

# Sprödbrott i lödfogar

Per-Erik Tegehall

# Innehåll i presentationen

- Resultat från litteraturstudie.
- Resultat från dragprov med olika kombinationer av lod och metallisering på lödytor.
- Förslag på fortsättningsprojekt.

# Beskrivning av sprödbrott och inverkan av blyfri lödning

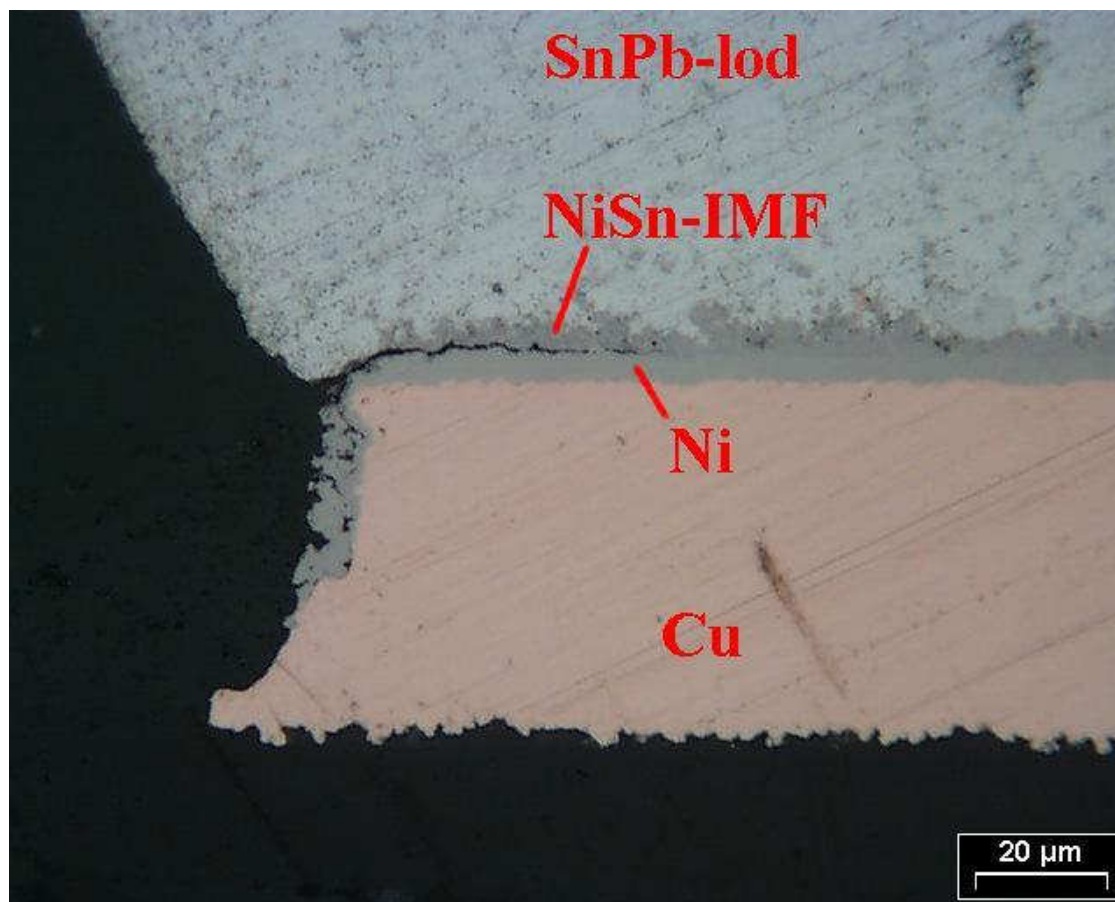
# Sprödbrott i lödfogar

- Sprödbrott i lödfogar sker normalt i det intermetalliska skiktet. Vid hög guldhalt kan sprödbrott även ske i lodet.
- Sprödbrott i IM-skiktet är en ovanlig men ökande felorsak. Sprödbrott har främst rapporterats för lödning mot ENIG.
- Sprödbrott sker vid hög töjningsbelastning med hög töjningshastighet.
- Blyfri lödning ökar risken för sprödbrott.
- Kombinationen av lod och lödyta har stor påverkan på risken för sprödbrott.

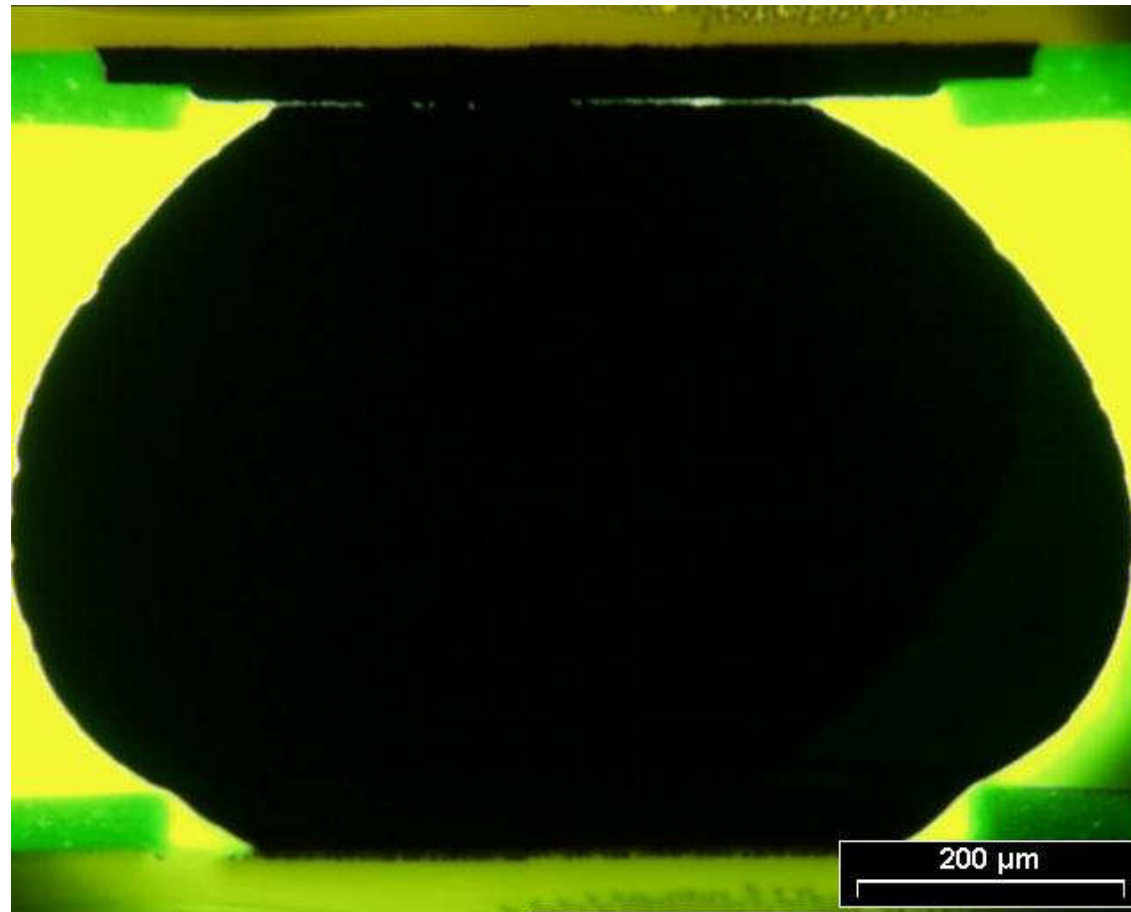
# Belastningar som kan orsaka sprödbrott

- Böjning av kort vid:
  - in-circuit test
  - omarbetning och omlödning
  - borttagning av kretskort från panel
  - montering av kretskort i chassi
  - montering av "press-fit"-komponenter och dotterkort
  - hantering och transport utan tillräckligt mekaniskt stöd
- Mekanisk chock
- Vibrationer
- Snabba temperaturändringar, speciellt vid lödning

# Spricka i intermetalliskt skikt på nickel efter lödning



Spricka mot komponentpad bildad under en andra omsmältning av en BGA-komponent



# Effekt av blyfri lödning

Fallprov utfört för kretskort bestyckat med BGA

(Källa: Heaslip et al., IPC and SOLDERTEC Global 2nd Int. Conf. on Lead Free Electronics, 2004)

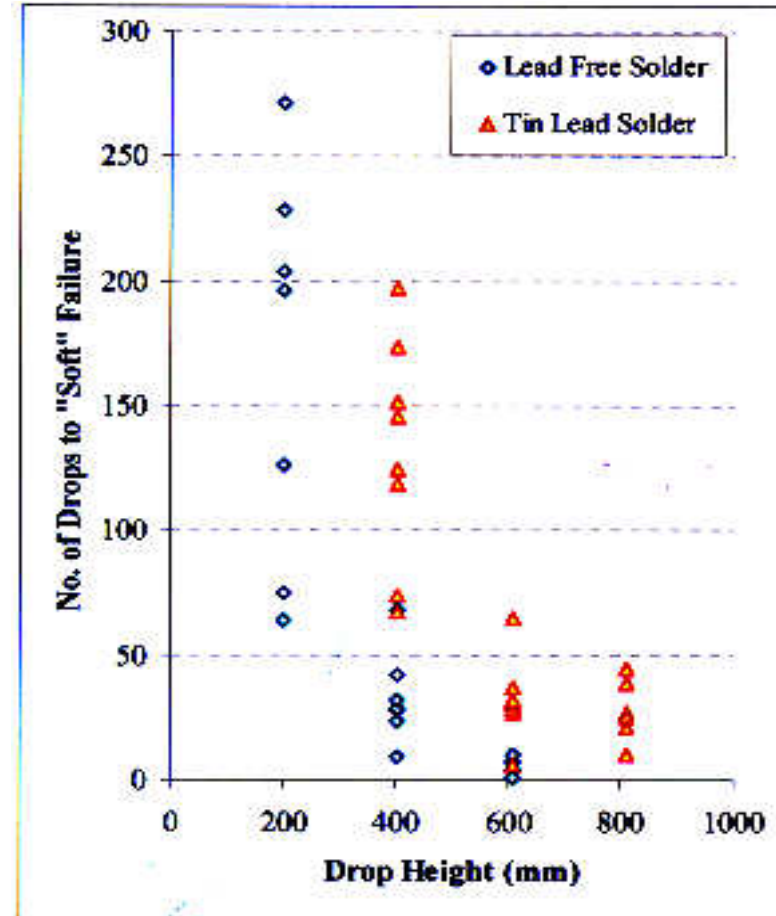


Figure 7: Number of drops to "Soft Failure".

