

JERZY PIASKOWSKI, ZDZISŁAW HENSEL

## METALOZNAWCZE BADANIA PRZEDMIOTÓW ŻELAZNYCH I ŻUŻLA Z WCZESNOŚREDNIOWIECZNEGO CMENTARZYSKA W CZERSKU KOŁO PIASECZNA

Badania metaloznawcze wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych objęły już znaczną ilość stanowisk archeologicznych, jednak dotąd nie były zbadane stanowiska w okolicach Warszawy. Dla częściowego uzupełnienia tego braku podjęto badania materiałów żelaznych, znalezionych na terenie wczesnośredniowiecznego cmentarzyska w Czersku koło Piaseczna. Prace archeologiczne przeprowadziły dr J. Rauhut i mgr T. Kiersnowska z Instytutu Historii Kultury Materialnej PAN w Warszawie.

Za udostępnienie materiałów do badań autorzy dziękują dyrektorowi Instytutu Historii Kultury Materialnej PAN prof. dr. Witoldowi Henslowi.

### 1. Zestawienie zbadanych materiałów

Do badań przeznaczono pięć przedmiotów żelaznych, a mianowicie trzy noże, dłuto i grot strzały oraz dwa fragmenty żużla.

### 2. Metody badań i sposób zestawienia wyników

Metody opisanych badań i sposób zestawienia wyników były identyczne jak w innych pracach<sup>1</sup>. Badania obejmowały ilościową i jakościową (spektrograficzną) analizę chemiczną, obserwacje metalograficzne wraz z oceną wielkości ziarna (według normy PN-56/H-04507), pomiary mikro-twardości poszczególnych składników strukturalnych przeprowadzane przy użyciu mikro-twardościomierza Hanemanna oraz badania twardości sposobem Vickersa (według normy PN/H-04360).

Ilościową analizę chemiczną przeprowadzono zgodnie z metodami analitycznymi stosowanymi dla stopów żelaza. Zawartość fosforu oznaczano metodą miareczkową, a zawartość niklu — metodą fotometryczną. 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 (tabl. 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 „o” świadczy o obecności jedynie ostatnich (najtrwalszych) linii widma danego pierwiastka. Dla noży nr 1, 2 i 3 wykonano — dla sprawdzenia — dwukrotnie analizę spektrograficzną (jakościową): w ostrzu (wiersz górny w tablicy 1) w części grzbietowej (wiersz dolny w tablicy 1).

<sup>1</sup> Por. J. Piaskowski, *Technika gdańskiego hutnictwa i kowalstwa żelaznego w X-XV wieku na podstawie badań metaloznawczych*, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Prace Komisji Archeologicznej, Nr 2, s. 68.



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

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

Badania twardości żeliwa i stali nie hartowanej 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.

Analizę ilościową próbek żużla przeprowadzono zgodnie z metodami stosowanymi przy analizie rud żelaza.

Uzyskane wyniki podano w tablicach i odpowiednich zestawieniach rysunkowych. Strukturę metalu, w tym także dokumentację zidentyfikowanych technologii przedstawiają dołączone na tablicach fotografie.

### 3. Wyniki badań

Zestawienie zbadanych przedmiotów żelaznych z wczesnośredniowiecznej osady w Czersku koło Piaseczna wraz z ilościową i jakościową (spektrograficzną) analizą chemiczną podano w tablicy 1, a wyniki obserwacji metalograficznych, pomiarów mikrotwardości składników strukturalnych i badań twardości metalu — w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki obserwacji metalograficznych, pomiarów mikrotwardości składników strukturalnych i twardości metalu przedmiotów żelaznych z cmentarzyska w Czersku koło Piaseczna

