



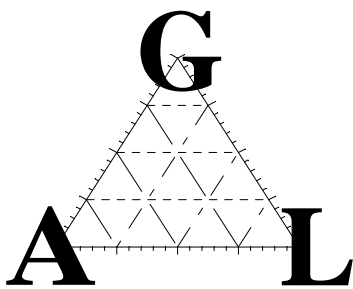
Riksantikvarieämbetet

GEOARKEOLOGI

Dnr 423-4074-2004

**Järnhantering på en boplats i Veta
Arkeometallurgisk analys av slagger**

RAÄ 45
Mantorp sn
Östergötland



Gearkeologiskt Laboratorium

Analysrapport nummer 6-2006

Avdelningen för arkeologiska undersökningar
UV GAL

*Annika Willim
Lena Grandin*

Inledning

På uppdrag av Johan Stenvall, UV Öst, Riksantikvarieämbetet har Geoarkeologiskt Laboratorium (UV GAL) utfört en arkeometallurgisk undersökning av material från Veta, Mantorp sn, Östergötland.

Materialet kommer från en arkeologisk undersökning av boplatslämningar. Området är beläget intill en bäckfåra. Inom undersökningsområdet påträffades bl.a. härdar, stolphål, gropar, rännor, diken och kulturlager. Fynden består till största del av keramik, bränd lera, slagg och en del flinta. Bland keramiken påträffades även Trattbägarkeramik från perioden 3500–3300 f.Kr. som även ger boplatsten en stenåldersprägel. Detta representerar därmed den äldsta fasen inom området. Den yngsta fasen ligger framförallt inom folkvandringstid, ca 400–550 e.Kr. Undersökningsområdet har kunnat delas in i tre skilda boplatsområden, A, B (delas i B1 och B2) och C. Från område A finns lämningar efter ett treskeppigt långhus från romersk järnålder tillsammans med en aktivitetsyta med härdar och gropar. Område B med sina tre delområden är mer komplext med flera hus från flera tidsperioder. Inom område C finns även där ett flertal hus samt ett större aktivitetsområde med flera stora härdar. Det av GAL analyserade arkeometallurgiska materialet kommer från område B1, B2 och C där störst andel material kommer från område B1.

Mål och syfte

UV GAL har utfört en arkeometallurgisk undersökning av material från järnhanteringen på platsen. Undersökningen genomfördes för att försöka karaktärisera järnhanteringen på platsen och se om några processtekniska detaljer kunde urskiljas. Såsom t.ex. vilka processled som finns representerade i materialet. Är det slagger från reduktionsprocessen eller smide? Frågan vilka järnkvaliteter som producerats berörs också.

Material och metod

UV GAL har studerat det arkeometallurgiska materialet. Materialet bestod av slagger, ugnsväggsbitar och järn. UV Öst har tillhandahållit planer över det aktuella området och övrig dokumentation.

En specialregistrering av det arkeometallurgiska materialet gjordes i Intrasis. Specialregistreringen är utformad för att vara så allmän som möjligt för slagger och ska kunna användas för att skilja mellan olika slaggtyp. Indelningen av slaggtyp görs på flera olika nivåer. Efter att inledningsvis ha klassificerat fynden som slagg finns alternativ som berättar om vilken process inom järnhanteringen som slaggen kommer från (*processtyp*). Här skiljer vi på slagger som kommer från blästugn och masugn som representerar olika framställningstyper, samt primär- och sekundärsmidesslagger vilka är olika delmoment i smidet. *Slaggtyp* kan också karaktäriseras i mer allmänna termer då en reduktionslagg (framställning i blästugn) skiljs från en smidesslagg (ej närmare definierat). I vissa fall kan man klart säga att slaggerna kommer från blästbrukets processer men inte klarlägga om det är reduktions- eller primärsmidesslagg. Därför kan en processtillhörighet vara överordnad. Attributen bör därför ses tillsammans, speciellt i tveksamma fall. När slaggerna uppvisar karaktäristiska morfologiska drag som bottenformer, är dropp- eller kulformade, stearinformade eller förekommer som glödskaal finns möjlighet att lägga till detta som *undertyp*.

Utöver slaggtyp noterades avtryck och magnetism. Starkt magnetisk slagg/järn separerades och registrerades för sig. Specialregistreringen omfattade också ugnsväggs- och ässjematerial.

De bitar som kunde bestämmas som bränd eller smält lera sorterades in under respektive kategori. En uppdelning i kategorierna ugnsvägg, infodring eller blästermunstycke gjordes även. Avtryck och magring noterades också.

I samband med specialregistreringen gjordes en okulär granskning av materialet. Detta innebär att med hjälp av stereolupp, magnet och vid behov sågning, bilda sig en preliminär uppfattning om materialets karaktär, för att kunna indela det i kategorier och typer. Resultatet är beroende av materialets omfång, kvalitet och representativitet.

Med utgångspunkt i specialregistreringen och den okulära granskningen av hela och delade fynd gjordes ett provurval för petrografiska och metallografiska analyser. Totalt valdes sex prover ut till analys.

Petrografisk och metallografisk analys

Petrografiska undersökningar utfördes i påfallande planpolariserat ljus på tre polerade slaggprover, tunnslip, för att identifiera materialets olika komponenter och texturella drag. Metallografiska undersökningar utfördes på tre polerade järnprover för att identifiera olika texturer, beroende på kemisk sammansättning och grad av bearbetning. Metallproverna etsades med 2 % nitallösning (för att observera innehåll och fördelning av kol och fosfor). Undersökningen genomfördes i ett Zeiss Axioskop 40A polarisationsmikroskop utrustad med en digitalkamera.

Mineral som vanligtvis bygger upp slagger från järnhantering beskrivs här kortfattat. Termerna återkommer i beskrivningarna för respektive prov. Slagger består huvudsakligen av olivin, wüstit och glas. Dessutom finns små mängder metalliskt järn. *Olivin* är ett silikatmineral med den allmänna formeln A_2SiO_4 , där A oftast är järn (fayalitisk sammansättning) men mangan, magnesium och kalcium kan förekomma i mindre mängder. *Wüstit*, FeO, är ett mycket vanligt inslag i slagger från blästbruket. Om höga koncentrationer av wüstit förekommer är slaggens totala järnhalt vanligtvis också hög. Mineralens kornstorlek avspeglar stelningförloppet, på så sätt att en finkornig slagg har stelnat hastigt, och en grovkornig långsamt. *Magnetit*, Fe_3O_4 , kan förekomma i stället för wüstit om temperatur och/eller syretryck är högre. Det betyder att magnetit vanligtvis uppträder i smidesslagger och wüstit i reduktionsslagger. *Glas* utgör slaggernas "restsmälta" och kan därför variera kraftigt i sammansättning beroende på vilka mineral som tidigare kristalliserat, slaggernas totalsammansättning och avkylningsförlopp. Droppar av *metalliskt järn*, några mikrometer stora, är också ett vanligt inslag i slagger.

Några termer som används för att beskriva metallen 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. *Stål* är samlingsbenämning på en smidbar järn-kol-legering med mindre än 2 % kol och som byggs upp en kombination av ferrit, cementit och perlit. Innesluten slagg består vanligen av flera mineral, bland annat *olivin* som är ett järnsilikatmineral, *wüstit* som är en järnoxid, och en *glasfas* som är en finkornig huvudsakligen ickekristallin fas vars sammansättning kan variera över stora intervall.

Fler termer som används inom järnframställning och smide återfinns i en bilaga.

Resultat

Materialgrupper och karaktäristiska drag

Vid specialregistreringen och den okulära granskningen av det arkeometallurgiska materialet kunde en generell uppdelning i olika grupper göras. Materialet består till största del av slagger, men även bränd och smält lera förekommer och då främst som väggmaterial till ugnar och ässjor. Enstaka fynd av järn samt bränt ben förekommer också. Samtliga okulärt granskade fynd finns representerade i tabellform, en för varje materialgrupp (tabell 1–3). I respektive tabell presenteras karaktäristiska drag i korthet. En mer detaljerad genomgång av de provtagna fynden (totalt 6 stycken) följer även nedan i detta kapitel.

Slagger

Kännetecknande för slaggerna är den vittrade ytan med sekundärt fastkittat material. Detta sekundärt bildade skikt framkommer även i tvärsnitt på flera av slaggerna. Denna ”beläggning” som troligtvis delvis bildats p.g.a. att slaggerna legat deponerade i en fuktig miljö gör slaggmaterialet svårtolkat. Efter en okulär genomgång verkar materialet bestå av både reduktionsslagger från blästugn och smidesslagger. Smidesslaggerna är primär- eller omsmältningsslagger. Flera har en skålformad botten och kan vara delar av mindre skällor (Fig. 1–2), men även en hel del fragment förekommer. I flera av slaggerna finns både ytligt, och i tvärsnitt, smält material bestående av sand och lera. Reduktionsslaggerna är mer trögflutna slagger (Fig. 3) och är strängflutna eller stearinformade med ett mer homogent tvärsnitt.

Tabell 1. Sammanställning (förenklat utdrag ur *Intrasis*) över okulärt granskad slagg från Veta, Östergötland, där slagger som har valts ut för analys har noterats.

