



Riksantikvarieämbetet
Avdelningen för arkeologiska undersökningar

UV UPPSALA RAPPORT 2008:22

GEOARKEOLOGISK UNDERSÖKNING

Ringar från en ringväv

Metallografisk och kemisk analys

Gotland, Tofta socken, Tofta kyrka

Lena Grandin



UV UPPSALA RAPPORT 2008:22
GEOARKEOLOGISK UNDERSÖKNING

Ringar från en ringväv

Metallografisk och kemisk analys
Gotland, Tofta socken, Tofta kyrka

Lena Grandin



Riksantikvarieämbetet
Avdelningen för arkeologiska undersökningar



Riksantikvarieämbetet

Avdelningen för arkeologiska undersökningar

UV Uppsala

Portalgatan 2A

754 23 Uppsala

Växel: 010-480 80 30

Fax: 010-480 80 47

e-post: uvupsala@raa.se

e-post: fornamn.efternamn@raa.se

www.arkeologiuv.se

Foto på framsidan av ringbrynjehuvan från Tofta socken, Gotland. Foto Gabriel Hildebrand:

© 2008 Riksantikvarieämbetet

UV Uppsala Rapport 2008:22

ISSN 1654-7950

Utskrift Uppsala, 2008

Innehåll

Sammanfattning	6
Abstract	6
Inledning.....	7
Bakgrund.....	7
Metod	8
Provurval och provtagning	8
Metallografiska analyser	8
Elektronmikrosondanalyser.....	9
Resultat.....	9
Hel, lös ring.....	9
Beskrivning och provtagning	9
Metallografiska analyser	11
Elektronmikrosondanalyser.....	13
Ring 1, nitad ring.....	14
Beskrivning och provtagning	14
Metallografiska analyser	14
Elektronmikrosondanalyser.....	17
Ring 2, hel ring.....	17
Beskrivning och provtagning	17
Metallografiska analyser	17
Elektronmikrosondanalyser.....	18
Sammanfattning och utvärdering	20
Tabeller	22
Referenser	24
Administrativa uppgifter.....	25

Sammanfattning

En ovanligt välbevarad ringbrynjehuva, daterad till 1200-talet, påträffades i april 2004 i Tofta kyrka på Gotland. Den är uppbyggd av alternerade skikt av två olika slag; vartannat varv utgörs av hela ringar, och vartannat av nitade ringar. Geoarkeologiskt Laboratorium (GAL), vid UV Uppsala, RAÄ, har på uppdrag av Acta KonserveringsCentrum, analyserat dessa ringtyper metallografiskt och kemiskt för att se på vilket sätt de är tillverkade och vilken kemisk sammansättning de har.

Resultaten visar att de två hela ringar som har undersökts är tillverkade av ett fosforhaltigt järn där ringarna troligen har stansats ur en plåt. Den nitade ringen som har analyserats visar inga entydiga tecken på att vara tillverkad genom stansning eller dragen från en tråd även om det senare är troligt. Denna ring avviker i fråga om sammansättning eftersom den saknar fosfor, ett ämne som dock förekommer i den använda niten.

Abstract

A mail coif, dated to the 13th century was found in Tofta church, Gotland in 2004. It is constructed by alternating bands of solid rings and riveted rings. On commission by Acta KonserveringsCentrum, the Geoarchaeological Laboratory, UV Uppsala, National Heritage Board, has analysed the two types of rings to find out how each ring type was constructed and their chemical compositions.

The results of metallographic analyses of two solid rings in longitudinal and cross-section show that these rings were made of a phosphoric ferritic iron and was punched from a thin iron plate. The riveted ring that was studied by the same method reveals no clear evidence of either a punch iron plate or a drawn wire, but the latter is more probable. This riveted ring lack phosphorus, but the rivet, that has penetrated and deformed the ring ends, contains phosphorus in similar amount as the two other rings. All three rings are homogeneous in composition and almost free from slag inclusions.

Inledning

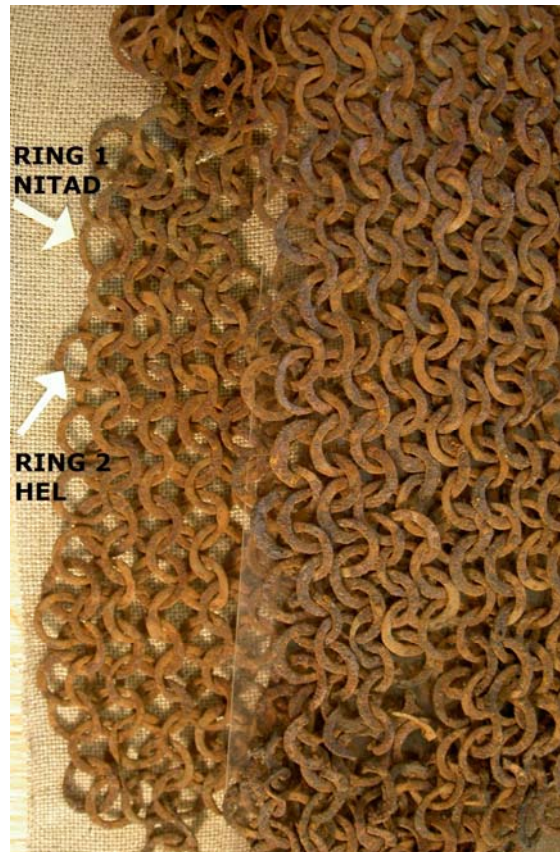
En ovanligt välbevarad ringbrynjuhuv, daterad till 1200-talet, påträffades i april 2004 i tornrummet på Tofta kyrka på Gotland. Den är uppbyggd av alternerade skikt av två olika slag; vartannat varv utgörs av hela ringar, och vartannat av nitade ringar. Geoarkeologiskt Laboratorium (GAL), vid UV Uppsala, RAÄ, har fått förfrågan från Karin Lindahl vid Acta KonserveringsCentrum, att analysera dessa ringtyper metallografiskt och kemiskt för att se på vilket sätt de är tillverkade och vilken kemisk sammansättning de har.

Bakgrund

Enskilda ringar i en ringbrynja, eller ringväv, kan vara tillverkade på olika sätt. Dessutom kan det finnas en mängd varianter för hur man sätter samman dem till en väv. Vi kommer i detta sammanhang inte att utveckla detta i större omfattning. Det har behandlats av flera författare och för en grundläggande information hänvisas till Nicklasson (1989) och Fredman (1992) samt Ehlton (2003) och Vike (2000). De två senare har också gjort metallografiska analyser av ringar. Som jämförelse kan vi också nämna de undersökningar som gjorts av några ringar från en ringväv från Coppergate (Lang m.fl. 1992). I vår undersökning är det grundläggande att ta reda på hur ringarna är tillverkade och därför beskriver vi några möjliga sätt. De hela ringarna kan vara stansade ur plåt eller sammanvållade av dragen tråd. De nitade ringarna är hopnitade när väven sattes samman och kan vara dragen tråd som genomslås av en nit, en detalj som också kan lösas på lite olika sätt.

För att kunna spåra dessa tillverkningsstekniker är det lämpligt att undersöka ringarna i några olika riktningar. Ett viktigt hjälpmedel för bearbetningstekniker är förekomst och utbredning av slagginneslutningar. Dessa förekommer nästan alltid i järn. De formas vid smidet, t.ex. när en järntråd dras ut, så dras också slagginneslutningarna ut till långa tunna stråk. Det innebär att i tvärsnitt kommer inneslutningarna att se runda ut men i planslip är de långsträckta, dvs. vi har en linjär struktur. Om vi har att göra med tunna järnplåtar har dessa skapat en plan struktur av inneslutningar i metallen och om vi betraktar dessa i snitt kan man se långsmala stråk. Denna struktur ses i två riktningar, men om vi tittar i rät vinkel mot detta, dvs. i plan, kan vi hamna mitt i ett slagstråk eller mitt i metallen mellan slagstråken.