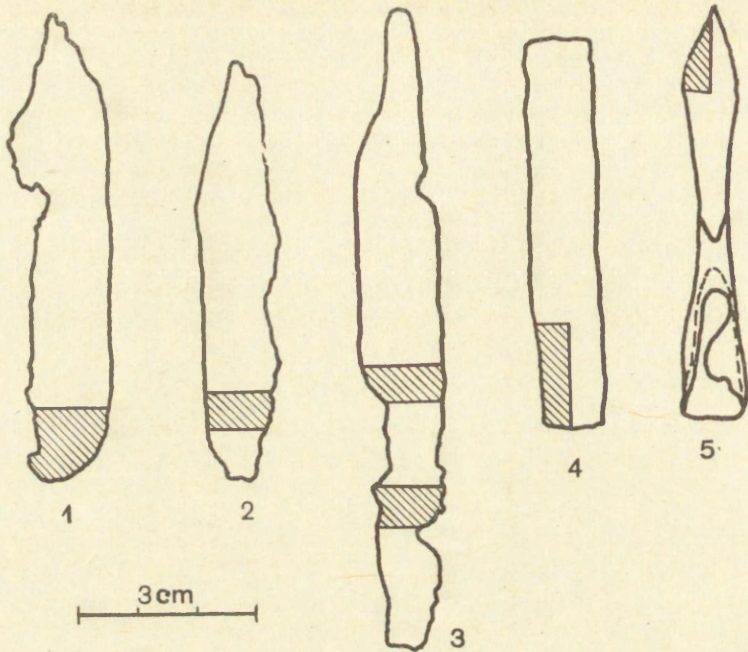
Lp.	Nazwa przedmiotu	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikrotwardość kG/mm <sup>2</sup>	Twardość Vickersa kG/mm <sup>2</sup>	
1	Nóż nr 1 a) ostrze (część stalowa) b) część grzbietowa żelazo stal	martenzyt  ferryt ferryt sorbit		293	225	
				*		205
				*		258
						315
2	Nóż nr 2 a) ostrze b) część grzbietowa	ferryt (?) ferryt	7 5	216(?)	251	
				222		
3	Nóż nr 3 a) ostrze b) część grzbietowa	martenzyt ferryt		536	224	
				4		196
4	Dłuto	ferryt	6	202	221	
5	Grot strzały	ferryt ferryt	4 6	199	181	
				134		

\* na granicach ziarn

Zbadane przedmioty żelazne z Czerska koło Piaseczna przedstawiono na ryc. 1 podając miejsca wycięcia próbek, a technologię ich wykonania — na ryc. 2.

Badania metaloznawcze przedmiotów żelaznych z cmentarzyska w Czersku, koło Piaseczna, dały następujące wyniki:

Nóż nr 1 (nr inw. 74/65) ze stanowiska 1 (cmentarzysko) wykuty został z pasm żelaza i stali. Układ tych warstw jest dość skomplikowany, przedstawiono je na ryc. 2 oraz na fotografii struktury (ryc. 3a). Prawdopodobnie nóż składał się z dwóch części, z których jedna (żelazna) stanowiła

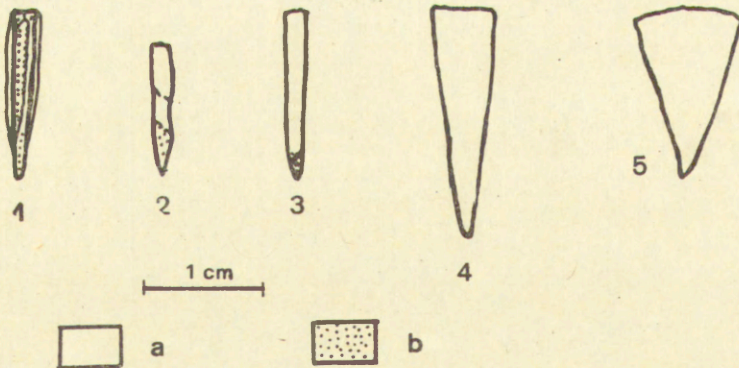


Ryc. 1. Czersk, woj. Warszawa. Zestawienie zbadanych przedmiotów żelaznych z cmentarzyska wczesnośredniowiecznego

1 – nóż nr 1, 2 – nóż nr 2, 3 – nóż nr 3, 4 – dłuto, 5 – grot strzały

Examined iron objects:

1 – knife no. 1, 2 – knife no. 2, 3 – knife no. 3, 4 – chisel, 5 – arrow-head



Ryc. 2. Czersk, woj. Warszawa. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych z cmentarzyska wczesnośredniowiecznego

1 – nóż nr 1, 2 – nóż nr 2, 3 – nóż nr 3, 4 – dłuto, 5 – grot strzały; a – żelazo, b – stal

Technology of the examined iron objects:

1 – knife no. 1, 2 – knife no. 2, 3 – knife no. 3, 4 – chisel, 5 – arrow-head; a – iron; b – steel