ID	Kontext	Antal	Vikt (g)	Slaggtyp/ Processtyp	Avtryck	Magnetism	Kommentar
200056	FE11125	1	68	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg	Kol		
200070	FE11119	3	354	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg	Kol		Den större biten: en tung slagg som i tvärsnitt har ett skikt med tät, homogen slagg, därefter slagg med insmält sten och lera. Den mindre biten har en smält yta där sand och grus fastnat.
200091	FE11129	1	12	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg		Magnetisk	
200094	FE11346	2	31	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg			
200111	FE11122	3	240	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg	Kol		
200112	FE11120	1	399	Reduktionsslagg/ Blästugnsslagg	Kol		Troligtvis reduktionsslagg. Svagt skålformad botten. Skikt av sekundärt fastkittat material, lera, sand/sten. I tvärsnitt homogen slagg med inneslutet kol. Prov utvalt till petrografi.
200133	FE7616	15	316	Reduktionsslagg/ Blästugnsslagg		Svagt magnetisk	Korroderad och vittrad slagg. Fyndposten består

ID	Kontext	Antal	Vikt (g)	Slaggtyp/ Processtyp	Avtryck	Magnetism	Kommentar
							troligtvis enbart av reduktionsslagger. Vissa bitar har en något strängfluten och stearinformad karaktär vilket tyder på detta. I tvärsnitt, tät och homogen slagg.
200134	FE11121	1	181	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg	Kol		Bottenslagg.
200139	Stolphål 7427	2	23	Reduktionsslagg/ Blästugnsslagg			Bottenslagg. Tät och homogen slagg i tvärsnitt. Prov utvalt till petrografi.
200145	FE7615	1	18	Reduktionsslagg/ Blästugnsslagg			Bottenslagg. Tät och homogen slagg i tvärsnitt.
200151	FE3687	1	3	Reduktionsslagg/ Blästugnsslagg			
200163	L9393	28	164	Obestämd		Svagt magnetisk	Korroderade och urlakade slagger som påverkats av en fuktig miljö och är kraftigt fragmenterade. Svårt att avgöra om dessa härrör från sekundär- eller primärsmede. I tvärsnitt ser slaggen tät och homogen ut.
200164	L9990	18	505	Reduktionsslagg/ Blästugnsslagg		Svagt magnetisk	Vittrad slagg som troligtvis är reduktionsslagg. Tvärsnittet på en av de större bitarna visar tät och homogen slagg.
200165	L 9393		836	Obestämd	Kol	Svagt magnetisk	Kraftigt vittrad yta med fastkittat material, även smält material. Detta gör det svårt att okulärt avgöra om det är reduktions- eller smidesslagg. I tvärsnitt liknande utseende där slagg finns blandat med vittrat material.
200166	L9393	22	469	Obestämd		Svagt magnetisk	Större fyndpost med slagger som kan innehålla en blandning av primärsmidesslagger och reduktionsslagger. En slagg sågades och tvärsnittet visar en tät och relativt homogen slagg.
200354	FE8534		637	Reduktionsslagg/ Blästugnsslagg	Kol	Svagt magnetisk	Större bitar samt fragment av vad som ser ut att vara reduktionsslagger. En av de större bitarna har ett homogent tvärsnitt med tät slagg. Korroderad och vittrad yta. Bland fragmenten finns slagg med smält lera.

ID	Kontext	Antal	Vikt (g)	Slaggtyp/ Processtyp	Avtryck	Magnetism	Kommentar
200364	FE8535	1	36	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg		Starkt magnetisk	Primärsmidesslagg som kan vara en del av en omsmältningsslagg. I tvärsnitt har slaggen spridda partier med järn samt ett skikt med sammankittat material, lera mm som troligtvis påförts efter slaggen deponerats.
200377	Stolphål 3095	2	60	Reduktionsslagg/ Blästugnslagg			Reduktionsslagg där den större biten i tvärsnitt är relativt blåsig med slagg däremellan. Den mindre biten har en del med smält lera, ugnsvägg.
200379	FE8533	1	361	Blästugnslagg	Kol	Magnetisk	I tvärsnitt finns partier med järn.
200413	FE9383	6	115	Blästugnslagg		Omagnetisk	Kraftigt vittråd slagg med skikt av sekundärt material, troligtvis reduktionsslagg. I tvärsnitt tät och homogen med vittrat parti.
200414	FE9381	3	113	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg			Troligtvis en primärsmidesslagg.
200419	FE9380	1	21	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg		Svagt magnetisk	
200428	FE9382	1	141	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg			
200458	FE11131	1	4	Obestämd			Inslag av lermaterial.
200473	FE11134	1	369	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg	Kol		
200478	FE11265	2	2	Reduktionsslagg/ Blästugnslagg			Två bitar tät och fluten reduktionsslagg. I tvärsnitt är slaggen tät och homogen.
200480	FE11145	1	21	Obestämd			Urlakad och vattenpåverkad slagg där det är svårt att avgöra om det rör sig om en reduktionsslagg eller möjligtvis en primärsmidesslagg. I tvärsnitt slagg som precis som ytan "lakats ur".
200515	FE11137	1	57	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg			I tvärsnitt: Relativt homogen slagg, men med enstaka inslag av smält lera.
200516	FE11144	1	696	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg	Kol		Troligtvis en primärsmidesslagg, vittråd yta med sekundärt material som kittats fast. I tvärsnitt tät slagg och det sekundära ytskiktet som en lins runt slaggen. Prov utvalt till petrografi.

ID	Kontext	Antal	Vikt (g)	Slaggtyp/ Processtyp	Avtryck	Magnetism	Kommentar
200518	FE11133	1	650	Reduktionsslagg/ Blästugnslagg	Kol		Hårt vittrad slag som troligtvis är en reduktionsslagg. I tvärsnitt partier med slag och inneslutet kol samt vittrat och sekundärt sammankittat material.
200519	FE11135	3	674	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg	Kol		Troligtvis smidesslagg. Hårt vittrad yta med sekundärt påfört material. I tvärsnitt större kolinneslutningar samt skikt med smält material.
200529	FE9390	2	54	Smidesslagg/ Primärsmidesslagg			Troligtvis smidesslagger. Slaggen har en hårt åtgången vattenpåverkad yta. I tvärsnitt finns ett skikt av insmält material, utöver det tät och homogen slag.
200545	FE9389	1	19	Reduktionsslagg/ Blästugnslagg			Tät och homogen slag i tvärsnitt.

ID 200112 (F105)

Okulär beskrivning: En blästugnslagg med ett skikt av sekundärt fastkittat material, lera, sand/sten. Svagt skålformad botten. I tvärsnitt är slaggen homogen (Fig. 1) med inneslutet kol.

Petrografi: Slaggen är skiktad med avseende på mängden porer och sammansättning (Fig. 7). Det finns dock inga välvgränsade kylda kontakter mellan skikten som ändå är tydligt åtskilda eftersom en del innehåller stora mängder wüstit och andra saknar wüstit eller har små mängder. Slaggen är genomgående tämligen grovkornig, allra grövst i de nedre delarna. Den domineras av olivinlameller och en glasfas. Den senare är i vissa områden sannolikt kaliumrik (nära leucit i sammansättning). I den övre delen av slaggen är olivinlamellerna zonerade (Fig. 8), dvs har en sammansättning i kärnan och en annan i ytterkanten (allra ytterst, ca 5 mikrometer bred). Wüstitinnehållet varierar som nämnts ovan från skikt till skikt. Enstaka droppar av metalliskt järn finns fördelade i snittet, främst i de nedre delarna. Runt en del hålrum finns små mängder rost.

Kommentar: Slaggen är huvudsakligen homogen i sin uppbyggnad. Den är visserligen skiktad men det finns inga tydliga avkylningskontakter mellan de olika skikten. Sannolikt har slaggen, med lite varierande sammansättning, runnit till efter hand. När senare bildad slaggen har runnit över en tidigare bild har den äldre varit något stelnad men inte helt varför gränserna mellan dem har suddats ut. I den övre delen ser vi tecken på att temperaturen i slaggen har sjunkit och den har stelnat varefter den sannolikt har höjts igen, av nytillförd slaggen. Totalt sett har stelningsgången gått långsamt vilket har gjort att slaggen blivit tämligen grovkornig. Den okulära bedömningen om reduktionsslagg kan därmed inte bekräftas av analyserna.

ID 200139 (F132)

Okulär beskrivning: En tät och homogen bottenslagg. Tät och homogen även i tvärsnitt.

Petrografi: Mestadels tät, lokalt porös slaggen med i stora drag homogen sammansättning (Fig. 9). Den är genomgående finkornig, i vissa delar mycket finkornig. Slaggens ytterkanter är delvis vittrade varför den ursprungliga sammansättningen där inte helt kan urskiljas. Slaggen består av olivinlameller, järnoxider och en glasfas. Järnoxiderna förefaller vara såväl

dendritisk wüstit som magnetitkristaller (Fig. 10). I de grövre wüstitdendriterna finns också lameller av magnetit. Lokalt är slaggen mycket rik på järnoxider. Kontaktytor mellan flera mindre slagglöden kan anas med hjälp av sammansättningsvariationer men är ej helt skarpa (Fig. 9). Glasfasen är vanligen sannolikt kaliumrik (nära leucitsammansättning). Olivinlamellerna är vanligen homogena i sammansättning men zonerade kristaller förekommer också, med avvikande sammansättning i deras absoluta ytterkant, i några fall flera olika. Inget metalliskt järn har observerats. I slaggens ytterkant finns enstaka områden där slaggen har fäst vid kvartskorn i varierande storlekar.

Kommentar: Slaggen är tämligen homogen i sin uppbyggnad. Den har stelnat hastigt (är finkornig) i en miljö där tillgången på syre varit tämligen god (magnetitförekomst). Antingen är det en smidesslagg eller en slagg från reduktionsprocessen som stelnat utanför ugnen eller i ett mycket tidigt skede i ett öppet underliggande slagguppsamlingsutrymme.

ID 200516 (F351)

Okulär beskrivning: Troligtvis en primärsmidesslagg med vittrad yta med sekundärt material som kittats fast. I tvärsnitt är slaggen tät och ett sekundärt ytskikt ligger som en lins runt slaggen (Fig. 2).

