

JERZY PIASKOWSKI, ZDZISŁAW HENSEL

METALOZNAWCZE BADANIA PRZEDMIOTÓW ŻELAZNYCH Z CMENTARZYSK CIAŁOPALNYCH W BRZEŻCACH POD BIAŁOBRZEGAMI, WOJ. RADOM

Badania metaloznawcze przedmiotów żelaznych z okresu rzymskiego, a w szczególności używanych przez ludność kultury przeworskiej, objęły już stosunkowo dużą ilość materiałów¹, znaczna jest także liczba przedmiotów znalezionych w pobliżu Gór Świętokrzyskich, gdzie istniał wielki ośrodek hutnictwa żelaza². Jednak ze względu na duże znaczenie tego ośrodka zarówno dla historii hutnictwa, jak i dla archeologii celowe jest kontynuowanie badań.

Do tego celu wykorzystane zostały przedmioty żelazne z cmentarzysk ciałopalnych kultury przeworskiej w Brzeżcach, w pobliżu Białobrzegów. Za udostępnienie materiałów do badań autorzy składają podziękowanie dyrektorowi Instytutu Historii Kultury Materialnej PAN w Warszawie, prof. dr. Witoldowi Henslowi, oraz pracowniczce tegoż Instytutu, mgr Barbarze Balke, która prowadziła prace archeologiczne w Brzeżcach³.

1. ZESTAWIENIE ZBADANYCH MATERIAŁÓW

Do badań metaloznawczych przeznaczono miecz i dwa noże ze stanowiska 1 oraz dwie zapinki i fragment żelazny, określony jako półkosek, ze stanowiska 2.

¹ J. Piaskowski, *Technologia i pochodzenie wyrobów żelaznych z północnej Małopolski i Mazowsza w okresie wpływów rzymskich na podstawie badań metaloznawczych*, Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa, t. 6: 1962, s. 127 n.; E. Nosek, *Niektóre zabytki żelazne z terenu Gór Świętokrzyskich w świetle badań metaloznawczych*, Mat. Arch., t. 7: 1966, s. 179 n.; J. Piaskowski, *Dalsze badania metaloznawcze przedmiotów żelaznych z ziemi kieleckiej*, „Rocznik Muzeum Świętokrzyskiego”, t. 5: 1968, s. 151 n.

² Opis starożytnego ośrodka hutnictwa żelaznego w rejonie Gór Świętokrzyskich opublikował ostatnio K. Bielenin, *Starożytne górnictwo i hutnictwo żelaza w Górach Świętokrzyskich*, Warszawa—Kraków 1974.

³ B. Balke, *Wyniki badań wykopaliskowych przeprowadzonych w miejscowości Brzeżce, pow. Białobrzegi, w 1964 r.*, Spraw. Arch., t. XVII: 1966, s. 126 n.; też *Sprawozdanie z zakończenia badań wykopaliskowych na cmentarzysku z okresu rzymskiego w Brzeżcach, pow. Białobrzegi*, Spraw. Arch., t. XIX: 1968, s. 105 n. Pełne opracowanie archeologiczne jest przygotowane do druku.

2. METODY BADAŃ I SPOSÓB ZESTAWIENIA WYNIKÓW

Metody opisanych badań i sposób zestawienia wyników były identyczne jak w innych podobnych pracach⁴. Badania obejmowały ilościową i jakościową (spektrograficzną) analizę chemiczną, obserwacje metalograficzne wraz z oceną wielkości ziarna (według normy PN-56/H-04507), pomiary mikrotwardości poszczególnych składników strukturalnych przeprowadzane przy użyciu mikrotwardościomierza Henemanna oraz badania twardości sposobem Vickersa (według normy PN/H-04360).

Ilościową analizę chemiczną przeprowadzono zgodnie z metodami analitycznymi stosowanymi dla stopów żelaza. Zawartość fosforu i niklu oznaczano metodą fotometryczną. Do oceny wyników analizę zawartości fosforu wykonywano dla dwóch próbek. Zawartość węgla oceniano w przybliżeniu na podstawie obserwacji metalograficznych.