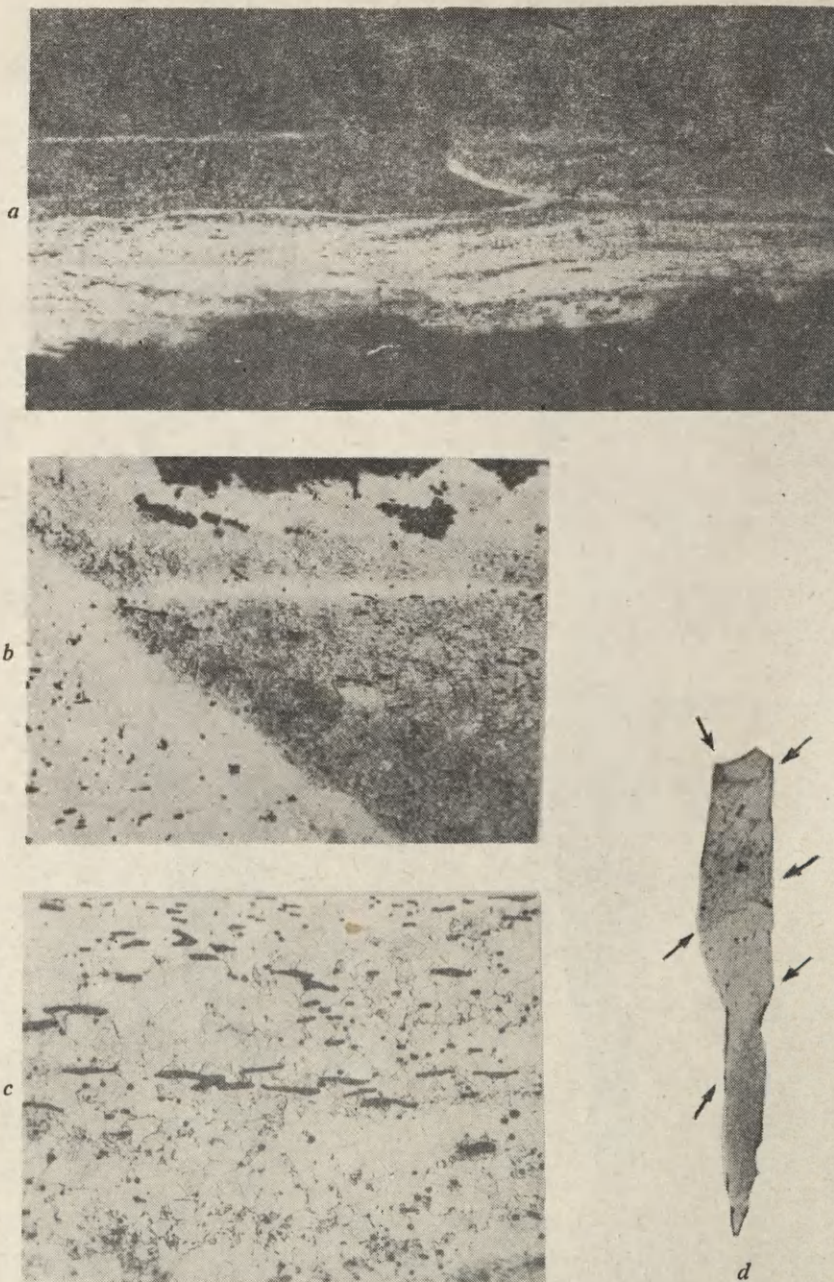


Ryc. 3. Czersk, woj. Warszawa. Nóż nr 1

*a* – struktura na poprzecznym przekroju noża, traw. azotalem, pow.  $10\times$ , *b* – rozłożenie fosforu na poprzecznym przekroju noża, traw. odczynnikiem Oberhoffera, pow.  $100\times$

Knife no. 1:

*a* – structure on the cross-section of knife, nital etched,  $\times 10$ , *b* – distribution of phosphorus on the cross-section of knife, etched by Oberhoffer reagent,  $\times 100$