# Orsaker till ökad risk för sprödbrott vid blyfri lödning

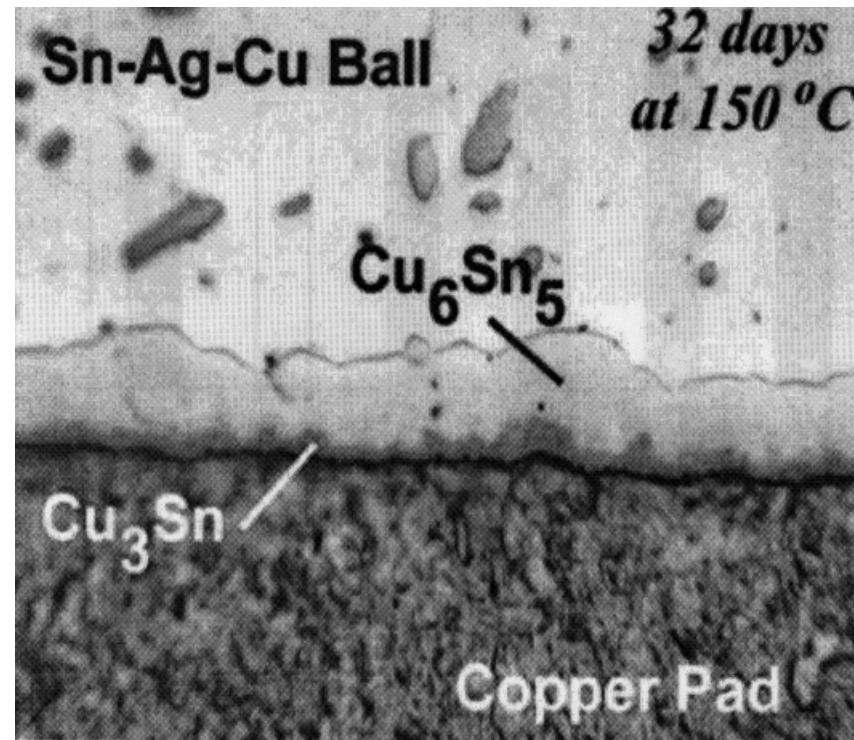
- Högre lödtemperatur medför större belastning vid lödning.
- Lägre kryphastighet och högre styvhet hos blyfria lod medför större restspänning efter lödning.
- Förändrad sammansättning av intermetalliskt skikt mot lödytor kan både öka och minska risken för sprödbrott.
- Högre elasticitetsmodul hos blyfri lod ökar belastningen på IM-skikten vid snabb belastning.

För att minska risken för sprödbrott erbjuder flera komponent-tillverkare blyfria BGA:er med 0,2-1% silver. Det ökar dock smälttemperaturen med ca 10°C.

Beskrivning av sammansättningen av det intermetalliska (IM) skiktet som bildas på lödytor vid lödning och åldring för olika kombinationer av lod och lödytor samt inverkan av IM-skiktet på risken för sprödbrott

# SnPb-lod och kopparytor

- $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  bildas vid lödning
- Ett andra intermetalliskt lager med  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  bildas vid åldring över  $60^\circ\text{C}$
- Sprödbrott kan uppstå om sammanlagda tjockleken  $>5-7\ \mu\text{m}$ . Kan bildas efter lång tids användning vid höga temperaturer. Inga fall av sprödbrott rapporterade från fält.



## Pb-fria lod och kopparytor

- Struktur och sammansättning av IM-skiktet ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ) är i stort sett samma som för SnPb-lod men tjockleken påverkas av lodmängden.
- Om motstående lödyta består av nickel kan  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$  bildas. Tillväxten av IM-skiktet kan då vara mycket snabbare och skiktet kan bli sprödare.
- Kraftig bildning av Kirkendall-porer har observerats i  $\text{Cu}_3\text{Sn}/\text{Cu}$ -gränsskiktet och inom  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  lagret vid driftstemperaturer över  $100^\circ\text{C}$ . Orsakas troligen av föroreningar i kopparskiktet och är batchberoende.

# Kopparyta och Kirkendall-porer

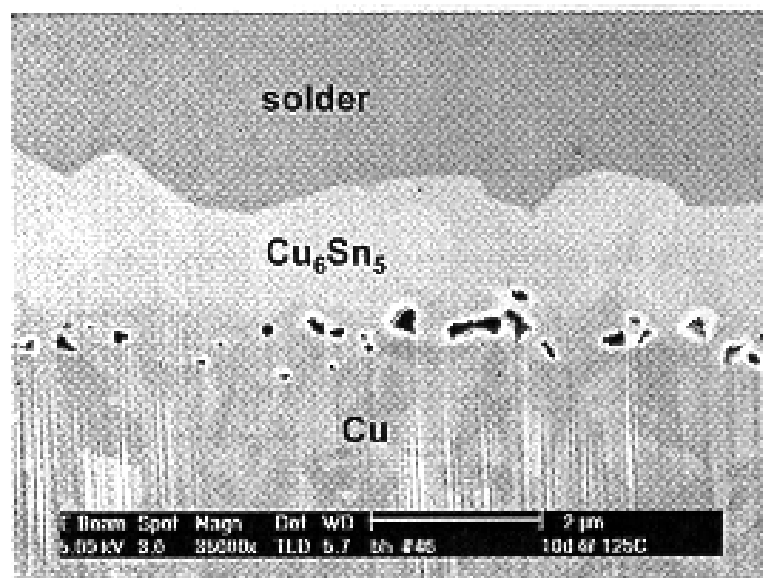


Figure 7. Package pad to solder joint interface after 10 days of 125°C aging. Growth of the Kirkendall voids is noted.

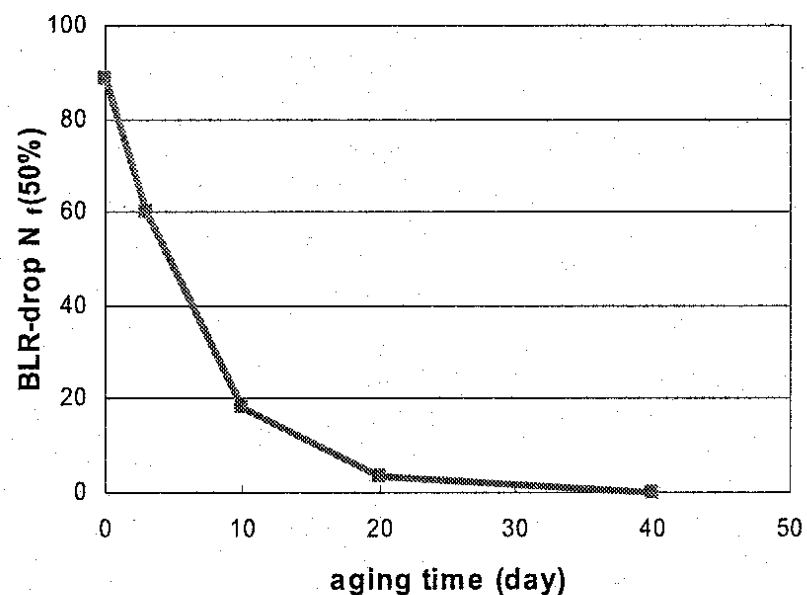


Figure 4. Mean cycles to failure for board level drop test as a function of aging time.

Dålig korrelation med skjuv- och draghållfasthet  
(Källa: Chiu et al., ECTC 2004)

## IM-skikt på kemiskt nickel med SnPb-lod

SnPb-lod

---

$\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  (0.5-1  $\mu\text{m}$ )

---

NiSnP IM (<0.2  $\mu\text{m}$ )

---

$\text{Ni}_3\text{P}$  (0.2-0.4  $\mu\text{m}$ )

---

Ni(P)

Sprödbrott mot kemisk nickel tros ske i det tunna skiktet med NiSnP. Detta skikt saknas vid lödning mot elektropläterat nickel.

## IM-skikt på elektrolytiskt nickel

- Elektrolytiskt nickel är belagt med 0,5-1,5  $\mu\text{m}$  elektrolytiskt guld. Guldet löses i lodet och bildar  $\text{AuSn}_4$ -kristaller.
- IM-skiktet som bildas på nicklet består av  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ .
- Ett andra skikt bestående av  $(\text{Au},\text{Ni})\text{Sn}_4$  kan bildas vid åldring.
- Dubbelskiktet är mycket sprött och brott sker mellan IM-skikten.
- Ni och Cu tillsatt till lodet kan förhindra bildningen av dubbelskiktet.

