

21. ESSER OG SPOR EFTER SMEDNING

Arne Jouttijärvi, Heimdal-archaeometry

OM SLAGGER OG HAMMERSKÆL

Undersøgelserne vedrørende jernteknologi er baseret på et relativt lille materiale. På lokaliteterne Brandrud I, Brandrud IV og Grytting II blev der således fundet anlæg, som tolkedes som esser eller i det mindste indeholdende affald fra jernforarbejdning i form af små slaggefragmenter.

Ved smedning kan der opstå flere forskellige former for affald. Udseendet og den kemiske sammensætning af dette affald kan fortælle om de teknikker, som blev anvendt i et smedeværksted (Jouttijärvi 2013).

Slagge er en kemisk forbindelse primært bestående af siliciumoxid og jernoxid i et forhold, der svarer til ca. 70 % jernoxid (FeO) og 30 % siliciumoxid (SiO₂). Grunden til, at slaggen har denne sammensætning, er, at det er her, den har det laveste smeltepunkt, som er mellem 1.180 og 1.200 grader. Jernoxid og siliciumoxid danner i dette forhold en kemisk forbindelse, som kaldes fayalit. Siliciumoxid vil oftest komme fra sand eller små stykker flint i malmen.

De fleste slagger og hammerskæl fra jernforarbejdning består grundlæggende af fayalit, men alligevel kan man ud fra deres kemiske sammensætning sandsynliggøre, hvilken proces de opstod ved (Jouttijärvi 2013; Jouttijärvi 2015). Det skyldes primært, at de ved de forskellige processer bliver blandet med større eller mindre mængder af andre oxider.

I malmen vil der findes kalk, ler og andre mineraler. Desuden vil der under processen ske en optagelse af smeltet ler fra ovnvæggene samt af aske fra trækullet. Slagge fra jernudvinding vil derfor have et stort indhold af oxider fra disse mineraler. Den nøjagtige kemiske sammensætning af malm og ler afhænger af den lokale geologi, og ved at analysere rester af udvindingsslagge, som er fanget i jernet, kan man derfor sandsynliggøre, hvor det jern, som blev brugt ved smedningen af en genstand, kom fra.

Når jernet er blevet udvundet, indeholder det stadig meget slagge og kan ikke umiddelbart smedes, uden at man risikerer, at det revner. For at gøre det brugbart til smedning af genstande blev denne slagge fjernet ved den proces, som man kalder primær-smedning. Denne

indledende smedeprocess foregik i en smeedesse, som var gjort dybere for at kunne rumme slaggen, eller i en lille ovn. Den slagge, som dannedes ved primær-smedningen, bestod hovedsagligt af udvindingsslagge, som var smeltet ud af jernet. Under processen skulle der dog ske en kraftig opvarmning til mere end 1.200 grader, og der blev derfor brugt meget trækul. Asken fra trækullet blandede sig i bunden af essen med den smeltede slagge og gav den et højere indhold af kalciumoxid (CaO) og kaliumoxid (K₂O), som asken primært består af. Det er derfor muligt at se forskel på slagger fra udvinding og fra primær-smedning.

Ved opvarmningen af jernet vil smeltet slagge dække overfladen i et tyndt lag, som størkner, når jernet tages ud af ilden. Når jernet derefter hamres på ambolten, knækker slaggelaget af som små, relativt tykke og ujævne flager med en sammensætning, som ligner udvindingsslaggen. Hvis slaggen stadig er flydende, når der hamres på jernet, vil små dråber blive slynget ud i værkstedet og størkne i luften som kugler.

Når jernet var blevet rensat ved primær-smedningen, skulle det smedes til genstande som redskaber, beslag eller våben (sekundær smedning). Ved denne smedning dannes der ikke meget egentlig slagge, men en blanding af smeltet ler fra essen, glødeskal fra jernet og eventuelt sand, som er drysset på under essesvejsning. Slagge fra sekundær smedning vil derfor være mere inhomogene end primær-smedeslagge og have en sammensætning, som ligner smeltet ler, dog med et højere indhold af jernoxid (FeO).

Under almindelig (sekundær) smedning bliver jernets overflade ikke dækket af slagge. Til gengæld vil metallet reagere med ilten i luften, og der vil dannes et tyndt lag af jernoxid (glødeskal). Også dette vil knække af som små flager under forarbejdningen, og omkring ambolten vil man derfor finde små, tynde og jævne flager (smedeskæl) af næsten rent jernoxid (FeO).

Hvis de stykker jern, smeden har til rådighed, ikke er store nok, eller hvis han ønsker at sammensætte et værktøj eller våben af jern og stål, svejser han stykkerne sammen ved essesvejsning. Ved denne proces varmes jernstykkerne op til ca. 1.200 grader, hvorefter de

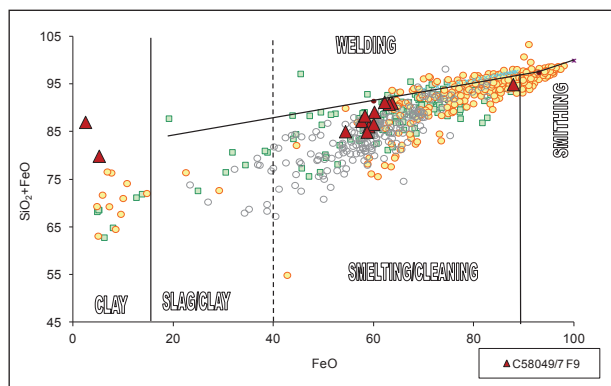
smedes sammen. Under opvarmningen dannes glødeskæl, som fjernes, ved at smeden drysser fint sand på metallet. Glødeskællen og sandet går i forbindelse med hinanden og danner en flydende slagge, som ved smedningen vil danne små dråber, der størkner som kugler i luften. Slagge, som størkner på jernets overflade, vil danne uregelmæssige, tykke skæl. Sporene efter svejsning vil derfor ligne sporene efter primær-smedning. Der er dog en væsentlig forskel, idet skæl og kugler fra essesvejsning vil være dannet af rent jernoxid (FeO) og rent sand (SiO₂) og dermed vil være fri for de forureninger fra kalk og lerminerale, som ses i skæl og kugler fra primær-smedning.

DE TRE ANLÆG

Den væsentligste vejledning, med hensyn til hvilke processer der er foregået i de enkelte esser, er den kemiske sammensætning af hammerskæl og slaggekugler. Til trods for at der kun fandtes soldede jordprøver fra én af pladserne (Grytting II), som indeholdt hammerskæl, kunne der fra jord på overfladen af vaskede og uvaskede slagger fra de øvrige pladser findes tilstrækkeligt materiale til en analyse. En systematisk prøvetagning i form af jordprøver fra anlæggene og området omkring esserne ville have kunnet give et mere sikkert og nuanceret billede af jernforarbejdningen (Villumsen, artikel 23 i dette bind).

Brandrud I

Der fandtes ingen jordprøver eller andre prøver af hammerskæl fra denne lokalitet. Dog fandtes der i en smule jord, som stadig hæftede ved de ellers vaskede slagger i en af prøverne (F9), et mindre antal hammerskæl. Materialet består primært af et antal ganske små slaggefragmenter, og det må antages at udgøre en meget lille del af den slaggemængde, som oprindeligt har været til stede.



Figur 21.1. Jernoxid (FeO) og siliciumoxid (SiO₂) i hammerskæl fra Brandrud I.

Hammerskæl og slaggekugler

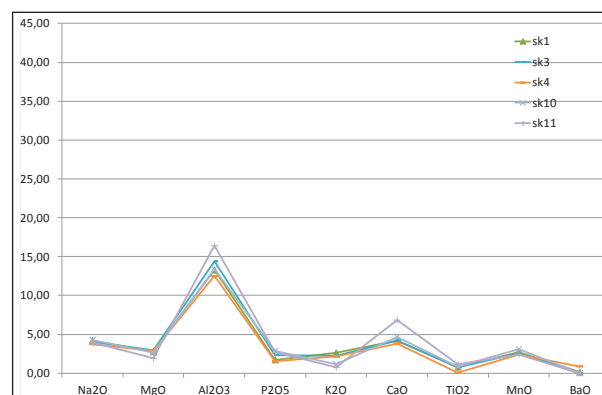
I alt 13 hammerskæl blev udtaget og analyseret (figur 21.4).

Af de 13 hammerskæl har de 10 (77 %) en sammensætning, som viser, at de er opstået ved rensning af luppejern (figur 21.1). Ét skæl har så højt et indhold af jernoxid, at det er sandsynligt, at det stammer fra sekundær smedning (formning) af jern. De to sidste hammerskæl består tilsyneladende af smeltet ler med et relativt højt indhold af sand.

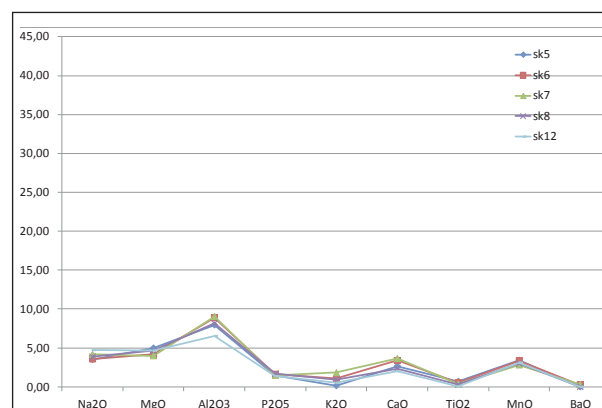
Hammerskællene, som stammer fra rensning af luppejern (primær-smedning), kan inddeles i to grupper på hver fem skæl (figur 21.2 og 21.3). Inden for hver af grupperne har hammerskællene næsten identisk sammensætning. Dette tyder på, at hammerskællene i prøven stammer fra rensning af to forskellige lupper, som dog godt kan være udvundet samme sted, blot af to forskellige portioner malm.

Slagger

Der blev foretaget analyser af i alt syv slagger fra de tre prøver. Af hver slagge blev der foretaget to analyser forskellige steder. Alle enkeltanalyser er vist i figur 21.5.



Figur 21.2. Sammensætning af hammerskæl fra Brandrud I, gruppe 1. Jernoxid (FeO) er ikke medregnet.