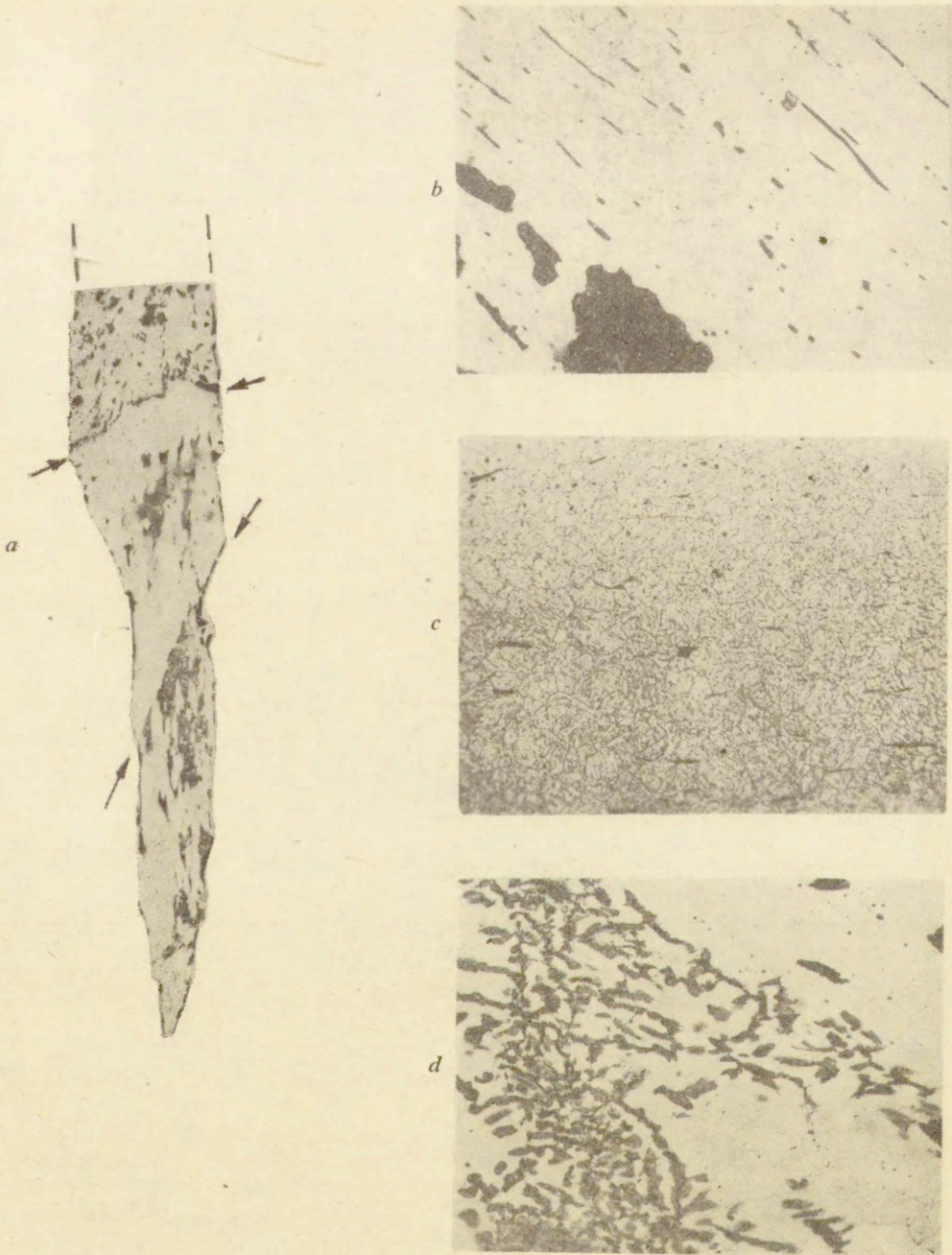


Ryc. 4. Czersk, woj. Warszawa. Nóż nr 1:

*a* – struktura w pobliżu krawędzi tnącej, traw. azotalem, pow. 20×, *b* – struktura w miejscu zgrzania części stalowej i żelaznej, traw. azotalem, pow. 100×, *c* – struktura części żelaznej, traw. azotalem, pow. 100×. Nóż nr 2: *d* – struktura na poprzecznym przekroju, traw. azotalem, pow. 5,5×. Strzałkami oznaczono przypuszczalne miejsca zgrzewania

**Knife no. 1:**

*a* – structure near the cutting edge, nital etched, ×20, *b* – structure in the point of welding of iron and steel parts, nital etched, ×100, *c* – structure of the iron part, nital etched, ×100. Knife no. 2: *d* – structure on the cross section, nital etched, ×5,5. The supposed points of welding indicated by pointers

