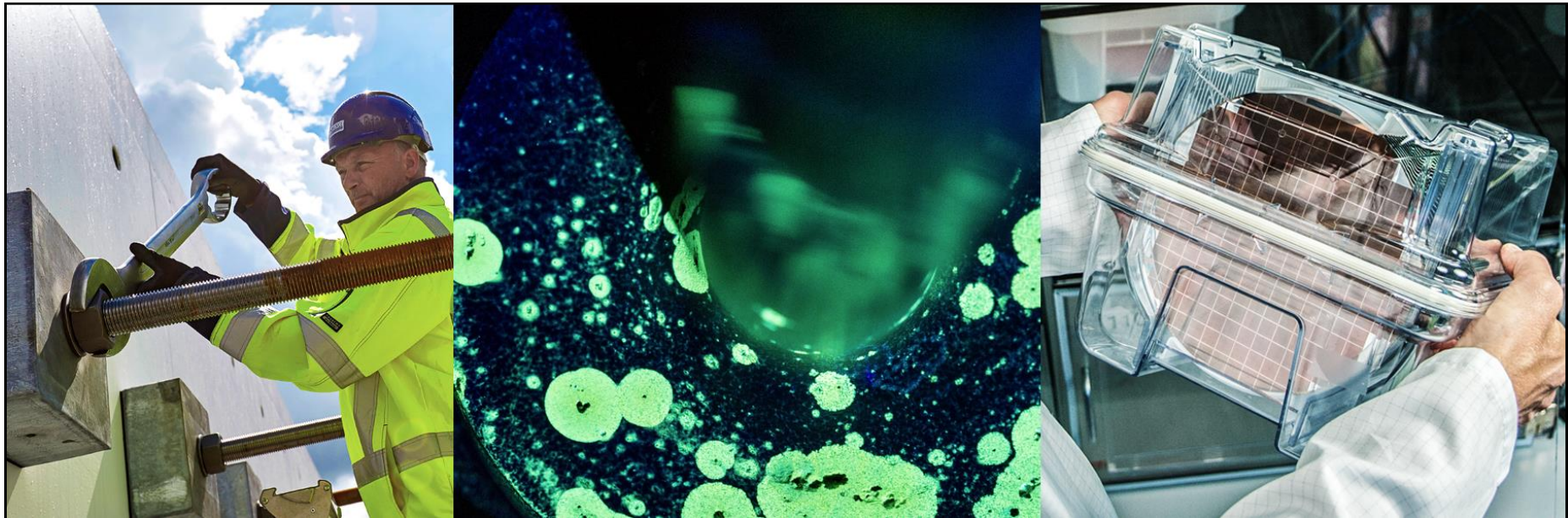




Korrosion og sprekkdannelse i svejser

Eksempler på skader, hvorfor de oppstår og hvordan de kan undgås

Asbjørn Andersen, Forretningsudvikler og spesialist i materialer og korrosion, FORCE Technology Danmark





Kontaktinformation

Asbjørn Andersen
FORCE Technology

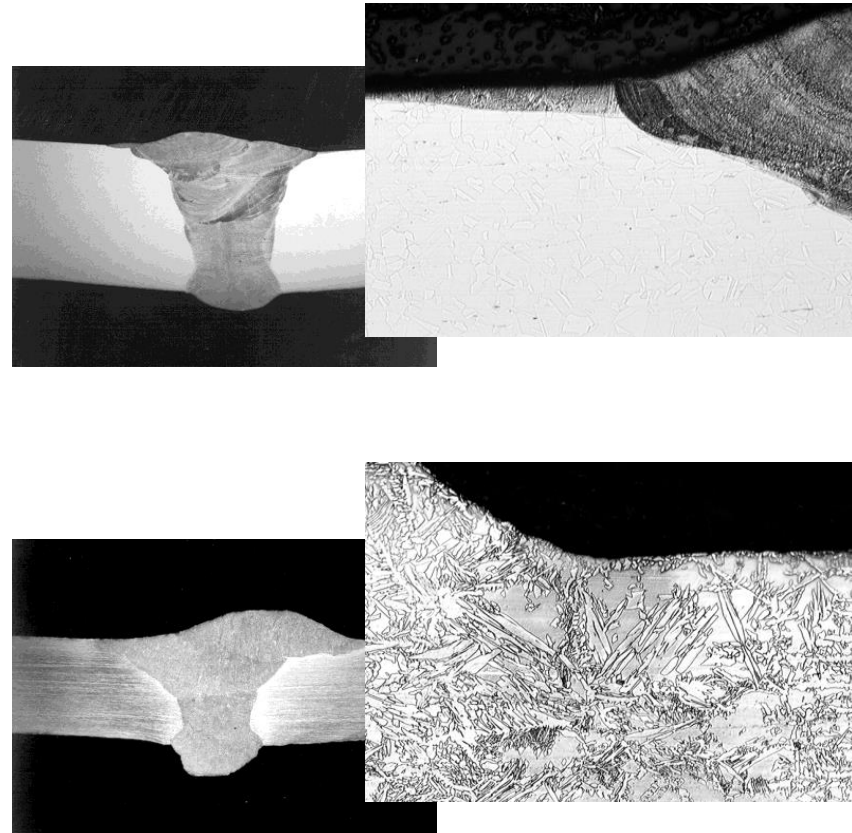
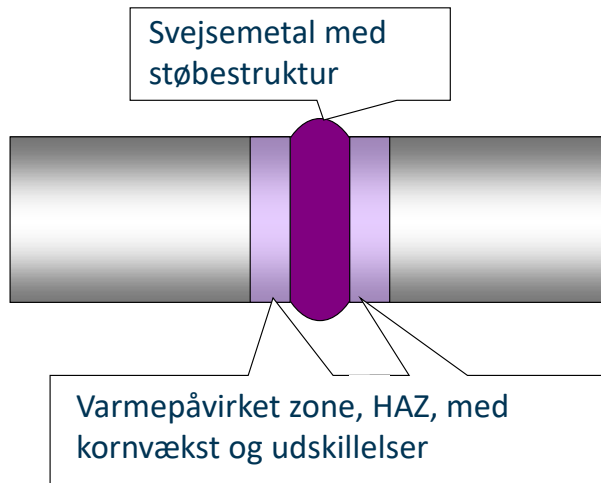
Specialist i korrosion og materialer
Materials consulting

