



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Studsvik

TERMISK ÅLDNING PÅ GJUTNA OCH SVETSADE ROSTFRIA STÅL OCH INVERKAN AV LÅGA STRÅLDOSER

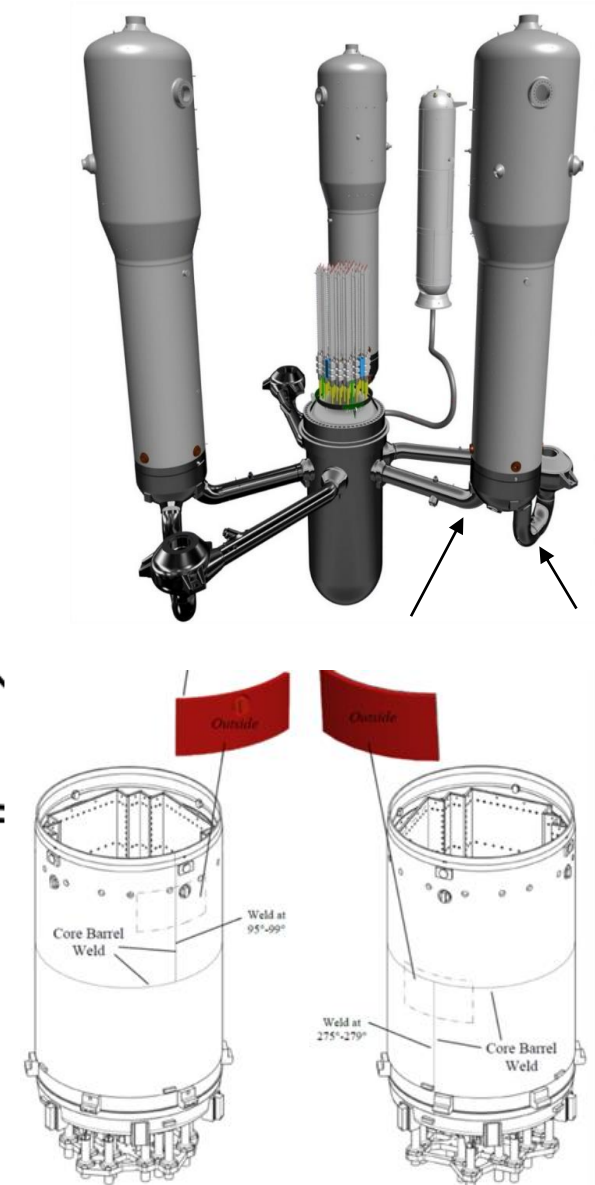
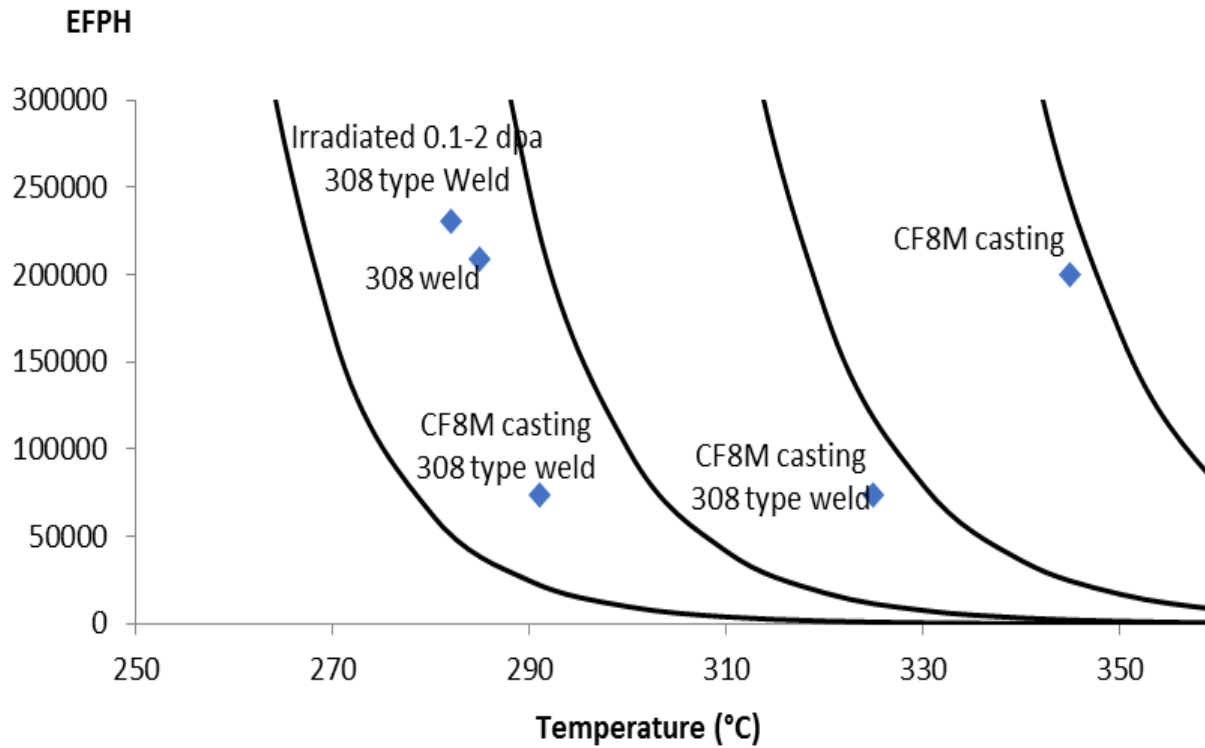
Martin Bjurman

