

# Kärnbildning av krypkaviteter

I SKB:s komplettering [Sandström memo 2014-01-21] (sid 16) anges följande “Since particles are infrequent in Cu-OFP, it is assumed in the modelling that the dislocation substructure controls the nucleation”, Vilken grund finns för detta uttalande?

- En volymfraktion av krypkaviteter på omkring 0.01 krävs för att orsaka krypbrott i Cu (Needham et al. 1975). Volymfraktionen partiklar i Cu måste därför vara  $>0.001$  för att kunna bidra till kärnbildningen av krypkaviteter på ett signifikant sätt. Uppmätta mängder är bara av storleksordningen 0.00001 (se nedan).
- Lim har i tre arbeten visat att subkorngränser intill korngränser kan fungera som kärnbildningsställen för krypkaviteter [39] (referensnumren hänvisar till Sandströms memo om P i koppar).

forts

# Kärnbildning av krypkaviteter, forts

- Needham et al's data för krypkaviteter i koppar är i överensstämmelse med modellen. Ett rimligt och inte särskilt känsligt antagande måste dock göras för att visa detta nämligen att radien på den typiska kaviteten var 1-3  $\mu\text{m}$  (uppgift saknas men det angavs att den största uppmätta kavitetsradien var 10  $\mu\text{m}$ ).
- Modellen med kärnbildning vid substruktur har nyligen använts för de data för krypkaviteter som hittats för austenitiska rostfria stål (10 olika material). Modellen överskattar kärnbildningsfrekvens något men aldrig mer än en faktor 5, vilket är ett starkt stöd för modellen (resultaten publiceras under våren 2014).

Needham NG, Wheatley JE, Greenwood GW. Acta Metallurgica. 1975;23:23-7

# Den fundamentala krypmodellen

SSM önskar att SKB redogör vilket experimentellt underlag som finns till stöd för SKB:s fundamentala krypmodell av OFP koppar.

- Parametrarna i krypmodellen var fastställda 2008. En parameter  $c_L$  har dock modifierats något senare för att anpassas till en ny och bättre härledning av parametern.

Men denna krypmodell har följande framgångsrikt kunnat beskrivas (utan någon anpassning till data)

- Primär- och sekundärkrypkurvor för grundmaterial i temperaturintervallet 75 till 250°C [26] (referensnumren hänvisar till Sandströms memo om P i koppar).
- Approximativ beskrivning av primär och sekundärkryp vid mycket låga spänningar [26].
- Primär och sekundärkryp för runda anvisade prover under fleraxliga spänningstillstånd

Wu R, Jin LZ, Sandstrom R. Influence of multiaxial stresses on creep properties of phosphorus alloyed oxygen free copper. American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP. PART B ed2009. p. 1525-32.

forts

# Den fundamentala krypmodellen, forts

- Spänningstöjningskurvor för temperaturer mellan 20 och 175°C och töjningshastigheter mellan  $1 \times 10^{-7}$  till  $1 \times 10^{-4}$  1/s [27]
- Spänningstöjningskurvor för kalldeformerat Cu-OFP [27]
- Illustration av att maxspänningen vid konstant töjningshastighet är densamma som vid konstant spänning [27]
- Primär- och sekundärkryp hos FSW svetsad Cu-OFP (ett nytt värde har härletts för en parameter ( $\omega$ ) för att beskriva inverkan av svetsstrukturen) [32]
- Spänningstöjningskurvor för svetsat Cu-OFP

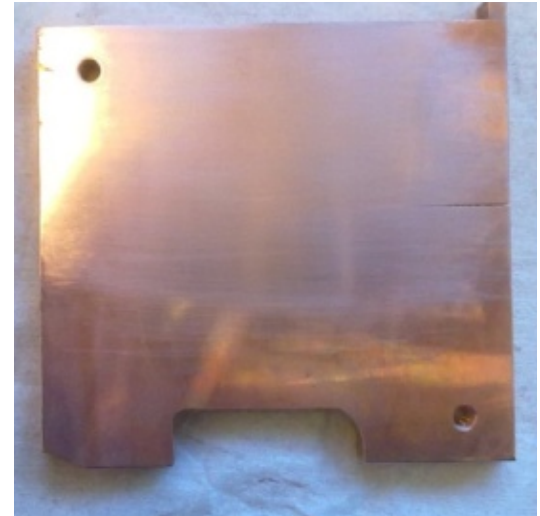
Sandstrom R, Waqas Ahmad S, Pasupuleti KT, Mahdavi Shahri M. Slow strain rate tensile testing of friction stir welded Cu-OFP. Constitutive equations for creep. SKB 2014.

