



FORN VÄNNEN

JOURNAL OF
SWEDISH ANTIQUARIAN
RESEARCH

Metallografisk undersökning av ett vendeltida praktsvärd
Thålin, Lena
Fornvännen 225-240
http://kulturarvsdata.se/raa/fornvannen/html/1967_225
Ingår i: samla.raa.se

Metallografisk undersökning av ett vendeltida praktsvärd

Av Lena Thålin

Omkring år 525 e. Kr. fick Teoderik från varnernas konung en gåva av svärd »som kunde klyva en rustning». I tackbrevet lovprisas svärdens med bl. a. följande ord: »Klingsmidet gör dem kostbarare än guldarbetet. De lyser med en så uppolerad glans att de troget återger det ansikte som ser däri . . . I deras med vackra fåror urholkade mittpartier kan ses som slingrande maskar. Där leker så växlande skuggor att man kunde tro att den ljusa metallen satts samman av skiftande färger . . .»¹

Så kunde alltså den germanska järnålderns berömda svärds klinga beskrivas, den som förskaffade smederna rykte om förbund med övernaturliga krafter. Den individuella särprägel hos dessa svärd framträder klart i sagorna. Varje svärd har sina bestämda egenskaper och kännetecken, Mimung, Gram, Hrunting och många andra. I gravfynden möter också någon gång dessa praktvapen med sina dyrbara fästen, guldsmedsarbeten av den mest utsökta klass. Men, som brevskrivaren uttryckte det, själva klingan kunde göra vapnet kostbarare än det guld som prydde den, och klingan borde alltså vara värd större uppmärksamhet än som hittills i allmänhet varit fallet.

Gång efter annan visar det sig också att korrosion och konservering döljer en konstfull, individuellt utformad damaskering, som en gång i lika hög grad bidragit till vapnets skönhet som det gyllne fästet. Termen damaskering motsvarar här begreppen »wurmbunt» och »paternwelded», dvs. innebär en mönstring i stålets² yta, som åstadkom-

¹ Cassiodorus, Variarum V: 1 (efter E. Salin, 1957 del III, s. 100 och 274).

² Tekniskt järn, — som alltid innehåller kol — kallar man numera alltid *stål* oberoende av om kolhalten är hög eller låg. I äldre språkbruk anger termen stål att järnets kolhalt är ca 0,3% eller däröver.

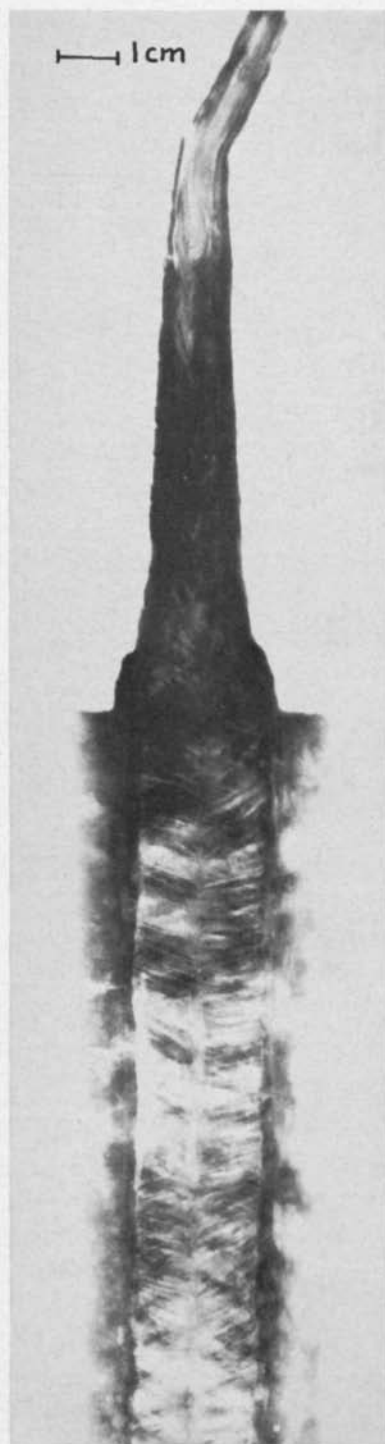


Fig. 1. Röntgenbild av svärd från Äversta, Glanshammars sn, Närke (SHM 13202: 5). Damaskeringsbanden fortsätter upp i tången. Röntgenbilden ger ett felaktigt intryck av att trådarna virats runt en kärna. Foto Tekniska röntgencentralen. — Radiograph of sword from Äversta, parish of Glanshammar, Närke. The pattern rods continue into the tang. The radiograph gives a false impression that each composite rod consists of pattern wires round a core. Photo Tekniska Röntgencentralen, Stockholm.