Jakościową analizę chemiczną przeprowadzano metodą spektrograficzną przy użyciu spektrografu ISP 22 wzbudzając łuk pomiędzy dwoma próbkami tego samego materiału. Podając wyniki analizy jakościowej (tab. 1) pominięto zawartość podstawowych składników i domieszek Fe, C, Si, Mn, P i S oraz Al, Ca, Mg, które występowały we wszystkich próbkach. Znak „+” określa wyraźnie stwierdzoną obecność domieszki, natomiast znak „0” świadczy o obecności jedynie ostatnich (najtrwalszych) linii widma danego pierwiastka.

Dla noża nr 1 wykonano — dla sprawdzenia — dwukrotnie analizę spektrograficzną (jakościową): w ostrzu (wiersz górny w tab. 1) i w części grzbietowej (wiersz dolny w tab. 1).

Obserwacje metalograficzne prowadzono przy powiększeniu 100 i 500 \times , trawiąc próbki 4% roztworem kwasu azotowego w alkoholu etylowym (azotal).

Przy pomiarach mikrotwardości stosowano obciążenie 50 g w ciągu 15 s; każdy wynik jest średnim z 5 pomiarów.

Badania twardości żeliwa i stali niehartowanej prowadzono przy obciążeniu 10 kG trwającym 15 s, a przy badaniu stali hartowanej obciążenie wynosiło 30 kG. Każdy wynik jest średnim z 2-3 pomiarów.

Uzyskane wyniki podano w tabelach i odpowiednich zestawieniach rysunkowych, podobnie jak w innych pracach tego typu.

3. WYNIKI BADAŃ

Zestawienie zbadanych przedmiotów żelaznych z cmentarzysk ciepłych w Brzeżcach wraz z ilościową i jakościową (spektrograficzną) analizą chemiczną podano w tab. 1, a wyniki obserwacji metalograficznych, pomiarów mikrotwardości składników strukturalnych i badań twardości metalu w tab. 2.

Zbadane przedmioty żelazne przedstawiono na ryc. 1, podając miejsce wycięcia próbki, a technologię ich wykonania (tj. w tym przypadku stopień nawęglenia oznaczony w umowny sposób) — na ryc. 2.

Badania metaloznawcze przedmiotów żelaznych z cmentarzysk ciepłych w Brzeżcach dały następujące wyniki:

Miecz ze stanowiska 1 (nr inw. 4162) wykuty został z niskofosforowej stali o nierównomiernym nawęgleniu, w granicach od ok. 0,1% C (ryc. 3 a) do ok. 0,8% C (ryc. 3 b). Bardzo drobne i nieliczne wtrącenia żużla utrudniały określenie ich struktury

⁴ Por. J. Piaskowski, *Technika gdańskiego hutnictwa i kowalstwa żelaznego w X-XIV wieku na podstawie badań metaloznawczych*, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Prace Komisji Archeologicznej, nr 2, 1960, s. 68 n.

Tabela 1. Wyniki ilościowej i jakościowej analizy chemicznej przedmiotów żelaznych z cmentarzyska w Brzeźcach pod Białobrzegami, woj. Radom

Lp.	Nazwa przedmiotu	Lokalizacja	Nr inw.	Ciężar g	Zawartość, %		Analiza jakościowa *										
					P	Ni	Ag	As	Ba	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti
1	miecz	st. 1	4162	554	0,025	0,105	0?	0	0	0	+	+	0	0?	+	+	+
2	nóż nr 1	st. 1	4163	15	0,040	0,345	0	0?	0	+	+	+	0	+	0	+	+
3	noz nr 2	st. 1	4167	9,5	0,09	0,08	0	0	0	0?	+	+	0	+	0	+	+
4	zapinka nr 1	st. 2	4165	20	0,044	0,11	+	0	0	+	+	+	0	+	0	+	+
5	zapinka nr 2	st. 2	4166	18	0,11	0,03	+	0	0	0?	+	+	0	+	+	+	+
	półkosek	st. 2	4167	14	0,12	0,105	0?	0	0	+	+	+	0	0	0	0	0
					0,024												
					0,027												

* Ponadto Fe, C, Si, Mn, P, S oraz Al, Ca, Mg, które występowały we wszystkich próbkach.