2019-11-07

INTRODUKTION

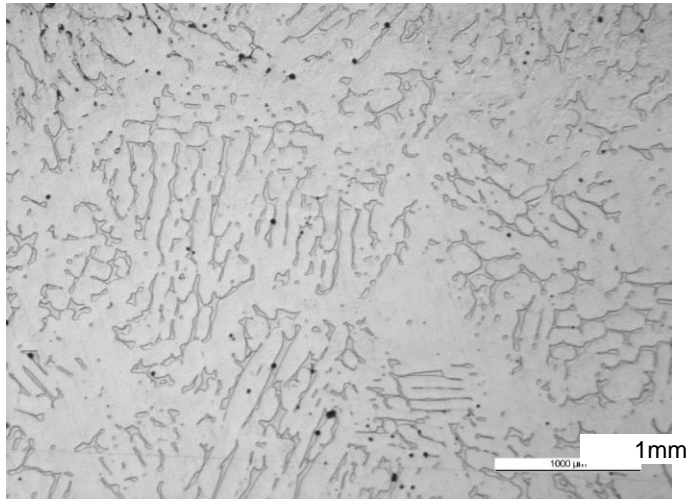
- Stora tryckbärande komponenter är ofta gjutna
 - Ventilhus
 - Rörböjar
 - Komponenter med komplex geometri
- Svetsning är den huvudsakliga sammanfogningstekniken
- Gjutna och svetsade rostfria komponenter innehåller typiskt 5-15% δ -ferrit i austenit
- δ -ferrit är känslig för termisk och bestrålningsinducerad åldring genom spinodalt sönderfall
 - ⇒ Ökad hårdhet och reducerad brottseghet
 - ⇒ Större skillnad i egenskaper mellan δ -ferrit och austenit

MATERIAL

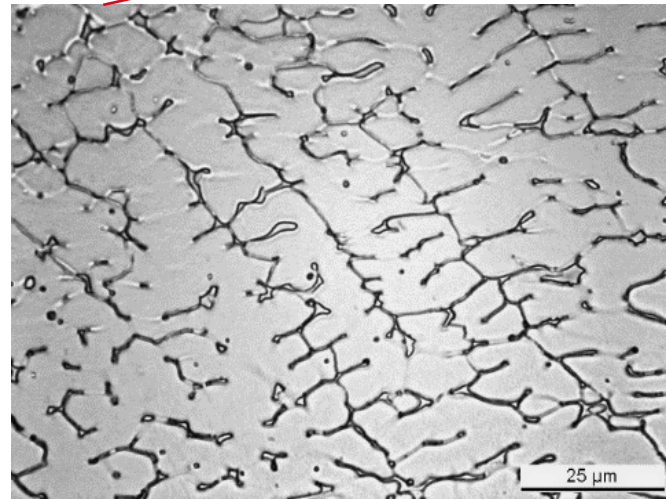


MIKROSTRUKTUR

- Tillverkningsparametrar påverkar
 - Ferrithalt, storlek och form samt övrig mikrostruktur - kontinuerlig ferrit?
 - Segring och sammansättningsvariationer i respektive fas
 - Förstadier till åldring där redan efter slutvärmebehandling



CASS varmt ben
Ferrithalt 11 ± 1 vol.%



Svets varmt ben
Ferrithalt $10 \pm 0,5$ vol.%

ASTM 351 CF8M & 308-typ svetsgods

De flesta försök har utförts på accelererat åldrade material vilket föranleder frågan:

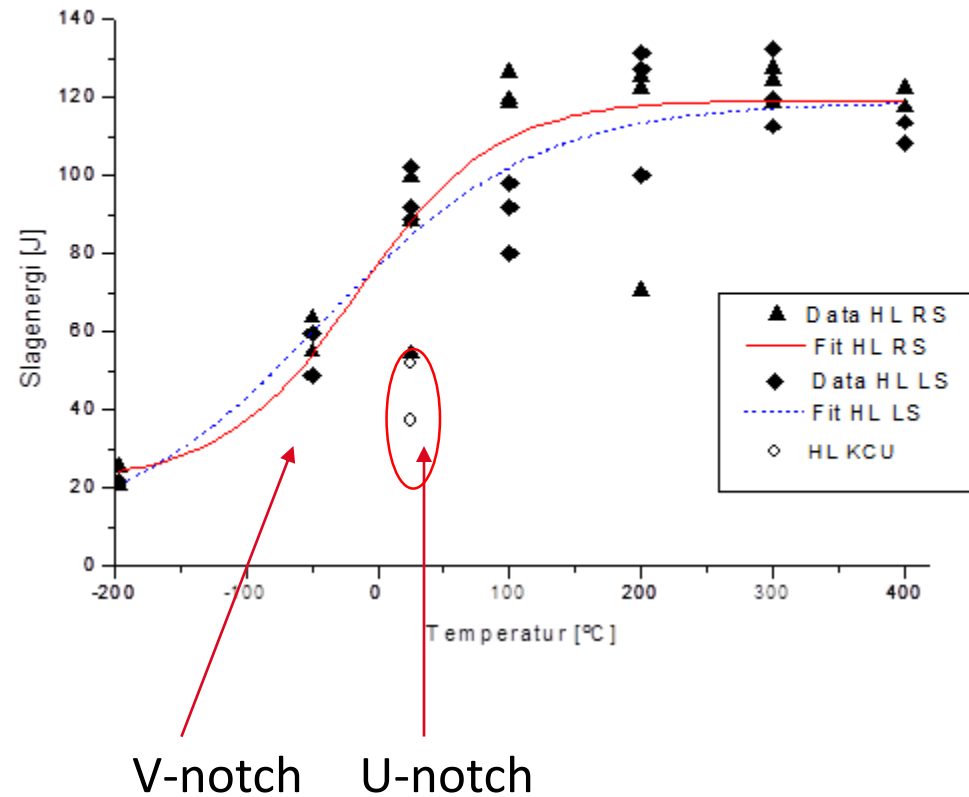
Är försprödning ett problem för långtidsdrift?

- Är accelererade åldringsförsök alltid konservativa?
- Hur inverkar den komplexa mikrostrukturen på åldringsegenskaperna?
- Hur inverkar provningsmetodiken på utfallet?