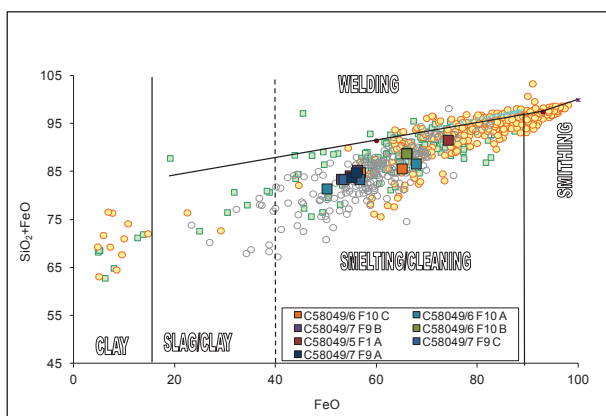
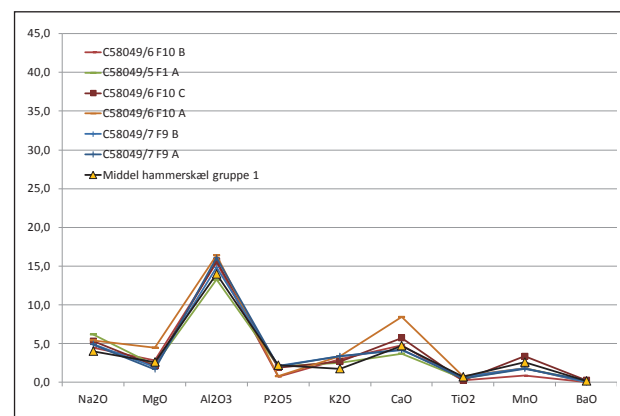
Figur 21.3. Sammensætning af hammerskæl fra Brandrud I, gruppe 2. Jernoxid (FeO) er ikke medregnet.

| C58049/7 F9 | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|-------------|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| sk1 | 1,9 | 1,3 | 6,0 | 30,7 | 0,8 | 1,2 | 1,9 | 0,4 | 1,2 | 54,4 | 0,1 |
| sk2 | 1,5 | 0,2 | 6,2 | 84,6 | 0,5 | 4,1 | 0,3 | 0,2 | 0,0 | 2,5 | 0,0 |
| sk3 | 1,6 | 1,2 | 5,9 | 27,1 | 1,0 | 0,9 | 1,7 | 0,3 | 1,0 | 59,0 | 0,0 |
| sk4 | 1,6 | 1,2 | 5,3 | 29,7 | 0,6 | 0,9 | 1,6 | 0,0 | 1,0 | 57,6 | 0,4 |
| sk5 | 1,3 | 1,8 | 2,9 | 27,4 | 0,5 | 0,1 | 1,0 | 0,3 | 1,3 | 63,7 | 0,0 |
| sk6 | 1,4 | 1,7 | 3,5 | 29,0 | 0,6 | 0,4 | 1,3 | 0,2 | 1,3 | 60,2 | 0,1 |
| sk7 | 1,7 | 1,7 | 3,8 | 30,2 | 0,6 | 0,8 | 1,5 | 0,2 | 1,2 | 58,2 | 0,1 |
| sk8 | 1,4 | 1,7 | 3,0 | 27,8 | 0,6 | 0,3 | 0,9 | 0,1 | 1,1 | 63,1 | 0,0 |
| sk9 | 1,6 | 0,0 | 2,3 | 7,1 | 0,0 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 87,9 | 0,3 |
| sk10 | 1,7 | 1,1 | 5,3 | 26,6 | 1,2 | 0,5 | 1,9 | 0,3 | 1,2 | 60,0 | 0,0 |
| sk11 | 1,6 | 0,8 | 6,8 | 26,3 | 1,1 | 0,3 | 2,8 | 0,5 | 1,0 | 58,7 | 0,0 |
| sk12 | 1,8 | 1,8 | 2,5 | 29,1 | 0,5 | 0,2 | 0,8 | 0,0 | 1,2 | 62,2 | 0,0 |
| sk13 | 3,4 | 1,4 | 11,7 | 74,8 | 0,1 | 4,1 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 5,2 | 0,0 |

Figur 21.4. Tabel 1. Analyser af hammerskæl fra Brandrud I.

| Brandrud 1 | | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|----------------|-----|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| C58049/5 F1 A | sl1 | 1,8 | 0,7 | 2,7 | 17,4 | 0,7 | 0,3 | 0,9 | 0,1 | 0,5 | 74,2 | 0,1 |
| C58049/5 F1 A | sl2 | 2,3 | 0,7 | 7,1 | 29,4 | 0,6 | 1,7 | 1,8 | 0,3 | 0,8 | 54,8 | 0,1 |
| C58049/6 F10 A | sl1 | 2,9 | 1,6 | 9,4 | 31,3 | 0,3 | 1,6 | 2,1 | 0,4 | 0,5 | 50,2 | 0,1 |
| C58049/6 F10 A | sl2 | 1,8 | 1,5 | 5,3 | 18,8 | 0,3 | 1,1 | 2,7 | 0,3 | 0,6 | 67,9 | 0,0 |
| C58049/6 F10 B | sl1 | 1,6 | 0,9 | 5,1 | 22,8 | 0,3 | 1,1 | 1,6 | 0,1 | 0,3 | 66,1 | 0,0 |
| C58049/6 F10 B | sl2 | 1,5 | 1,0 | 5,4 | 22,8 | 0,2 | 1,0 | 1,7 | 0,1 | 0,3 | 66,0 | 0,0 |
| C58049/6 F10 C | sl1 | 1,9 | 1,0 | 5,2 | 20,6 | 0,7 | 0,8 | 2,4 | 0,0 | 1,7 | 65,1 | 0,1 |
| C58049/6 F10 C | sl2 | 2,2 | 0,6 | 7,0 | 28,0 | 0,7 | 1,4 | 1,9 | 0,2 | 0,8 | 56,8 | 0,1 |
| C58049/7 F9 A | sl1 | 2,3 | 0,8 | 7,4 | 28,7 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 0,3 | 0,7 | 55,1 | 0,0 |
| C58049/7 F9 A | sl2 | 2,0 | 0,7 | 6,8 | 28,9 | 0,9 | 1,5 | 1,9 | 0,2 | 0,8 | 56,0 | 0,2 |
| C58049/7 F9 B | sl1 | 2,5 | 0,9 | 7,3 | 30,4 | 1,0 | 1,6 | 2,0 | 0,2 | 0,8 | 53,0 | 0,0 |
| C58049/7 F9 B | sl2 | 2,0 | 0,9 | 6,2 | 29,1 | 0,9 | 1,4 | 1,8 | 0,4 | 0,9 | 56,2 | 0,0 |
| C58049/7 F9 C | sl1 | 1,9 | 0,6 | 7,8 | 29,9 | 1,0 | 1,7 | 2,4 | 0,1 | 0,8 | 53,6 | 0,2 |
| C58049/7 F9 C | sl2 | 2,2 | 0,9 | 7,3 | 26,7 | 1,1 | 1,6 | 2,1 | 0,1 | 0,9 | 56,7 | 0,3 |

Figur 21.5. Tabel 2. Analyser af slagger fra Brandrud I.

Figur 21.6. Jernoxid (FeO) og siliciumoxid (SiO₂) i slagger fra Brandrud I.

Figur 21.7. Sammensætning af slagger fra Brandrud I sammenlignet med hammerskæl gruppe 1. Jernoxid (FeO) er ikke medregnet.

Som det kan ses af figur 21.6, så kan alle slaggerne henføres til rensning af luppejern, og det bekræfter dermed resultatet af analyserne af hammerskæl. Slaggerne har en meget ensartet sammensætning, og det er derfor sandsynligt, at de stammer fra rensningen af kun én luppe. De er ydermere næsten identiske med analyserne af den ene gruppe hammerskæl (figur 21.7) og må derfor være opstået ved rensning af samme luppe som denne.

Slaggenes sammensætning svarer godt til den, som kendes fra udvindingsslagger fra Norge, blot med et generelt forhøjet indhold af kalciumoxid (CaO) og kaliumoxid (K₂O); noget, som netop er typisk for slagger opstået ved primær-smedning, da de vil have optaget mere aske end udvindingsslaggerne. Ligheden med de norske slagger betyder også, at det er sandsynligt, at det forarbejdede jern kan være resultatet af en lokal produktion.

Jernhåndværket ved Brandrud I

Konklusionen af materialet fra Brandrud I er, at anlæget/essen indeholder spor efter primær-smedning (rensning) af i det mindste to forskellige lupper, som begge kan være resultater af en lokal jernudvinding. Den ene giver sig til kende i både hammerskæl og slagger, mens den anden kun kan ses i sammensætningen af hammerskællene. Der har tilsyneladende været tale om en form for specialiseret værksted, idet der ikke er fundet tegn på, at jernet er blevet videreforarbejdet på stedet. Der fandtes således kun et enkelt hammerskæl, som kunne antyde, at der også var foregået sekundær smedning (formning af genstande) i essen.

Brandrud IV

Hammerskæl og slaggekugler

Ingen af jordprøverne fra Brandrud IV indeholdt hammerskæl; men fra slaggeprøven F37, som stammer

fra esse S29, lykkedes det at finde et antal hammerskæl i den lille mængde vedhængende jord. Der blev foretaget analyser af 13 hammerskæl (figur 21.8).

Sammensætningen af hammerskællene fra Brandrud IV adskiller sig væsentligt fra hammerskællene fra Brandrud I. Af de 13 skæl var der således 9 (69 %), som havde et indhold af jernoxid på over ca. 90 % (figur 21.9). Disse hammerskæl må være opstået ved oxidering af overfladen på slaggefrit jern og må derfor stamme fra sekundær smedning (formning). Til gengæld fandtes der kun tre hammerskæl (23 %), som havde en sammensætning, som pegede på, at der også var blevet foretaget primær-smedning (rensning) af luppejern.

Et enkelt hammerskæl bestående af smeltet ler, kan være en svag antydning af, at der også kan have foregået opkulning af jern til stål.

Slagger

Slaggematerialet fra Brandrud IV var relativt stort, og for at sikre et statistisk tilfredsstillende resultat blev der foretaget analyser af i alt 11 enkelte slagger fra 7 forskellige prøver. Der blev foretaget to - tre analyser pr. slagge, og figur 21.10 angiver alle enkeltanalyser.