Fig. 2. Tvärsnitt av svärdet fig. 1, polerat och makroetsat (Stead I). I mittpartiet syns rester av damaskeringen. Foto S. Modin. — Transverse section of sword in fig. 1, etched in Stead I, with traces of pattern welding. Photo S. Modin, Institutet för Metallforskning, Stockholm. 1: 1¹/₂.

Fig. 3. Detalj av tvärsnittet fig. 2, i mikroetsning (1% Nital). T. v. på bilden den bevarade delen av damaskeringen, t. h. mittpartiet. I övre delen av bilden den slaggbemängda fogen mot eggpartiet. Foto S. Modin. — Detail of section in fig. 2, etched in 1% Nital. Left: traces of pattern welding; right: the core. In top of figure joint between core and cutting edge, with slag inclusions. Photo S. Modin.

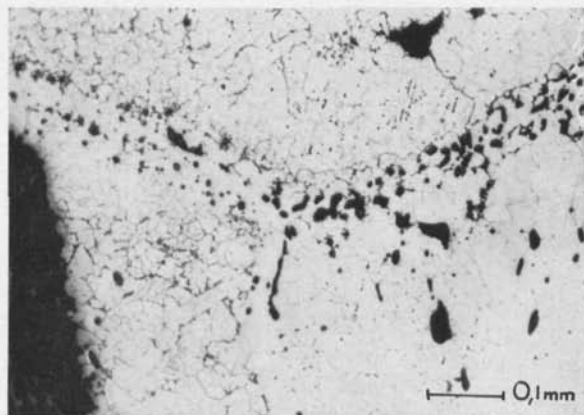
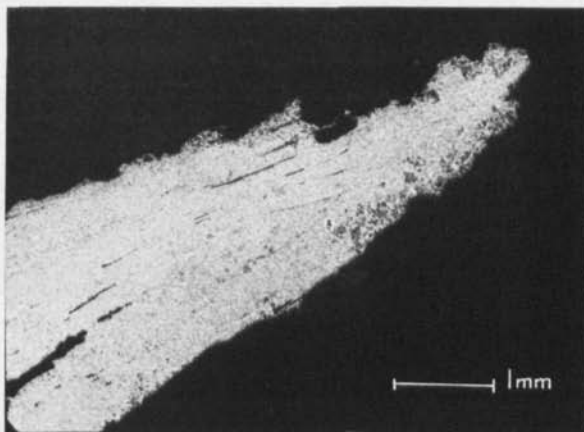


Fig. 4. Detalj av tvärsnittet i fig. 2, mikroetsat (1% Nital). Eggpartiet visar en skiktad övervägande perlitisk struktur, med tydlig korn tillväxt i ytskiktet. Foto S. Modin. — Detail of fig. 2 etched in 1% Nital. The cutting edge shows a piled, mostly pearlite, structure, with coarser grain in the surface area, possibly due to cold hammering. Photo S. Modin.



mits genom att välla samman ett flertal tunna lameller eller stänger av skilda materialslag. Vid sidan av den rent estetiska effekten har damaskeringen troligen avsevärt förbättrat svärdets bruksegenskaper. Genom att rätt utnyttja de olika ståltyperna har man kunnat öka både hårdheten och segheten i klingan. Damaskeringstekniken har de senaste åren diskuterats mycket av bl. a. Anstee-Biek, Anteins, Böhne, France-Lanord, Liestöl och Salin.

En äldre hårdhänt konservering av ett svärd kan någon gång ha resulterat i att damaskeringsmönstret kommit att framträda, men oftast är det först en genomlysning med t. ex. röntgen som avslöjar klingans höga klass. Detta beror dels på att damaskeringen är hopvälld av ställameller med skiljaktigheter i den kemiska sammansättningen, och därmed också med olika benägenhet att rosta, dels på att själva damaskeringstekniken med sina många vällfogar ofta erbjuder särskilt lämpliga angreppspunkter för korrosion. Detta förhållande innebär tyvärr också att ju tydligare damaskeringen framträder på röntgenbilden, desto sämre bevarad är den i allmänhet. Ett bra exempel lämnar svärdet SHM 13202: 5, ur ett depå- eller offerfynd från Äversta, Glanshammars sn, Närke. Röntgenfotografiet (fig. 1) ger en ovanligt klar bild av damaskeringen, medan det polerade och etsade tvärsnittet av samma svärd (fig. 2) visar att korrosionen är nästan total i de damaskerade partierna. Men också i de fall då föremålet är mycket väl bevarat ger röntgenbilden en tämligen klar bild av damaskeringsmönster och andra tekniska särdrag.

