



Tomas Jacobson

Experimentell undersökning av smidesprocesser

I Vällning av olika flussmedel

II Färskning i osmundshärd

H 28

**JERNKONTORETS
BERGSHISTORISKA
UTSKOTT**

JERNKONTORETS FORSKNING

Serie	Nr.	Datum	Forskningsuppgift nr.
H	28	1983-12-08	9027/82

Tomas Jacobson

EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING AV SMIDESPROCESSER

- I Vällning av olika flussmedel
- II Färskning i osmundshärd

M E T O D I K O C H P R O B L E M

Den forskning som inom Jernkontoret bedrivits i bl a Osmundgruppen och projektet Svenskt medeltida järn har aktualiserat en rad frågor rörande det äldre järnets framställningssätt och förädling. Genom tekniska analyser har man kunnat påvisa olika karakteristiska strukturtyper och kvalitativa drag. Det har dock i vissa fall varit svåra. Att säkert belägga dessa strukturer och kvaliteter som ett resultat av någon bestämd reduktionsprocess eller smidesprocess. En anledning är att ett relevant jämförelsematerial saknas. För att i någon mån bidra till skapandet av ett sådant material, genomfördes under vintern och våren 1982 den serie smidesförsök och tekniska undersökningar, av vilka huvuddelen här redovisas.

Den metod som använts kan i korthet beskrivas som en kombination av efterliknande försök och tekniska analyser av dessa för jämförelse med liknande analyser av äldre järn. Smidesförsöken rör tre typer av smidesprocesser: Vällning, Färskning och Vidareförädling. Av dessa kommer den senare processen att redovisas i ett annat sammanhang. Vid vällförsöken studeras effekten av olika flussmedel. Färskningsförsöken rör färskning av tackjärn i en kopia av en osmundshärd.

Försöken har dokumenterats avseende åtgången av följande kvantiteter: blästerluftens volym per min, råvarornas respektive produkternas vikt, temperatur, tid. Temperaturerna vid försöken har uppmätts med en platina/platina/rhodiumpyrometer. Resultaten av försöken har undersökts metallografiskt och i några fall med kemisk analys.

VÄLLNING

Vällförsöken omfattar undersökning av effekten av tio olika flussmedel. Recepten till vissa av flussmedlen är hämtade ur smidesteknisk litteratur, andra är hämtade ur en levande muntlig tradition.

Försöken utgår från tre hypoteser om effekter som de använda flussmedlen kan tänkas ha.

1. Flussmedlet bildar tillsammans med glödskalet en slagg med lägre smältpunkt än glödskalets. Vid vällningen pressas denna lättflutna slagg ut ur fogen så att en sammansmältning kan äga rum.
2. Flussmedlet skapar en reducerande atmosfär i fogen i vällningsögonblicket, varvid glödskalet reduceras till metallisk fas och en sammansmältning äger rum. Att reduktionen kan äga rum så snabbt beror på det höga tryck som uppstår under hammarslagen.
3. Flussmedlet avger fosfor som lokalt sänker smältpunkten i fogen, vilket underlättar sammansmältningen.

Först har flussmedlens smältpunkt grovt uppskattats genom att pulvret strötts över en järnten med en temperatur varierande från 1300° och nedåt. Därefter har vällningsförsök gjorts dels vid ca. 1000°, vilken temperatur normalt är för låg för att sammansmältning skall kunna äga rum, dels vid normal välltemperatur, ca. 1300°. Vällfogarna har därefter undersökts metallografiskt och deras kvalitet har bedömts.

Fogarna har bedömts efter följande kriterier.

- 0: Ingen vidhäftning har ägt rum.
- 1: Vidhäftning endast ställvis.
- 2: Mer långsträckt fogslagg än punktvís förekommande.
- 3: Mer punktvís förekommande fogslagg än långsträckt.
- 4: Endast punktvís förekommande fogslagg.
- 5: Inga eller ytterst få slagginneslutningar i fogen.

VÄLLFÖRSÖKEN

FÖRSÖK 1

Försök 1 rör inte ett traditionellt flussmedel utan en härdvätska vilken enligt en amerikansk smideshandbok (Richardson M T 1889-1891.) skall göra att stål efter härdning i vätskan väller som järn.

RECEPT: 1/4 pound (227g) Salpeter.

1/4 pound konc. Svavelsyra.

1 gallon (3,8 l) Vatten.

MATERIAL: 1 Kolstål ca 0,7% C

2 Kolstål ca 0,85% C

3 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca 1%.

Materialen härdades först från 800° i vätskan och sammanvällades därefter vid 1300°. Metallografisk provtagning gjordes på det obehandlade materialet, sedan detta härdats, samt efter vällning. M.a.o. togs nio prov.

RESULTAT: Effekten av härdningsvätskan är tvetydig. Efter härdningen hade ytskikten både uppkolats ställvis resp. avkolats på andra ställen. Ett flertal hårdsprickor hade bildats. Någon speciell effekt som skulle kunna påverka vällbarheten kunde inte iakttas metallografiskt. Efter vällning kunde längs fogarna iakttas en ganska bred avkolad zon.

Vällfogarnas kvalitet var relativt dålig.

Prov 1:7 fogkvalitet 2 (Bild 1)

Prov 1:8 fogkvalitet 2 (Bild 2 och 3)

Prov 1:9 fogkvalitet 3 (Bild 4)

FÖRSÖK 2

I försök 2 användes ett flussmedel hämtat ur "Practical Blacksmithing".

RECEPT: 28,4 g järnvitriol

14,1 g Salpeter

7,1 g Salmiak

85,1 g Koksalt

227 g Kwartssand

Flussmedlets smältpunkt uppskattades till 1100°.

MATERIAL: 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca. 1%.
Materialet sammanvällades vid 1000° (Prov 2:1) och vid 1300°
(Prov 2:2).

RESULTAT: Prov 2:1 uppvisar en fog av dålig kvalitet och en avkolad zon på båda sidor om fogen. Prov 2:2 uppvisar en perfekt fog och en bred något uppkolad zon kring fogen.

Prov 2:1 fogkvalitet 1 (Bild 5)

Prov 2:2 fogkvalitet 5 (Bild 6)

FÖRSÖK 3

I försök 3 användes pulvriserad färskslaggen som flussmedel.

Färskslaggen kommer från Ervalla hammare i Örebro län och kan dateras till 1600-talet.

Färskslaggen som ingrediens i flussmedel beskrivs av Sven Rinman i "Handbok uti den grövre järn och stålförädlingen, 2:a upplagan 1829.

Smältpunkten uppskattades till mellan 1100° och 1200°.

MATERIAL: 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca. 1%.

Materialet sammanvällades vid 1000° (prov 3:1) och vid 1300°
(prov 3:2).

RESULTAT: Prov 3:1 uppvisar en fog av relativt god kvalitet trots den låga temperaturen. Prov 3:2 uppvisar en ännu bättre fog.

Prov 3:1 fogkvalitet 3 (Bild 7)

Prov 3:2 fogkvalitet 4 (Bild 8).

FÖRSÖK 4

Vid försök 4 användes ett flussmedel som utarbetats vid Tekniska Institutets verkstad för vällning av gjutstål. (Karmarsch 1862).

RECEPT: 16,5 g Borax

4,5 g Salmiak

2,3 g Rött blodlutsalt

1,5 g Harts

Ingredienserna har smälts samman över värme och därefter pulvriserats. Smältpunkten uppskattades till 700°.

MATERIAL: Kolstål ca 0,7% respektive 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca 1%.

Kolstålet välldes vid 900° (prov 4:1) och 1400-talsjärnet vid 1000° respektive 1300° (prov 4:2 och 4:3).

RESULTAT:

Prov 4:1 fogkvalitet 2-3 (Bild 9)

Prov 4:2 fogkvalitet 2 (Bild 10)

Prov 4:3 fogkvalitet 4 (Bild 11)

FÖRSÖK 5

Vid försök 5 användes ett flussmedel hämtat ur Otto Dress, "Beskrifning om jern och ståltillverkning mm." 1687.

Flussmedlet uppges vara särskilt lämpligt vid tillverkning av mynt- och medaljstampar.

RECEPT: Halvparten menniskie Excrement.

Halvparten Slijpskaf (pulvriserad gotländsk sandsten)

Sampt lijtet grant Sallt (koksalt)

MATERIAL: 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca 1 % samt kolstål 0,6 - 0,7 %

1400-talsjärnet välldes vid 1100° (prov 5:1) respektive vid 1000° prov 5:2), kolstålet välldes 900° (prov 5:3). Vid samtliga vällningar hölls fogen tät med lera som fått torka före upphetningen.

RESULTAT: Prov 5:1 uppvisade en rätt dålig fog. Vid de övriga vällningarna hade ingen vidhäftning ägt rum.

Prov 5:1 fogkvalitet 2 (Bild 12)

Prov 5:2 fogkvalitet 0

Prov 5:3 fogkvalitet 0

FÖRSÖK 6

Vid försök 6 användes benmjöl som flussmedel för att testa hypotesen att benmjölets höga fosforhalt skulle kunna medföra en lokalt sänkt smältpunkt i fogen, vilket skulle underlätta vällning.

MATERIAL: 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca 1%.

Järnet välldes vid 1000° (prov 6:1) och vid 1300° (prov 6:2). Den blivande fogen hölls tät med lera.

RESULTAT: Vid prov 6:1 erhöles ingen vidhäftning. Vid prov 6:2 erhöles en ganska dålig fog med en avkolad zon längs fogen (om den avkolade zonen hade förhöjd fosforhalt har inte kunnat avgöras).

Prov 6:1 fogkvalitet 0

Prov 6:2 fogkvalitet 2 (Bild 13)

FÖRSÖK 7

Vid försök 7 användes pulvriserad harts (Colophonium) som flussmedel för att testa hypotesen att ett kolhaltigt ämne som detta kan skapa en reducerande atmosfär i fogen och reducera glödskalet till metallisk fas.

MATERIAL: 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca 1%

Järnet välldes vid 1000° (prov 7:1) och vid 1300° (prov 7:2). Den blivande fogen hölls tät med lera.

RESULTAT: Prov 7:1 uppvisar en ganska dålig fog, som med tanke på den låga temperaturen dock ger ett visst stöd för hypotesen. Prov 7:2 uppvisar en endast något bättre fog.

Prov 7:1 fogkvalitet 2 (Bild 14)

Prov 7:2 fogkvalitet 2-3 (Bild 15)

FÖRSÖK 8

Vid försök 8 användes rent järnfilspån som flussmedel för att testa hypotesen att detta skulle kunna fungera som ett lod.

MATERIAL: 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca. 1%.

Järnet välldes vid 1000° (prov 8:1) och vid 1300° (prov 8:2).
Den blivande fogen hölls tät med lera.

RESULTAT: Vid prov 8:1 erhöjls ingen vidhäftning. Vid prov 8:2 erhöjls en perfekt fog.

Prov 8:1 fogkvalitet 0

Prov 8:2 fogkvalitet 5 (Bild 16).

FÖRSÖK 9

Vid försök 9 användes tackjärnspulver som flussmedel för att testa hypotesen att detta dels skulle kunna fungera som ett lod och dels p.g.a. sin höga kolhalt kunna skapa en reducerande atmosfär i fogen.

MATERIAL: 1400-talsjärn med kolhalt varierande från 0,1 - ca. 1%.

Järnet välldes vid 1000° (prov 9:1) och vid 1300° (prov 9:2).
Den blivande fogen hölls tät med lera.

RESULTAT: Prov 9:1 uppvisar en förvånansvärt bra fog med tanke på den låga temperaturen. Prov 9:2 uppvisar en sämre fog. Tackjärnet har här troligen omedelbart pressats ut ur fogen vid sammanhamringen.

Prov 9:1 fogkvalitet 3 (Bild 17 och 18)

Prov 9:2 fogkvalitet 2.

FÖRSÖK 10

Vid försök 10 användes en blandning av järnfilspån och harts (Colophonium) 1:1 för att testa hypotesen att järnfilspånet skulle kunna fungera som ett lod och att hartset skulle kunna skapa en reducerande atmosfär i fogen.

MATERIAL: 1400-talsjärn med en kolhalt varierande från 0,1 - ca. 1%.

Järnet vällades vid 1300° (prov 10:1) och vid 1000° (prov 10:2).

RESULTAT: Hartset gav intryck att omedelbart brinna upp och det är oviss om något verkligen stannade kvar i fogen. Prov 10:1 uppvisar en mycket bra fog. Vid prov 10:2 erhöles ingen vidhäftning.

Prov 10:1 fogkvalitet 4 (Bild 19)

Prov 10:2 fogkvalitet 0.

FÖRSÖK 11

Försök 11 genomfördes för att ytterligare pröva hypotesen att ett kolhaltigt ämne som harts kan medverka till en reduktion av glödskalet till metallisk fas.

Provmaterialen konstruerades som helt slutna paket med sidorna hopsvetsade med elsvets.

I prov 11:1 inlades en "extra" glödskaletsflaga mellan bitarna innan dessa svetsades ihop. I prov 11:2 inlades en "extra" glödskaletsflaga tillsammans med hartspulver innan paketets sista sida hopsvetsades. De båda proven fästes därefter tillsammans med elsvets sida vid sida och sammanvällades samtidigt vid 1000°.

MATERIAL: Modernt konstruktionsstål med en kolhalt på ca. 0,2 %.

RESULTAT: Vid prov 11:1 erhöles ingen vidhäftning. Materialen åtskiljdes av ett tjockt oxidskikt. Vid prov 11:2 hade glödskalet reducerats till metallisk fas och en sammansmältning hade ägt rum trots den låga temperaturen. Ställvis hade hartset inte endast givit en reduktion av glödskalet utan också en uppkolning längs fogen. På de ställen där denna uppkolning var mindre kraftig återfanns den endast på den sida fogen som varit vänd från stället vid vällningen och som därför hållit värme längre än den andra.