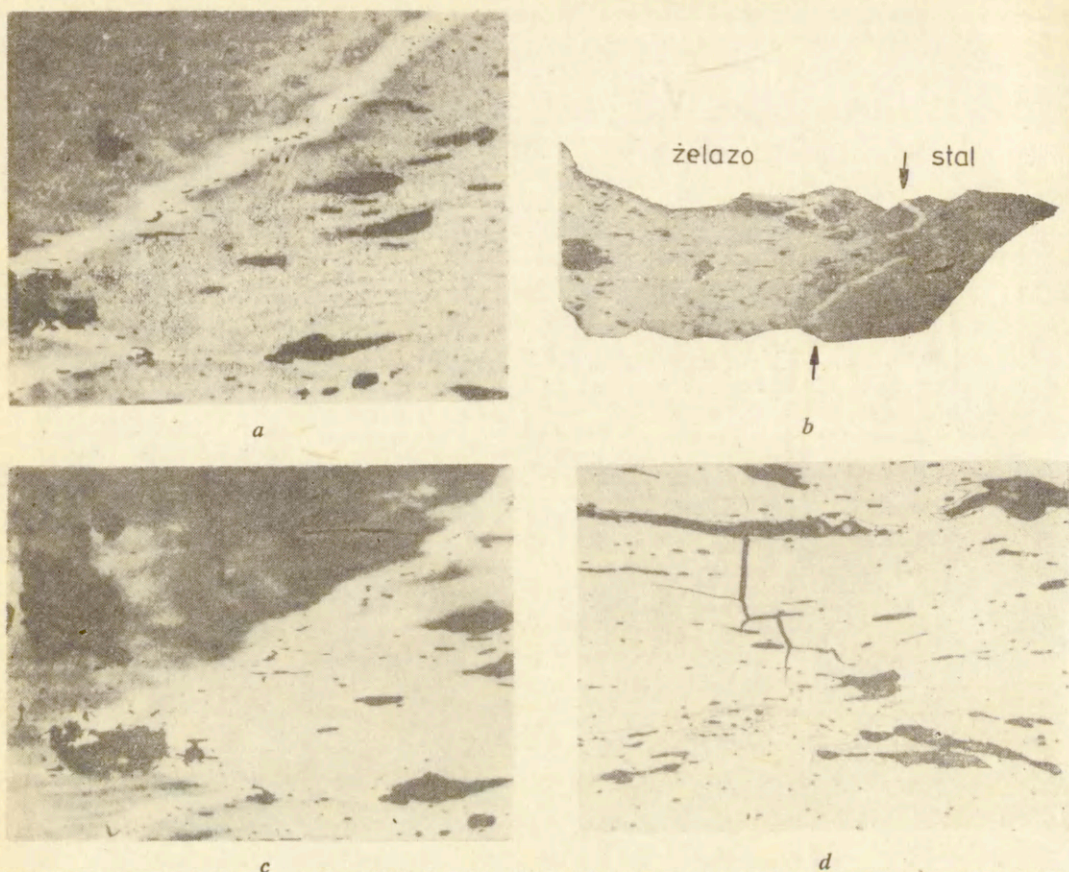


Ryc. 5. Czersk, woj. Warszawa. Nóż nr 2

*a* – rozłożenie fosforu w pobliżu krawędzi tnącej żelaza, traw. odczynnikiem Oberhoffera, pow.  $10\times$ , *b* – struktura w miejscu zgrzania części stalowej (na lewo) i części żelaznej (na prawo), traw. azotalem, pow.  $100\times$ , *c* – struktura części stalowej, traw. azotalem, pow.  $100\times$ , *d* – rozłożenie fosforu w części żelaznej, traw. odczynnikiem Oberhoffera, pow.  $100\times$

Knife no. 2:

*a* – distribution of phosphorus near the cutting edge of iron, etched by Oberhoffer reagent,  $\times 10$ , *b* – structure in the point of welding of the steel part (left) and the iron part (right), nital etched,  $\times 100$ , *c* – structure of the steel part, nital etched,  $\times 100$ , *d* – distribution of phosphorus in the iron part, etched by Oberhoffer reagent,  $\times 100$



Ryc. 6. Czersk. woj. Warszawa. Nóż nr 3

*a* – struktura w miejscu zgrzania części stalowej (na lewo) i części żelaznej (na prawo), traw. azotalem, pow. 100×, *b* – struktura w pobliżu krawędzi tnącej, traw. azotalem, pow. 20×, *c* – rozłożenie fosforu w miejscu zgrzania części stalowej (na lewo) i części żelaznej (na prawo), traw. odczynnikiem Oberhoffera, pow. 100×, *d* – struktura części żelaznej, traw. azotalem, pow. 100×

#### Knife no. 3:

*a* – structure in the point of welding of the steel part (left) and the iron part (right), nital etched, × 100, *b* – structure near the cutting edge, nital etched, × 20, *c* – distribution of phosphorus in the point of welding of the steel part (left) and the iron part (right), etched by Oberhoffer reagent, × 100, *d* – structure of the iron part, nital etched, × 100

grzbiet narzędzia, a druga – jego boczną stroną. Druga część stalowa składała się z czterech warstw stali.

