

BEATA MIAZGA

ROZWÓJ TECHNOLOGII WYTWARZANIA NOŻY W ŚREDNIOWIECZNYM WROCŁAWIU W ŚWIETLE BADAŃ METALOGRAFICZNYCH

THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF KNIFES PRODUCTION IN MEDIEVAL WROCŁAW BASED ON METALLOGRAPHIC INVESTIGATIONS

The metallographic examinations of the medieval knives from Wrocław were very useful in the determination of the technology of their production. The analysed knives come from several archaeological sites: early Middle Age (the Cathedral Island) and late medieval (the New Market Square). Investigation of the microhardness and microscopic observations of the items distinguished the various technologies of the knife's manufacture. However, various properties of the knives do not correspond with their chronology, what was confirmed by the production of both soft and hard-blade knives at the same time.

KEY WORDS: knife, Middle Age, technology, microhardness, microscopic observations

WPROWADZENIE

Poznanie świata minionego i jego poziomu cywilizacyjnego narzuca dzisiejszej archeologii realizację projektów naukowych, związanych nie tylko z poznaniem pochodzenia i przeznaczenia danego przedmiotu, ale także technologią jego wytwarzania oraz strukturą materiałową (Barrena i in. 2008). Skład chemiczny oraz mikrostruktura kształtują właściwości przedmiotu. Ponadto niektóre własności materiałowe surowca podlegają modyfikacji już po wytworzeniu danego przedmiotu w trakcie jego dalszej obróbki technologicznej (kucie, hartowanie), dalej na skutek zmian podczas użytkowania czy wobec zachodzenia pewnych wy-

darzeń (np. pożar), depozycji (starzenie się materiału), a także po eksploracji zabytku (niewłaściwa konserwacja)⁸. Ważne w badaniach archeologicznych średniowiecznych zabytków metalowych jest poznanie budowy fizykochemicznej żelaza i stali oraz podstaw technik kowalskich, zwłaszcza z uwagi na powszechność stosowania tego surowca do produkcji narzędzi. Żelazo i stal średniowieczna powstawały w procesach wytopu rudy żelaza, która

⁸ O takich zmianach właściwości materiału, charakterystycznych dla zabytków archeologicznych, pisali w swoich pracach Róžański (1958) oraz Jimenez i in. (2004).

odbywała się w piecach dymarskich (Rauhut 1957). Taki wstępnie uzyskany materiał poddawano szeregom przemian, skutkujących uzyskaniem określonego surowca. Jedną z ważniejszych cech takiego surowca była zawartość węgla, bowiem dodatek węgla do żelaza determinuje jego podstawowe właściwości, jak kowalność, twardość, kruchość czy udarność. Ponadto wiele właściwości stali zależy także od obróbki termicznej materiału, która może być prowadzona na drodze np. hartowania. Powstają w ten sposób struktury krystaliczne żelaza i węgla, od miękkiego ferrytu, aż do twardego martenzytu. Obecność i udział poszczególnych struktur krystalicznych w układzie żelazo-węgiel w badanym materiale decyduje o ostatecznych właściwościach materiału. Rozpoznanie tych struktur jest możliwe przez obserwację mikroskopową (zwłaszcza skaningowym mikroskopem elektronowym) próbek zabytkowych przedmiotów żelaznych (Ehrenreich i in. 2005; Fulford i in. 2005). Żelazo dymarskie produkowane w wiekach średnich zawiera różną ilość węgla i dlatego jego właściwości mechaniczne (w tym twardość) różnią się także. Badacze zajmujący się analizą produktów średniowiecznego kowalstwa (Tylecote 1981; Piaskowski 1958; Holtmann 1993) analizowali także wstawki stalowe do noży, które znacząco podnoszą twardość. Z tego powodu badania twardości są istotnym elementem poznania warsztatu średniowiecznych kowali (Pense 2000; Eliyahu 2011; Hošek 2006). Studia te są istotne i mogą być traktowane jako cenne źródło informacji o strukturze wewnętrznej, wspierając i uzupełniając wiedzę o surowcu, uzyskaną

poprzez analizę mikroskopową (Williams 1978). Celem niniejszego projektu² było przebadanie jak największej ilości noży stalowych i żelaznych oraz próba analizy danych pod kątem istnienia korelacji między surowcem, jego strukturą wewnętrzną i czasem ich powstania dla średniowiecznych zabytków (datowanych na IX/X w. – XV w.). Badania prowadzone były na zabytkach, pozyskanych z kilku stanowisk archeologicznych we Wrocławiu. Był to Wrocław-Ołbin, Wrocław-Ostrów Tumski, Wrocław-Rynek 6/Kiełbaśnicza 5, Wrocław-ul. Uniwersytecka, ul. Kotlarska, ul. Szewska, Wrocław-plac Nowy Targ. Wymienione powyżej stanowiska archeologiczne badane były w różnym czasie (od lat 70. XX w. do roku 2012). Z badań archeologicznych pozyskano bardzo różnorodny materiał badawczy, ale do projektu wybrano nóż, jako najbardziej typowe narzędzie występujące powszechnie w domach i warsztatach średniowiecznych rzemieślników (np. szewców, złotników). To przedmiot bardzo licznie odnajdowany w trakcie prowadzenia prac archeologicznych, o różnym stopniu zniszczenia (od szczątkowo ocalałych fragmentów, do zabytków w bardzo dobrym stanie, z zachowanym rdzeniem metalicznym). Opierając się na wynikach badań archeometrycznych, można spróbować lepiej poznać warsztat średniowiecznych wrocławskich wytwórców noży (kowali, nożowników), jak i użytkowników owych przedmiotów. Skutkuje to lepszym poznaniem statusu ekonomicznego średniowiecznych Wrocławian oraz określeniem poziomu technicznego rzemieślników na przestrzeni kilku wieków.

METODYKA BADAŃ

Badania noży obejmowały kilka etapów. Pierwszy etap to wybór zabytków posiadających rdzeń metaliczny. To ważne kryterium reprezentatywności próbki w kontekście badań mikro-twardości i poznania struktury surowca (dla fazy metalicznej). Z wybranych noży pobrano małe wycinki³, które zainkludowano w żywicy syntetycznej (EpoxyKit, Struers), a następnie poddano obróbce szlifiersko-polarskiej (szlifierka Struers LaboPol-5 z głowicą LaboForce-3). Szlifowanie i polerowanie wykonano w czterech etapach, stosując materiały glino-krzemianowe i tekstylne o odpowiedniej ziarnistości (Struers: MD-Piano, MD-Largo, MD-Dac, MD-Nap) oraz płyny dia-

mentowe (Struers Diamond Suspension 9-1 μm). Dalej wyznaczono mikro-twardość, stosując twar-

² Finansowanego ze środków na *badania naukowe lub prace rozwojowe doktoranta lub młodego naukowca* w Uniwersytecie Wrocławskim (nr 2073/M/IAR/12).

³ Rozmiar wycinków był różny, ale nie przekraczał 3-4 mm na ostrzu/tylcu noża. Dla zabytków uszkodzonych częstą praktyką było pobranie jednego wycina przez całą szerokość głowni. Przy wyborze miejsca do próbkowania kierowano się zasadami dobrej reprezentatywności oraz niewielkiej widoczności na głowni (żeby nie obniżyć wartości ekspozycyjnej zabytku).