Prov 11:1 fogkvalitet 0

Prov 11:2 fogkvalitet 3 - 4 (Bild 20 och 21)

SAMMANFATTNING OCH TOLKNING AV VÄLFFÖRSÖKEN

- Försök 1: Resultatet är för tvetydigt för att kunna säga något om härdevätskans effekt.
- FÖRSÖK 2: Flussmedlet har en mycket god effekt vid temperaturer kring 1300°.
- FÖRSÖK 3: Färskslaggen har en god effekt som flussmedel vid så låg temperatur som 1000°.
- FÖRSÖK 4: Flussmedlet har en god effekt vid vällning av stål vid så låg temperatur som 900° och vid vällning vid normal välltemperatur.
- FÖRSÖK 5: Hypotesen att flussmedlet skulle underlätta vällning av stål vid låga temperaturer måste avskrivas.
- FÖRSÖK 6: Benmjöl som flussmedel har sannolikt ingen smältpunktsänkande effekt och underlättar inte vällning vid låga temperaturer. För att en smältpunktssänkande effekt skall uppnås krävs troligen en längre tids upphettning av järnet tillsammans med benmjöl eller annat fosforhaltigt ämne.
- FÖRSÖK 7: Hartset har sannolikt tillsammans med det höga tryck som bildas under hammarslagen medverkat till en reduktion av glödskalesskikten i den blivande vällfogen och möjliggjort vällning vid 1000°.
- FÖRSÖK 8: Vid 1300° har järnfilspånet haft en mycket god effekt vid vällningen. Även om järnfilspånet inte har en lägre smältpunkt än det järn som sammanvällts så kan dess effekt som ett sammanbindande medium liknas vid ett lod.
- FÖRSÖK 9: Tackjärnspulvret har färskats vid kontakten med fogens glödskalesskikt vilket i sin tur har reducerats. Tackjärnet har fungerat som ett lod och har möjliggjort vällning vid så låg temperatur som 1000°.
- FÖRSÖK 10: Försöket är svårt att tolka eftersom hartset troligen var förbränt och icke närvarande i fogen vid vällningen. Det goda resultatet vid vällning vid 1300° bekräftar dock resultatet av försök 8.
- FÖRSÖK 11: Hartsets närvaro i den blivande fogen har åstadkommit en reduktion av glödskalesskikten till metallisk fas och möjliggjort en sammansmältning vid så låg temperatur som 1000°.

Som framgått så består de ljusa linjer som förekommer längs vällfogarna på de flesta proven huvudsakligen av ferritiskt järn. Jag vill främst hävda att dessa linjer har sitt ursprung i de två mötande glödskalsskikten vilka reducerats till metallisk fas. Om den låga kolhalten dessutom har samband med en ytanrikning av arsenik eller fosfor kan inte denna undersökning ge svar på. Därtill skulle krävas analys av fogområdena med mikrosond. Tylecote och Thomsen har diskuterat förekomsten av s.k. vita linjer längs vällfogarna i förhistoriska föremål och påstår att det är ställt utom allt tvivel att majoriteten av de vita linjer som förekommer i äldre järnföremål är ett resultat av arsenikanrikning betingad av oxidation under smidesprocessen.

Utan att ge uttryck åt en lika stor självsäkerhet skulle jag vilja påstå att de här presenterade vällförsöken ger ett visst stöd för hypotesen att majoriteten av de vita linjer som förekommer i äldre järnföremål är ett resultat av en reduktion av glödskalsskikten till metallisk fas vid vällningen.

Försöken har alltså gjort det sannolikt att kolhaltiga flussmedel bidrar till att lokalt skapa en reducerande atmosfär i den blivande fogen och att de i vissa fall möjliggör vällning vid så låg temperatur som 1000°.

Slutligen skall påpekas fördelen med att i ett flussmedel avsett för vällning vid 1200 - 1300° ha inblandat ämnen med betydligt lägre smältpunkter (försök 2): man erhåller på ett tidigt stadium under upphettningen till välltemperatur en skyddande hinna som motverkar för stark glödskalbildning.

FÄRSKNINGSFÖRSÖKEN

Färskningsförsöken omfattar undersökning av produktionsbetingelserna vid färskning av tackjärn i en kopia av en osmundshärd. Intresset riktas särskilt mot jämförelser med de medeltida klimpformiga ämnesjärnen vilka hypotetiskt antagits vara färskade i en sådan härd.

Försökshärden byggdes med Emanuel Swedenborgs beskrivning av en osmundshärd och uppmätningarna av en i Lapphyttan undersökt medeltida färskningshärd som riktlinjer. Härden var 45 x 45 cm stor och dess djup var 12 cm. Härdbotten bestod av eldfast tegel och sidorna av 1 cm tjockt järn. Även formen var tillverkad av järn. (se bild 21).

Formans vidd, lutning och läge i horisontal- och vertikalplan kunde varieras.

Blästerluftvolymen var reglerbar upp till maximalt 700 l/min.

Härdställningen redovisas i beskrivningen över försöken på följande sätt:

- A: Formans vidd i mm
- B: Formans lutning under horisontalplanet i nygrader
- C: Formmyningens höjd över härdbotten i mm
- D: Formmyningens avstånd från formväggen i mm.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 1

HÄRDSTÄLLNING A: 35 mm FÄRSKNINGSTID: 15½ min

B: 15°C

C: 90 mm

D: 90 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1425°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	ca 11 mm	1,5 kg
KOL:	björk/barr 1:3	30-60 mm	45 l
FÖRLOPP:	Allt tackjárn påsattes i stort sett samtidigt i tre olika lager med mellanliggande kollager och färskslag. Blästerluftvolymen var ca 700 l/min under hela färskningstiden		
RESULTAT:	Ingen sammanhängande färskor hade bildats, endast mindre spridda klumpar.		

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 2

HÄRDSTÄLLNING: A: 35 mm

FÄRSKNINGSTID: 31 min

B: 15°C

C: 90 mm

D: 90 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1400°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	2 kg
KOL:	björk/barr 1:3	30-60 mm	45 l
FÖRLOPP:	Allt tackjárn påsattes samtidigt blandat med färskslag. Blästerluftvolymen var till att börja med ca 500 l/min. Efter 17 min ökades blästern till 700 l/min.		
RESULTAT:	Spridda mindre färskor, totalt 0,8 kg.		

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 3

HÄRDSTÄLLNING: A: 35 mm

FÄRSKNINGSTID: 75 min

B: 5°C

C: 120 mm

D: 100 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1475°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	2,5 kg
KOL:	björk/barr 1:3	30-60 mm	100 l

FÖRLOPP: Allt tackjärn påsattes samtidigt i en hög med färskslaggruntomkring och över. Blästerluftvolymen var inledningsvis 500 l/min. Efter 30/min ökades blästern till 700 l/min i 25 min. Därefter uttogs en skållformig färsk. Denna verkade hård och spröd så allt utom två avhuggna bitar lades in igen. Efter ytterligare 20 min blåsning med ca 600-700 l/min och 5 brytningar och vändningar av färskan uttogs denna som nu var mer klumpformad. Färskan klövs i tre delar.

RESULTAT: Efter slaggrensning kunde totalt 1,65 kg någorlunda genomfärskat järn hopsamlas.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 4

HÄRDSTÄLLNING: A: 20 mm

FÄRSKNINGSTID: 25

B: 10°C

C: 100 mm

D: 70 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1500°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	ca 11 mm	1,2 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	25 l

FÖRLOPP: Vid försöket förminskades härden till 25 x 28 cm för att försöka minska kolåtgången. Tackjärnet påsattes lite i taget under 5 min tillsammans med slag. Blästerluftvolymen var i början 700 l/min. Efter 17 min blåsning minskades blästern till 400 l/min.

RESULTAT: En löst sammanhängande järn/slagg-klump som föll isär vid hamring. Efter slaggrensning kunde 0,8 kg mer eller mindre genomfärskade klumpar hopsamlas.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 5

HÄRDSTÄLLNING: A: 20 mm FÄRSKNINGSTID: 25 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 70 mm UPPMÄTT TEMP.: 1500°
TYP KORNSTORLEK MÄNGD
TACKJÄRN: 1600 tal ca 11 mm 1 kg
KOL: Ungerskt lövträkol 30-60 mm 30 l
FÖRLOPP: Härdstorlek som i försök 4.
Allt tackjärn påsattes samtidigt.
Blästerluftvolymen var inledningsvis 400 l/min. Efter
7 min tillsattes rikligt med finkrossad färskslag och
blästern ökades till 600 l/min under den resterande färsk-
ningstiden.
RESULTAT: En tunn järnskälla om 0,5 kg vilken inte klövs utan be-
hölls intakt.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 6

HÄRDSTÄLLNING: A: 20 mm FÄRSKNINGSTID: 19 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 70 mm UPPMÄTT TEMP.: 1500°
TYP KORNSTORLEK MÄNGD
TACKJÄRN: 1600 tal 10-30 mm 1 kg
KOL: Ungerskt lövträkol 30-60 mm 30 l
FÖRLOPP: Härdstorlek som i försök 4.
Allt tackjärn påsattes samtidigt.
Blästerluftvolymen var inledningsvis 400 l/min i 4 min.
Därefter tillsattes färskslag och blästern ökades till
700 l/min.
RESULTAT: En smälta på 0,4 kg och 0,3 kg i mindre klumpar.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 7

HÄRDSTÄLLNING: A: 30 mm FÄRSKNINGSTID: 58 min
B: 15°C
C: 130 mm
D: 110 mm UPPMÄTT TEMP.: 1475°
TYP KORNSTORLEK MÄNGD
TACKJÄRN: 1600 tal 5-30 mm 2,1 kg
KOL: Ungerskt lövträkol 30-60 mm
FÖRLOPP: Åter full hårdstorlek.
Tackjärnet påsattes lite i taget under 10 min tillsammans
med slagg.
Blästerluftvolymen var ca 500 l/min under hela färsknings-
tiden.
RESULTAT: En sammanhängande smälta om 0,97 kg.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 8

HÄRDSTÄLLNING: A: 35 mm FÄRSKNINGSTID: 48 min
B: 5°C
C: 130 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1500°
TYP KORNSTORLEK MÄNGD
TACKJÄRN: 1600 tal 10-30 mm 5 kg
KOL: Ungerskt lövträkol 30-60 mm 65 l
FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes lite i taget under 20 min tillsammans
med slagg.
Blästerluftvolymen var ca 700 l/min under hela färsknings-
tiden.
RESULTAT: En icke genomfärskad klump som sprack vid klyvningsförsök.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 9

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 45 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1500°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	3,5 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	50 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes ca 2 hg i taget under 30 min tillsammans med slagg.
Blästerluftvolymen var ca 600 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: En väl sammanhängande smälta om 2,5 kg.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 10

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 60 min
B: 10°C
C: 110 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1500°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-40 mm	2,5 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	60 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes ca 2 hg i taget under 35 min tillsammans med slagg.
Blästerluftvolymen var ca 600 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: En väl sammanhängande smälta om 1,8; kg klövs i sju delar.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 11

HÄRDSTÄLLNING: A: 20 mm FÄRSKNINGSTID: 30 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 100 mm UPPMÄTT TEMP.: 1400°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	ca 11 mm	1 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	40 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes litet i taget under 25 min tillsammans med en mindre mängd slagg. Blästerluftvolymen var ca 600 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: Ingen sammanhängande smälta hade bildats.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 12

HÄRDSTÄLLNING: A: 20 mm FÄRSKNINGSTID: 30 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 100 mm UPPMÄTT TEMP.: 1300°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	ca 11 mm	1 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	30 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes litet i taget under 25 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var ca 450 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: En väl sammanhängande, men inte genomfärskad smälta hade bildats. Slagg hade täppt till blästermunstycket och förhindrat färsknigen.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 13

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 30 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 100 mm UPPMÄTT TEMP.: 1500°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	ca 11 mm	1 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	1 kg

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes litet i taget under 15 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var ca 700 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: Ingen sammanhängande smälta hade bildats.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 14

HÄRDSTÄLLNING: A: 30 mm FÄRSKNINGSTID: 30 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 100 mm UPPMÄTT TEMP.: 1425°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	ca 11 mm	1 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	45 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes litet i taget under 12 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var ca 550 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: Fyra ofullständigt färskade klumpar.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 15

HÄRDSTÄLLNING: A: 30 mm FÄRSKNINGSTID: 37 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 100 mm UPPMÄTT TEMP.: 1400°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	ca 11 mm	1 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	50 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes litet i taget under 25 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var ca 700 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: En mindre, porös färska och en bottenmälta av vitt gjut-järn.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 16

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 45 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1475°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	2,5 kg
KOL:	Svenskt ekkol	25-50 mm	65 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes ca 2,5 hg i taget under 25 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var ca 500 l/min. Efter 35 min hade det bildats en sammanhängande färska som bröts upp och vändes. Därefter ökade blästern till 700 l under resten av färsknings-tiden.

RESULTAT: Färskan hade delat sig och bildat ett flertal klumpar.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 17

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 30 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1525°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-20 mm	2,5 kg
KOL:	Svenskt ekkol	20-50 mm	60 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes ca 2,5 hg i taget under 15 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var ca 700 l/min under hela färsknings-tiden. Blåsningen avbröts efter 30 min och härden fick svalna orörd.

RESULTAT: Allt tackjárn hade smält ofärskat och stelnat på hårdbot-ten.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 18

HÄRDSTÄLLNING: A: 30 mm FÄRSKNINGSTID: 70 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1450°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-20 mm	2,5 kg
KOL:	björk/barr 1:3	30-60 mm	60 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes ca 2,0 hg i taget under 40 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var inledningsvis ca 300 l/min. Efter 45 min uttogs två färskor som åter inlades varefter bläs-tern ökades till 700 l/min.