E-mail: ASA@FORCE.DK
Telefon: +45 22 69 71 90



Svejsning

Ændringer i mikrostruktur
og korrosionsegenskaber



Sprekker i forbindelse med svejsning

Varmesprekker - Størkningssprekker

Genopsmeltningssprekker

Hydrogensprekker - Koldsprekker, HISK

Ældningssprekker

Genopvarmningssprekker - Reheat cracking

Hærdesprekker

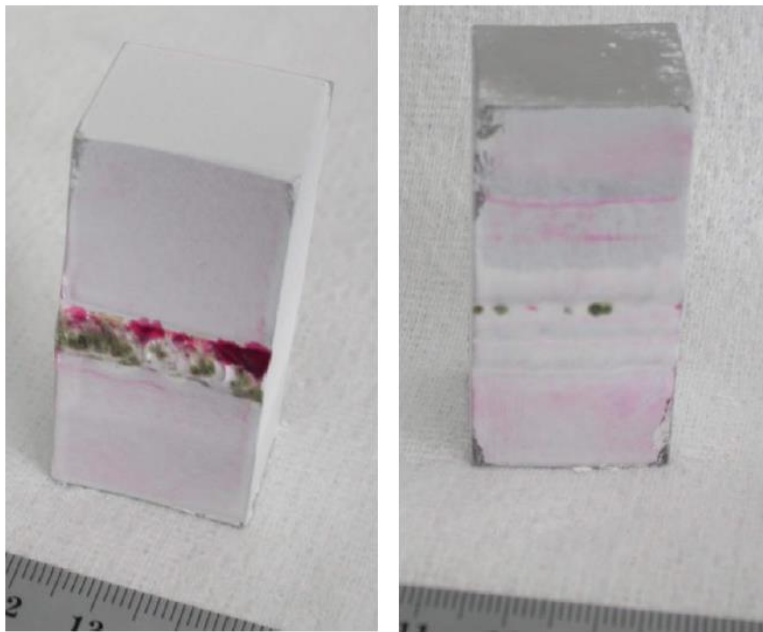
Udrivningsbrud - Lamellar tearing

Metalindtrængning LME

Sensibilisering og faseudskillelser i rustfrie stål



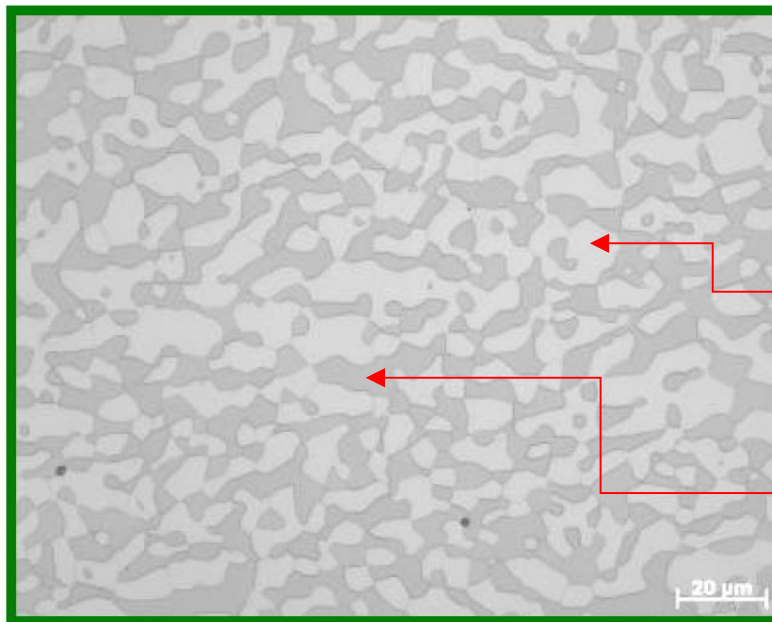
Pittingkorrosionstest - ASTM G48 Method A



40-50 % af alle svejseprøver i duplex og super duplex dumper testen. Yderligere prøver dumper de metallografiske undersøgelser og/eller mekaniske test.

???

Mikrostruktur i duplex stål



Austenit

Ferrit

Finkornet mikrostruktur
bestående af:

45-65 % austenit

i en matrix af

35-55 % ferrit

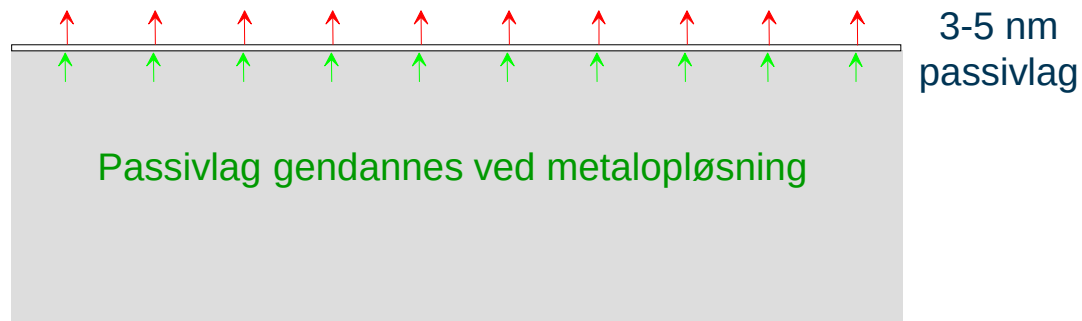
Ref.: SIGMAFASE I DUPLEKS TRUSTFRIE STÅL, Effekt på korrosjon og mekaniske egenskaber, Gisle Rørvik, Statoil