Redan ett så enkelt förfaringsätt som röntgenomlysning visar sig alltså kunna ge en helt annan och fördjupad bild än den »ytbedömning» som vi i allmänhet har sett oss hänvisa till. Att på allt sätt söka vidga våra bedömningsgrunder av det arkeologiska materialet har varit ett viktigt led i de undersökningar kring svensk förhistorisk järnhantering som sedan några år bedrivs under professor Wilhelm Holmqvists ledning.³ Här har också företagits en systematisk röntgenfotografering⁴ av framför allt svärd och spjut, i syfte att uppnå en bättre klassificering och notering av tekniska differenser. Men för att fullständiga bilden av ett föremål är det nödvändigt med större materialkännedom och bättre kunskap om tillverkningstekniken. På

³ Se Helgö — Järnundersökningen Årsrapport 1965 samt Helgö — Metallundersökningar Årsrapport 1966.

⁴ Denna fotografering utförs hos Tekniska Röntgencentralen, Stockholm.

dessa punkter har man främst tillgång till den kemiska analysen och till den metallografiska undersökningen. Sådana undersökningar har ganska länge företagits och även på svenskt material,⁵ men mestadels endast på enstaka exemplar och alltför sporadiskt för att kunna ge underlag för hållbara slutsatser. Ett systematiskt utnyttjande av de möjligheter som modern teknik erbjuder arkeologin har emellertid blivit absolut nödvändigt om vi vill vidga gränserna för vårt vetande.

Som en följd av den systematiska röntgenomlysningen har förvånansvärt många damaskerade svärd påträffats. Dessa konstfärdigt smidda klingor förekommer i Sverige framför allt under folkvandringstid och vendeltid i åtskilliga exemplar över hela landet. I särklass står dock vissa gotländska svärd, där damaskeringen gjorts allt mer komplicerad med raka och snodda mönsterpartier i rytmisk inbördes växling.

Ett sådant damaskerat, växelmönstrat svärd ingår i en serie metallografiska undersökningar som under 1966 utfördes vid Institutet för Metallforskning av bergsingenjör Sten Modin.⁶ Detta svärd kommer från Sandegårda-gravfältet i Sanda sn, Gotland, och tillhör ett större fynd som tillvaratogs av markägaren vid bortodling av enligt uppgift 8 gravar. Fyndkombinationerna är tyvärr omöjliga att rekonstruera. I sin helhet tycks dock fyndet tillhöra äldre vendeltid med dess typiska uppsättning av smycken, bl. a. förekommer flera tidiga ryggknappsspännen. Till denna tid torde därför med tämligen stor säkerhet också svärden ur fyndet kunna föras. Denna datering bestyrks ytterligare av att samma växelmönster i damaskeringen som hos det nu undersökta Sandegårda-svärdet (fig. 5) förekommer på svärdet i Sutton-Hoo-fyndet.⁷ Detta väl utförda växelmönster gjorde det särskilt önskvärt att genom en metallografisk undersökning närmare lära känna den smidesteknik som ligger till grund för denna typ av svärdsklinga.

En metallografisk undersökning innebär vanligen att en metallyta slipas och poleras samt i mån av behov etsas för att sedan granskas i metallmikroskop. Gäller det helt oskadade föremål kan man ibland göra anslipningar av mycket små ytor för att få svar på bestämda detaljfrågor, som eggbehandling o. dyl. Det bästa resultatet ger dock

⁵ Se t. ex. Arbman 1937, Exkurs II.

⁶ Raä dnr 636/67.

⁷ Aitchison, 1960, s. 256, fig. 119.

självfallet ett tvärsnitt genom lämplig del av föremålet. I många fall har man att göra med starkt skadade föremål, avbrutna eller fragmentariska, där ett tunt slipsnitt utan vidare kan tas utan att nämnvärt förringa föremålets antikvariska värde. Till denna kategori hörde också det nu undersökta svärdet SHM 7480: 40 från Sandegårda, där man på grund av dess fragmentariska skick utan större antikvariska betänkligheter kunde göra ett snitt tvärs över klingan.

Förutsättningar för den metallografiska undersökningen

En granskning av ett polerat slipsnitt i metallmikroskop ger först och främst tillfälle att analysera mikrostrukturen och att därigenom dra slutsatser om utgångsmaterial och bearbetningsmetoder. På polerade och etsade ytor framträder gränserna mellan kristallkornen som ett nätverk i mikroskopet, beroende på att kornytorna etsar olika snabbt och därför kommer att ligga på olika nivå. Järn består ju av sammanlagrade kristallkorn, och inom vart och ett av dessa små korn är atomerna enhetligt orienterade i ett regelbundet tredimensionellt mönster, vars riktning varierar från korn till korn.