## SnAg-lod och nickelytor

- IM-skiktet bestående av  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  kan bli relativt tjockt.
- Avspjälkning av IM-skiktet kan ske, speciellt på kemiskt Ni.
- Ju högre P-halt i kemiskt nickel desto större risk för avspjälkning.
- Avspjälkning ökar upplösningen av nickel och tillväxten av NiSnP- och  $\text{Ni}_3\text{P}$ -skikten.

# SnAgCu-lod och nickelytor

Sammanställningen hos IM-skiktet beror på Cu-innehåll.

- Ingen Cu:  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$
- $<0,4\%$  Cu:  $(\text{Ni,Cu})_3\text{Sn}_4$
- $>0,6\%$  Cu:  $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$
- $0,4-0,6\%$  Cu:  $(\text{Ni,Cu})_3\text{Sn}_4 + (\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$

Det dubbla IM-skiktet kan också bildas vid åldring av lödfogar med mer än  $0,6\%$  Cu.

Dubbelskikt medför större risk för sprödbrott.

## Blyfria lod och "guldförsprödning"

- Lödning med SnAg-lod ökar upplösningen av nickel vilket minskar risken för att ett dubbelskikt skall uppstå.
- Vid lödning med SnAgCu- och SnCu-lod bildas ett IM-skikt med  $(\text{Cu,Au,Ni})_6\text{Sn}_5$  vilket normalt förhindrar att ett dubbelskikt bildas. Det finns dock uppgifter om att ett dubbelskikt i vissa fall har bildats.

# Kopplingseffekt

- När lödfogar bildas mellan en Cu-yta och en Ni-yta påverkas IM-skiktets sammansättning av upplöst metall.
- $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$  bildas på Ni-ytan, ibland som enskilt skikt och ibland ovanpå ett skikt med  $(\text{Ni,Cu})_3\text{Sn}_4$ . IM-skiktet kan ibland bli mycket tjockt (5-9  $\mu\text{m}$ ).
- $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$  bildas också på Cu-ytor.
- Vid åldring kan konsumtionen av Ni minska med konsumtionen av Cu ökar.
- Porer kan uppstå vid Ni-ytan.

## Effekt av ternära CuNiSn-faser

- Enligt vissa undersökningar minskar konsumtionen av nickel och tillväxten av IM-skiktet reduceras pga. begränsad tillgång på Cu.
- Enligt andra undersökningar ökar tillväxten av IM-skiktet. Variation i nicklets egenskaper och lodvolymen kan kanske förklara skillnaden i resultat.
- Enligt vissa undersökningar kraftigt förhöjd risk för sprödbrott när ternära faser bildas.

# Testmetoder för att bedöma risken för sprödbrott

# Krav på testmetoder för sprödbrott

- Testerna måste ha hög töjningshastighet för att ge rätt felmekanism.
- Traditionella skjuv- och dragtest har för låg töjningshastighet.
- Test med hög töjningshastighet:
  - Hög skjuv- och draghastighet
  - Fallprov
  - Mekaniska chocktest
  - Böjtest
  - Snabba temperaturändringar

# Resultat från dragprov av lodkulor med Dage's utrustning för hög draghastighet

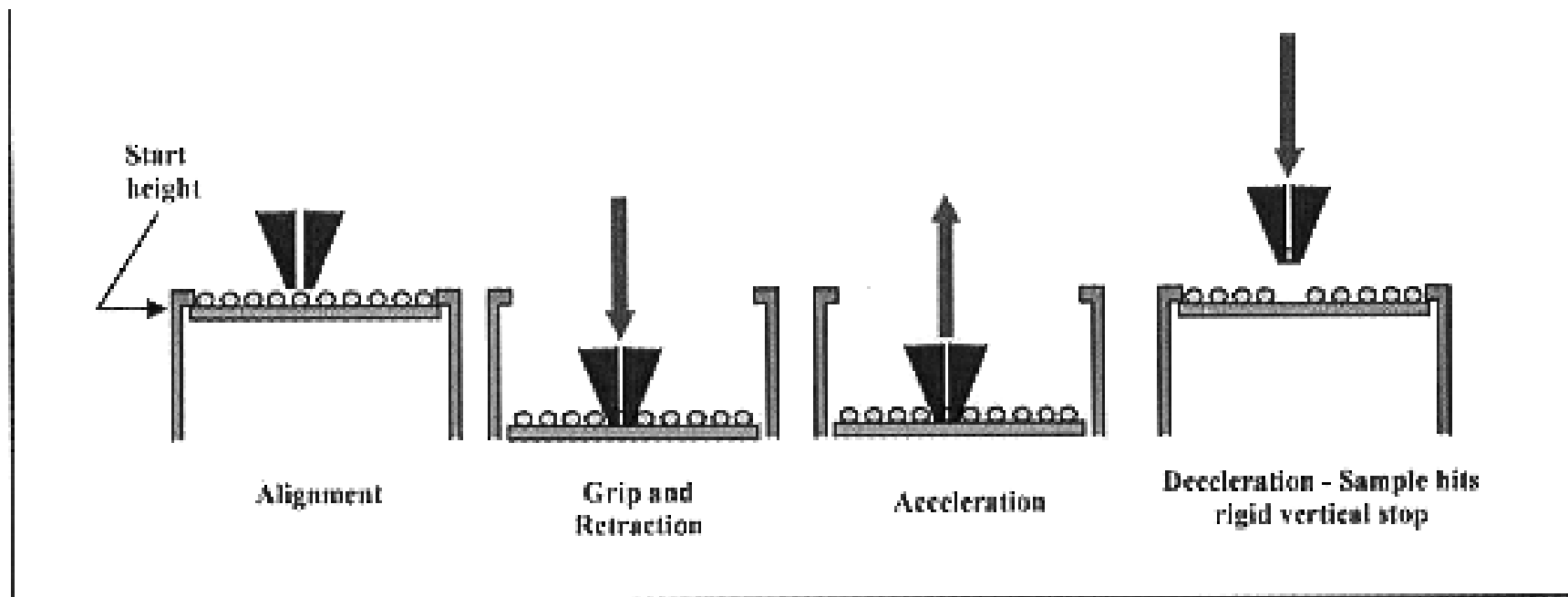


Figure 5. High-speed cold bump pull bondtesting methodology.



# Testade kombinationer av lod och lödtytor

## Testade lod

- Sn37Pb
- SAC305
- SAC105

## Lödtytor

- ENIG
- EI-NiAu
- HASL SnPb
- HASL blyfri
- Immersion Ag
- Autokatalytiskt Ag
- Autokatalytiskt Ag/Immersion Au