Petrografi: Slagg som är kraftigt korroderad i nedre och övre delar där den även innehåller silikatrikt material i varierande sammansättning (från underlag?). För övrigt är slaggen tämligen homogen i sin uppbyggnad med enstaka större hålrum. Slaggen är något finkornigare än i F105. Den består av olivinlameller, glas/leucit och dendritisk wüstit. Flera diffust avgränsade, mindre områden, har avvikande sammansättning i form av lägre wüstitinhåll (Fig. 11). Dessa områden är droppformade och liknar små slaggdroppar som, delvis stelnade på ytan, har droppat ner i en större volym slagg som inte heller den varit helt avkyld. De olika slagggkomponenterna har dock inte blandats med varandra innan fortsatt avkylning och stelning. Metalliskt järn har inte observerats i snittet. Zonerade olivinkristaller förekommer här och var i slipet. I wüstiten finns vanligen lameller av magnetit (Fig. 12–13).

Kommentar: I låg förstoring i mikroskopet ger denna slagg ett tämligen homogent intryck. I högre förstoring framträder den betydligt heterogenera. Det senare ser vi i form av zonerade olivinkristaller som indikerar växlande temperaturer och den rikliga förekomsten av magnetitlameller i wüstitdendriterna som visar tillgång på syre. Vi ser dock inga tecken på att andra komponenter än ”slag” ingår. Troligen har denna slagg bildats under ett tidigt skede i smidet (omsmältning) av ett slaggrikt järn eller ett senare smide utan tillsättning av annat material.

Smält och bränd lera

Den smälta och brända leran består huvudsakligen av ugnsvägg/ässjevägg eller infodring. Flera av dessa är bitar bestående av flera skikt med ett yttre röd- eller gråbränt, därefter ett smält och ibland även ett tredje skikt med slagg. Den smälta leran indikerar hög temperatur vilket bör kopplas till en ugnsmiljö. Detta tyder med andra ord på att flera av bitarna bör komma från processled där järnet bildats eller omsmälts. Även i en ässja blir det varmt men vanligen något lägre temperaturer. Ofta har även den brända leran gräsavtryck. Intressant att notera är även ett avtryck efter blästerrör ID 200577, Fnr. 394.

Tabell 2. Sammanställning över okulärt granskad bränd och smält lera/ ugnsväggsmaterial från Veta, Östergötland.

ID	Kontext	Antal	Vikt (g)	Bränd lera	Smält lera	Magring	Avtryck	Kommentar
200583	L9990	4	84	X	X	Kvarts		
200581	FE9383	10	376	X	X	Kvarts		Förutom lera även 2 bitar värmepåverkad,

ID	Kontext	Antal	Vikt (g)	Bränd lera	Smält lera	Magring	Avtryck	Kommentar
								basisk bergart.
200578	FE111133	1	304	X	X		Gräs/strå	Tydliga skikt med bränd o smält lera.
200178	FE8497	5	7	X		Kvarts	Gräs/kol	
200058	FE11127	1	38	X				
200174	Stolphål 3104	1		X	X			
200381	FE8540	1	16	X	X	Kvarts	Gräs	Tydliga skikt med bränd och smält lera.
200543	FE9392	4	15	X				
200420	FE9388	6	86	X	X	Kvarts	Gräs	Tydliga skikt med bränd och smält lera.
20095	FE11143	1	30		X	Kvarts		Bitvis glasig
200028	L10606	1	32	X			Obestämt, rektangulärt.	Sammanfattat material med sand/grus och brända benbitar.
200140	FE7629	1	4		X	Kvarts		Glasig
200577	FE9381	2	106	X	X	Kvarts	Blästerrör/gräs	Tydliga skikt med bränd och smält lera.
200574	L391	16	214	X	X	Kvarts	Gräs	Tydliga skikt med bränd och smält lera.
200576	FE9382	3	23	X	X	Kvarts	Gräs	Tydliga skikt med bränd och smält lera.
200575	L9393	4	51	X	X			Tydliga skikt med bränd och smält lera. Även rester av slagg på den största biten.
200580	L9393	6	53	X	X	Kvarts		Ugnsvägg
200570	FE3697	1	1	X		Kvarts		Infodring
200376	FE8541		8	X		Kvarts		Sammanfattat material bestående av lera med kvartsmagring och inslag av kol.
200571	FE11118	1	1	X		Kvarts		Troligtvis fragment av ugnsvägg/infodring

Järn

Enstaka fynd av järn bestående av hoprostade mindre delar av föremål eller ämnen förekommer. I materialet finns även ett större korroderat järnstycke. Tvärsnittet på denna bit visar en kärna av järn som är omgiven av korroderat material.

Tabell 3. Sammanställning över okulärt granskat järn från Veta, Östergötland.

ID	Kontext	Antal	Vikt (g)	Sakord	Kommentar
200569	Härd 5724	1	2143	Järn	Korroderad järnklump/lupp, i tvärsnitt en kärna av något poröst järn. Prov utvalt till metallografi.
200573	L9393	1	12	Järn	
200579	L 9393	2	9	Järn	
200582	L9990	1	9	Järn	I tvärsnitt koncentration av metalliskt järn. Prov utvalt till metallografi.
200157	FE3688	1	3	Järn	I tvärsnitt metalliskt järn. Prov utvalt till metallografi.

ID 200157 (F150)

Okulär beskrivning: Mindre bit av järn med korroderad yta (Fig. 4). I tvärsnitt framträder endast korroderat järn.

Metallografi: I tvärsnittet framträder en rektangulär yta ca 10×3 mm stor. Denna består av korroderat järn (Fig. 14), som omges av material som fäst sekundärt mot metallen i rostskiktet. Ingen selektiv textur framträder som visar om det varit stål eller järn. En spricka löper in från ett hörn, diagonalt mot mitten varefter den följer snittets långsida, men inte ända fram till kortsidan. Det är vanligt med sprickbildning längs slagginneslutningar men någon slagg har inte kunnat urskiljas längs sprickan. Däremot finns enstaka andra små (ca 100–150 mikrometer långa) slagginneslutningar i korrosionen. Längs den ursprungliga ytterkanten finns enstaka rester av bevarat metalliskt järn, några mikrometer i storlek (Fig. 15). En större koncentration järn är nästan 100 mikrometer stor. Ingen ytterligare information om järnets sammansättning framträder vid etsning av provet.

Kommentar: Stycket har sannolikt varit ett järnföremål eller ämnesjärn. Däremot är det inte möjligt att avgöra vilken sammansättning och kvalitet det har haft.

ID 200569 (F386)

Okulär beskrivning: Järn med korroderat ytskikt. I tvärsnitt syns en tydlig kärna av något poröst järn (Fig. 5–6).

Metallografi: Endast en mindre del av stycket ingår i det undersökta polerprovet. Provet består av något poröst metalliskt järn, lokalt något korroderat. Runt hålrummen, där en viss topografi fås, kan en textur anas. Denna formar korn som är något rundade. Slagginneslutningar är ovanliga och svåra att skilja från en del korroderade områden. Sannolikt finns endast ett fåtal glasiga inneslutningar. Etsning av provet visar att metallen genomgående är grovkornig. Den varierar dock lite sammansättning. Områden med ferrit med lite cementit i kornkontaktarna (Fig. 16) avlöses av områden med perlit och ferrit (Fig. 16–17) för att lokalt övergå i enbart perlit (Fig. 17). Enstaka områden innehåller perlit med cementit (Fig. 18) i kornkontaktarna.

Kommentar: Den stora sammanhängande järnklumpen är något porös vilket innebär att den inte har blivit helt tätad, kompakterad. Eventuellt har den endast blivit hopslagen vid upptagning ur blästugnen eller efter en omsmältning. Den är av god kvalitet med tanke på den lilla mängden innesluten slagg. Kvaliteten är något sämre vad gäller sammansättningen som varierar från mjukare material till hårdare stål. Den ojämna sammansättningen kan vara en anledning till att smeden dömt ut stycket för fortsatt användning och därför låg det kvar på platsen.

ID 200582 (F399)

Okulär beskrivning: Mindre bit av järn med korroderad yta. I tvärsnitt partier med metalliskt järn.

Metallografi: Den del som valts för den metallografiska undersökningen utgörs av en 4×3 mm stor, oregelbunden koncentration av metalliskt järn omgivet av rost. Lokalt finns en selektivt korroderad textur som antyder en kolhalt– troligen perlit med cementit (Fig. 19) i kornkontaktarna. Korrosionen har byggts upp successivt och bildar ställvis koncentrisk mönster. I korrosionen finns enstaka områden med slagg (Fig. 20). Slaggen utgörs av dendritisk wüstit och en eller två silikatrika faser, åtminstone glas, möjligen även olivin (mycket finkornigt). Det finns ännu finkornigare och mindre slagginneslutningar i det bevarade metalliska järnet. Dessa saknar wüstit. Den större koncentrationen av bevarad metall

utgörs till större delen av ferrit. Endast i en del finns en högre kolhalt via övergång från ferrit till ferrit och något perlit till lokalt endast perlit (Fig. 21).

Kommentar: Stycket är för kraftigt korroderat för att säkert kunna bedömas. Det har utgjorts av järn som varit något ojämnt i kvalitet varierande från mjukt järn till stål. Eventuellt är det främst järn med högre kolhalt som har korroderat och det med lägre kolhalt är bevarat. Det innehåller oregelbundet formade, rundade slagginneslutningar som inte visar några tecken på långtgående smidesarbete eftersom de då vanligtvis är mer långsträckta. Stycket har därför sannolikt gått förlorat vid ett tidigt processled i järnhanteringen, möjligen för att det inte var av tillräckligt god kvalitet för fortsatt bearbetning.