dościomierz Zwick/Roell ZHV 10 oraz węglownik Vickersa (HV), obciążenie 500 g i czas działania obciążenia 15 sekund⁴. Trzecim etapem badań była obserwacja mikroskopowa w stanie nietrawionym oraz po trawieniu nitałem (4% roztwór kwasu azotowego (V) w etanolu). Badania mikroskopowe wykonano na mikroskopie metalograficznym Nikon Eclipse LV1000 (wyposażonym w system rejestracji i wizualizacji obrazów – Lucia General 5.10). Czas trawienia próbek był różny i mieścił się w zakresie 5-30 sekund. Dodatkowo zlecono także badania mikroskopowe dla wybranych sześciu próbek w niezależnym laboratorium

w zespole profesora Włodzimierza Dudzińskiego (Politechnika Wrocławska, I-19). Badania mikroskopowe przeprowadzono za pomocą mikroskopu optycznego Neophot 32. Po wypolerowaniu próbki badano w stanie nietrawionym i po wytrawieniu 5% HNO₃. Natomiast badania mikroskopowe wykonano za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego JSM – 6610A i JEOL-5800 LV z dwoma detektorami (SE i BSE), a mikroanalizę wtrąceń niemetalicznych przeprowadzono za pomocą mikroanalizatora rentgenowskiego firmy OXFORD ISIS 300 sprzężonego z mikroskopem skaningowym JEOL – 5800 LV⁵.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Analizy noży z wrocławskiego Ostrowa Tumskiego przeprowadzono dla 16 próbek. Datowanie tych próbek sięga od 2. połowy X wieku do wieku XIII. Jest to zatem najstarsze stanowisko z badanych w tym projekcie. Dlatego nasuwa się pytanie, czy noże datowane na wiek X charakteryzują się czymś szczególnym? W badaniach mikrotwardości dla najstarszych próbek noży (X/XI w.) zauważono raczej niską wartość twardości, wynoszącą około 120-200 HV (tabela 1). Jedynym wyjątkiem jest nóż, oznaczony numerem 114l/77, dla którego wyznaczona twardość w obszarze ostrza wynosiła średnio 491 HV, podczas gdy twardość obszaru tylca przekroczyła nieznacznie wartość 200 HV. Różnica twardości obu obszarów jest zatem prawie 2,5-krotna, a odmienne surowce użyte do wytworzenia tego noża można zauważyć także makroskopowo (ostrze z widoczną linią, rozdzielającą obszary o różnym odcieniu szarości). Dla pozostałych noży wczesnośredniowiecznych nie zaobserwowano znacznych rozbieżności w twardości dla części tnącej i tylca noży. Wyznaczone twardości ostrzy mieściły się w zakresie raczej niskich wartości: 109-224 HV, podczas gdy części nietnące miały wyznaczoną twardość w przedziale 105-242 HV. To podobne zakresy liczbowe, które wskazują na niespecjalne zabiegi związane z wytwarzaniem wczesnośredniowiecznych noży (może to wskazywać raczej na lekkie nawęglanie części tnącej pod-

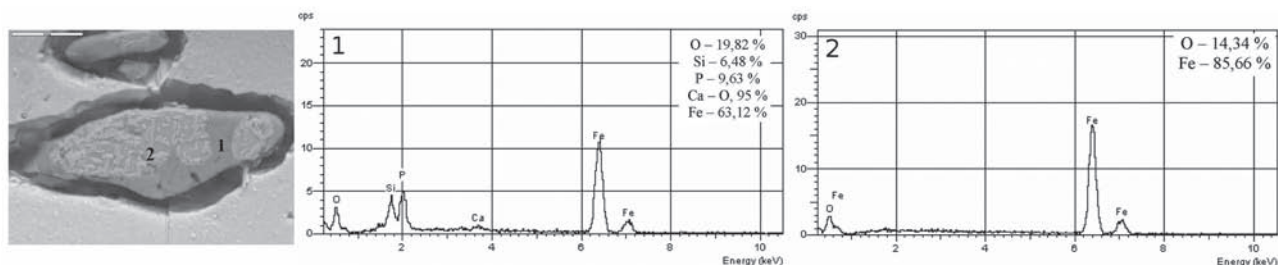
czas formowania noża, aniżeli inne działania mechaniczno-termiczne). Analiza noży późniejszych (z XII i XIII w.) pozwoliła na dokonanie obserwacji o istnieniu noży o miękkim, jak i o twardym ostrzu. Odnotowano cztery twardsze noże, charakteryzujące się znaczną różnicą w twardości obszaru tylca i ostrza. Uzyskane wyniki wskazują wysokie wartości twardości w części ostrza (sięgające nawet do prawie 700 HV) oraz wielokrotnie miększe tylce (ok. 200 HV). Różnice wynoszące od 2- do 3-krotności rzadko udaje się stwierdzić na podstawie obserwacji makroskopowych przedmiotów (np. dla noży o numerach 86/74, 21a/74, 74f/77 nie widać specjalnej różnicy w kolorze głowni noża⁶). Jedynie dla próbki noża oznaczonej numerem 106e/73 zauważalne jest użycie różnych surowców: stalowej nakładki⁷. Istnienie znacznych różnic twardości nie jest jednak obowiązującą regułą dla noży późniejszych, spośród przebadanych noży z XIII wieku znajdują się i takie egzemplarze (3 noże wykazują średnią twardość ostrza od około 150 do 200 HV), w których twardość w ostrzu jest nieznacznie

⁴ Taką metodykę prowadzenia badań proponują: Pen-
se 2000; Lv G. Ch. i in. 2011; Jimenez i in. 2004 i Scott
1991.

⁵ Niepublikowany maszynopis analizy metalograficznej, przeprowadzonej na Politechnice Wrocławskiej Instytucie Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej (nr 63/2012)

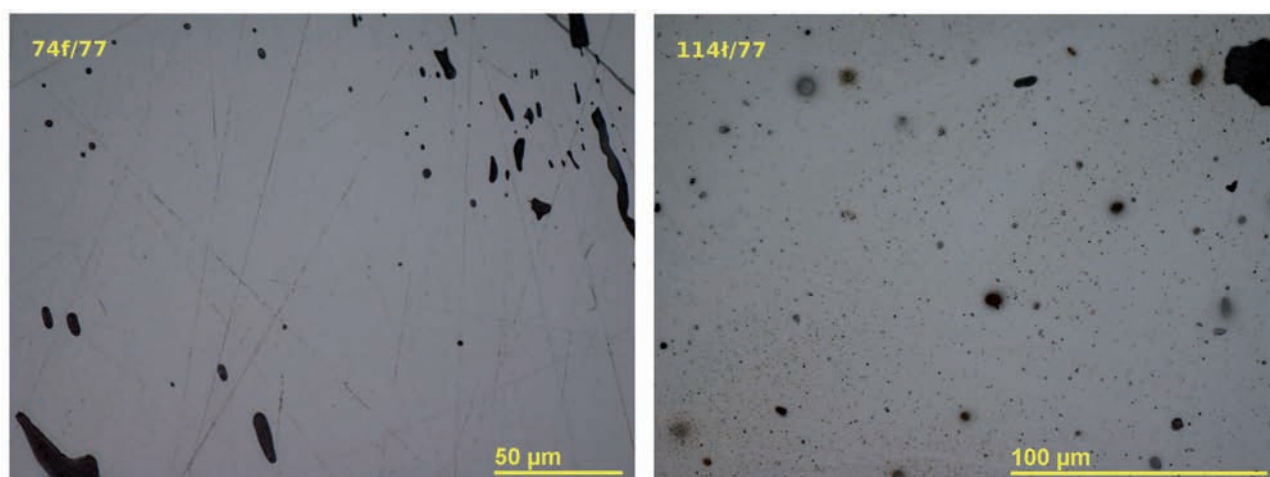
⁶ Różnica w barwie stali i żelaza jest często zauważalna makroskopowo: stal ma barwę ciemnoszarą, a prawie czyste żelazo jest jasnoszare.

⁷ Nakładki stalowe w nożach żelaznych było stosowane we wczesnym średniowieczu (Piaskowski 1958, 10; Tylecote 1981, 46).



Ryc. 1. Ostrów Tumski – nóż 120c/78: zdjęcie mikroskopowe wtrącenia niemetalicznego z zaznaczonymi miejscami do mikroanalizy składu chemicznego (mikroskopia skaningowa, BSE) oraz widma energetyczne promieniowania rentgenowskiego z wybranych miejsc

Fig. 1. The knife from the Cathedral Island (no. 120c/78): the microscopic image (scanning electron microscopy, BSE), EDS spectra and chemical composition of the non-metallic inclusion in the marked areas



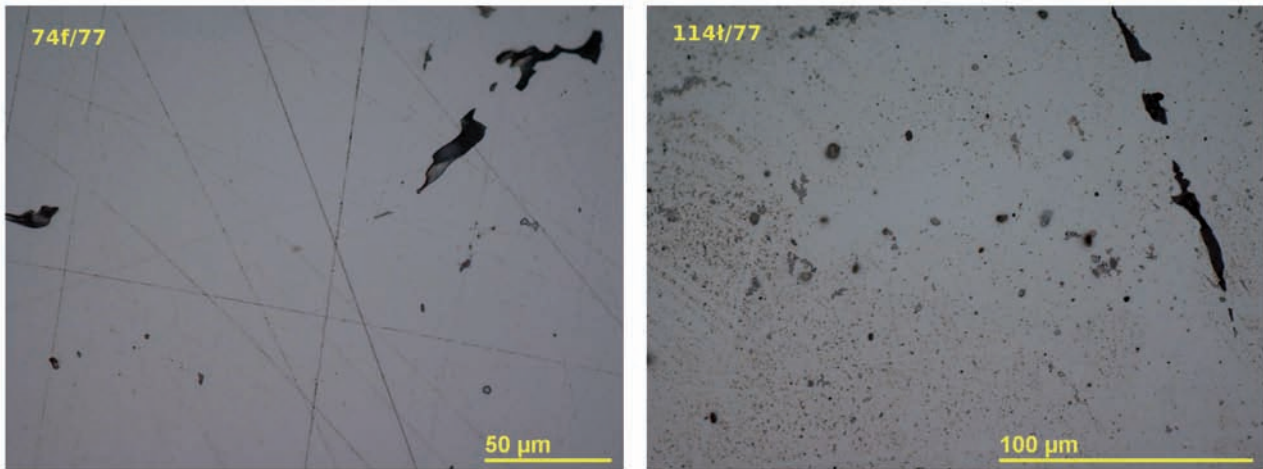
Ryc. 2. Ostrów Tumski – obraz mikroskopowy wtrąceń niemetalicznych w rejonie tylca noża (500x)