Järnet i stål uppträder i flera »allotropa modifikationer» eller faser, var och en med sin särskilda kristallstruktur. Upp till omvandlingstemperaturen $A_c 1$ (vid svalning $A_r 1$) är den stabila fasen α -järn eller *ferrit*. Över $A_c 1$ uppträder istället γ -järn eller *austenit* och vid mycket hög temperatur kan denna antingen återgå till ferrit (vid mycket låg kolhalt) eller börja smälta. $A_c 1$ ($A_r 1$) varierar med kolhalt och legeringshalt. Den är vid rent järn 911°C men sjunker med ökande kolhalt till ett minimum av 723°C vid ca $0,8\%$ C. Lösligheten för kol är betydligt större hos γ -järnet, liksom kol i sin tur är austenitbefrämjande, dvs. vid legering med kol vidgas temperaturområdet för austenitens stabila tillstånd. När austenit svalnar utskiljs vid $A_r 1$ (om svalningshastigheten ej är för hög) samtidigt ferrit och järnkarbid eller *cementit* (Fe_3C) varvid en finlamellär blandningsstruktur av ferrit och cementit kallad *perlit* bildas. Hos undereutektoida stål (med mindre än $0,8\%$ C) utskiljs först ferritkorn, medan kolet anrikas i den kvarvarande austeniten, som då den slutligen lokalt uppnått $0,8\%$ C plötsligt övergår till perlit. Övereutektoida stål (C-halt över $0,8\%$), som dock endast undantagsvis förekommer i förhistoriska före-



Fig. 5. Svärdet SHM 7480:40 från Sandegårda, Sanda sn, Gotland. Foto N. Lagergren. ATA. — Sword from Sandegårda, parish of Sanda, Gotland. Photo N. Lagergren. ATA.



Fig. 6. Översiktsbild av det pölerade tvärsnittet av Sandegårda-svärdet, i makroetsning (Stead I). Foto (mörkfält) S. Modin. — Transverse section of the Sandegårda-sword, etched in Stead I. Photo S. Modin. 1: 1,5.

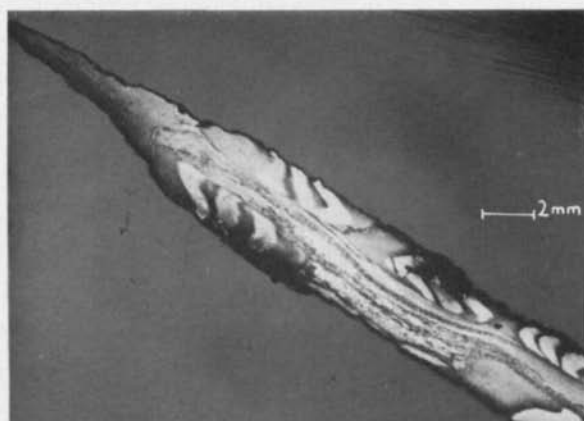


Fig. 7. Del av tvärsnitt av Sandegårda-klingen i makroetsning (Stead I). Obs. den ändrade mönsterriktningen i det undre, högra damaskeringsbandet, den ljusa vållsömmen mot eggpartiet, samt den tydliga skiktningen i mittpartiet. Foto S. Modin. — Part of section in fig. 6, etched in Stead I. Observe the changed direction of the pattern in one of the composite rods, the clearly visible weld seam between core and cutting edge, and the piled structure of the core. Photo S. Modin.

mål, ger på motsvarande sätt först cementit och sedan perlit. Fördelningen av perlit och ferrit eller cementit i en etsad yta ger därför en god uppfattning om kolhalten.

Variationer i struktur och kornstorlek, och därmed i stålets egenskaper, kan åstadkommas genom olika former av värmebehandling, avsiktlig eller oavsiktlig. Vid en förlängd uppvärmning strax under den temperatur vid vilken austeniten normalt skulle bildas tenderar den cementit som finns i perliten att anta en sfärisk form. Detta eliminerar eller minskar spänningar i materialet och gör det mjukare (mjukglödning). En sådan struktur har i några fall påträffats hos

föremål som torde ha varit med på gravbålet. I ett sådant fall har strukturen givetvis inte något smidestekniskt intresse, eftersom ursprungsstrukturen före glödningen förlorats. På grund av den långsamma svalningen i ett sådant gravbål kan också korntillväxt uppträda. Kolhalten i föremålets ytskikt kan också förändras, beroende på om det vid tillräckligt hög temperatur hamnat i en avkolande eller uppkolande zon av bålet.