Tolkning och diskussion

En av de primära frågorna för den arkeometallurgiska undersökningen var att fastställa huruvida slaggerna är reduktions- eller smidesslagger, det vill säga vilket processled de tillhör. Vid den okulära granskningen kunde vissa drag skönjas som gjorde att materialet preliminärt kunde klassificeras. Dessa resultat tillsammans med de från analyser och studier av materialet i mikroskala ger en tolkningsbild som diskuteras nedan.

Processled

Den okulära genomgången av materialet ger en något spretig bild av både reduktionsslagger från blästugn och smidesslagger. Smidesslaggerna är primär- eller omsmältningslagger där flera har en skålformad botten och kan vara delar av mindre skållor. Även en hel del fragment förekommer. Vid studier av slaggerna i mikroskala blir bilden mer enhetlig och slaggerna ser ut att härröra från smidesprocessen. Några av de slagger, utan entydiga morfologiska drag, som inledningsvis bedömts vara från reduktionsprocessen (se Tabell 1) har därmed omtolkats som smidesslagger efter genomförda analyser.

Slaggerna som har undersökts i mikroskop uppvisar vid en första anblick, i låg förstoring, homogena drag som är karaktäristiska för reduktionsslagger. I högre förstoring framträder dock några detaljer som tyder på varierande temperaturer (oliviner med varierad sammansättning inom varje kristall) och god syretillgång (förekomst av magnetitkristaller och/eller magnetitlameller i wüstit). Detta är mer typiskt för smidesslagger. Efter att ha definierat slaggerna som smidesslagger är nästa fråga vilket av smidets processled de kommer ifrån. Trots allt är de tämligen homogent uppbyggda, utan annan inblandning än av material från underlag och liknande. De är tämligen homogena i stora drag vilket skulle kunna bero på att de bildats under ett tidigt smide, omsmältning av slaggrikt järn. Om ett senare led i smidet, föremålssmidet skulle vara alternativet, har processen ägt rum under en tämligen lång sammanhängande period som skapat mycket slagg utan mellanliggande avkyllning. Dessutom ser vi inget tecken på inblandning av annat material i processen, som till exempel användning av vällsand. Det förefaller därmed som mest troligt, med utgångspunkt i de få slagger som har undersökts i mikroskop, att slaggerna har bildats under ett tidigt led i smidesprocessen.

Den brända och smälta leran fungerar även som en hjälp på vägen till tolkningen av vilket processled det analyserade materialet härrör från. Flera av bitarna har både ett smält och bränt skikt av lera. Detta indikerar hög temperatur vilket är vanligt i en ugnsmiljö snarare än i en ässa där temperaturerna vanligtvis är något lägre. Detta tyder med andra ord på att flera av bitarna bör komma från processled där järnet bildats eller omsmälts i någon typ av ugnskonstruktion.

Sekundärsmide?

Järnproverna visar upp en något varierad bild. Ett av de kraftigt korroderade proven, ID 200157, innehöll så lite metall att det inte gick att avgöra dess ursprungssammansättning. Däremot gick det att se att det troligen varit ett ämnesjärn eller föremål. Vi kan naturligtvis inte därmed befästa att sekundärsmide har förekommit men detta stycke är åtminstone en indikation på detta. Ett annat korroderat prov, ID 200582, har sannolikt gått förlorat vid ett tidigare processled eftersom det inte föreföll vara påverkat av smidesarbetet. Det lilla järn som fanns kvar i detta prov var huvudsakligen mjukt järn men delar i rosten visade att det funnits även delar som utgjorts av stål.

Det största stycket, ID 200569, som har analyserats består av ett inte helt tätt järn. I tvärsnitt ser man att stycket har en del hålrum. Dessa framträder även i mikroskala. Förekomsten av dessa hålrum, i kombination med att metallen är grovkornig, antyder att det inte har bearbetats vidare efter framställningsprocessen eller en omsmältning. Sannolikt är det en del av luppen som endast har slagits ihop. Styckets kvalitet är mycket god i det avseende att mängden slag är mycket låg. Kvaliteten är något sämre om vi tittar på metallens sammansättning. Den del vi har undersökt utgörs mest av lågkolhaltigt stål men lokala ”öar”, främst runt hålrummen, har betydligt högre kolhalt och består av hårdare stål.

Slagger, järn och datering

Intressant i sammanhanget är även att ställa sig frågan huruvida det arkeometallurgiska materialet kan bidra till en datering av boplatsen i Veta. Från slaggernas fyndkontext finns dateringar från 50 – 100 f.Kr. fram till 300 – 400 e. Kr. Frågan som ställts var också om slaggerna kan ha haft sitt ursprung i bronsålder. Denna fråga kan dock inte besvaras enbart utifrån okulära studier av materialet. Bronsålderns slagger avviker inte tillräckligt mycket morfologiskt för att dessa skall kunna urskiljas vid en okulär granskning. För att fastställa huruvida slaggerna hör hemma i bronsålder eller järnålder rekommenderas en datering av kol i slaggen. En datering skulle sannolikt också vara möjlig med hjälp av kolet i järnet, det vill säga stålet, i den större järnklumpen för att ytterligare kunna fastställa när järnhanteringen ägde rum på boplatsen i Veta. Flera möjligheter till datering finns med andra ord, men inte innan ramen för denna undersökning.

Figurer



Figur 1. Slagg, ID200112 (F105) i tvärsnitt.



Figur 2. Smidesslagg, ID200516 (F351) i tvärsnitt.



Figur 3. Exempel på fluten reduktionsslag, ID200115. Ej analyserad.



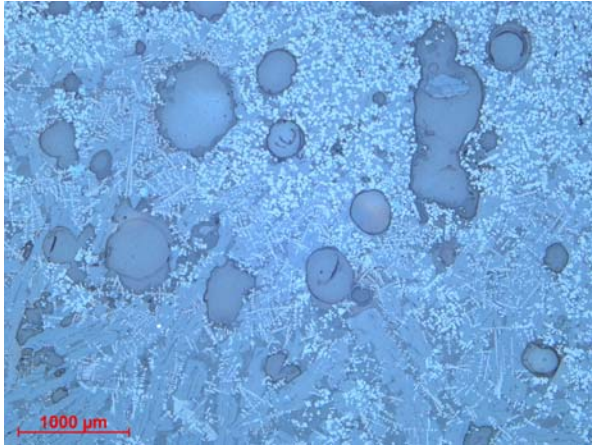
Figur 4. Korroderad mindre järnbit, ID200157 (F150).



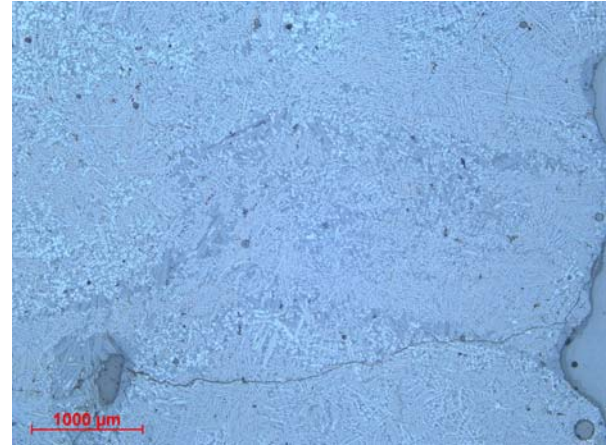
Figur 5. Den större järnbiten, ID200569 (F386). Tvärsnittet innehåller ett större stycke metalliskt järn som är svart att se på bilden, järnet har partvis fått en beläggning av rost.



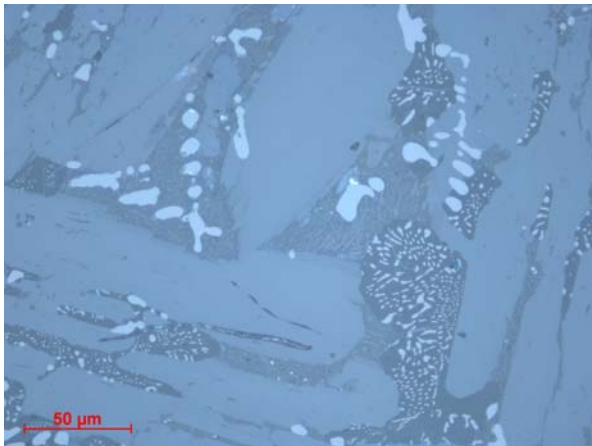
Figur 6. Delar av järnbiten ID200569 (F386) efter itusågning.



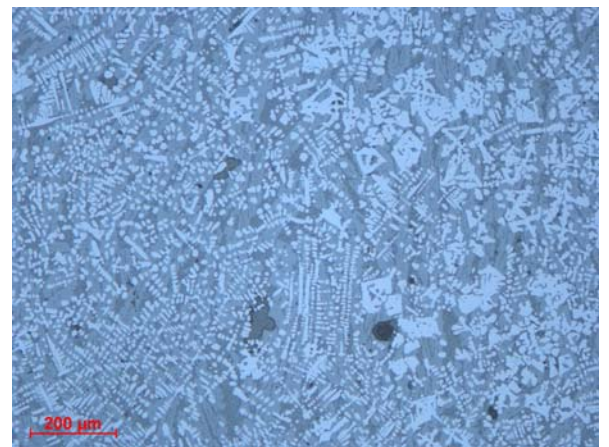
Figur 7. ID200112 (F105). Slaggen är skiktat med avseende på mängden porer och sammansättning. I nedre delen i bilden finns olivin och glas. I övre även wüstit.