Metallens struktur kan också vara användbar för att se bearbetning. Järnets korn kan deformeras under bearbetning och kornstorlekar och kornorienteringar kan avslöja typ av bearbetning. Om ringväven har påverkats av höga temperaturer efter tillverkning, eller efter användning, kan dessa texturer dock ha suddats ut och metallen kommer då att se homogen ut.



Figur 1. De analyserade ringarna från ringbrynjuhuvan togs bort från huvans baksida, längs kanten på höger sida. Provtagningen gjordes med roterande diamanttrissa. Foto Acta KonserveringsCentrum.

Metod

Provurval och provtagning

Ringbrynjan är behandlad av konservatorer på Acta KonserveringsCentrum vilka fått tillstånd från Länsstyrelsen på Gotland att ta loss två ringar, en av vardera typ, för analys (Fig. 1). En hel (ring 2) och en nitad ring (ring 1) från dokumenterad plats på väven är utvalda. Från var och en av dessa har ett prov tagits av uppdragsgivaren som kapat ringarna under vattenkylning. GAL har delat dessa prover ytterligare för att få ett tvärsnitt genom ringen och ett planslip genom den återstående delen. I tillägg till dessa båda valdes i samråd mellan GAL och Acta KonserveringsCentrum ytterligare en hel, lös ring från väven (som redan lossnat) för att kunna analysera hela denna i planslip.

Såväl tvärsnitten som de plana proven har gjutits in i plast. Dessa polerprover slipades och polerades för undersökning i mikroskop för de metallografiska analyserna. Samma prover användes också för de kvantitativa kemiska analyserna med elektronmikroskop.

Metallografiska analyser

Metallografiska undersökningar utfördes på ringarnas metalliska järn i påfallande ljus för att bedöma järn kvaliteten. Dessutom är det möjligt att se förekomst och fördelning av slagginneslutningar och vad dessa innehåller. Slagginneslutningar är också bra indikatorer på hur materialet

har bearbetats av smeden. I mikroskopet kan olika texturer, beroende på kemisk sammansättning och grad av bearbetning utläsas. Proverna etsades med 2 % nitallösning. Metoden är användbar för att bedöma kolhalten i materialet, t.ex. om det är ett mjukt järn eller kolstål. Metoden kan också avslöja ett fosforinnehåll, vilket påverkar materialets hårdhets- och seghetsegenskaper. Några termer som används i detaljbeskrivningarna i resultatkapitlet är *ferrit* som är mjukt järn utan kolinnehåll, *cementit* som är en förening av järn och kol (Fe_3C), och *perlit* som är en struktur uppbyggd av omväxlande ferrit och cementit. Generellt medför alltså en större mängd perlit en högre kolhalt och ett hårdare material. Undersökningen genomfördes i ett Zeiss Axioskop 40A polarisationsmikroskop utrustad med en digitalkamera.

Elektronmikrosondanalyser

Olika typer av kemiska analyser kan göras på slagg- och metallmaterial. Elektronmikrosondsanalyser är lämpliga för såväl den metalliska fasen som slagginneslutningar. Vid *mikrosondsanalyser* kan varje fas, dvs. slagginneslutningarnas och metallernas beståndsdelar analyseras kvantitativt. Bland metallerna kan innehållet av olika ämnen t.ex. fosfor kvantifieras (fosfor är fördelaktigt för metallens seghet och kan därmed vara ett medvetet val). Kolinnehållet kan inte analyseras med det använda analysinstrumentet men kolhalten framträder tydligt i samband med den metallografiska analysen. Andra ämnen kan vara viktiga "fingeravtryck" i de fall man i framtiden vill försöka spåra metallernas råvaruursprung. Mikrosondsanalyser utfördes på samma polerprov som först studerats metallografiskt. Analyserna genomfördes på instrumentet CAMECA SX-100 vid Institutionen för Geovetenskaper vid Uppsala universitet.

Resultat

Hel, lös ring

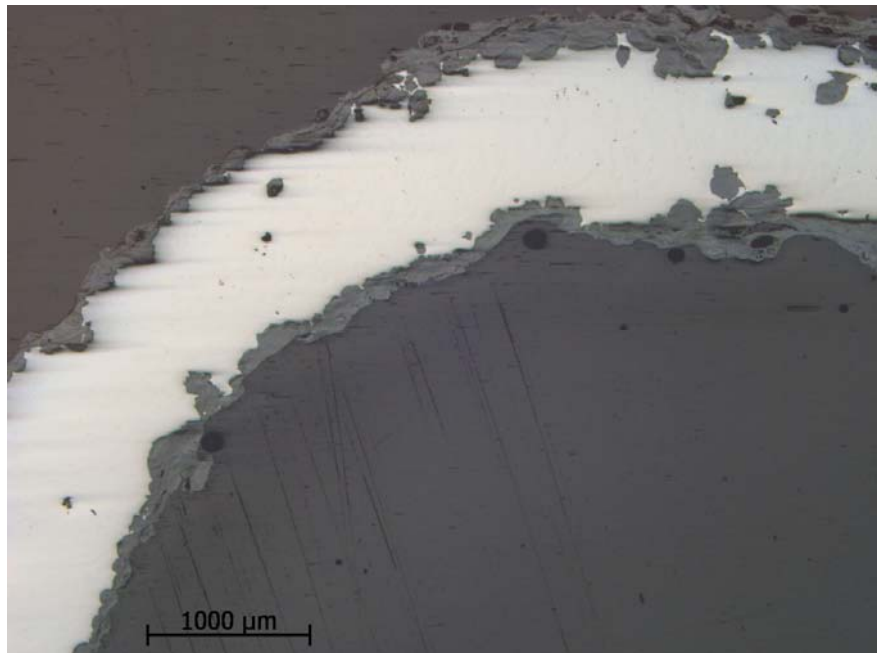
Beskrivning och provtagning

Den hela lösa ringen vägde vid provtagning 0,24 g. Den har något varierande tjocklek, troligen delvis på grund av olika mycket korrosion. Ringen (Fig. 2) är inte helt symmetriskt cirkelformad; dess ytterdiameter varierar mellan 11,2 och 11,8 mm och dess innerdiameter mellan 8,5 och 9,4 mm. Ringens trådbredd varierar från 0,8 till 1,4 mm, men är vanligen ca 1,1 mm. Dess tjocklek är som mest 1,2 mm, men betydligt tunnare delar på 0,6–0,8 mm förekommer. När man betraktar ringen på högkant ser den homogen ut och inga skarvar som tecken på någon form av hopvällning kan ses. Det är inte möjligt att entydigt avgöra formen på dess tvärsnitt men den förefaller vara rektangulär med rundade hörn, eller möjligen oval. Hela ringen är plant placerad i gjutformen. Vid slipning och polering har ringens centrala delar slipats fram för analyser.

Efter metallografiska och kemiska analyser av planslipet delades provet och två tvärsnittsytor slipades och polerades.



Figur 2. Hel lös ring. Linjen är 1 cm. Hela ringen är undersökt i planslip.