Av de avsiktligt åstadkomna strukturförändringarna efter smidning är härdningen viktigast. Den innebär att stålet först austenitiseras (uppvärms över Ac_1) och sedan avkyls så snabbt att austenitens normala omvandling till perlit undertrycks. I stället kvarhålls kolet i en tvångslösning när austeniten vid betydligt lägre temperatur övergår till den hårda strukturen *martensit*.

Stålets *hårdhet* kan mätas genom att en hård spets eller kula trycks med en bestämd kraft mot den polerade ytan, varefter intrycket mäts. I föreliggande undersökning har hårdheten mätts enligt Vickers med 5 kg belastning, med en skala graderad upp till 1 000 H_V , där ren ferrit ligger under 100 H_V medan martensit kan visa värden på över 900 H_V .

Metallografisk undersökning av Sandegårda-svärdet⁸

Ett polerat tvärsnitt av svärdet makroetsades först med Stead I, ett etsmedel som gör att förorenade partier av stålet, framför allt sådana som innehåller fosfor, framträder ljusa, och fotograferades sedan i några gångers förstoring. På så sätt kunde en överskådlig bild av klingans uppbyggnad åstadkommas, se fig. 6. (Denna bild är dock i motsats till övriga tagen i mörkfält, så att fosforhaltiga partier här är mörka.) Det framgår klart av fig. 6 att svärdet är sammansatt av 11 särskilda delar, två eggar, ett kärnparti samt på vardera sidan om kärnpartiet 4 sammansatta damaskeringsband. Varje sådant band består till synes av 7 skikt, där tre är ljusare och bildar ytans mönster. Redan makroetsningen i fig. 7 antyder att de tre lameller som bildar

⁸ Denna sammanfattning bygger dels på bergsingenjör Modins kommentarer i rapporten Raä 636/67, dels på studium av rapportens bildmaterial samt på diskussioner med bergsingenjörerna Modin, Tholander (som även varit vänlig att granska denna uppsats) samt Hermelin.

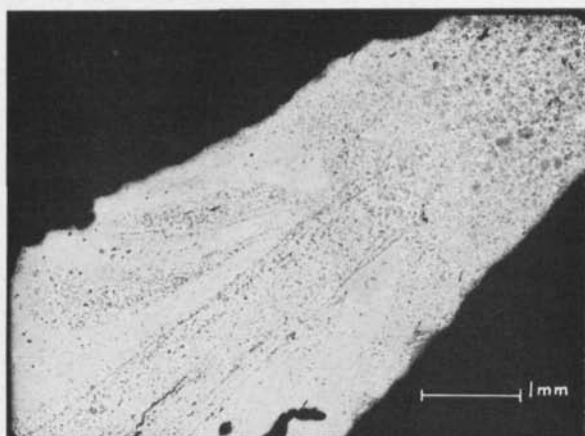


Fig. 8. Parti av Sandegårda-svärdets damaskering i mikroetsning (1% Nital). De individuella lamellerna i damaskeringen kan klart urskiljas, med iakttagbara vållsömmar och skarpa gränser mellan rent ferritiska partier och sådana med perlit. Foto S. Modin. — Part of the pattern welding of the Sandegårda-sword, etched in 1% Nital. Each pattern strip in the composite rod can be clearly seen, with weld seams between ferrite and pearlite areas. Photo S. Modin.

mönstret håller en betydligt högre fosforhalt än de 4 »buffertlamellerna» i samma band. En kontroll av fosforhalten gjordes genom mikrosondanalys, som visade att de mönsterbildande partierna hade en så hög fosforhalt som 0,9%, medan buffertlamellernas fosforhalt inte översteg 0,1%.

I fig. 8 syns ett parti av damaskeringen i mikroetsning (etsmedel 1% Nital). De fosforrika lamellerna i damaskeringen visar sig här bestå av så gott som ren ferrit i ganska grova korn, medan de 4 omgivande lamellerna med låg fosforhalt har en blandad ferrit-perlitstruktur. Vällfogarna mellan fosforrika och fosforfattiga lameller är så väl utförda att knappast någon slagg kan iakttas. Också fogen mellan damaskeringsbandet och kärnan är mycket väl utförd. På fig. 9 syns i nedre delen fogen mellan två av damaskeringsbanden. På motsatta sidan, till vänster på bilden, har ett rostangrepp helt utplånat fogen mellan banden.