Tabela 2. Wyniki obserwacji metalograficznych, pomiarów składników strukturalnych i twardości metalu przedmiotów żelaznych z cementarzystka ciałopalnego w Brzeźcach pod Białobrzegami, woj. Radom

Lp.	Nazwa przedmiotu	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikrotwardość kG/mm ²	Twardość Vickersa kG/mm ²
1	miecz	perlit feryt	2	258 162	141,5
2	nóż nr 1	feryt *	5	207	163
		feryt	6	149	
		perlit	6	293	
3	nóż nr 2	feryt *	4	149	120,1
4	zapinka nr 1	feryt	6	115	87,6
		perlit **	5	216	
5	zapinka nr 2	feryt *	5	126	95,8
		perlit	śl.		
6	półkosek	perlit **	4	235	128—176
		feryt *	5	128	

* Wydzielenia fazy A (γ' -Fe₄N?) lub fazy B (α'' -Fe₁₆N₂?).

** Węglik na granicach ziarn.

(typu). Prawdopodobnie posiadały one jednolite czarne zabarwienie, tj. reprezentują typ A według klasyfikacji J. Piaskowskiego⁵.

Stabiej nawęglony metal, żelazo o nierównomiernym nawęgleniu, od śladów (ryc. 3 c) do ok. 0,2% C (ryc. 3 d), użyto do wyrobu noża nr 1 znalezionej luźno na stanowisku 1 (nr inw. 4163). W ziarnach ferytu obserwowano drobne wydzielenia o długości poniżej 0,005 mm, określanej w pracach autora jako faza B. Jest to najprawdopodobniej związek żelaza z azotem α'' -Fe₁₆N₂, tak bowiem określili identyczne wydzielenia we współczesnej stali G. R. Booker, J. Norbury, A. L. Sutton⁶.

Obok wtrąceń żuźła o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia zawierające nieliczne, zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle (typ B).

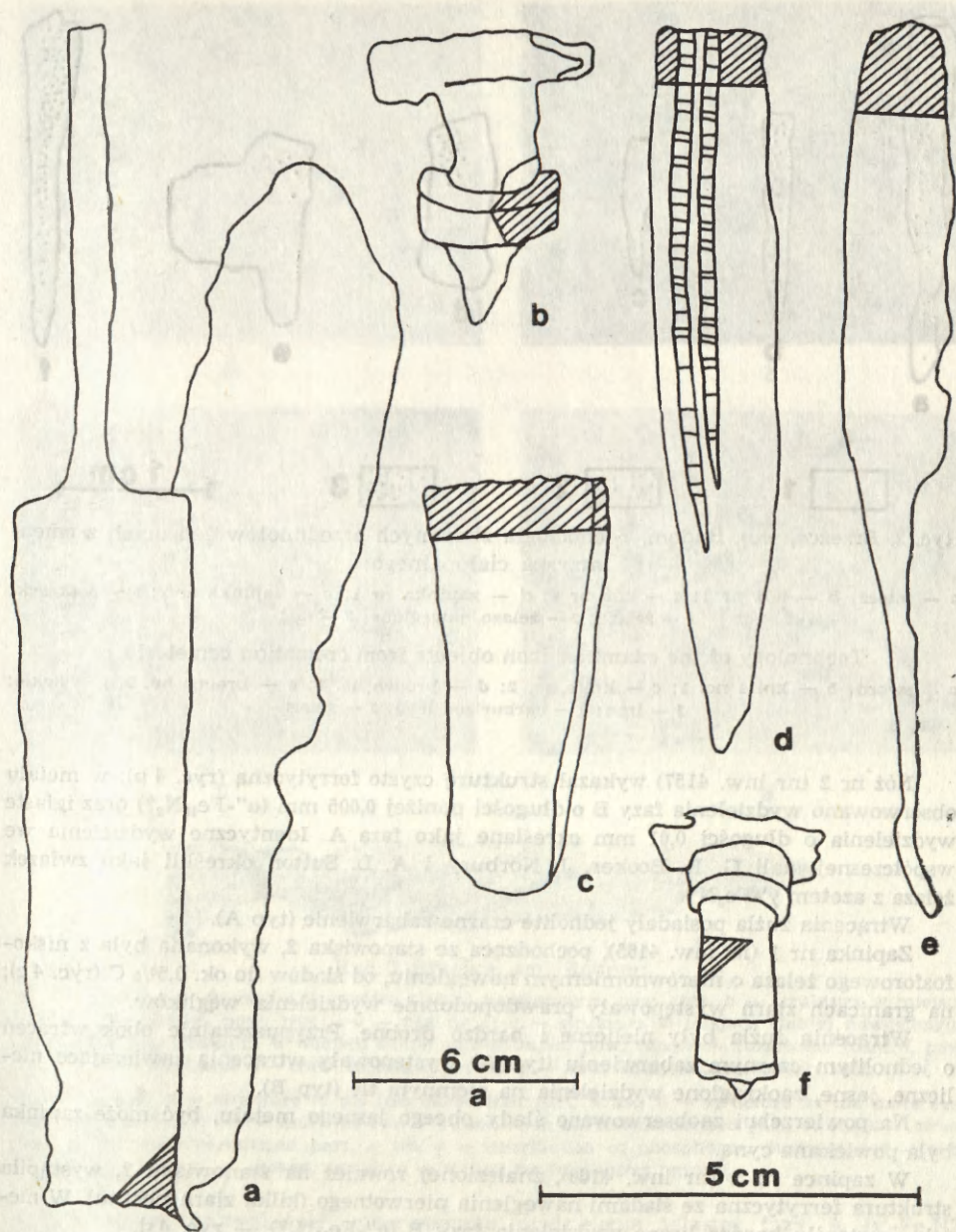
Próbkę wyciętą z noża nr 1 poddano badaniom segregacji fosforu przy użyciu odczynnika Oberhoffera. Zaobserwowano pasmowate rozłożenie fosforu (ryc. 3 e; 4 a), ukształtowane pod wpływem przeróbki plastycznej, tj. w kierunku wydłużania metalu podczas kucia.