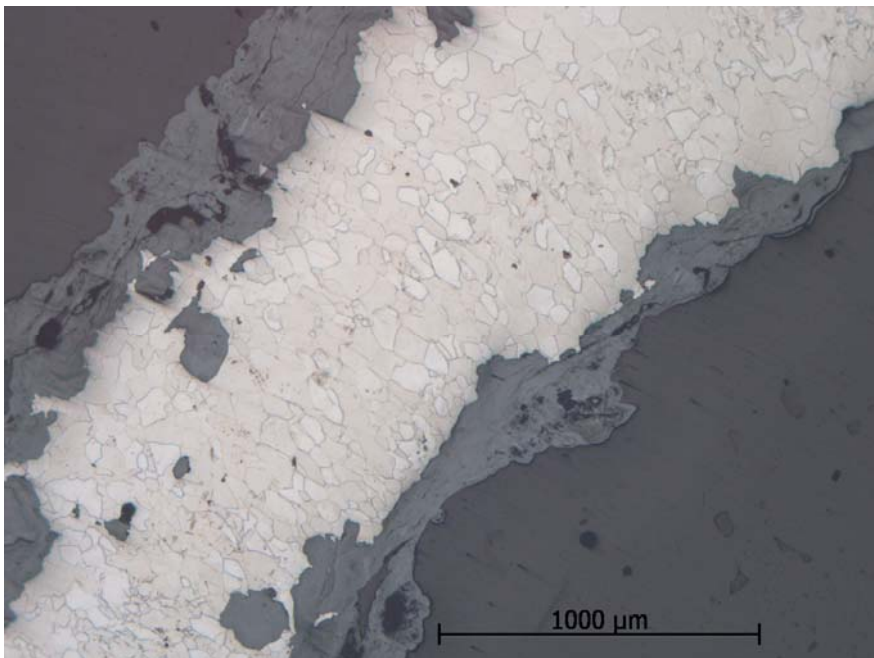
Figur 3. Hel lös ring. Foto från mikroskopet på polerad yta. Metallen är ljus. Korroderade ytor är grå. Ingen slagginneslutning är synlig. Den yttre grå delen är området utanför ringen.

Metallografiska analyser

Undersökningen omfattar huvudsakligen ringen i *planslip*. Det innebär att hela ringen framträder i snittytan, nära ringens centrala delar. Metalliskt järn finns bevarat i nästan hela ringen. Endast i en liten del där ringen är som smalast är allt korroderat. För övrigt är metallen korroderad i ytterkanten och fläckvis finns några mer centralt placerade korroderade ytor (Fig. 3). Bredden på det bevarade metalliska järnet varierar mellan ca 1 och 2 mm.

I mikroskop framträder ett homogent material på den oetsade polerade ytan. Inga slagginneslutningar kan observeras (Fig. 3), vilket är mycket anmärkningsvärt. Smidda, speciellt förhistoriska eller medeltida, järnföremål innehåller nästan alltid inneslutningar av slagg i större eller mindre omfattning. Dessa följer vanligen olika band som tydligt indikerar hur järnet har blivit bearbetat. I denna ring saknas denna information. Avsaknaden av inneslutningar visar istället en ren produkt.

Vid etsning av provet framträder en kornig textur som domineras av ferrit. Denna har mestadels ingen tydlig kornorientering (Fig. 4). Lokalt finns en svag kornorientering som är vinkelrät mot kanterna (Fig. 5). Längs kornkontaktarna finns nästan genomgående tunna cementitbildningar. Lokalt kan en diffus överpräglande dendritisk textur anas som är karaktäristisk för ett fosforinnehåll. Ingen tydlig bandning eller vällsömmar kan observeras. Kornstorleken hos ferriten varierar något men denna variation följer inga mönster, mer än att kornen vanligen är finkornigare centralt än perifert, men de centrala delarna är inte alltid finkornigare än de yttre.



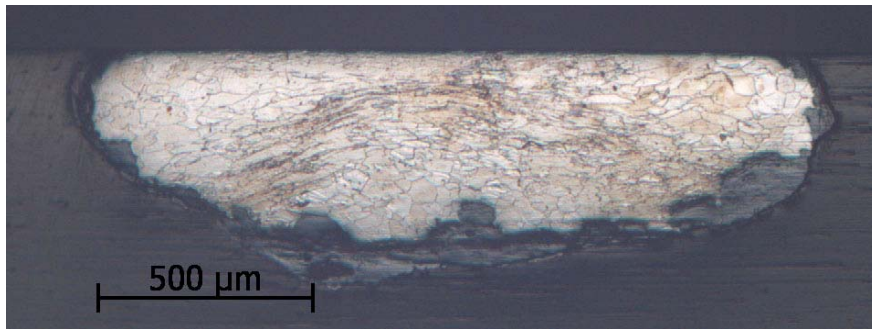
Figur 4. Hel lös ring. Etsat polerat prov. Efter etsning framträder ett mönster med ferritkorn, här tämligen jämna i storlek och form.



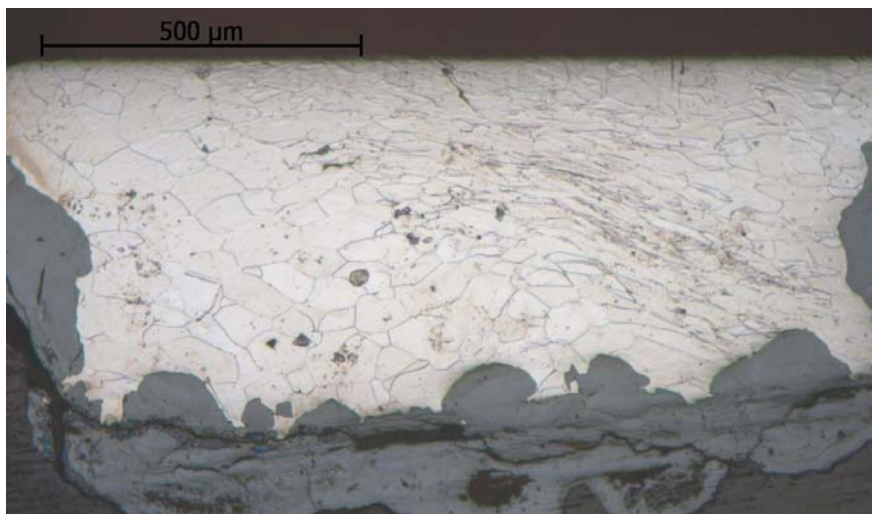
Figur 5. Hel lös ring. Etsat polerat prov. Efter etsning framträder ett mönster med ferritkorn. I denna del av ringen är de något långsträckta vinkelrätt mot ringens ytterkanter, framförallt i de centrala delarna.

I de två tvärsnitten, som frampreparerades efter att ringen i plan slipats fram, kvarstod drygt halva tjockleken av ringen. Det ena snittet är ovalt på samma sätt som ring 1 och 2, men det andra snittet är mer korroderat och beskriver en kantigare form. Båda är dock lika i fråga om inre uppbyggnad. Genomgående förekommer ferrit, med lokala förekomster av cementit i kornkontakterna och en överpräglade fosfortextur kan diffust anas. Inga slagginneslutningar har observerats. Ferriten är kraftigt deformerad, framför allt i centrala delar av snittet. I det ovala snittet (Fig. 6) framträder en kupad eller s-formad deformation, i det kantigare snittet (Fig. 7) en tydligare kupad form.

Den deformation som tydligt har observerats i det halva tvärsnittet framträder inte alls lika tydligt i planslipet. Skillnaden beror på hur snittet är taget. I planslipet kunde noteras en svag orientering i centrala delar av ringen. Det motsvarar de centrala delarna av tvärsnittet. Mot ytterkanterna i planslipet var ferritkornen mer jämnstora i alla riktningar och detta motsvaras i tvärsnittet av de minst deformerade delarna. Här ser vi betydelsen av att välja ytor för observation och hur det påverkar vår tolkning av resultaten. Deformationen är mycket diffus i planslipet men tydligare i tvärsnittet, som visar tryck uppifrån/nerifrån på en liggande ring.



Figur 6. Hel lös ring. Tvärsnitt genom drygt halva ringens tjocklek. Etsat och polerat prov. Ferritkornen är långsmala och böjda i centrala delar.



Figur 7. Hel lös ring. Tvärsnitt genom drygt halva ringens tjocklek. Etsat och polerat prov från ringens andra halva. Ferritkornen är långsmala och böjda i centrala delar.