Kärnan i svärdet har en ojämn skiktad struktur av övervägande ferrit, men stråk med något högre andel perlit förekommer. Den genomsnittliga kolhalten i kärnan har uppskattats till 0,1%. Varierande

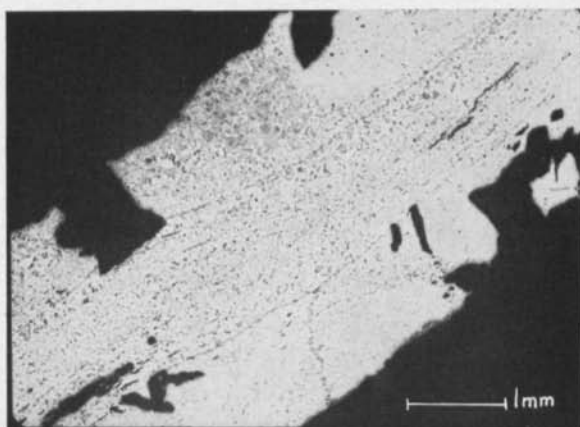


Fig. 9. Parti av Sandegårda-svärdets damaskering i mikroetsning (1% Nital). I bildens undre kant ses en fog mellan två damaskeringsband, i den övre kanten har motsvarande fog helt utplånats genom ett kraftigt korrosionsangrepp. Foto S. Modin. — Part of the pattern welding of the Sandegårda-sword, etched in 1% Nital. On one side of the core a clearly visible joint between two composite rods; on the other side the corresponding joint has been completely destroyed by corrosion. Photo S. Modin.

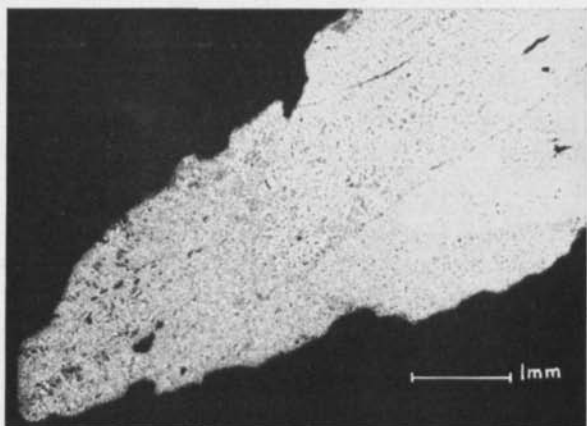


Fig. 10. Sandegårda-klingans ena egg i mikroetsning (1% Nital). Vällfogen mellan mittparti och egg urskiljs endast svagt i mikroetsning, jämför fig. 7! Foto S. Modin. — Cutting edge of the Sandegårda-blade, etched in 1% Nital. The weld seam between core and edge is only faintly visible here (cf. fig. 7). Photo S. Modin.

kornstorlek och långsträckta slaggstråk antyder att kärnpartiet är uppbyggt av flera skikt. Eggarna har en jämnare fin struktur av övervägande perlit (fig. 10) och en uppskattad kolhalt av omkring 0,5%. Hårdheten i eggen, 172 och 185 kg/mm², visar också en stegring utöver värdena hos ren ferrit. Fogen mellan eggen å ena sidan och kärnpartiet med dess påvållda damaskering å den andra är så gott som helt osynlig i mikroetsning (fig. 10). I fig 7, makroetsad med Stead I kan dock fogen iakttas som ett smalt vitt band, vilket tyder på en lokal förhöjning av fosforhalten.

Av särskilt intresse i denna undersökning är de iakttagelser som gjorts beträffande damaskeringstekniken, där man kunde konstatera att en ståltyp med särskilt hög fosforhalt kommit till användning, både i Sandegårda-svärdet och i det från Glanshammar. Redan vid en äldre undersökning av några damaskerade svärd ur Nydam-fyndet⁹ hade man lagt märke till kraftiga variationer i kol-fosfor-halten, med låg kolhalt där fosforhalten var hög och vice versa. Vid Nydam-undersökningen hade emellertid fenomenet ännu inte kunnat sättas i förbindelse med själva damaskeringstekniken. Förhållandet är, att såväl kol som fosfor bildar additionslösning med järnet, dvs. deras atomer är så mycket mindre än järnets att de kan ta plats mellan atomerna i järnkristallen. Men medan kolet är austenitbefrämjande avsnör fosfor i stället austenitområdet, dvs. ju högre fosforhalt ett stål har, desto mindre benägenhet får det att ta upp kol. I ett material med ojämn kolhalt är benägenheten för diffusion normalt stark, dvs. kolet tenderar vid uppvärmning av arbetsstycket att fördela sig jämnt i järnet. Skulle nu damaskeringen ha bestått endast av lameller med omväxlande rent järn och kolstål, skulle alltså damaskeringsmönstret ha löpt risk att genom diffusion suddas ut under utsmidningens gång. I och med att man i stället begagnat sig av högfosforhaltigt material har den dekorativa effekten av damaskeringsarbetet garanterats. Kol- och fosforpartierna har också skilda etsegenskaper. De fosforrika har större motståndskraft, även mot rost, vilket framträder på t. ex. fig. 7.