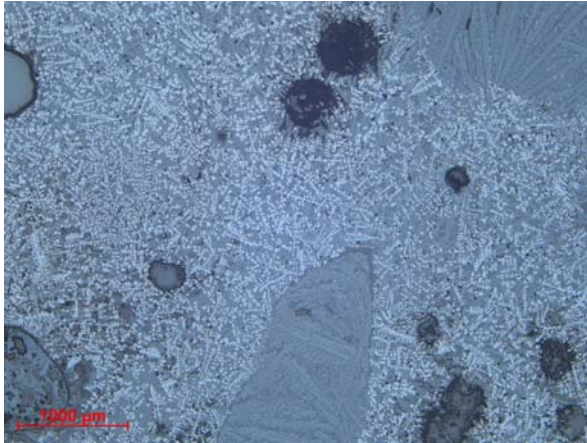
Figur 9. ID 200139(F132). Slagg uppbyggd av flera slagglöden med diffusa kontakter.



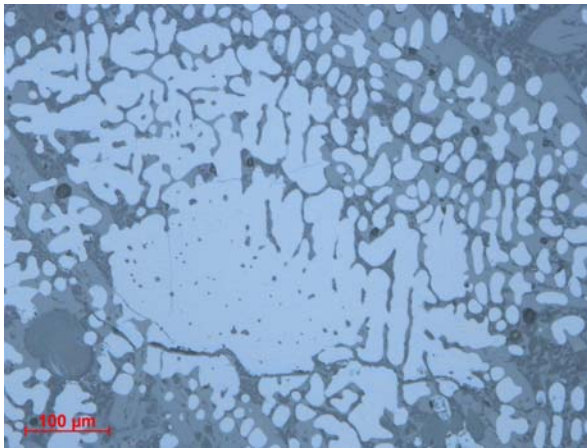
Figur 8. ID200112 (F105) Detalj på zonerad olivin.



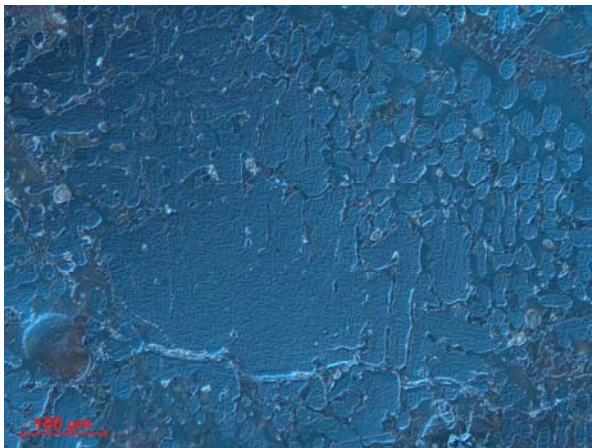
Figur 10. ID 200139 (F132). Detalj på slaggen där både wüstit (till vänster) och magnetit (mest till höger) förekommer. De har samma ljusa färg men olika form – wüstiten är runda former på rad, magnetiten skelettformade romber.



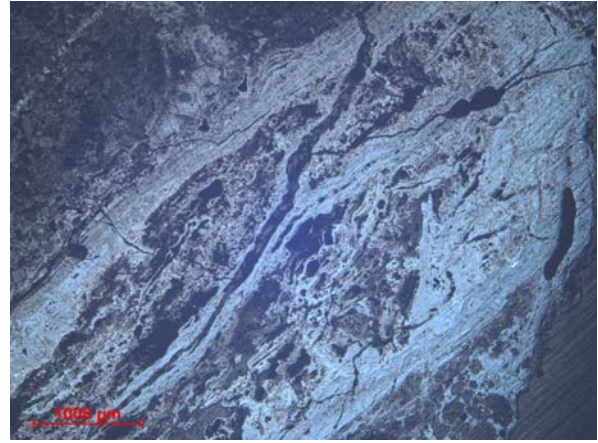
Figur 11. ID 200516 (F351). Slagg som mestadels är rik på wüstit (ljus) men "droppar" utan wüstit finns också. En avlång centralt och en rundare uppe till höger, där olivinlamellerna är tydligt framträdande.



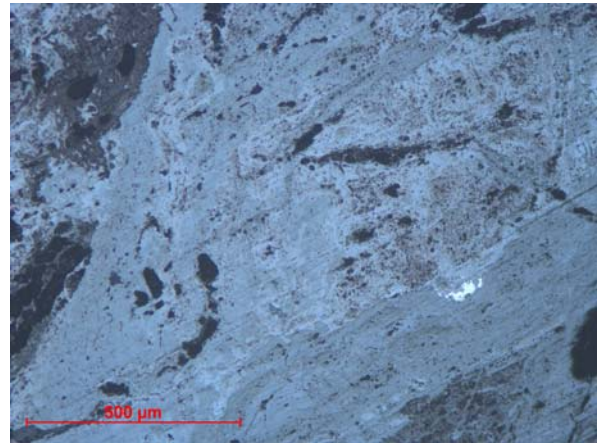
Figur 12. ID 200516 (F351). Detalj på wüstit i slaggen.



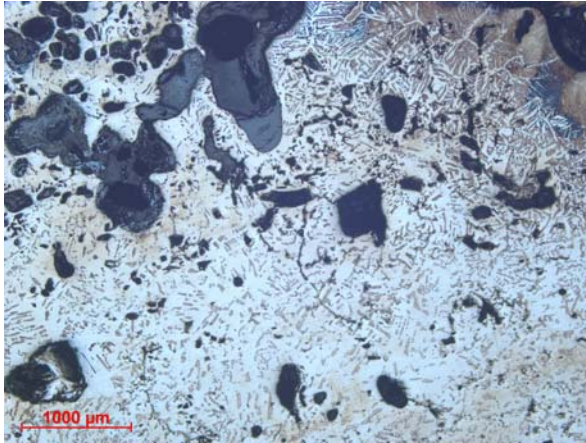
Figur 13. ID 200516 (F351). Som föregående men annan inställning på mikroskopet som visar lameller av magnetit (små nålar) i wüstiten.



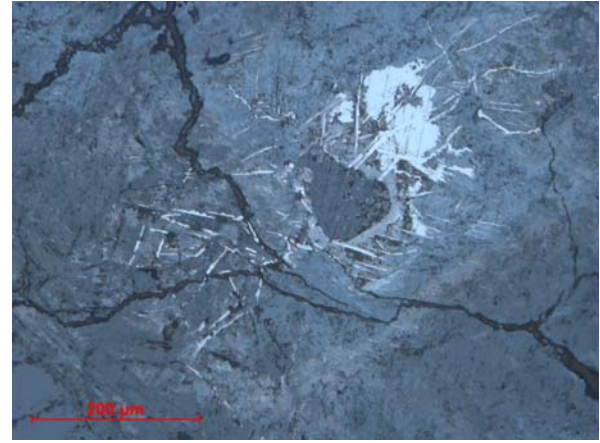
Figur 14. ID 200157 (F150). Korroderat metallstycke. Dess ursprungliga ytterkant kan följas i ett rektangulärt tvärsnitt. Delar av detta framträder diagonalt genom bilden. I den övre delen syns gränsen mot påfört material som är mörkare grått.



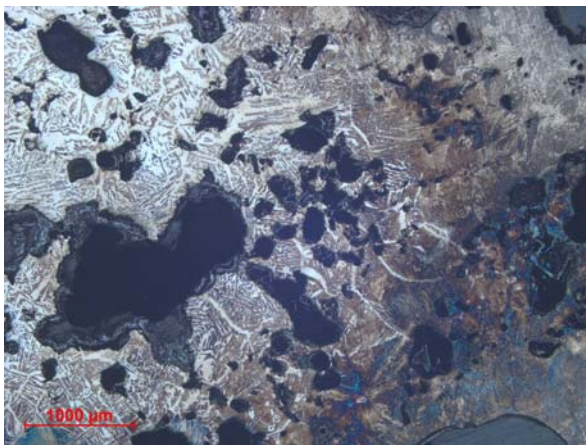
Figur 15. ID 200157 (F150). Detalj ur föregående bilds högra kant där en liten bevarad rest av metalliskt järn (ljus) finns nära ytterkanten.



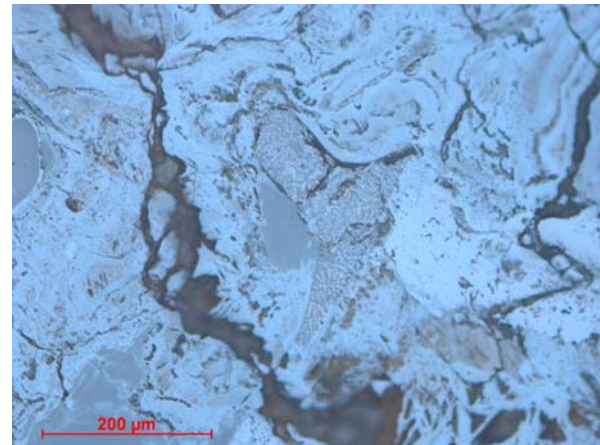
Figur 16. ID200569 (F386). Varierande kolhalt. Från ferrit och lite perlit i vänstra delen till perlit i övre högra. Grå fläckar är hålrum och rost.



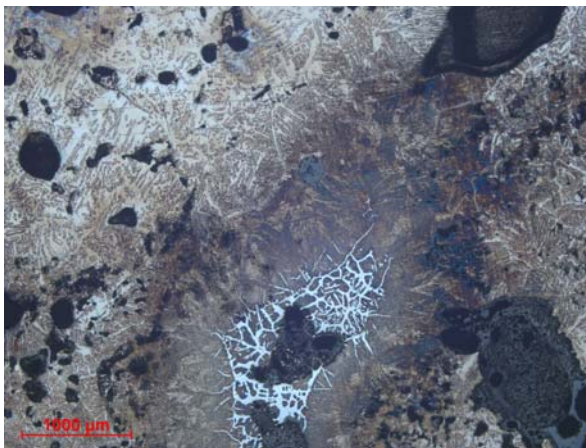
Figur 19. ID 200582 (F399). Detalj på delvis korroderat järn där de ljusa nålarna är cementitlameller i perlit.



