

JERZY PIASKOWSKI

METALOZNAWCZE BADANIA WYROBÓW ŻELAZNYCH Z CMENTARZYSK CIAŁOPALNYCH W BŁONIU, POW. SANDOMIERZ, I CHMIELOWIE PIASKOWYM, POW. OPATÓW

Cmentarzysko ciałopalne w Błoniu, pow. Sandomierz, którego część opracował i opublikował R. Jamka¹, należy do stanowisk kultury przeworskiej. Opublikowana część materiałów pochodzi z okresu wczesnolateńskiego. Wśród nich znajduje się m. in. szpila żelazna z brązową główką (grób nr 8); identyczną szpilę, pochodzącą z Nasławic, pow. Sandomierz, i datowaną na okres halszacki zbadano uprzednio². Wyroby żelazne, których badania opisano niżej, pochodzą z grobów, których zawartość nie została jeszcze opracowana archeologicznie; są to materiały nieco późniejsze. Do badań przeznaczono wyroby żelazne w ilości 4 sztuk (szpila, nóż, szydło i grot strzały).

Podobnie materiały z cmentarzyska ciałopalnego w Chmielowie Piaskowym, pow. Opatów, nie zostały jeszcze szczegółowo opracowane przez archeologów, jest jednak niewątpliwe, że pochodzi ono z okresu wpływów rzymskich. R. Jamka, który przeprowadził wstępne prace terenowe, podaje, że cmentarzysko to znajduje się nad rzeką Kamienną w pobliżu licznie występujących stanowisk starożytnego żuźla³. Z wyrobów żelaznych znalezionych w tym stanowisku przeznaczono do badań metaloznawczych: miecz, trzy noże, sprzączkę, siekierkę oraz grot włóczni. Zbadane materiały pochodzą ze zbiorów Muzeum Archeologicznego w Krakowie. Za udostępnienie tych materiałów autor składa podziękowanie prof. dr S. Noskowi.

Prowadzone badania miały charakter próby wrywkowej i dlatego ilość okazów przeznaczonych do badań była niewielka. Jednak ze względu na podobieństwo typu metalu i technologii ilość ta okazała się już dostateczna dla ogólnego zapoznania się z technologią wyrobów żelaznych, występujących w cmentarzyskach w Błoniu, pow. Sandomierz, i w Chmielowie Piaskowym, pow. Opatów.

Głównym jednak celem opisywanych badań było potwierdzenie identyfikacji typu metalu i technologii wyrobów produkowanych w wielkim ośrodku hutnictwa żelaznego w Górach Świętokrzyskich. Spodziewano się bowiem, że wśród wyrobów żelaznych, występujących w obu cmentarzyskach położonych blisko od tego ośrodka, wystąpią głównie wyrabiane tam przedmioty. Ten główny cel badań pomimo bardzo małej ilości zbadanych materiałów został całkowicie osiągnięty. Potwierdzenie identyfikacji typu wytapianego metalu i stosowanej technologii w wielkim ośrodku starożytnego

¹ R. Jamka, *Cmentarzysko wczesnolateńskie w Błoniu, w pow. sandomierskim*, „Przeгляд Arch.”, t. 4: 1928 nr 1, s. 224.

² J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych z okresu halszackiego pochodzących z Małopolski*, „Mat. Arch.”, t. 2: 1960, s. 197

³ Materiały te obecnie opracowuje prof. dr R. Jamka.

hutnictwa żelaznego w Górach Świętokrzyskich ma duże znaczenie dla dalszego rozwoju metaloznawczych badań dawnych wyrobów żelaznych, a równocześnie stwarza podstawy do ważnych wniosków archeologicznych o charakterze ogólnym.

Metody badań i sposób zestawienia wyników

Metody opisywanych badań wyrobów żelaznych nie różniły się od sposobów stosowanych w innych podobnych pracach autora. Obejmowały one ilościową i jakościową analizę chemiczną, obserwacje metalograficzne oraz pomiary mikrotwardości i twardości.

Ilościową analizę chemiczną przeprowadzano metodami klasycznymi zgodnie z normami obowiązującymi dla stopów żelaza. Ze względu na niewielkie ilości materiału, jakim dysponowano, oznaczono przede wszystkim w metalu zawartość fosforu, podstawowej domieszki w żelazie i stali pochodzenia dymarkowego. Brak oznaczeń innych domieszek nie jest w tym przypadku tak istotny, gdyż w przeważającej większości zbadane okazy reprezentują typ metalu i technologii dobrze znany z innych badań autora.

Dla określenia zawartości węgla w metalu oparto się na przybliżonej ocenie na podstawie obserwacji metalograficznych. Zbadane przedmioty były uprzednio konserwowane m. in. przez parafinowanie, które powoduje tak duży błąd w oznaczaniu zawartości węgla, że analiza ta staje się niecelowa.

Jakościową analizę chemiczną przeprowadzano metodą spektrograficzną przy użyciu spektrografu ISP 22 wzbudzając luk pomiędzy próbkami tego samego materiału.

Strukturę żelaza i stali określano pod mikroskopem metalograficznym przy powiększeniu 100 i 500 x; próbki trawiono 4% roztworem kwasu azotowego w alkoholu metylowym (azotal). Wraz z oceną struktury określano wielkość ziarna metalu posługując się polską normą PN-56/H-04507. Dzieli ona ziarna na klasy od 1 (największe ziarno — 16 ziarn na powierzchni 1 mm²) do 8 (najdrobniejsze ziarno — 2048 ziarn na 1 mm²).

