

INNEHÅLL

1. INLEDNING.....	5
2. MIKROSTRUKTURELL UNDERSÖKNING	5
3. PROVPREPARERING.....	5
4. RESULTAT.....	6
4.1. <i>LOM</i>	6
4.2. <i>SEM</i>	9
5. DISKUSSION.....	11

1. Inledning

Vid försök att simulera projektiler som träffar elektriska pansar förs en strömpuls genom metallstavar av volfram i en nickel-järnmatris. Efter försöken tillvaratas stavarna för mikrostrukturell undersökning i ljusoptiskt mikroskop, *LOM*. Dessa undersökningar har visat att sprickor kan uppkomma i mitten av det inre av stavarna. I en del stavar hittades inga sprickor i det inre, däremot hade en del av dem gått av under försöken. Brottytan studerades i dessa fall förutom i *LOM* även med hjälp av ett svepelektronmikroskop, *SEM*. Denna rapport dokumenterar tillvägagångssättet för provprepareringen och mikroskoperingen samt vad man kan se.

2. Mikrostrukturell undersökning

För att få en uppfattning om hur strömmen påverkar mikrostrukturen studerades tvärsnittet av stavarna i ett ljusoptiskt mikroskop, *LOM*, både vinkelrätt strömriktningen och i cirka 45° vinkel mot densamma. I båda fallen dokumenterades en översikt över strukturen. Detta gjordes även för en oanvänd stav för att erhålla en referensstruktur. I de fall där stavarna fragmenterats vid försöken studerades brottytan i ett svepelektronmikroskop, *SEM*, för att om möjligt utröna vilken mekanism som förorsakat brottet. Tvärsnittet av brottytan studerades även detta i *LOM* och en översikt dokumenterades. Detsamma gjordes längs kanten av staven i tvärsnittet för att se om det eventuellt fanns några skillnader i struktur mellan ytterkanten och det inre av staven. Även för de fragmenterade bitarna studerades ett snitt vinkelrätt och ett snitt i 45° vinkel mot strömriktningen.

3. Provpreparering

För undersökning i *LOM* krävs att proverna prepareras så att de blir plana och släta, samt att de etsas för kontrast. Stavarna består av volframkorn i en nickel-järnmatris vilket innebär att man har stora skillnader i hårdhet över ytan man preparerar, volfram är mycket hårt i jämförelse med nickel och järn. Detta gör det svårt att få fram ”perfekta”, repfria ytor eftersom rester av de hårdare partiklarna kan fastna i dukarna och påverka resultatet vid slipning och polering. Den metod som användes vid denna undersökning ger dock tillfredställande ytor hos de preparerade proverna. Tillvägagångssättet var som följer.

Stavarna kapades med en kiselkarbidskiva i en manuell kapmaskin, *Struers Discotom-5*, tvättades i ultraljudstvätt, *Branson 5210*, och bakades in i plast, *Buehlers Epomet*, med en ingjutningspress, *Struers Prontopress-2*. De inbakade proverna slipades och polerades, med *Struers RotoPol-35*, enligt följande:

Planslipning på kiselkarbidpapper, grovlek P180, med vattenkylning i 1 minut.

Planslipning på kiselkarbidpapper, grovlek P320, med vattenkylning i 2 minuter.

Planslipning på kiselkarbidpapper, grovlek P1000, med vattenkylning i 3 minuter.

Finslipning på *MD-Plan* duk med 9 µm *DP-Suspension* och Lubrikant Blå i 3 minuter.

Polering på *MD-Plus* duk med 3 µm *DP-Suspension* och *Lubrikant Blå* i 4 minuter.