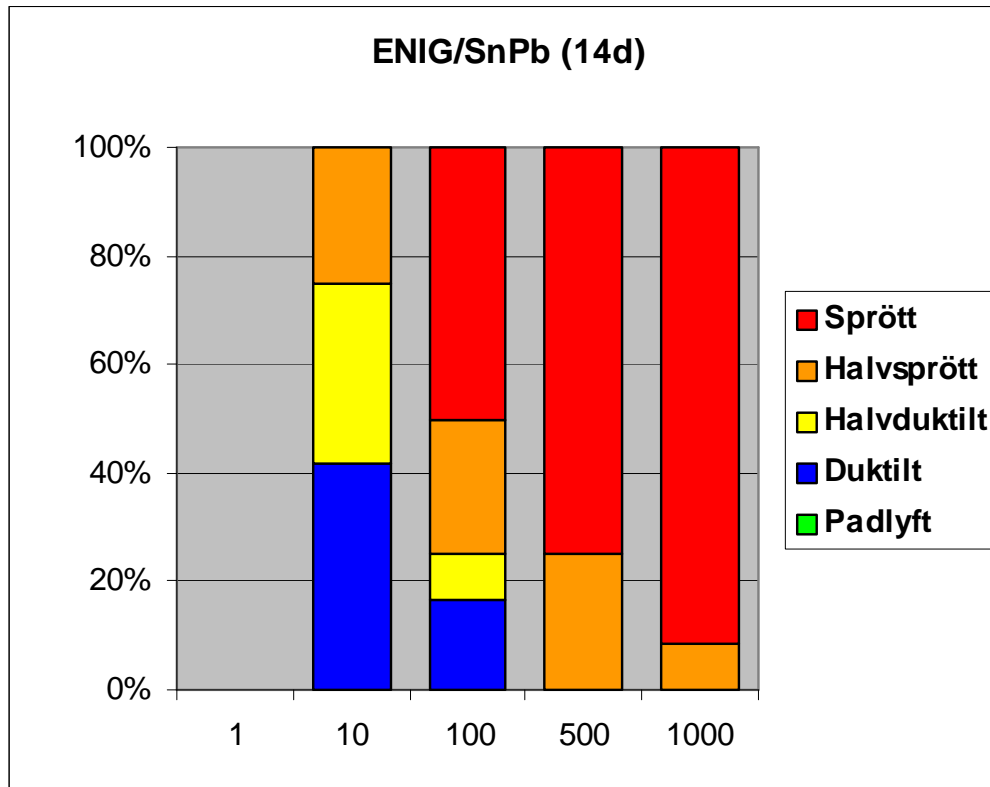
# Testparametrar

Draghastighet: 1, 10, 100, 500 och 1000 mm/s

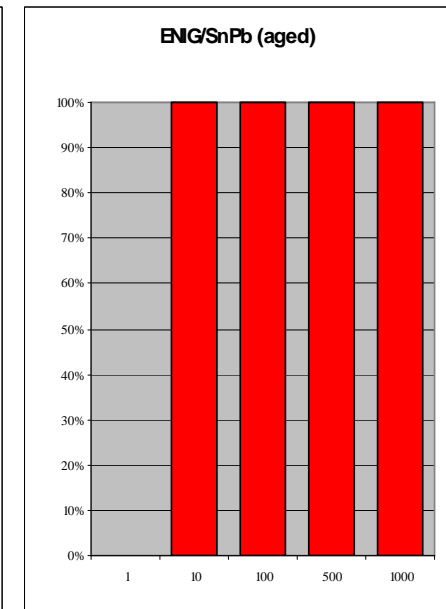
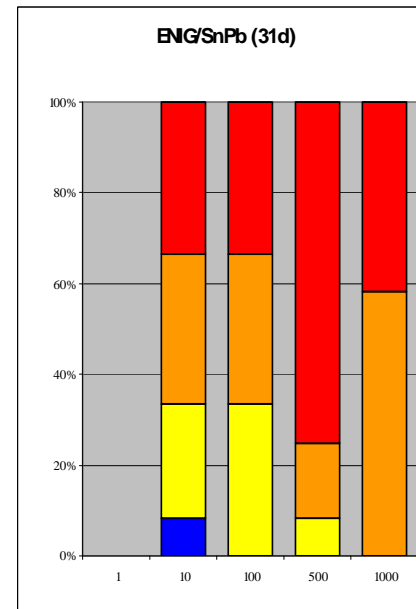
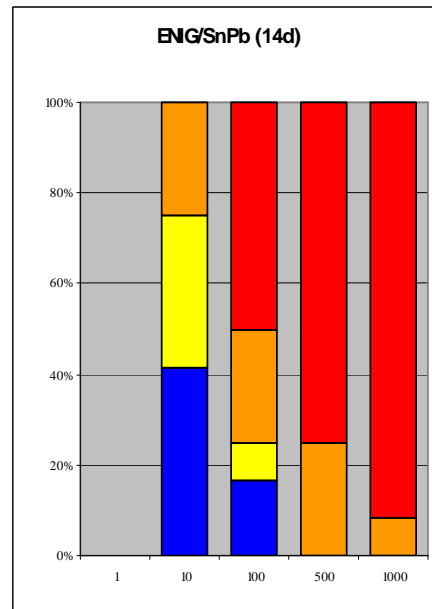
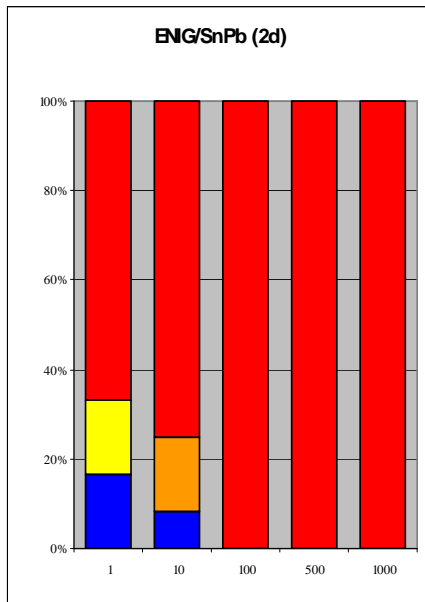
Tid efter lödning: 2, 14 och 31 dygn

Åldring: 500 h vid 125°C

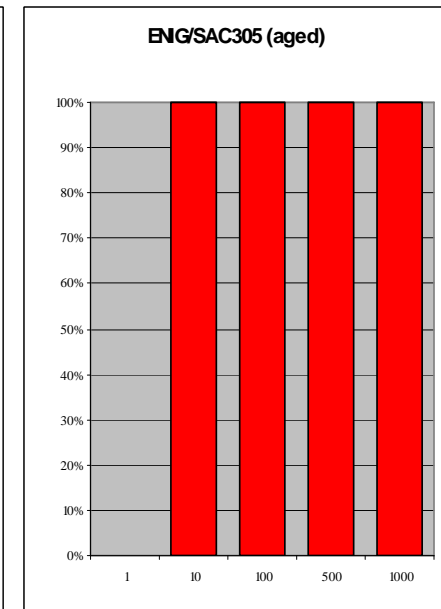
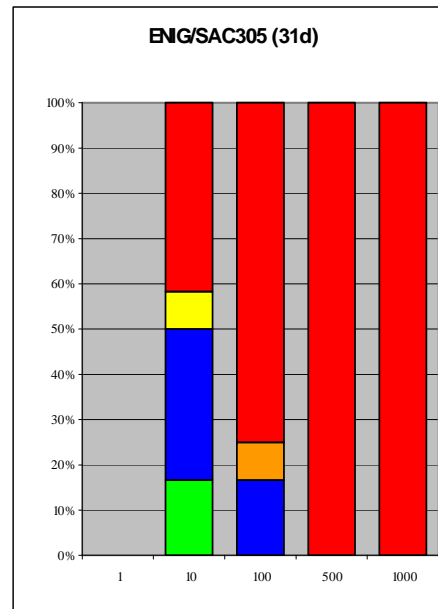
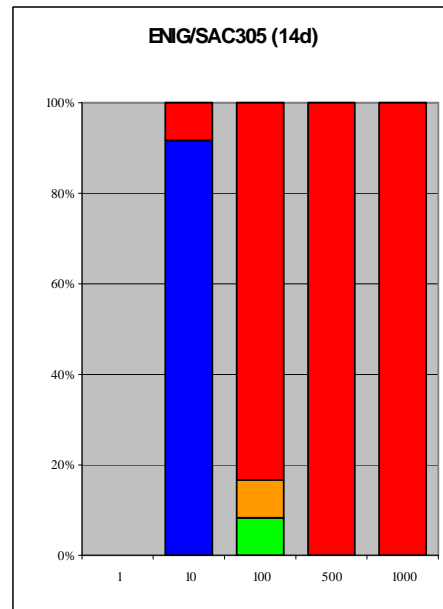
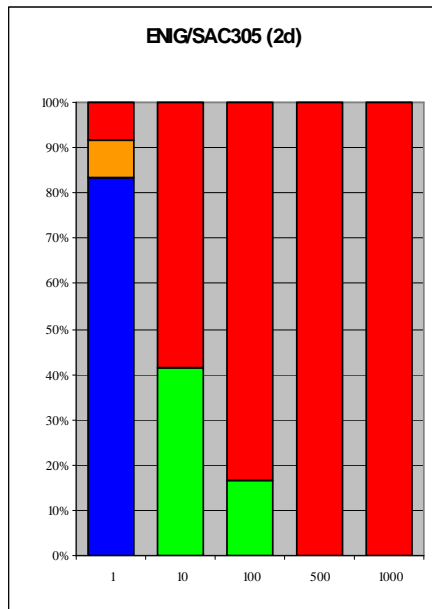
# ENIG/SnPb



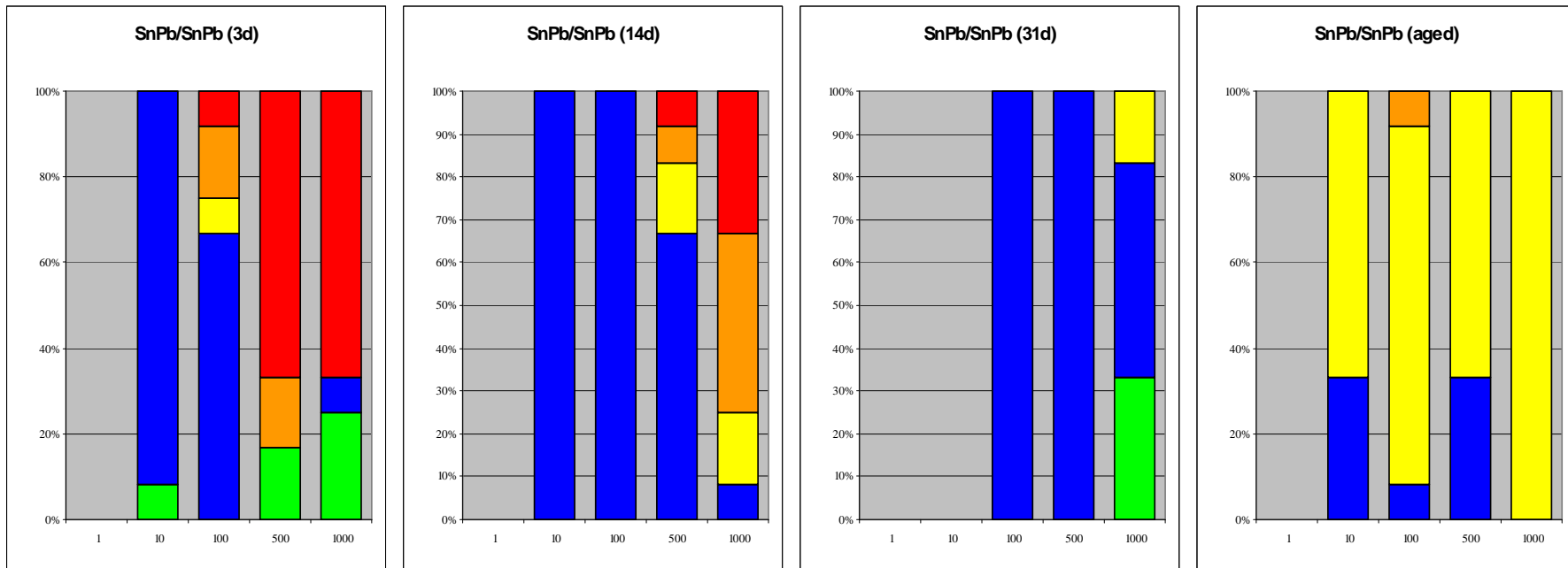
# ENIG/SnPb – Tid efter lödning och åldring