Som det kan ses af figur 21.11, er spredningen i slaggenes sammensætning meget større, end det kunne ses i Brandrud I. Fem af slaggerne (55 %) synes således at være fremkommet ved primær-smedning. Tre slagger (27 %) består af smeltet ler blandet med varierende mængder slagge eller jernoxid og stammer derfor med størst sandsynlighed fra sekundær smedning (formning). Da der ikke er slagge i det forarbejdede jern, er den mængde slagge, som dannes ved sekundær smedning, meget mindre, end det som ses ved primær-smedning. Slaggen kommer primært

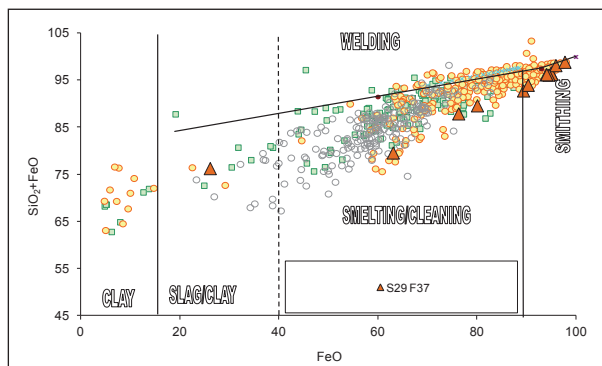
| Brandrud IV | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|-------------|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| sk1 | 0,4 | 0,2 | 0,7 | 1,6 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,7 | 95,0 | 0,3 |
| sk2 | 0,4 | 0,3 | 0,9 | 1,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,9 | 95,1 | 0,0 |
| sk3 | 0,5 | 0,3 | 0,9 | 2,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 1,4 | 94,0 | 0,0 |
| sk4 | 1,1 | 1,0 | 5,9 | 16,5 | 0,4 | 1,1 | 4,2 | 0,4 | 5,9 | 63,1 | 0,2 |
| sk5 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 2,2 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 95,9 | 0,1 |
| sk6 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 97,8 | 0,0 |
| sk7 | 0,5 | 0,7 | 1,7 | 11,6 | 0,2 | 0,0 | 2,9 | 0,2 | 5,2 | 76,3 | 0,1 |
| sk8 | 0,7 | 0,2 | 1,1 | 1,6 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 94,5 | 0,0 |
| sk9 | 0,5 | 0,4 | 1,4 | 3,4 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,2 | 3,5 | 89,4 | 0,2 |
| sk10 | 0,4 | 0,2 | 0,8 | 3,7 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 3,9 | 90,3 | 0,0 |
| sk11 | 0,7 | 0,5 | 2,5 | 9,5 | 0,2 | 0,3 | 0,9 | 0,1 | 4,9 | 80,1 | 0,0 |
| sk12 | 0,6 | 0,2 | 0,9 | 2,1 | 0,1 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 1,1 | 94,1 | 0,0 |
| sk13 | 3,3 | 1,5 | 7,1 | 50,2 | 0,4 | 5,8 | 3,8 | 0,7 | 1,3 | 26,1 | 0,2 |

Figur 21.8. Tabel 3. Analyser af hammerskæl fra Brandrud IV.

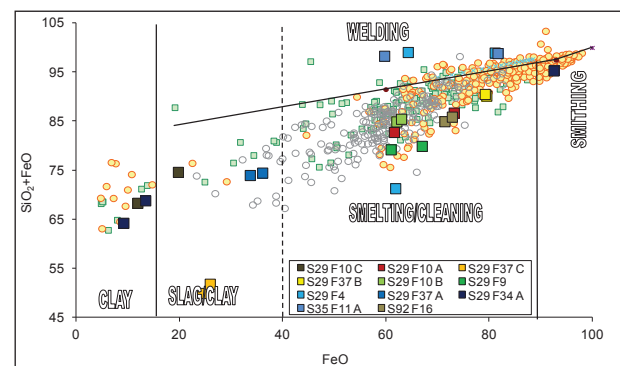
til at bestå af ler, som er smeltet af essestenen, blandet med oxider fra asken af brændslet samt jernoxid fraammerskæl, som er faldet ned i essen. En meget lille mængde egentlig jernslagge kan komme til, hvis man smeder jern, som stadig har et relativt højt indhold af slaggeindeslutninger.

En væsentlig ting er, at der også findes to slagger (18 %), som, i det mindste delvist, består af en meget ren blanding af jernoxid (FeO) og siliciumoxid (SiO₂). Sådanne slagger kan være et resultat af svejsning og

er dannet ved, at smeden, når han skal sammenføje to stykker jern, smider fint sand på jernets overflade. Det sker for at fjerne det lag jernoxid (glødeskal), som dannes ved opvarmningen af jernet i essen. Hvis det ikke bliver fjernet, vil det forhindre jernstykkerne i at hænge sammen, og svejsningen vil mislykkes. Når sandet rammer jernets overflade, danner det, sammen med jernoxiden, en slagge, som smelter og bliver presset ud af mellemrummet mellem jernstykkerne, når de hamres på ambolten.



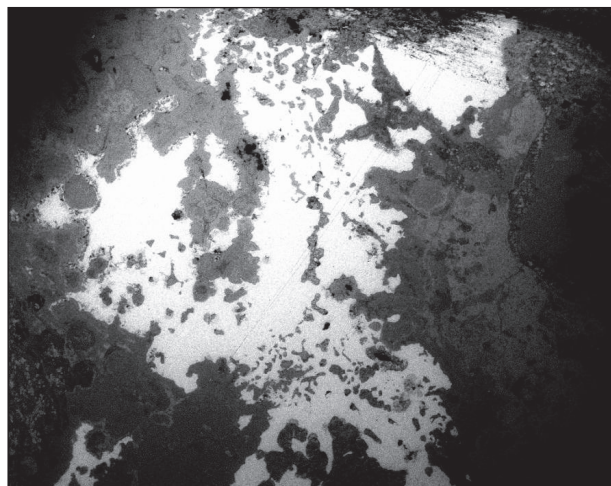
Figur 21.9. Jernoxid (FeO) og siliciumoxid (SiO₂) i hammer-skæl fra Brandrud IV.



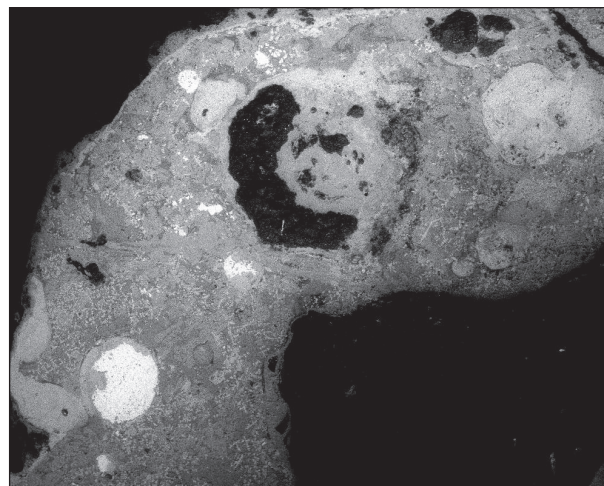
Figur 21.11. Jernoxid (FeO) og siliciumoxid (SiO₂) i slagges fra Brandrud IV.

| Brandrud 4 | | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|------------|-----|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|------|------|-----|
| S29 F4 | sl1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 34,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,5 | 64,3 | 0,0 |
| S29 F4 | sl2 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 17,8 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 81,2 | 0,0 |
| S29 F4 | sl3 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 9,4 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 19,9 | 61,9 | 0,3 |
| S29 F9 | sl1 | 1,5 | 0,4 | 4,4 | 18,3 | 0,2 | 0,4 | 0,9 | 0,2 | 11,7 | 61,0 | 0,6 |
| S29 F9 | sl2 | 0,9 | 0,4 | 3,7 | 12,9 | 0,2 | 0,5 | 1,2 | 0,1 | 11,7 | 67,0 | 0,9 |
| S29 F10 A | sl1 | 1,6 | 0,9 | 3,5 | 13,5 | 0,3 | 0,9 | 2,1 | 0,1 | 3,8 | 73,2 | 0,3 |
| S29 F10 A | sl2 | 1,5 | 0,9 | 5,2 | 21,2 | 0,2 | 1,6 | 3,8 | 0,1 | 3,6 | 61,6 | 0,2 |
| S29 F10 B | sl1 | 1,8 | 1,1 | 4,9 | 22,8 | 0,1 | 1,2 | 2,4 | 0,2 | 3,2 | 62,1 | 0,1 |
| S29 F10 B | sl2 | 1,4 | 0,9 | 4,4 | 22,5 | 0,3 | 1,3 | 2,6 | 0,1 | 3,2 | 63,0 | 0,2 |
| S29 F10 C | sl1 | 3,4 | 1,8 | 9,5 | 54,9 | 0,4 | 3,1 | 3,3 | 0,6 | 3,3 | 19,8 | 0,1 |
| S29 F10 C | sl2 | 3,8 | 2,6 | 15,1 | 56,5 | 0,3 | 4,7 | 3,7 | 0,7 | 0,7 | 11,9 | 0,1 |
| S29 F34 | sl1 | 3,9 | 2,6 | 14,3 | 55,4 | 0,5 | 4,8 | 3,3 | 0,6 | 0,6 | 13,4 | 0,1 |
| S29 F34 | sl2 | 1,1 | 0,7 | 0,7 | 2,8 | 0,2 | 0,1 | 0,8 | 0,0 | 0,3 | 92,6 | 0,0 |
| S29 F34 | sl3 | 4,1 | 2,5 | 19,3 | 55,1 | 0,4 | 6,3 | 2,2 | 0,8 | 0,1 | 9,2 | 0,0 |
| S29 F37 A | sl1 | 3,3 | 1,7 | 8,7 | 40,3 | 0,6 | 2,8 | 5,3 | 0,3 | 3,2 | 33,7 | 0,1 |
| S29 F37 A | sl2 | 3,2 | 1,7 | 8,6 | 38,4 | 0,6 | 2,5 | 5,5 | 0,4 | 3,0 | 36,1 | 0,0 |
| S29 F37 B | sl1 | 1,1 | 0,9 | 2,1 | 10,7 | 0,0 | 0,3 | 2,3 | 0,0 | 2,8 | 79,5 | 0,1 |
| S29 F37 B | sl2 | 1,1 | 1,0 | 2,0 | 11,3 | 0,0 | 0,3 | 2,1 | 0,0 | 2,9 | 79,2 | 0,1 |
| S29 F37 C | sl1 | 2,2 | 1,1 | 9,4 | 25,5 | 0,6 | 1,4 | 3,0 | 0,4 | 30,9 | 24,5 | 1,0 |
| S29 F37 C | sl2 | 2,2 | 1,2 | 9,1 | 25,9 | 0,4 | 1,7 | 3,0 | 0,4 | 28,8 | 25,9 | 1,3 |
| S35 F11 | sl1 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 38,6 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 59,7 | 0,1 |
| S35 F11 | sl2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 17,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 81,7 | 0,0 |
| S92 F16 | sl1 | 0,6 | 0,9 | 2,8 | 13,5 | 0,0 | 1,0 | 3,2 | 0,1 | 5,8 | 71,4 | 0,1 |
| S92 F16 | sl2 | 0,7 | 0,6 | 3,2 | 13,0 | 0,1 | 1,0 | 2,6 | 0,3 | 3,6 | 72,9 | 0,1 |

Figur 21.10. Tabel 4. Analyser af slagges fra Brandrud IV.