Fig. 2. The knives from the Cathedral Island: the microscopic images of non-metallic inclusions in the back (500x magnification)

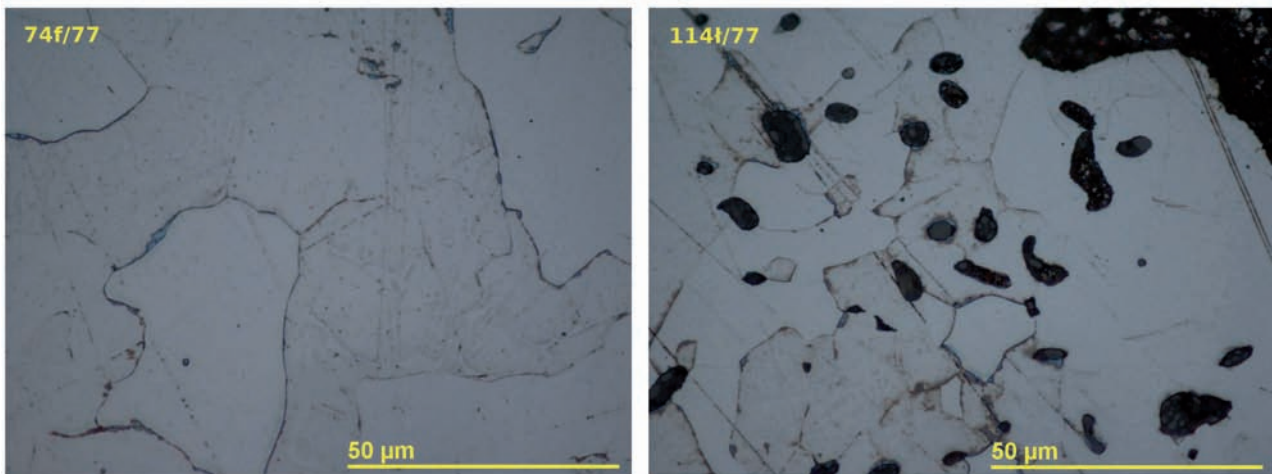
wyższa od tylca. Jeśli chodzi o rozkład mikrotwardości w całym przekroju tych noży, to nie jest on szczególnie wyraźny, zwykle jednak część tnąca ma twardość wyższą. To wskazuje, że takie noże wykonano raczej z jednego kawałka materiału (żelaza lub stali). Czasem zauważa się także, że twardość tuż przy samym końcu ostrza jest z reguły niższa, co jest spowodowane większym zużyciem noża lub bardzo słabym stopniem zachowania.

Podobnych danych o surowcu do wyrobu noży znalezionych na Ostrowie Tumskim dostarczają obserwacje mikroskopowe. W stanie nietrawionym zaobserwować można w próbkach noży występowanie wtrąceń niemetalicznych. Są to zwykle związki krzemianowe, tlenkowe, siarczkowe, po procesach wytopu żelaza i określane jako pozostałości żużli, co także potwierdziła analiza mikrosonda rentgenowską (ryc. 1). Obserwacja ilości, rozmieszczenia, kształtu i rozmiaru tych inkluzji pozwala

zauważyć, że więcej wtrąceń niemetalicznych zawierają obszary tylca noża. Analizując obrazy mikroskopowe, można spostrzec prawidłowość co do rozmiaru i kształtu tych wtrąceń: często są one duże o nieregularnym kształcie, ale bywają także małe – koliste (ryc. 2). Natomiast analiza rejonów ostrza noży pozwoliła zauważyć znacznie mniejszą ilość wtrąceń, ich wydłużony kształt (ryc. 3). Taki kształt zanieczyszczeń niemetalicznych to skutek wykonania celowych zabiegów kowalskich w części tnącej (Scott 1991, 7), w tym formowanie kształtu noża przez rozklepywanie sztabki półproduktu na cienką krawędź tnącą. Po trawieniu próbek roztworem nitalu, można dokładniej przeanalizować strukturę krystaliczną noży w obu interesujących obszarach. W obszarze tylca w badanych okazach z Ostrowa Tumskiego stwierdzono występowanie struktur ferrytu (ryc. 4) z typowymi wtrąceniami żużłowymi (czasem dość licznymi – nóż 114f/77). Ponad-



Ryc. 3. Ostrów Tumski – obraz mikroskopowy wtrąceń niemetalicznych w rejonie ostrza noża (500x)
 Fig. 3. The knives from the Cathedral Island: the microscopic images of non-metallic inclusions in the cutting-edge (500x magnification)



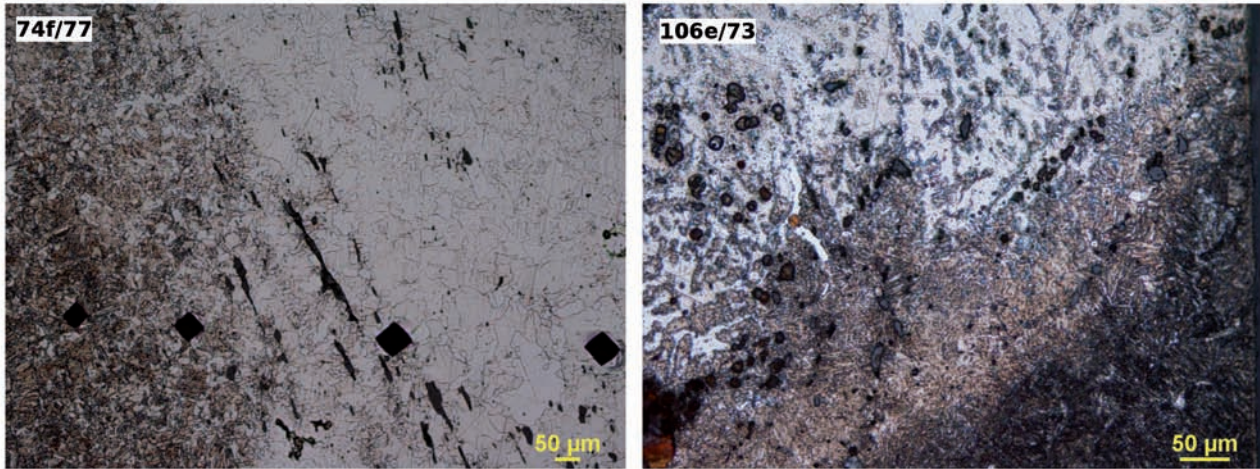
Ryc. 4. Ostrów Tumski – obraz mikroskopowy rejonu tylca noży (trawienie 4% nital, 1000x)
 Fig. 4. The knives from the Cathedral Island: The microscopic image of non-metallic inclusions in the back (after etching in 4% nital, 500x magnification)

to często przesuwając się od tylca noża w stronę ostrza zauważone zostają także inne, twardsze struktury. Na rycinie 5 widoczne są struktury przejściowe, jakie zauważono w próbkach o numerach 74f/77 i 106e/73 (hartowanie lokalne). Widoczne są na niej nie tylko miękkie regiony ferrytyczne (nienawęglone), ale także twardsze, bardziej nawęglone i hartowane obszary o strukturach bainitu lub martenzytu czy ślady po łączeniu części stalowych i żelaznych⁸. Natomiast analiza obrazu mikro-

powego dla rejonu ostrza pozwoliła stwierdzić, że za dużą twardość kilku badanych próbek odpowiada drobnoziarnista struktura martenzytyczna, widoczna na rycinie 6. Jest ona zauważona dla próbek o numerach 106e/73, 114f/77 i 74f/77, czyli tych noży o najwyższej twardości (zakres 468-666 HV) i świadczy o przemysłanych zabiegach technologicznych (nakładki stalowe ze śladami szwów w miejscu łączenia: nr 106e/73 lub miejscowe hartowanie – nr 74f/77). Bardzo twarde struktury martenzytyczne nie są jedynymi stwierdzanymi w obszarze krawędzi tnącej. Badanie mikro-