Rustfrit stål - et passivt metal

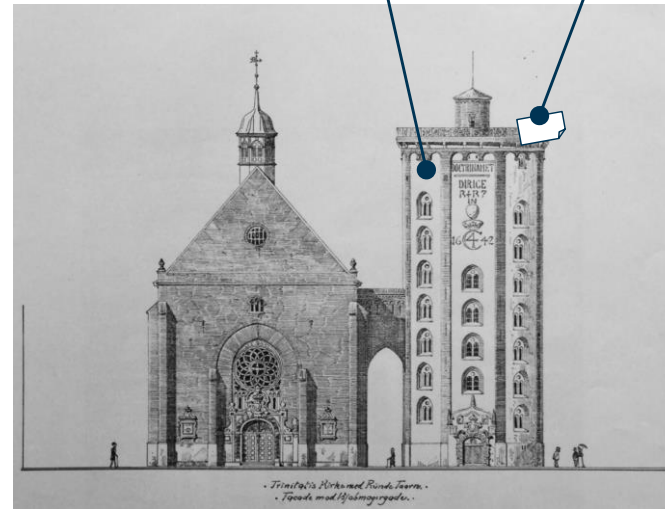
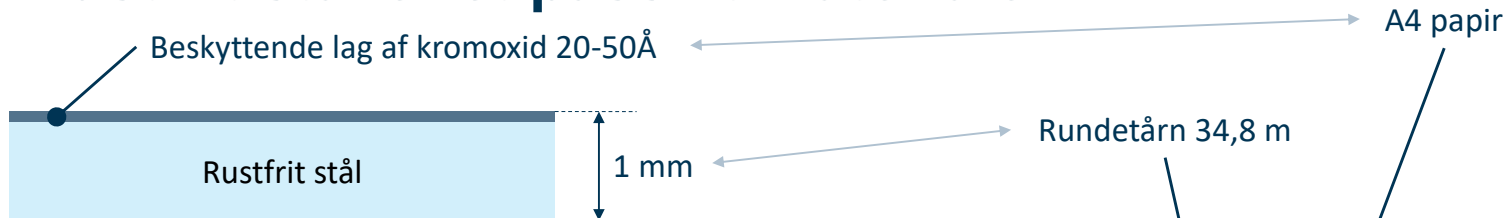
Korrosionsmiljø

Miljøet opløser passivlaget



Korrosionsbestandighed er indbygget i materialet i form af nikkel og krom.
Bestandigheden er baseret på et tyndt, tæt oxidlag (krom- og molybdænoxider)

Rustfrit stål er et passivt materiale



Duplex stål – eksempler på kemisk sammensætning

Duplex

22Cr

SAF 2205

UNS S32205

1.4462

Kemisk sammensætning (nominel) %									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	-
≤0.030	≤1.0	≤2.0	≤0.030	≤0.015	22	5	3.2	0.18	-

Super duplex

25Cr

SAF 2507

UNS S32750

1.4410

Kemisk sammensætning (nominel) %									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	-
≤0.030	≤0.8	≤1.2	≤0.025	≤0.015	25	7	4	0.3	-

Ref.: Sandvik, www.materials.sandvik



Hvorfor duplex stål

Fordele

Høj styrke

God korrosionsbestandighed

Konkurrencedygtig pris

Ulemper

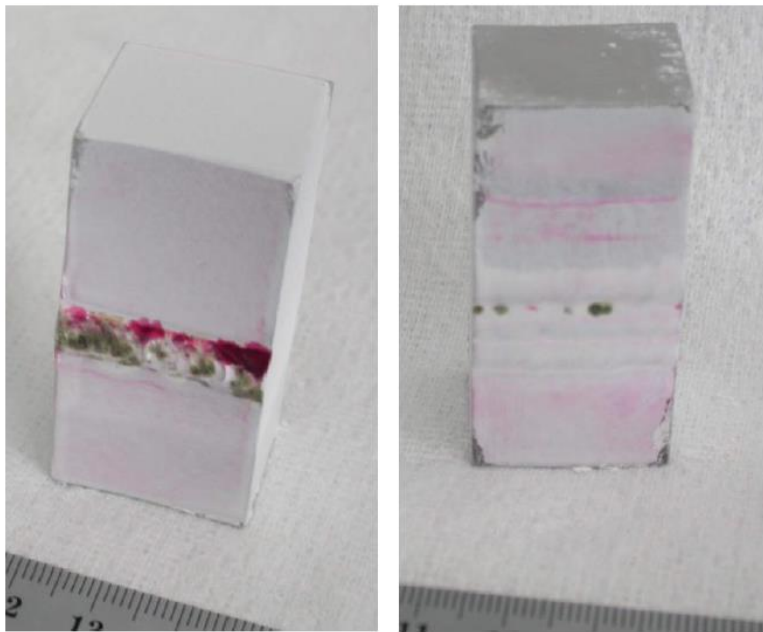
"Kompliceret" mikrostruktur

Særlig risiko for udskillelse af uønskede
Intermetalliske faser ved varmepåvirkning

(svejsning og opløsningsglødning)

Meget skrappe acceptkrav til
svejsprocedurer

Pittingkorrosionstest - ASTM G48 Method A



Dannelse af intermetalliske
faser:

Sigma-, Chi- og R-fase

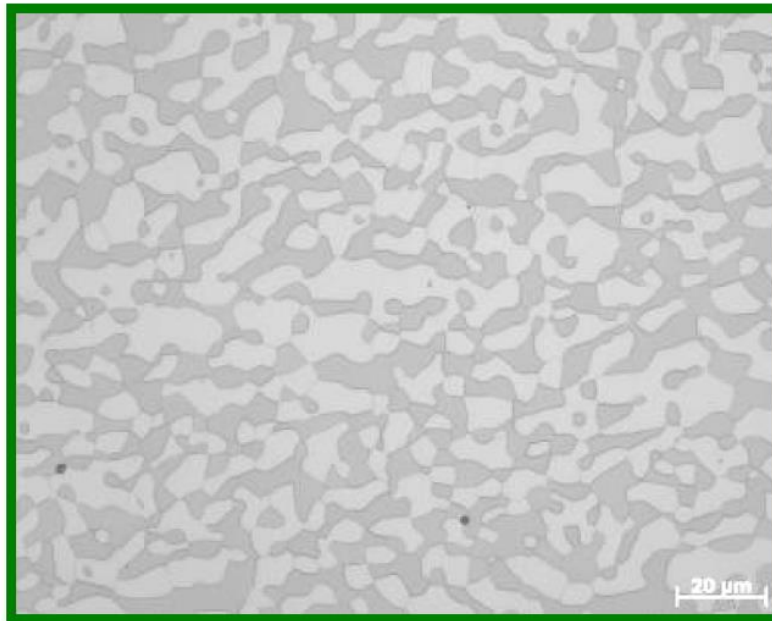
Sekundær austenit

Og udskillelse af

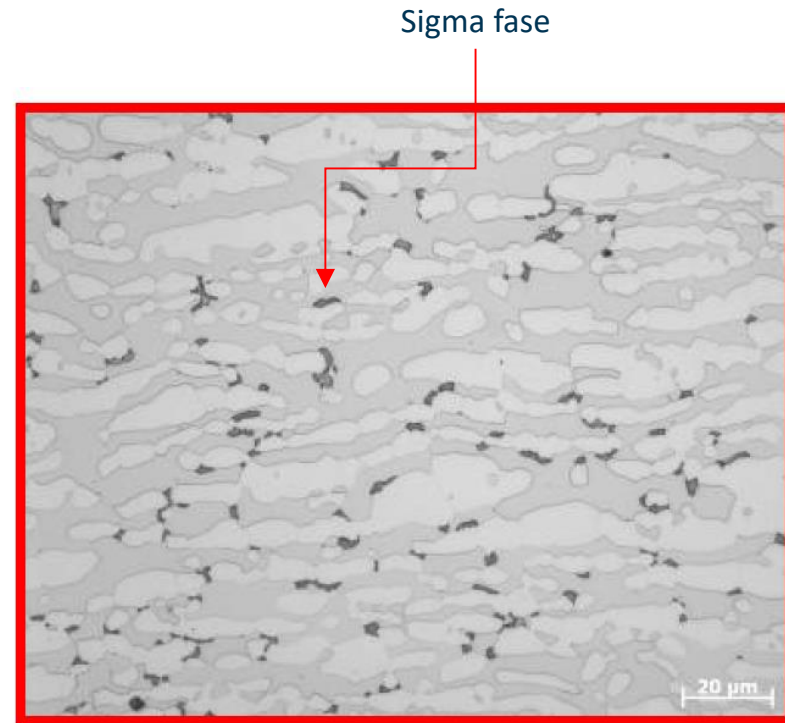
Krom-nitrider

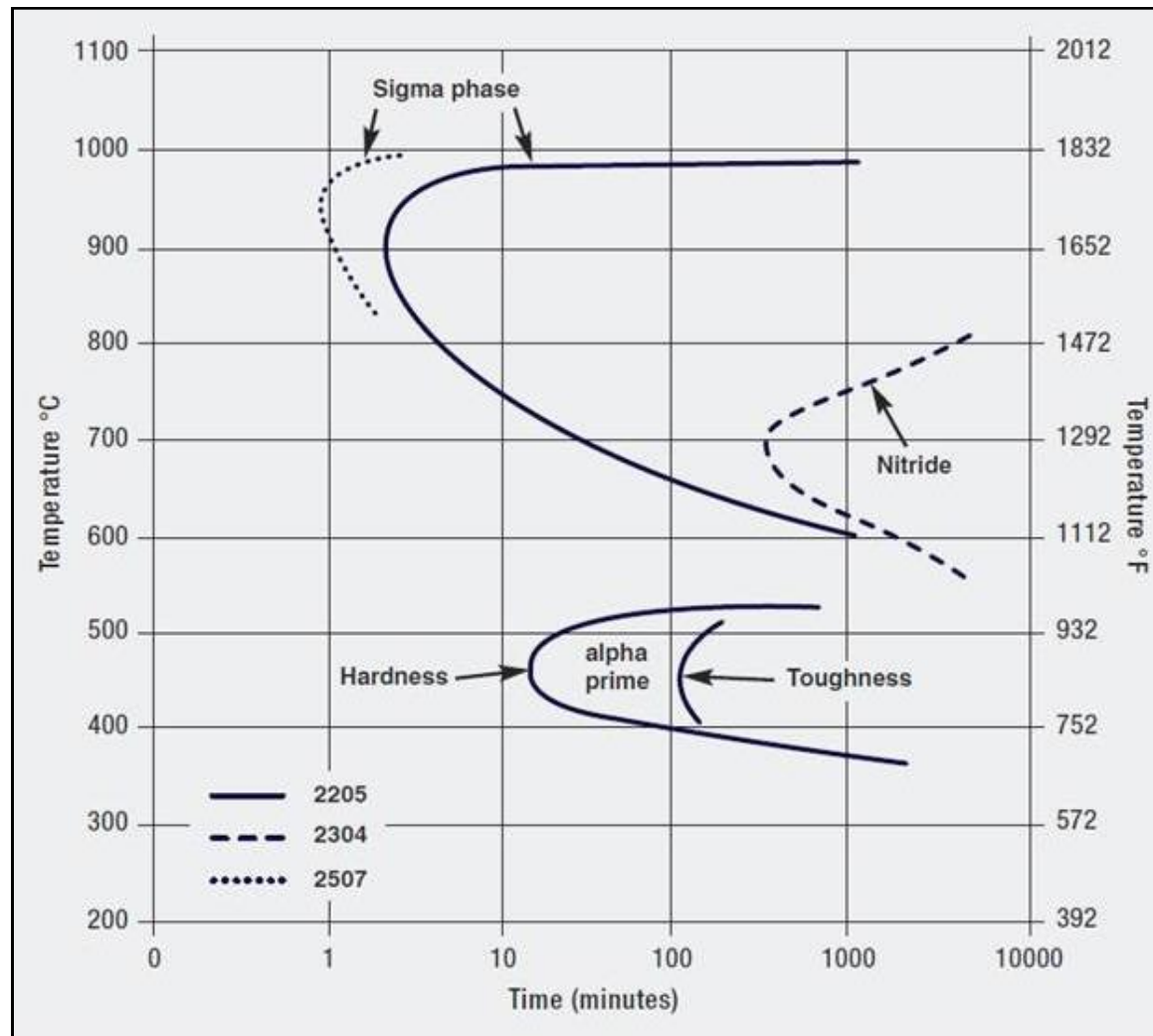


Mikrostruktur i duplex stål



Ref.: SIGMAFASE I DUPEKS TRUSTFRIE STÅL, Effekt på korrosjon og mekaniske egenskaber, Gisle Rørvik, Statoil