Elektronmikrosondanalyser

Det metalliska järnet i planslipet har analyserats längs en linje från ringens ytterkant till dess innerkant med 100 mikrometers avstånd. Samtliga analyser (Tabell 1) visar att järnet innehåller fosfor, men inga ytterligare ämnen har detekterats. Fosforinnehållet är mestadels mellan 0,15 och 0,17 % i de analyserade punkterna, men den högst observerade halten är 0,21 %. Den lägsta fosforhalten är noterad vid ringens innerkant.

Vid undersökningen i det optiska mikroskopet kunde inga slaggineslutningar observeras men i samband med mikrosondanalyserna, och de högre förstoringar detta innebär, kan ett fåtal slaggineslutningar observeras i provet. Dessa är oregelbundna i formen, och följer mestadels ingen speciell riktning i förhållande till ringens utbredning. De är små, som mest ca 10–20 mikrometer breda och består av två eller tre faser (troligen wüstit, olivin och glas). Dessa är mestadels för små för att analyseras var för sig. Därför har större ytor som täcker flera faser analyserats (Tabell 2). Slaggen domineras av järn och kisel i något varierande proportioner. Bland övriga ämnen märks

kalcium, aluminium och kalium. I en inneslutning finns också fosfor (analys 2b1, 2b2).

En slagginneslutning är långsträckt och böjd och följer ringens ytterkant ett litet stycke. Den är placerad mellan den centrala delen och ytterkanten. Inneslutningen har samma mineralinnehåll som de andra och liknande kemisk sammansättning med dominans av järn och kisel. Fosfor förekommer även i denna. Mellan inneslutningen och järnet finns en bård av rost.

Ring 1, nitad ring

Beskrivning och provtagning

Provtagningen gjordes på Acta KonserveringsCentrum (Fig. 8).

Tvårsnittet från ringen är ovalt, 1,4–1,5 mm brett och 0,5–0,6 mm tjockt i ytan som kapats. Den är dock bredare och plattare vid hopnitningen och niten sticker ut från ringen (Fig. 8–9). I snitt kan man se hur de båda ändarna ligger omlott. Ringen är kapad ytterligare en gång och planslip är gjort på så sätt att detta successivt har slipats fram från nithuvudet och ner, eller in, mot centrala delar. Två nivåer har undersökts metallografiskt och den nedre av dessa har analyserats kemiskt. Dessutom har tvärsnittet analyserats.

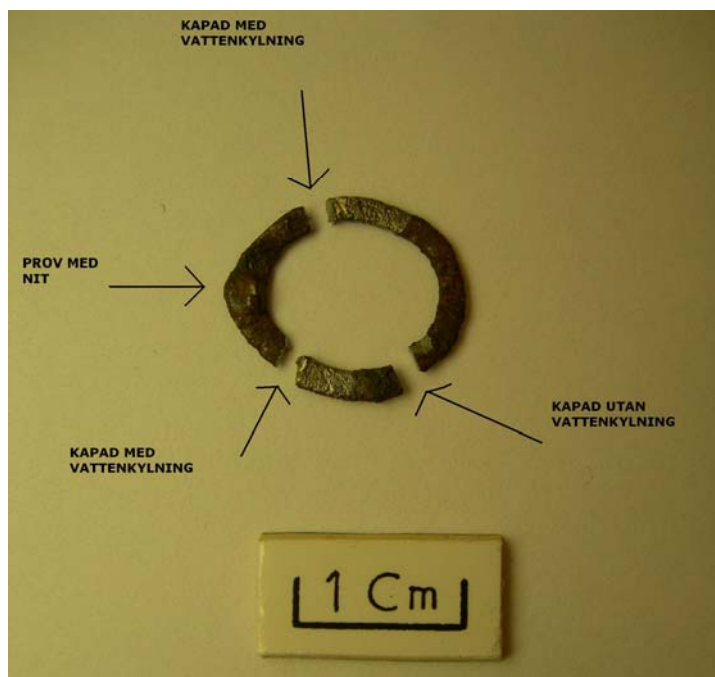
Metallografiska analyser

Två delprov har undersökts från ring 1. Ett prov är planslip genom det nitade området (Fig. 10), dvs. genom niten och de två omlottlagda delarna. Det andra provet är ett tvärsnitt genom ett lager av niten. Det första delprovet, har undersökts på flera nivåer där provet har slipats i omgångar och studerats vid 2 olika nivåer.

I *planslipet* genom niten, i kontakt med ringen, framträder en cirkelformad metallisk yta 0,7 mm i diameter (Fig. 10–11), omgivet av en bård, eller nästan två närliggande, bårder av slagg (?), i kontakt med omgivande metall. Slaggen är glödskalesliknande i sitt utseende, i något fall framträder wüstit. I cirkeln syns centralt en liten kärna av slagg omgiven av tunna vindlande slagginneslutningar. Den omgivande metallen är homogen men fläckvis korroderad. Etsning visar en ferritisk textur i omgivande metall som är kraftigt elongerad närmast niten, vid en sida också deformerad (Fig. 11). Elongeringen är parallell med cirkeln. I niten finns en mycket finkornig textur, som är något vindlande i en riktning som avviker från den omgivande kornorienteringen. Texturen är mycket finkornig och utgörs eventuellt av ferrit och granulär cementit.

Nivå 2 av *planslipet*; niten är 0,6–0,7 mm i diameter. På denna nivå är niten omgiven av endast en slaggbård, som mestadels verkar bestå av korrosionsprodukter, lokalt dock lite wüstit (?). Omgivande metall är påverkad i kornorientering, med långdragna ferritkorn parallellt med nitens ytterkanter som i föregående nivå (Fig. 11). Metallen för övrigt är homogen och jämnkornig i både den övre och den undre omlottdelen. Det syns dock inga direkta kontakter mellan dessa båda – det är ett rostskikt däremellan. Ingen slagg är observerad i ringen på denna nivå heller. (På bilderna är den övre den till vänster, den undre till höger och nithuvudet har varit riktat mot betraktaren.)

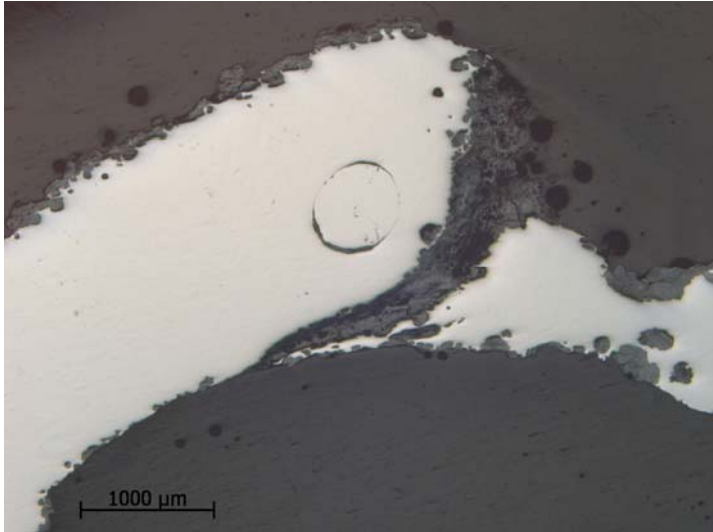
Det ovala tvärsnittet 1,7×0,7 mm är korroderat i en tunn ytterkant men är för övrigt homogent i det polerade provet (Fig. 12). Inga slagginneslutningar kan urskiljas. Vid etsning framträder en textur med endast ferritkorn. Dessa är finkornigare i centrala delar och grövre närmast ytterkanterna. Ingen orientering av kornen kan urskiljas i detta snitt. Inte heller kan någon bandning eller vällsömmar urskiljas.



Figur 8. Ring 1. Utsnittet till vänster, med nit, är det som har valts till prov. Såväl planslip som tvärsnitt är undersökta. Foto från uppdragsgivaren.