RESULTAT: En mindre smälta och ett flertal småklumpar.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 19

HÄRDSTÄLLNING: A: 30 mm

FÄRSKNINGSTID: 30 min

B: 10°C

C: 100 mm

D: 90 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1525°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	2,5 kg
KOL:	Svenskt ekko1	20-50 mm	60 1
FÖRLOPP:	Tackjärnet påsattes litet i taget under 14 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var ca 650 l/min under hela färsknings-tiden.		
RESULTAT:	Allt järn smälte ofärskat.		

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 20

HÄRDSTÄLLNING: A: 20 mm

FÄRSKNINGSTID: 52 min

B: 10°C

C: 100 mm

D: 90 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1400°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	2,5 kg
KOL:	Svenskt ekko1	20-50 mm	70 1
FÖRLOPP:	Tackjärnet påsattes litet i taget under 20 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var inledningsvis ca 450 l/min. Efter 27 min hade färskan täpp till forman. Färskan bröts upp och inlades på nytt, varefter blästern ökades till 600 l/min under resten av färskningstiden.		
RESULTAT:	Ingen sammanhängande smälta hade bildats.		

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 21

HÄRDSTÄLLNING: A: 20 mm FÄRSKNINGSTID: 45 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1500°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	2,5 kg
KOL:	Svenskt ekkol	20-50 mm	60 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes ca 2 hg i taget under 16 min tillsammans med slagg.
Blästerluftvolymen var ca 600 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: En mindre smälta och några ofärskade tackjärnslumpar.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 22

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 50 min
B: 5°C
C: 130 mm
D: 100 mm UPPMÄTT TEMP.: 1475°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	2,5 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	55 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes litet i taget under 22 min utan tillsats av slagg.
Blästerluftvolymen var ca 600 l/min under hela färsknings-tiden.

RESULTAT: Halvfärskade klumpar och ofärskat tackjärn på hårdbotten.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 23

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 50 min

B: 5°C

C: 130 mm

D: 100 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1400°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1600 tal	10-30 mm	2,5 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	60 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes 2 hg i taget under 20 min tillsammans med slagg. Blästerluftvolymen var ca 550 l/min. Efter 35 min hade en färska bildats som bröts upp och vändes. Efter ytterligare 5 min hade färskan delat sig. De två klumparna sammanlades och blästern ökades till 700 l/min under resten av färsknings tiden.

RESULTAT: Färskorna hade delat sig till ett antal mindre klumpar.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 24

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 100 min

B: 10°C

C: 100 mm

D: 90 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1500°

	TYP	KORNSTORLEK	MÄNGD
TACKJÄRN:	1900 tal	Borrspån	3,1 kg
KOL:	Ungerskt lövträkol	30-60 mm	75 l

FÖRLOPP: 2,5 kg tackjárn påsattes litet i taget under 23 min efter nedsmältning av slagg. Blästerluftvolymen var inledningsvis 350 l/min. Efter 30 min hade ingen sammanhängande färska bildats. Ytterligare 0,6 kg glödgat tackjárnsspån tillsattes för att öka järnoxidhalten i härden. Blästern ökades till 600 l/min under 35 min. Därefter hade ett flertal färskor bildats av vilka den största provklövs men befanns vara inte helt genomfärskad. Allt járn sammanlades i blästerfokus och blästern ökades till 700 l/min under den återstående färsknings tiden.

RESULTAT: En skållformig smälta om 1,7 kg som vid klyvning visade sig vara genomfärskad. I härden ett antal ofärskade klumpar.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 25

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 50 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1475°
TYP KORNSTORLEK MÄNGD
TACKJÄRN: 1900 tal Borrspån 2,5 kg
KOL: Ungerskt lövträkol 30-60 mm 50 l
FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes litet i taget under 28 min efter nedsmältning av slagg. Blästerluftvolymen var inledningsvis 500 l/min. Efter 40 min hade fyra färskor bildats. Dessa sammanlades och blästern ökades till 700 l/min under resten av färskningstiden.
RESULTAT: En sammanhängande skållformig smälta som klövs men inte var helt genomfärskad.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 26

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm FÄRSKNINGSTID: 70 min
B: 10°C
C: 100 mm
D: 90 mm UPPMÄTT TEMP.: 1450°
TYP KORNSTORLEK MÄNGD
TACKJÄRN: 1900 tal Borrspån 2,5 kg
KOL: Ungerskt lövträkol 30-60 mm 75 l
FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes 2 hg i taget under 20 min efter nedsmältning av slagg. Blästerluftvolymen var ca 600 l/min under hela färskningstiden.
RESULTAT: En skållformig smälta om 1,9 kg som klövs och befanns vara genomfärskad.

FÄRSKNINGSFÖRSÖK 27

HÄRDSTÄLLNING: A: 25 mm

FÄRSKNINGSTID: 60 min

B: 10°C

C: 100 mm

D: 90 mm

UPPMÄTT TEMP.: 1500°

TYP

KORNSTORLEK

MÄNGD

TACKJÄRN: 1900 ta1

Borrspån

2,5 kg

KOL: Ungerskt lövträkol

30-60 mm

60 l

FÖRLOPP: Tackjärnet påsattes litet i taget under 30 min efter nedsmältning av slagg. Blästerluftvolymen var ca 650 l/min under hela färskningstiden.

RESULTAT: En spolformig smälta som klövs i tre delar. Rätt mycket järn hade smält fast vid formans undersida.

FÖRKLARINGAR TILL TABELL ÖVER FÄRSKNINGSFÖRSÖK

TID:	Den totala färskningstiden i minuter.
LUFTMÄNGD:	Blästerluftvolymen uttryckt i liter per minut. De tjocka strecken framställer schematiskt luftmängdens variation under processens gång.
HÄRDSTÄLLNING:	A= Formmynningens diameter uttryckt i mm. B= Formans lutning nedan horisontalplanet, uttryckt i nygrader. C= Formmynningens höjd över härdbotten uttryckt i mm och mätt från underkanten. D= Formmynningens avstånd till härdens formvägg, uttryckt i mm.
TEMP.:	Högsta temperatur under färsknigen uppmätt med platina-platina/rhodiumpyrometer.
TACKJ.TYP:	1600-t.= Tackjärn från Ervalla hammare, Ervalla sn. i Västmanland. 1900-t.= Modernt gjutjärn i form av grova borrarspån.
KOL TYP:	B/B= Blandning av svensk björk- och barrkol 1:3. UNG= Ungerska lövträkol. EK = Svenska ekkol.

TABELL ÖVER FÄRSKNINGSFÖRSÖKEN

NR	TID min	LUFTMÄNGD l/min	HÄRDSTÄLLNING				TEMP. °C	TACKJ. TYP	KOL TYP
			A	B	C	D			
			mm	mm	mm	mm			
1	15,5	700	35	15	90	90	1425	1600 t.	B/B
2	31	500 700	35	15	90	90	1400	"	B/B
3	75	500 700 650	35	5	120	100	1475	"	B/B
4	25	700 400	20	10	100	70	1500	"	UNG
5	25	400 600	20	10	100	70	1500	"	UNG
6	19	400 700	20	10	100	70	1500	"	UNG
7	58	500	30	15	130	110	1475	"	UNG
8	48	700	35	5	130	90	1500	"	UNG
9	45	600	25	10	100	90	1500	"	UNG
10	60	600	25	10	110	90	1500	"	UNG
11	30	600	20	10	100	100	1400	"	UNG
12	30	450	20	10	100	100	1300	"	UNG
13	30	700	25	10	100	100	1500	"	UNG
14	30	550	30	10	100	100	1425	"	UNG
15	37	700	30	10	100	100	1400	"	UNG
16	35	500 700	25	10	100	90	1475	"	EK
17	30	700	25	10	100	90	1525	"	EK
18	70	300 700	30	10	100	90	1450	"	B/B
19	30	650	30	10	100	90	1525	"	EK
20	52	450 600	20	10	100	90	1400	"	EK
21	45	600	20	10	100	90	1500	"	EK
22	50	600	25	5	130	100	1475	"	UNG
23	50	550 700	25	5	130	100	1400	"	UNG
24	100	350 600 700	25	10	100	90	1500	1980 t.	UNG
25	50	500 700	25	10	100	90	1475	"	UNG
26	70	600	25	10	100	90	1450	"	UNG
27	60	650	25	10	100	90	1500	"	UNG

SAMMANFATTNING AV FÄRSKNINGSFÖRSÖKEN

Tolkningsarbetet under färskningsförsöken var något frustrerande. Processen gav ibland intryck av att inte vara underkastad logikens lagar och man fick ibland en viss förståelse för hammarsmeders omtalade vidskeplighet.

En orsak till den synbarliga nyckfullheten hos processgången var sannolikt svårigheten att bedöma färskslaggens järnoxidhalt. Enligt Axelson ger sig denna till känna i slaggpulvrets färg: ljus färg, låg halt, mörk färg, högre halt. Vidare fästes sannolikt inte tillräckligt stor vikt vid att härden skulle ha ett färdigt slaggbad innan något tackjärn tillsattes.

Det beror således sannolikt främst på slaggen och slaggskötseln i härden att resultaten av de 27 färskningsförsöken är något disparata. Det var först under de sista fyra försöken som detta förhållande framstod klart, men inte desto mindre blev ett av dessa försök (25) mindre lyckat.

Slaggen var alltså troligen den faktor som var mest svårbemästrad i försöken; den kan dock inte värderas som viktigare än de andra, eftersom en förändring av någon av dessa i ogynnsam riktning omedelbart skulle ödelägga resultatet. Det är således balansen mellan faktorerna som är viktigast.

FAKTORER SOM INVERKAR PÅ PROCESSFÖRLOPPET

Följande värdering av de på processgången inverkande faktorerna är baserad dels på de 27 färskningsförsöken, dels på den beskrivande och förklarande framställning av processen som finns hos I Axelsons bok från 1867.

Färskningsprocessen kan när den förlöper på effektivast möjliga sätt sägas utgöra ett balanstillstånd mellan de ingående råvarorna, blästerluften, tiden och de förutsättningar som finns i härdens konstruktion. Försöken har visat att det ingalunda är lätt att uppnå denna balans utan att besitta den grundläggande erfarenhet som osmundssmeder och hammarsmeder troligen oftast tillägnat sig från barnsben. Vidare är en mängd kunskap om processens praktiska genomförande aldrig dokumenterad eftersom den genom århundradena kommit att bli så självklar, och därför att hantverkskunskapen nästan aldrig dokumenterats utan hållits som yrekesemligheter. Genom färskningsförsöken har många faktorer som påverkar processens förlopp blivit belysta.

1 TACKJÄRNET

Tackjärnets mängd relateras först och främst till härdens storlek och bälgarnas kapacitet. Vid försöken befanns en mängd mellan 2 och 3 kg vara lämplig. Det tackjärn som användes vid försöken krossades under maskinhammare till kornstorlekar mindre än 4 cm. Det befanns att de mindre kornen, snabbare än de större, sjönk ned genom blästerzonen eftersom de lättare kunde passera mellan kolbitarna. Det visade sig lämpligt att sprida ut påsättandet av tackjärnet över en längre tid eftersom det annars för snabbt sjönk nedanför blästerluftstrålen.

2 KOLET

Faktorer av betydelse är här: träslag, fuktighet, storlek och mängd. Generellt sett är lövträkol tätare än barrträkol och har därför ett större energivärde än dessa. De svenska ekkol som användes vid försöken gav en alltför snabb förbränning och smältning av tackjärnet. Detta kan också ha berott på att de var alltför torra på grund av en längre tids lagring i torr luft. Kolens storlek påverkar dels tackjärnets sjunkhastighet om man använder granulerat eller krossat tackjärn, dels blästerluftens oxiderande inverkan på tackjärnet. Mycket små kol eller kolstybb minskar eller helt förtar den oxiderande effekten. Kolmängden relateras givetvis först och främst till färskningstiden och blästerluftvolymen per tidsenhet, men även på annat sätt till processens förlopp, eftersom en riklig uppsättning av kol dels ger en förvärmning av de oförbrända kolen, dels minskar blästerluftens oxiderande verkan. Dessa två senare effekter samverkar till uppkomsten av "rå gång" m.a.o. att tackjärnet smälter för snabbt och sjunker till hårdbotten ofärskat, vilket vid försöken befanns vara olämpligt eftersom någon färskning av detta smälta tackjärn inte kunde åstadkommas.

3 FÄRSKSLAGGEN

De viktigaste faktorerna är här mängden och järnhalten. För att färskningen skall kunna äga rum krävs rikligt med slagg. Mängden begränsas dock av formans höjd över hårdbotten. För mycket slagg täpper till formmynningen, 'svartblåsning'. Slaggens halt av järnoxid är helt avgörande för färskningen eftersom det är utbytet av järn och kol mellan slaggen och tackjärnet som är själva kärnan i färskningsprocessen. För liten järnoxidhalt i slaggen verkar hindrande på färskningsprocessen genom att medverka till rå gång d.v.s. att tackjärnet smälter ofärskat.

En faktor som framförs som viktig av Axelson, och vilken inte beaktades tillräckligt vid försöken, är att hårdbotten måste vara täckt av smält slagg innan något tackjärn påsättes.

(Se även Rosborg sid. 33 och Tamm sid. 45.)

4. BLÄSTERN

Faktorer av betydelse är: luftvolymen per tidsenhet och dess variation under processens gång samt den totala färskningstiden.

Vid försöken framkom att maximal blåsning medförde rå gång och att resultatet av denna inte kunde hävas. Av stor betydelse är därför att avpassa luftmängden så att tackjärnet inte smälter ofärskat utan att smältningen sker långsamt. Då nedsmältningen av tackjärnet väl ägt rum är processen inte lika känslig för temperaturvariationer.