Na zglądach metalograficznych badano mikrotwardość poszczególnych składników struktury posługując się aparatem Hanemanna i stosując przy tym nacisk 50 G. Każdy wynik jest średnim z 5 pomiarów.

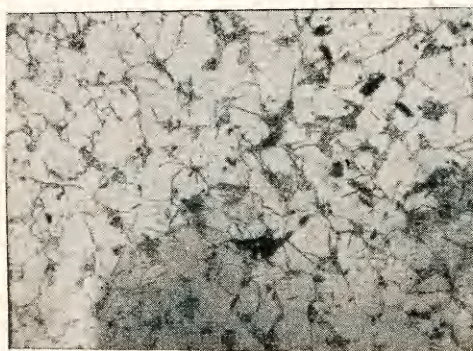
Twardość określano sposobem Vickersa (Polska Norma PN/H-04360) przy nacisku 10 kG trwającym w ciągu 15 sek.

Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicach i zestawieniach rysunkowych. Wyniki badań każdego okazu znajdują się w dwóch tablicach. Tablica pierwsza zawiera dane dotyczące pochodzenia okazu oraz wyniki ilościowej i jakościowej analizy chemicznej. Przy wynikach analizy jakościowej pominięto obecność węgla, krzemu, manganu, fosforu i siarki (a także żelaza), występujących zawsze w żelazie i stali pochodzenia dymarkowego, oraz aluminium, cynku, cyny, magnezu, miedzi, niklu, ołowiu i wapnia, których obecność stwierdzono we wszystkich badanych próbkach. W kolumnach zawierających wyniki analizy jakościowej znak „+” określa wyraźnie stwierdzoną obecność domieszki, natomiast znak „o” świadczy o obecności jedynie ostatnich (najtrwałszych) linii widma danego pierwiastka.

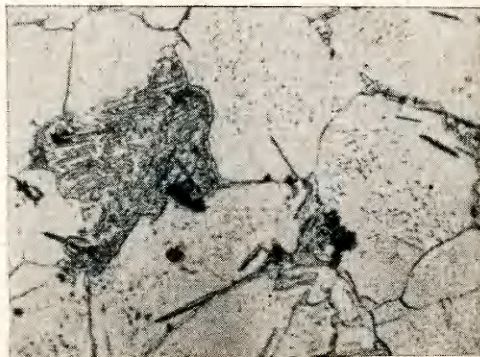
W drugiej tablicy podano wyniki obserwacji metalograficznych: zestawienie składników strukturalnych, klasę wielkości ziarna, wyniki pomiarów mikrotwardości poszczególnych składników strukturalnych oraz wyniki pomiarów twardości Vickersa.

Przedstawiając wyniki badań w zestawieniach rysunkowych oparto się na sposobie użytym przez B. A. Kolczina⁴. Na pierwszej rycinie podano wykonany w skali

⁴ B. A. Kolczin, *Czarna metalurgia i metaloobrobka w driewniej Rusi*, „Materiały i Issledowanija po Archeologii SSSR”, t. 32 : 1953, s. 73.



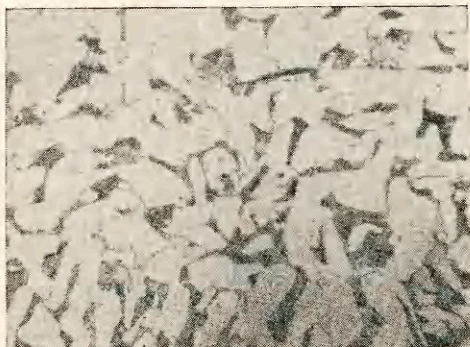
a



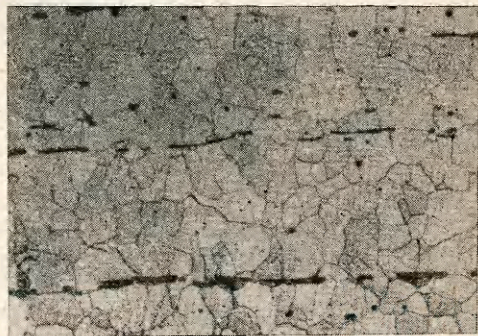
b

Ryc. 6. Błonie, pow. Sandomierz:

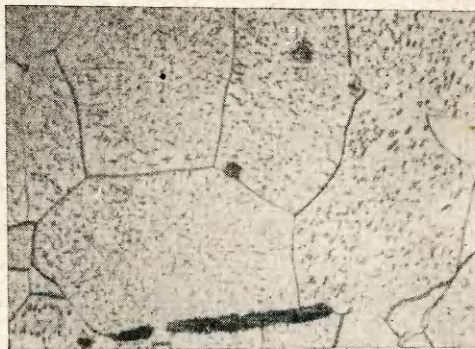
a — struktura szpili z grobu nr 1: ferryt, niewielkie ilości perlitu, wydzielienia iglastej fazy ($\gamma' - \text{Fe}_4\text{N}$?) traw. azotalem, pow. 100 x; b — struktura szpili z grobu nr ? pod większym powiększeniem: ferryt, perlit, wydzielienia fazy iglastej A ($\gamma' - \text{Fe}_4\text{N}$?) i dolnej fazy B ($\alpha'' - \text{Fe}_{16}$?), traw. azotalem, pow. 500x



a



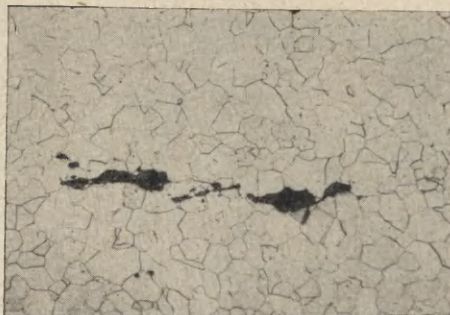
b



c

Ryc. 4. Błonie, pow. Sandomierz. Nóż z grobu nr 26:

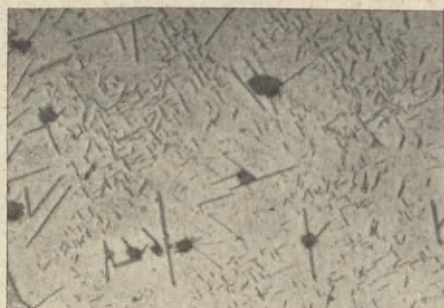
a — struktura silniej nawęglonej części noża: perlit i ferryt, traw. azotalem, pow. 100 x; b — struktura słabiej nawęglonej części noża: ferryt wydzielienia fazy ($\alpha'' - \text{Fe}_{16}\text{N}_2$?) oraz wtrącenia żużla, traw. azotalem, pow. 100 X; c — struktura słabiej nawęglonej części noża: pod większym powiększeniem: ferryt, wydzielania fazy B ($\alpha'' - \text{Fe}_{16}\text{N}_2$) i wtrącenia żużla, traw. azotalem, pow. 500x



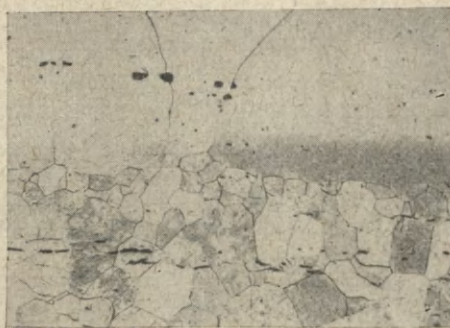
Ryc. 5. Błonie, pow. Sandomierz. Struktura szczyła z grobu nr 79/II



a



b

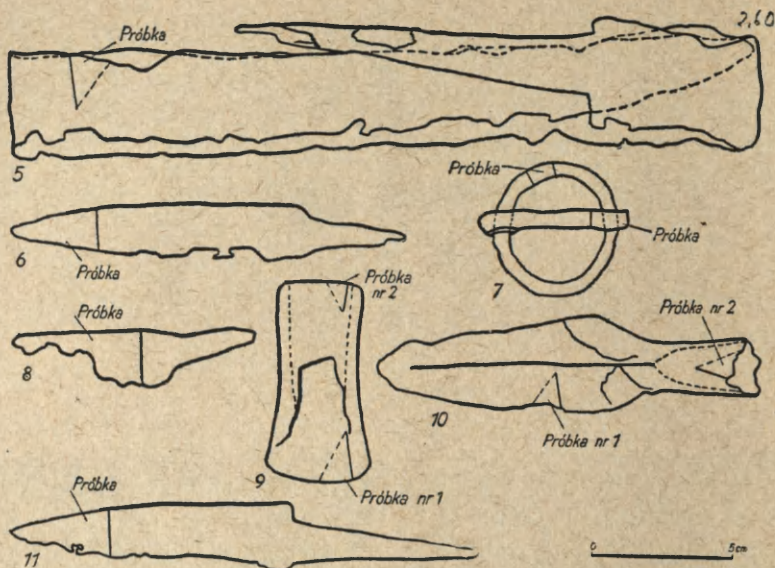


c

Ryc. 6. Błonie, pow. Sandomierz

ferryt oraz wtrącenia żużla, traw. azotalem pow. 100x

a — struktura w liściu grota strzały: ferryt, wydzielania fazy A (γ' — Fe_4N ?) i B (α'' — Fe_{16}N_2 ?) oraz wtrącenia żużla, pow. 100x; *b* — struktura w liściu grota włóczni pod większym powiększeniem: ferryt, wtrącenia faz A (γ' — Fe_4N ?) i B (α'' — Fe_{16}N_2 ?) i wydzielania żużla, traw. azotalem, pow. 500x; *c* — struktura tulei grota strzały: duże (u góry) i drobne (u dołu) ziarna ferrytu oraz drobne wtrącenia żużla, traw. azotalem, pow. 100x



Ryc. 7. Chmielów Piaskowy, pow. Opatów. Zestawienie zbadanych wyrobów żelaznych z cmentarzyska ciepłopalnego

5 — miecz; 6 — siekierka; 10 — grot włóczni; 11 — nóż nr 3

Szpila z grobu o nie określonej numeracji wykonana była z miękkiej stali, zawierającej w przybliżeniu ok. 0,15% C. W strukturze metalu, obok ferrytu i niewielkich ilości perlitu, wystąpiły wydzielenia iglastej fazy o długości dochodzącej do 0,04 mm, określonej w poprzednich pracach autora jako faza A (ryc. 3) oraz wydzielenia drobnej fazy (wielkości rzędu 0,002 mm) określonej jako faza B. Wydzielenia tej ostatniej fazy widoczne były przy powiększeniu pięćsetkrotnym (ryc. 4). Identyczne wydzielenia zaobserwowali w czystym żelazie i stali: R. G. Booker, J. Norbury i A. L. Sutton⁵; na podstawie badań rentgenograficznych autorzy ci wykazali, że faza iglasta to związek żelaza z azotem γ' — Fe_4N , a faza drobna to związek α'' — Fe_{16}N_2 .