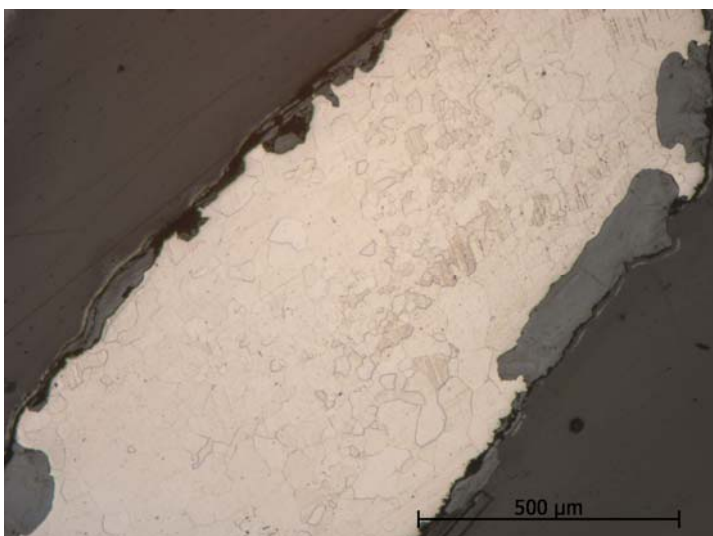
Figur 9. Ring 1. Detalj på niten genom ringen. Skalstreckets visar 1 cm.



*Figur 10. Ring 1, planslip.
Översikt på polerat prov. Niten
syns som den runda delen i mitten.
Den vänstra metalldelen är den
övre delen av ringen, den högra
är den undre (dvs. den som är
närmast betraktaren i föregående
figur (men i profil).*



*Figur 11. Ring 1, planslip. Detalj
runt niten. Etsat prov. Ringens
ferritkorn är kraftigt deformerade
i ett mönster som följer nitens
kanter.*



*Figur 12. Ring 1. Detalj från
tvärsnitt. Etsat prov. De olika
fälten är ferrit med något finare
korn centralt och något grövre i
ytterkanten, men utan någon
kornorientering.*

Elektronmikrosondanalyser

Analyser av metallen i ringen i *planslip*, i den undre delen, visar inga andra detekterbara ämnen förutom järn (Tabell 1). Analyser i ringens andra ände, den övre delen visar samma sammansättning som den undre, och utan andra ämnen (men en analyspunkt ger utslag för fosfor). I niten visar analyserna fosforhalter på ca 0,12–0,17 viktsprocent, men inga andra ämnen är detekterade. Fosfor saknas dock i den yttre kanten i något fall, men inte hela varvet runt. Slagginneslutningar har analyserats i nitens kärna (Tabell 2). Dessa är endast några mikrometer stora. De är oregelbundna i formen och innehåller flera faser men dessa är för små för att kunna analyseras separat. En totalanalys visar att de domineras av järn och kisel med kalcium, aluminium och kalium endast i låga halter. I nitens ytterkanter finns en tunn zon som innehåller lite järnoxider, en kiselrik (troligen homogen) fas och korroderat järn. För övrigt saknas slagginneslutningar.

Analyser i *tvärsnittet* visar att järnet inte innehåller några andra ämnen i detekterbara halter mer än i en punkt nära ytterkanten där fosfor förekommer i ca 0,16 %. I övriga analyspunkter är fosforhalten i nivå med, eller under, detektionsnivån (Tabell 1). Sammansättningen i tvärsnittet överensstämmer därmed med resultaten från motsvarande del i planslipet. En extra genomsökning efter slagginneslutningar gjordes också i samband med analyserna men inte heller vid dessa höga förstoringar kunde sådana observeras.

Den fosforförekomst som noterades i de kemiska analyserna, främst i niten, men lokalt även i ringen, har inte observerats i den metallografiska analysen. Fosforhaltig ferrit kan observeras med hjälp av en överpräglade dendritisk textur på ferritkornen. Denna bildas då metallen har upphettats och snabbkylts så att fosfor fördelar sig i en fosforrikare och en fosforfattigare ferrit. Detta prov uppvisar inte en sådan textur varför fosfor är löst i ferriten och endast framkommer i de kemiska analyserna.

Ring 2, hel ring

Beskrivning och provtagning

Provtagningen gjordes på Acta KonserveringsCentrum (Fig. 13). Tvärsnittet från ringen är ovalt med något spetsiga kortsidor, 1,2–1,4 mm brett och ca 0,6 mm tjockt i ytan som kapats. I makroskala förefaller snittet vara symmetriskt. Provet är kapat ytterligare en gång för att man ska kunna studera både ett planslip och ett tvärsnitt.

Metallografiska analyser

Två delprov har undersökts från ring 2. Ett prov utgörs av planslip som omfattar ca 4 mm av ringen. Det andra provet är ett tvärsnitt.

I *planslipet* ser man att en stor del av ringen innehåller metalliskt järn (Fig. 14). Endast en tunn ytterkant och enstaka centrala ytor är korroderade. Bredden på ringen är här ca 1,4 mm. Slagginneslutningar förekommer endast sparsamt i några olika varianter. En är en större, oregelbunden koncentration av järnoxid(?) centralt i snittet. Den följer ringens omböjning. En annan inneslutning är oregelbundet u-formad och ligger i samma centrala stråk som den föregående inneslutningen. Den u-formade inneslutningen innehåller möjligen endast korrosionsprodukter och är som bredast vid omböjningen. Dessutom förekommer ett fåtal mindre, tunna, men något långsträckta inneslutningar i samma centrala band. Dessa utgörs av järnoxid intill den större järnoxid inneslutningen, och förefaller vara mer rika på kisel vid motsatta ände.

I det etsade provet framträder en struktur som följer de observerade slagginneslutningarnas. I ett centralt stråk, runt den bredaste inneslutningen förekommer grövre ferritkorn, som är något långsmala vinkelrätt mot inneslutningen (Fig. 14). Utanför detta stråk är ferritkornen finkornigare och jämnare i formen. Kornkontaktarna kantas av cementit, i något varierande, men små, mängder.

De olika stråken är inte skarpt avgränsade utan följer ett något diffust vindlande mönster med successiva övergångar, dvs. det finns inga vållsömmar mellan skilda materialkomponenter. I ett litet begränsat område kan en överpräglade dendritisk textur anas i övergången mellan de grövre och finare ferritkornen. Denna textur beror på ett fosforinnehåll. Fosforinnehåll är lokalt också noterat i anslutning till kornkontaktarna med cementit.

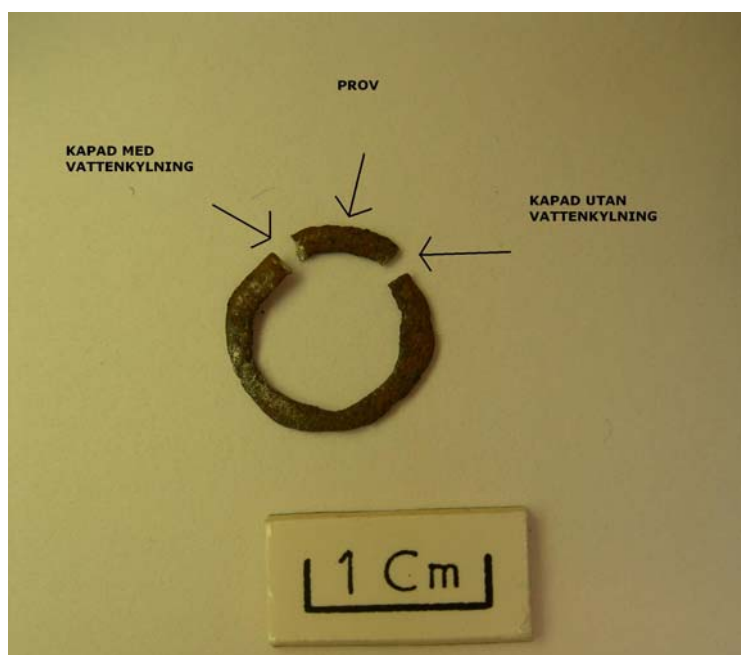
Det ovala tvärsnittet, 1,6×0,6 mm, utgörs också det mestadels av metalliskt järn. Endast en tunn ytterkant är korroderad. I järnet kan tre tunna stråk av slagginneslutningar följas (Fig. 14). Ett stråk böjer runt ena kortsidan (eller från nära mitten på kortsidan till nära på långsidan), ett annat är S-format från motstående kortsida mot ena långsidan. Ett tredje band är omböjt (bågformat) och nästan parallellt med ytterformen men befinner sig närmare motstående långsida men når inte ut till kanten. Möjligen finns någon enstaka isolerad inneslutning. Inneslutningarna utgörs av wüstit och en (eller två) kiselrika mineral eller glasfaser i den S-formade inneslutningen. Trots noggrann polering är det inte möjligt att urskilja vad de flesta inneslutningarna består av – i något fall kan det röra sig om korroderat material, men de markerar en tydlig struktur.