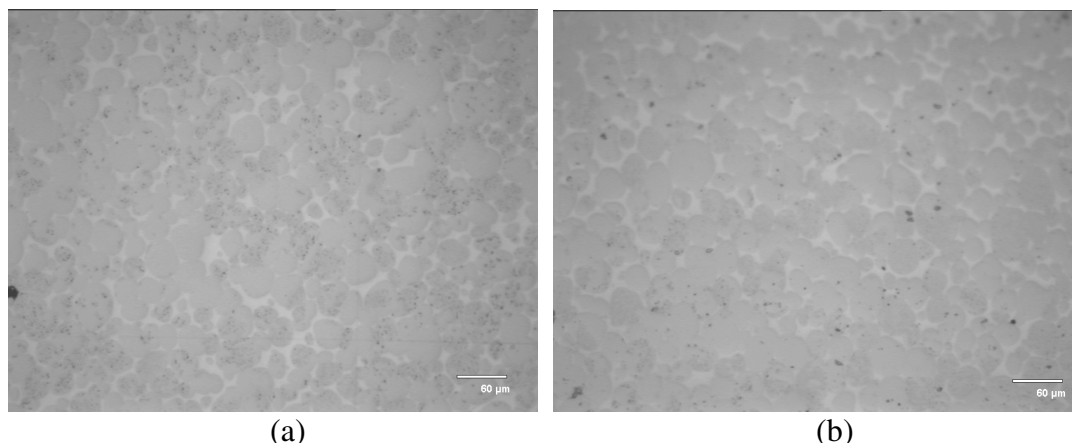
De inbakade proverna tvättades i ultraljudstvätten mellan varje steg, samt efter avslutad polering. Därefter etsades proverna medelst svabbning i 2%-ig *Nital* (2 % Salpetersyra i Etanol) i tre minuter i rumstemperatur vilket ger tillräcklig kontrast mellan matris och volframkorn för att erhålla tydliga bilder i *LOM*.

För undersökning i *SEM* krävs endast att proverna är elektriskt ledande och rena varför de tvättades med Etanol i ultraljudstvätten.

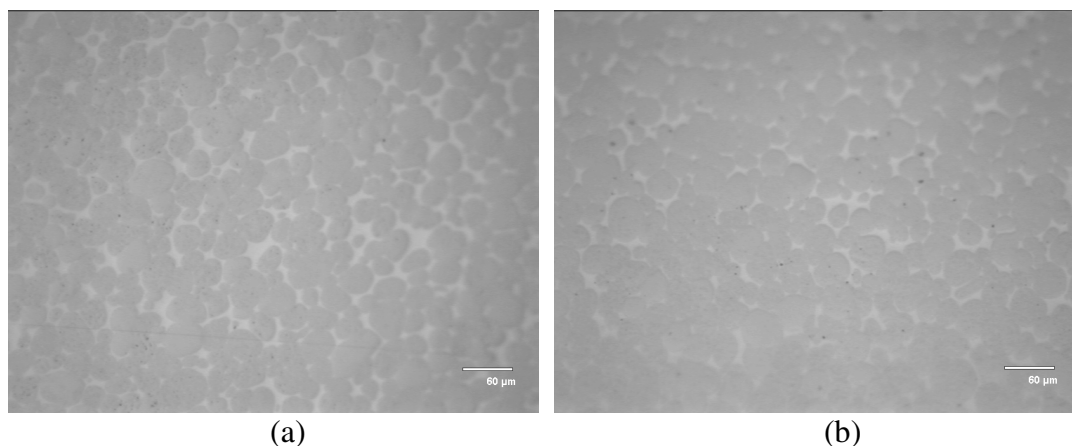
4. Resultat

4.1. LOM

Undersökningen i ljusoptiskt mikroskop genomfördes för att utröna hur strukturen ser ut efter försöken. För att få en referens undersöktes även en oanvänd stav, illustrerad i figur 1 och 2 nedan där volframkornen är de mörka områdena och nickel-järnmatriisen syns ljus. Undersökningen i *LOM* av tvärsnittet av den oanvända staven visar att ingen markant skillnad i mikrostruktur föreligger i olika riktningar. Inte heller upptäcktes någon skillnad mellan stavens ytterkant och dess mitt.



Figur 1. Bild på mitten av en oanvänd stav. Skallstrecket i respektive bild anger 60 µm. (a) Vinkelrätt ”strömriktningen” och (b) i 45° vinkel mot ”strömriktningen”.