5 HÄRDENS UTFÖRMNING OCH STÄLLNING

Härdens storlek och djup bestämmer dess förmåga att rymma stora smältor. Detta är ganska självklart, men det omvända förhållandet gäller också, nämligen att det är svårt att göra små smältor i stora hårdar. Anledningen är att färskorna har en benägenhet att försvinna åt sidorna ut ur blästerfokus. Av samma anledning är det enligt Axelson lämpligt att ha en

något skålformad hårdbotten, vilket även färskningsförsöken gjort sannolikt, eftersom det vid flera försök var omöjligt att förhindra att färskan separerade och spreds ut i hårdens.

Formans vidd tillsammans med luftmängden bestämmer utbredningen av blästerfokus och därmed även formen på den slutliga produkten.

En trång forma ger en sfäroidisk utbredning av blästerfokus och en rund skålformig produkt vilken bildats i sfäroidens botten. En vidare forma ger en svagare luftstråle, vilken har en benägenhet att breda ut sig åt sidorna på grund av det motstånd som bildas av innehålllet i hårdens. Detta ger en mer avlång "limpformig" produkt vilken bildats vinkelrätt mot luftstrålen.

Hårdens ställning, d.v.s. formans lutning och läge, beror huvudsakligen av hur stor smälta som skall göras, men även av om tackjärnet är rågående eller färskgående. En högre ställd forma ger en färskare gång men blir också nödvändig då större tackjärnsstycken skall smältas. En lägre ställd forma ger dels en intensivare hetta och benägenhet till rå gång, dels flyttas blästerfokus närmare formen vilket ökar risken för dennas avsmältning. Är formen högt placerad över hårdbotten och långt inskjuten i hårdens så tenderar färskorna att hamna under formen och smälta fast i denna om den är gjord av järn. Är formen placerad för nära hårdbotten täpps den alltför lätt igen av den smälta slaggen.

UTSMIDNING AV HUGGNA KLIMPAR

Det visade sig att klimparna med lätthet kunde smidas ut till barrform eller tenform. Det krävdes dock tre värmor till välltemperatur för att en tillräckligt tät produkt skulle erhållas. Att vikvällning skulle vara en teknik som oundgängligen måste användas vid förädlingen av en så slaggbemängd produkt som det här är fråga om är således inte fallet. Det går att uppnå en tillräcklig slaggrening genom en kraftig hopslagning av klimparna vid välltemperatur, se bild 35 - 37.

JÄMFÖRELSE MED KLIMPJÄRN FRÅN MEDELTID OCH 1600-TAL

De produkter som erhöles vid försöken uppvisar en god likhet med klimpjärn från medeltid och 1600-tal, både vad gäller form och makrostruktur. Det skall dock betonas att denna likhet inte ensam utgör något bevis för att klimpjärnen skulle vara färskningsprodukter. Formen och makrostrukturen är främst avhängiga av temperatur- och slaggförhållandena i hårdens. Det är därför sannolikt att en omsmältning av t.ex. direktframställt järn i samma hård skulle ge en liknande produkt.

För jämförelse har medtagits makrobilder av klimpjärn från Alvastra kloster, Gamla Lödöse och Helgeandsholmen vilka har undersökts metallografiskt av Mille Törnblom vid Tekniska Institutionen på Statens Historiska Museum/Riksantikvarieämbetet.

LITTERATUR

- Axelson, W., 1867. Praktisk handbok i jernhandteringen. Stockholm.
- Dress, O., 1687. Beskrifning om jern och ståltillverkning m.m. Utgiven av Harald Carlborg 1925
- Karmarsch, K., 1862. Handbok ut den Mekaniska Teknologien. Stockholm.
- Richardson, M.T., 1889-1891. Practical Blacksmithing. New York.
- Rinman, S., 1829. Handbok uti den grövre jern och stålförädlingen. 2:a upplagan.
- Rosborg, L., 1819. Underrättelser för Bruks-Egare och Hammarsmeder rörande Stångjerns-Smidet.
- Swedenborg, E., 1734. Mineralriket. Om järnet... Svensk översättning 1923
- Tamm, A.G., 1830. Smidesförsök och anteckningar vid tysksmide.
- Tylecote, R.F.,
- Thomsen, R., 1973. The segregation and surface-enrichment of arsenic and phosphorus in early iron artifacts.
i Archaeometry 15, del 2

S U M M A R Y

Today we know very little about pre-industrial methods of forging iron, one reason being that craft skills were often jealously guarded secrets which were passed on orally from master to apprentice; once superseded these skills were soon forgotten.

In an attempt to recover some of this lost knowledge the author has carried out a series of forging experiments in which he has simulated these early techniques and has produced samples which can be compared with archaeological finds such as weapons from the viking period.

This paper deals with two types of forging process, forge welding using a variety of fluxes, and refining of pig iron.

Forge welding, was, in pre-industrial times, the most important joining technique for iron, and metallographic examinations of medieval and Viking weapons have shown evidence of a surprisingly high level of sophistication in the welding methods employed.

In this investigation forge welding trials have been carried out with ten different fluxes and the resulting welds have been examined metallographically. A significant finding was that carbonaceous fluxes not only combined with the oxide scale to form a fluid slag but were also able to reduce the scale to metallic iron, thus enabling welding to be done at relatively low temperatures.

The indirect method of ironmaking consists of two stages, production of pig iron by ore smelting and conversion of pig iron to wrought iron. In the medieval period the second stage was carried out in small, open hearths known as Osmund hearths. As part of this investigation a series of 27 conversions were done in a reconstructed Osmund hearth in order to work out how the process was carried out in practice, and to establish which factors determined its success or failure. The successful conversion experiments gave a product which closely resembled the small iron blooms, assumed to be 'Osmund' iron, found at medieval archaeological sites.

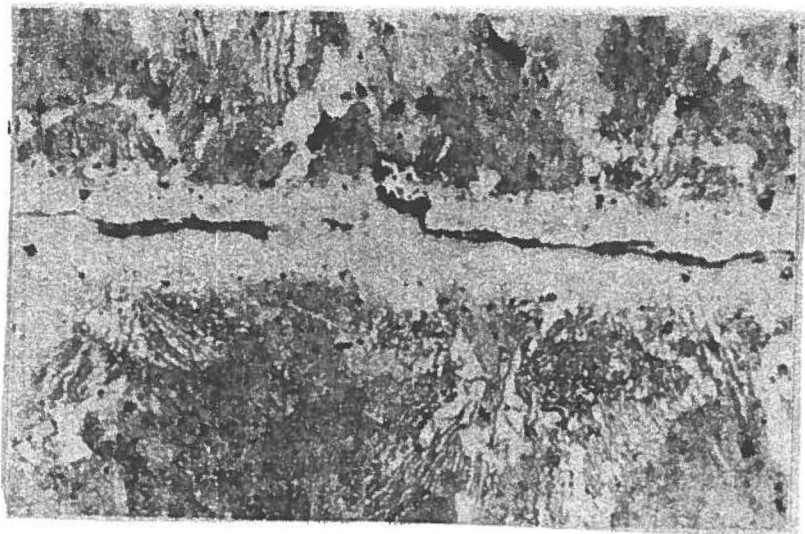


Bild 1: Försök 1:7, 840X, etsat med 1% Nital.
Avkolad zon på båda sidor om fogen.

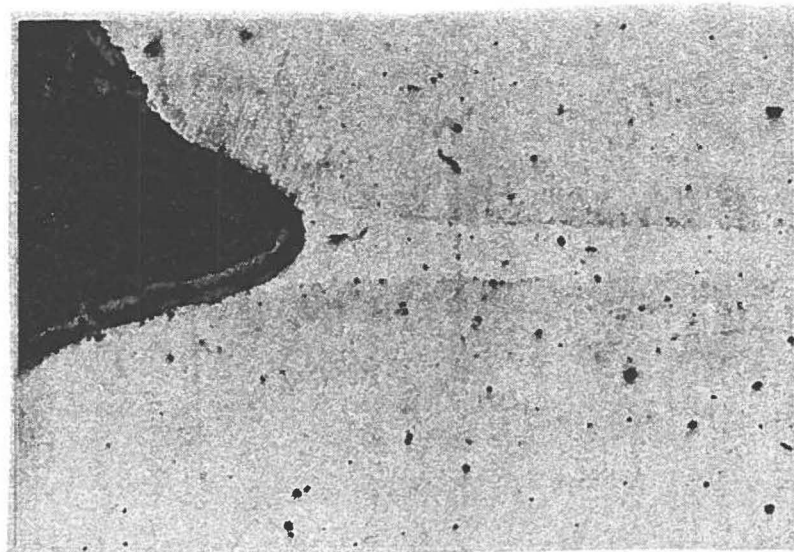


Bild 2: Försök 1:8, 210X, etsat med 1% Nital.
Avkolad zon på båda sidor om fogen.

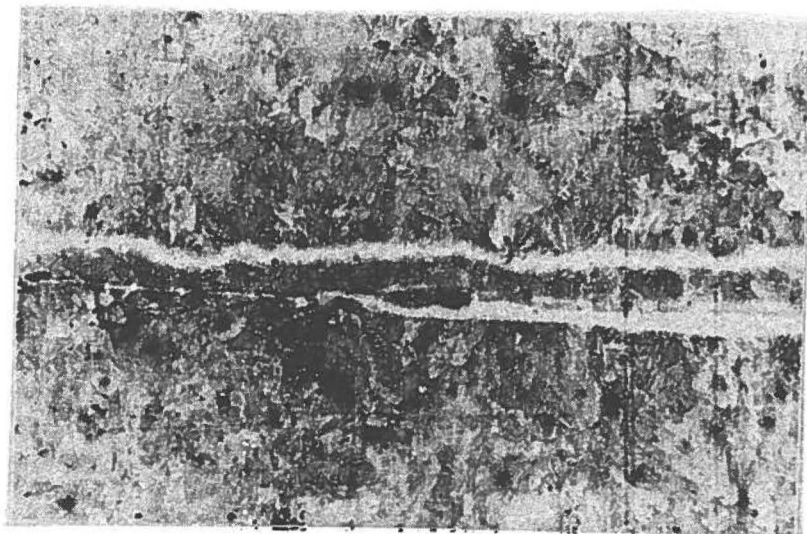


Bild 3: Försök 1:8, 210X, etsat med 1% Nital.
Dubbla avkolade zoner, en i fogen, en vid si-
dan om fogen.

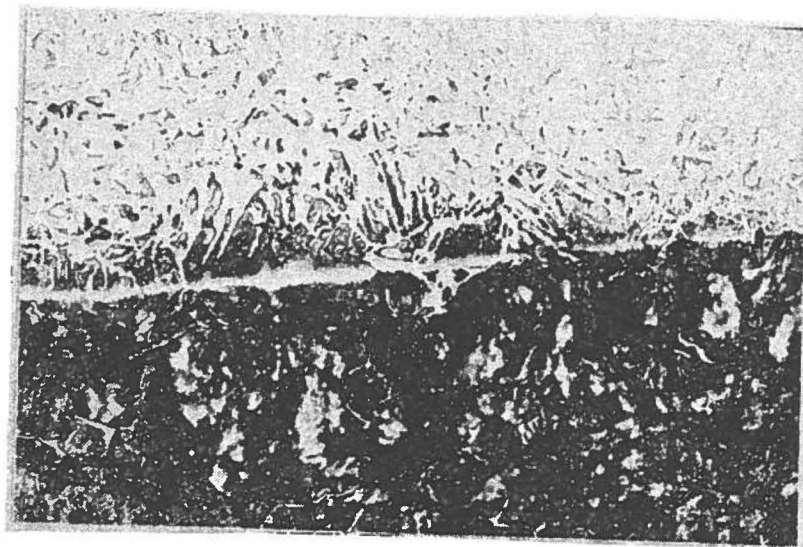


Bild 4: Försök 1:9, 105X, etsat med 1% Nital.
Avkolad zon i fogen, kol har diffunderat över
fogen från kolrikt till kolfattigare område.

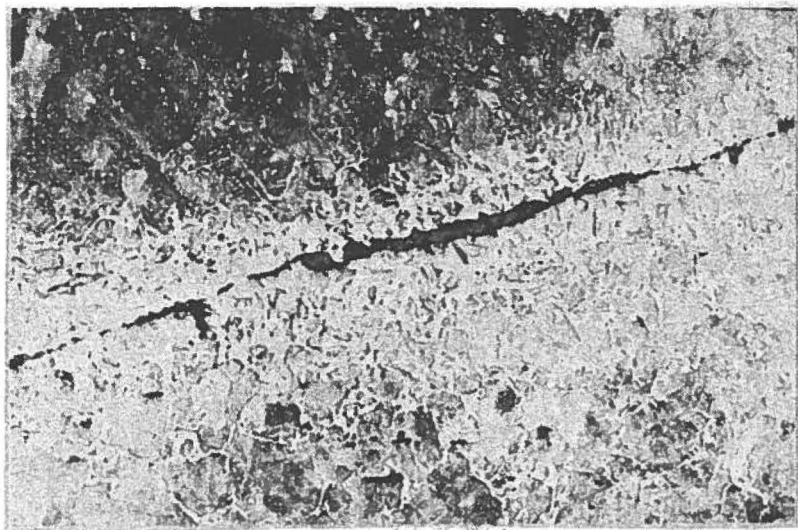


Bild 5: Försök 2:1, 105X, etsat med 1% Nital.
Bred avkolad zon längs fogen.