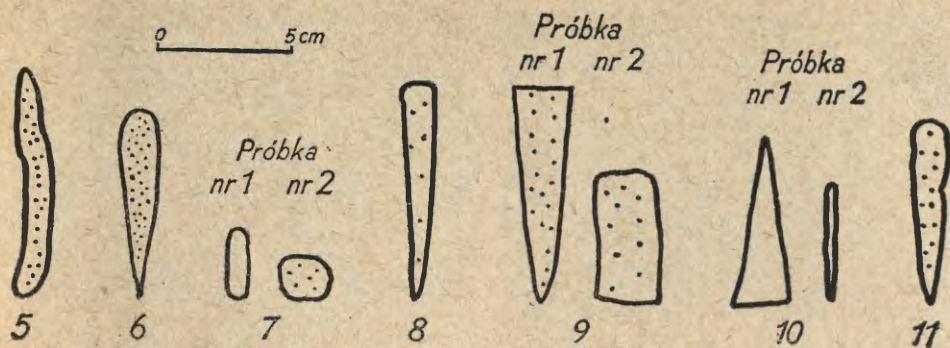
Autor niniejszej pracy nie miał możliwości przeprowadzenia podobnej identyfikacji, wydaje się jednak niewątpliwe, że iglasta faza A, zaobserwowana w szpili z Błonia, to związek γ' — Fe_4N , a faza B — związek α'' — Fe_{16}N_2 .

Podobną strukturę zaobserwowano w nożu, znalezionym w grobie nr 26. W silniej nawęglonej części metalu wystąpiła struktura ferrytyczno-perlityczna (ryc. 5), odpowiadająca miękkiej stali o zawartości ok. 0,2% C. W części słabiej nawęglonej obserwowano ferryt oraz wydzielenia fazy drobnej B (α'' — Fe_{16}N_2 ?) o wielkości około 0,001 mm — ryc. 6 i 7. Nóż wykonany był więc z miękkiej stali o dość nierównomiernym nawęgleniu i o bardzo niskiej zawartości fosforu.

Zagięte szydło (?) z grobu nr 79/II wykazało strukturę czysto ferrytyczną, o raczej drobnym ziarnie (ryc. 8). Wykonano je z żelaza o bardzo niskiej zawartości fosforu.

Badając grot strzały, znaleziony obok grobu nr 182, o interesującym kształcie, wycięto dwie próbki — z liścia i z tuleji. Próbka nr 1 wycięta z liścia wykazała dość

⁵ G. R. Booker, J. Norbury i A. L. Sutton, *Investigation of nitride precipitation in pure iron and mild steel*, „Journal of the Iron and Steel Institute”, t. 187: 1957 nr 3, s. 211.

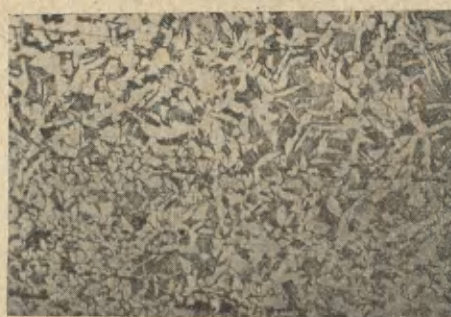


Ryc. 8. Chmielów Piaskowy, pow. Opatów. Technologia zbadanych wyrobów żelaznych z cmentarzyska ciałopalnego:

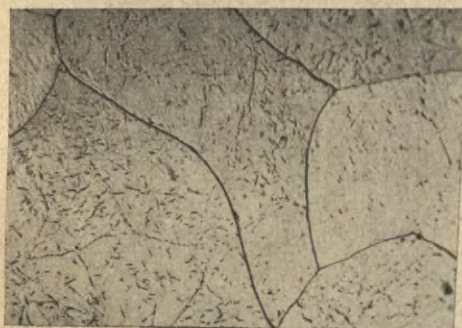
5 — miecz; 6 — nóż nr 1; 7 — sprzączka; 8 — nóż nr 2; 9 — siekierka; 10 — grot włóczni; 11 — nóż nr 3



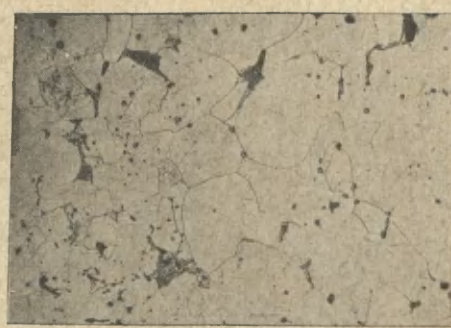
a



b



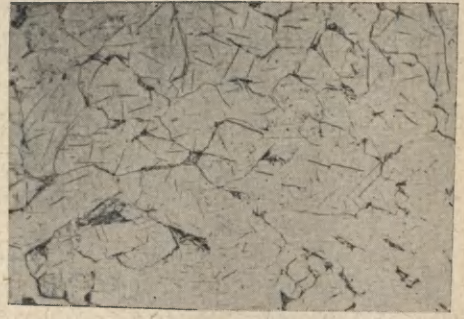
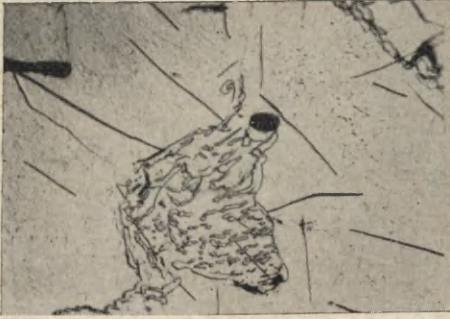
c