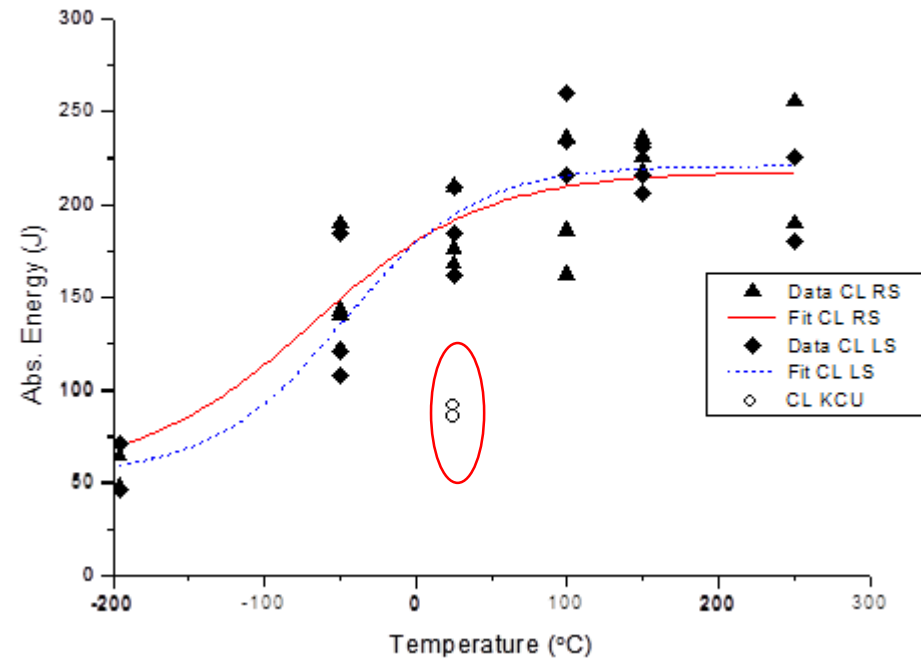


MEKANISKA EGENSKAPER SLAGSEGHET

Gjutgods 325°C

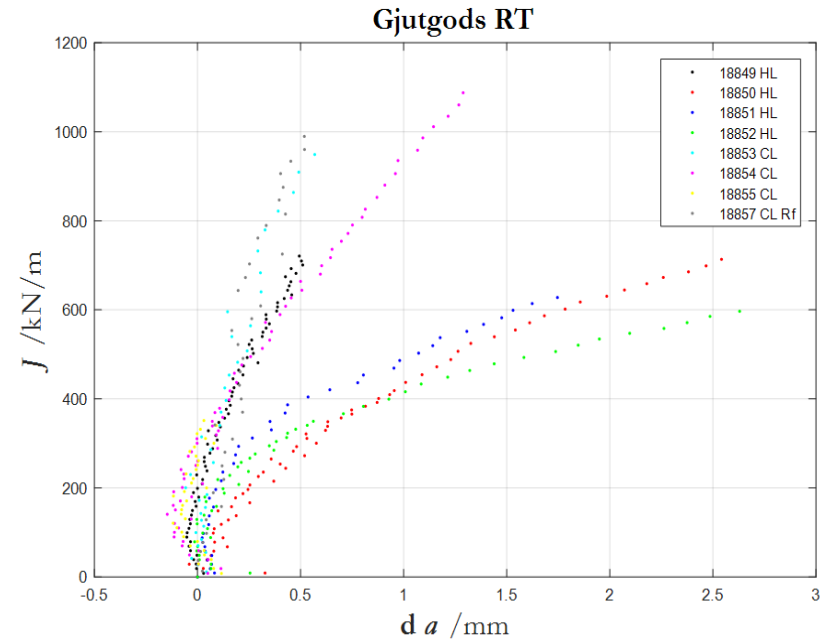
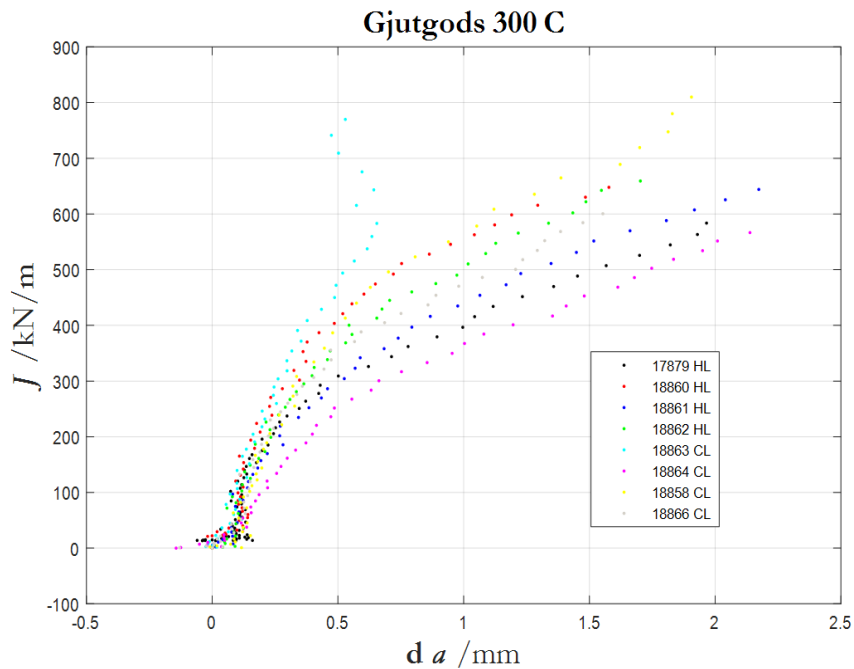


Gjutgods 290°C



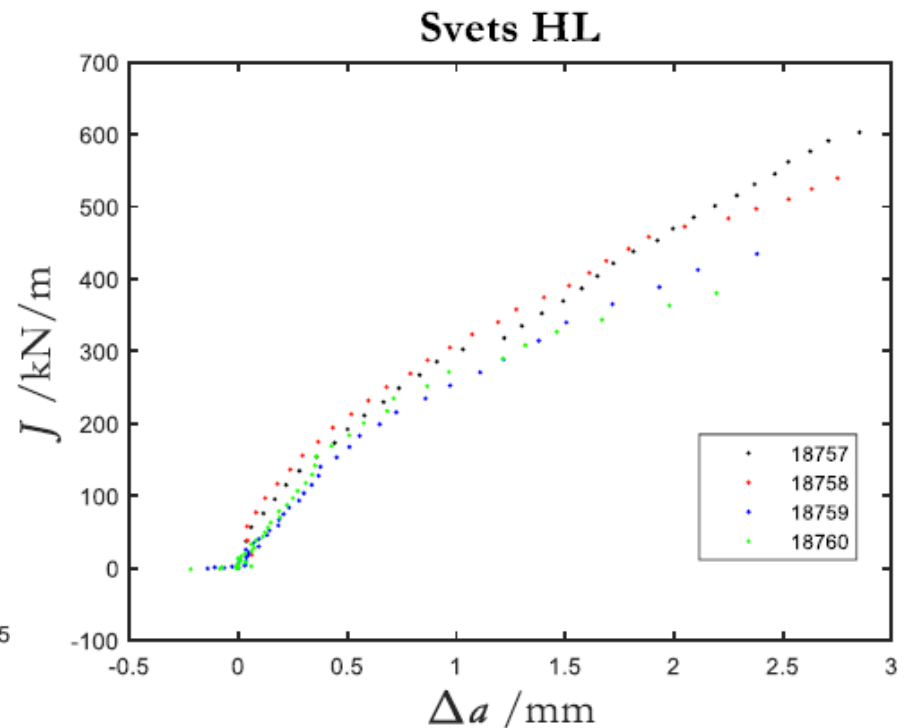
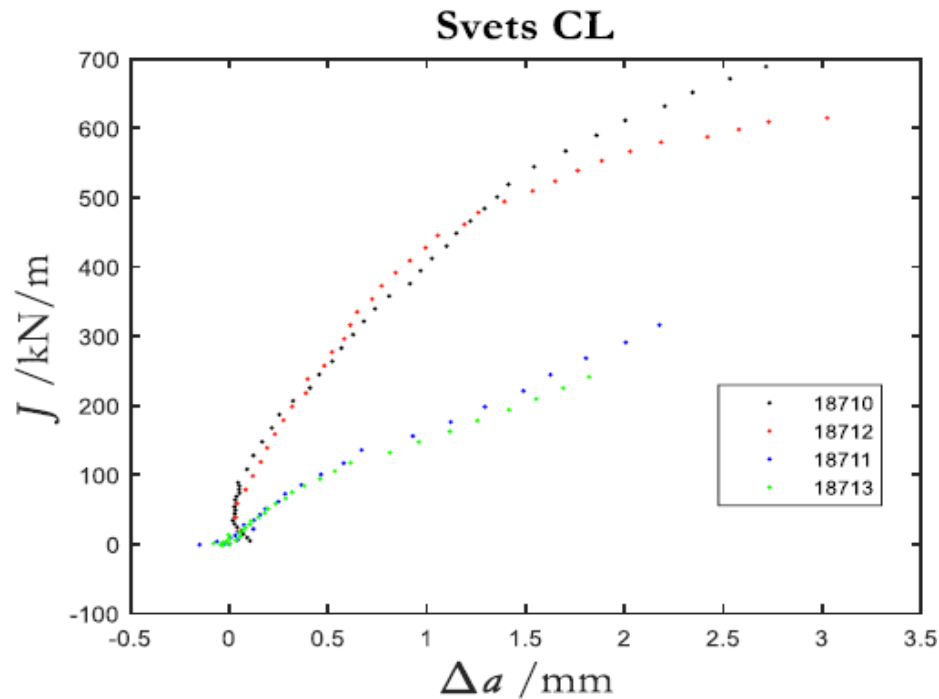
BROTTSEGHET GJUTET