- Krypmodellen har framgångsrikt använts även för austenitiska rostfria stål

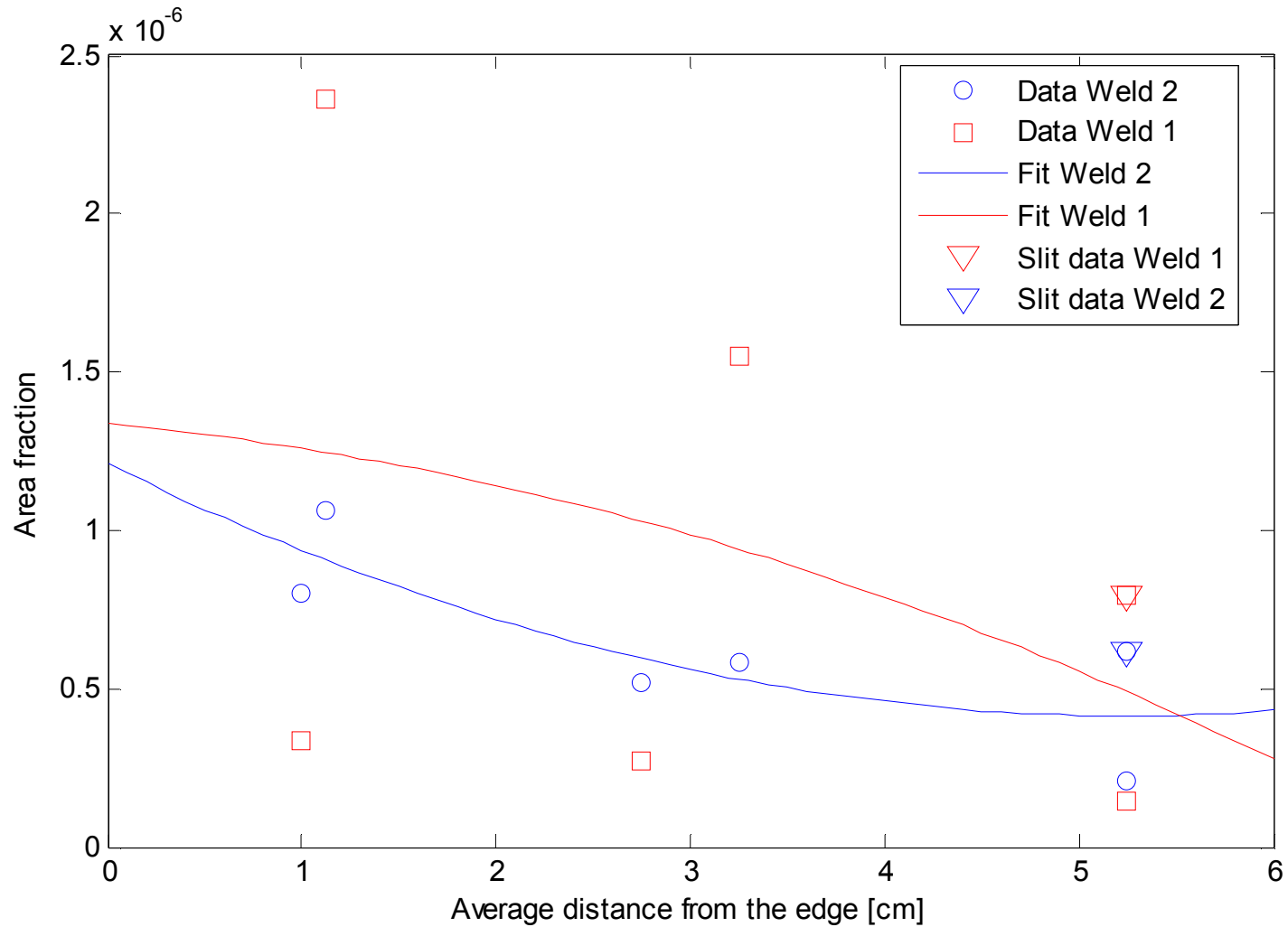
# Areafraktionen oxider i Cu-OFP

Ytterligare beskrivning önskas dessutom hur representativa de uppmätta volymsfraktionerna av partiklar är i storleksordning 0.0001?