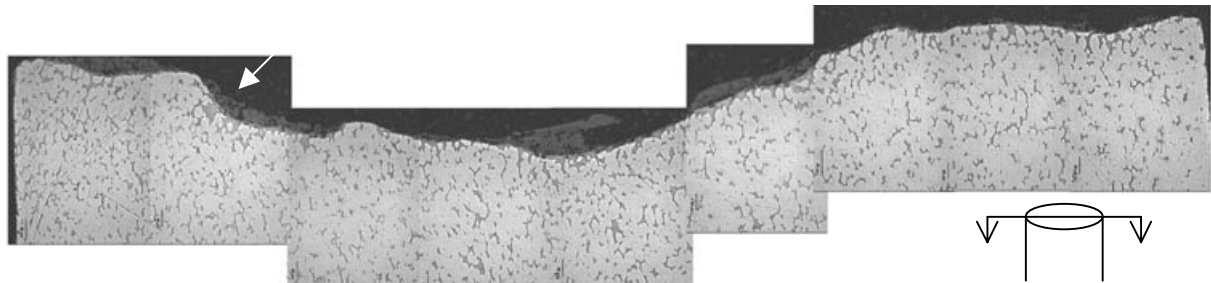
Figur 2. Bild på kanten av en oanvänd stav. Skallstrecket i respektive bild anger 60 µm. (a) Vinkelrätt ”strömriktningen” och (b) i 45° vinkel mot ”strömriktningen”.

I tabell 1 nedan listas de undersökta stavar tillsammans med information om uppmätt ström och diameter samt om staven uppvisat sprickor eller fragmenterats vid försöket.

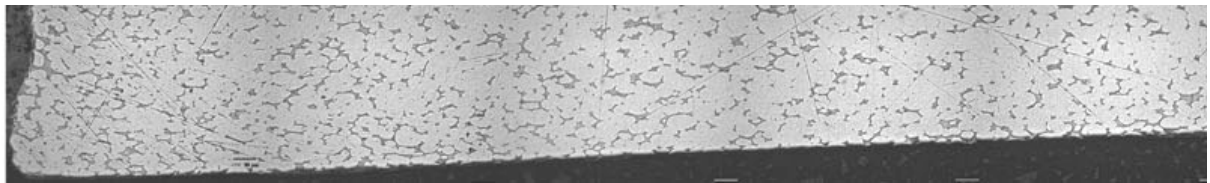
Tabell 1. Lista över undersökta stavar, uppmätt ström och vilken effekt strömgenomförelsen haft på staven.

Stav nr.	Uppmätt ström [kA]	Diameter [mm]	Effekt på staven
1	75	5	Uppvisar sprickor
2	90	5	Uppvisar sprickor
3	103	5	Fragmenterats

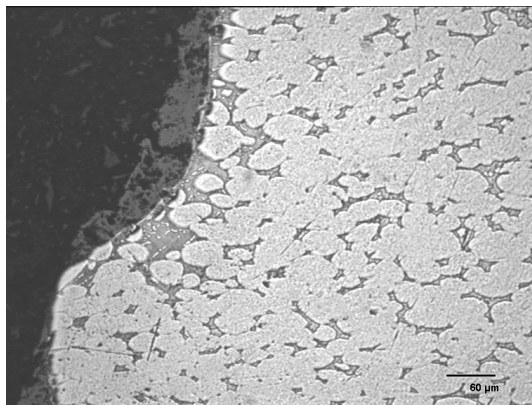
I figur 3 visas en översikt över tvärsnittet av brottytan hos stav 3 som gått av under försöket. Man kan med lite god vilja skönja en skillnad i strukturen vid brottytan jämfört med kanten av staven, se figur 4. Mer av den mörka matrisen syns mellan de ljusa volframkornen i brottytan, se närbild i figur 5.



Figur 3. Bild över tvärsnittet av brottytan, stav 3. En viss ökning i mängd matris kan ses i brottytan jämfört med det inre av staven.