d

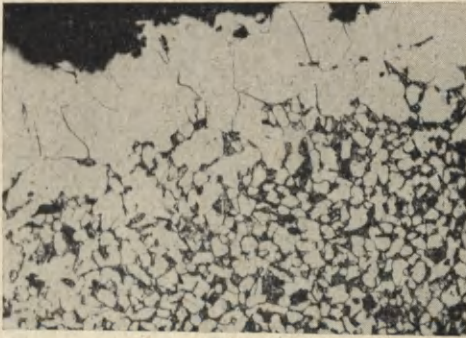
Ryc. 9. Chmielów Piaskowy, pow. Opatów:

a — struktura miecza: drobnodziarnisty ferryt i perlit oraz wtrącenia żużla, traw. azotalem, pow. 100x;
 b — struktura noża nr 1: perlit i ferryt, traw. azotalem, pow. 100x; c — struktura trzpienia sprzączki: pod większym powiększeniem: ferryt oraz wtrącenia fazy B (α'' — $Fe_{10}N_2$), traw. azotalem, pow. 500x
 d — struktura kabłąka sprzączki: ferryt i ślady perlitu, traw. azotalem, pow. 100x

*a**b*

Ryc. 10. Chmielów Piaskowy, pow. Opatów. Struktura noża nr 2:

feryt, ślady perlitu oraz faza iglasta A (γ' — Fe_4N), traw. azotalem, pow. 100x; *b* — struktura noża nr 2 pod większym powiększeniem: feryt, iglasta faza (γ' — Fe_4N), ślady fazy B (α'' — Fe_{16}N_2), traw. azotalem, pow. 100x

*a**b**c**d*

Ryc. 11. Chmielów Piaskowy, pow. Opatów:

a — struktura w pobliżu powierzchni siekiarki: perlit i feryt, odwęglona warstwa ferytyczna przy powierzchni (u góry na lewo), traw. azotalem; *b* — struktura grotu włóczni; feryt oraz wydzielenia fazy drobnej B (α'' — Fe_{16}N_2), traw. azotalem, pow. 10x 100x; *c* — struktura noża nr 3: feryt, perlit oraz wciągania żuźla, traw. azotalem, pow. 100x; *d* — struktura wtrąceń żuźla w nożu nr 3, nie traw., pow. 500x

gruboziarnistą strukturę ferrytyczną, zawierającą liczne wydzielenia faz A i B i drobne wtrącenia żużła (ryc. 9 i 10). Obok ziarn bardzo grubych występowały pasma ziarn dość drobnych.

W tulei (próbka nr 2) obserwowano podobną strukturę ferrytyczną (ryc. 11).

Grot strzały wykonano z żelaza o podwyższonej zawartości fosforu, wyższej niż poprzednio opisane przedmioty.

Wśród zbadanych okazów dwa: szpila i nóż z grobu nr 26 wykazały strukturę miękkiej stali, natomiast dwa pozostałe: szydło (?) z grobu nr 79/II oraz grot strzały — strukturę żelaza dymarkowego. Żadnych zabiegów pozwalających na utwardzenie metalu nie stwierdzono.

Trzy przedmioty: szpila, nóż i szydło reprezentują typowy, dobrze już znany metal pochodzący z wielkiego ośrodka hutniczego w rejonie Gór Świętokrzyskich. Jedynie w gocie strzały dość wysoka jest zawartość fosforu. Za tym pochodzeniem (szczególnie jeśli chodzi o trzy pierwsze okazy) przemawia zarówno obraz strukturalny metalu i jego skład chemiczny, a także struktura wtrąceń żużła. Zjawisko to jest zupełnie zrozumiałe w uwagi na niewielką odległość cmentarzyska w Błoniu od tego ośrodka produkcyjnego.

B. Wyroby żelazne z cmentarzyska w Chmielowie Piaskowym, pow. Opatów

Na ryc. 7 podano zestawienie zbadanych wyrobów żelaznych, z cmentarzyska ciałopalnego w Chmielowie Piaskowym, pow. Opatów, a na ryc. 8 — technologię tych wyrobów określoną w sposób umowny. Ponadto wyniki ilościowej i jakościowej analizy chemicznej okazów zestawiono w tabl. 3, a wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości i twardości w tabl. 4.

Miecz rytualnie zgięty odkuto ze stali półtwardej, zawierającej ok. 0,3% C; struktura metalu składała się z perlitu i ferrytu oraz drobnych wtrąceń żużła o jednorodnym czarnym zabarwieniu (ryc. 9a).

Nóż nr 1 wykonany został z podobnego metalu, zawierającego jedynie nieco więcej węgla (ok. 0,5% C). Struktura perlityczno-ferrytyczna (ryc. 9b), w pobliżu powierzchni wystąpiły zarówno wtrącenia iglaste (typ A, $\gamma' - \text{Fe}_4\text{N}$), jak i drobne wtrącenia wewnątrz ziarn (typ B, $\alpha'' - \text{Fe}_{16}\text{N}_2$).

Badając sprzączkę wycięto dwie próbki: z trzpienia i z kabląka. Próbka wycięta z trzpienia wykazała strukturę ferrytyczną z drobnymi wtrąceniami fazy B ($\alpha'' - \text{Fe}_{16}\text{N}_2$) szczególnie wyraźnie widocznymi przy większym powiększeniu (ryc. 9c). Trzpień był więc odkuty z żelaza. Próbka wycięta z kabląka wykazała strukturę bardzo miękkiej stali, składającą się z ferrytu i śladów perlitu (ryc. 9d). Zawartość węgla w metalu wynosiła ok. 0,1% C.