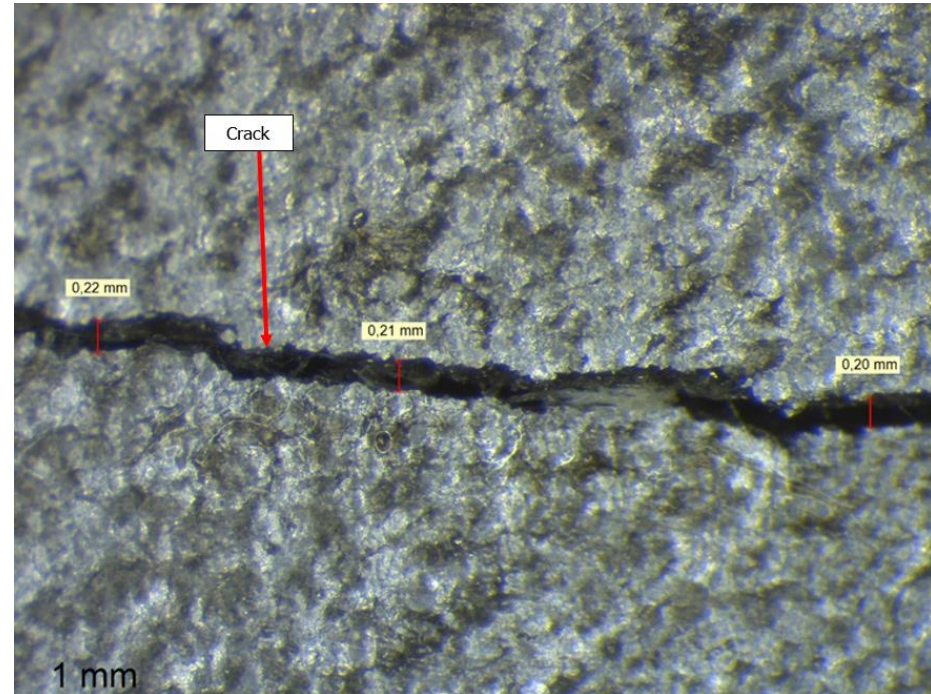
TTT diagram, duplex stainless steels.
Source: Avesta

Crack and leak in 4" flowline



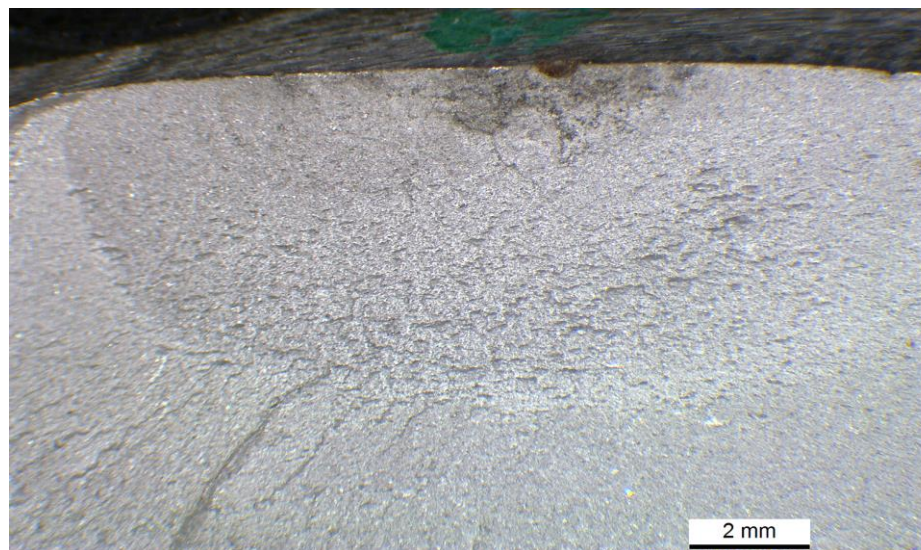


Crack length ~85 mm, up to 0.2 mm wide.