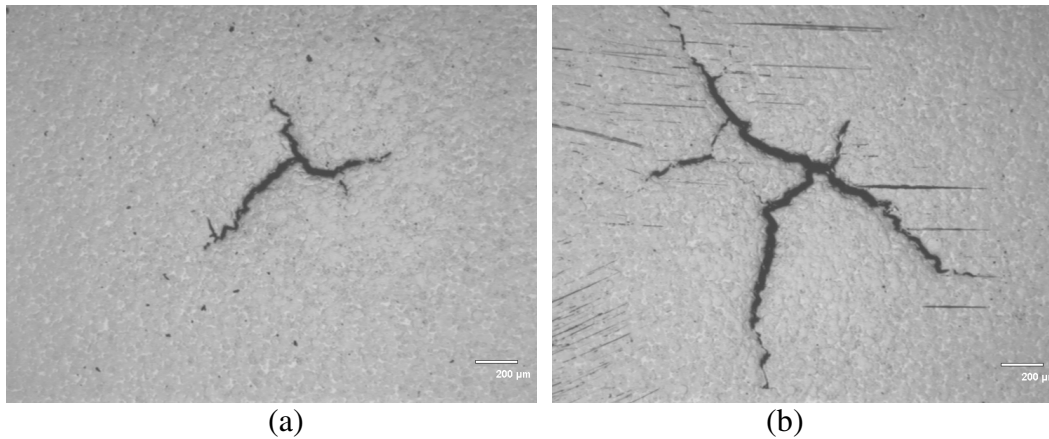


Figur 4. Bild över hur stavens kant ser ut i tvärsnittet, stav 3.

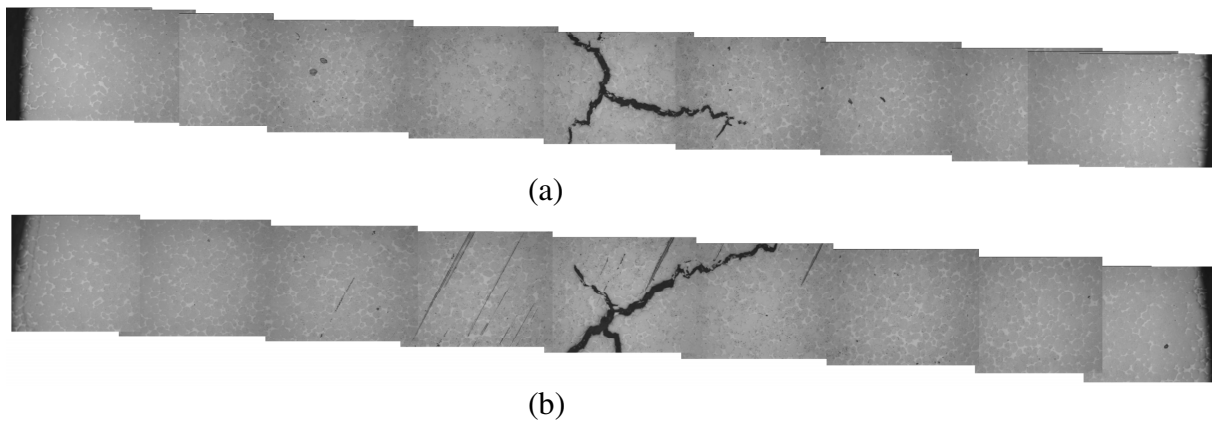


Figur 5. Bild av en del av brottytans tvärsnitt, stav 3, (vid pilen i figur 3 roterat 90° moturs). Skallstrecket på bilden anger 60 μm .