Figur 21.12. Brandrud IV4, S29 F9, porøst, slaggefyldt jern.

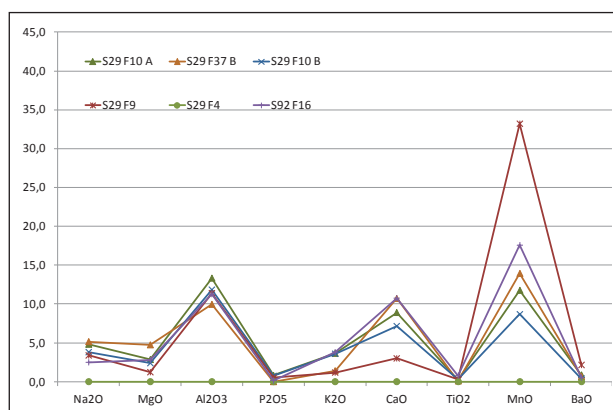


Figur 21.13. Brandrud IV4, S92 F16, slagge med kugle af støbejern (nederst til venstre).

To af de undersøgte slaggestykker indeholdt metalisk jern. I begge tilfælde er der tale om slagge, som stammer fra primær-smedning.

S29 F9: Jernet er uregelmæssigt, porøst og slaggefyldt (figur 21.12). Det bærer intet præg af at være deformeret ved smedning. Der er sandsynligvis tale om et lille stykke luppe, som er brækket af under rensningen. Jernet indeholder ikke kulstof.

S92 F16: I dette stykke er der tale om runde dråber af støbejern (nederst til venstre på figur 21.13). Støbejern findes yderst sjældent i jernalderen og blev ikke fremstillet bevidst før omkring år 1300. Det er sprødt og lader sig ikke smede, hvorfor det var uanvendeligt for jernalderens smede. Dråber af støbejern kunne dog dannes i udvindingsovnene, når klumper af malm passerede de varmeste områder i forbrændingszonen. I de fleste tilfælde blev dråberne sandsynligvis opfanget af den dannede luppe, og kulstoffet fordeltes i denne. Der kendes således eksempler på, at der i luppefragmenter er fundet små områder med meget højt kulstofindhold.



Figur 21.14. Sammensætning af slagge fra primær-smedning, Brandrud IV. Jernoxid (FeO) er ikke medregnet.

I dette tilfælde er der tale om en meget kompakt slagge, som tilsyneladende er dannet i bunden af en esse. Det er meget usædvanligt at finde dråber af støbejern i en esseslagge, og det er ikke umiddelbart muligt at afgøre, hvordan støbejernet er dannet. Der kan muligvis være tale om dråber, som allerede har været til stede i slaggen omkring et luppefragment, som er blevet rensset.

De seks slagge, som stammer fra primær-smedning, er ret forskellige i sammensætning, specielt når det gælder deres indhold af kalciumoxid (CaO) og manganoxid (MnO) (figur 21.14). Det må betyde, at der her er tale om spor efter rensning af flere lupper eller fragmenter af lupper.

Jernstykker

S40 F38 A: Stykket består af massivt stål (figur 21.15) med et kulstofindhold på ca. 0,8 %. Der fandtes ingen synlige svejsninger. Det er ikke muligt at sige, hvorvidt der er tale om et stykke opkullet jern, eller om stålet kan være opstået ved udvindingen og sorteret fra ved primær-smedningen

S40 F39 B: Også i dette tilfælde er der tale om et stykke stål (figur 21.16). I dette tilfælde kan der dog ses en tydelig stigning i kulstofindholdet fra ca. 0,8 % i centrum til ca. 1,2 % ved overfladen. Det peger på, at stålet er fremstillet ved opkulning.

Heller ikke i dette stykke fandtes synlige svejsninger.

S35 F11: Jernstykket er meget kraftigt korroderet, og der fandtes kun en uregelmæssig kerne af bevaret metal (figur 21.17).

Der er tale om kulstoffrit jern, og det er ikke muligt at konstatere nogen svejsninger. Det kan dog skyldes den kraftige korrosion.

S92 F12: Også her er der tale om et meget kraftigt korroderet stykke jern. Kun meget små, uregelmæssige områder med metal er bevaret (figur 21.18).

Der er tale om stål med et kulstofindhold på 0,6 til 0,7 %. P g a. den kraftige korrosion er det ikke muligt at afgøre, om stålet er fremstillet ved opkulning.

Jernhåndværket ved Brandrud IV

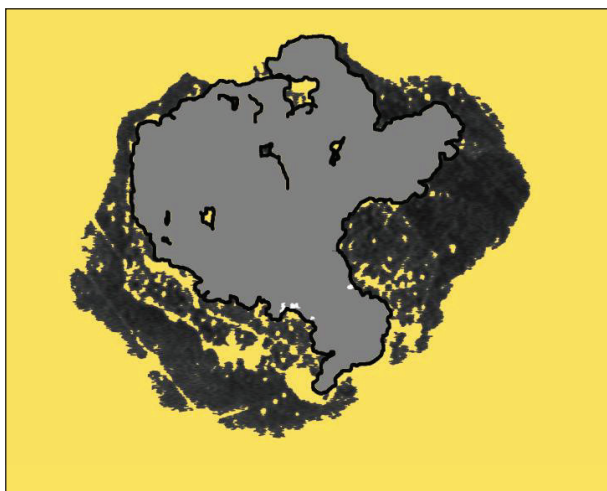
Det samlede indtryk, på grundlag af analyserne afammerskæl og slagger, er, at smedjen i Brandrud IV kun i mindre omfang har været anvendt til rensning af luppejern. Den væsentligste type arbejde synes således at have været sekundær smedning (formning) af genstande. Det ser endda ud til, at smeden har behersket mere avancerede teknikker som svejsning og måske opkulning og dermed har været i stand til at fremstille redskaber eller våben af høj kvalitet.

Det er bemærkelsesværdigt, at tre ud af de fire undersøgte jernemner består af stål med højt kulstofindhold. Langt størstedelen af de almindelige genstande som søm, beslag og også knive fra jernalderen, som er undersøgt, består således af kulstoffrit jern. Kun

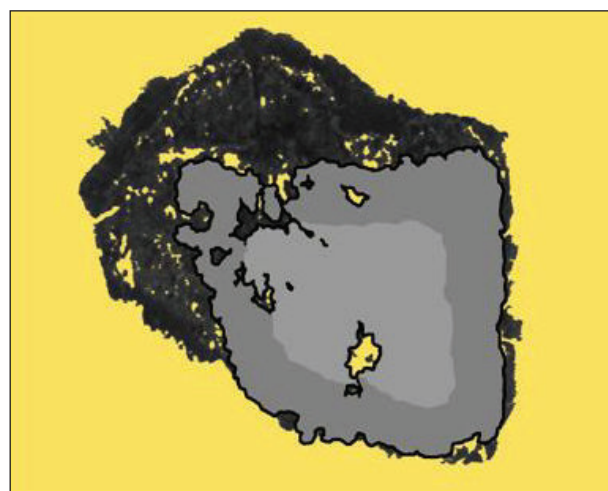
i redskaber og våben af god kvalitet ses stålet således anvendt til skærende ægge. Tilstedeværelsen af stål i materialet fra Brandrud IV bekræfter således antagelsen om, at der i denne smedje er blevet fremstillet redskaber eller våben af en høj smedeteknisk kvalitet.

Fordelingen af kulstof i S4 F39 B viser endvidere, at i det mindste en del af det stål, som blev anvendt, blev fremstillet ved opkulning af jern. Opkulningen er sandsynligvis sket, omtrent som det beskrives af Theophilus i det 11. århundrede. Han beskriver fremstillingen af file således:

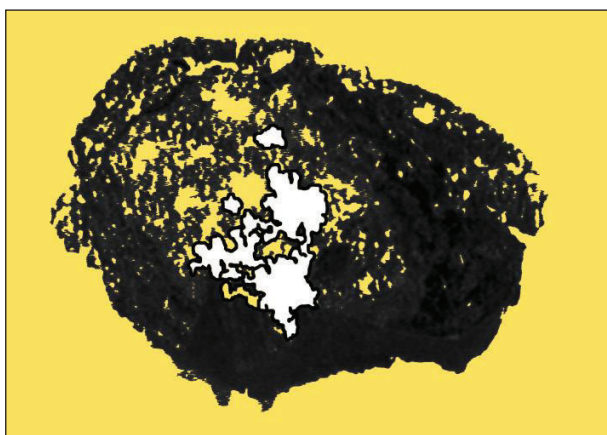
De bliver lavet af blødt jern og hærdes på følgende måde. Når de er blevet behugget med en hammer eller en mejsel eller en lille kniv, så smør dem med gammelt svinefedt, og omvind dem med læderstrimler skåret fra et gedekind, og bind dem med hørtråd. Herefter dækkes de hver for sig med æltet ler, medens skaftungerne efterlades fri. Når de er tørret, så læg dem i ilden, og blæs kraftigt, og gedekindet vil blive brændt. Fjern dem hurtigt fra leret, og hæld dem jævnt i vand. (Hawthorne og Smith 1979)



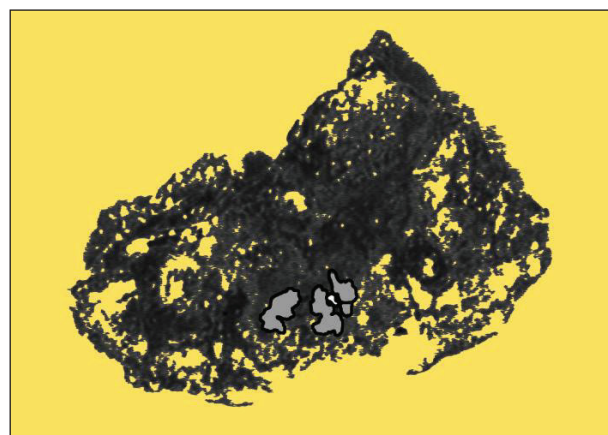
Figur 21.15. S40 F38 A. Sort = korrosion, gråt = stål med ca. 0,8 % C.