W strukturze metalu nie widać było żadnych charakterystycznych śladów zgrzewania⁷, przedmiot więc był wykuty z jednego kawałka metalu, a warstwy o różnej zawartości fosforu należy uznać jako pochodzenia strukturalnego.

⁵ J. Piaskowski, *Klasyfikacja struktury wtrąceń żuźła i jej zastosowanie dla określenia pochodzenia dawnych przedmiotów żelaznych*, Kwart. HKM, t. 27: 1969, z. 2, s. 61 n.; por. także J. Piaskowski, *Dalsze badania technologii wyrobów żelaznych na ziemiach polskich w okresie halsztackim i wczesnolateńskim*, Kwart. HKM, t. 11: 1963, z. 1, s. 8 n.

⁶ G. R. Booker, J. Norbury, A. L. Sutton, *Investigations of Nitride Precipitation in Pure Iron and Mild Steel*, „Journal of the Iron and Steel Institute”, t. 187: 1957, z. 3, s. 211.

⁷ Kryteria identyfikacji zgrzewania w dawnych wyrobach żelaznych przedstawiono w pracy: J. Piaskowski, *Kryteria określania technologii wyrobów z żelaza dymarskiego*, A.Polski, t. 17: 1972, s. 24.

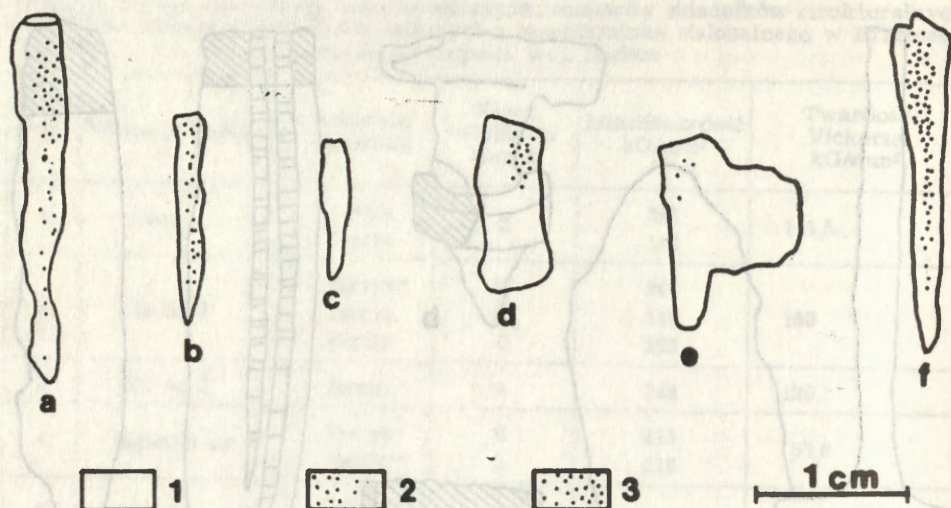


Ryc. 1. Brzeźce, woj. Radom. Zestawienie zbadanych przedmiotów z cmentarzyisk ciałopalnych:

a — miecz; b — zapinka 2; c — półkosek; d — nóż nr 1; e — nóż nr 2; f — zapinka nr 1

Objects from cremation cemeteries, submitted to examinations:

a — sword; b — brooch no. 2; c — sickle; d — knife no. 1; e — knife no. 2; f — brooch no. 1



Ryc. 2. Brzeźce, woj. Radom. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych z cmentarzystwa ciałopalnego:

a — miecz; b — nóż nr 1; c — nóż nr 2; d — zapinka nr 1; e — zapinka nr 2; f — półkosek;
1 — żelazo; 2 — żelazo nawęglone; 3 — stal

Technology of the examined iron objects from cremation cemeteries:

a — sword; b — knife no. 1; c — knife no. 2; d — brooch no. 1; e — brooch no. 2; f — sickle;
1 — iron; 2 — carburized iron; 3 — steels

Nóż nr 2 (nr inw. 4157) wykazał strukturę czysto ferrytyczną (ryc. 4 b); w metalu obserwowano wydzielenia fazy B o długości poniżej 0,005 mm ($\alpha''\text{-Fe}_{16}\text{N}_2?$) oraz iglaste wydzielenia o długości 0,01 mm określane jako faza A. Identyczne wydzielenia we współczesnej stali G. R. Booker, J. Norbury i A. L. Sutton określili jako związek żelaza z azotem $\gamma'\text{-Fe}_4\text{N}^8$.

Wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).

Zapinka nr 1 (nr inw. 4165), pochodząca ze stanowiska 2, wykonana była z niskofosforowego żelaza o nierównomiernym nawęgleniu, od śladów do ok. 0,50% C (ryc. 4 c); na granicach ziarn występowały prawdopodobnie wydzielenia węglików.

Wtrącenia żużla były nieliczne i bardzo drobne. Przypuszczalnie obok wtrąceń o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia zawierające nieliczne, jasne, zaokrąglone wydzielenia na ciemnym tle (typ B).