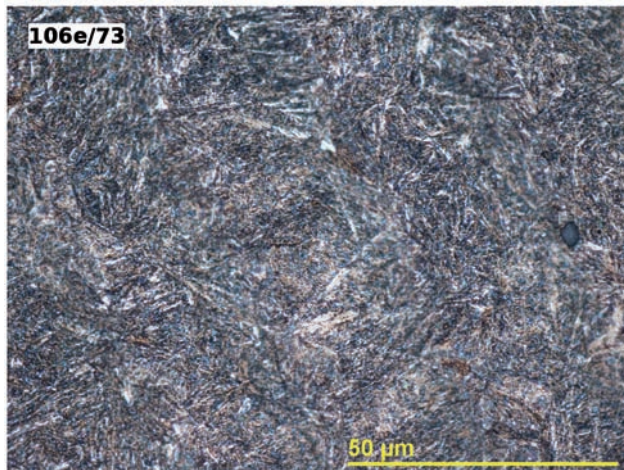
⁸ Podobne informacje o różnych materiałach używanych do wytworzenia noża wczesnośredniowiecznego przedstawił Michalak i zespół (2012). Badany nóż z Nowińca (stan. 2) wykazał istnienie miękkich struktur ferrytycznych w rdzeniu noża, licznych wtrąceń niemeta-

licznych oraz stalowych nakładek w ostrzu, wykonanych z miękkiej stali (także widocznych na podstawie układu wtrąceń niemetalicznych).



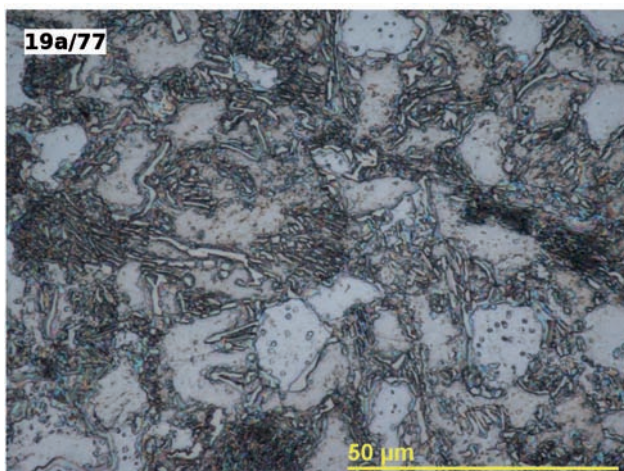
Ryc. 5. Ostrów Tumski – struktura przejściowa od warstwy ferrytu (miękkiej) do twardszych warstw (bainit, martenzyt). W próbce 74f/77 widoczne dodatkowo zmniejszenie odcisków po badaniu mikrotwardości, występujące wraz ze zwiększaniem się twardości. Nóż nr 106e/73 zawiera wtrącenia żużli na szwie łączącym część żelazną i stalową (trawienie 4% nital)

Fig. 5. The knives from the Cathedral Island: the transition area from ferrite (soft structure) to harder layers (bainite, martensite). For the knife sample no. 74f/77 is visible reducing the size of Vickers imprints, connected with the hardness increase. The knife sample number 106e/73 includes the slag on the weld connection between iron and steel parts (after etching in 4% nital)



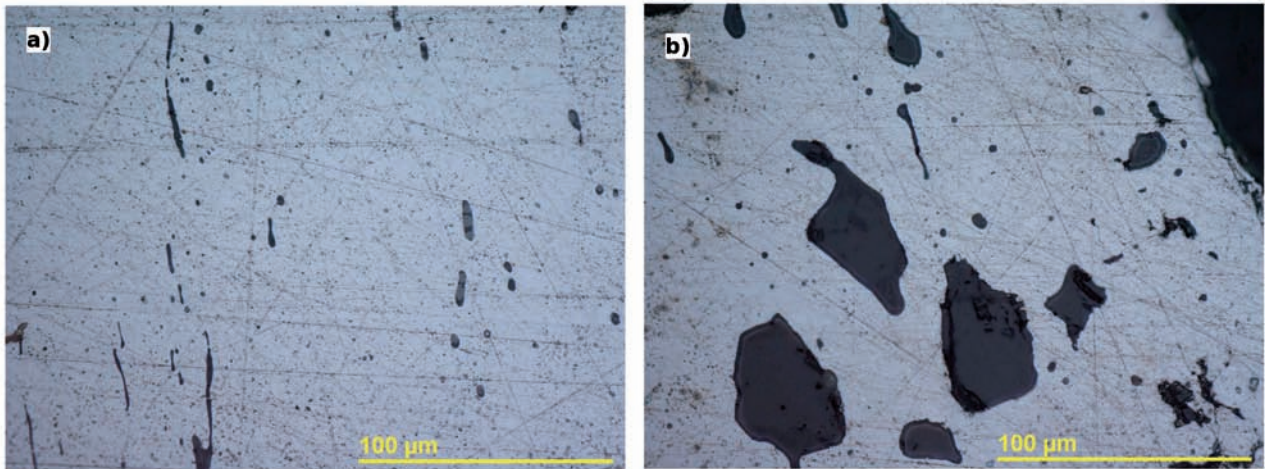
Ryc. 6. Struktura martenzytu z wydzieleniami bainitu obecna w ostrzu noża z Ostrowa Tumskiego (4% nital, 1000x)

Fig. 6. Martensite with bainite structures present in the cutting-edge of the knife from the Cathedral Island (after etching in 4% nital)



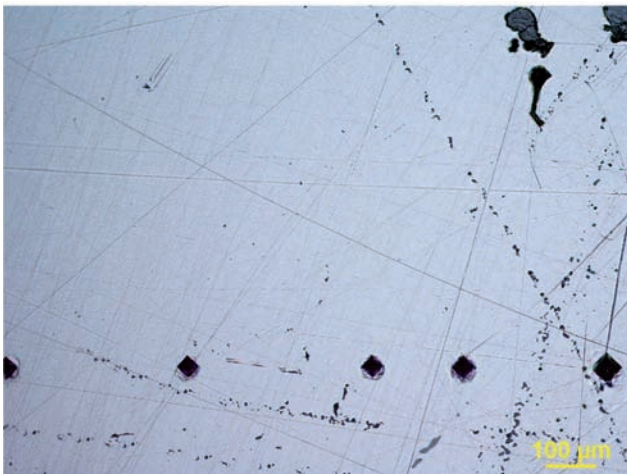
Ryc. 7. Struktura ferrytyczno-perlityczna w rejonie ostrza i tylca noża z Ostrowa Tumskiego (4% nital, 1000x)

Fig. 7. The ferrite and perlite in the cutting-edge and back of the knife from the Cathedral Island (after etching in 4% nital)



Ryc. 8. Obraz mikroskopowy wtrąceń niemetalicznych w rejonie ostrza (a) i tyłka (b) noża oznaczonego jako E ze stanowiska Ołbin (stan nietrawiony, 500x)

Fig. 8. The microscopic image of non-metallic inclusions in the cutting-edge (a) and the back (b) of the knife, described as E from the Ołbin (the Benedictine monastery) before etching (500x magnification)



Ryc. 9. Obraz mikroskopowy wtrąceń niemetalicznych dla noża H (Ołbin), z widocznymi liniowo układającymi się inkluzjami (stan nietrawiony, 500x)

Fig. 9. The microscopic image of linearly arranged non-metallic inclusions in the knife, described as H from the Ołbin (the Benedictine monastery) before etching (500x magnification)

we znacznie miększego noża (nr 19a/77, 120c/78, 72/08) pozwoliło zaobserwować inną strukturę, co przedstawia rycina 7. Prezentowany obraz mikroskopowy pokazuje, że nóż charakteryzuje struktura ferrytyczno-perlityczna z miejscowo widoczną strukturą widmową (tzw. ghost)⁹, znacznie mniej nawęglona i bardziej miękka niż martenzyt.