I det etsade provet syns en struktur som domineras av ferritkorn, lokalt med cementit i kornkontaktarna. Ferritens korn är delvis långsträckta och följer samma mönster som slagginneslutningarna (Fig. 15). Deformationen av ferritkornen är mest markant vid inneslutningarnas närhet och mindre på större avstånd. Ferritkornen närmast kortsidorna av tvärsnittet är inte alls långsträckta. Precis som i planslipet finns fosfortexturen tydligast i anslutning till korngränserna.

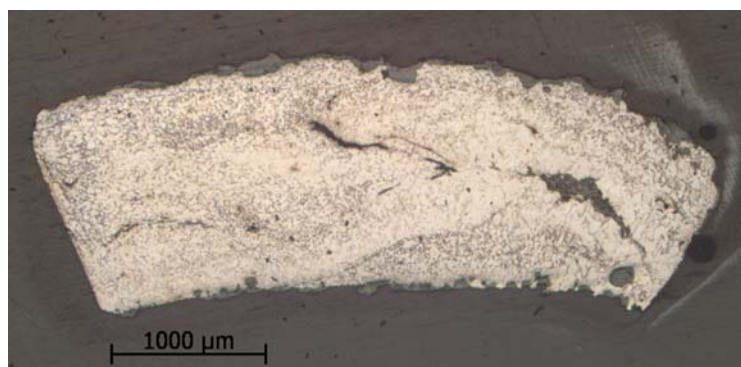
Fördelningen och den mycket begränsade omfattningen av slagginneslutningar som kan observeras i tvärsnittet förklarar varför det är liten mängd slag i planslipet: om vi drar en tänkt linje genom tvärsnittets centrala delar ser vi att det endast är vid tre punkter som linjen korsar slag. Om ringen skulle vara tillverkad av dragen tråd skulle vi förvänta oss runda slagginneslutningar i tvärsnittet och långdragna i planslipet. Här ser vi något långdragna i båda snittytor, men i planslipet är de mycket sporadiska. I tvärsnittet är de mer markanta och dessutom böljande och deformerade i förhållande till ytterformerna (jämför Vike 2000, s. 24 och 34). Det visar sig att också järnets kornformer följer slagginneslutningarnas mönster i tvärsnittet, men i planslipet är de jämnare i form och saknar mestadels orientering (men jämför den hela ringen där en långsträckt ferrit syns nära snittytan centralt i tvärsnittet i figur 6 och även centralt i planslipet i figur 5). Slutsatsen blir att ringen har blivit deformerad med tryck vinkelrätt mot ringens plana yta. Vid trycket har innesluten slag och järntextur påverkats av tryck både ”nerifrån” och ”uppifrån”, som skapat den S-formade eller bågformade strukturen. Med andra ord kan denna struktur vara förenlig med att ringen har blivit stansad. Den rundade formen på tvärsnittet bör dock ha tillkommit i efterhand, möjligen genom slipning men det kan inte observeras med hjälp av dessa analyser.

Elektronmikrosondanalyser

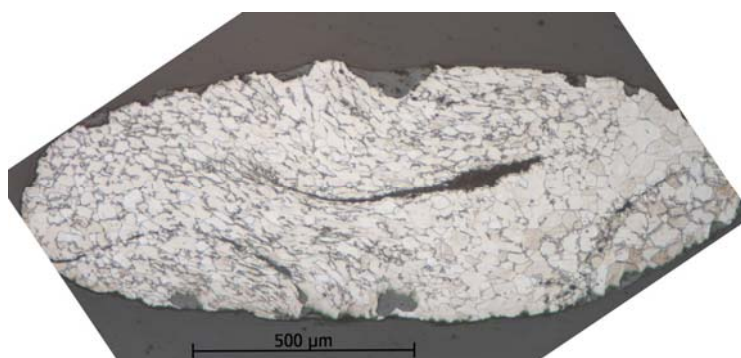
Det metalliska järnet har analyserats detaljerat i tvärsnittet. Punkter med 50 mikrometers avstånd analyserades på bredaste stället tvärs över den centrala slagginneslutningen. Som komplement analyserades också enstaka punkter i områden på andra sidorna om slagginneslutningarna. Järnet innehåller fosfor (Tabell 1). Längs den analyserade linjen varierar innehållet mellan 0,13 och 0,18 % förutom i två punkter där halterna är i nivå med detektionsnivån. Fosforhalter på ca 0,1 % noterades utanför den S-formade inneslutningen. På motstående kortsida förekommer också fosfor, som mest noterades 0,17 %, men inte i alla analyspunkter.



Figur 13. Ring 2. Provet som har undersökts i planslip. Dessutom har tvärsnittet till vänster analyserats. Foto från uppdragsgivaren.



Figur 14. Ring 2, planslip. Etsat och polerat prov. Slaggineslutningar, devis omgivna av korrosion syns som långsmala, vindlande grå stråk från vänster till höger. Grövre ferritkorn finns koncentrerade längs det centrala stråket. Finkornigare ferrit med cementit i kornkontakterna är vanligare i ytterkanterna. En diffus, dendritisk textur finns strax under den stora högra inneslutningen (otydlig i denna förstoring).



Figur 15. Ring 2, tvärsnitt. Etsat och polerat prov. Tre stråk av slaggineslutningar böjlar genom snittet. Järnets ferritkorn, delvis med cementit i kornkontakterna, följer samma riktning. Detta är tydligast närmast slaggen.

Inneslutningarna som i den metallografiska analysen delvis föreföll vara korroderade innehåller dock slagg. I de tunna stråken vid kortsidan (analys 2c, tabell 2) finns kvartskorn omgivna av wüstit och i andra finns en blandning av järnoxid och siliktarika faser. Alla inneslutningar är små och det är inte möjligt att analysera varje enskild fas. Det större centrala slaggområdet (2a) består av dåligt kristalliserade faser. Totalanalyser visar att slaggen innehåller huvudsakligen kisel och lite järn. Det S-formade slaggstråket (analys 2b) har tydligare kristalliserade faser, troligen en järnoxid och en eller två faser som är kiselrika. Analyser visar att denna slagg är snarlik i sammansättning med analysområde 2a i planslipet (se nedan) med dominans av järn och kisel med förekomst även av kalcium aluminium, kalium och fosfor, dock i låga halter.