Nóż nr 2, o podobnym kształcie do noża nr 1, wykonany był także z bardzo miękkiej stali o zawartości ok. 0,1% C. W strukturze obok ferrytu i śladów perlitu wystąpiły duże ilości wtrąceń iglastych typu A ($\gamma' - \text{Fe}_4\text{N}$) (ryc. 10a i 10b) oraz wtrącenia żużła o jednolitym czarnym zabarwieniu.

Obie próbki wycięte z ostrza i ze skrzydełka siekierki wykazały identyczną drobnoziarnistą strukturę perlityczno-ferrytyczną stali miękkiej, zawierającej od 0,1 do 0,25% C. Przy powierzchni ostrza siekierki (ryc. 11a) obserwowano odwęglenie. Siekierkę wraz ze skrzydełkami wykonano w całości z jednego kawałka metalu. Wtrącenia żużła miały jednolite czarne zabarwienie.

Grot włóczni odkuto z żelaza; struktura próbek wyciętych z liścia i tulei była czysto ferrytyczną; w strukturze liścia wystąpiły liczne drobne wtrącenia typu B ($\alpha'' - \text{Fe}_{16}\text{N}_2$) — ryc. 11b.

Tabl. 1. Wyniki ilościowej i jakościowej analizy chemicznej wyrobów żelaznych z Błonia, pow. Sandomierz

Lp.	Nazwa przedmiotu	Nr grobu	Ciężar okazu G	Zawartość fosforu %	Analiza jakościowa*									
					As	Ba	Bi	Co	Mo	Sb	Ti	Ag		
1	Szpila (ułamek)**	?	0,6											
2	Nóż	26	14,4	0,020	o	o	o			+		+		
3	Szydło	79/II	11,6	0,051	+	o	o				+	+		o?
4	Grot strzały	obok 182	12,1	0,222	+	o							o	

* Ponadto Fe, Si, Mn, P, S oraz Al, Ca, Cu, Mg, Ni, Pb, Sn, Zn, które wystąpiły we wszystkich próbkach.

** Badań nie przeprowadzono z powodu zbyt małej ilości materiału.

Nóż nr 3 wykazał strukturę bardzo miękkiej stali zawierającej ok. 0,1% C. Struktura ferrytyczna oraz ślady perlitu (ryc. 11c). Obok wtrąceń żuźła o jednolitym czarnym zabarwieniu obserwowano wydzielenia o jasnym odcieniu posiadające czarne obrzeże (ryc. 11d).

Strukturę metalu, jaką obserwowano w zbadanych okazach z Chmielowa Piaskowego, można podzielić na trzy grupy:

Pierwsza to stal półtwarda, użyta do wyrobu noża nr 1 i miecza. Bardzo miękką stal, praktycznie niewiele różniącą się właściwościami od żelaza, zastosowano przy wyrobie kabłąka sprzączki oraz noży nr 2 i nr 3. Natomiast do wyrobu trzpienia sprzączki i grotu włóczni użyto żelazo, przy czym w metalu w obu przypadkach wystąpiły wtrącenia fazy B (α'' — Fe_{16}N_2); wskazuje to na podobne pochodzenie opisanych przedmiotów.

Przedstawione wyżej wyniki badań wskazują, że wszystkie zbadane okazy z Chmielowa Piaskowego reprezentują jeden typ technologii, a mianowicie zostały wykonane ze stali, na ogół miękkiej i zawierającej przeważnie mało fosforu. Zarówno skład chemiczny metalu (ilościowy i jakościowy są bardzo zbliżone), jak i jego struktura (wielkość ziarna) oraz struktura wtrąceń żuźlowych są bardzo podobne. Jedynie w nożu nr 3 niektóre wtrącenia żuźła wykazywały nieco jaśniejszy odcień. W obecnej chwili nie wiadomo jeszcze, czy różnica ta ma jakieś poważniejsze znaczenie. Wydaje się jednak, że nóż nr 3 z Chmielowa Piaskowego może być zaliczony do wspólnej grupy. Zbliżone są także wyniki pomiarów mikrotwardości i twardości metalu. Cechy zbadanych okazów z Chmielowa Piaskowego — podobnie jak i opisanych wyżej materiałów z Błonia — pokrywają się z cechami żelaza, wytapianego w okresie rzymskim w rejonie Gór Świętokrzyskich. W trzpieniu sprzączki i w siekierce dość wysoka była zawartość fosforu; problem pochodzenia tych okazów omówiono niżej.

Opracowanie wyników

Przeprowadzone badania wykazały, że zarówno wyroby żelazne z Błonia, jak i Chmielowa Piaskowego reprezentują ten sam typ metalu i technologii. Jest to żelazo o nierównomiernym nawęgleniu (najczęściej obserwuje się strukturę odpowiadającą miękkiej stali — 5 okazów na 11 przedmiotów zbadanych) i o na ogół niskiej zawartości fosforu. Najwyższa zawartość tej domieszki wystąpiła w grocie strzały z Błonia (0,22% P) oraz w trzpieniu sprzączki (0,26% P) i siekierce (0,27% P) z Chmielowa Piaskowego. Wtrącenia żuźlowe miały jednolite czarne zabarwienie, w jednym okazie (nóż nr 3 z Chmielowa Piaskowego) wtrącenia miały jaśniejszy odcień.