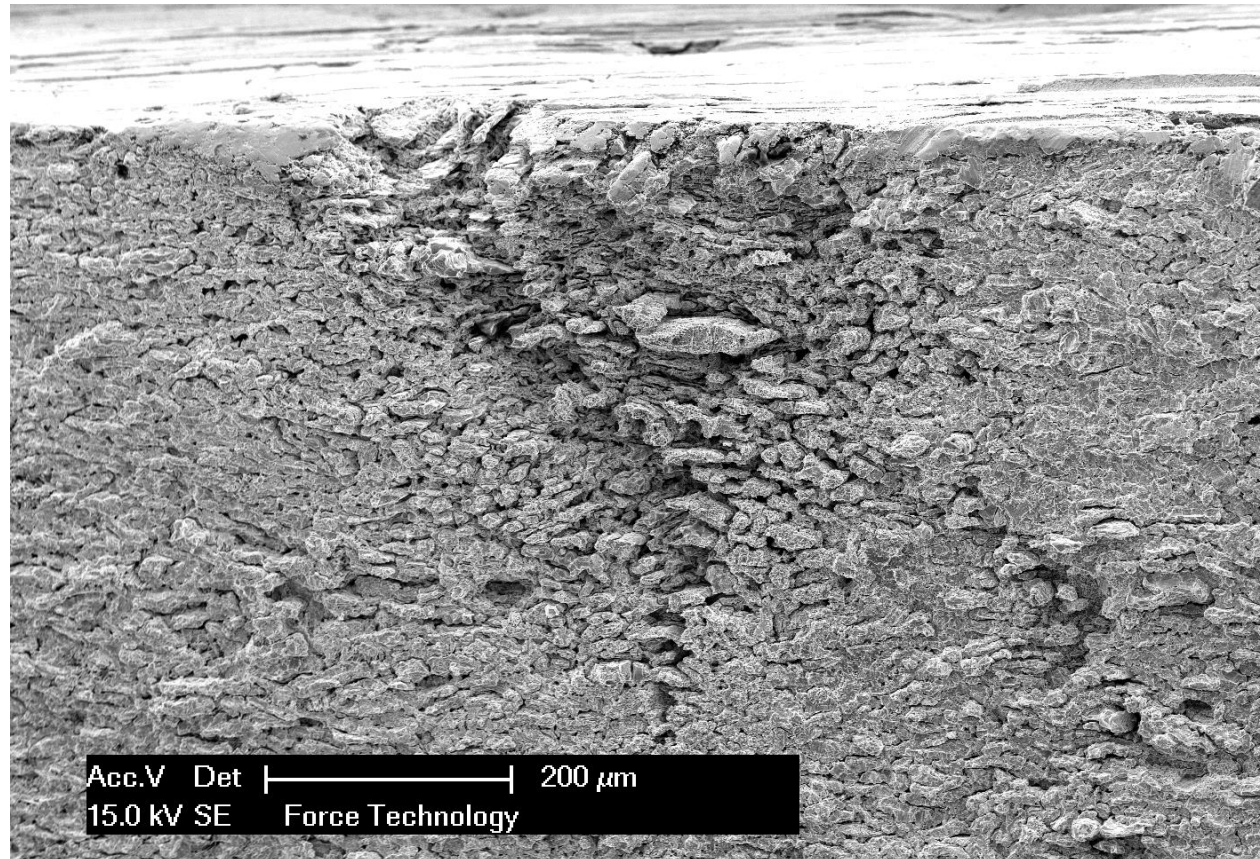


As-received

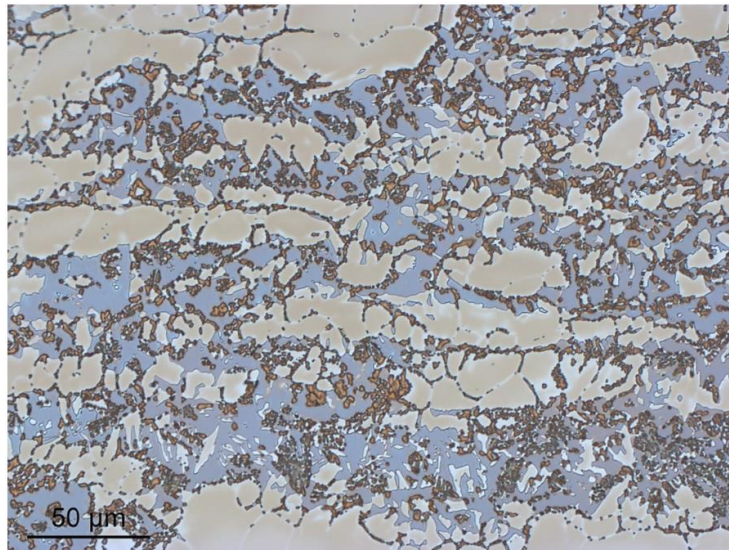


Cleaned

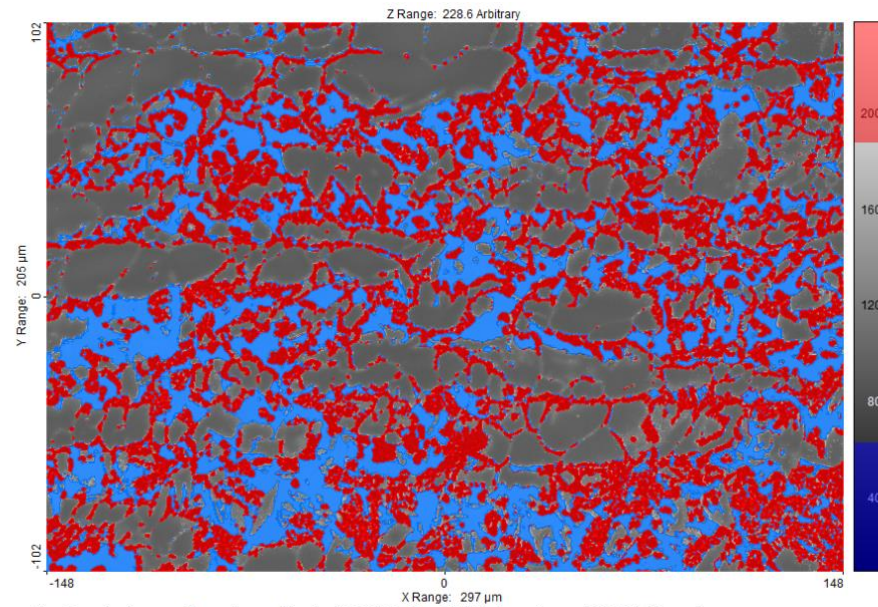




SEM image of the corrosion attack.



Metallografisk tværsnit. Elektrolytisk ætset i 20 % NaOH



Kvantitativ metallografi

18,6 % Ferrit
56,7 % Austenit
24,7 % Sigmafase

Årsag til sprekk

Forkert varmebehandling af bøjning

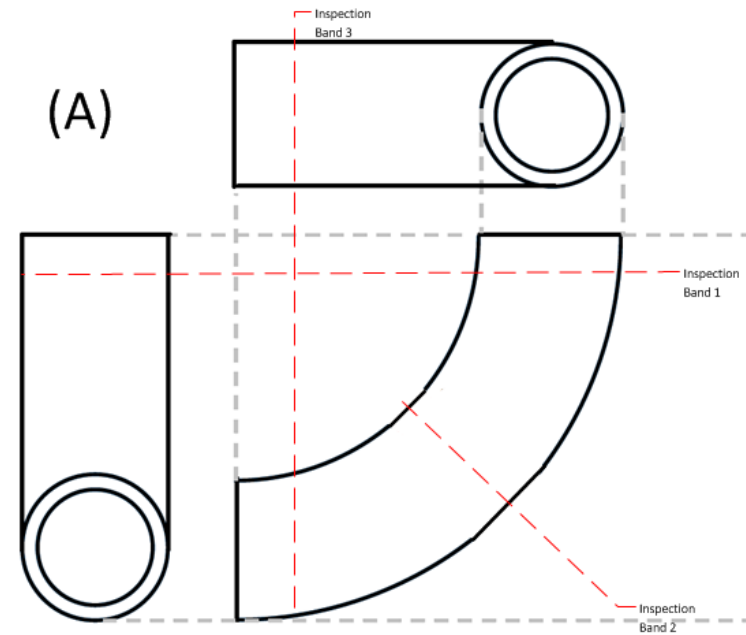
(Svejsning ok)