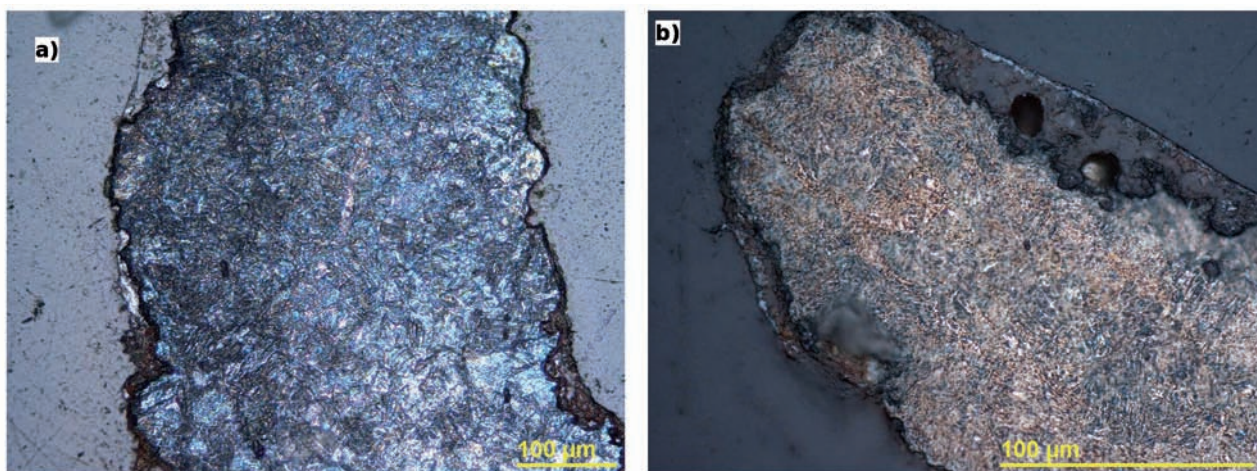
Wniosek, jaki się nasuwa po analizie danych mikrotwardości i obserwacji mikroskopowych dla 16 noży z Ostrowa Tumskiego, jest taki, że różnorodność funkcji, przeznaczenie noża i być może cena odgrywają większą rolę przy wyborze surowca i technik kowalskich, aniżeli czas, określający

powstanie przedmiotu. Dodatkową zmienną może być także poziom umiejętności rzemieślnika. Wśród przebadanych egzemplarzy odnajduje się różne techniki ich wytwarzania, od stosowania kucia i powierzchniowego nawęglania rejonu ostrza (nr 74f/77), po stosowanie nakładki stalowej (ząbkowanej w nożu 114l/77, 106e/73).

Badania dwunastu próbek¹⁰ ze stanowiska Wrocław-Ołbin dostarczyło ciekawego wniosku o dość wysokiej mikrotwardości próbek noży. Badane zabytki pochodziły z różnych warstw i obiektów stanowiska, datowanie znalezisk wskazuje na wieki XI i XII. Wśród tych noży odnotowano tylko

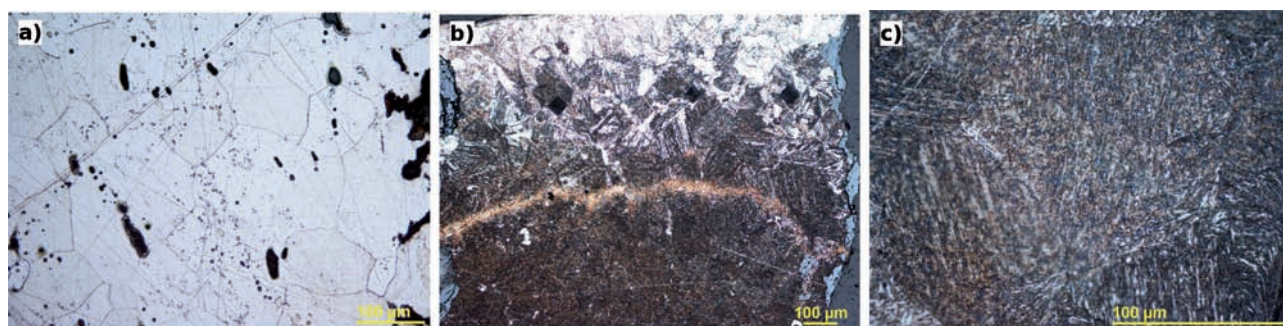
⁹ Struktura widmowa (tzw. ghost), widoczna miejscowo, jest konsekwencją podwyższonej zawartości fosforu w metalu (Michalak i in. 2012, 133).

¹⁰ Taka reprezentacja została wytypowana w oparciu o analizę zabytków wykonaną przez zespół badający wrocławski Ołbin (Piekalski 1991).



Ryc. 10. Obraz mikroskopowy noża oznaczonego A (Ołbin), ze strukturą martenzytyczno-bainitową w rejonie tylca (a) i w rejonie ostrza (b) (4% nital)

Fig. 10. The microscopic image of the knife described as A from the Ołbin (the Benedictine monastery): the martensite and bainite structures in the back (a) and in the cutting-edge (b) after etching (4% nital)



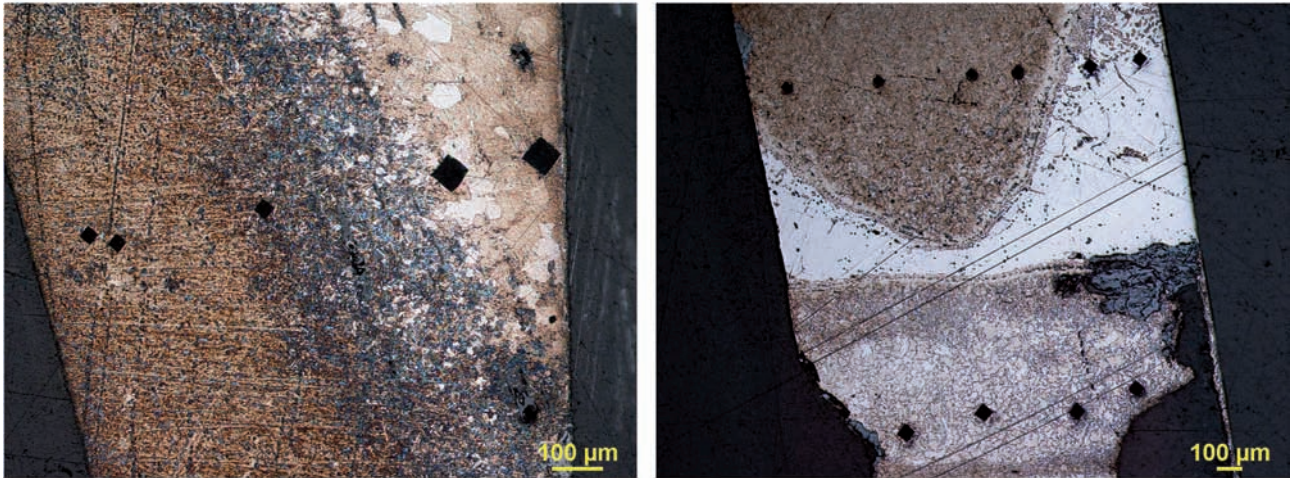
Ryc. 11. Obraz mikroskopowy noża D (Ołbin), ze strukturą ferrytu w rejonie tylca (a), przejściową strefą ferrytyczno-bainitowo-martenzytyczną (b) oraz martenzytyczno-bainitową w rejonie ostrza (c) (4% nital)

Fig. 11. The microscopic image of the knife described as D from the Ołbin (the Benedictine monastery): the structure of ferrite in the back (a), the transition area with ferrite, bainite and martensite (b) and the structures of martensite and bainite in the cutting-edge (c) after etching (4% nital)

cztery próbki, gdzie wyznaczona twardość w rejonie krawędzi tnącej wynosiła około 150-250 HV (tabela 2). Są to okazy oznaczone literami B, J oraz A₁2 i A₁3. Badając rozkład mikrotwardości w całym przekroju (nóż A₁2), nie zauważono znacznej zmiany w rejonie tylca i ostrza. Różnice w wartości wyznaczonej twardości wynosiły od niespełna 20 jednostek do około 100 HV. Zauważono także, że rejon samego ostrza bywa zwykle twardszy dla egzemplarzy lepiej zachowanych i nieco miększy wówczas, gdy stopień zachowania jest słabszy (A₁2 i A₁3). Pozostałe próbki z Ołbina miały twardość znacznie wyższą (mieszczącą się w zakresie 300-600 HV). Trzy próbki ostrzy mają mikrotwardość w obszarze ostrza przekraczającą 300 HV (noże E, F i A₁1, odpowiednio: 320, 333 i 384), a aż pięć charakteryzuje mikrotwardość ostrza powyżej 500