Figur 21.16. S40 F39 B. Sort = korrosion, lyst gråt = stål med ca. 0,8 % C, mørkt gråt = ca. 1,2 % C.



Figur 21.17. S35 F11. Sort = korrosion, hvidt = jern.



Figur 21.18. S92 F12. Sort = korrosion, lyst gråt = stål med ca. 0,6-0,7 % C.

Rester af den lerkappe, som har været pakket omkring jernet under processen, er fundet i flere smedjer. I disse værksteder er der desuden fundet relativt store mængder af 'slaggekugler', som ved analyse har vist sig at være størknede dråber af smeltet ler. Sandsynligvis er de opstået, når den delvist smeltede lerkappe blev fjernet fra jernet. Fragmenter af lerkappe eller lerkugler er dog ikke identificeret i materialet fra Brandrud IV.

Grytting II

Hammerskæl og slaggekugler

To prøver fra Grytting II indeholdt hammerskæl og slaggekugler (F30 og F31). Prøverne stammer begge fra anlæg S18.

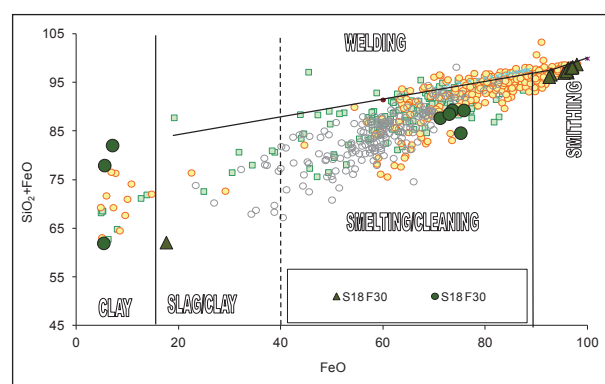
F30: Der blev analyseret 12 hammerskæl og 8 slaggekugler fra denne prøve. Analyserne er vist i figur 21.19 og 21.20.

Som det kan ses af figur 21.21, opdeles skæl og kugler i tre veldefinerede grupper. Næsten alle hammerskæl har et indhold af jernoxid over ca. 90 %, hvilket viser, at de stammer fra sekundær smedning (formning) af jern. Ét hammerskæl synes at bestå af smeltet ler.

Fem af slaggekuglerne har en sammensætning, som viser, at de er dannet ved primær-smedning, mens de sidste tre er dråber af smeltet ler. De sidste kan pege på, at der også kan være foregået opkulning i smedjen.

F31: Fra denne prøve blev der analyseret 16 hammerskæl og 7 slaggekugler. Analyserne kan ses i figur 21.22 og 21.23.

Igen er der tale om hammerskæl og slaggekugler fra såvel primær som sekundær smedning (figur 21.24), og tre skæl af ler tyder på opkulning.



Figur 21.21. Jernoxid (FeO) og siliciumoxid (SiO₂) i hammerskæl (trekanter) og slaggekugler (cirkler) fra Grytting II, F30.

| S18 F30 skæl | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|--------------|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| sk1 | 1,1 | 0,4 | 0,4 | 1,5 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 96,0 | 0,1 |
| sk2 | 0,9 | 0,3 | 0,1 | 0,9 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 97,9 | 0,0 |
| sk3 | 0,8 | 0,6 | 0,2 | 1,0 | 0,4 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,4 | 96,2 | 0,3 |
| sk4 | 1,4 | 1,0 | 0,6 | 3,9 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | 92,8 | 0,0 |
| sk5 | 0,9 | 0,1 | 0,2 | 1,9 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 96,2 | 0,4 |
| sk6 | 1,3 | 0,7 | 0,1 | 1,7 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 95,4 | 0,1 |
| sk7 | 1,2 | 2,7 | 24,3 | 44,6 | 0,1 | 7,7 | 0,5 | 1,2 | 0,3 | 17,6 | 0,0 |
| sk8 | 1,0 | 0,5 | 1,1 | 3,7 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 92,5 | 0,0 |
| sk9 | 1,1 | 0,8 | 0,0 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 97,1 | 0,0 |
| sk10 | 1,2 | 0,8 | 0,4 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 95,9 | 0,0 |
| sk11 | 0,8 | 0,4 | 0,0 | 1,3 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 96,7 | 0,0 |
| sk12 | 1,1 | 0,4 | 0,3 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 97,0 | 0,1 |

Figur 21.19. Tabel 5. Analyser af hammerskæl fra Grytting II, F30.

| S18 F30 kugler | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|----------------|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| ku1 | 0,8 | 1,0 | 3,0 | 16,6 | 1,1 | 0,3 | 2,3 | 0,1 | 3,8 | 71,2 | 0,0 |
| ku2 | 0,9 | 0,9 | 2,3 | 15,8 | 0,5 | 0,4 | 2,0 | 0,0 | 3,3 | 73,6 | 0,2 |
| ku3 | 1,6 | 0,8 | 2,7 | 9,5 | 7,6 | 0,2 | 1,0 | 0,3 | 1,2 | 75,2 | 0,0 |
| ku4 | 3,9 | 3,4 | 16,9 | 56,7 | 0,0 | 6,0 | 5,6 | 1,5 | 1,1 | 5,3 | 0,0 |
| ku5 | 0,8 | 1,0 | 2,1 | 15,7 | 0,7 | 0,6 | 2,4 | 0,1 | 3,2 | 72,9 | 0,3 |
| ku6 | 2,2 | 1,8 | 5,5 | 75,1 | 0,2 | 2,3 | 4,5 | 0,5 | 0,8 | 7,0 | 0,0 |
| ku7 | 3,7 | 1,7 | 9,2 | 72,5 | 0,3 | 2,3 | 3,7 | 0,3 | 0,9 | 5,5 | 0,2 |
| ku8 | 0,9 | 1,0 | 2,5 | 13,5 | 1,0 | 0,6 | 1,9 | 0,1 | 2,3 | 75,8 | 0,1 |

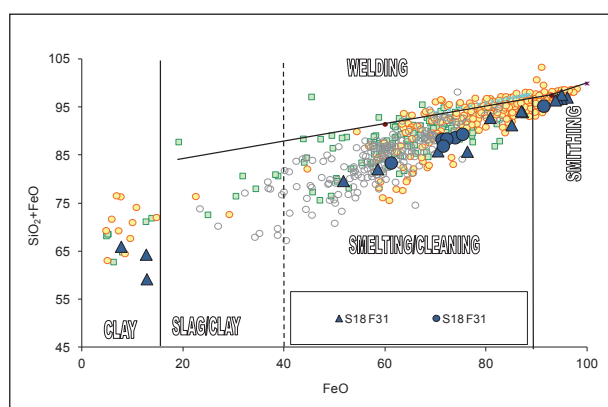
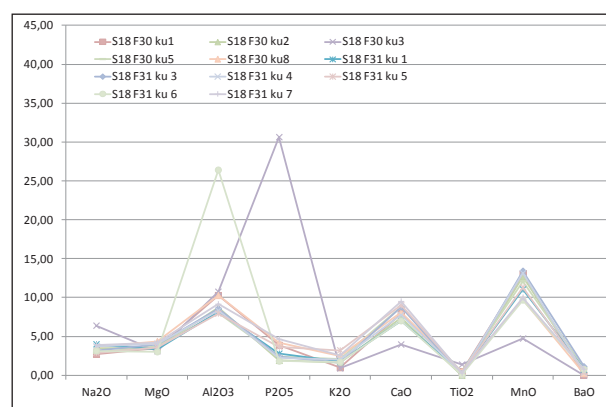
Figur 21.20. Tabel 6. Analyser af slaggekugler fra Grytting II, F30.

| S18 F31 skæl | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|--------------|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| sk1 | 1,3 | 0,4 | 0,4 | 1,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,3 | 96,1 | 0,2 |
| sk2 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 1,9 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 94,9 | 0,0 |
| sk3 | 8,0 | 1,6 | 19,5 | 58,3 | 0,1 | 2,9 | 0,4 | 1,0 | 0,3 | 7,7 | 0,0 |
| sk4 | 1,7 | 0,9 | 1,7 | 6,2 | 0,2 | 0,1 | 1,9 | 0,1 | 0,4 | 85,1 | 0,0 |
| sk5 | 0,9 | 0,5 | 1,1 | 2,6 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 94,1 | 0,0 |
| sk6 | 1,3 | 2,7 | 25,3 | 46,4 | 0,3 | 8,3 | 0,7 | 1,1 | 0,1 | 12,8 | 0,1 |
| sk7 | 1,1 | 1,2 | 2,7 | 15,4 | 0,8 | 0,7 | 3,1 | 0,1 | 3,6 | 70,5 | 0,0 |
| sk8 | 1,4 | 0,7 | 3,6 | 9,5 | 2,2 | 0,0 | 2,7 | 0,1 | 1,2 | 76,3 | 0,0 |
| sk9 | 1,5 | 0,2 | 0,8 | 6,8 | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 0,0 | 1,6 | 87,2 | 0,1 |
| sk10 | 4,6 | 1,6 | 21,6 | 51,7 | 0,6 | 4,7 | 0,8 | 1,1 | 0,7 | 12,7 | 0,0 |
| sk11 | 2,8 | 1,7 | 8,7 | 28,0 | 0,7 | 1,1 | 3,2 | 0,7 | 0,8 | 51,7 | 0,0 |
| sk12 | 0,7 | 0,4 | 0,7 | 2,7 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 95,0 | 0,0 |
| sk13 | 0,8 | 0,9 | 1,9 | 12,0 | 0,4 | 0,2 | 1,2 | 0,1 | 1,5 | 80,8 | 0,0 |
| sk14 | 1,4 | 0,7 | 2,0 | 7,3 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 87,0 | 0,0 |
| sk15 | 1,3 | 1,2 | 4,1 | 23,6 | 1,5 | 0,8 | 5,3 | 0,2 | 2,3 | 58,5 | 0,1 |
| sk16 | 1,0 | 0,5 | 0,6 | 2,8 | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 93,7 | 0,0 |

Figur 21.22. Tabel 7. Analyser af hammerskæl fra Grytting II, F31.

| S18 F31 kugler | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|----------------|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| ku 1 | 1,1 | 0,9 | 2,3 | 17,1 | 0,8 | 0,5 | 2,0 | 0,1 | 3,1 | 71,3 | 0,2 |
| ku 2 | 0,9 | 0,6 | 0,5 | 3,9 | 0,7 | 0,1 | 0,6 | 0,0 | 0,4 | 91,4 | 0,2 |
| ku 3 | 0,8 | 1,0 | 2,2 | 14,8 | 0,6 | 0,4 | 2,3 | 0,0 | 3,5 | 73,9 | 0,3 |
| ku 4 | 1,0 | 1,1 | 2,3 | 16,2 | 0,6 | 0,6 | 2,2 | 0,1 | 3,7 | 72,2 | 0,1 |
| ku 5 | 1,1 | 1,4 | 3,1 | 22,3 | 1,4 | 1,2 | 3,5 | 0,1 | 4,4 | 61,2 | 0,2 |
| ku 6 | 1,0 | 0,9 | 8,0 | 14,1 | 0,6 | 0,5 | 2,1 | 0,0 | 2,9 | 75,3 | 0,2 |
| ku 7 | 1,1 | 1,2 | 2,6 | 15,5 | 1,3 | 0,7 | 2,7 | 0,1 | 2,8 | 71,5 | 0,2 |

Figur 21.23. Tabel 8. Analyser af slaggekugler fra Grytting II, F31.