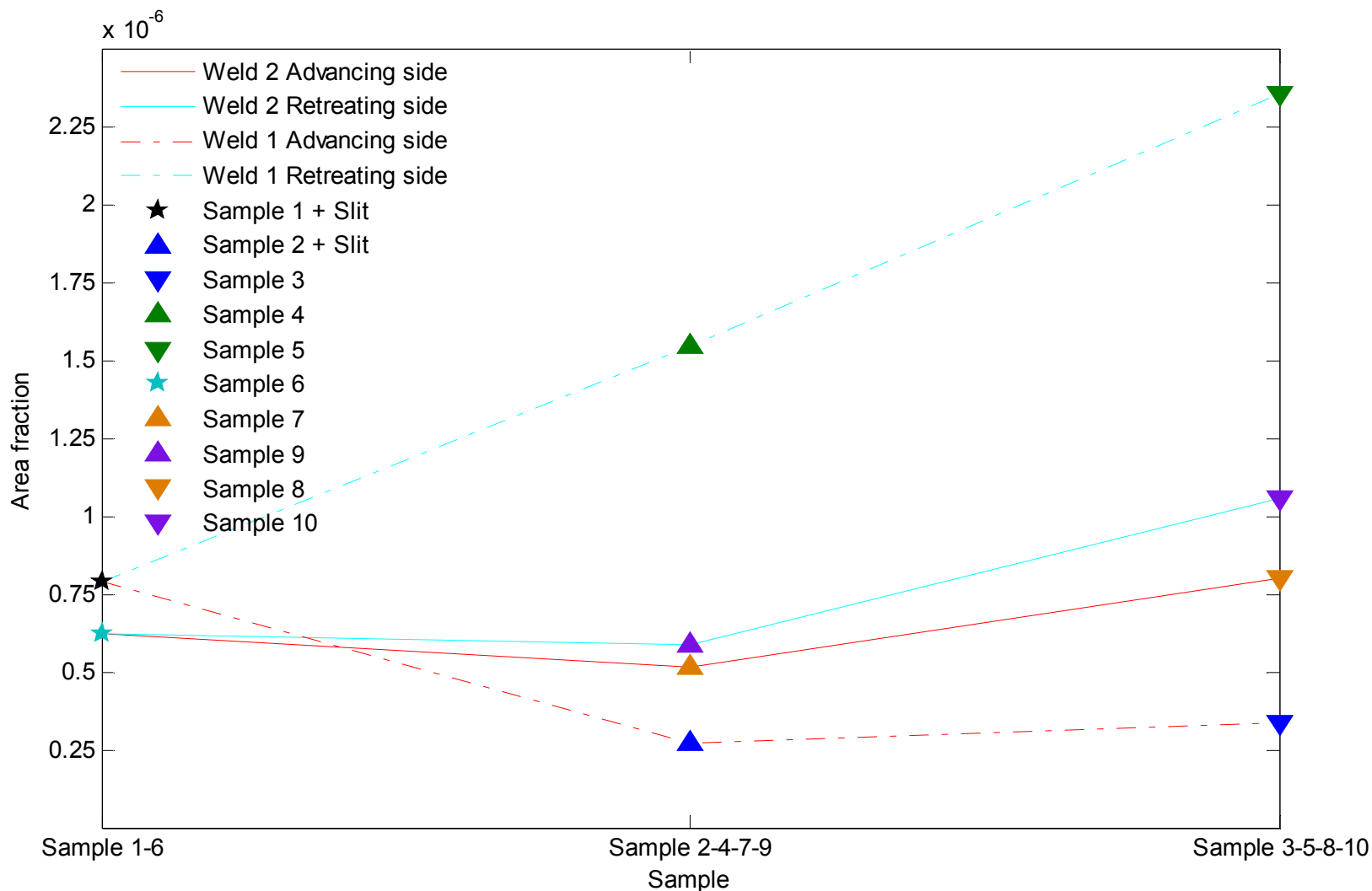
- Från Alberto Schiavons master thesis Metallographic investigation of oxides in friction stir welded Cu-OFP (2013)
- Schiavon fick två skivor från FSW svetsar med låg syrehalt (svetsad i skyddsgas) resp. hög syrehalt (svetsad i luft).
- Olika delar av svetsarna analyserades
- Ljuskopiering och svepmikroskopi utnyttjades
- Olika ets- och poleringsmetoder studerades