- Mycket duktila
- Vid drifttemperatur – ökad brottseghet för åldrat tillstånd



BROTTSEGHET SVETS

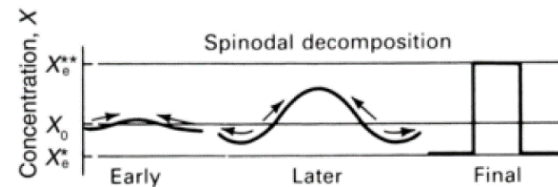
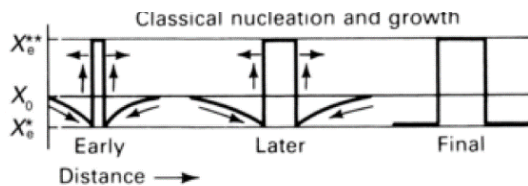
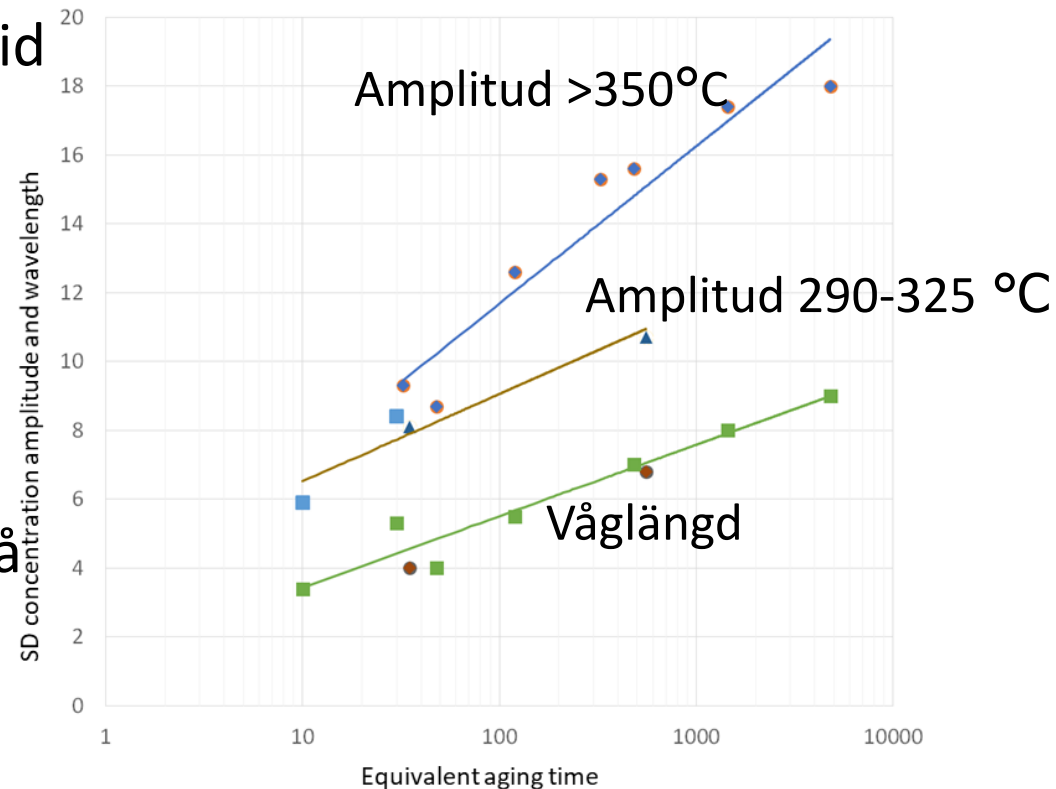
- Generellt lägre brottsegheter i oåldrat tillstånd för svetsgods än för gjutgods, men inverkan av åldring är liten
- dJ/da högt för alla tillstånd