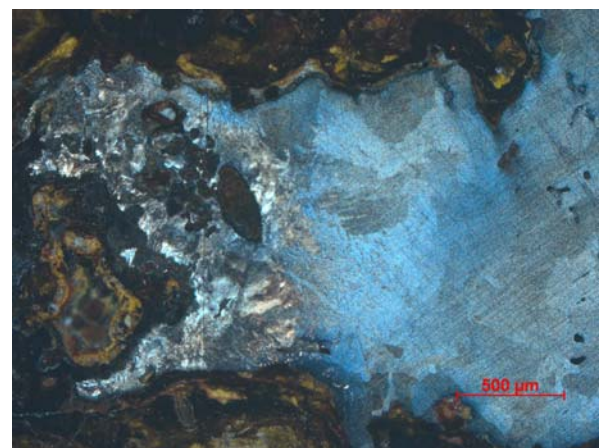
Figur 17. ID200569 (F386). Som i föregående men genomgående något högre kolhalt.



Figur 20. ID 200582 (F399). Slaggimmeslutning i rost (flammigt grått).



Figur 18. ID200569 (F386). Som i föregående men genomgående något högre kolhalt.



Figur 21. ID 200582 (F399). Detalj på bevarat järn. Den dominerande ferriten till höger övergår till perlit till vänster.

Bilaga

Terminologi

- *Blåsning*: Benämning på en järnframställningscykel i blästugn.
- *Blästbruk*: Äldre, och på nytt använd term för ”primitiv” och ”lågteknisk” järnhantering.
- *Blästeröppning*: Öppning för luft i blästugnens schaktvägg.
- *Blästugn*: Ugn för framställning av blästjärn av myr-, sjö-, jord- eller bergmalm.
- *Boss*: Finkornigt kantigt arkeometallurgiskt material som fastnar på en magnet, exklusive glödskal och sprutslag.
- *Brottyta*: Ojämn flatsida på lerschaktsfragment som spruckit (vanligen i linje med vidjearmeringen) och lossnat från schaktet som ett flak.
- *Chargerung*: Uppsättning/påfyllning av malm och bränsle i blästugnen.
- *Droppslag*: Små, sfäriska slaggskal som bildas i blästugn under process.
- *Fingerstruken*: In- och/eller utvändigt lerslammad schaktvägg med fingeravtryck.
- *Forma*: Trattformigt rör av lera, i historisk tid av metall, beläget mellan bläster rör på bälg och blästerfokus i ugnens ställe.
- *Förslagning*: Schaktväggspartier (insidor) varpå smält slag har stelnat.
- *Förglasning*: Delar av leran har smält, ändrat färg (vanligen till svart) och i vissa fall blivit genomskinlig eller glasartad. Förekommer på schaktväggens insida, nära blästerintagen.
- *Glödskal*: Metallglänsande magnetiska skal av järnoxid som uppkommer i sekundärsmidet när järn bearbetas med kraft på ett järnstäd med slägga eller smideshammare.
- *Grop med slag*: En grop utan närmare anläggningsbestämning fylld med slag och ugnrens (jfr *slaggrup*).
- *Grynjärn*: Samma som malmsylt.
- *Gråbränd*: Lera som bränns i syrefattig miljö blir grå.
- *Innerbit*: Schaktväggsfragment som saknar ytsida.
- *Insida*: Schaktväggsfragment med minst en ytsida, som kan vara förglasad, förslagad eller som har en bukighet som talar för insida, eller som är rödare på en sida (insidan) än på motstående sida.
- *Lupp*: Smälta som konsoliderats eller blivit omsmält.
- *Magring*: Medel, vanligen kvartssand, barr, hår eller tagel, som leran till schaktet blandas ut med för att den inte ska sprängas av ångtrycket när den blir het.
- *Malmsylt*: Efter reduktion i ugn kvarvarande material som inte kan karakteriseras som malm, inte som järn eller slag, som har reducerat men inte har järn/slagg-separerats. Är knottrigt/grynigt och magnetiskt. Lämpligt material att sätta upp vid nästa blåsning.
- *Primärsmide*: Inledande förädling av smältan, endera i form av omsmältning eller genom upprepad uppvärmning och kompaktering.
- *Reduktion*: Kallas den process som under tillförsel av luft (egentligen syrgas, O₂) och hetta förmår träkol (eg CO och CO₂) att reducera malm som huvudsakligen består av järnoxid (Fe₂O₃) till järn (Fe) och slag.
- *Rensslag*: Slagg som faller ifrån smältan när den tas ur ugnen eller vid arbetsmomenten kall- och varmrensning (jfr *ugnsrens*).
- *Rödbränd*: Lera som bränns i syrerik miljö blir röd.
- *Sekundärsmide*: Uträckning av kompakterat järn och föremålssmide.
- *Skarvkant*: Fog mellan två lerlimpor i schaktväggen. Ibland synlig på lerväggsfragment.
- *Slagggrup*: Under schaktugn liggande grop för uppsamling av slag, det vill säga gropen fylls med slag redan under processens gång (jfr *grop med slag*).
- *Smälta*: Produkt av reduktionsprocessen. Denna järnklump är slaggrig och inte direkt smidbar. Den behöver upparbetas/förädlas först.
- *Sprutslag*: Små, sfäriska slaggskal som bildas flygande i luften under primärsmidets slutfas, när smältan under välltemperatur kompakteras till ett tätt järn.
- *Stearinslag*: Slaggklump som bildas genom att slaggräng läggs till slaggräng. Den erhåller ett utseende som kan associeras till hur rinnande stearin formeras kring foten av ett ljus. Bildas i eller utanför blästugn.
- *Ställe*: Härdrum, det vill säga området där smältan bildas, under blästerintagen men ovanför en eventuellt underliggande slagguppsamlingsgrop.
- *Ugnrens*: Material (slag, träkol, infodringsfragment o d) som efter varje blåsning rensas ur ugnen, och kastas i varp, gropar eller på markytan, innan nästa blåsning påbörjas.
- *Uppsättning*: Påfyllning av träkol och/eller malm.
- *Ytbit/ytsida*: Schaktväggsfragment med en fingerstruken eller slätad sida, men oklart om in- eller utsida.

Allmänt om analyser av arkeometallurgiska material

Järn

Järn framställs i olika kvaliteter för olika ändamål. *Rent järn* (*Fe*, *ferrit*) är relativt mjukt eller som man brukar säga blött. Man blev tidigt medveten om att om järn innehöll kol fick man en produkt som var hårdare och som kunde härdas dvs man fick ett *stål*. Detta har varit en mycket eftertraktad produkt ända fram i våra dagar. Men om järnet innehåller för mycket kol, 1,5-2%, uppstår svårigheter. Järnet är inte längre smidbart, i varje fall inte utan föregående avkolning. Järn med mer än 2% kol kallas *gjutjärn* eller *tackjärn*. Det finns i huvudsak två sorter gjutjärn, vitt och grått. Gjutjärn används till olika typer av gjutna produkter t ex grytor. Tackjärnet färskas (dvs avkolas) för att användas till olika typer av stålprodukter med olika stålqualiteter. Ett annat ämne som i halter upp till 1% är bra, för t ex eggår, är fosfor (P). Fosfor gör järnet hårt men sprött, vilket innebär att om järnet innehåller för mycket fosfor blir det vad vi kallar kallbräckt och riskerar gå sönder vid låga temperaturer (Crew & Salter 1993). Fosforhalten i kolfritt järn medför att det ferritiska järnet kristalliserar i två olika strukturer med något olika sammansättning. Den ena strukturen är den normala korngränsformen, den andra, helt utan korngränser återfinns ”ovanpå” ferritstrukturen (Modin & Lagerquist 1978, Hjärthner-Holder & Larsson 1996; 1997, Salter & Crew 1997; Buchwald & Wivel 1998). Dessa strukturer framträder vid etsning av provet. Fosforinnehållet begränsar också upptaget av kol i järnet. Järnets och dess legeringars hårdhet mäts ofta i Vickershårdhet, HV.

Järnet och dess texturer

Austenit: En form av järn. Rent järn förekommer som austenit mellan 910°C och 1388°C. Under och ovanför dessa temperaturer förekommer järnet som ferrit. Austenit är omagnetiskt och kan lösa ca 2% kol. I legerade stål kan austenit existera i rumstemperatur och dess hårdhet är ca 150 HV. Vid avsvälning urskiljer austeniten vid vissa temperaturer ferrit eller cementit beroende på kolhalten och ändrar sammansättning vid 723°C där resten av austeniten omvandlas till perlit.

Cementit: En förening av järn och kol (Fe_3C). Huvuddelen av stålets kolhalt föreligger som cementit då ferrit löser mycket lite kol. *Cementitlameller* är tunna skivor av cementit som vanligen förekommer i perlit. *Korngräns cementit* är cementit utskild i austenitens korngränser före perlitbildningen vid den eutektoida punkten (se eutektoid) 723°C i övareutektoida stål (över 0,8% kol). Korngräns cementit verkar försprödande.

Ferrit: Järn (Fe) med ett kubiskt rymdcentrerat atomgitter (atomgitter = regelbundet arrangemang av atomer), dvs med en järnatom i vardera hörnet och en i centrum på kuben. Rent järn förekommer som ferrit (-järn) upp till 910°C där det omvandlas till austenit. Under 768°C är ferrit magnetiskt. olegerad ferrit har en hårdhet av ca 90 HV vid rumstemperatur. *Korngräns ferrit* är ferrit utskild i austenitkorngränserna före perlitbildningen vid eutektoida temperaturen, 723°C, i undereutektoidiska stål, dvs stål med en kolhalt under 0,8%.

