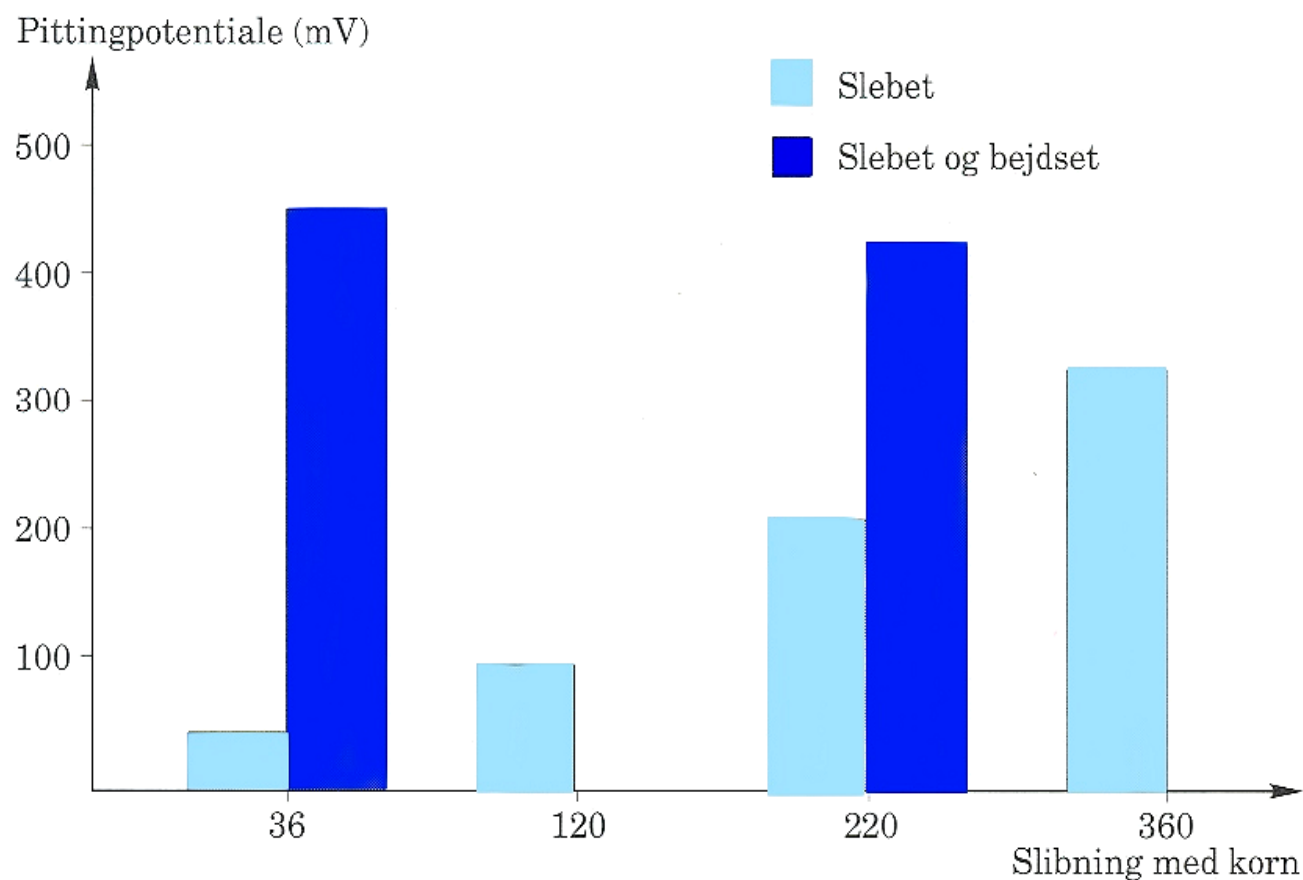
ca. 15-20 % Salpetersyre, 1 time 40 - 50 °C