TERMISK ÅLDNINGSHASTIGHET GJUTET SS - APT

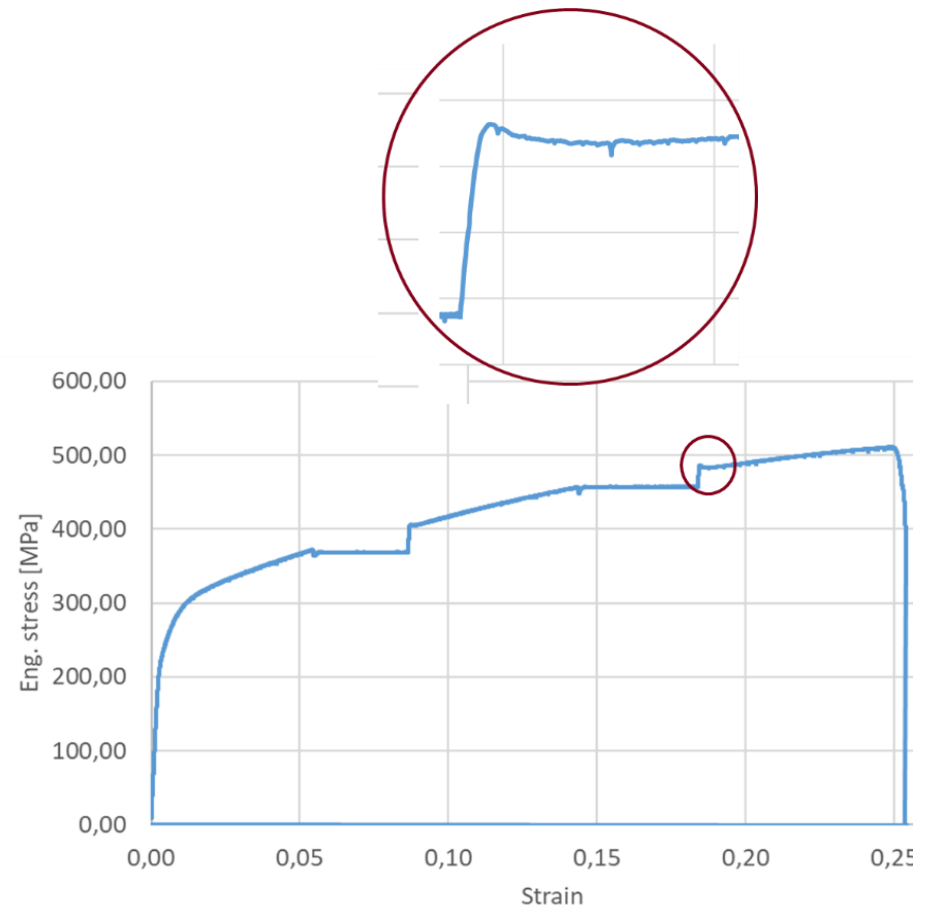
- Högre aktiveringsenergi vid låg temperatur
- Tydligast effekt på amplituden