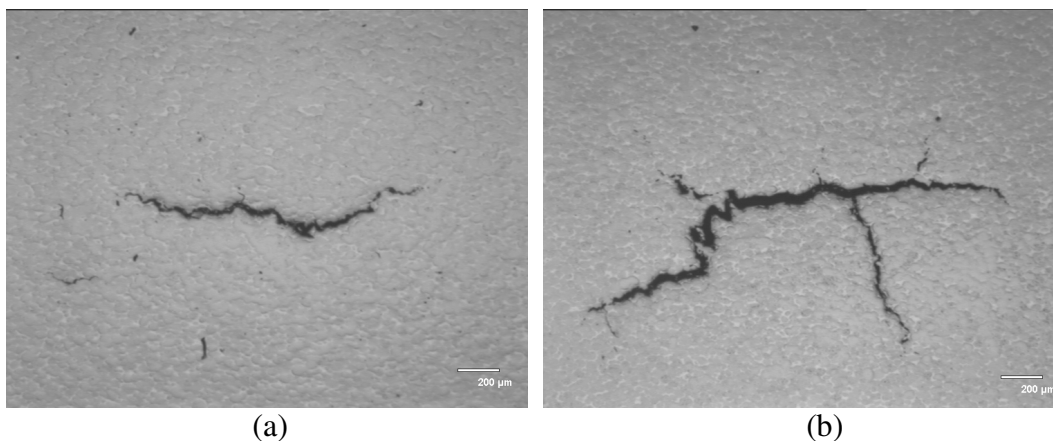
I figur 6 - 10 visas strukturen för stav 1 och 2 vinkelrätt respektive i 45° vinkel mot strömriktningen. Dessa är stavar som inte gått av, men där sprickor uppkommit i mitten. I dessa bilder syns återigen matrisen ljus och volframkornen mörkare. Dels visas en helhetsbild över sprickorna, figur 6 och 8, dels visas en översikt över en del av tvärsnittet på respektive stav, figur 7 och 9. En närbild av sprickorna visar att sprickorna tycks ha propagerat dels i matrisen och dels rakt igenom volframkornen, se figur 10.



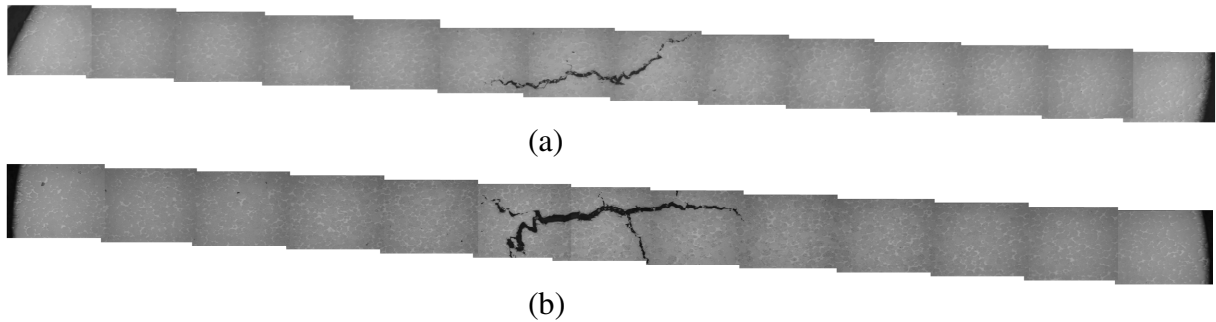
Figur 6. Bild över tvärsnittet vinkelrätt mot strömriktningen i mitten av staven i låg förstoring. Skallstrecket i respektive bild anger 200 µm. (a) Stav 1 och (b) stav 2.



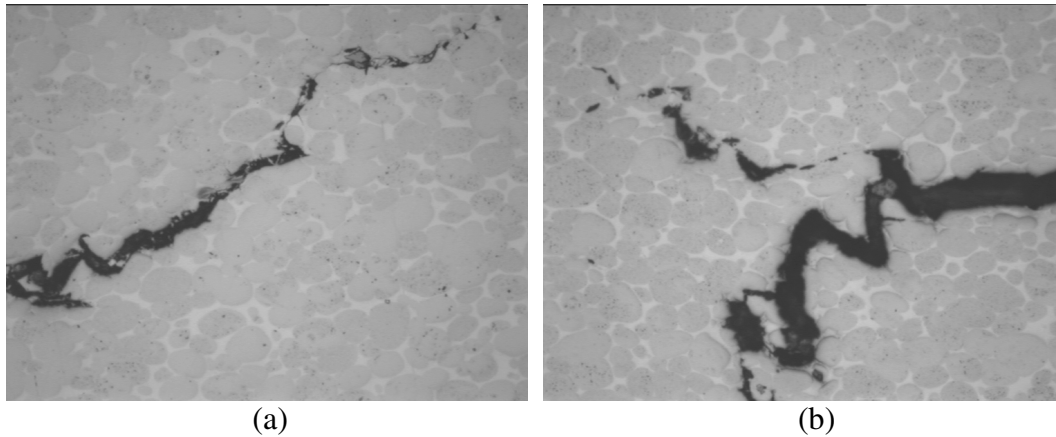
Figur 7. En översiktsbild över ett tvärsnitt av en stav kapad vinkelrätt mot strömriktningen. (a) Stav 1 och (b) stav 2.