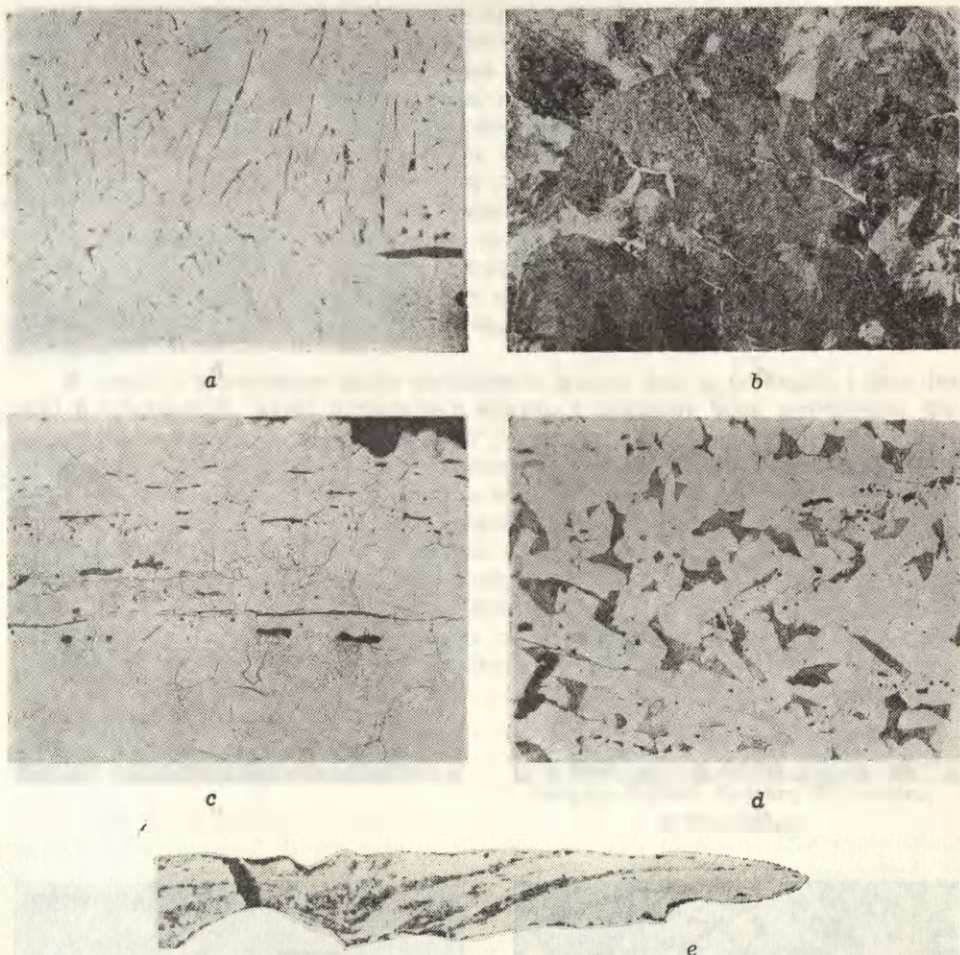
Na powierzchni zaobserwowano ślady obcego jasnego metalu, być może zapinka była powlekana cyną.

W zapince nr 2 (nr inw. 4166), znalezionej również na stanowisku 2, wystąpiła struktura ferrytyczna ze śladami nawęglenia pierwotnego (kilka ziarn perlitu). W metalu wystąpiły bardzo liczne wydzielenia fazy B ($\alpha''\text{-Fe}_{16}\text{N}_2?$) — ryc. 4 d.

Obok wtrąceń żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały nieliczne wtrącenia o bardziej złożonej strukturze. Obserwowano w nich dość liczne zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle, jednak niekiedy o niezbyt równomiernym zabarwieniu (typ D1 lub E).

Półkosek (nr inw. 4167) ze stanowiska 2 wykonany był z żelaza o nierównomiernym nawęgleniu, o strukturze zmieniającej się od ferrytycznej do perlitycznej (ryc. 4 e). Odpowiada to zmianom zawartości węgla w żelazie od śladów do 0,8% C. W czę-

⁸ Booker, Norbury, Sutton, *op. cit.*, s. 208.



Ryc. 3. Brzeźce, woj. Radom:

a, b — miecz: *a* — struktura w miejscu słabiej nawęglonym, pow. 100x, *b* — struktura w miejscu silniej nawęglonym, pow. 100x; *c-e* — nóż nr 1: *c* — struktura w miejscu słabiej nawęglonym, pow. 100x, *d* — struktura w miejscu silniej nawęglonym, pow. 100x, *e* — rozłożenie fosforu, pow. 10x. Próbki *a-d* — traw. azotalem, próbka *e* — traw. odczynnikiem Oberhoffera

a, b — sword: *a* — structure in the less carburized part, $\times 100$, *b* — structure in the more carburized part, $\times 100$; *c-e* — knife no. 1: *c* — structure in the less carburized part, $\times 100$, *d* — structure in the more carburized part, $\times 100$, *e* — distribution of phosphorus. Samples *a-d* — nital etched, sample *e* — etched by Oberhoffer reagent

ściach słabiej nawęglonych obserwowano wydzielania iglastej fazy A (γ' -Fe₄N?) o długości dochodzącej do 0,1 mm.