Trawienie próbki odczynnikiem Oberhoffera (ryc. 3b) wykazało, że warstwy stali zawierają mniej fosforu, aniżeli warstwy żelaza, co jest zjawiskiem normalnym w dawnych wyrobach z metalu wytapianego sposobem dymarskim. Jedynie pasmo stali, znajdujące się w pobliżu krawędzi tnącej, zawiera ilość fosforu zbliżoną do zawartości tej domieszki w warstwie żelaznej.

Strukturę w miejscu zgrzewania warstw stali i żelaza przy powiększeniu 20× przedstawiono na ryc. 4a, a przy powiększeniu 100× – na ryc. 4b. W części żelaznej struktura metalu była przeważnie ferrytyczna, w niektórych jednak miejscach obserwowano śladowe nawęglenie (ok. 0,05% C) – ryc. 4c.

Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A według klasyfikacji J. Piaskow-

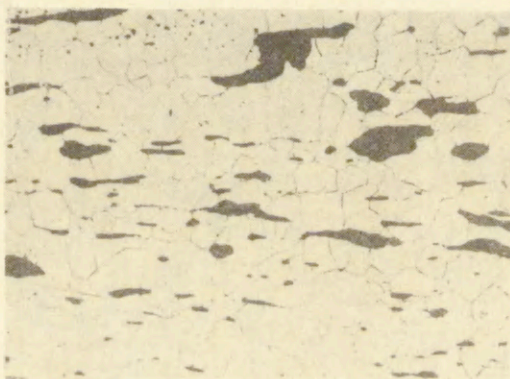




a



b



c

Ryc. 7. Czersk, woj. Warszawa. Dłuto:

a — struktura, traw. azotalem, pow. 100×, b — struktura dużego wtrącenia żużla, nietraw, pow. 500×. Grot strzały:  
c — struktura, traw. azotalem, pow. 100×

## Chisel:

a — structure, nital etched, × 100, b — structure of a large slag inclusion, unetched, × 500. Arrow-head: c — structure, nital etched, × 100

skiego<sup>2</sup>) występowały wtrącenia jasne (typ C) oraz wtrącenia dwufazowe, zawierające nieliczne zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle (typ B).

Nóż nr 2 (nr inw. 407/61) ze stanowiska nr 1 (cmentarzysko) był zgrzewany prawdopodobnie z czterech warstw (ryc. 4d). Ostrze wykute było z pręta stali o nieco niższej zawartości fosforu, przylegała do niego warstwa żelaza wysokofosforowego, a następnie warstwa żelaza lub stali o niskiej zawartości fosforu. Prawdopodobnie grzbiet noża stanowiła zwarta warstwa również z żelaza o podwyższonej zawartości fosforu.

Ułożenie warstw w pobliżu krawędzi tnącej noża nr 2 przedstawiono na fotografii, ryc. 5a. Widoczne są: ostrze ukształtowane z metalu, o niskiej zawartości fosforu, warstwa z żelaza wysokofosforowego oraz warstwa z żelaza niskofosforowego.

<sup>2</sup> J. Piaskowski, *Klasyfikacja struktury wtrąceń żużla i jej zastosowanie dla określenia pochodzenia dawnych przedmiotów żelaznych*, Kwart. HKM, t. 27: 1969, z. 2, s. 61. Także: J. Piaskowski, *Dalsze badania technologii wyrobów żelaznych na ziemiach polskich w okresie halstackim i wczesnolateńskim*, Kwart. HKM, t. 11: 1963, z. 1, s. 8.

Strukturę na złączu nakładki stalowej stanowiącej ostrze i części z żelaza wysokofosforowego przedstawia ryc. 5 b, a strukturę nakładki stalowej — ryc. 5c. Segregacja fosforu w warstwie wysokofosforowej jest widoczna na ryc. 5d, miejsca o niskiej zawartości tej domieszki zostały zaciemnione działaniem odczynnika Oberhoffera.