Järnfosfid: En förening mellan järn och fosfor (Fe_3P). Den är mycket hård men samtidigt spröd - fosforrikt järn är kallbräckt, vilket t ex gör att fosforhalten på 1% P och däröver gör det omöjligt att smida.

Perlit: En struktur bildad vid den eutektoida temperaturen (723°C) i en järn-kol-legering. Perlit består omväxlande av lameller av ferrit och cementit som samtidigt skilts ut ur austeniten.

Stål: Produkten är smidbar och är en järn-kol-legering med mindre än 2% kol.

Eutektoid: En intim blandning av två eller flera kristallina faser i bestämda proportioner samtidigt utskilda ur en fast lösning. *Eutektoid kolhalt* är kolhalten för perlit i jämvikt, vilket i olegerade stål är 0,8%. Den *eutektoida punkten* är den punkt i ett fasdiagram som anger den bestämda temperaturen där reaktionen äger rum samt sammansättningen på eutektoiden. I järn-kol-systemet ligger den eutektoida punkten vid 0,8% kol och 723°C. Undereutektoidiskt stål har lägre kolhalt än 0,8% och övareutektoidiskt stål har en högre kolhalt än 0,8%.

Widmanstättenferrit: Ferrit som under relativt hastig svalning urskiljs som skivor som genomkorsar austeniten. Bildningen gynnas av grov austenitkornstorlek. Widmanstättenstruktur kan uppstå i både under- och övareutektoida stål. De båda typerna kan dock skiljas åt.

Smidesmetoder

Vällning: Sammanfogning av järnstycken genom smidning. Som hjälpmedel kan användas t ex vällsand, huvudsakligen kvartssand (SiO_2). *Vällsömmar* är mer eller mindre synliga sömmar mellan järnstycken som vällts samman.

Härdning: Upphettning till austenitområdet (se austenit) med en påföljande snabb avkylning i t ex vatten. Erhållen struktur kallas *martensit*. Den är hård och spröd utom vid låga kolhalter. Martensitvandlingen är i stora delar inte

tidsbunden utan mängden bildad martensit beror, för en given austenitsammansättning, istället på den temperatur till vilken kylningen skett.

Anlöpning: Värmebehandling av härdat stål för att moderera dess hållfasthetsegenskaper. Anlöpning innebär att stålets sprödhet minskar men att dess seghet ökar.

Okulär klassificering av slagger

Slagger är biprodukter från olika slags metallurgisk verksamhet. Reduktionsslagger bildas vid reducering av malm till metall. Reduktionsslagger, dvs slagger som uppstår vid t ex framställning av järn har vanligen en densitet på ca 3 kg/dm³, de har en tämligen homogen sammansättning samt visar flytstrukturer t ex som rinnande stearin (typiska för t ex Bergslagens stenramsugnar). Ugnar med anordning för slaggtappning kan ge lättflutna tappslagger. Många ugnar har infodrats med lera vilken är bränd, delvis smält samt vanligen förslaggad genom inblandning av reduktionsslagger.

Smidesprocessen kan underdelas i primärsmide (omsmältning och/eller rensning av smältan från slaggen) och sekundärsmide (tillverkning av föremål). Karakteristiskt för plankonvexa primärsmidesskällor är att de är homogena i sammansättning och temperaturprofil. Karakteristiskt för sekundärsmidesskällor är att de är heterogent skiktade, har sand/grus och kol främst i bottenpartiet, samt att de oftast känns lättare än reduktionsslaggen. Slagger från sekundärsmidet är genom inblandning av vällsand oftast mycket sura i sina sammansättningar samt glasiga och således vanligen lätta att skilja från reduktionsslaggen.

Slaggtyper

Reduktionslagg: Slagg som bildas i samband med smältning av malm i ugn.

Primärsmidesslagg: Slagg som i järnsmidet bildas under den inledande konsolideringsfasen.

Sekundärsmidesslagg: Slagg som i järnsmidet bildas under uträkningsfasen och under föremålsmidet.

Glödska: Oftast starkt magnetiska oxidskal som bildas vid smidning. Vissa typer brukar också kallas hammarskal.

Sprutslag: Små, ca 5 mm stora, sfäriska, ihåliga, magnetiska slaggkulor som bildas flygande i luften när smältan/luppen välls ihop.

Stearinslag: Slagg som runnit neråt i strängar och där sträng lagts till sträng på samma sätt som stearin stelnar kring foten av ett ljus.

Slaggers mineralogiska sammansättning

De flesta slagger består av *glas* (med varierande sammansättning) samt en eller flera av följande kristallina faser:

Oliviner, silikatmineral med den allmänna formeln A_2SiO_4 , där A oftast är järn (mineralet heter då fayalit, det vanligaste mineralet i järnblästerslagger samt kopparslagger), magnesium (forsterit, förekommer i masugnsslagger) eller mangan (tefroit). Mangan ingår också i fayalit. Vissa slagger innehåller kalciumrika oliviner, främst kirschsteinit $CaFeSiO_4$, som sent bildat fas. Olivinerna uppträder oftast som väl utkristalliserade faser.

Wüstit, FeO , är vanligt i blästerslagger. Fasen bildas vid reduktion av järnoxider (från hematit Fe_2O_3 via magnetit Fe_3O_4 , eller direkt från magnetit) och reduceras själv till metalliskt järn. Wüstit bildar oftast droppformade, dendritiska (=”trädliska”) kristaller. Sammansättningen kan variera från $FeO_{1,00}$ till $FeO_{1,16}$; förutom järn kan mangan och smärre mängder titan eller aluminium ingå.

Magnetit, Fe_3O_4 , är ett primärt järnmineral och bildar huvudbeståndsdelen i de svenska bergmalmerna (”svartmalm”). Jämfört med wüstit kännetecknar magnetit högre temperaturer och/eller högre syretryck. Den förekommer således i masugnsslagger (högre temperatur) samt smidesslagger (högre syretryck). Magnetit uppträder oftast som oktaedrisk kristaller.

Hercynit, $FeAl_2O_4$, är liksom magnetit ett spinellmineral som bildar väl formade oktaedrisk kristaller. Dessutom uppträder hercynit sammanvuxen med fayalit. Hercyniten indikerar relativt höga aluminiumhalter (t ex inblandning av lerklining i slaggen).

Pyroxener är en mineralgrupp med den allmänna formeln $A_2Si_2O_6$, varvid $A = Fe, Mg, Mn, Ca$. Pyroxener indikerar överskott på kiselsyra och är typiska för masugnsslagger. De kan även vara ett tecken på att flussning med kvartssand har ägt rum.

Leucit är ett kaliumrikt aluminiumsilikat med formeln $KAlSi_3O_6$ som indikerar alkaliöverskott.

Metaller, t ex metalliskt järn eller koppar, uppträder ofta som små droppar i järn- respektive kopparslagger.

Limonit består av bruna, amorfa järnhydroxider med varierande sammansättning. Limoniten är huvudbeståndsdel i t ex sjö- eller myrmalm samt i ”rost”. Den senare bildningen är alltså sekundär.

Det inbördes förhållandet mellan olika faser ger information om olika kristallisationsförlopp, medan kristallstorleken är ett tecken på avsvalningshastigheten. För att beskriva detta används några geologiska (jfr TNC86) och kemiska begrepp:

Dendrit beskriver ett mineral som kristalliserat i ormbunks- eller trädliknande mönster. I slagger är wüstit vanligtvis *dendritiskt* utbildad.

Euhedral beskriver ett mineral med väl utbildade kristallytor. Är endast några kristallytor utbildade talar man om *subhedral*, utan kristallytor om *anhedral*.

Jämvikt är i dagligt tal ett stabilt tillstånd. Verklig jämvikt föreligger när ett (kemiskt) system har nått ett tillstånd från vilket det inte har någon tendens att ändra sig (Hägg 1964, s. 45).

Kristallit är en mycket liten (mikroskopisk till submikroskopisk) kristall.

Textur är en bergarts eller en slaggs mikroskopiska utseende och egenskap. Exempel på texturella drag är kornstorlek, kornform, kristallform, orientering, kristallinitet och porositet.

Slaggers kemiska sammansättning

Under reduktionsprocessen - t ex järnproduktionen - råder betingelser som närmar sig jämvikt. Detta återspeglas i relativt homogena sammansättningar hos såväl glas som kristaller, frånvaro av zonerings och dylikt. Bristande eller saknad jämvikt yttrar sig i starkt varierande sammansättningar, även inom en kristallindivid (dvs zonerings eller överväxning). Detta indikerar starkt växlande temperaturbetingelser och/eller relativt kortvariga processer, t ex som vid smide eller gjutning.

Som komplement till petrografen, dvs den mikroskopiska undersökningen, utförs rutinmässigt *mikrosondanalyser*. På detta sätt får man kvantitativa kemiska data över sammansättningen av glaserna och de olika kristallina faserna. Analyserna ger en detaljerad inblick i kristallisationsförlopp samt upplysning om jämviktstillstånd infunnit sig eller inte. Under jämviktsbetingelser fördelar sig t ex järn, mangan och magnesium mellan utkristalliserad olivin och glassmältan på ett lagbundet sätt. Fördelningen är beroende på rådande temperatur (= jämviktstemperatur), som kan beräknas för olivin-glas-par enligt Leeman & Scheidegger (1977; se även Hjärthner-Holdar 1993:113f). En förutsättning är att nödvändig tid för att uppnå jämvikt funnits. Denna tid kan variera från flera timmar till några dagar - ju lägre temperatur desto längre tidsfaktor.