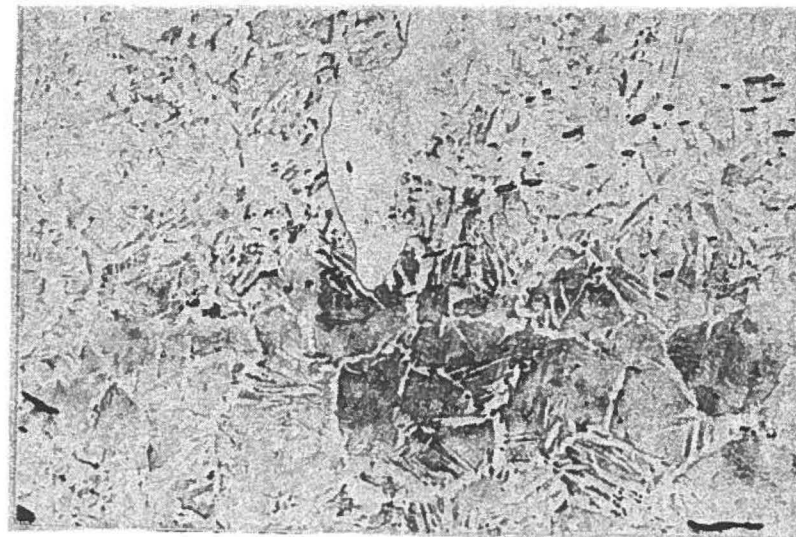


Bild 6: Försök 2:2, 105X, etsat med 1% Nital.
Bred något uppkolad zon längs fogen.

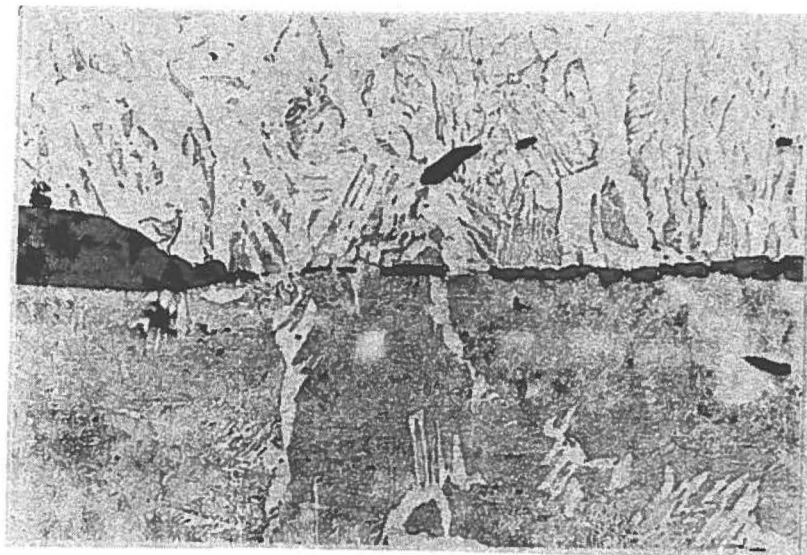


Bild 7: Försök 3:1, 210X, etsat med 1% Nital.
Område rikt på fogslagg.

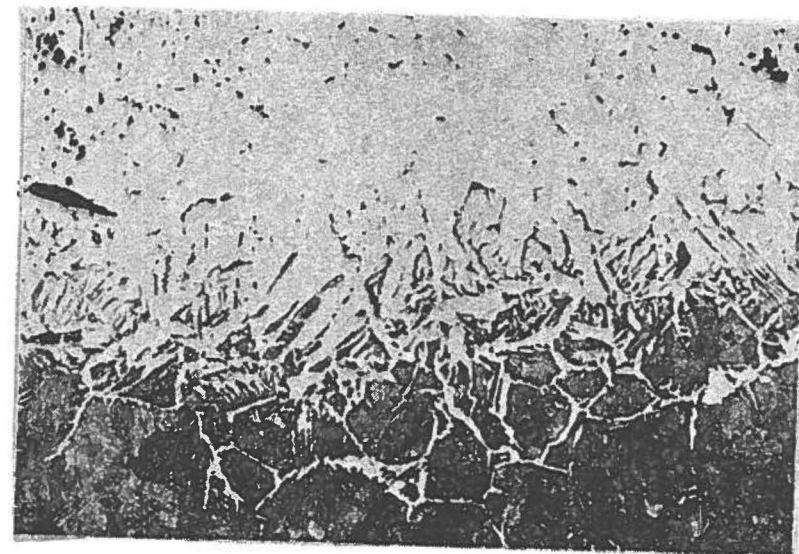


Bild 8: Försök 3:2, 105X, etsat med 1% Nital.
Fogen markeras svagt av små slagginneslutningar.
Kol har diffunderat över fogen.

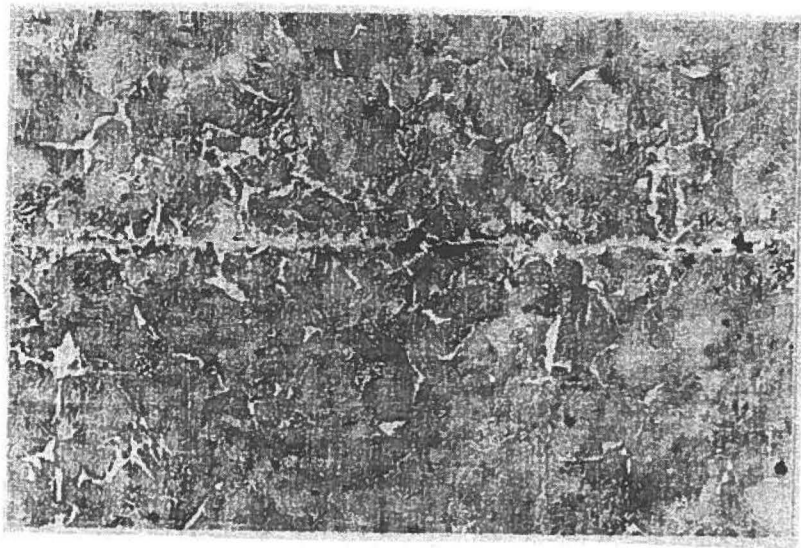


Bild 9: Försök 4:1, 210X, etsat med 1% Nital.
Avkolad zon längs fogen.

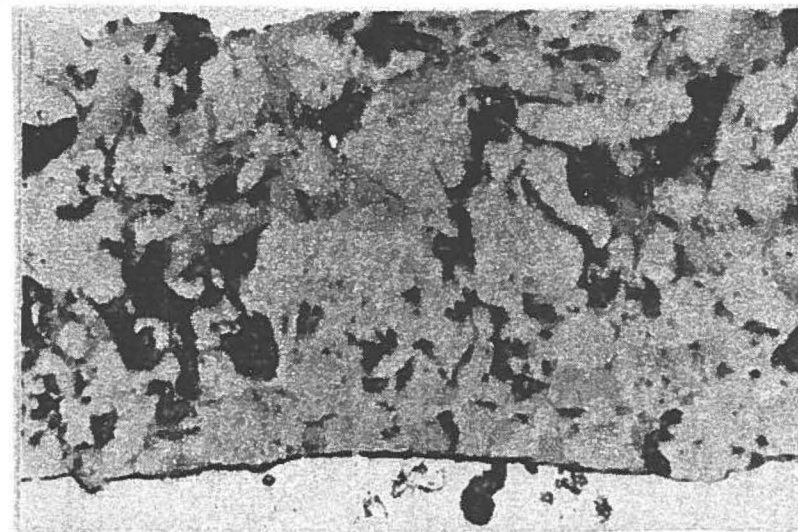


Bild 10: Försök 4:2, 840X, etsat med 1% Nital.
Fogslagg.

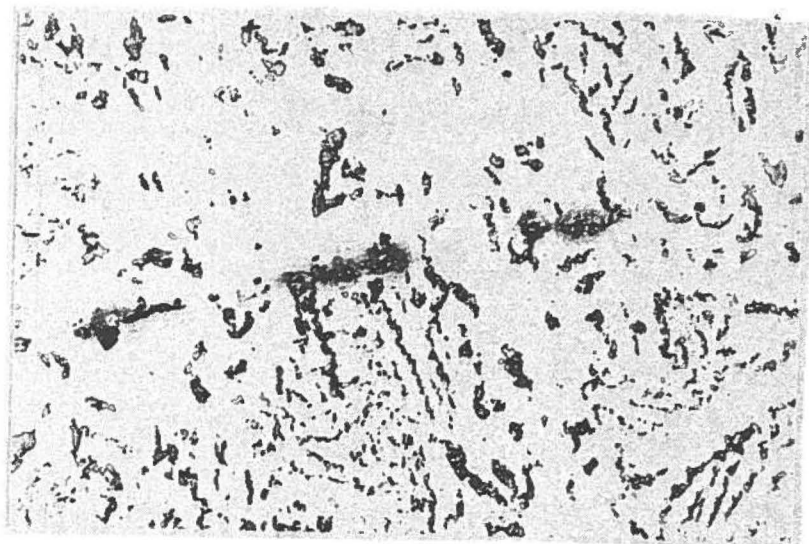


Bild 11: Försök 4:3, 210X, etsat med 1% Nital.
Fogen markeras svagt av små slagginneslutningar.

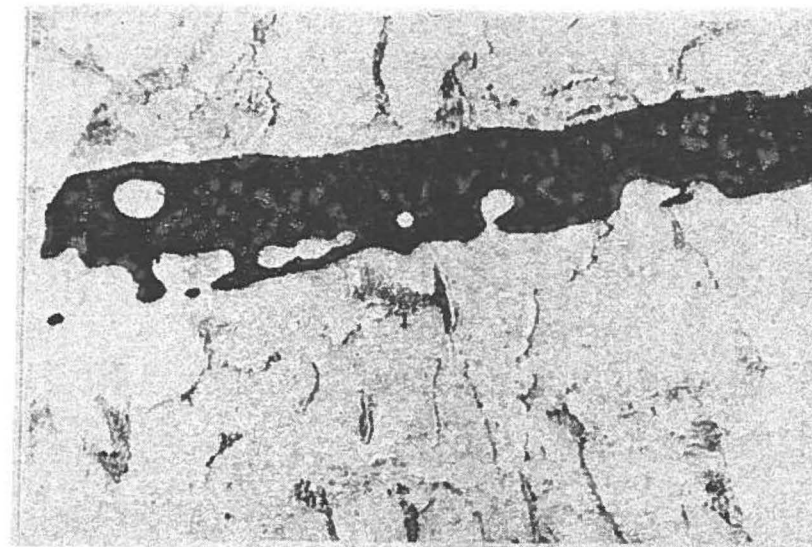


Bild 12: Försök 5:1, 840X, etsat med 1% Nital.
Fogslagg.

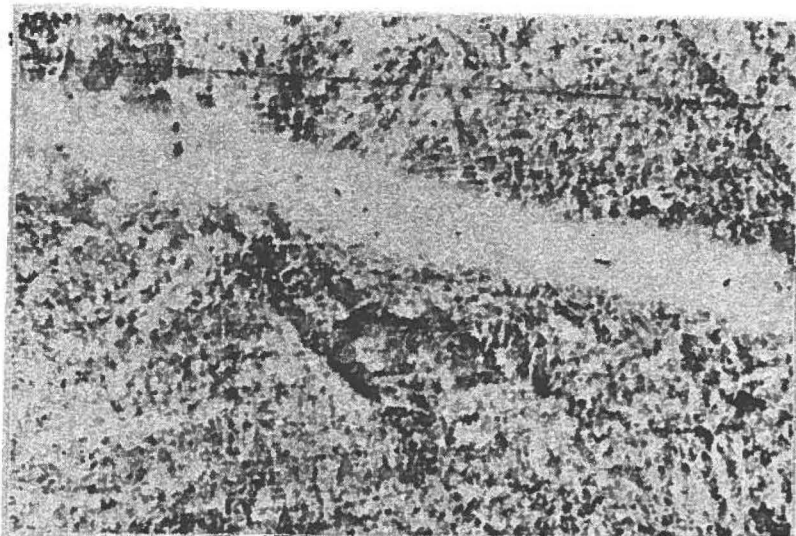


Bild 13: Försök 6:2, 840X, etsat med 1% Nital.
Avkolad zon längs fogen.

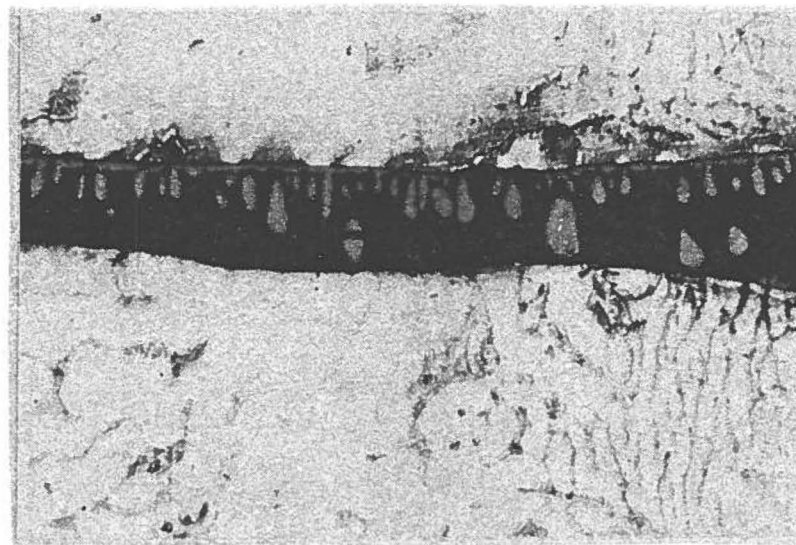


Bild 14: Försök 7:1, 840X, etsat med 1% Nital.
Fogslagg.