Figur 21.24. Jernoxid (FeO) og siliciumoxid (SiO₂) i hammerskæl (trekanter) og slaggekugler (cirkler) fra Grytting II, F31.

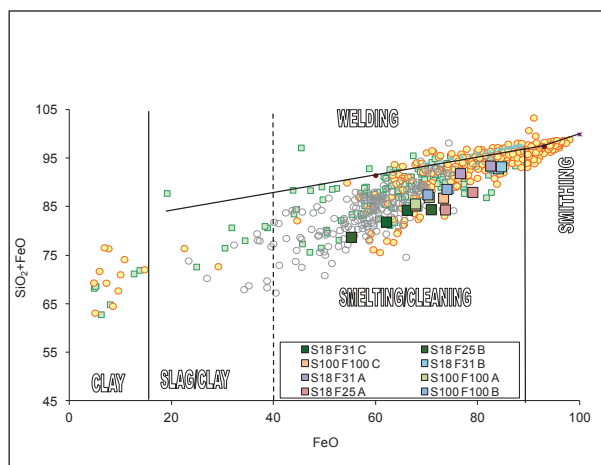
Figur 21.25. Sammensætning af hammerskæl og slaggekugler fra primær smedning, Grytting II, F30 og F31.

Fra sekundær smedning stammer således fem hammerskæl og en enkelt slaggekugle. Det er usædvanligt, at der dannes slaggekugler ved sekundær smedning, da det rene jernoxid har et meget højt smeltepunkt. Det er dog vist ved eksperimenter, at kugler af jernoxid kan

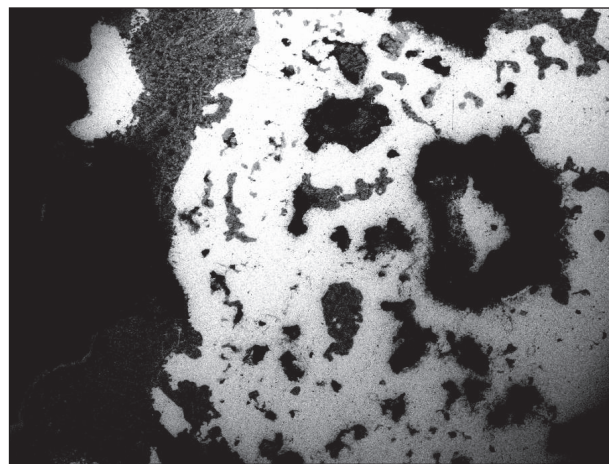
dannes, hvis jernet bliver overophedet (Dungworth og Wilkes 2009). Det kan eventuelt ske i sammenhæng med svejsning eller i de sidste trin af primær-smedningen. I begge disse processer kræves der således en opvarmning til over 1.200 grader, altså væsentligt

| Grytting II | | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|-------------|------|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| S18 F25 A | sl 1 | 2,5 | 1,2 | 4,5 | 10,8 | 3,1 | 0,3 | 1,7 | 0,0 | 1,8 | 73,7 | 0,3 |
| S18 F25 A | sl 2 | 1,8 | 1,0 | 3,6 | 9,0 | 1,7 | 0,3 | 1,4 | 0,1 | 1,6 | 79,0 | 0,1 |
| S18 F25 B | sl 1 | 0,9 | 1,9 | 5,9 | 23,6 | 1,5 | 3,6 | 5,0 | 0,1 | 1,8 | 55,2 | 0,2 |
| S18 F25 B | sl 2 | 1,3 | 2,0 | 3,5 | 13,6 | 1,3 | 2,0 | 3,0 | 0,1 | 1,9 | 70,9 | 0,1 |
| S18 F31 A | sl 1 | 1,1 | 0,8 | 3,3 | 15,3 | 0,1 | 0,5 | 1,5 | 0,1 | 0,5 | 76,6 | 0,0 |
| S18 F31 A | sl 2 | 0,7 | 0,9 | 2,5 | 11,0 | 0,2 | 0,1 | 1,0 | 0,0 | 0,6 | 82,5 | 0,2 |
| S18 F31 B | sl 1 | 0,8 | 0,7 | 1,8 | 8,9 | 0,6 | 0,3 | 1,4 | 0,0 | 1,3 | 84,1 | 0,2 |
| S18 F31 B | sl 2 | 0,9 | 0,6 | 1,9 | 8,7 | 0,7 | 0,2 | 1,2 | 0,0 | 1,1 | 84,7 | 0,0 |
| S18 F31 C | sl 1 | 0,8 | 1,9 | 5,0 | 18,2 | 0,4 | 2,2 | 3,3 | 0,2 | 1,6 | 66,2 | 0,0 |
| S18 F31 C | sl2 | 1,0 | 1,9 | 5,9 | 19,9 | 0,4 | 3,2 | 3,8 | 0,0 | 1,5 | 62,1 | 0,0 |
| S100 F100 A | sl 1 | 1,6 | 1,2 | 3,8 | 17,9 | 1,6 | 1,1 | 2,4 | 0,0 | 2,0 | 67,8 | 0,3 |
| S100 F100 A | sl 2 | 1,1 | 0,9 | 3,7 | 16,6 | 1,4 | 1,1 | 2,2 | 0,1 | 2,1 | 70,5 | 0,2 |
| S100 F100 B | sl 1 | 1,2 | 0,9 | 3,1 | 17,3 | 1,1 | 0,7 | 2,1 | 0,1 | 2,9 | 70,2 | 0,0 |
| S100 F100 B | sl 2 | 1,2 | 0,8 | 2,6 | 14,7 | 1,0 | 0,7 | 1,8 | 0,1 | 2,9 | 74,0 | 0,2 |
| S100 F100 C | sl 1 | 1,2 | 1,3 | 3,2 | 13,6 | 0,8 | 0,7 | 2,5 | 0,1 | 2,9 | 73,3 | 0,0 |
| S100 F100 C | sl 2 | 1,1 | 1,3 | 3,6 | 17,5 | 1,2 | 0,6 | 3,1 | 0,0 | 3,1 | 67,8 | 0,3 |

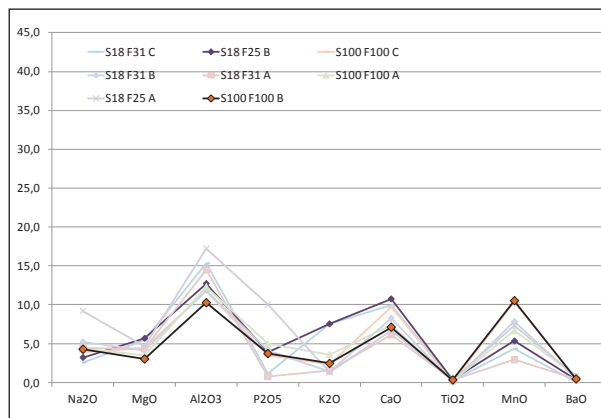
Figur 21.26. Tabel 9. Analyser af slagger fra Grytting II.



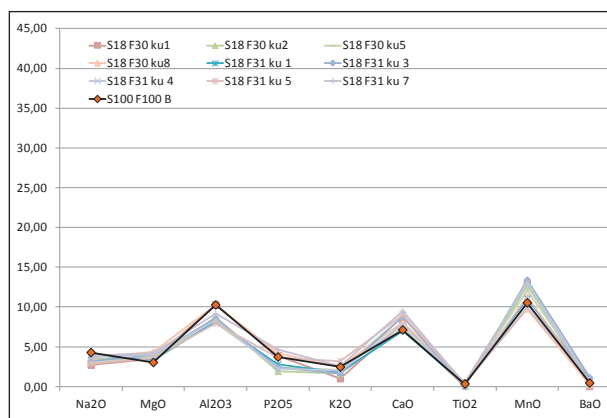
Figur 21.27. Jernoxid (FeO) og siliciumoxid (SiO₂) i slagger fra Grytting II.



Figur 21.28. Fragment af luppe i slagge fra Grytting II.



Figur 21.29. Sammensætning af slagger fra Grytting II.



Figur 21.30. Sammensætning af slagge S100 F100 B sammenlignet med slaggekugler fra Grytting II.

højere end de 800-900 grader, som smeden anvender ved normal (sekundær) smedning.

Majoriteten af hammerskæl og slaggekugler (otte hammerskæl og seks slaggekugler) har deres oprindelse i primær-smedning af luppejern. Den kemiske sammensætning af disse slaggekugler er næsten identisk med de tilsvarende slaggekugler fra F30 (figur 21.25), hvilket viser, at materialet i begge prøver må stamme fra samme proces, altså rensningen af samme jernluppe.