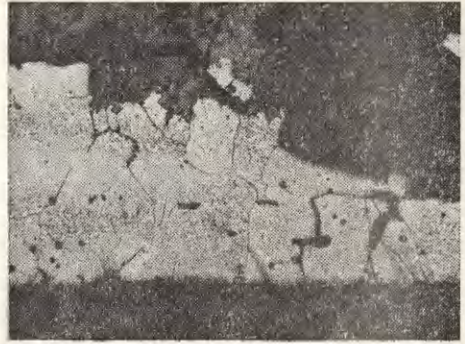
Wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A), obok nich występowały nieliczne wtrącenia o bardziej złożonej strukturze, zawierające dość liczne, zaokrąglone, jasne wydzielania na ciemnym tle (typ D1 lub, być może, E) — ryc. 4 f.

4. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

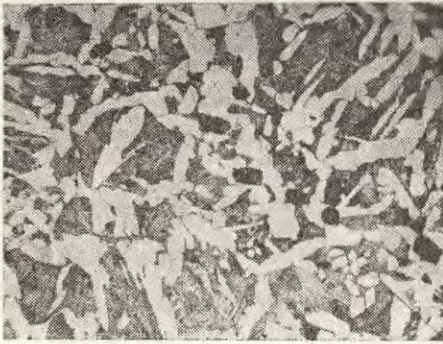
Opracowanie wyników badań 6 przedmiotów żelaznych z cmentarzyska w Brzeźcach pod Białobrzegami nie sprawia poważniejszych trudności. Występują w nich struktury metalu typowe dla przedmiotów żelaznych kultury przeworskiej pocho-



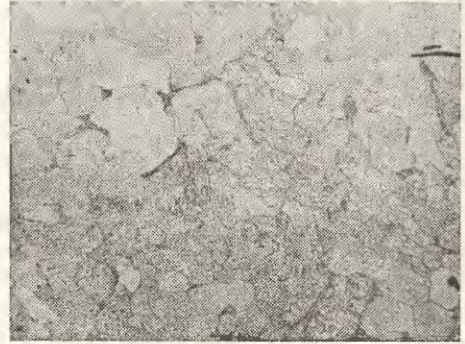
a



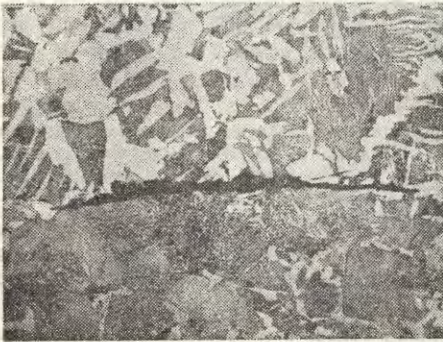
b



c



d



e



f

Ryc. 4. Brzeźce, woj. Radom:

a — nóż nr 1, rozłożenie fosforu, pow. 100x; b — nóż nr 2, struktura, pow. 100x; c — zapinka nr 1, struktura w miejscu silniej nawęglonym, pow. 100x; d — zapinka nr 2, struktura, pow. 100x; e, f — półkosek: e — struktura, pow. 100x, f — struktura wtrąceń żużla, pow. 500x. Próbkę a — traw. odczynnikami Oberhoffera, b-e — traw. azotalem, f — nietraw.

a — knife no. 1, distribution of phosphorus, $\times 100$; b — knife no. 2, structure, $\times 100$; c — brooch no. 1, structure in the more carburized part, $\times 100$; d — brooch no. 2, structure, $\times 100$; e, f — sickle: e — structure, $\times 100$, f — structure of slag inclusions, $\times 500$. Sample a — etched by Oberhoffer reagent, b-e — nital etched, f — unetched

dzących z cmentarzysk ciałopalnych, a ściślej: niskofosforowego żelaza o nierównomiernym nawęgleniu, które w pracach autora określone jest jako żelazo „świętokrzyskie”. Liczba zbadanych przedmiotów jest zbyt mała dla wyznaczenia wskaźników ilościowych, w każdym jednak wypadku nawet ocena jakościowa wykazuje pełną zgodność z cechami wyrobów „świętokrzyskich”⁹.

Tak więc zbadane przedmioty żelazne wykazują nierównomierne nawęglenie, od śladów do 0,8% C, przy czym najczęściej występuje struktura stali miękkiej (niskowęglowej). Niska jest także zawartość fosforu; najwyższy wynik wynosi 0,15% P.