Analyser av *planslipet* har gjorts mindre detaljerat i fråga om järnsammansättning. De analyserade punkterna visar fosforhalter på samma nivå som i tvärsnittet (Tabell 1). Inte i något fall har andra ämnen detekterats. Bland slagginneslutningarna (Tabell 2) förekommer dels ren wüstit (analys 2c i det stora centrala slaggområdet), dels blandade, dåligt kristalliserade faser som domineras av järn och kisel, och med låga halter av andra ämnen (analys 2a, jämför 2b i tvärsnittet). Likheten i sammansättning i analys 2a i planslipet och 2b i tvärsnittet är inte förvånande, utan snarare förväntat, med tanke på att de med största sannolikhet är del av samma stråk av inneslutning som betraktats från olika vinklar.

Sammanfattning och utvärdering

De tre ringarna från ringväven som har analyserats är av två olika typer, två är hela ringar och en är en nitad ring. Samtliga tre har ovala tvärsnitt. De har alla analyserats i olika riktningar såväl metallografiskt som kemiskt. Järnet är i samtliga ringar huvudsakligen ferritiskt, dvs. kolfritt järn. Det ferritiska järnet är betydligt mjukare än ett kolhaltigt stål. I de båda hela ringarna, och niten, har också ett fosforinnehåll observerats. Fosfor förekommer i halter kring 0,15–0,20 viktsprocent. I den nitade ringen saknas fosfor, eller förekommer endast sporadiskt i lägre halt. Fosfor påverkar järnets materialegenskaper genom att höja dess hårdhet något, men framförallt ökar den dess seghet. Det senare har ofta varit en eftertraktad egenskap för tråddragning.

Är då de undersökta ringarna tillverkade av trådar? För att få svar på den frågan är förekomst och fördelning av slagginneslutningar normalt ett bra redskap. I de aktuella ringarna är dock förekomsten av slagginneslutningar låg, för att inte säga mycket låg. I de undersökta planslipen bildar de inga tydliga stråk som kan följas i ena eller andra riktningen. I några av ringarna finns enstaka inneslutningar som bildar diffusa ansamlingar, men dessa formar inga entydiga slaggstråk. I en av de hela ringarnas tvärsnitt finns dock slagginneslutningar som bildar en plan struktur som har deformerats. Denna struktur tyder snarare på en deformation som varit riktad vinkelrätt mot ringens utbredning i plan. Det innebär att den inte har dragits ut som tråd. Däremot kan stansning ur en plåt skapa sådana strukturer. I samma tvärsnitt kan man också se hur

järnets ferritkorn har dragits ut i samma riktning till långsmala, svagt omböjda korn, under samma process. Sådana långsträckta korn kunde också observeras i den lösa ringens tvärsnitt, trots att innesluten slagg saknades. Efter att ha observerat tvärsnitten i den lösa ringen blev det också lättare att förstå det mönster av långsträckta ferritkorn i planslipet som är orienterade vinkelrätt mot ringens ytterkanter (Fig. 5). Här ser vi i centrala delar den övre delen av den omböjning som ses i tvärsnittet (Fig. 6).

I den nitade ringen finns ingen innesluten slagg som kan vägleda oss i tolkningen om tillverkning. Järnets textur med ferritkorn som saknar orientering i såväl plan som profil ger ingen fingervisning om ringen har stansats eller tillverkats av en dragen tråd. Det senare är den teknik som är mest känd för denna typ av ring och är den som troligen har använts, men den metallografiska undersökningen kan inte bekräfta detta. Man kan argumentera att ringen har blivit påverkad av senare upphettning som har suddat ut eventuell korntextur. Så kan möjligen vara fallet, men inte efter att ringen nitades ihop eftersom man tydligt ser den deformation av ferritkornen i ringen där niten går igenom de båda omlottlagda ringändarna.

Resultaten från denna undersökning av två olika ringtyper från ringväven från Tofta är att de hela ringarna är tillverkade av ett fosforhaltigt järn där ringarna troligen har stansats ur en plåt. Den nitade ringen visar inga entydiga tecken på att vara tillverkad genom stansning eller från en tråd även om det senare är troligt. Längsgående tillverkningsspår, som är typiskt för dragen tråd, framkom (enligt uppgift från uppdragsgivaren) under konserveringsarbetet, vilket bekräftar antagandet om tillverkningsteknik. Denna ring avviker också i fråga om sammansättning eftersom den saknar fosfor, ett ämne som dock förekommer i den använda niten.

Tabeller

Tabell 1. Mikrosonanalyser av järn, värden anges i viktsprocent. Analyserna är genomförda med programrutin GAL3 med CAMECA SX-100. Värde angivet med "0" innebär att ämnet inte finns i halter över detektionsnivån.

Detektionsnivån för fosfor är ca 0,08 viktsprocent. Övriga ämnen som halter har noterats för är, förutom för järn, under instrumentets detektionsnivå och deras förekomst är därmed tveksam.

Prov	An.nr	Mg	Si	P	S	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	V	Summa
Hel ring	1a1	0	0	0,17	0,00	0	97,02	0,03	0	0	0	97,22
Hel ring	1a2	0,01	0	0,16	0	0	96,40	0,02	0	0,06	0	96,65
Hel ring	1a2b	0	0,01	0,15	0,01	0,00	101,25	0	0	0,06	0	101,49
Hel ring	1a3	0	0	0,17	0	0	98,82	0,01	0,03	0	0	99,03
Hel ring	1a4	0	0	0,13	0	0	100,15	0,06	0	0,04	0	100,38
Hel ring	1a5	0	0	0,13	0,00	0	98,93	0,01	0	0	0	99,08
Hel ring	1a6	0	0	0,21	0,04	0	101,13	0,06	0	0,04	0	101,48
Hel ring	1a7	0	0	0,18	0	0	100,63	0	0	0,03	0	100,83
Hel ring	1a8	0	0	0,17	0,01	0	99,67	0,06	0	0,07	0	99,98
Hel ring	1a9	0	0,00	0,16	0	0	99,44	0,01	0	0,01	0	99,61
Hel ring	1a10	0	0	0,15	0,03	0	100,18	0,08	0	0,06	0	100,49
Hel ring	1a11	0	0	0,11	0,00	0	98,61	0,03	0	0,02	0	98,76
Ring 1, plan	1a1	0	0	0,08	0	0	101,28	0,04	0	0	0	101,39
Ring 1, plan	1a2	0	0	0,07	0,01	0	100,55	0,05	0,11	0	0	100,79
Ring 1, plan	1a3	0	0	0,06	0	0	100,47	0,01	0	0	0	100,54
Ring 1, plan	1a4	0	0	0,09	0	0	100,35	0,01	0,01	0,02	0	100,49
Ring 1, plan	1b1	0	0,02	0,15	0	0	101,05	0,05	0	0	0	101,28
Ring 1, plan	1b2	0	0	0,17	0,00	0	100,09	0,05	0,02	0,05	0	100,38
Ring 1, plan	1b3	0	0	0,17	0,01	0	101,68	0,09	0	0,02	0	101,97
Ring 1, plan	1b4	0	0	0,14	0	0	98,17	0,01	0	0,07	0	98,39
Ring 1, plan	1b5	0	0	0,05	0	0	97,91	0,03	0	0	0	97,98
Ring 1, plan	1b6	0	0	0,10	0	0	95,66	0,09	0	0	0	95,86
Ring 1, plan	1b7	0	0	0,12	0	0	99,72	0,04	0	0,00	0	99,89
Ring 1, plan	1b8	0	0	0,05	0	0	99,50	0,08	0	0,01	0	99,64
Ring 1, plan	1b9	0	0	0,01	0,01	0	100,38	0,06	0	0	0	100,45
Ring 1, plan	1c1	0	0,00	0,01	0	0	99,32	0,08	0	0	0	99,41
Ring 1, plan	1c2	0	0,00	0,12	0	0	98,39	0,04	0	0	0	98,55
Ring 1, plan	1c3	0	0	0,07	0	0	99,55	0,02	0	0	0,00	99,64
Ring 1, plan	1c4	0	0	0,03	0,02	0	99,53	0,04	0	0	0	99,62
Ring 1, tvärsnitt	1a1	0	0	0,06	0,00	0	100,14	0	0	0	0	100,20
Ring 1, tvärsnitt	1a2	0	0,02	0,08	0	0	99,03	0,02	0,02	0	0	99,16
Ring 1, tvärsnitt	1a3	0	0	0,09	0,02	0	100,82	0,06	0	0	0	100,99
Ring 1, tvärsnitt	1a4	0	0,00	0,16	0	0	98,60	0,04	0	0,10	0	98,91
Ring 1, tvärsnitt	1a5	0	0	0,10	0	0,02	99,55	0,05	0,07	0	0	99,79
Ring 1, tvärsnitt	1a6	0	0	0,12	0	0	96,42	0	0	0	0	96,55
Ring 2, plan	1a1	0	0	0,17	0,03	0	96,99	0,03	0	0,05	0	97,28
Ring 2, plan	1b1	0	0	0,11	0,03	0	99,82	0,01	0	0	0	99,97
Ring 2, plan	1c1	0	0,00	0,15	0,01	0	98,97	0,06	0	0	0	99,19
Ring 2, tvärsnitt	1a1	0	0	0,15	0,02	0	99,07	0,04	0	0	0	99,27
Ring 2, tvärsnitt	1a2	0	0,00	0,13	0	0	100,19	0,04	0	0	0	100,36
Ring 2, tvärsnitt	1a3	0	0	0,16	0,01	0	101,08	0,03	0	0,07	0	101,35
Ring 2, tvärsnitt	1a4	0	0	0,18	0	0,05	101,59	0	0	0	0	101,82