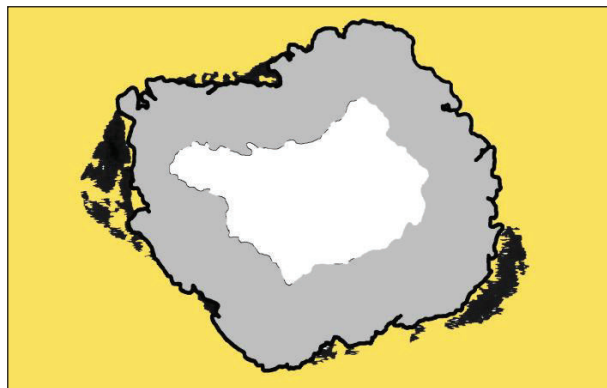
Skællene af smeltet ler tyder, ligesom lerkuglerne fra F30, på, at der også har været opkullet jern i værkstedet.

Slagger

I alt otte slagger fra Grytting II blev analyseret. Der blev foretaget to analyser af hvert stykke. Alle analyser er gengivet i figur 21.26.

Som det kan ses af figur 21.27, synes alle slaggerne at være opstået ved primær-smedning. En af slaggerne (S18 F31 C) indeholdt da også et stykke uforarbejdet, porøst jern, som sandsynligvis er et fragment af en af de rensede lupper (figur 21.28).

Slaggenes sammensætninger er ret kraftigt varierende (figur 21.29), hvilket tyder på, at flere forskellige lupper er blevet rensset på stedet. En af analyserne er



Figur 21.31. S18 F27. Sort = korrosion, lyst gråt = stål med ca. 0,4 % C.

næsten identisk med analyserne af slaggekuglerne (figur 21.30), og det er sandsynligt, at der her er tale om spor efter den sidste luppe, som blev rensset i essen.

Jerngenstande

S18 F27: Næsten kvadratisk jernemne. Relativt velbevaret.

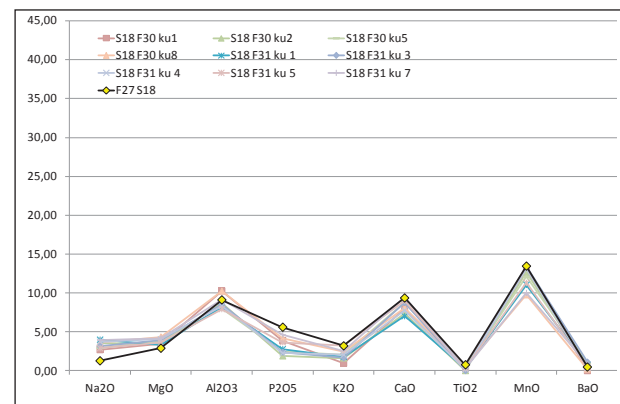
Strukturen viser, at der er tale om et stykke kulstoffrit jern, som er blevet opkullet til en dybde på ca. 2 mm (figur 21.31). Kulstofindholdet i det yderste lag er ca. 0,4 %.

Der er ingen tegn på, at emnet skulle være svejset sammen af flere stykker.

Sammensætningen af slaggeindeslutninger i jernemnet (figur 21.32) har en meget stor lighed med sammensætningen af slaggekuglerne fra primær-smedning (figur 21.33). Det er derfor sandsynligt, at emnet er et resultat af den primær-smedning, som er foregået på lokaliteten. I så fald må opkullingen også være foregået her.

S18 F28: Rektangulært jernstykke. Prøven blev taget fra den ene ende af stykket.

Emnet består af kulstoffrit jern med et relativt højt indhold af slaggeindeslutninger (figur 21.34).



Figur 21.33. Middelsammensætning af slaggeindeslutninger i jernemnet S18 F27 sammenlignet med slaggekugler fra Grytting II.

| F27 S18 | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | BaO |
|---------|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|-----|
| sl1 | 0,2 | 0,2 | 1,7 | 9,2 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 0,1 | 1,3 | 84,7 | 0,1 |
| sl2 | 0,2 | 0,3 | 1,8 | 8,6 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,0 | 0,4 | 86,7 | 0,2 |
| sl3 | 0,3 | 0,8 | 1,7 | 10,1 | 0,3 | 0,5 | 1,2 | 0,2 | 1,6 | 83,3 | 0,0 |
| sl4 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 15,2 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 84,2 | 0,1 |
| sl5 | 0,0 | 0,7 | 0,4 | 4,3 | 3,8 | 0,0 | 3,3 | 0,2 | 4,4 | 82,7 | 0,0 |
| sl6 | 0,4 | 0,6 | 1,5 | 9,2 | 0,5 | 0,7 | 1,6 | 0,2 | 2,4 | 83,0 | 0,2 |
| sl7 | 0,3 | 0,5 | 1,5 | 8,7 | 0,3 | 0,7 | 1,1 | 0,1 | 1,8 | 85,0 | 0,0 |
| sl8 | 0,1 | 0,3 | 0,7 | 4,6 | 0,5 | 0,3 | 0,8 | 0,1 | 1,4 | 91,2 | 0,0 |
| sl9 | 0,1 | 0,0 | 0,7 | 3,9 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 94,1 | 0,0 |
| sl10 | 0,1 | 0,3 | 1,3 | 9,0 | 0,5 | 0,4 | 1,7 | 0,2 | 3,7 | 82,6 | 0,0 |

Figur 21.32. Tabel 10. Analyser af slaggeindeslutninger i jernemnet S18 F27.



Figur 21.34. S18 F28. Sort = korrosion, hvidt = jern.

Der er ingen tegn på, at emnet er svejset sammen af flere stykker, eller på, at der er blevet forsøgt en opkulning.

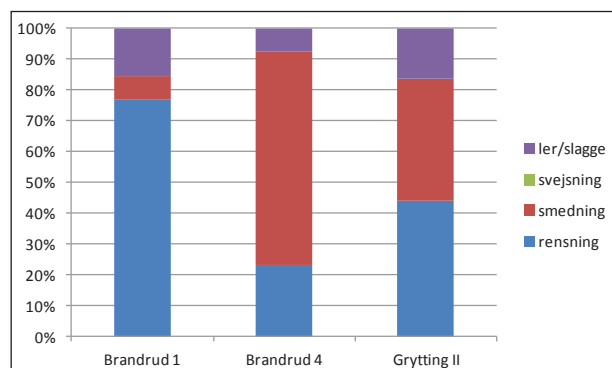
Jernhåndværket ved Grytting II

Det samlede indtryk af jernhåndværket i Grytting II er, at der i vid udstrækning er foregået primær-smedning (rensning) af luppejern. Der er dog også foregået sekundær smedning, som eventuelt blot kan være en færdigsmedning af det rensede jern til barrer eller andre former for halvfabrikata.

Det er sandsynligt, at der kan være blevet fremstillet mindre emner eller stænger, som er blevet opkullet til stål. Der er dog ikke noget, som tyder på, at der er foregået svejsning, og dermed at det fremstillede stål er blevet anvendt som skærende ægge i værktøj eller våben fremstillet på stedet.

FORSKELLE OG LIGHEDER MELLEM DE TRE LOKALITETER

Den fordeling af processer, som kunne ses for de enkelte pladser, er meget forskellig (figur 21.35). Især adskiller Brandrud IV sig fra de øvrige pladser ved,



Figur 21.35. Den omtrentlige fordeling af hammerskæl dannet ved de forskellige smedeprocesser i prøverne fra Brandrud I, Brandrud IV og Grytting II.

at hammerskæl fra sekundær smedning her er meget dominerende. Denne esse, som var placeret inde i en bygning, synes dermed primært at have været anvendt ved formning af jerngenstande. Kun i mindre omfang har der også været udført primær-smedning (rensning) af luppejern. Dette bekræftes af, at en væsentlig del af slaggerne primært består af smeltet ler blandet med jernoxid, noget, som er typisk for slagge fra sekundær smedning. Til gengæld peger analyserne af såvel slagge som slaggekugler og hammerskæl på, at der også har været foretaget opkulning af jern til stål, og at der er foregået svejsning. Det kan dermed tænkes, at stålet er blevet indsat som skærende ægge i redskaber eller våben. Værkstedet synes dermed at have været en relativt avanceret smedje, hvor smeden har behersket teknikker som svejsning og opkulning, og har kunnet fremstille redskaber eller våben af en høj smedeteknisk kvalitet.

At der i værkstedet har været fremstillet eller anvendt stål, kan også ses af, at tre ud af fire jernemner, som blev undersøgt, bestod af stål. Det ene kan endda tydeligt ses at være fremstillet ved opkulning af jern.

I modsætning til Brandrud IV har jernhåndværket på de to andre lokaliteter været mere domineret af primær-smedning. Særlig udtalt er det for Brandrud I, hvor såvel hammerskæl som slagge ikke viser tegn på, at der er sket hverken sekundær smedning eller svejsning. Kun meget få hammerskæl kan pege på, at der også her kan være foretaget opkulning; det er dog meget usikkert. Denne esse, som ligesom Brandrud IV har været placeret i en bygning, har med stor sandsynlighed været et 'specialværksted' til primær-smedning af jernlupper, muligvis endda kun til en første grovrensning af luppen. Hvis det rensede jern var blevet smedet videre til barrer eller genstande, ville man forvente at finde flere hammerskæl fra sekundær smedning. To grupper af hammerskæl med identiske analyser viser, at der er blevet rensede mindst to lupper på stedet. Sammensætningen af slaggerne svarer til den ene af disse grupper.