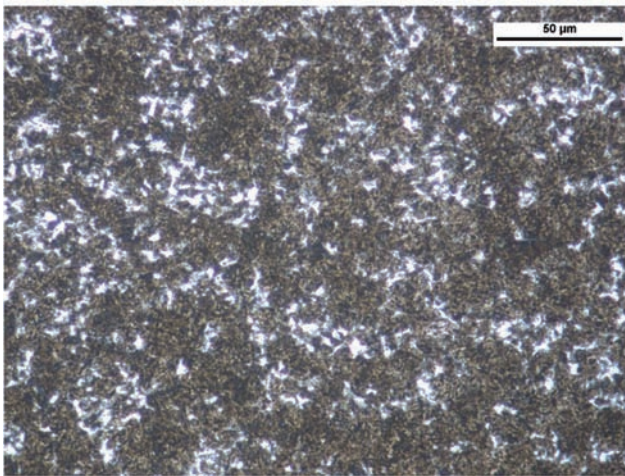
HV (noże A, C, D, G, H, odpowiednio: 502, 504, 524, 553 i 582). Opisana mikrotwardość ostrza jest bardzo wysoka i świadczy o dobrze opanowanym rzemiośle wytwórcy (np. wkuciu nakładek stalowych). Dla tych próbek, dla których było to możliwe, wyznaczono twardość także w innych obszarach przekroju noży, uzyskując informację, że strefy tylca są średnio twarde oraz miękkie. Największa odnotowana różnica twardości wyniosła prawie 500 HV (nóż H) oraz 440 HV (nóż G). Natomiast najmniejszą różnicę twardości zauważono dla noży oznaczonych jako A i D, gdzie wyniosła ona około 250 HV.

W badaniach mikroskopowych potwierdzono, że noże odnalezione na Ołbinie wykonano ze starannością i znajomością technik kowalskich. W stanie nietrawionym widoczne są pozostałości



Ryc. 12. Obraz mikroskopowy noży z Ołbina: nóż G (z lewej) oraz nóż H (z prawej) z widoczną strukturą przejściową od ferrytu przez bainit aż do martenzytu. Widoczne są także zmiany wielkości odcisków z pomiarów mikrotwardości, odpowiadające rejonom o różnej twardości (4% nital)

Fig. 12. The microscopic image of the knives from Ołbin: sample G (left) and sample H (right) with the transition structure: from ferrite through bainite to martensite. It is visible the reducing of the size of Vickers imprints connected with the areas of various microhardness (after etching in 4% nital)

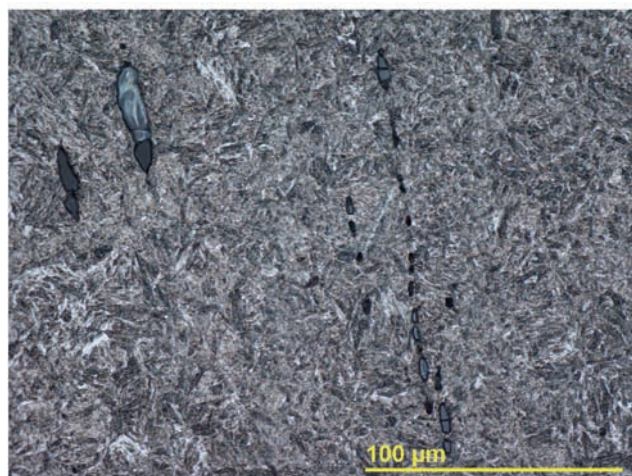


Ryc. 13. Obraz mikroskopowy ostrza noża z ulicy Kotlarskiej (95/W). Widoczna struktura martenzytu i ferrytu (5% HNO_3)

Fig. 13. The microscopic image of the knife from the Kotlarska Street (95/W) with the martensite and ferrite structures (after etching in 5% HNO_3)

żużli i innych niemetalicznych postaci, a także ślady zgrzewania żelaza. Dla próbek z całego przekroju poprzecznego widoczna jest różnica w ilości i kształcie inkluzji niemetalicznych. W części tylca noża oznaczonego E można zauważyć bardzo dużych rozmiarów wtrącenia niemetaliczne o nieregularnych kształtach (zbliżonych do kolistych). Natomiast rejon krawędzi tnącej tego samego zażytku zawiera liczne bardzo podłużne wtrącenia (ryc. 8). Inny okaz (próbka C), badany w stanie nietrawionym, ma podobną charakterystykę: w części tylca drobne, koliste i podłużne inkluzje, w części ostrza znacznie mniej wtrąceń niemetalicznych. Także w stanie nietrawionym dla kilku noży udało się zaobserwować inkluzje układające się w li-

nię (ryc. 9). Po trawieniu próbek lepiej rozpoznano strukturę i technologię noży. Dzięki obserwacji można zauważyć ślady wykonywania zabiegów kowalskich: nóż A był hartowany, w wyniku czego na ostrzu pojawiła się twarda struktura martenzytowa (ryc. 10). Natomiast dla próbki D, dzięki badaniom mikroskopowym po trawieniu rozpoznano, że nóż wykonano z miękkiego żelaznego surowca, poddanego działaniu obróbki mechaniczno-termicznej (kuciu, zgrzewaniu i hartowaniu). W efekcie tego w obszarze krawędzi nietnącej znajduje się struktura ferrytyczna, podczas gdy nieco poniżej można zauważyć strefę przejściową (zbudowaną z ferrytu, bainitu), a w rejonie ostrza odnajduje się już tylko bardzo twardą strukturę drobnziarnistego mar-



Ryc. 14. Obraz mikroskopowy ostrza noża z pl. Nowy Targ (8833/11). Widoczna struktura martenzytu (4% nital)
 Fig. 14. The microscopic image of the knife from the New Market Square (8833/11) with the martensite (after etching in 4% nital)

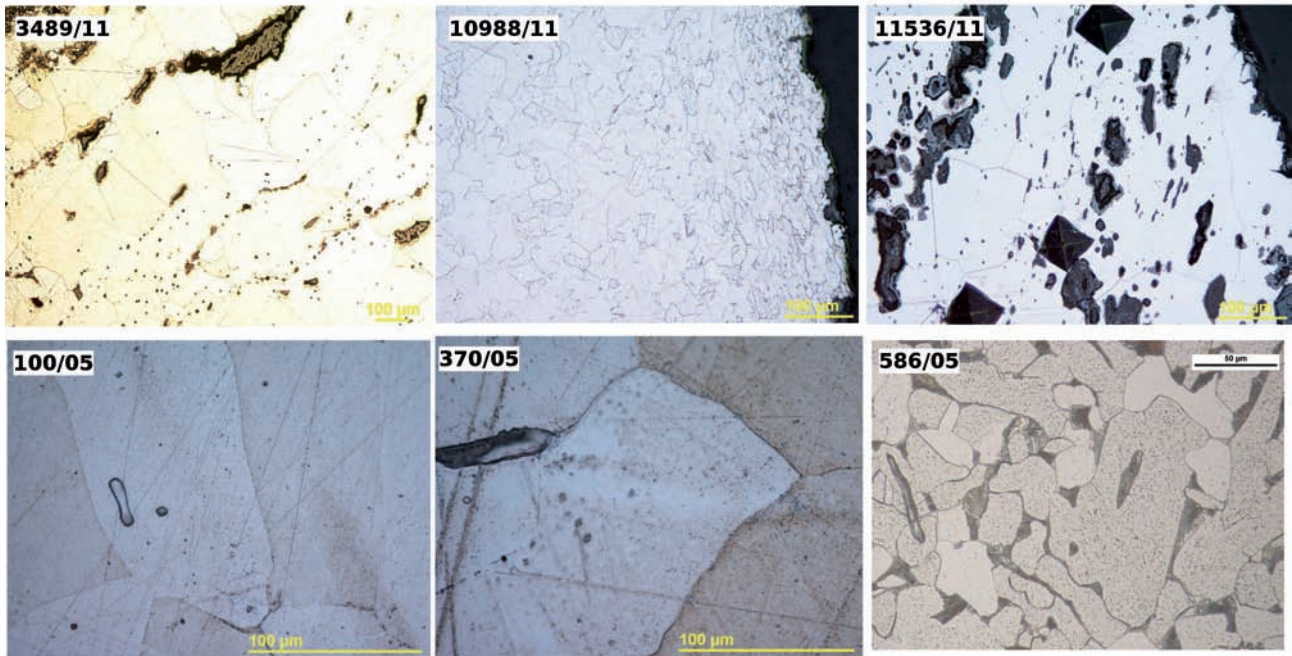
tenzytu z bainitem (będącego efektem hartowania stopu żelaza i węgla). Na rycinie 11 przedstawiono współlistnienie tych trzech stref w omawianym zabytku. Podobne obrazy mikroskopowe (miękkie rejony części niepracującej oraz twarde rejony ostrza) rozpoznano dla innych noży z Ołbina: próbki C, E). Dwie następne próbki są ciekawymi przykładami na budowę pasmową noży. Próbka oznaczona jako G wykazała, że nóż powstał z trzech materiałów o różnej strukturze. Okładziny zewnętrzne i samo ostrze są zbudowane z bardzo drobnoziarnistej struktury (martenzyt), podczas gdy wewnątrz noża stanowi miękka struktura ferrytyczna (ryc. 12). Podobne wnioski o różnorodności stosowanego materiału oraz stosowaniu zabiegów technologicznych (celowego nawęglania czy innych śladów obróbki cieplnej) podczas wytwarzania noży stwierdzono w próbce oznaczonej jako H (ryc. 12).