Wtrącenia żuźła posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A), bądź zawierały nieliczne zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle (typ B). Nóż nr 2 poddany był obróbce cieplnej.

Nóż nr 3 (nr inw. 316/61) ze stanowiska 1 (cmentarzysko) był zgrzewany z dwóch warstw: stalowej — stanowiącej ostrze, i z żelaznej — tworzącej część grzbietową narzędzia. Strukturę w miejscu zgrzania przedstawiono na ryc. 6b przy powiększeniu  $20\times$  i na ryc. 6a — przy powiększeniu  $100\times$ . Trawienie odczynnikami Oberhoffera wykazało, że w warstwie stali zawartość fosforu jest niższa aniżeli w warstwie żelaza (ryc. 6c).

W części stalowej występowała struktura martenzytyczna, a w części żelaznej — ferrytyczna (ryc. 6d).

Nóż nr 3 poddany był również obróbce cieplnej, najprawdopodobniej hartowaniu w wodzie.

Wtrącenia żuźła posiadały przeważnie jednolite czarne zabarwienie (typ A), bądź też zawierały dość liczne zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle (typ D).

Dłuto (nr inw. 209/63) ze stanowiska 1 (cmentarzysko) wykazało gruboziarnistą strukturę ferrytyczną żelaza, o wysokiej zawartości fosforu (ryc. 7a).

Obok wtrąceń żuźła o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały też wtrącenia wielofazowe, zawierające jasne wydzielenia w kształcie dendrytów na tle dwufazowym, ciemnym i ciemnopopielatym o nieregularnym kształcie (Typ D32) — ryc. 7b.

Gruboziarnistą strukturę ferrytyczną zaobserwowano również w grocie strzały (nr inw. 196/66) z grobu 277 (ar 4, ćw. A) — ryc. 7c. Dość duże wtrącenia żuźła posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A), obok nich występowały wydzielenia zawierające nieliczne (typ B) lub dość liczne (typ D1) wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle.

Wyniki ilościowej analizy chemicznej dwóch próbek żuźła żelaznego znalezionej na cmentarzysku w Czersku koło Piaseczna podano w tablicy 3.

#### 4. Opracowanie wyników

Wyniki badań metaloznawczych przedmiotów żelaznych i żuźła z cmentarzyska w Czersku koło Piaseczna pokrywają się całkowicie z podobnymi analizami wczesnośredniowiecznych materiałów żelaznych z terenu Polski. Reprezentują one typową wczesnośredniowieczną technologię słowiańską.

Wszystkie przedmioty zostały wykonane z metalu uzyskanego z wysokofosforowej rudy bągiennej i zawierały wysoką zawartość tej szkodliwej domieszki. W żelaznym dłucie zawartość fosforu sięgała aż do 0,8% P. Dłuto wykute było z żelaza i można zastanawiać się, czy istotnie — ze względu na jakość metalu — zbadany przedmiot był tym narzędziem; wczesnośredniowieczne dłuta z Tumu pod Łęczycą XII-XIII w. posiadały wkładki stalowe i dla dodatkowego utwardzenia — były poddane obróbce cieplnej<sup>3</sup>.

Wszystkie trzy zbadane noże były zgrzewane z żelaza i stali, a nóż nr 3 reprezentuje sposób zgrzewania najczęściej występujący we wczesnym średniowieczu. Sposób ten pojawił się na ziemiach Polski już w VI-VIII w. (Szeligi koło Płocka, Łazy koło Kielc, Czelaź Wielka koło Góry), występuje masowo po XI w. (Gdańsk, Lutomiernik i Buczek koło Łasku, Tum koło Łęczycy i in.)<sup>4</sup>.

Ponadto wszystkie noże były poddane obróbce cieplnej. Można przyjąć, że zbadane przedmioty żelazne z Czerska były dziełem miejscowych hutników. Analiza chemiczna próbek żuźła (tablica 3)

<sup>3</sup> J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania wczesnośredniowiecznych wyrobów żelaznych na przykładzie zabytków archeologicznych z Łęczycy, Czerchowa i Buczka*, „Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa”, t. 3: 1959, s. 7.

<sup>4</sup> J. Piaskowski, *Untersuchungen der früh-mittelalterlichen Eisen- und Stahltechnologie der Slawen in den Gebieten zwischen Weichsel und Oder*, APolona, t. 15: 1974, s. 67.