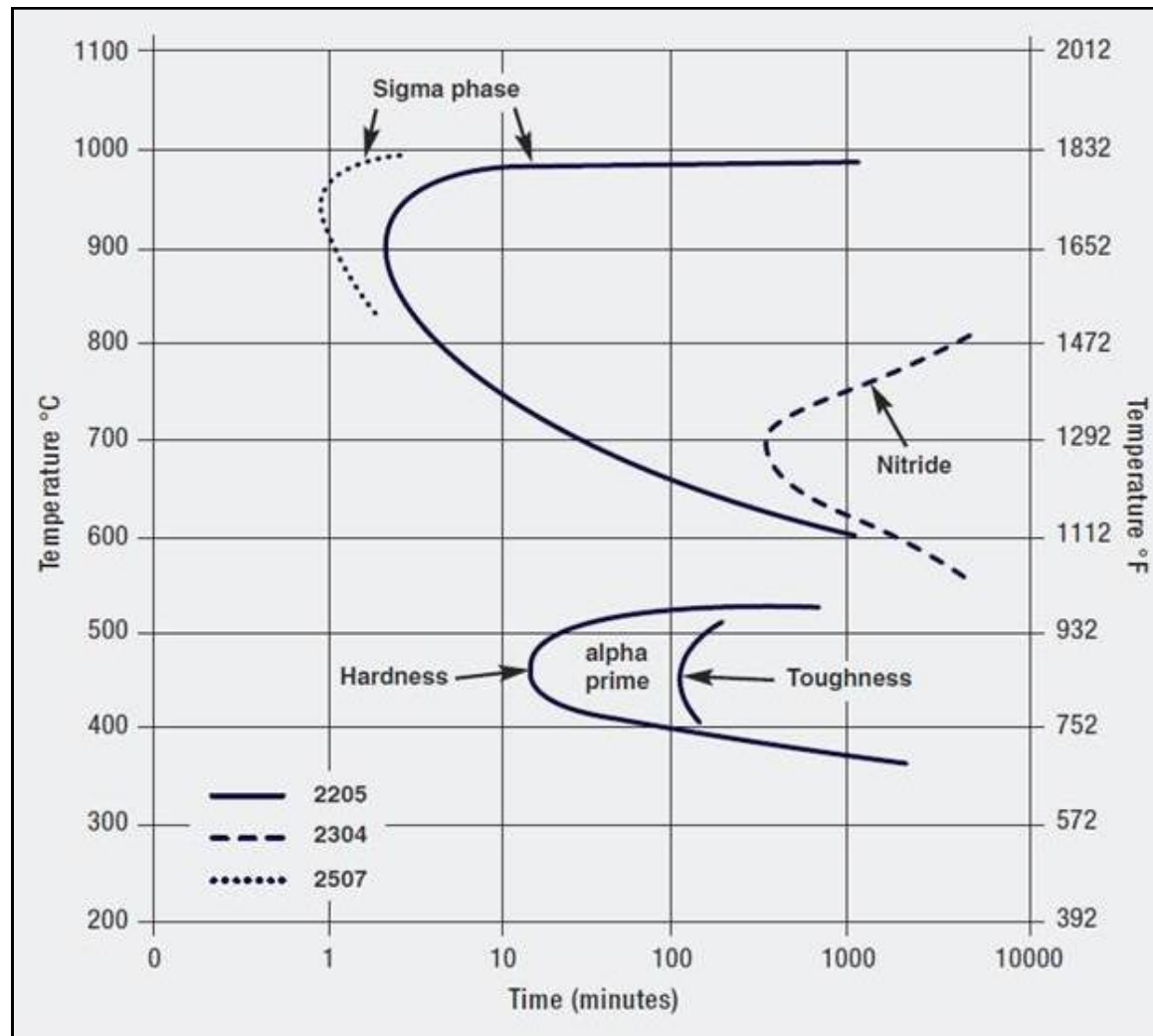
Mikrostruktur med store mængder sigmafase

Reduceret korrosionsbestandighed
og meget reduceret slagsejhed

Størrelsen af korrosionsangreb overstiger
kritisk fejlstørrelse

Pludselig mekanisk påvirkning har ført til
sprødt brud





TTT diagram, duplex stainless steels.
Source: Avesta

Screening af super duplex komponenter

5681 komponenter af blev screenet

96 (1.7 %) havde et ferritindhold lavere end 35%

Heraf blev 25 komponenter undersøgt med in-situ metallurgi

Alle 25 indeholdt uønskede intermetalliske faser (sigmafase)

De øvrige 71 komponenter blev udskiftet uden nærmere undersøgelse





On-site in-situ
metallurgi kan være en
hård opgave !



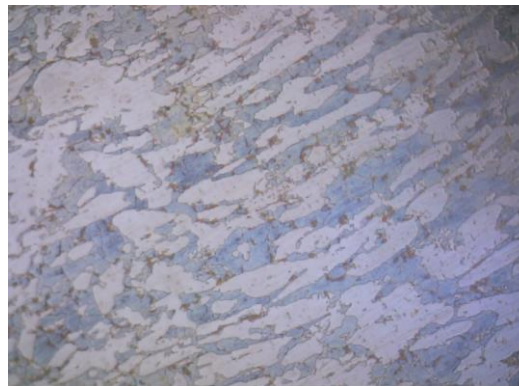
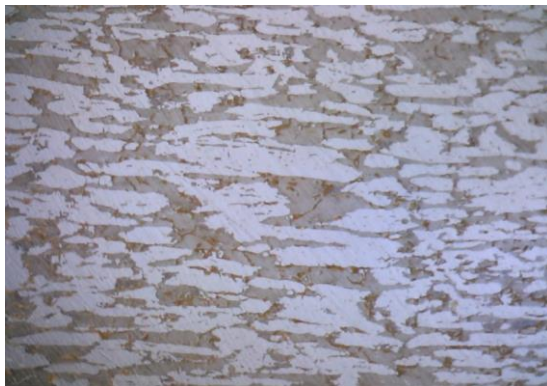
16 and 18" bøjning – Ferrit ca. 28 %



Ferritmålinger

Udføres i baner rundt om bøjning
(inhomogen fordeling af ferrit)