Kolejne badane zabytki pochodzą ze stanowisk archeologicznych datowanych na późne średnio-wiecze. Wśród wybranych stanowisk znalazły się: plac Nowy Targ, ulica Uniwersytecka, Kotlarska oraz Szewska. Zebrane z tych stanowisk i przebadane okazy dostarczyły szeregu kolejnych danych o rzemiośle nożowniczym i kowalskim.

Badane noże przedstawiały dużą różnorodność wyników mikrotwardości, ale ogólnie były to wartości niewiele wyższe niż dla noży wczesnośredniowiecznych¹¹ (wyjątkiem jest tu egzem-

plarz o numerze 4016/11, który wykonano z bardzo miękkiego materiału, o twardości 69-96 HV). Badania mikrotwardości dotyczyły całości przekrojów poprzecznych, w ich wyniku stwierdzono istnienie charakterystycznej znacznej różnicy twardości między ostrzem a tyłcem tych zabytków. Różnica ta jest najczęściej dwu-, trzykrotna, chociaż badano próbki, w których twardość ostrza przewyższała twardość tyłca prawie pięciokrotnie. Uśredniając wyniki uzyskane eksperymentalnie, uzyskuje się poziom 150-200 HV dla obszarów tyłca oraz 300-600 dla ostrzy (jedynym wyjątkiem od tej prawidłowości jest nóż o numerze 9937/11, dla którego twardość w samym końcu części tępej przekraczała miejscami wartość 600 HV, by zaraz spaść do poziomu ok. 200 HV). Wykonana obserwacja mikroskopowa badanych egzemplarzy pokazała ślady po licznych zabiegach technologicznych oraz różny stan ich zachowania. Nóż pochodzący z badań ulicy Uniwersyteckiej (105/W) charakteryzuje się znacznej grubości warstwą korozyjną, dochodzącą nawet do 100 μm grubości. Podczas obserwacji tego zabytku w stanie nietrawionym stwierdzono także występowanie licznych wtrąceń niemetalicznych (o dość znacznych rozmiarach w części tyłca oraz długich igłowych inkluzji w części ostrza). Natomiast po wytrawieniu nitałem można dostrzec konstrukcję jego ostrza: w części wewnętrznej widoczne są miękkie struktury ferrytyczno-perlityczne, podczas gdy bliżej powierzchni zewnętrznej dostrzec można już tylko struktury drobnoziarniste, o znacznie większej twardości. Taka różnica w budowie to efekt użycia różnych surowców: żelaza i stali, zgrzewanych razem i prawdopodobnie także hartowanych, przez co poprawione zostały właści-

¹¹ Wartości twardości w obrębie ostrzy są wyższe niż dla noży z Ołbina i Ostrowa Tumskiego. Choć w tabeli 3 nie jest to widoczne wprost, bowiem często mikrotwardość w samym końcu ostrza jest nieco niższa, z uwagi na zużycie noża lub stan jego zachowania.



Ryc. 15. Obraz mikroskopowy części tylca, z widoczną strukturą ferrytyczną oraz wtrąceniami niemetalicznymi dla późnośredniowiecznych noży z pl. Nowy Targ i ul. Szewskiej (4% nital)
 Fig. 15. The microscopic image of the back with ferrite structure and non-metallic inclusions for late medieval knives from the New Market Square and Szewska Street (after etching in 4% nital)

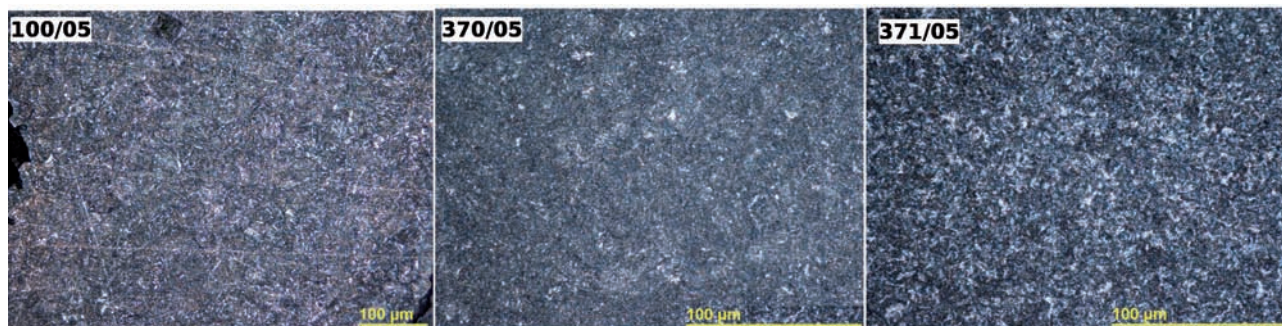
wości krawędzi tnącej. Struktury ferrytu i perlitu we wnętrzu noża mogą być także efektem nieodpowiedniej szybkości chłodzenia głowni, co nie pozwoliło na całkowite utworzenie się martenzytu: trudniej jest szybko schłodzić wnętrze metalu, łatwiej jest to wykonać dla obszarów przypowierzchniowych (Scott 1991, 32). Podobnym zabiegiem podnoszącym twardość surowca poddano nóż 95/W (badania na ulicy Kotlarskiej). Badania mikroskopowe wykonane dla wycinka głowni pokazują, że posiada on strukturę martenzytyczną z widocznymi także wydzieleniami ferrytu (ryc. 13). To także jest dowodem poddania tego noża zabiegom kowalskim, których celem była poprawa jego jakości. Uzyskano ten efekt na drodze wykucia głowni ze stali węglowej (Scott 1991, 101) i poddania go działaniu obróbki termicznej. W efekcie rozgrzania i szybkiego chłodzenia powstał martenzyt, natomiast wydzielenia ferrytu są skutkiem odpuszczenia¹², prowadzonego w temperaturze około 400°C.

¹² Odpuszczeniem nazywa się ponowne podgrzanie hartowanego (szybko chłodzonego) materiału do temperatury niższej niż podczas hartowania i wolniejsze chłodzenie. Odpuszczenie, prowadzone zwykle w temp. 200-500° C, obniża nieco twardość i kruchość hartowanego martenzytu (Scott 1991, 33).

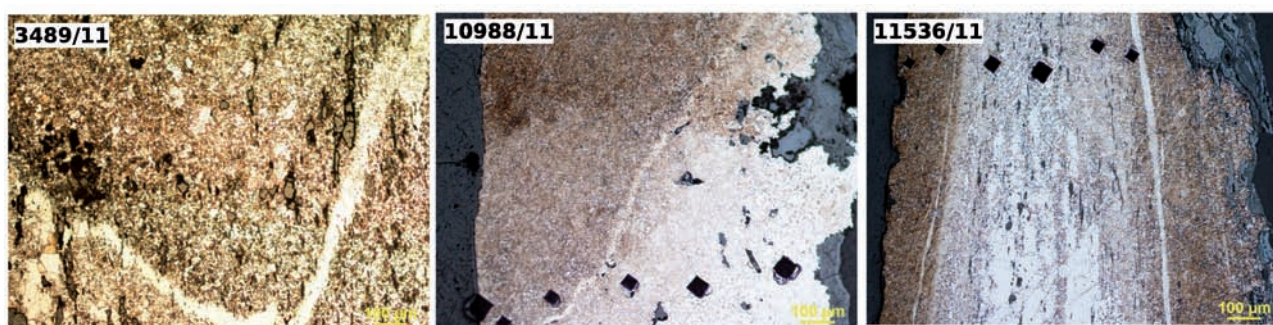
Podobną strukturę w rejonie ostrza dostrzeżono także dla innych noży, w tym dla okazu 8833/11 z badań na placu Nowy Targ (ryc. 14).