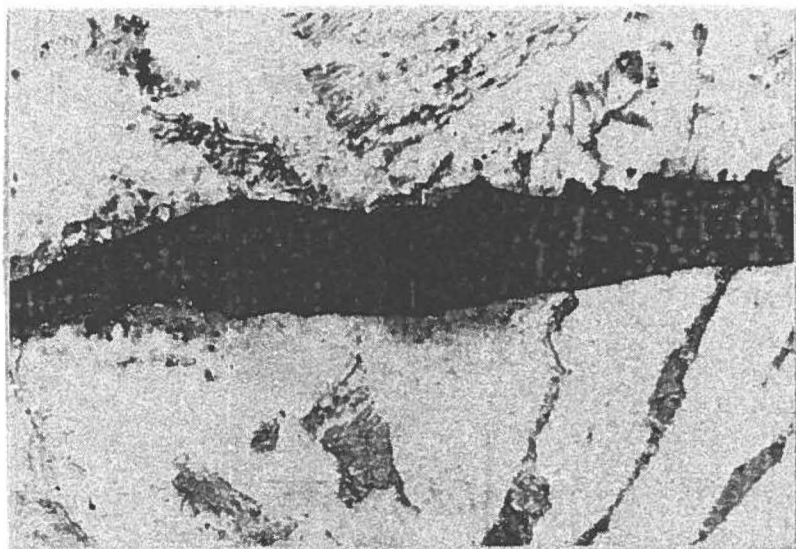


Bild 15: Försök 7:2, 840X, etsat med 1% Nital.
Fogslagg.

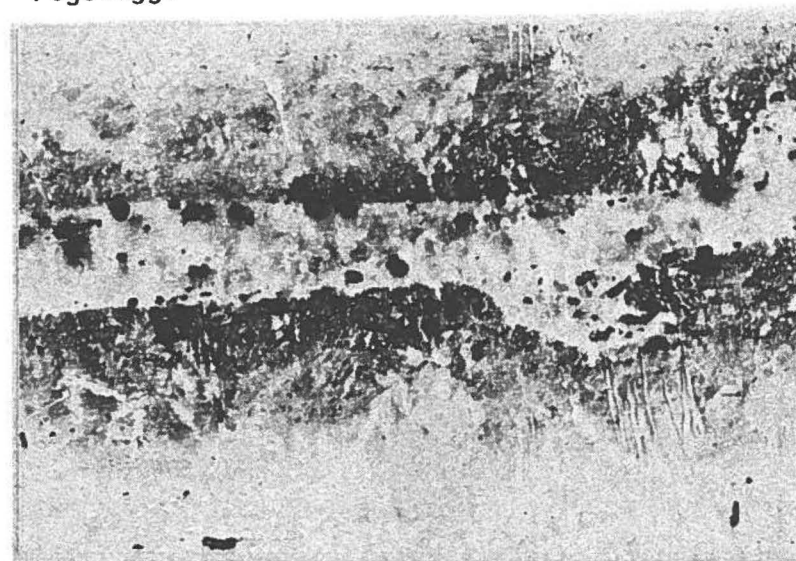


Bild 16: Försök 8:2, 105X, etsat med 1% Nital.
Bred avkolad zon längs fogen, omgiven av upp-
kolade zoner.

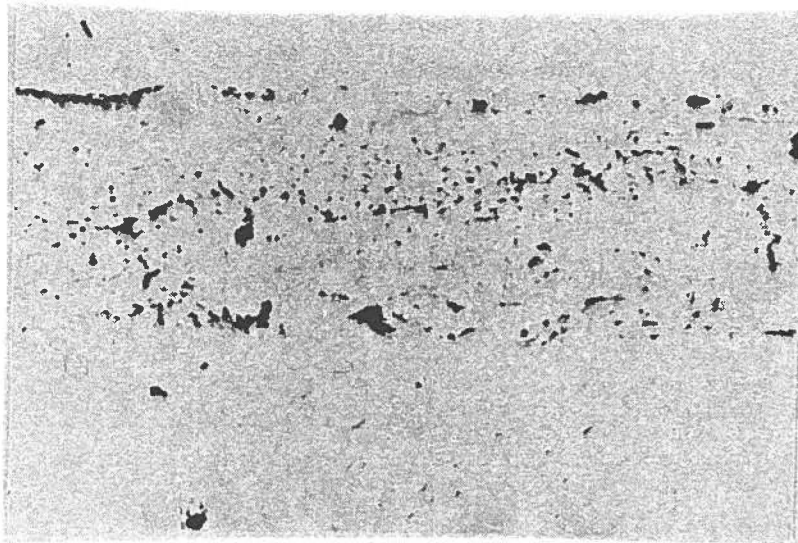


Bild 17: Försök 9:1, 105X, oetsat.

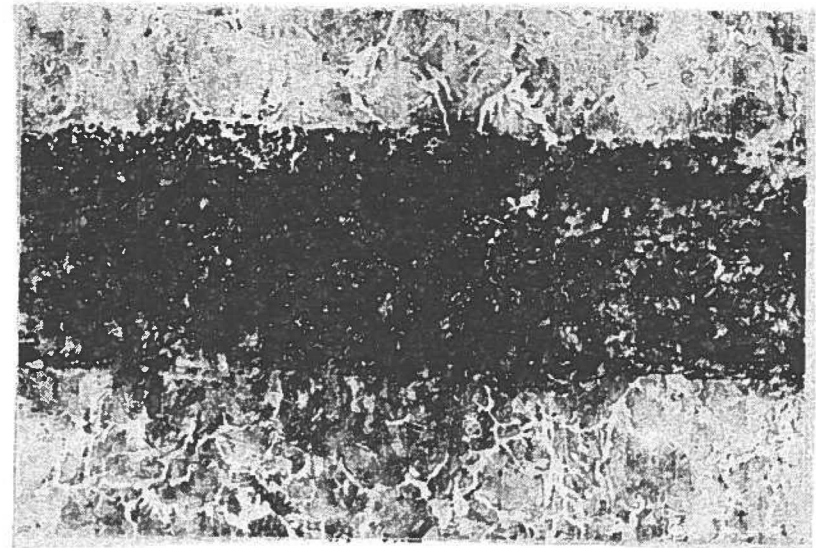


Bild 18: Försök 9:1, 105X, etsat med 1% Nital.

Fogen utgörs av en bred zon med rikliga slagginneslutningar och hög kolhalt.
Fogen kan i viss mening sägas ha karaktären av en lödning.



Bild 19: Försök 10:1, 210X, etsat med 1% Nital.
Fogen markeras i stort sett endast av en avkolad
zon.



Bild 20: Försök 11:2, 210X, etsat med 1% Nital.
Glödskalet har reducerats till metallisk fas.

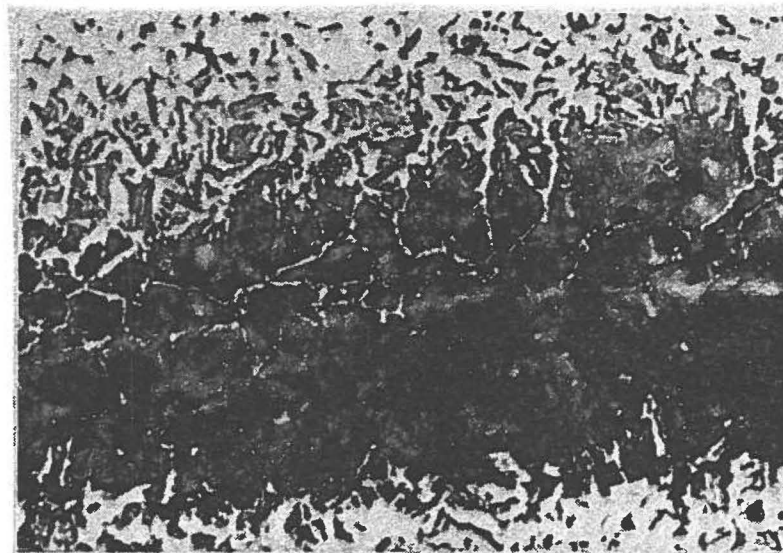


Bild 21: Försök 11:2, 840X, etsat med 1% Nital.
Detalj av ett uppkolat område längs fogen.

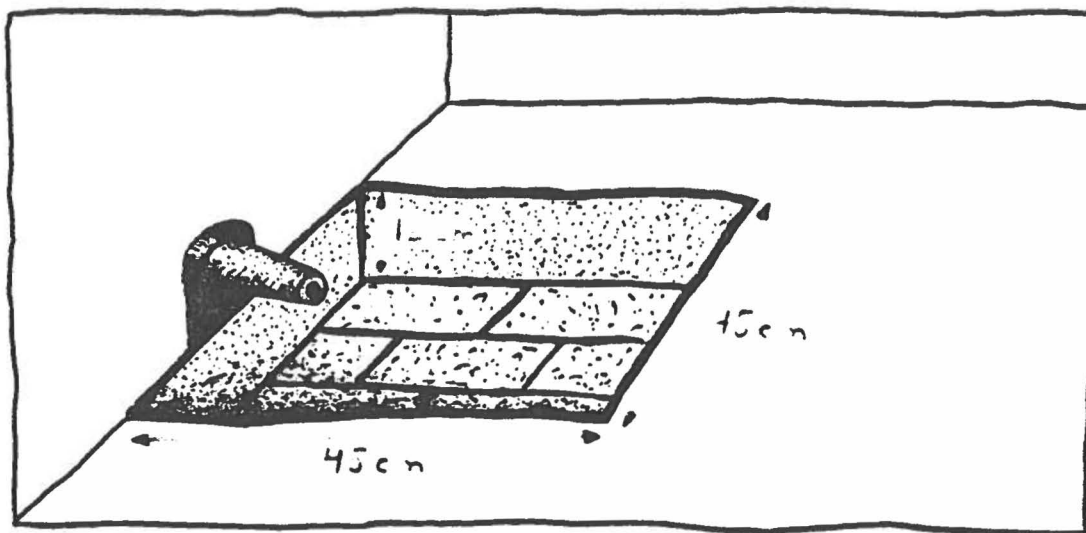


Bild 22: Försökshärden.



Bild 23: Smältan omedelbart efter uttagandet ur härden.

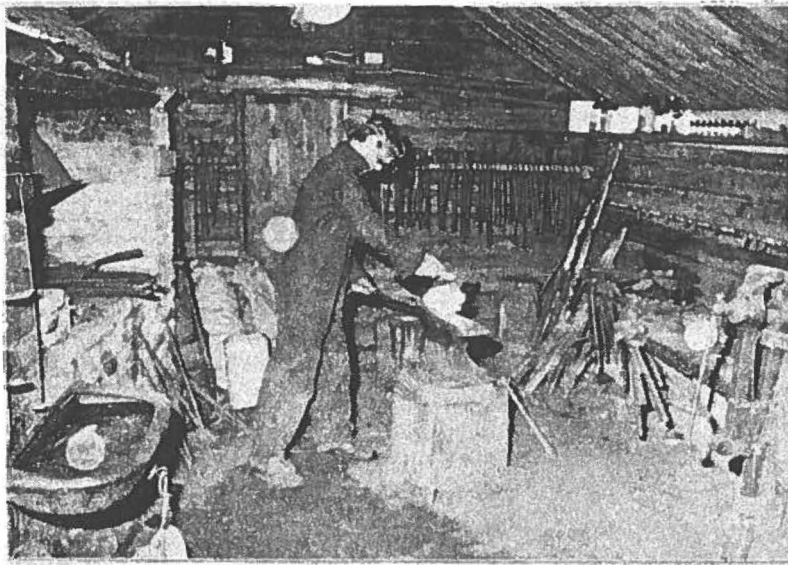


Bild 24: Slaggrensning av smältan.

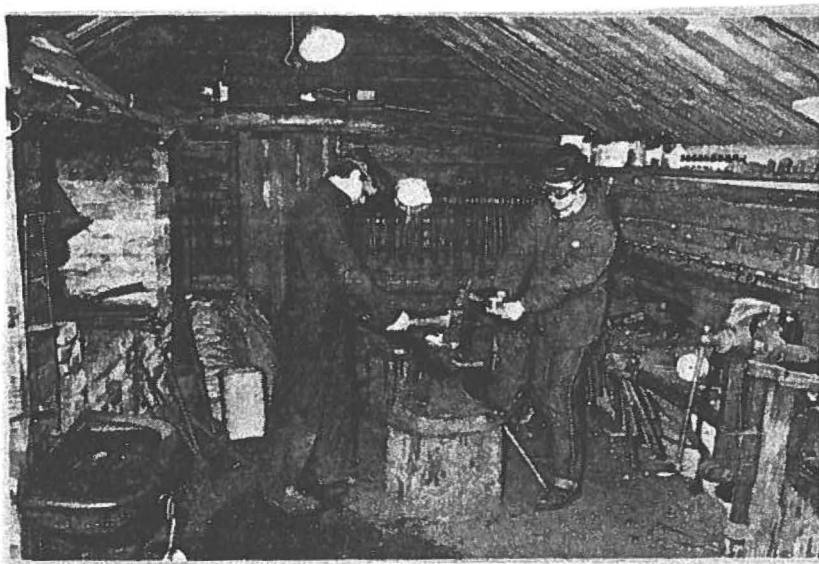


Bild 25: Upphuggning av smältan med yxa och slägga.

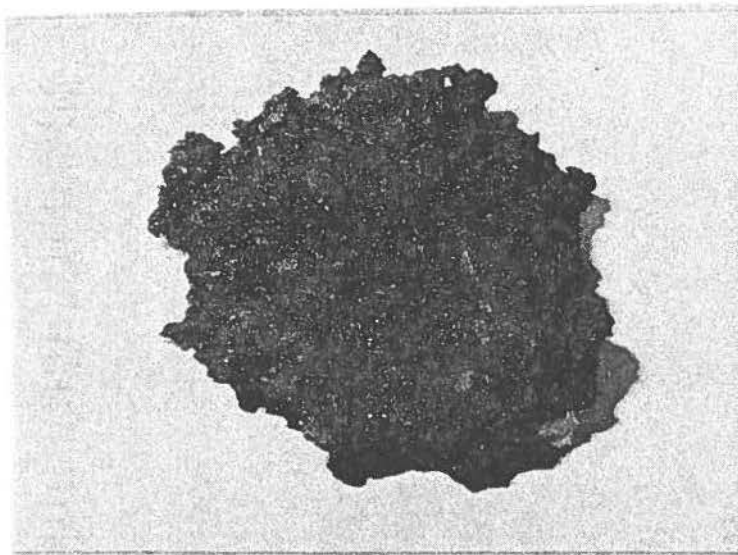


Bild 26: Smältan från försök 9.