Figur 8. Bild över tvärsnittet i 45° mot strömriktningen i mitten av staven i låg förstoring. Skallstrecket i respektive bild anger 200 µm. (a) Stav 1 och (b) stav 2.



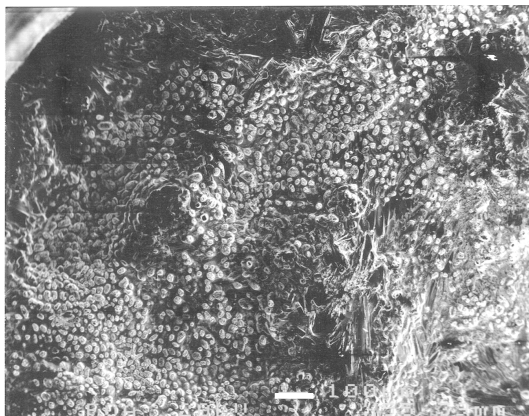
Figur 9. En översiktsbild över ett tvärsnitt av en stav kapad i 45° mot strömriktningen. (a) Stav 1 och (b) stav 2.



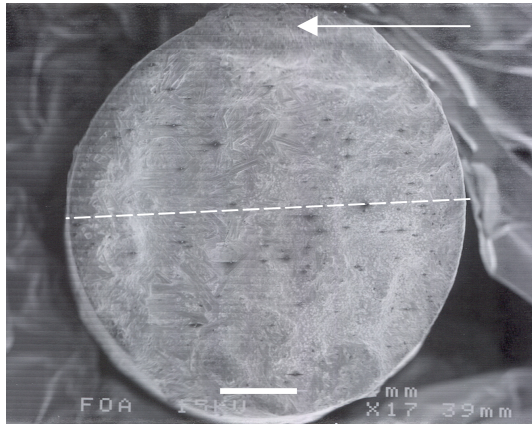
Figur 10. Närbild av sprickan som uppstått i mitten av staven kapad i 45° mot strömriktningen. Sprickan förefaller ha propagerat både mellan (i matrisen) och genom volframkornen. (a) Stav 1 och (b) stav 2.

4.2. SEM

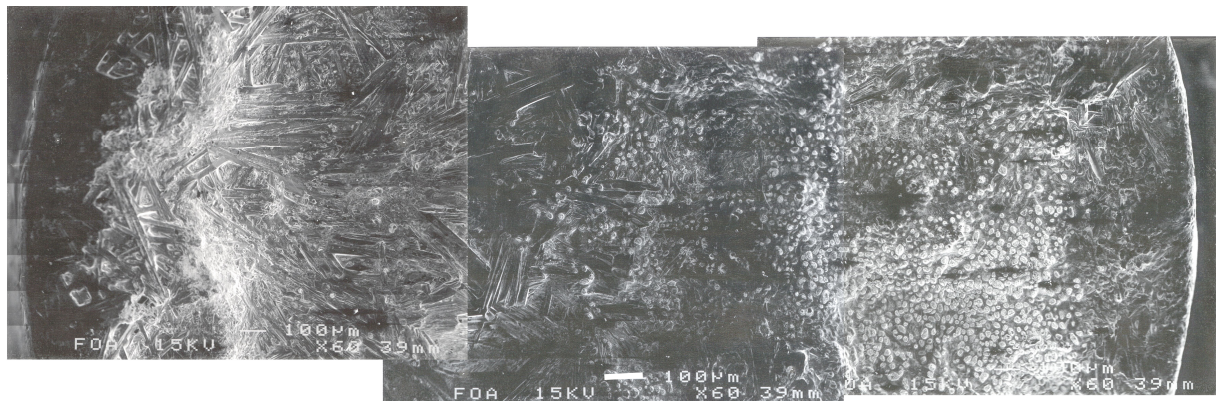
Undersökningen i *SEM* visar att brottytan hos de stavar som gått av vid försök inte har en entydig struktur. Vissa delar påminner om smälta metallklumpar medan andra visar drag som liknar sprödbrott, se figur 11. En översiktsbild av hela brottytan visas i figur 12 och en närbild i figur 13 (längs den streckade linjen i figur 12). I figur 14 visas en närbild av en del av kanten av stavens brottyta (vid pilen i figur 12). Som en jämförelse visas i figur 15 en *SEM*-bild av brottytan hos en dragprovad stav där det tydligt framgår att volframkornen troligen genomgått sprödbrott medan nickel-järnmatrisen uppvisar ett segare beteende.