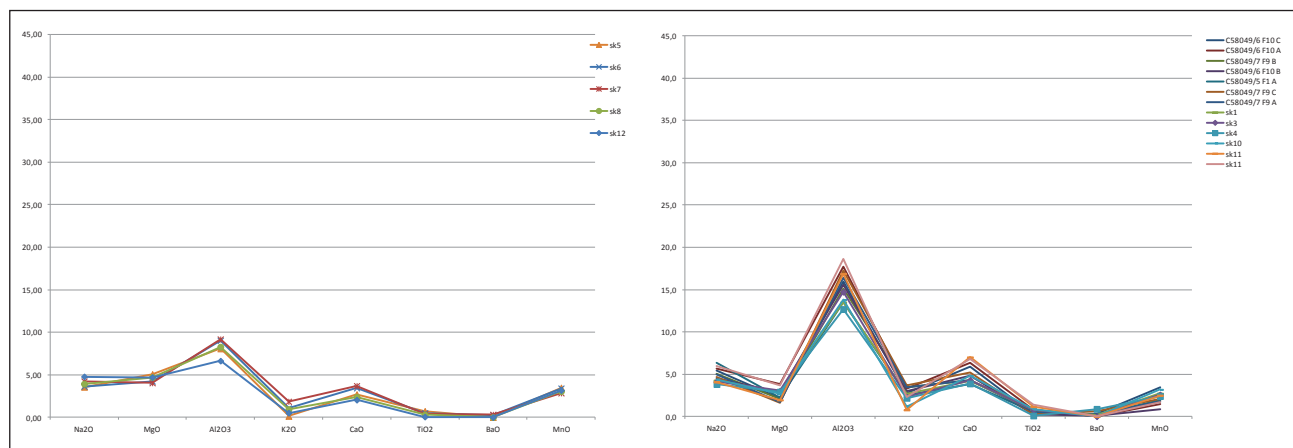
Ved primær-smedning dannes relativt store mængder slagge, hvorfor det kan undre, at der kun blev fundet en lille mængde ved Brandrud I. Dette kan dog have forskellige årsager, og den mængde slagge, som findes på en lokalitet, behøver ikke at have en sammenhæng med den mængde, som oprindeligt blev produceret. Slagge, specielt fra primær-smedning, vil være relativt store og vil derfor være stærkt generende, hvis de blot bliver efterladt på gulvet i værkstedet. Det normale vil derfor være, at slagge fjernes fra smedjen og bliver deponeret et andet sted, f.eks. i gruber eller i nærliggende søer og vandløb. Tilbage i smedjen bliver kun mindre fragmenter af slagge, som er trådt ned i

gulvlaget eller ligger på ubefærdede steder som f.eks. langs væggene (Jouttijärvi 2010). Er gulvlaget ikke bevaret, vil også disse være forsvundet, og man vil kun finde lidt slagge i resterne af essen samt i stolpehuller og andre nedgravninger.

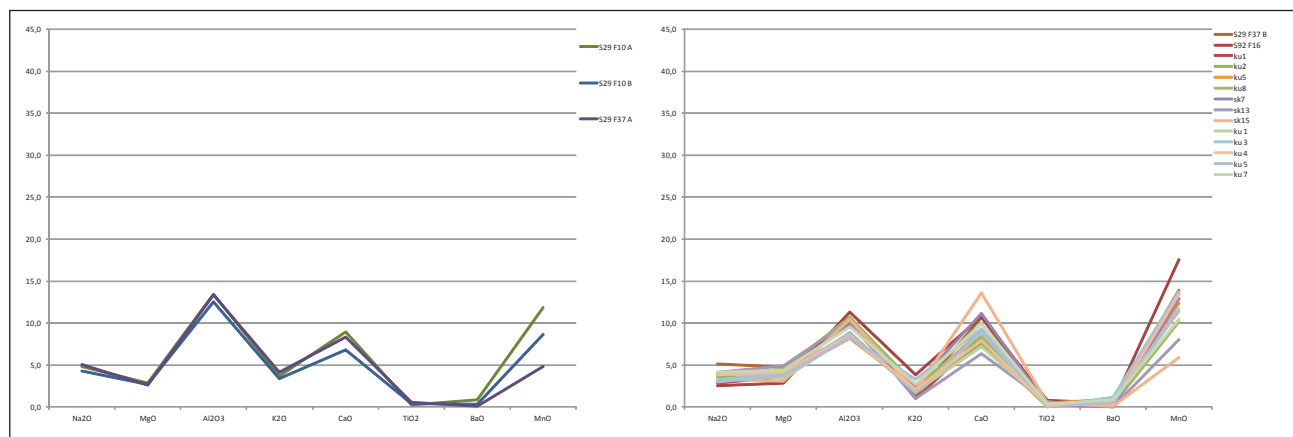
Da der ikke var blevet taget jordprøver fra Brandrud I, stammede de analyserede hammerskæl fra mindre mængder jord, som stadig sad på slaggerne. Det giver naturligvis nogen usikkerhed ved bestemmelserne, da det er muligt, at hammerskællene er deponeret samtidig med slaggerne og dermed afspejler den samme aktivitet som disse. Det kan derfor ikke helt udelukkes, at der på andre tidspunkter kan have foregået andre aktiviteter som f.eks. sekundær smedning i værkstedet, og at spor efter disse havde kunnet findes i jordprøver. Det understreger vigtigheden af, at der altid tages jordprøver fra anlæg, hvori der findes slagge. Analyse udelukkende af slagge vil således kunne give et fortegnat billede af et værksteds funktion, mens de analyserede hammerskæl og slaggekugler som regel vil være deponeret over en længere periode, og derfor giver et mere præcist indtryk af, hvilke processer der har fundet sted.

Da de to smedjer Brandrud I og Brandrud IV tilsyneladende har været anvendt til hver sin del af jernforarbejdningen, er det nærliggende at forestille sig, at de har fungeret samtidig, og at rensning og smedning har været foretaget i hvert sit specialiserede værksted. Hvor der er tydelige analytiske grupperinger af slagge og hammerskæl inden for henholdsvis Brandrud I og Brandrud IV (figur 21.36 og 21,37), er der dog intet, som kan knytte de to smedjer sammen. Der er dermed ikke noget i det analyserede materiale, som tyder på, at det jern, som blev rensset ved Brandrud I, blev bragt videre til smedjen ved Brandrud IV for videre smedning. Analyserne peger derimod på, at de to værksteder har fungeret uafhængigt af hinanden.

En væsentlig forskel mellem slaggerne fra Brandrud I og Brandrud IV er, at slaggerne fra Brandrud IV generelt har høje indhold af manganoxid (MnO), hvor slaggerne fra Brandrud I har ret lave indhold. Der er sandsynligvis ikke tale om et udtryk for forskelle i udvindingsprocessen, men blot om anvendelsen af to malme med forskellig sammensætning. Det kan f. eks. være resultatet af to sæsoners jernproduktion, baseret på malme taget forskellige steder.



Figur 21.36. Grupper af slagge og hammerskæl fra Brandrud I.



Figur 21.37. Grupper af slagge og hammerskæl fra Brandrud IV.

Den manglende sammenhæng mellem Brandrud I og Brandrud IV kan derfor også skyldes, at de ikke har været i brug samtidig, men er resultaterne af jernforarbejdning i forskellige sæsoner, som dog kan ligge inden for nogle få år. Specielt fordi de analyserede slagger stammer fra selve esserne og ikke fra eventuelle affaldsdeponeringer omkring værkstederne, er det muligt, at de kun afspejler det sidste arbejde, som foregik i essen. Som før omtalt, bliver slagger i vid udstrækning hurtigt fjernet fra essen, mens hammerskæl har en større chance for at blive liggende i området omkring esse og ambolt gennem flere sæsoner.

Også materialet fra essen i Grytting II viser, at der her er foregået en ret omfattende primær-smedning. Der fandtes således kun slagger fra denne proces. Til gengæld har primær-smedningen dog ikke her været så enerådende som i Brandrud I. Analyserne af hammerskæl og slaggekugler viser således, at der også er blevet foretaget sekundær smedning. Svejsning findes der dog ingen tegn på. Det er muligt, at det rensede jern er blevet smedet til stænger eller små rektangulære emner, som derefter er blevet opkullet til stål. Af de to emner, som blev undersøgt, er det ene opkullet til ca. 2 mm's dybde i overfladen. At dette emne tilsyneladende er fremstillet af jern, som er blevet rensat på stedet, kan ses af, at slaggeindeslutningerne i det har en sammensætning, som er næsten identisk med sammensætningen af slagger og hammerskæl fra primær-smedning.

Til trods for at Grytting II er dateret til middelalder, mens Brandrud I og IV er dateret til romertid/folkvandringstid, er der ikke nogen væsentlig forskel i sammensætningen af slagger eller hammerskæl. Der er derfor intet, som tyder på, at der er sket en ændring i den grundlæggende teknologi for udvinding eller primær og sekundær smedning. I alle tilfælde er der tale om forarbejdning af jern udvundet ved den direkte proces, som grundlæggende var den samme fra jernalderen og op til 1700-tallet, blot i ovne af skiftende udformning.

Det er sandsynligt, at jernet kan have stammet fra en lokal produktion, og kombinationen af primær og sekundær smedning i Grytting II peger på, at man i middelalderen stadig var selvforsynende med jern; noget, der da også forekommer sandsynligt på baggrund af den udbredte og velorganiserede jernudvinding i Gudbrandsdalen (Larsen artikel 6 i dette

bind). I denne periode bliver det ellers mere og mere udbredt, at der i smedjer ikke forekommer spor af primær-smedning; noget, som sandsynligvis afspejler en voksende handel med jern i form af barrer, stænger eller andre former for halvfabrikata (Jouttijärvi 2013). Der blev dog ikke undersøgt slagge fra eventuelle jernudvindingspladser i området, så der kan ikke siges noget mere præcist om sammenhængen mellem udvindingen og primær-smedningen. Analyser baseret på både hoved- og sporelementer peger dog på, at en lokal produktion er mulig, mens flere fjernere liggende områder kan udelukkes som kilder til jernet (Grandin artikel 22 i dette bind).

Ved Grytting II kan det være hensynet til brandfaren ved primær-smedning, som har medført, at man har valgt at udføre arbejdet ved en esse i det fri, eller der kan være tale om et midlertidigt anlæg med kort levetid.

Da alle de undersøgte jernemner synes at være stumper af råmateriale snarere end færdige genstande, er det ikke muligt, på baggrund af dem, at sige yderligere om anvendelsen af avancerede smedeteknikker som f.eks. kombinationen af jern og stål.

LITTERATUR

- Dungworth, David og Roger Wilkes 2009. «Understanding Hammerscale: The Use of High Speed Film and Electron Microscopy». *Historical Metallurgy* 43: 33-46.
- Hawthorne, John G. og Cyril S. Smith 1979. *Theophilus; On Divers Arts. The Foremost Medieval Treatise on Painting, Glassmaking and Metalwork*. New York: Dover books on art history.
- Jouttijärvi, Arne 2010. «Smedens bygninger. En række rum fra jernalderen til 1700-tallet». Henriette Lyngstrøm, Martin Winther Olesen og Lone Gebauer Thomsen (red.). *Værkstedet, Smedens Rum 1*: 137-152. København: Saxo-Instituttet, Københavns Universitet, (Arkæologiske Skrifter, 9).
- Jouttijärvi, Arne 2013. «Iron and Processes in Scandinavian Blacksmithing Workshops from the Iron Age to the 14th Century». Jane Humphris og Thilo Rehren (red.). *The World of Iron*: 402-408. London: Archetype Publications.
- Jouttijärvi, Arne 2015. «Scales and Spheres». *Historical Metallurgy*, 48 for 2014, 41-46.