=> Konservativt att anta aktiveringsenergi baserat på accelererade försök



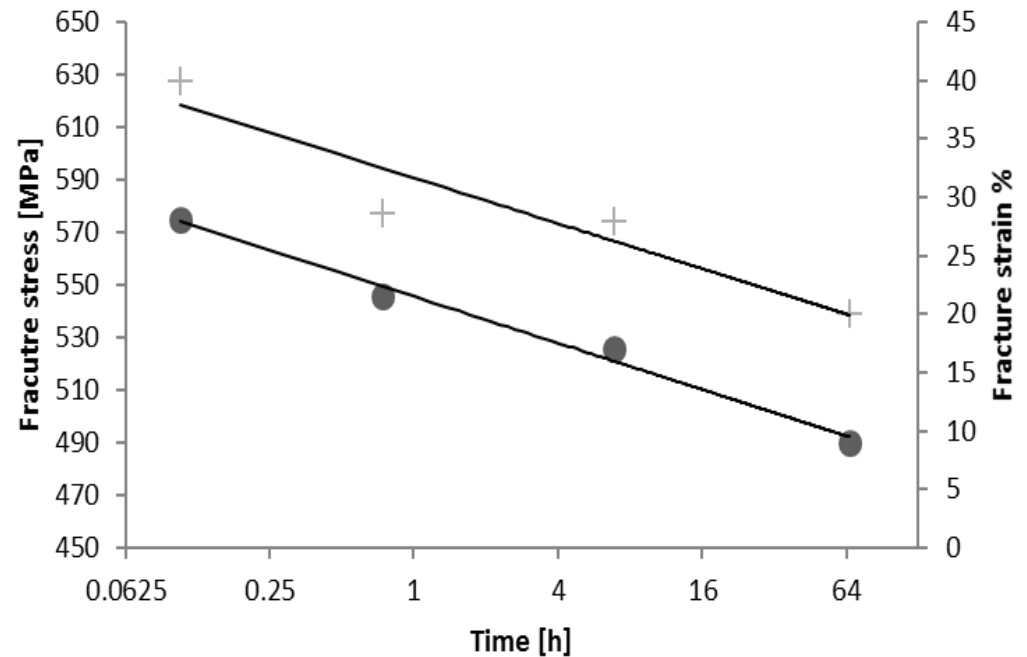
VÄXLANDE SPÄNNINGS - TÖJNINGSTILLSTÅND

- Växlande
 - Konstant spänning
 - Konstant töjning
- Mätbar spänningspuckel
 - Färre mobila dislokationer vid fasgränser
- Effekten ökar med åldring
 - Större skillnad mellan ferrit och austenits mekaniska egenskaper



DRAGPROV - EFFEKT AV TÖJNINGSHASTIGHET

- Sänkt töjningshastighet
 - Lägre brottspänning
 - Lägre brottförlänging



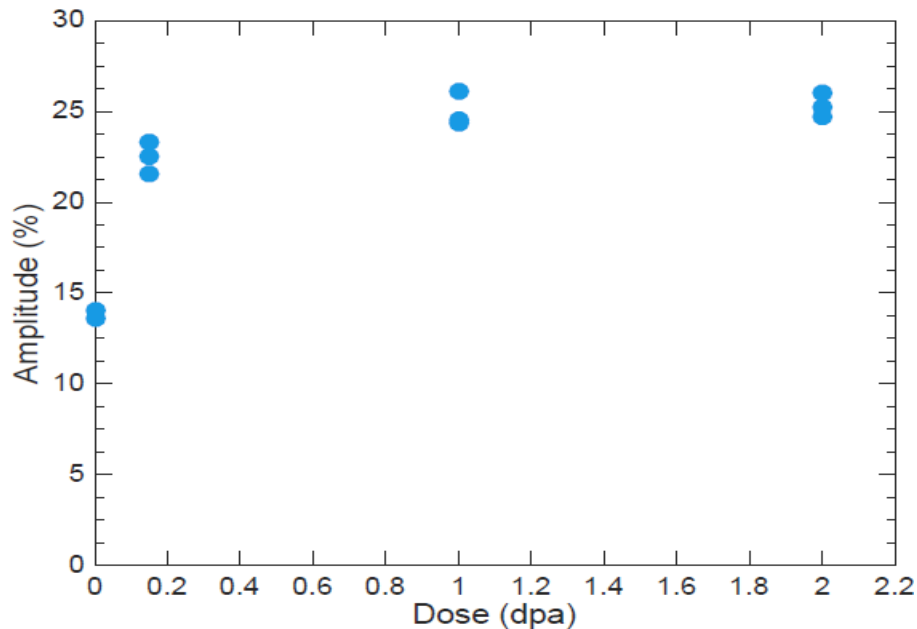
- Rumstemperaturkryp (RTC) och relaxation

$$\varepsilon = \frac{kT}{v^* h} \ln \left(\frac{v^* h \dot{\varepsilon}_0 t}{kT} + 1 \right) + \varepsilon_0$$

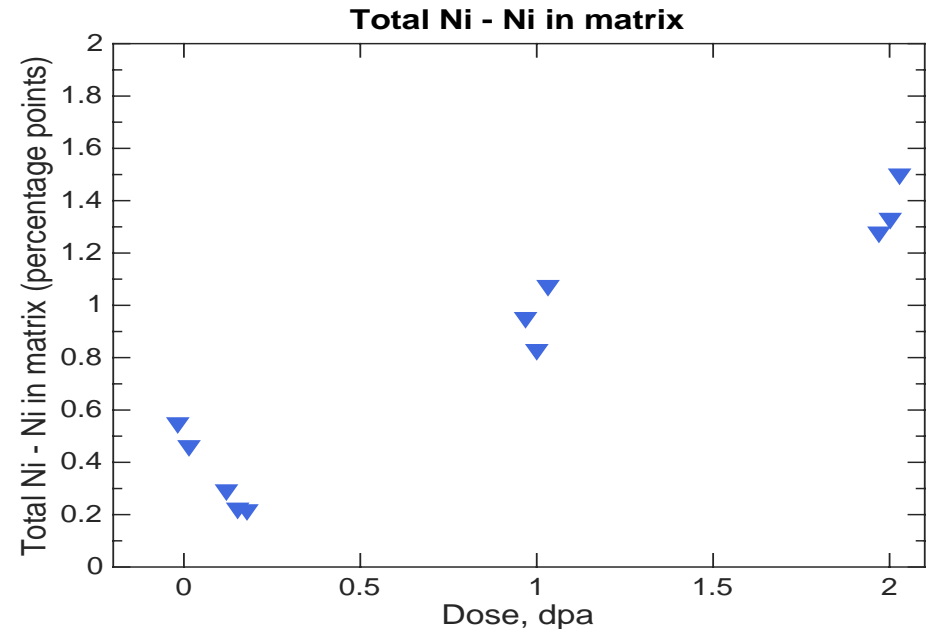
BESTRÅLNINGSEFEKT - SPINODALT SÖNDERFALL & G-FAS