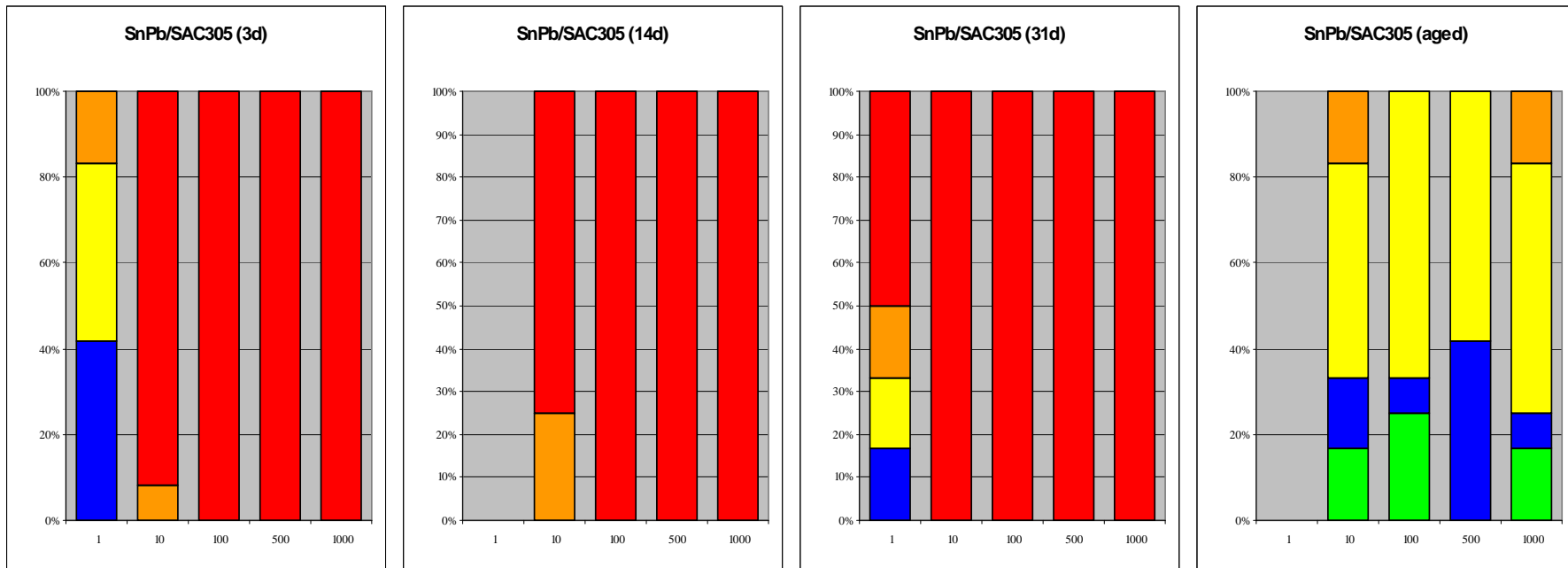
# ENIG/SAC305 – Tid efter lödning och åldring



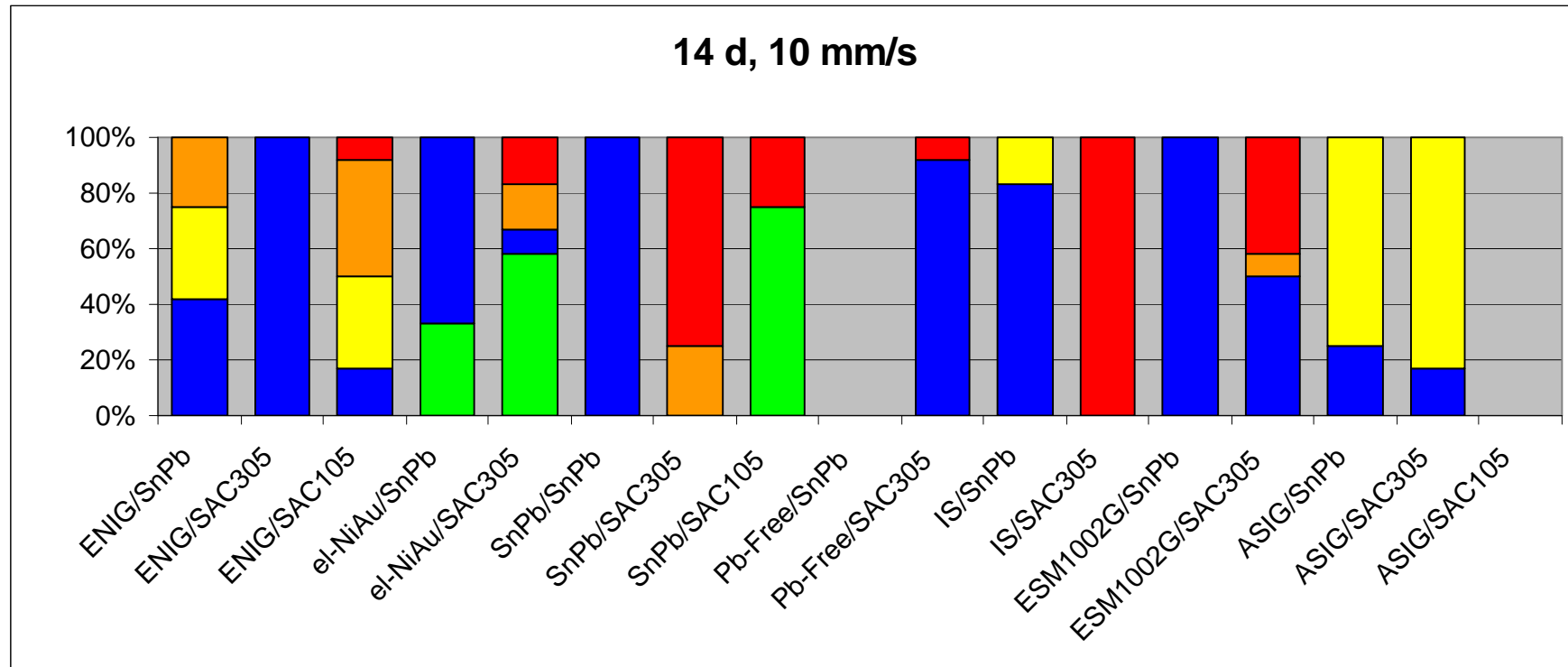
# SnPb/SnPb – Tid efter lödning och åldring



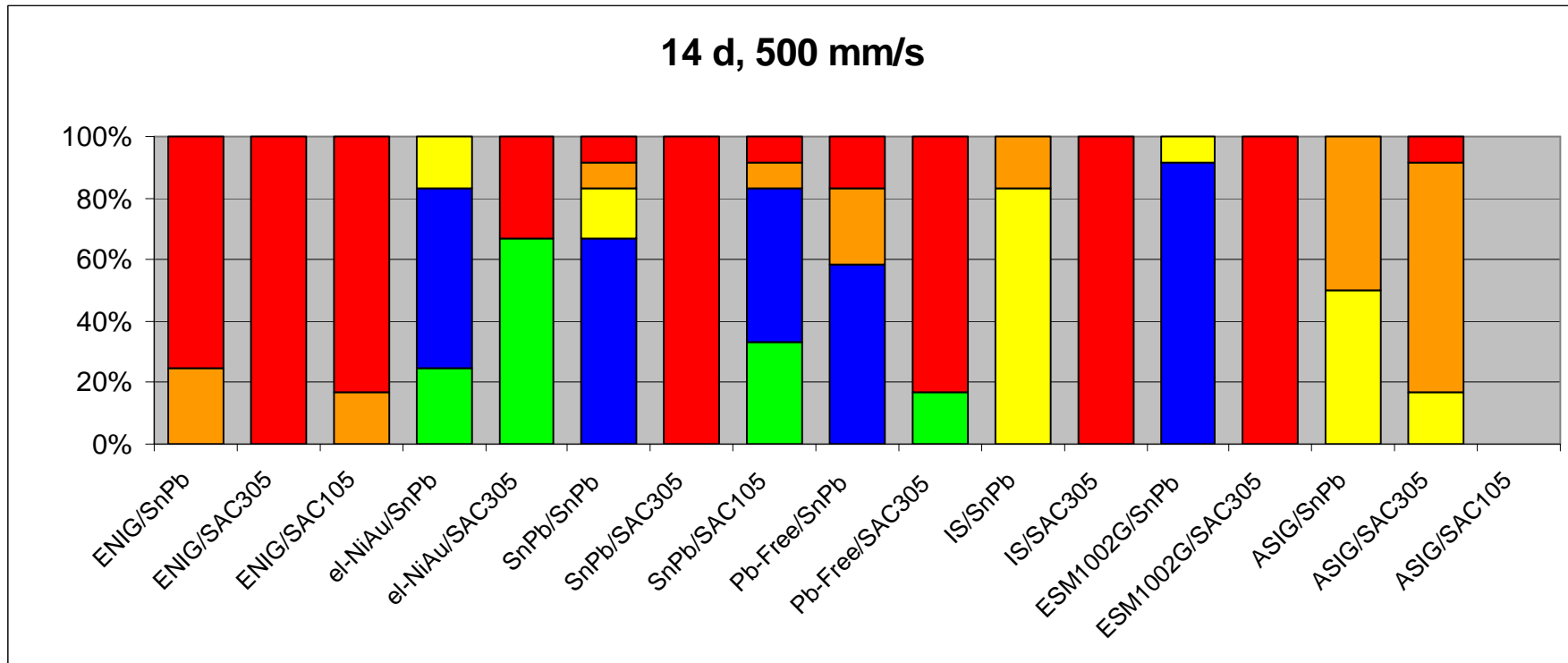
# SnPb/SAC305 – Tid efter lödning och åldring