Blandet med vand max. 50 ppm klorid

Stor håndteringsbeskyttelse påkrævet

Svejsning af rustfrit stål





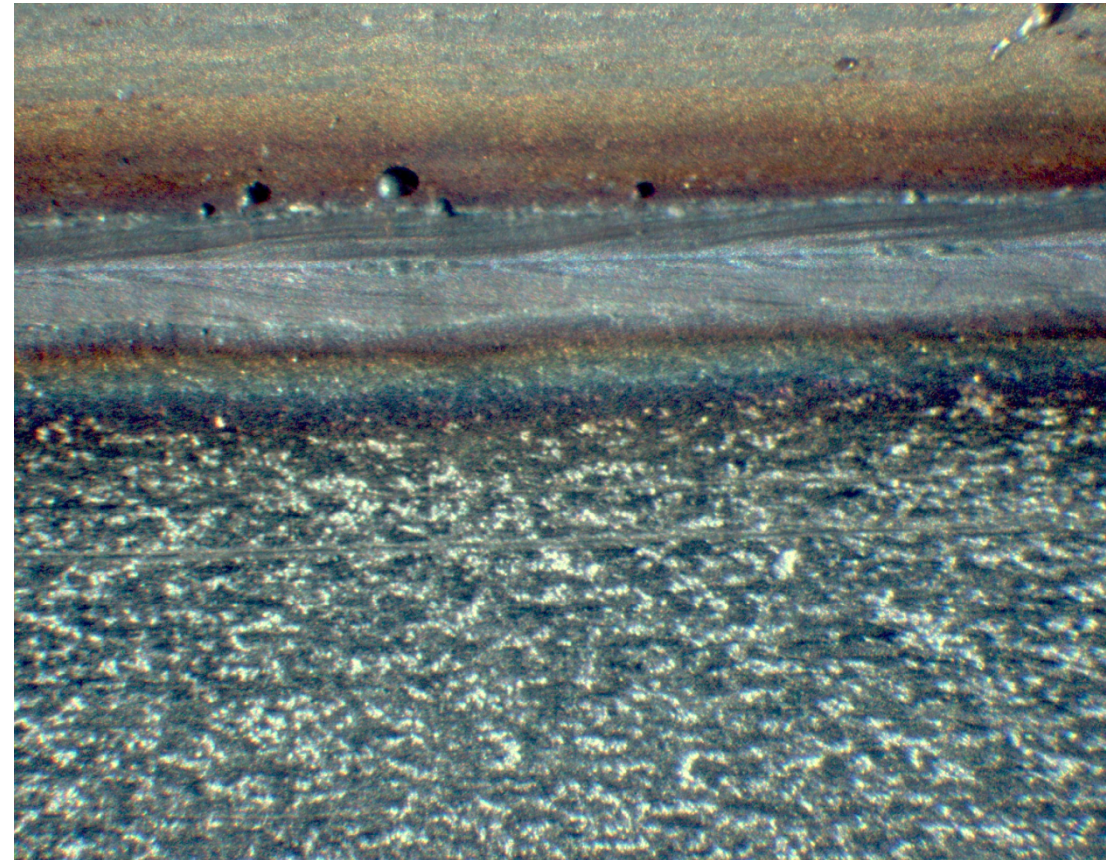
Figur 2. 41. Indflydelsen af slibning og bejdsning på korrosionsbestandigheden (pittingpotentialet).

- **Farver – anløbning**
- **Andre oxider**
 - **Hvad indebærer betegnelsen: metallisk ren**
 - **Selv leveringsnormer for almindelige rør tillader farve**
- **Snavs og påbrændte forureninger**
- **Overfladeuregelmæssigheder – lommer for slagge, oxider og urenheder**

Bejdsede samt bejdsede og elektropolerede overflader er de reneste og mest fejlfrie

Ikke bejdsede lasersvejste rør

- Rør leveret efter DIN 17457 *ko* skal ikke være bejdsede
- Svigt i baggas på lasersvejst længdesøm gav blåfarvning
- Kan ikke accepteres til drikkevand
- Der skal efterbejdses
- Hvem skal betale når specifikationen er mangelfuld?



Svejsning af rustfrit stål

- ***Svejste rustfrie stålrør til transport af vandige væsker inklusive drikkevand – Tekniske leveringsbetingelser***
- Refererer til EN 10088-1 og –2
- Varmebehandling er en option
- Overflade glat og blank, fri for alle visuelt detekterbare fejl
- **Note:** Tilstanden som svejst skal styres, således at misfarvning holdes på et minimum for at sikre mod tab af korrosionsbestandighed
- Overfladefejl, som bringer godstykkelsen under tilladeligt minimum, skal udløse kassation (serie 1: $\pm 10\%$, serie 2: jf. standardens tabel 2)
- Ruhedskrav skal i givet fald specificeres af køber
- Blandt andre optioner er emballering

- Projektspecifikationen skal give et grundlag at arbejde på
- Krav til svejsningens geometriske kvalitet eks. ISO 5817/B
- Krav til anløbningsgrad
 - Referenceatlas FORCE rapport 13.37-3
 - (ikke en del af standarder – skal specificeres)
 - Anden kundespecifik reference eks. en svejseprøve
 - AWS 18.1 (noget mere tolerant end europæiske krav)
- Krav til svejsere og svejseprocedurer, WPS og WPQR
 - WPS udarbejdes med reference til EN 1011-3