- Bestrålning dominerande redan vid relativt låga doser
- Redan 0.1 dpa ger nästan mättat avseende spinodalt sönderfall
 - Okänt vad som händer vid riktigt höga doser
- Ökad G-fas med bestrålning

Spinodalt sönderfall



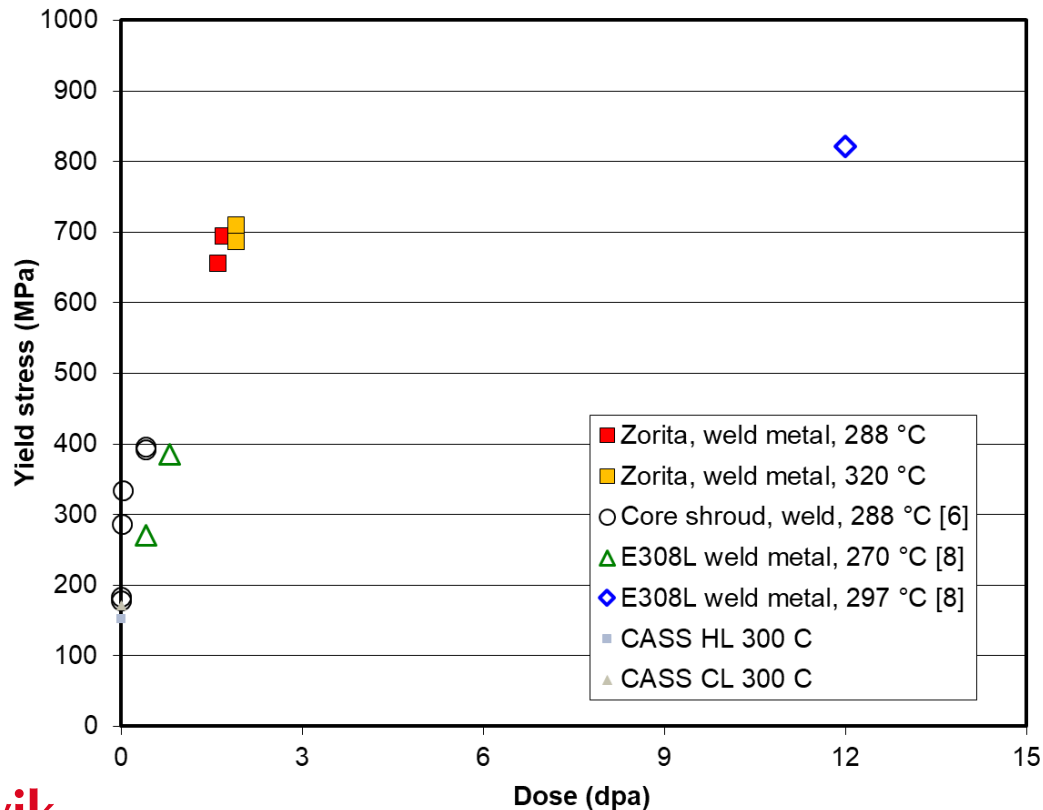
G-fasutskiljning



SVETSGODS - STRÄCKGRÄNS

- Mekaniska egenskaper fortsätter att förändras efter doser på 0,1 dpa
- Men vid högre doser är det i huvudsak austenitens åldring styrande för mekaniska egenskaper

Förståelse saknas för hur ferritens egenskaper varierar vid max spinodalt sönderfall, samt hur det inverkar på mekaniska egenskaper



SLUTSATS

- Resultaten indikerar att accelererad åldring av gjutna rostfria komponenter vid åtminstone 350°C ger relevanta resultat och snarare introducerar överkonservatism än underkonservatism
 - Gängse metodik för värdering av risk för termisk åldring är ok för svenska LWR.
- Stora variationer i mikrostrukturen skapar provningsutmaningar, men är mindre problematiskt i stora komponenter.
 - Med åldring ökande skillnader i egenskaper mellan faser i materialen accentuerar detta
- Synergieffekter mellan termisk och bestrålningsåldring vid låga som höga doser är inte till fullo utrett
- Tillverknings och drifthistoriken är viktig vid bedömning av försprödning
- Mo-haltiga legeringen 316L är introducerat såväl i som utanför härden och åldringsegenskaper för svets, blandzon och HAZ bör valideras

- Gjutna och svetsade komponenter bedöms inte riskera signifikant degradering inom 60 års drifttid, givet att de ej är Mo-legerade eller bestrålade