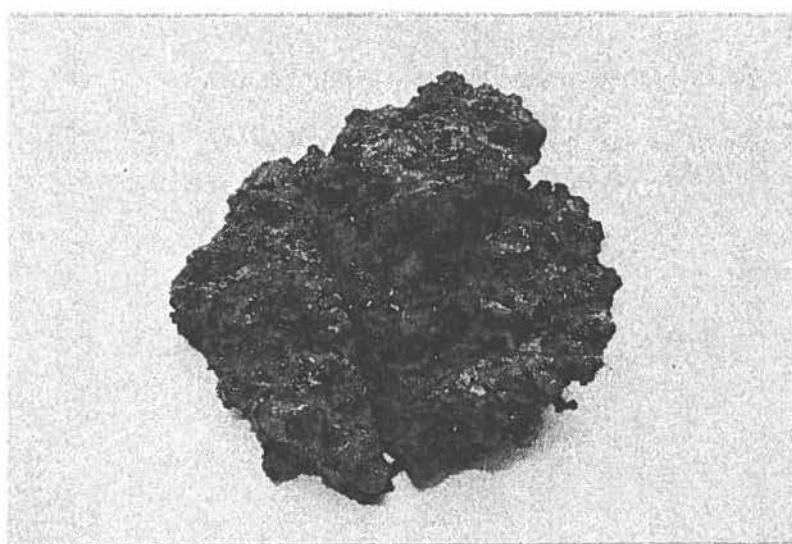


Bild 27: Smältan från försök 24.

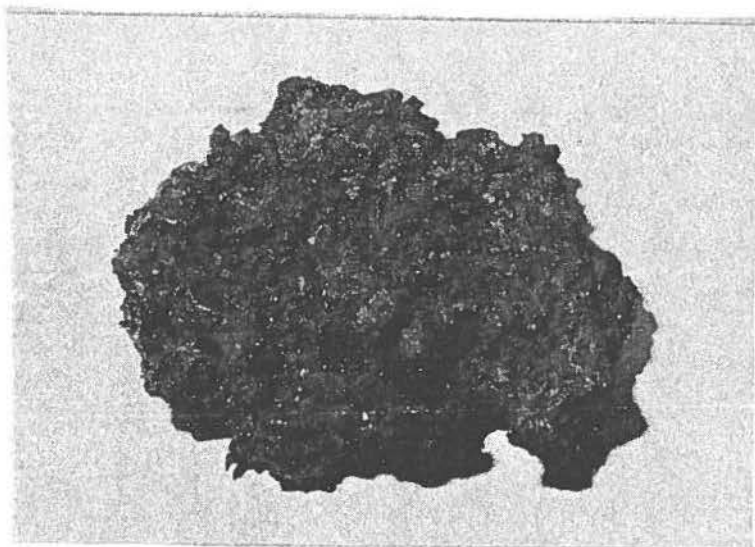


Bild 28: Smältan från försök 26.

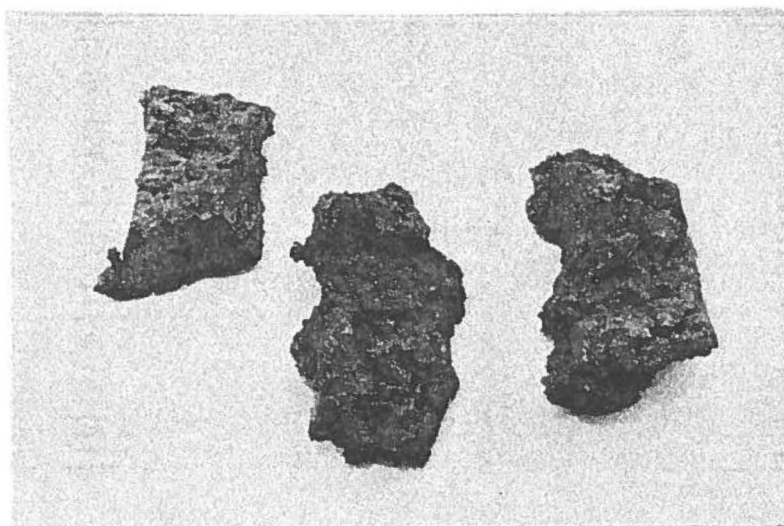


Bild 29: Upphuggna klimpar.

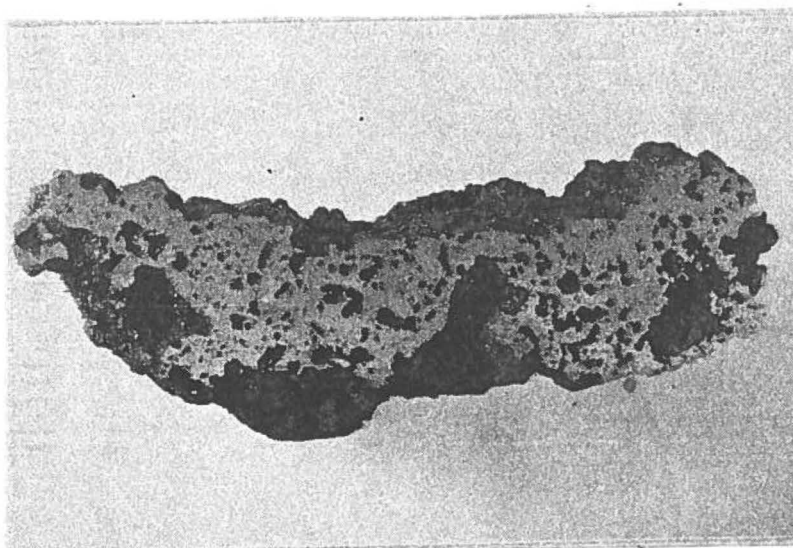


Bild 30: Polerat tvärsnitt av smältan från försök 9.

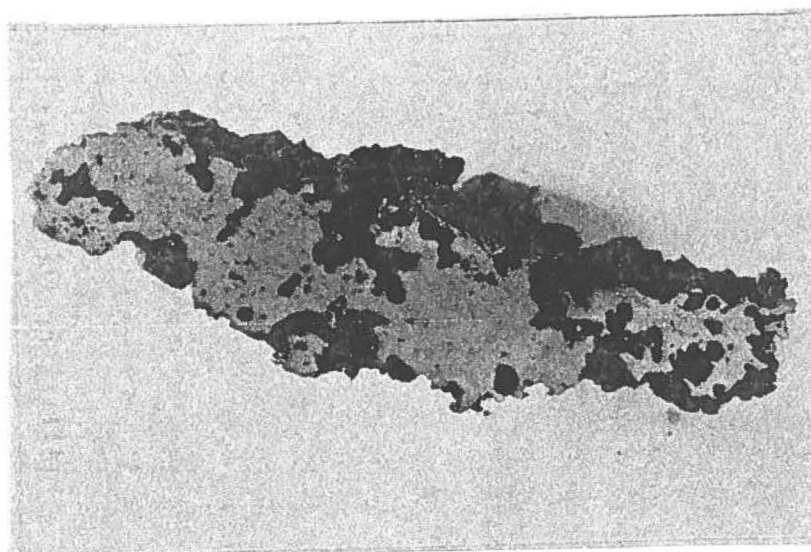


Bild 31: Polerat tvärsnitt av smältan från försök 26.

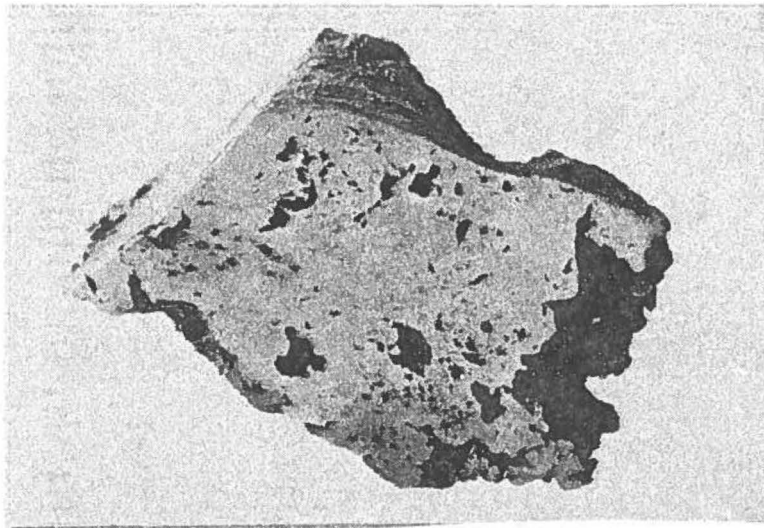


Bild 32: Snitt genom upphuggen klimp från försök 10. Etsat med 1% Nital. Skala 2:1

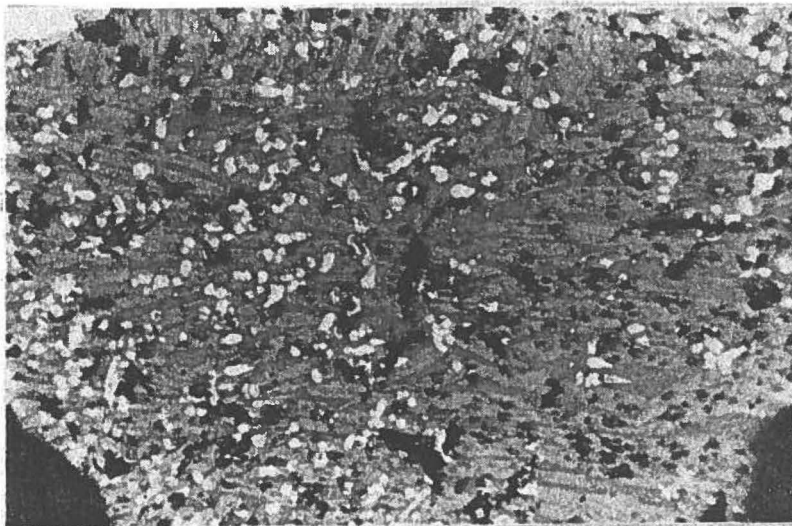


Bild 33: Slagginneslutning i klimp från försök 10.

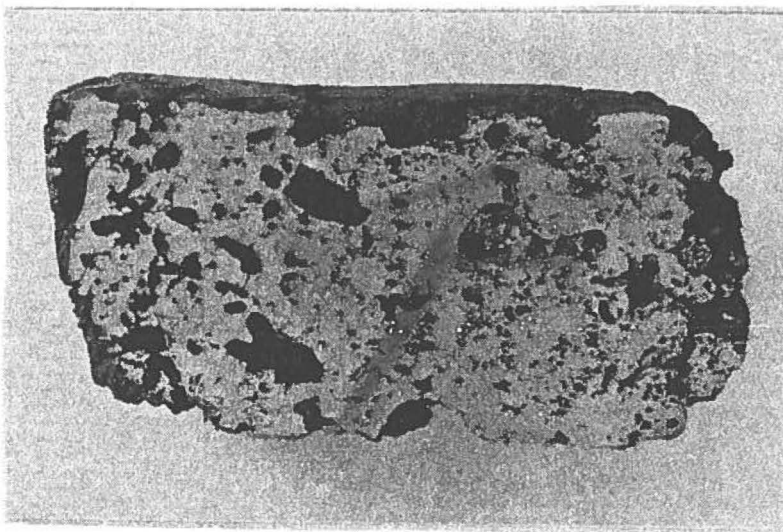


Bild 34: Polerat snitt genom klimp som värmts till välltemperatur en gång och hopslagits.