Wydzielenia fazy A (γ' — Fe_4N) wystąpiły w jednym okazie (nóż nr 2 z Chmielowa Piaskowego), a wydzielenie fazy B (α'' — Fe_{16}N_2) w trzech okazach (nóż z Błonia, trzpień sprzączki i grot włóczni z Chmielowa Piaskowego); równocześnie wydzielenia obu faz — w trzech okazach (szpila i grot strzały z Błonia, nóż nr 1 z Chmielowa Piaskowego).

Na podkreślenie zasługuje, że dwa noże z Chmielowa Piaskowego (nr 1 i 3) posiadały identyczny kształt, a równocześnie wykazały daleko sięgające podobieństwo metalu⁶.

⁶ Na badaniach przedmiotów o identycznym kształcie opiera się m. in. metoda weryfikacji cech wyrobów pochodzących z jednego ośrodka produkcyjnego (por. J. Piaskowski, *The method of determination of the characteristic and origin of ancient iron objects on the basis of metallographic investigations*, *Archaeologia Polona* (w druku), tenże, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych produkowanych przez starożytnych hutników w Górach Świętokrzyskich w okresie wpływów rzymskich*, [w:] *Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa*, t. 6, 1963, s. 19.

Tabl. 2. Wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości i twardości wyrobów żelaznych z Błonia, pow. Sandomierz

Lp.	Nazwa przedmiotu	Nr grobu	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikro- twar- dość kG/mm ²	Twardość Vickersa kG/mm ²
1	Szpila	?	feryt* perlit	6 7	184 308	} 125,1
2	Nóż	26	feryt* perlit	6 6	172 354	
3	Szydło	79/II	feryt	6	194	181
4	Grot strzały	obok 182				
	1. liść		feryt*	4	158	**
	2. tuleja		feryt feryt	2 5	303 166	**

* Ponadto wtrącenia azotków (?).

** Pomiaru nie dokonano, gdyż próbka była zbyt cienka.

Sprzączka była jedynym zbadanym przedmiotem wieloczęściowym, a mianowicie składała się z trzpienia i kółka. Obie części wykazały przynależność do tego samego typu metalu z tym, że w trzpieniu zawartość fosforu była znacznie wyższa (0,26% P) niż w kabłąku (0,08% P). Wydaje się jednak, że nie przeczy to pochodzeniu metalu z jednego ośrodka produkcyjnego⁷.

Zbadane materiały pochodziły z cmentarzysk ciepłych, stąd nie można było stwierdzić, czy przy ich wyrobie (chodzi tu głównie o miecz i noże) stosowano obróbkę cieplną.

Zbadane okazy nie wykazały stosowania procesu nawęglania oraz zgrzewania żelaza i stali.

Podobne cechy metalu i technologii wykazały prawie wszystkie zbadane przedmioty żelazne z cmentarzyska ciepłego w Jadownikach Mokrych, pow. Dąbrowa Tarnowska⁸, oraz wyroby z cmentarzysk w Starachowicach i Wąchocku, pow. Iłża, oraz Gardzieniec, pow. Lipsko⁹.

Na podstawie tych wyników opracowano cechy metalu wytapianego z niskofosfo-

⁷ Badania przedmiotów wieloczęściowych są podstawą przy opracowaniu cech wyrobów pochodzących z jednego ośrodka produkcyjnego, a równocześnie metodą weryfikacji tych cech (por. Piaskowski, *The method of determination of the characteristic...*; tenże, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych...*, s. 41).

⁸ J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania zabytków archeologicznych z Wyścizy, Igołomi, Jadownik Mokrych i Piekar*, [w:] *Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa*, t. 2, 1958, s. 32.

⁹ J. Piaskowski, *Technologia i pochodzenie wyrobów żelaznych z północnej Małopolski i Mazowsza z okresu wpływów rzymskich*, [w:] *Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa*, t. 7, 1962, s. 131.

Tabl. 3. Wyniki ilościowej i jakościowej analizy chemicznej wyrobów żelaznych z Chmielowa Piaskowego, pow. Opatów

Lp.	Nazwa przedmiotu	Nr grobu	Ciężar okazu G	Zawartość w %				Analiza jakościowa*										
				Si	Mn	P	Ni	Cu	As	Ba	Bi	Co	Mo	Sb	Ti	Ag		
62	Miecz	7/I	361,9	0,00	0,00	0,12	ślady		o	+							o	o?
63	Nóż nr 1	9/VIII	25,0	0,00	0,00	0,04	ślady		+	+							o	
64	Sprzączka 1. trzpień 2. kabiłk	19/XI	21,0	0,00	0,00	0,26 0,08	ślady	0,00	+	+							o	o?
65	Nóż nr 2	21/I	11,3	0,02	0,00	0,09	ślady		o								o	
66	Siekierka	28/VII	108,1		0,00	0,27			o	+							o	o?
67	Grot włóczni	48	75,6	0,00	0,00	0,06	ślady			+							o	o?
68	Nóż nr 3	59/IV	29,0	0,00	0,00	0,06	ślady	0,00									o	o?

* Ponadto we wszystkich próbach występowały: Al, Ca, Cu, Mg, Ni, Pb, Sn, Zn oraz podstawowe składniki i domieszki żelaza dymarkowego: Fe, Si, Mn, P, S i C.