Overfladen slibes ned inden måling
(Dannelse af austenit på overfladen
kan være fremmet af N_2 atm. ved
udglødning og bejdsning kan have
fjernet ferritfasen selektivt)



in-situ metallurgi

Transportabelt mikroskop
450 x forstørrelse

Tydelige udskillelser af
Intermetalliske faser

Sigmafase

Sigmafase

Betydning for slagsejhed

Charpy impact testing performed according to ASTM A370
of 12 pcs. of test specimens, received on the 20.04.2017

Our specimen mark	Width (b) mm	Height under notch (a) mm	Test tempera- ture (t) °C	Absorbed impact energy ☐ KV ₂ K _N 300 ☒ KV ₈ K _N 300 joule	Average value of absorbed impact energy joule	Checked	Date	Sign.
						Remarks		
9581.02-1	7,53	8,01	-46	4	4			
9581.02-2	7,52	8,01	-46	4		SN 37. Fe Low.		
9581.02-3	7,53	8,00	-46	4				
9581.03-1	5,04	8,00	-46	2	2			
9581.03-2	5,02	8,00	-46	2		SN 18. Fe Low		
9581.03-3	4,97	8,00	-46	2				
9581.05-1	7,46	8,01	-46	151	173			
9581.05-2	7,45	8,00	-46	194		SN 11. Fe Ok		
9581.05-3	7,43	8,01	-46	173				
9581.06-1	7,40	8,02	-46	106	131			
9581.06-2	7,50	8,01	-46	126		SN 10. Fe Ok		
9581.06-3	7,48	8,01	-46	161				



Pittingkorrosionstest - ASTM G48 Method A



Man skal have fuld kontrol over svejseprocessen for at undgå intermetalliske faser og kromnitrid udskillelser.

Gode veldokumenterede svejseprocedurer

Dygtige svejsere med indsigt i processerne og godt håndværk

Måske er acceptkriterier for skrappe

Fit for purpose – Er det godt nok?

Er materialet, svejsningen, produktet godt nok til det det skal bruges til.

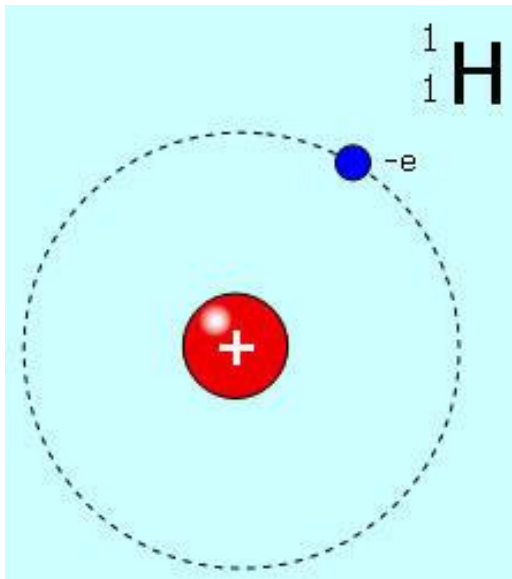


Laboratorie til test i barske miljøer – FORCE Technology



Hydrogen i stål

Hydrogen – atom nummer 1 – det mindste



Hydrogen i stål – sprekkdannelse

Hvad skal det til:

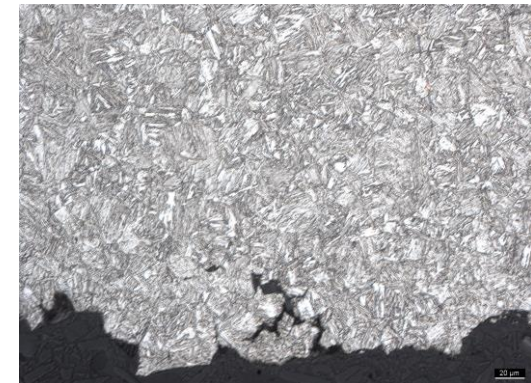
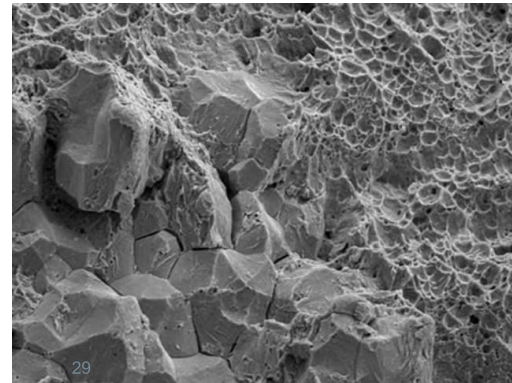
- En kilde til brint
- Hård sprød mikrostruktur
- Trækspændinger

Forøget risiko:

- Højstyrkestål med en hårdhed på 350 Vickers eller mere

Kan undgås ved:

- God planlægning og godt design
- Validering og test
- Inspektion og fabrikationskontrol



Hvor kommer hydrogen i stålet fra

Fremstillingsprocessen

Overfladebehandling og relaterede processer

Svejseprocesser

Katodisk beskyttelse

Korrosion

Sulfid



Ref.: <https://www.hobartbrothers.com/news/157/523/The-Consequences-and-Control-of-Hydrogen-in-the-Welding-Process.html%20>

Reperationssvejsninger i vindmølletårn



31

Reperationssvejsninger i vindmølletårn



Hårdhed i HAZ: 460 HV₁₀



Hydrogen i stål – Katodisk beskyttelse

Reperationssvejsning i ben fra Jack-up platform

Højstyrke stål

Ca. 1,5 meter lang langsgående revne



Hydrogen i stål – Katodisk beskyttelse

Hårdhed i HAZ: Ca. 375 HV₁₀

Karakteristisk brudflade (HISK)

Kalkbelægninger på revneflader
(Katodisk beskyttelse af bart stål)

Sulfid i belægninger

Sulfidbelægninger øger hydrogenoptagelsen
fra ca. 1-2 % til ca. 40-50%



Further information at forcetechnology.com



Udskillelshærdet stål PH15-5

3D print proces

Laser cladding

Hot isostatic pressing (HIP)

Varmebehandlet (solution heating + ageing)

Forskellige partikelstørrelser af pulver afprøvet

Applikation

Skal bruges i flydele

Skal eksponeres i atmosfærisk/marint miljø

Varmebehandles efter print

Overflader skal/kan neddrejes OBS

Produktionstid

3D-printet: 4,5 time

Neddrejet: 120 timer!

Further information at forcetechnology.com