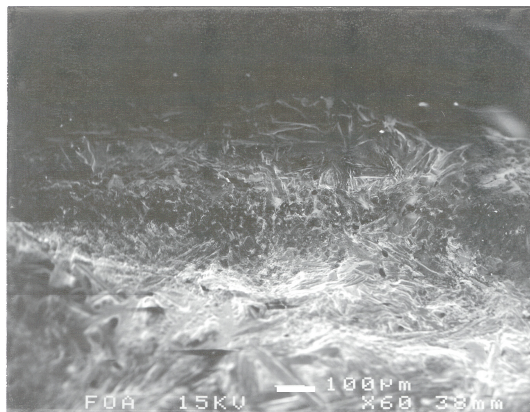
Figur 11. *SEM*-bild i låg förstoring av brottytan vid kanten av ett fragment från stav 3. Man ser tydligt att brottytan inte uppvisar en entydig struktur. Skallstrecket i bilden anger 100 μm .



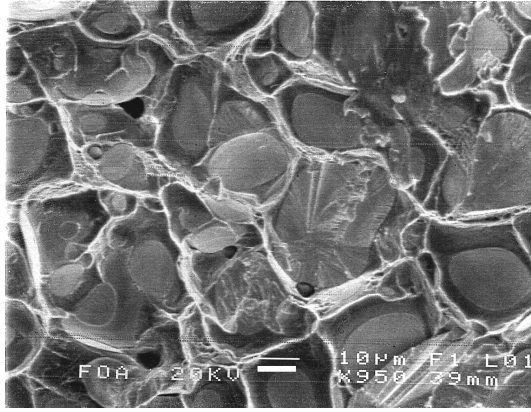
Figur 12. Översikt över brottytan fotograferad i SEM, fragment från stav 3. Skalstrecket i bilden anger 1 mm.



Figur 13. Översiktlig SEM-bild av en del av brottytan (närbild vid den streckade linjen i figur 12), fragment från stav 3. Skalstrecket i bilden anger 100 µm.



Figur 14. SEM-bild av brottytan vid kanten (närbild vid pilen i figur 12), fragment från stav 3. Skalstrecket i bilden anger 100 µm.



Figur 15. SEM-bild av en dragprovad stav. Volframkornen verkar ha genomgått sprödbrott medan nickel-järnmatrisen uppvisar ett segare beteende. Skalstreck i bilden anger 10 µm.

5. Diskussion

Denna rapport syftar främst till att ge en bild av hur man preparerar WNiFe-prover för en mikrostrukturell undersökning, samt att visa vad man kan se. Mer underlag i form av testade stavar krävs för att få en fylligare bild av vad som egentligen händer när en stark ström går genom stavar. De mikrostrukturella undersökningarna har visat att sprickor kan uppkomma i mitten av stavarnas inre. Då strömmen kan antas passera främst genom stavarnas ytskikt erhålls där en uppvärmning och expansion som skulle kunna förklara centrumsprickorna genom successiv mekanisk vågreflektion. Vissa stavar uppvisade inga sprickor utan hade gått av vinkelrätt strömriktningen under försöken. En teori om varför stavar fragmenterats på detta sätt skulle kunna vara att strömpulsen genererar en tryckvåg i staven som när den når änden blir en dragvåg. Möjligen orsakas brotten därför av en kombination av lokal temporär radiell och axiell termisk utvidgning och därav orsakad mekanisk vågreflektion. Fortsatta försök pågår och resultaten från dessa förväntas ge en klarare bild av förloppet. Dessa resultat kommer inom kort att presenteras i en sammanfattningsrapport om hur den undersökta typen av elektromagnetiska pansar fungerar.