Ett väsentligt problem i den tidiga smideskonsten var att åstadkomma en egg med tillräckligt goda egenskaper. De extrema kraven har formulerats i sagan om Veland Smed; eggen skulle på en gång kunna klyva städet och skära sönder den ulltuss som enbart av flodens kraft fördes mot klingan. Svärdet skulle kunna »klyva en rustning».

⁹ Schürman, 1959.

Vad som kan tyckas märkligt vid undersökningen av Sandegårdssvärdet är att någon härdning av eggarna inte förekommer, trots att kolhalten är väl lämpad för detta, dvs. att inga spår av martensit eller besläktade strukturer kan iakttagas. Vid en granskning av de tveeggade svärd som varit föremål för metallografisk undersökning visar det sig emellertid att härdning av eggarna endast sällan föreligger. Salin anför ett exempel där, något oklart, troostit¹⁰ och möjligen något martensit skulle förekomma,¹¹ och Pleiner nämner ett karolingiskt svärd, som skulle ha martensitstruktur i eggarna.¹² Den bild av strukturen som finns ger dock inte tillräcklig upplysning i frågan. Det samma gäller det svenska svärd (okänd fyndort) som avbildas i Arbman 1937 Taf. 72. I enstaka fall är det givetvis tänkbart att en ursprunglig härdstruktur kan ha försvunnit i och med att vapnet varit med på gravbålet och då kommit upp i så höga temperaturer att austenit åter bildats; i de fall då martensit saknas i svärd ur offer- eller depåfynd måste man emellertid räkna med att härdning faktiskt inte förelegat, även om vapnet i övrigt är av hög kvalitet, och trots att härdtekniken bevisligen varit känd. Härdning användes ofta t. ex. vid tillverkning av knivar, liar m. m., men också vid tillverkningen av eneggade svärd. Klingsmide och knivsmide har emellertid långt in i nyare tid byggt på skilda hantverkstraditioner, och det är möjligt att boskillnaden mellan dessa båda yrkesgrenar redan då varit lika starkt dragen.

Det finns emellertid andra metoder än härdning att åstadkomma ökad hårdhet och eggskärpa. Genom s. k. vikvällning i kombination med uppkolning kan man betydligt öka hårdheten. Ju flera skikt, desto större hårdhet, upp till ett visst antal vikningar, där hårdheten på nytt avtar. Denna teknik har bl. a. använts i japanska svärd. Ser man så på svärdet från Glanshammar (fig. 4) framträder en tydlig skiktning i eggmaterialet. Här uppträder också fläckvis korntillväxt, vilket skulle kunna tydas som spår efter en kallbearbetning. En sådan kallbearbetning skulle också som effekt ha en ökad hårdhet med förbättrad skärpa i eggen. Men även om dessa metoder medvetet har använts torde det vara mycket svårt att nu mäta deras forna effekt i det oftast svårt skadade förhistoriska materialet. Enda utvägen måste här vara praktiska smidesförsök med åtföljande materialprovning.

¹⁰ Troostit är en ytterst finlamellär perlit som bildas vid tämligen snabb avkylning.

¹¹ Salin 1957, III, s. 72.

¹² Pleiner, 1958, T. LXII, s. 164 o. 279.