Enligt Leeman & Scheidegger (1977) kan man anta att jämvikt rått vid kristallisationen om de tre beräknade temperaturerna inte skiljer sig åt mer än 100°C. olivin-glastermometern bygger på en sammansättning av basaltiskt bergartsmaterial som alltså skiljer sig i sammansättning från slaggernas grundmassa. Det har ändå påvisats att beräknade kristallisationstemperaturer för jämviktsfördelningen av järn och mangan kan tillämpas (Kresten, Larsson & Hjärthner-Holdar 1996) för att skilja reduktionsslagger från smidesslagger under förutsättning att ett tillräckligt antal analyser utförts.

Totalkemiska analyser används huvudsakligen för att bedöma vilken malmtyp som använts, samt för att granska den totala massbalansen under processen. Ändringar i den totalkemiska sammansättningen kan härledas från olika metallurgiska processer. Vid reduktionen av en malm extraheras metalliskt järn, vilket innebär att samtliga element som inte ingår i denna metallfas anrikas i slaggen relativt till malmen. Slaggen kan i varierande grad tillföras material från ugnen (t ex smält lera), från träkolsaskan och från flussmedel, om sådant använts. Reduktionsslagger kan således ses som en koncentration av de element som inte extraheras tillsammans med järnet, samt yttre tillskott.

Under smidet sker en rad olika förändringar. Generellt är dock att materialet, dvs såväl järnet som innesluten eller omgivande reduktionsslagg, oxideras. Därtill kommer differentiationsprocesser genom att smält slagg pressas ut ur järnet, medan kristalliserade faser förväntas att bli kvar. Resorption av träkolsaska samt av fodringmaterialet till ässjan förväntas äga rum. De mest dramatiska förändringarna i den kemiska sammansättningen sker dock när vällsand kommer till användning. Sammantaget kan smidesslagger således förväntas vara produkten av oxidations- och utspädningsprocesser.

Normativa beräkningar

Beräkningen av normativa komponenter utifrån en kemisk analys innebär att viktsprocenten av oxiderna som ges i analysen omvandlas till (beräknade) mineralfaser, vilka oftast ges i molprocent, mer sällan i viktsprocent. Därmed underlättas bl a jämförelse med resultaten från de petrografiska analyserna.

Beräkningsmetoden är sedan länge etablerad inom geologin (Cross m fl, 1903). För förhistoriska slaggar har metoden introducerats av Kresten & Serming (1983), med senare vidareutveckling (Kresten 1984). Den har sedan dess modifierats något för att så mycket som möjligt vara anpassad till förhistoriska slaggers observerade mineralogiska sammansättningar. Därutöver har anpassning skett till såväl observerade kristallisationsföljder av slaggar samt kristallisationssekvenser som kan förväntas från geokemiska principer.

Fysikaliska parametrar

Totalkemiska analyser kan användas för beräkning av fysikaliska egenskaper såsom viskositet (Bottinga & Weill 1972; Shaw 1972) och densitet (Bottinga & Weill 1970; Bottinga, Weill & Richet 1982; diskussion av Hall 1987 p. 67 ff). I samband med normativa beräkningar utförs även beräkningar av viskositet (Shaw 1972) och densitet (Hall 1987), båda parametrar gällande för en temperatur på 1250°C dvs flytande tillstånd. Till skillnad mot t ex vulkaniska lavabergarter vilkas innehåll av lösta gaser förorsakar att beräkningar blir endast approximativa (Hall 1987) är slaggar relativt ”torra” produkter och förväntas ge mer pålitliga resultat.

Yttrium (Y) och sällsynta jordarter (Rare Earth Elements, REE): lantan (La)-lutetium (Lu) är namnet till trots mycket vanliga spårelement. De förekommer som ersättare för huvudelementen (t ex kalcium, järn, magnesium) i bergartsbildande mineral samt bildar egna mineral, främst i pegmatitmiljö. Man skiljer mellan ”lätta sällsynta jordarter” dvs La-Eu som är relativt stora joner, och ”tungt sällsynta jordarter” dvs gadolinium (Gd)-Lu samt Y som är mindre joner. Valenstalet är oftast tre, men cerium (Ce) uppträder fyrvärt och europium (Eu) tvåvärt. I slaggar förväntas elementen förekomma både i glas och utkristalliserade silikatfaser (olivin, pyroxen).

Utvärderingen av sällsynta jordarters fördelning i geologiska material sker konventionellt genom att jämföra s k kondritnormaliserade kurvor. Dessa erhålls genom att dividera halten av varje enskilt element med halten på motsvarande element i en kondrit dvs stenmeteorit som används som referens. Denna metod skapades dels för att eliminera effekten av Oddo-Harkins regel, nämligen att grundämnen med jämna atomnummer är mer frekventa än de med udda atomnummer, dels för att meteoriter är s k ”primitivt material” i meningen att de inte deltagit i senare omsmältning-, omvandlings- eller vittringsprocesser. För normaliseringen har vi valt ”Chondrite CI average” (Evensen, Hamilton & O’Nions 1978).

Variationsdiagram används för att grafiskt åskådliggöra variationen i huvud- och spårelementhalterna. Liksom för sällsynta jordarter används även här normaliseringsmetoden, dock med referensslaggen W-25:R från Gryssen (Kresten & Hjärthner-Holdar 1994) som referens. Elementen är ordnade på så sätt att de som är mest benägna att ingå i smältan återfinns på diagrammets vänstra sida, medan elementen som är benägna att ingå i metallfasen återfinns mot höger.

Slaggers magnetiska egenskaper

Alla prover testas med handmagnet och magnetiseringsgraden återges i en skala från omagnetisk till starkt magnetisk. Denna karaktäristik blir givetvis något subjektiv. Stundom är de magnetiska egenskaperna inte homogent fördelade inom ett slaggstycke. I dessa fall återges variationerna samt en uppskattning av fördelningen.

Referenser

- Bottinga, Y. & Weill, D.F. 1970. Densities of liquid silicate systems calculated from partial molar volumes of oxide components. *American Journal of Science* 269, 169-182.
- Bottinga, Y. & Weill, D.F. 1972. The viscosity of magmatic silicate liquids: a model for calculation. *American Journal of Science* 272, 438-475.
- Bottinga, Y., Weill, D.F. & Richet, P. 1982. Density calculations for silicate liquids. I. Revised method for aluminosilicate compositions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 909-919.
- Buchwald, V.F. & Wivel, H. 1998. Slag Analysis as a Method for the Characterization and Provenancing of Ancient Iron Objects. *Materials Characterization* 40, 73-96.
- Crew, P. & Salter, C. 1993. Currency bars with welded tips. s. 11-30 i Espelund, A. (edit.) ”*Bloomery ironmaking during 2000 years. Seminar in Budalen 1991.*” Trondheim.
- Cross, W., Iddings, J.P., Pirsson, L.V. & Washington, H.S. 1903. *Quantitative classification of igneous rocks.* University of Chicago Press.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J. & O’Nions, R.K. 1978. Rare-earth element abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 1199-1212.
- Hall, A. 1987. *Igneous Petrology.* Longman Scientific & Technical, New York. 573 pp.
- Hjärthner-Holdar, E. 1993. Järnets och järnmetallurgins introduktion i Sverige. Med bidrag av Peter Kresten och Anders Lindahl. *Aun* 16, Uppsala.

- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1996. Järnhantering i det medeltida Söderköping (1130-1400) - analys av ämnesjärn och slagger, Östergötland, Söderköping, RAÄ14. Analysrapport 22-1996, Geoarkeologiskt Laboratorium, UV Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1997. Ämnes- och stångjärn från kv Vågtorget - en arkeometallurgisk analys, Västmanland, Köping, RAÄ148. Analysrapport 35-1997, Geoarkeologiskt Laboratorium, UV Uppsala.
- Hägg, G. 1964. *Allmän och oorganisk kemi*. Tredje upplagan. Almqvist & Wiksell, Uppsala.
- Kresten, P. 1984. The mineralogy and chemistry of selected ancient iron slags from Dalarna, Sweden. With contributions by Inga Serning. *Jernkontorets forskning H29*. Stockholm.
- Kresten, P. & Serning, I. 1983. The Calculation of Normative Constituents from the Chemical Analyses of Ancient Slags. - *Jernkontorets Forskning H25*. Stockholm.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1994. First Compilation of Analytical Data on the Swedish Ancient Iron Slag Standard Reference Material W-25:R. Manuskript inlämnat till *Journal of the Historical Metallurgy Society*.
- Kresten, P., Larsson, L. & Hjärthner-Holdar, E. 1996. Thermometry of ancient iron slags from Sweden, and of vitrified material from various hill-forts in western Europe. *Research Report R-9601*, Geoarchaeological Laboratory, UV-Uppsala.
- Leeman, W.P. & Scheidegger, K.F. 1977. Olivine/liquid distribution coefficients and a test for crystal-liquid equilibrium. *Earth and Planetary Science Letters* 35, 247-257.
- Modin, S. & Lagerquist, M. 1978. The metallographic examinations of rod-shaped blanks. I: Lamm, K. & Lundström, A. (edit.) *Excavations at Helgö V:1 Workshop Part II*, 110-150. Kungl. vitterhets historie och antikvitets akademien, Stockholm.
- Salter, C. & Crew, P. 1997. High phosphorus steel from experimentally smelted bog-iron ore. I: Crew, P & S (edit.) *Early Ironworking in Europe archaeology and experiment*, 83-84. Abstracts. Plas Tan y Bwlch.
- Shaw, H.R. 1972. Viscosities of magmatic silicate liquids: An empirical method of prediction. *American Journal of Science* 272, 870-893.
- TNC 86, 1988. Geologisk ordlista. glossary of Geology. *Tekniska nomenklaturcentralens publikationer nr 86*. Stockholm.

Geoarkeologiskt Laboratorium

Bilagan har sammanställts av Lars-Erik Englund, Eva Hjärthner-Holdar, Peter Kresten, Lena Grandin