Również niska jest zawartość niklu, jedynie w nożu nr 1 stwierdzono obecność 0,345% Ni; jest to wynik wyraźnie wyższy aniżeli w wyrobach „świętokrzyskich”, należy więc — ewentualnie — wstrzymać się z włączeniem omawianego noża do tej grupy przedmiotów, tym bardziej że różni się on i kształtem od noży „świętokrzyskich”.

W metalu obserwowano często wydzielenia iglastej fazy A (γ' -Fe₄N?) i fazy drobnej B (α' -Fe₁₆N₂?): wśród 6 zbadanych okazów 4 zawierały takie wydzielenia. Występują one w wyrobach „świętokrzyskich” w wyniku wyżarzania przedmiotu w stosie ciałopalnym, praktykowanym przez ludność kultury przeworskiej.

Również wtrącenia żużla występujące w przedmiotach żelaznych z Brzeżców posiadają struktury jak w wyrobach „świętokrzyskich”.

Wyniki badań przedmiotów żelaznych z cmentarzysk ciałopalnych w Brzeżcach są dalszym potwierdzeniem wniosku, że ludność kultury przeworskiej używała przedmiotów żelaznych w przeważającej większości pochodzących z ośrodka hutniczego w Górach Świętokrzyskich¹⁰. Dotyczy to zwłaszcza ludności zamieszkującej bliskie tego ośrodka tereny, gdzie występują prawie wyłącznie wyroby „świętokrzyskie”¹¹.

Institut Odlewnictwa

Kraków

i

*Institut Historii Kultury Materialnej
w Warszawie*

JERZY PIASKOWSKI, ZDZISŁAW HENSEL

METALLOGRAPHIC INVESTIGATIONS OF IRON OBJECTS
FROM A CREMATION CEMETERY AT BRZEŻCE NEAR BIAŁOBRZEGI,
PROVINCE OF RADOM

Six iron objects from a cremation cemetery at Brzeżce were submitted to metallographical examinations. In the investigations the metallographic observations with the determination of the grain size, the microhardness measurements of the structural

⁹ Charakterystykę metaloznawczą wyrobów „świętokrzyskich” przedstawiono po raz pierwszy w pełnym opracowaniu w artykule J. Piaskowskiego, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych produkowanych przez starożytnych hutników w Górach Świętokrzyskich w okresie wpływów rzymskich (I—IV w. n.e.)*, „Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa”, t. 6: 1963, s. 9 n. Późniejsze wyniki, potwierdzające lub uzupełniające podaną tam charakterystykę wyrobów „świętokrzyskich”, opublikowano w pracy: Piaskowski, *Dalsze badania metaloznawcze...*, s. 151.

¹⁰ Wniosek ten był wysuwany początkowo w niektórych opracowaniach analitycznych (np. w artykule: J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych z cmentarzysk ciałopalnych w Błoniu, pow. Sandomierz, i Chmielowie Piaszkowym, pow. Opatów*, Spraw. Arch., t. 16: 1964, s. 395 n.), a następnie w opracowaniu syntetycznym: J. Piaskowski, *Cechy materiałowo-technologiczne wyrobów żelaznych jako kryteria kulturowo-chronologiczne*, WA, t. 34: 1969, z. 3-4, s. 332 n.

¹¹ Piaskowski, *Dalsze badania metaloznawcze...*, s. 151.

components and the hardness measurements by Vickers methods were employed. Quantitative and qualitative (spectrographic) chemical analyses were also carried out.

The objects examined were made of iron with low phosphorus content and unequal carburization. In brooch no. 1 carbon content ranged from traces to 0.6% C, and in the sword and sickle — even to 0.8% C. Knife no. 1 showed iron structure with a content ranging from traces to 0.2% C. Knife no. 2 and brooch no. 2 had ferritic structure. In four objects nitride segregations γ' -Fe₄N or α'' -Fe₁₆N₂ have occurred.

The objects under discussion show traits associated with products derived from the great metallurgical centre in the Świętokrzyskie Mountains and therefore their origin from this centre seems acceptable. On the other hand, knife no. 1, which contained 0.345% Ni, seems to be of different origin.