<i>Prov</i>	<i>An.nr</i>	<i>Mg</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>V</i>	<i>Summa</i>
Ring 2, tvärsnitt	1a5	0	0	0,14	0,02	0	101,18	0,01	0	0	0	101,34
Ring 2, tvärsnitt	1a6	0	0	0,06	0	0	99,89	0	0	0,01	0	99,95
Ring 2, tvärsnitt	1a7	0	0	0,16	0,01	0	99,72	0,01	0	0	0	99,89
Ring 2, tvärsnitt	1a8	0	0,00	0,10	0	0	99,85	0	0	0,01	0	99,95
Ring 2, tvärsnitt	1a9	0	0,02	0,15	0	0	100,40	0	0	0	0	100,57
Ring 2, tvärsnitt	1a10	0	0	0,15	0,01	0	101,36	0,03	0,01	0,05	0	101,61
Ring 2, tvärsnitt	1a11	0	0	0,13	0	0,03	100,23	0,09	0	0,04	0	100,51
Ring 2, tvärsnitt	1b1	0	0	0,11	0	0	99,91	0	0	0	0	100,01
Ring 2, tvärsnitt	1b2	0	0,03	0,10	0,01	0	100,63	0	0	0,06	0	100,82
Ring 2, tvärsnitt	1c1	0	0	0,04	0,03	0	99,33	0,07	0	0	0	99,47
Ring 2, tvärsnitt	1c2	0	0	0,17	0,02	0,01	100,13	0	0,03	0,00	0	100,36
Ring 2, tvärsnitt	1c3	0	0	0,09	0,02	0	99,13	0,11	0	0,01	0	99,36

Tabell 2. Mikrosondanalyser av slagginneslutningar i järn. Värden anges i viktsprocent för respektive oxid. Analyserna är genomförda med programrutin GAL1 med CAMECA SX-100. Värde angivet med "0" innebär att ämnet inte finns i halter över detektionsnivån. Krom och koppar har också ingått i analysrutinen men ämnena förekommer inte i halter över respektive detektionsnivå.

<i>Prov</i>	<i>An.nr</i>	<i>Fas</i>	<i>Anm.</i>	<i>SiO₂</i>	<i>TiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>FeO</i>	<i>MnO</i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>Na₂O</i>	<i>K₂O</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>Summa</i>
Hel ring	2b1	bulk	flerfasig	31,72	0,09	1,55	57,06	0,06	0,23	2,7	0,07	0,58	5,34	99,4
Hel ring	2b2	bulk	ruta	32,31	0,05	1,39	60,63	0,06	0,4	1,21	0,11	0,52	2,55	99,23
Hel ring	2b3	bulk	ruta	24,6	0,05	1,01	64,85	0,09	0,26	0,83	0	0,41	0,81	92,91
Hel ring	2b4	bulk	ol*	29,36	0,02	0,22	68,39	0,11	0,62	0,46	0,04	0,18	0,55	99,97
Hel ring	2c1	bulk	ruta	21,96	0,08	1,01	63,92	0	0,24	0,79	0,45	0,52	2,49	91,5
Ring 1, plan	2b1	bulk	flerfasig	32,85	0,14	2,05	49,96	0,14	0,68	2,99	0,22	0,74	0,24	90,05
Ring 2, plan	2a1	bulk	flerfasig	43,69	0,13	2,03	39,08	0,18	0,35	2,8	0,01	1,53	0,91	90,71
Ring 2, plan	2b1	bulk	hom.	70,99	0,07	1,76	33,77	0,11	0,57	2,36	0,08	0,84	0,36	110,96
Ring 2, plan	2b2	bulk	hom.	72,09	0,10	1,38	27,94	0,06	0,55	2,16	0,2	0,71	0,19	105,41
Ring 2, plan	2b3	bulk		49,46	0,02	0,79	34,17	0	0,11	2,45	0,15	1,61	0,77	89,53
Ring 2, plan	2c1	wu		0,18	0	0,01	97,08	0	0	0,02	0,01	0	0	97,3
Ring 2, tvärsn.	2a1	bulk	flammit	84,24	0,05	1,09	11,37	0,08	0,22	1,25	0,15	0,91	0,17	99,54
Ring 2, tvärsn.	2b1	bulk	wu + sil	47,67	0,17	3,12	28,79	0,1	0,87	5,74	0,33	2,28	0,37	89,47
Ring 2, tvärsn.	2b2	bulk	wu + sil	48,93	0,17	3,21	29,36	0,08	1	5,72	0,27	2,4	0,49	91,63
Ring 2, tvärsn.	2c1	qz	i innesl.	90,73	0,04	0,53	5,49	0,04	0	0,37	0	0,12	0,14	97,46
Ring 2, tvärsn.	2c2	bulk	wu + gl	47,86	0,04	1,73	35,85	0,14	0,19	1,35	0,17	1,37	0,6	89,3

Referenser

- Ehlton, F. 2003. Ringväv från Birkas garnison – Dokumentation, Preparering och Analys. CD-uppsats i laborativ arkeologi. Arkeologiska forskningslaboratoriet. Stockholms universitet.
- Fredman, P-O. 1992. Ringväv. Om ringbrynjor och liknande föremålstyper från förhistorisk tid och medeltid. C-uppsats Inst. för arkeologi. Uppsala universitet.
- Lang, J., Craddock, P.T. & Hook, D.R. 1992. Analytical results. I: Tweedle, D. The Anglian Helmet from Coppergate. Published for the York Archaeological Trust by the Council for British Archaeology.
- Nicklasson, P. 1989. Ringväv och sårsvett. Om tillverkning och användning av ringbrynjor. C-uppsats vid arkeologiska institutionen i Lund.
- Vike, V. 2000. Brynjejev. Metallografisk analyse av brynjemateriale ved Oldsakssamlingen i Oslo. Semesteroppgave. Avdeling for konserveringsstudier, Det Historisk-filosofisk fakultet-IAKK, Universitetet i Oslo.

Administrativa uppgifter

Riksantikvarieämbetets dnr: 424-2979-2008.

Riksantikvarieämbetets projektnummer: 11058.

Projektgrupp: Lena Grandin.

Underkonsulter: Mikrosondlab vid Institutionen för Geovetenskaper,
Uppsala universitet.