Tabl. 4. Wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości i twardości wyrobów żelaznych z Chmielowa Piaskowego, pow. Opatów

Lp.	Nazwa przedmiotu	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikrotwardość kG/mm ²	Twardość Vickersa kG/mm ²
62	Miecz (głownia)	perlit	7	267	} 138,3
		feryt	7	191	
63	Nóż nr 1	perlit	6	295	} 78,8—
		feryt*	6	162	
64	Sprzączka 1. trzpień 2. kablak	feryt*	3	199	} 100,3
		feryt	4	175	
		perlit	7	284	
65	Nóż nr 2	feryt*	5	186	} 147,1
		perlit	8	298	
66	Siekierka 1. ostrze	feryt	5	202	} 143,5
		feryt	7	182	
		perlit	8	293	
	2. tuleja	feryt	5	179	} 130,6
		perlit	7	293	
67	grot włóczni 1. liść 2. tuleja	feryt*	3	128	} 73,3
		feryt		127	
68	Nóż nr 3	feryt	6	154	} 125,1
		perlit	7	243	

* Wtrącenia iglastej lub drobnej fazy A i B (γ' — Fe₄N lub α'' Fe₁₆N₂ ?).

rowej rudy hematytowej w rejonie Gór Świętokrzyskich w okresie wpływów rzymskich¹⁰.

Pewien problem — dotąd jeszcze nie rozwiązany — stanowią przedmioty wykonane z żelaza o podwyższonej zawartości fosforu (ponad 0,2% P), wśród których znajdują się: grot strzały z Błonia oraz siekierka i trzpień sprzączki z Chmielowa Piaskowego. Wydaje się raczej, że tego rodzaju metalu nie można było uzyskać z niskofosforowej

¹⁰ J. Piaskowski, T. Różycka, *Badania technologii wyrobów żelaznych na ziemiach Polski w okresie halsztackim i wczesnolateńskim*, „Kwart. HKM”, t. 7 : 1959 z. 3; tenże, *Wyroby żelazne hutników w rejonie Gór Świętokrzyskich w I — IV wieku*, „Przegląd Techniczny”, t. 81 : 1960 z. 1, s. 24; tenże, *Technologia żelaza w Górach Świętokrzyskich w I — IV wieku naszej ery*, „Hutnik”, t. 27 : 1960, s. 218; tenże, *Hutnictwo żelazne w Górach Świętokrzyskich w świetle badań metaloznawczych*, „ZOW”, t. 26 : 1960 z. 3, 234; tenże, *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych...*, s. 36.

rudy hematytowej, możliwe więc, że w okresie wpływów rzymskich hutnicy świętokrzyscy przetapiali także pewne, choć niewielkie, ilości powierzchniowej rudy żelaznej o wyższej zawartości związków fosforu. W przeciwnym przypadku metal ten — a najprawdopodobniej i przedmioty — byłyby innego pochodzenia.

W sprawie tej można będzie się wypowiedzieć po określeniu maksymalnej zawartości fosforu, jaką można było uzyskać z przetopu rudy hematytowej lub po natrafieniu na pozostałości starożytnego przetopu rud o podwyższonej zawartości fosforu w rejonie Gór Świętokrzyskich.

Ogólnie można stwierdzić, że duża większość — jeśli nie wszystkie — zbadanych przedmiotów żelaznych z cmentarzysk w Błoniu i w Chmielowie Piaskowym wykazują cechy starożytnego „żelaza świętokrzyskiego” i najprawdopodobniej pochodziły z tego ośrodka. Wynika z tego dalej, że ośrodek świętokrzyski był głównym dostawcą wyrobów żelaznych dla ludności kultury przeworskiej, co potwierdza się wciąż przy badaniu dalszych przedmiotów żelaznych pochodzących ze stanowisk tej kultury.

JERZY PIASKOWSKI

METALLOGRAPHICAL EXAMINATIONS OF IRON OBJECTS FROM CREMATION CEMETERIES AT BŁONIE, DISTRICT OF SANDOMIERZ, AND AT CHMIELÓW PIASKOWY, DISTRICT OF OPATÓW

The examined objects included a pin, a knife, an awl and an arrowhead from the cremation cemetery at Błonie, district of Sandomierz, in addition to a sword, a buckle, three knives, an axe, and a spearhead from the burial field at Chmielów Piaskowy, district of Opatów. The examined materials date mainly from the period of Roman influences.

The investigations involved the quantitative and qualitative chemical analysis, metallographical observations with the classification of the grain size, measurements of the microhardness and the hardness by Vickers method as well.

The pin and knife from Błonie showed soft steel structure, while the awl and arrowhead were made of bloomery iron. Considerable segregations of nitride (?) were frequently observed in metal. No hardening operations have been traced.

The spearhead and the tang of the buckle from Chmielów Piaskowy also showed the ferrite structure of bloomery iron with nitride (?) inclusions. The buckle bow and knives nos. 2 and 3 showed the structure of soft steel, while the sword and knife no. 1 on the other hand — that of semihard steel.

As the examinations have shown, probably all (or almost all) objects were derived from the big ancient centre of iron metallurgy situated not far off, in the Świętokrzyskie Mountains.

The performed investigations have also confirmed the results presented in another paper, concerning the identification of smelted metal and of technology applied in the metallurgical centre of the Świętokrzyskie Mountains.

Similar results have been also obtained from the analysis of metal objects revealed on the cremation cemetery of the Przeworsk culture at Jadowniki Mokre, district of Dąbrowa Tarnowska. From this the conclusion may be drawn that the people of the Przeworsk culture almost exclusively used metal objects produced in the metallurgical centre in the Świętokrzyskie Mountains.