# Areafractionen oxider i Cu-OFP, forts



# Areafractionen oxider i Cu-OFP, forts



Större variation för svetsen i luft (weld 1) än för svetsen i skyddsgas (weld 2)  
Alla värden för areafractionen är mindre än 0.000003

# Inverkan av väte på mekaniska egenskaper hos koppar (från Sandström Memo 2013-12-12 The role of hydrogen in copper)

- Even in the absence of oxygen, hydrogen can influence the mechanical properties of copper. Hydrogen absorption has proven to have an effect on the mechanical properties in thin foils or sheets.
- In [11]-[13] it was shown that the hardness is raised by hydrogen charging. In addition, it was demonstrated that the tensile strength and elongation could be modestly reduced [12].
- Nakahara [14] and Okinaka et al. [15] found that trapped hydrogen in copper deposits reduced the ductility. It should be pointed out that the investigations [14], [15] were performed on electroless copper deposits, which are porous and difficult to compare to the behaviour of bulk copper



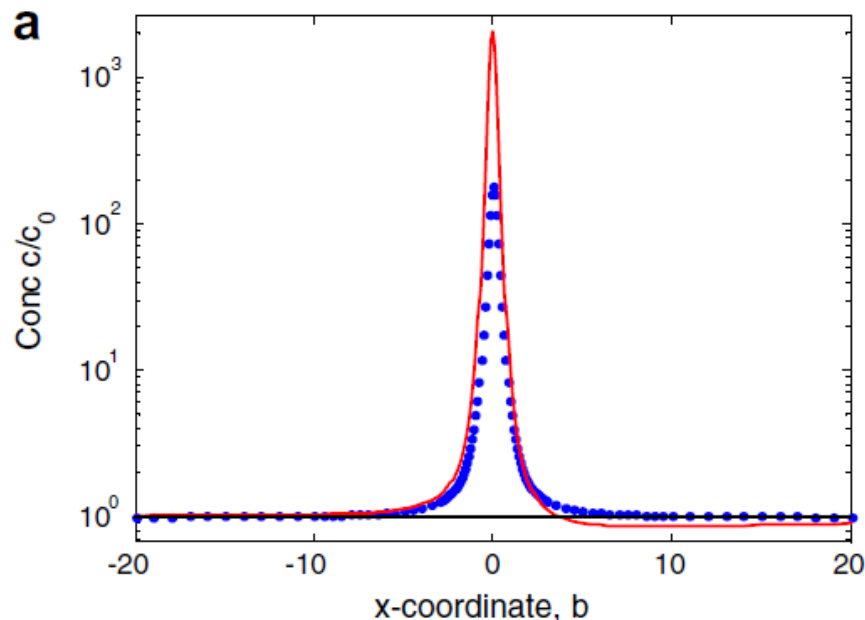
# Inverkan av väte på mekaniska egenskaper hos koppar, forts

- With the electrolytical charging only a thin surface layer can be charged with hydrogen. The layer is degassed within weeks.
- If long time charging would be attempted, our models suggest that a stationary state would be reached and the hydrogen would not penetrate very far into the material.
- The only known way to charge bulk samples is to apply high pressure hydrogen at high temperatures. For the study of mechanical properties this is not known to have been attempted. This type of charging could not happen during the production of the copper canisters.

# 30-100 ppm P

SKB:s redovisning vid mötet 11/4 svarade inte på frågan, vilket gällde hur gränsvärdena för fosfor (30-100 ppm) bestämts och vilken bakomliggande mekanistisk grund som finns, speciellt mot koppar med lägre eller högre fosforhalter än (30-100 ppm).

- Gränsvärdena 30 och 100 ppm är rimligen baserade på resultaten i TR-99-39. Där visades att krypegenskaper för Cu-OFP med 29, 50-70 och 106 ppm P gav likvärdiga resultat



## 30-100 ppm P, forts

- Enligt krypmodellen är hållfasthetseffekten av P proportionell mot P halten
- Koncentrationen av P är mycket hög vid dislokationer och i korngränser. En mättningseffekt uppnås.
- Återhämtningshastigheten får ett konstant värde
- Hutchinson och Ray (1979) visade att omkring 2000 ppm P reducerade återhämtningshastigheten.
- Krypförsök med 32 ppm och med 112 ppm P pågår för närvarande. Hittills framkomna resultat visar att krypförlängningsvärdena är på samma nivå som de som under lång tid tagits fram för 50-60 ppm P