Sammanfattning

Den metallografiska undersökningen av Sandegårda-svärdet har gett ytterligare bidrag till tidigare vunna erfarenheter av den långt drivna smideskonst som utmärker de damaskerade svärd. Kanske det mest karaktäristiska draget i denna typ av klingsmide är välltekniken, den till konst drivna sammanfogningen av en svärds klinga från många smådelar. Undersökningen har framför allt gett belägg för att en hittills inte uppmärksammas stålqualität med hög fosforhalt använts i vissa bestämda sammanhang. Den har därmed också gett en betydligt klarare bild av den exakta materialkänedom som måste ha varit en förutsättning för damaskeringskonsten, där varje ståltyp fått sin effektivaste och mest ekonomiska användning. Ett tämligen mjukt och troligen mindre dyrbart material har använts i kärnan, till eggarna har använts högklassigt stål med väl avpassad kolhalt, och slutligen har damaskeringsmaterialet specialtillverkats för att med sitt mönster kunna göra tjänst som kvalitetsgaranti och klingans förnämsta prydnad. En långt driven specialisering ligger bakom dessa den germanska järnålderns praktvapen. Den viktiga frågan om hur många produktionsled denna specialisering omfattar kan besvaras först när tillräckligt många undersökningar av de olika materialens sammansättning och struktur föreligger. De olika ståltyperna kan mycket väl härröra från helt skilda produktionsorter och malmtyper, damaskeringsbanden kan ha tillverkats för sig och sålts buntvis till spjutsmeder och klingsmeder. När vi en gång får klarhet i dessa frågor har vi också fått en bättre uppfattning om tidens produktionscentra och näringsliv. Till detta mål kan vi emellertid endast komma genom systematiskt genomförda tekniska undersökningar av arkeologiskt väl genomarbetade föremålstyper.

Litteraturförteckning

- Aitchison, 1960, *A History of Metals, I*. London.
 Anstee, J. W., och Biek, L., 1961, A study in pattern welding. *Medieval Archaeology*, vol. V, 1961.
 Anteins, A., 1966, Im Ostbaltikum gefundene Schwerter mit damasziertem Klingen. *Waffen- und Kostümkunde*, 1966.
 Arbman, H., 1937, *Schweden und das karolingische Reich*. Stockholm.
 Bühler och Strassburger, 1966, Werkstoffliche Untersuchungen an zwei fränkischen Schwertern aus dem 9. Jahrhundert. *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 37, Heft. 8.

- Böhne, 1963, Die Technik der damaszirten Schwerter. *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 34, Heft 4.
- France-Lanord, A., 1949, La fabrication des épées damascées aux époques mérovingienne et carolingienne. *Le pays Gaumais*, 10. Nancy.
- Liestøl, A., 1951, Blodrefill og mål. *Viking* 14.
- Pleiner, R., 1958, *Alteuropäisches Schmiedehandwerk*.
- Salin, E., 1957, *La civilisation mérovingienne*, del III.
- Schürmann, E., 1959, Untersuchungen an Nydam-Schwertern. *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 30: 3.
- Schürmann, E., och Schroer, H., 1959, Härte- und Glühversuche an dem Klingenbruchstück eines Nydam-Swertes. *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 30: 3.

Summary

Since 1964 a research group has been working at the Museum of National Antiquities on problems concerning the Swedish prehistoric iron industry and its products. In order to identify iron districts by their trace element pattern, spectrographic analyses have been made. X-ray photographs have supplemented thorough archaeological examinations, to give a better understanding of the objects and the way they were made. Hitherto iron bars, swords and spearheads have been in the centre of interest in this research, which also includes, as often as possible, metallographic examinations. The radiographs have revealed an unexpectedly great number of damascened swords and spearheads. Many of them had already been severely damaged by fire and corrosion, which makes it much easier to use them for metallographic purposes, as they are not very appropriate for exhibition.

As an example of the results that can be obtained, the metallographic examination of a sword from Sandegårda, Gotland, is reported here. It is a pattern-welded sword, from about A.D. 600, badly damaged but still showing much the same pattern as the Sutton-Hoo sword. The examination has been made by S. Modin at the Institute of Metallurgical Research in Stockholm. A transverse section of the sword is shown in Fig. 7. Important from the archaeological point of view are the macro-etchings (Figs. 7, 9), which show very clearly how the sword was welded together of eleven different pieces, that is, built up around a core, decorated on both sides with four composite rods, forming the damascene pattern, and completed with edges. As Fig. 9 shows, each composite rod is built up of seven strips, three of which form the pattern desired. These strips have been shown by microsond analyses to have the astonishingly high phosphorous content of 0.9 per cent, although the adjacent strips in each composite rod have a P-content below 0.1 per cent. By micro-etching (Fig. 10) one clearly sees the difference between the high-phosphorous, ferrite strips and the low-phosphorous, pearlite ones. This difference in the P-content has been observed in other cases, as in the sword in Figs. 1-5, and it must thus be assumed that the smith deliber-

ately chose iron steel with high a phosphorous content in order to produce a clearly visible damascene pattern with determined metallurgical effects.

A great knowledge of the different steels and their welding properties characterizes the swordsmith of the Migration Period. The edges of this sword were not tempered; neither were those of most pattern-welded swords. Other ways of getting a good edge seem to have been known, such as employing a folding technique followed by cold hammering. The structure in Figs. 4 and 5 might well be the result of such treatment.