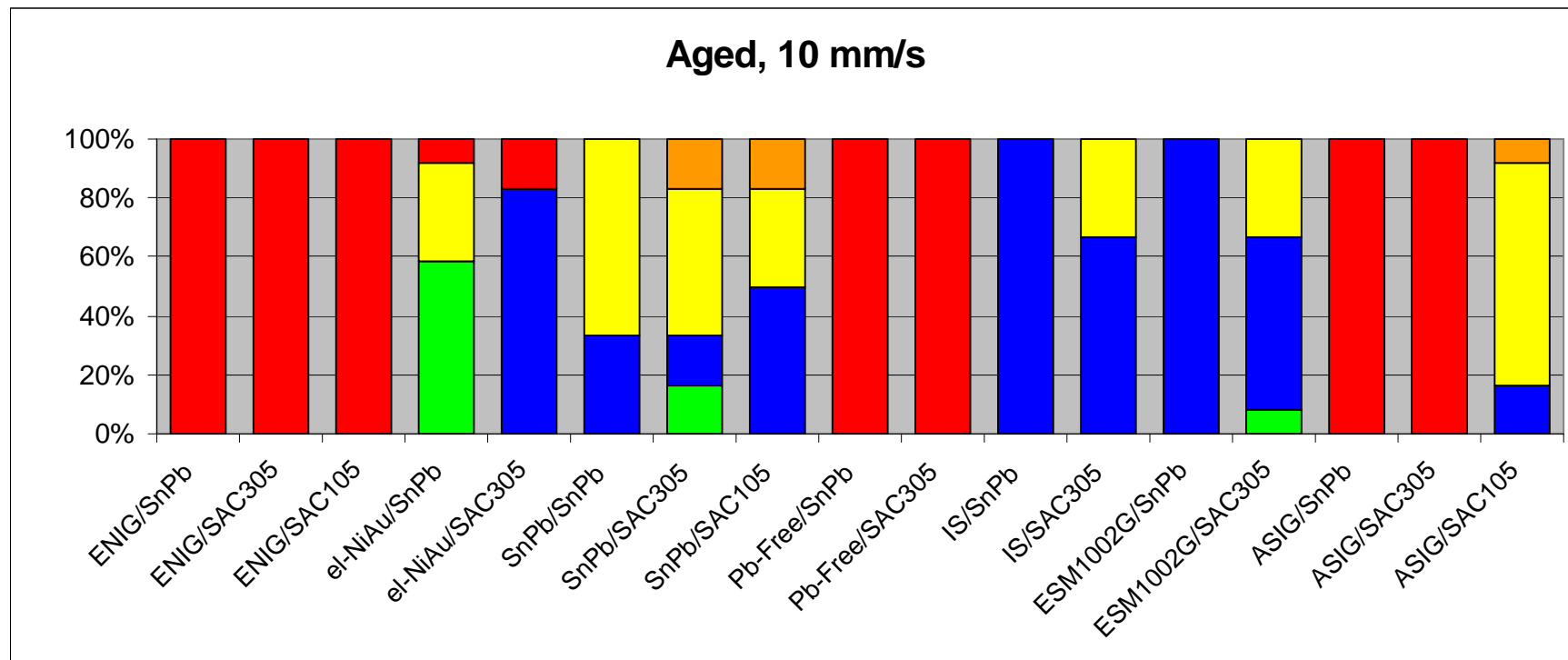
# 14 d, 10 mm/s



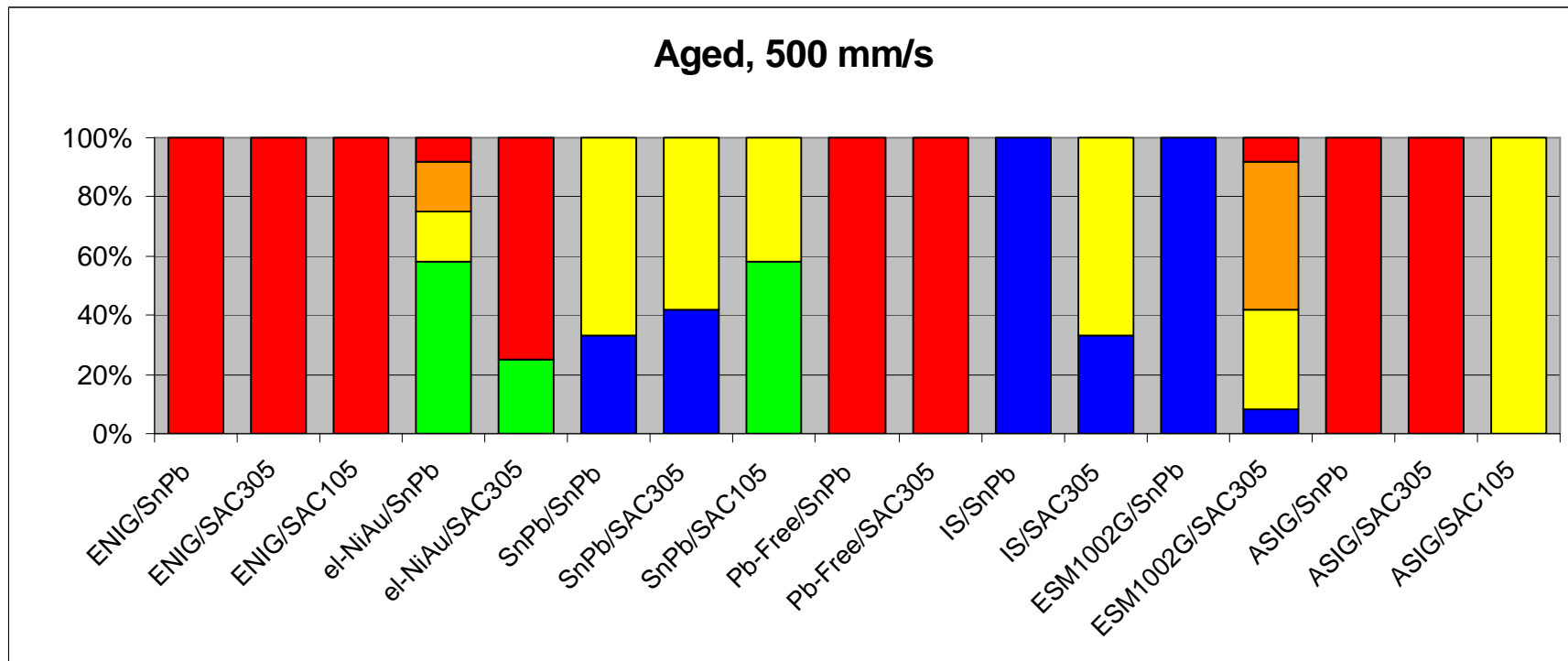
# 14 d, 500 mm/s



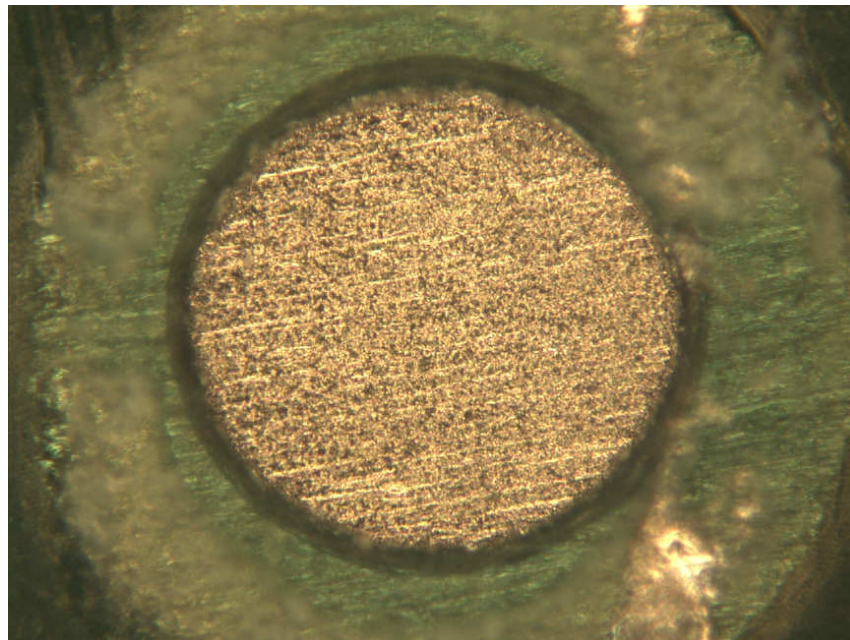
# Åldrad, 10 mm/s



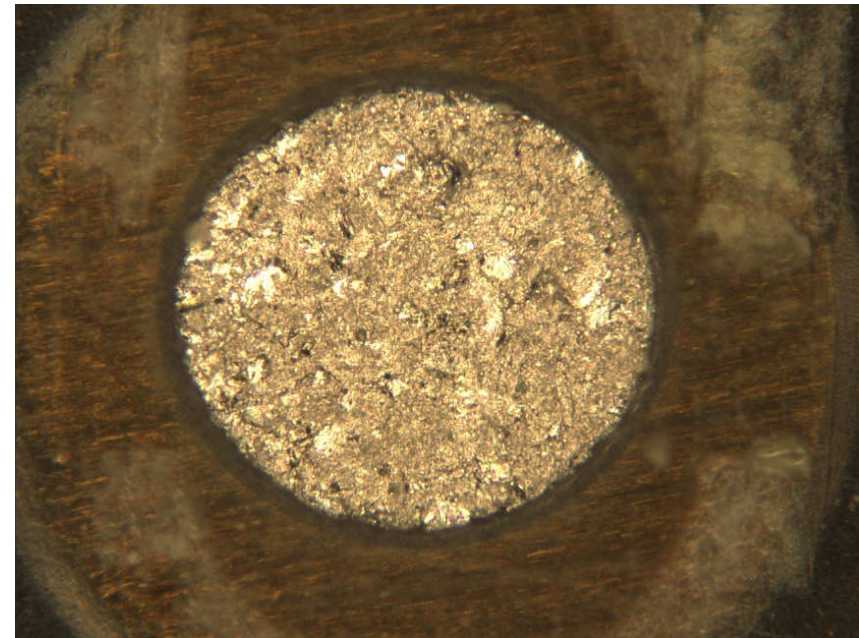
# Åldrad, 500 mm/s



# Brottytor – ENIG/SnPb

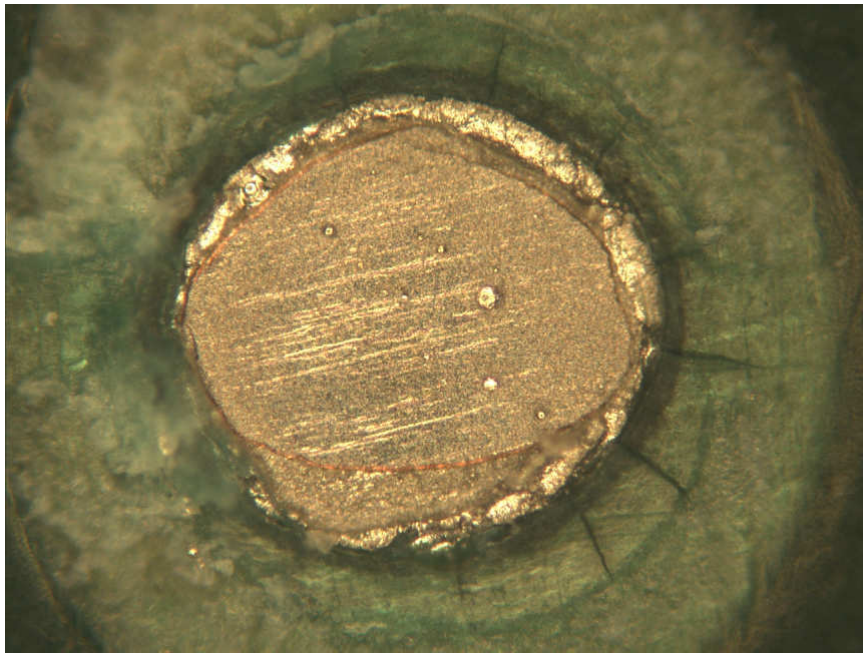


2 dygn

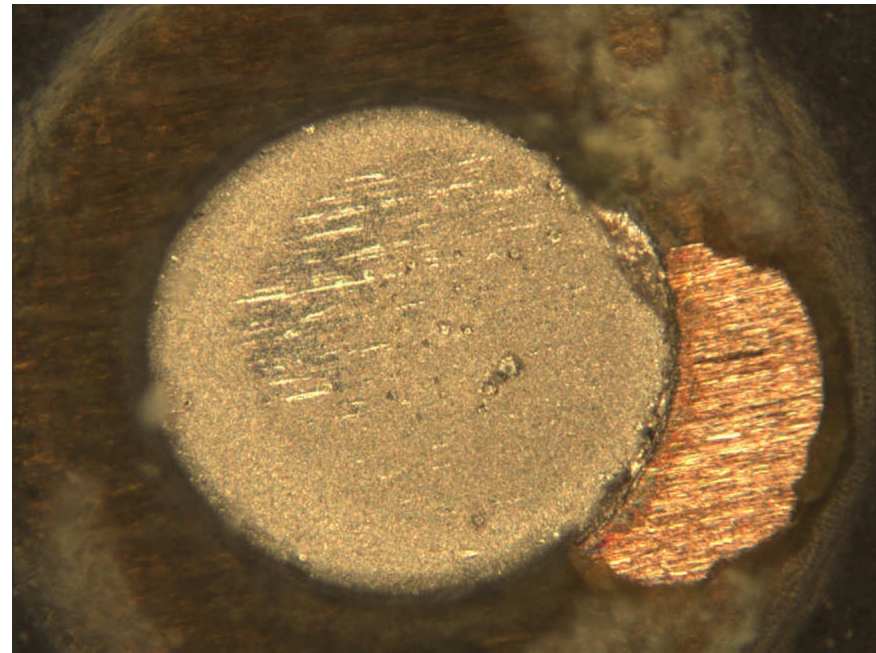


Åldrad

# Brottytor – ENIG/SAC305

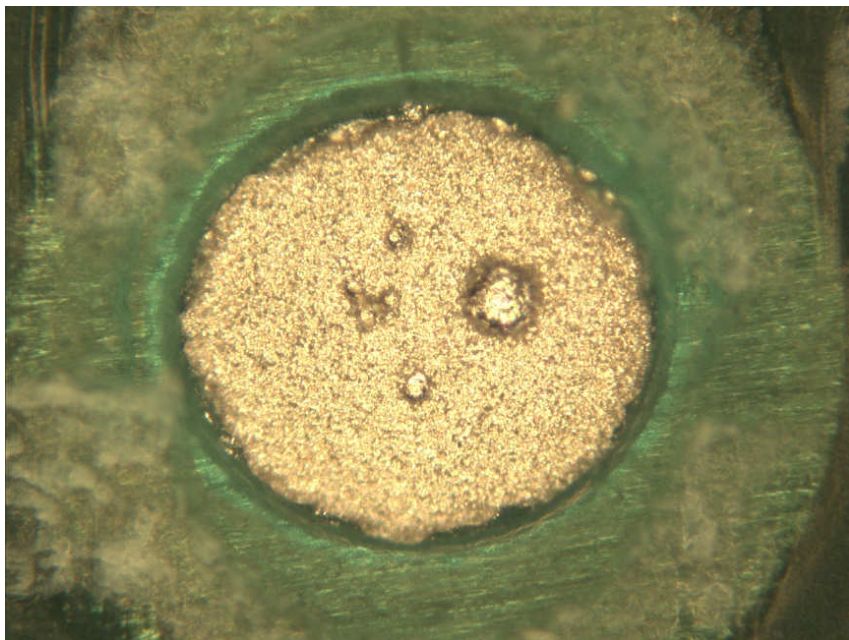


2 dygn



Åldrad