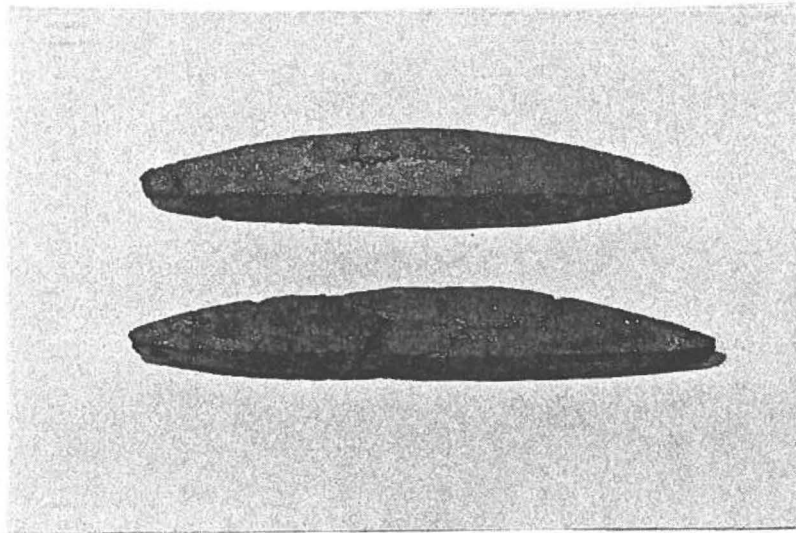


Bild 35: Lancettformiga barrar smidda av klimpar

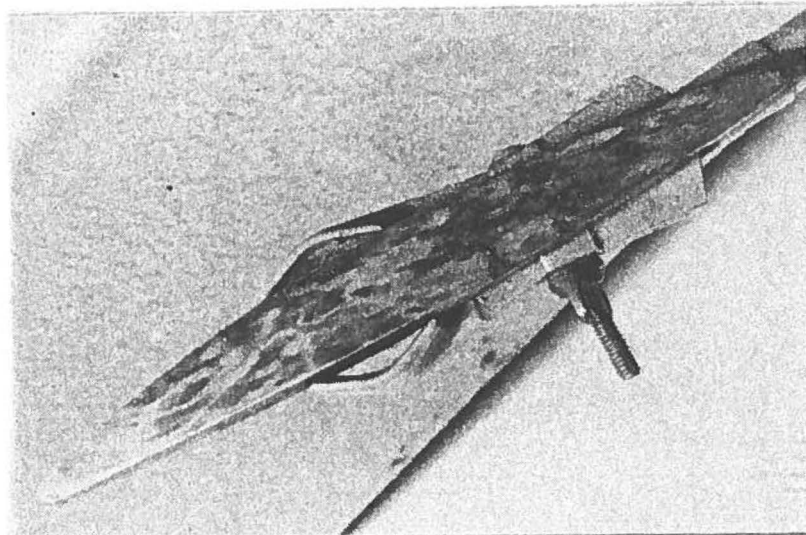


Bild 36: Längdsnitt genom lancettformig barr.
Etsat med 1% Nital. Skala 1:1

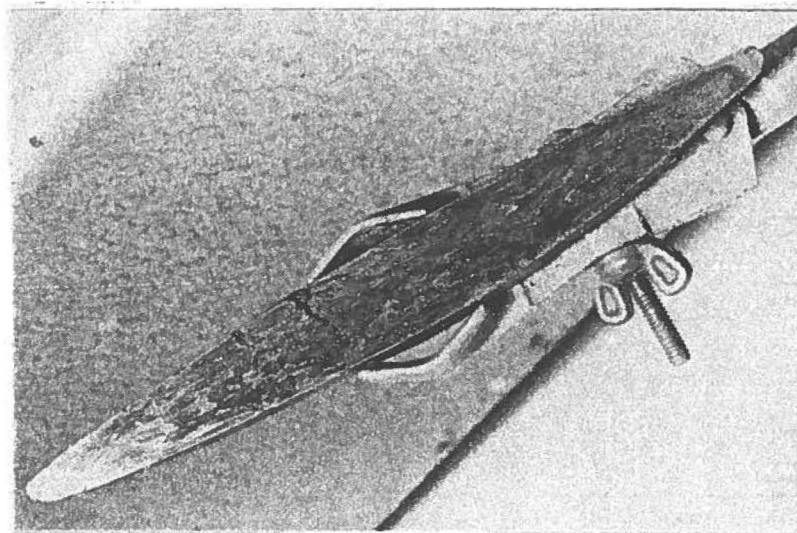


Bild 37: Längdsnitt genom lancettformig barr.
Etsat med Stead I. Skala 1:1

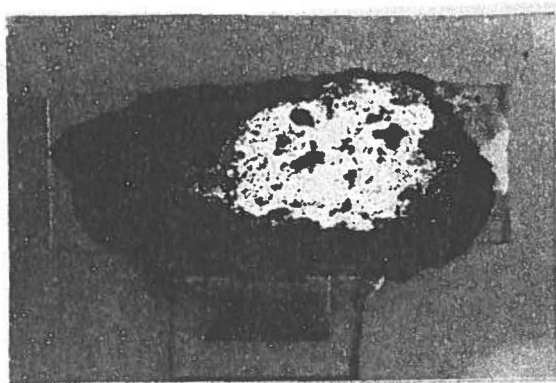


Bild 38: Polerat tvärsnitt av klumpformat
ämnesjärn från Helgeandsholmen, 1300-tal.
Fnr. 3356 Skala 1:1.

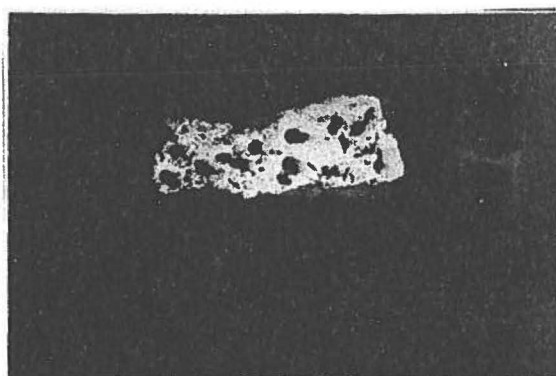


Bild 39: Polerat tvärsnitt av klumpformigt
ämnesjärn från Helgeandsholmen, 1600-tal.
Fnr. 6400 Skala 1:1.

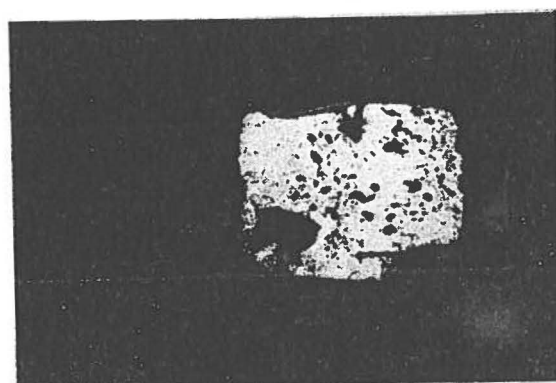


Bild 40: Polerat tvärsnitt av klumpformigt
ämnesjärn från Helgeandsholmen, 1600-tal.
Fnr. 9766 Skala 1:1.

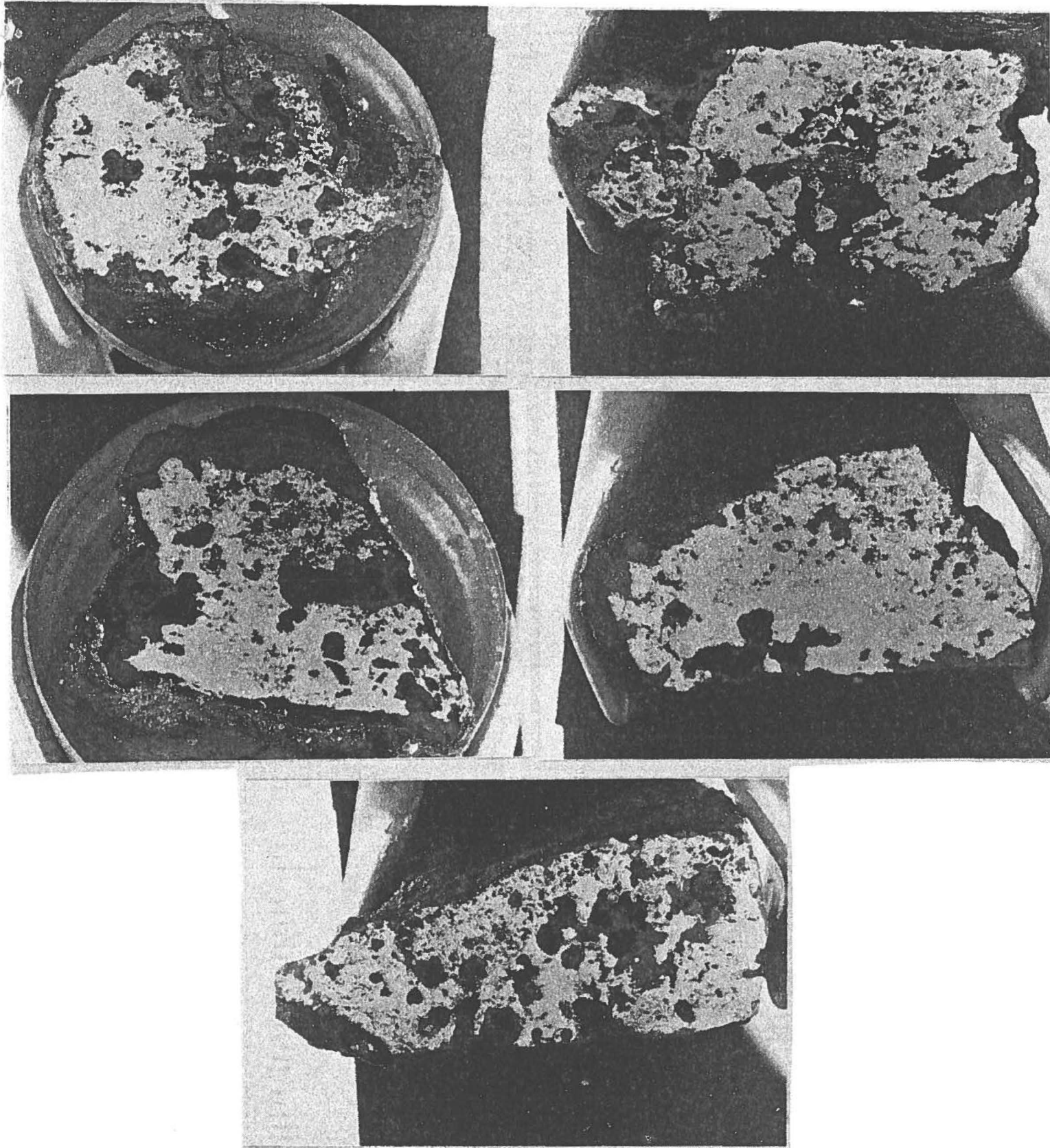


Bild 41 - 45: Polerade snitt av klimpformiga ämnesjärn
från Alvastra kloster, ca. 1450 - 1500.

(SHM inv. nr. 17033:1583, 24528:801, 21530:2003,
21530:2033, 21068:1192.)

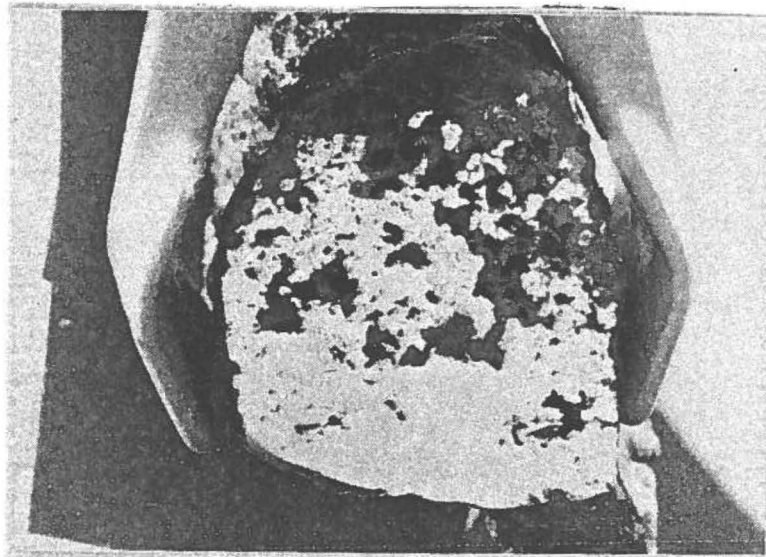
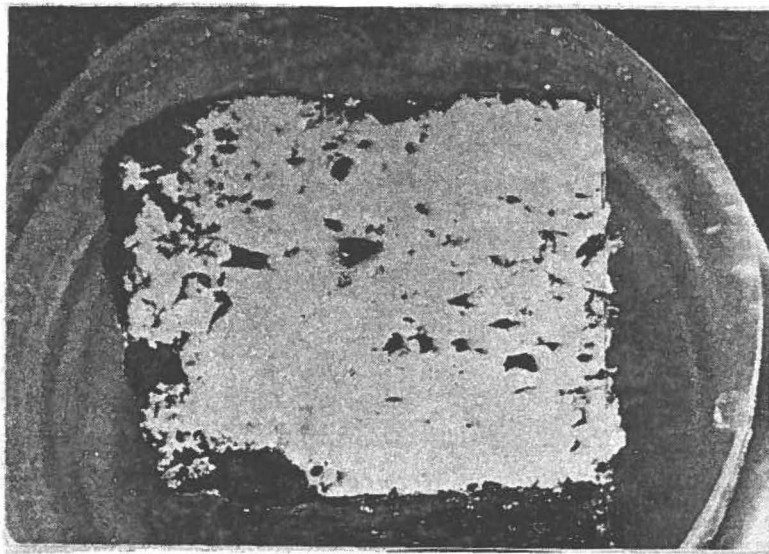
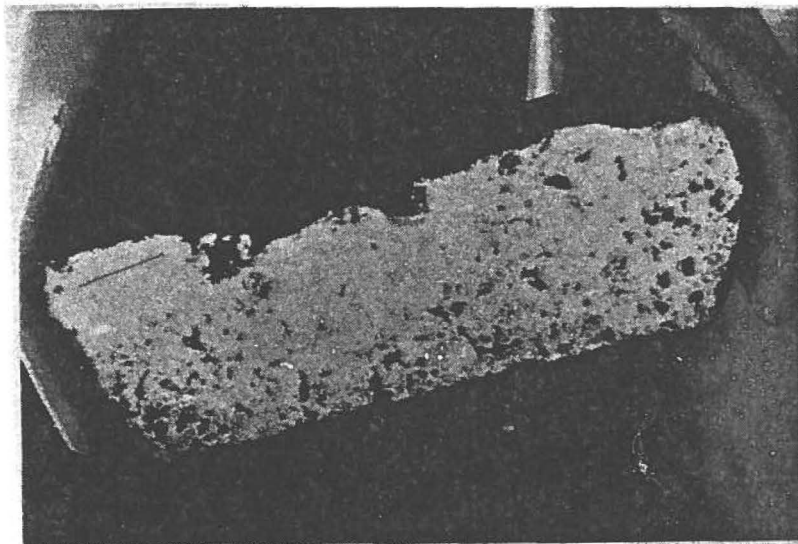


Bild 46 - 48: Polerade snitt av klimpformiga ämnesjärn
från Gamla Lödöse. 1300-tal till 1500-tal.
(Fnr. PC 1011b, ND 1507a, ND 766.)