Tablica 3. Wyniki ilościowej analizy chemicznej fragmentów żużla znalezionej na cmentarzysku w Czersku koło Piaseczna

Lp.	Żużel	Lokalizacja	Ciężar g	Zawartość, %									
				Fe*	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
1	Żużel nr 1	ar 23, ćw. A gl. 320 w. IVc	293	53,3	50,3	20,2	14,91	0,97	0,94	3,14	0,06	3,24	0,07
2	Żużel nr 2	st. 1 ar 26, ćw. A w. IVc	200	47,0	51,5	10,0	25,06	0,39	2,74	2,80	0,09	2,56	0,14

\* Obliczono na podstawie zawartości FeO i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

wykazała, że wytapiali oni rudę darniową zawierającą znaczną ilość domieszki fosforu. Żużel z Czerska może być określany — zgodnie z klasyfikacją J. Piaskowskiego<sup>5</sup> — jako żużel o wysokiej zawartości fosforu, natomiast o niskiej zawartości MnO i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Można przyjąć, że hutnicy we wczesnośredniowiecznym Czersku — obok żelaza — wytapiali stal, zawierającą również podwyższoną zawartość fosforu. Była to więc stal niższej jakości, określana w późniejszych wiekach jako dul<sup>6</sup>.

Odpowiednio prowadząc wytop uzyskiwano nawęglenie niektórych części łupki, które odłamywano (np. po uprzednim zahartowaniu), a uzyskane kawałki wykorzystywano do wyrobu narzędzi. Proces równoczesnego otrzymywania żelaza i stali jest znany z późniejszych opisów lub wzmianek odnoszących się do zacofanych drobnych ośrodków hutniczych<sup>7</sup>. Najwidoczniej proces znany był wczesnośredniowiecznym hutnikom na ziemiach Polski<sup>8</sup>. Na zakończenie należy podkreślić, że zbadane noże zachowały ślady obróbki cieplnej, tzn. nie były umieszczane w żadnym stosie pogrzebowym.

*Instytut Odlewnictwa w Krakowie*  
i  
*Instytut Historii Kultury Materialnej PAN*  
w Warszawie

JERZY PIASKOWSKI, ZDZISŁAW HENSEL

METALLOGRAPHIC INVESTIGATIONS OF IRON OBJECTS AND SLAG  
FROM THE EARLY MEDIEVAL CEMETERY  
AT CZERSK NEAR PIASECZNO

Five iron objects from the early medieval cemetery at Czersk near Piaseczno have been examined. In the investigations metallographic observations with the classification of the grain size, the micro-hardness measurements of the structural components and the hardness measurements of metal by the Vickers method were employed. Quantitative and qualitative (spectrographical) chemical analyses were also carried out.

Three knives were made by welding iron and steel. Knife no. 3 represents the technology in common use in early medieval Poland. It appeared in the 6th-8th centuries and became especially popular after the 11th century.

All knives were submitted to heat treatment.

The chisel and the arrow-head were forged in iron.

The objects from Czersk were forged in iron and steel with high phosphorus content. The analysis of two samples of slag from Czersk has shown that metal of this kind was smelted by local smelters. It can thus be assumed that they produced the objects under discussion.

Generally, it is possible to state that the examined iron objects from Czersk represent a technology typical of this country in the Early Middle Ages.

<sup>5</sup> J. Piaskowski, *Klasyfikacja dawnego żużla żelaznego występującego na ziemiach Polski w świetle statystycznej analizy składu chemicznego*, Kwart. HKM, t. 14: 1966, z. 2, s. 335.

<sup>6</sup> Por. J. Piaskowski, *Dul w dawnej polskiej literaturze hutniczej i jego interpretacja*, Kwart. HKM, t. 13: z. 1, s. 55.

<sup>7</sup> J. Giroud, *Observations sur une mine de fer en sable*, „Journal de Mines”, 1796, z. 7, s. 15; A. Fullon, *O vydelke želaza v syrodutnych pečach*, Petersburg (?) 1819. Także: W. Roździeński, *Officina ferraria abo huta i warstat z kuźniami szlachtetnego dzieła żelaznego*, Kraków 1612; K. Haur, *Oekonomika ziemiańska generalna*, Kraków 1679, s. 179.

<sup>8</sup> J. Piaskowski, *O pierwotnym sposobie otrzymywania stali u średniowiecznych Słowian*, „Hutnik”, t. 31: 1964, z. 12, s. 378.