## Brottytor – SnPb/SnPb

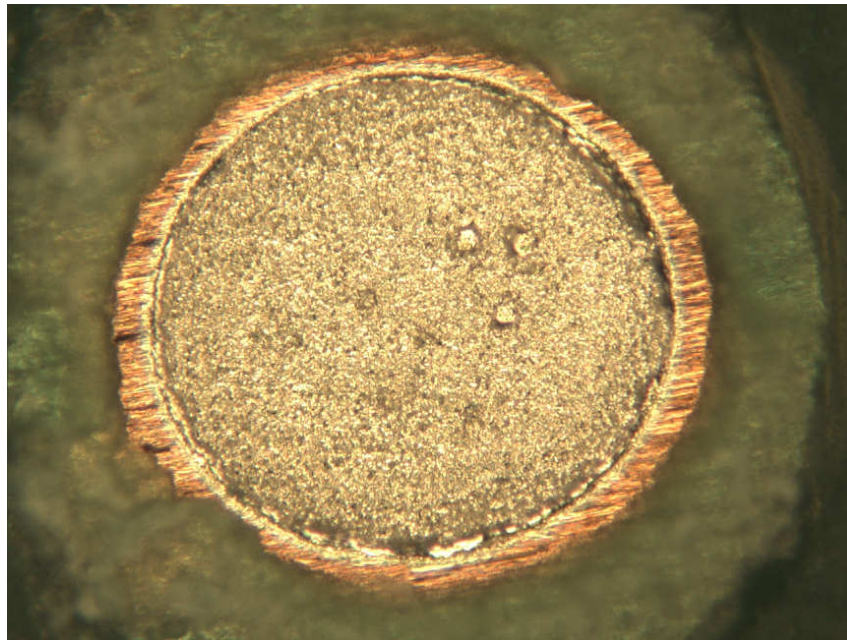


2 dygn

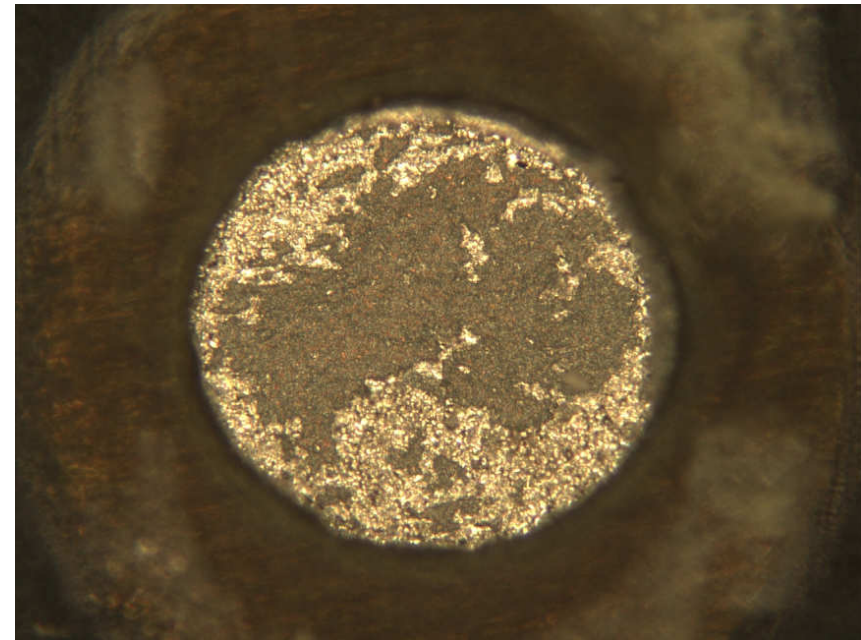


Åldrad

# Brottytor – SnPb/SAC305

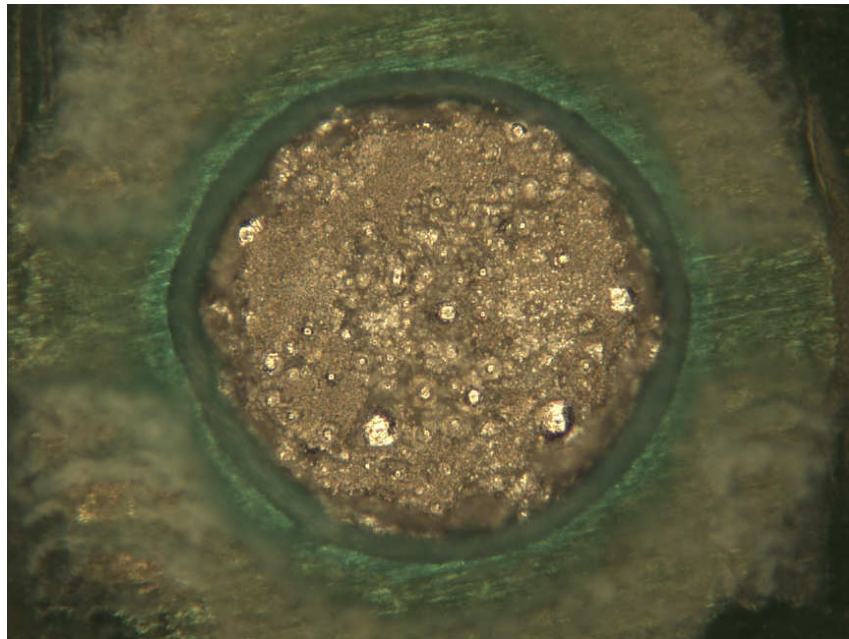


2 dygn

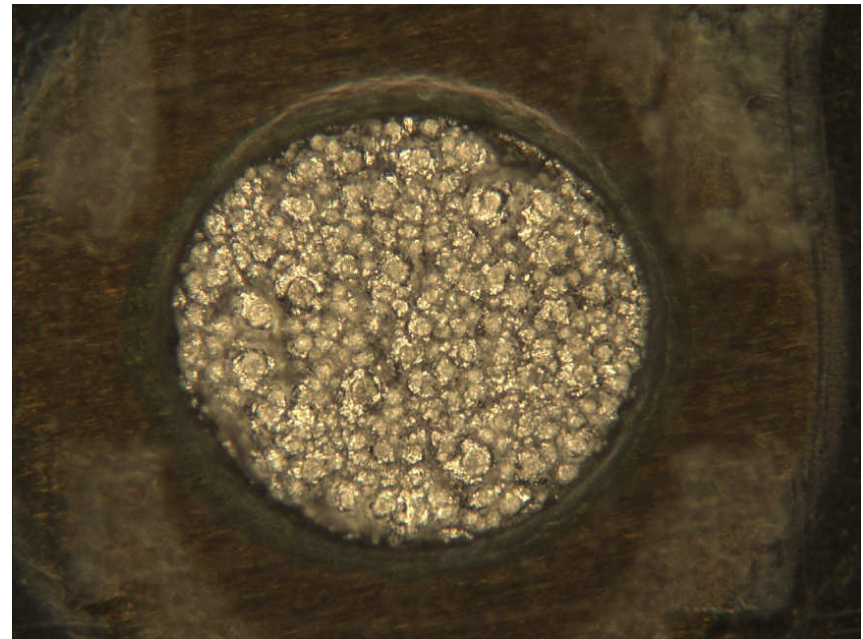


Åldrad

## Brottytor – ASIG/SnPb

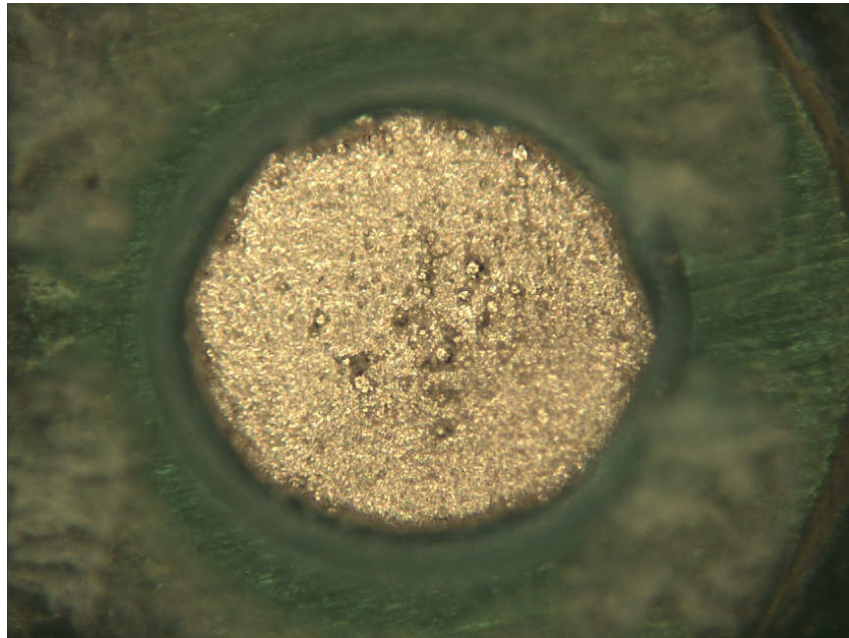


15 dygn

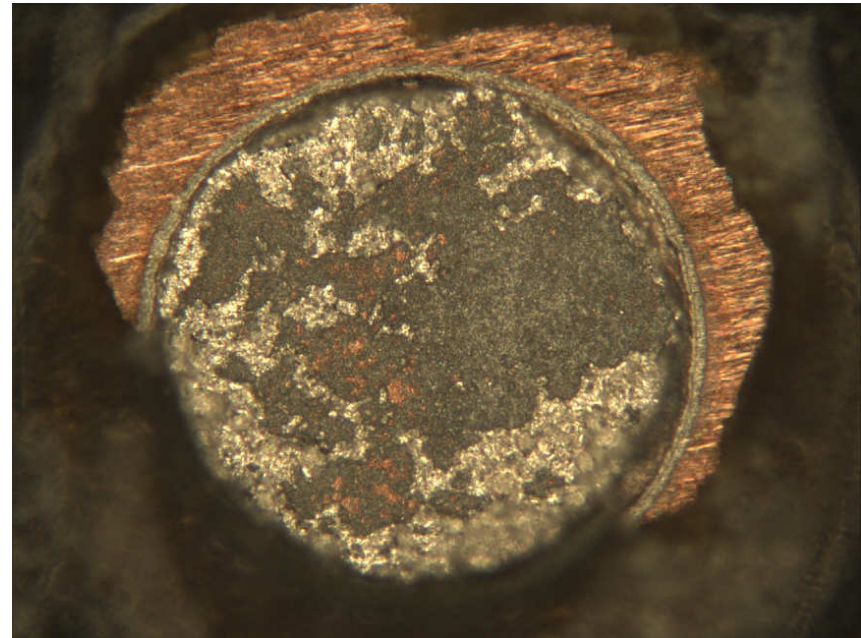


Åldrad

# Brottytor – ASIG/SAC105



15 dygn



Åldrad

# Förslag på fortsättningsprojekt

# Förslag på fortsättningsprojekt

- Testning av olika kombinationer av lod och lödytor med framtaget testkort och KIMABs utrustning för snabb skjuvtestning.
- Metallografianalys av de olika lödfogarna.
- Inverkan av reparation och åldring på risken för sprödbrott med framtaget testkort och KIMABs utrustning.
- Framtagning av testkort med BGA-komponenter för att testa om vibrationstestning kan användas för att utvärdera risken för sprödbrott. Olika kombinationer av lod och lödytor samt inverkan av reparation och åldring utvärderas.