- **Anneks A: Svejsning af austenitiske rustfrie stål**
 - Beskrivelse af ståltyper
 - Svejsetekniske aspekter: Varmetilførsel, tilsatsmateriale, gas
 - Konsekvenser af svejsning: Varmrevner, ferritindhold, anvisninger
 - Mekaniske egenskaber og Korrosion (sensibilisering og spændingskorrosion), efterbehandling (henvisning til afsnit 10)
- **Anneks B: Svejsning af ferritiske rustfrie stål**
 - Samme hovedpunkter som ovenfor.
 - Kornvækst og slagsejhed, sigmafasedannelse for $\text{Cr} > 22 \%$
 - Tilsatsmateriale: Austenitiske, eventuelt ferritiske eller duplexe
 - Ingen H_2 , CO_2 eller N_2 i beskyttelsesgas
 - Revner: Koldrevner, H-revner (ældning)
 - Korrosion: Sensibilisering og interkrystallinsk korrosion
 - Varmebehandling: Eventuelt anløbning ved $700 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$

Anneks C: Svejsning af austenitisk-ferritiske rustfrie stål

- Mikrostruktur: 45 – 60 % Austenit i ferritisk matrix
- Typer: Lavtlegerede, medium og højtlegerede (lean-, duplex og superduplex)
- Bevarelse af ferrit-austenit balance, altid tilsatsmateriale (undtagen ved opløsningsglødede svejsesømme), fuger med større vinkel og spalte
- Anvisninger for varmetilførsel og mellemstrengsstemperatur
- Tilsatsmateriale: Overlegeret
- Beskyttelsesgasser: Ar, Ar-N₂, He men ikke Ar-H₂
- Baggasser: Ar, Ar-N₂, He og Ar-H₂ / N₂-H₂ i specielle tilfælde (tyndvægget gods – få strenge eller ved opløsningsglødede svejsesømme)
- Revner: Hydrogenrevner ved høje niveauer og stor indspænding, (475 ° - sprødhed omtales ikke)
- Korrosion: Austenit-ferritbalance (FN 30 – 100), (intermetalliske faser nævnes ikke)

Skal en specifikation formulere detaljerede krav til entreprenørens rutiner?

- Effektiv gasdækning er en kompleks opgave.
- Entreprenører og svejsere kan have egne, udstyrsrelaterede rutiner.
 - Hvis problemer opstår, skydes skylden hurtigt på specifikationen og dens forfattere
- Entreprenøren skal alene levere et færdigt resultat – med den specificerede kvalitet! –
 - og bevise, at han kan før svejsning startes - og løbende under afviklingen og ved afleveringen
- Eventuelle specifikke krav bør være vejledende, en indikation af bygherrens forventninger og måske en støtte til tilsynet

Kan svejser og tilsyn kontrollere, medens der svejses?

- *Vi har p.t. ingen optimale metoder udover erfaren supervisor!*
- Kontrol før processen startes
 - Iltmåling / -indikation
 - Brinholdige gasser er problematiske for iltmåleceller
 - Mere eller mindre følsomme retningsgivende måleudstyr
 - Iltmåling er tidskrævende
 - Tint Tester
- Under svejsning
 - Reaktioner i den varme gas
 - giver specielle forhold omkring smeltebadet
 - og forstyrrer målingerne

- Procedurebeskrivelse
 - Entreprenøren udarbejder en procedure eller instruks - også for fremgangsmåden til baggasdækning
- Svejseprøver
 - Svejserne udfører svejseprøver i relevante dimensioner før arbejdet påbegyndes
 - Visse projektspecifikationer kræver daglige svejseprøver fra hver svejser
- Løbende inspektioner
 - Svejseren selv, tilsynet og kontrollanten (entreprenørens eller en tredieparts -) foretager løbende visuel kontrol og videoendoskopi

- Bygherren kan tillade efterbehandling
- Bygherren kan ønske svejsesømmene bedømt i en tilstand som afviger fra *som-svejst* f.eks. efter trykprøvning
- Dette skal fremgå af specifikationen eller af et skriftligt notat fra bygherre eller dennes ansvarlige tilsyn.

Rustfrit stål skal også være korrosionsbestandige efter svejsning

- Korrekt materialevalg og tilsatstråd og gasser
- Korrekt håndtering
- Tilpassede svejseprocedurer og kompetente svejsere
- Eventuelt en efterbehandling
- Relevante kvalitetskrav og målrettet kontrol