Pozostałe noże ze stanowisk późnośredniowiecznych (plac Nowy Targ i ulica Szewska) nie miały już tak prostej i jednoznacznej budowy wewnętrznej. Elementem charakterystycznym jest pasmowa budowa wielu egzemplarzy, wynikająca z różnej struktury krystalicznej fazy metalicznej (będącej skutkiem skuwania materiałów żelaznych i stalowych o różnych właściwościach, np. zawartości węgla czy fosforu¹³). Wśród okazów o takiej budowie znalazły się noże o numerach: 3044/11, 3489/11, 10988/11, 11536/11 (plac Nowy Targ) oraz 100/05, 370/05 i 386/05 (ul. Szewska). W obszarze tylców przeważnie występuje struktura ferrytyczna (składająca się z niemalże czystego żelaza) i ferrytyczno-perlityczna (nóż 586/05 – ul. Szewska), widoczne są duże ziarna ferrytu, a także inkluzje (nieregularne i podłużne – ryc. 15). Przesuwając się w rejon ostrza, pojawiają się ciekawe obrazy struktur krystalicznych, zawierające zwykle struktury drobnoziarniste (twarde, martenzytyczne

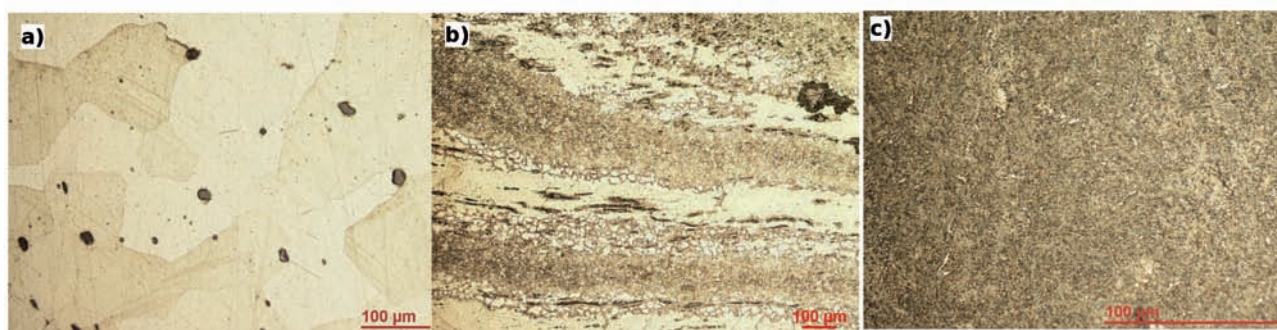
¹³ Podwyższona zawartość fosforu daje charakterystyczną strukturę widmową, co jest widoczne dla noża 10988/11 (Nowy Targ).



Ryc. 16. Obraz mikroskopowy części ostrza, z widoczną strukturą martenzytyczną oraz wydzieleniami troostytu dla noży późnośredniowiecznych z ul. Szewskiej (4% nital)
 Fig. 16. The microscopic image of the cutting-edge with martensite and troostite for late medieval knives from the New Market Square and Szewska Street (after etching in 4% nital)



Ryc. 17. Obraz mikroskopowy łączenia nakładki stalowej z żelaznym grzbietem noża, z widocznymi strukturami przejściowymi, liniami zgrzewania oraz wtrąceniami niemetalicznymi dla noży późnośredniowiecznych z placu Nowy Targ (4% nital)
 Fig. 17. The microscopic image of the steel inlay and the iron back for late medieval knives from the New Market Square. The transition area, welding line, and non-metallic inclusions are presented. (after etching in 4% nital)



Ryc. 18. Obraz mikroskopowy ukazujący budowę noża o numerze 9937/11 (pl. Nowy Targ): a) tylec – struktura ferrytu i perlitu; b) dziwerowanie – budowa pasmowa (ferryt, bainit); c) ostrze – martenzyt (4% nital)
 Fig. 18. The microscopic image of the knife number 9937/11 (New Market Square): a) the back – ferrite and perlite, b) pattern welding – band structure (ferrite, perlite), c) the cutting-edge – martensite (after etching in 4% nital)

z trostytem – ryc. 16) oraz szereg przejściowych struktur (ryc. 17). Występowanie tych struktur jest zwykle naprzemienne, często są one ułożone poprzecznie do przekroju, czasem ukośnie, a także wzdłużnie do krawędzi przedmiotu. Istnienie

pasem w budowie noża jest dowodem na skuwanie stali i żelaza, co świadczy o technologii stosowanej przez późnośredniowiecznych rzemieślników (Piaskowski 1958, 71; Scott 1991, 100). Łączenie nakładki i grzbietu noża zwykle bywało ukośne, ra-



Ryc. 19. Dziwerowane noże z placu Nowy Targ.
Fig. 19. The pattern welding knives from New Market Square

czej proste (ząbkowane łączenia charakteryzowały noże wczesnośredniowieczne). Po skuciu elementów nóż hartowano.

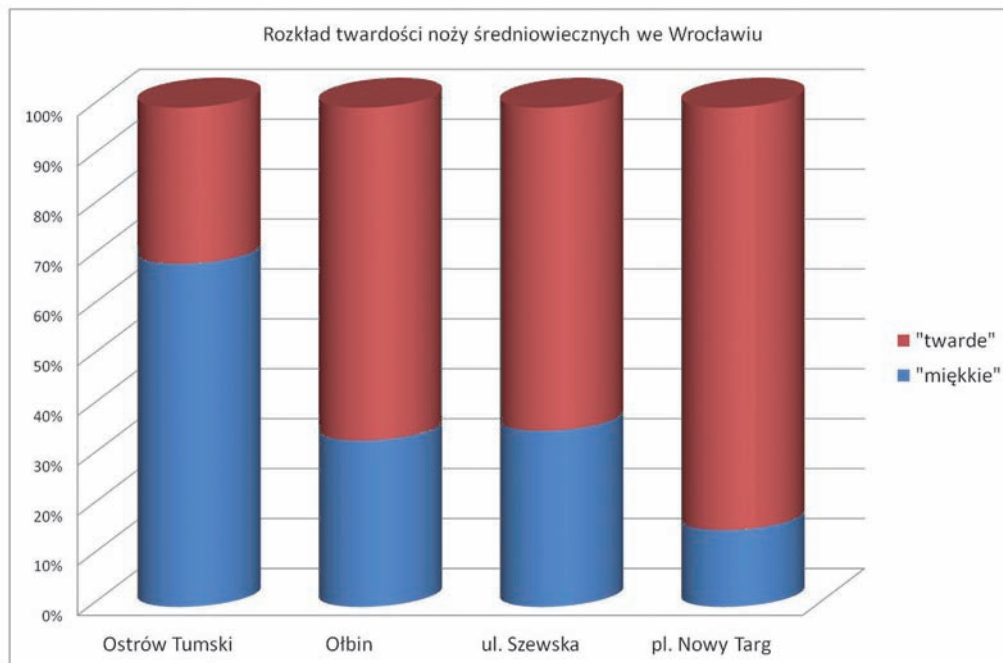
Innym, ciekawym przykładem budowy noża jest głośnia opisana jako 9937/11 (pl. Nowy Targ). Zabytek ten już na etapie badań twardości został uznany za ciekawy, a w badaniach mikroskopowych potwierdzono jego nietypową budowę. W stanie nietrawionym w rejonie krawędzi tnącej praktycznie nie ma wtrąceń, część środkowa przekroju jest zbudowana z poprzecznie ułożonych pasm wtrąceń (o wydłużonych kształtach), podczas gdy w części tyłka inkluzje są nieregularne, koliste i podłużne, różnorodnie zlokalizowane. Po wytrawieniu nitalem lepiej rozpo-

znano budowę noża: obszar tyłka zawiera struktury ferrytyczne z wydzieleniami perlitu, dalej pojawia się strefa pasmowa (naprzemienne ułożenie struktur drobnoziarnistych, przejściowych i gruboziarnistych wraz z inkluzjami), aż do ostrza, które zbudowane jest z bardzo drobnoziarnistego martenzytu (ryc. 18). Taka budowa jest efektem zastosowania dziwerowania głośni w części przytyłkowej. Zdobienie przez dziwerowanie było częstym zabiegiem stosowanym przy produkcji nie tylko noży (Kaźmierczyk 1970), ale także broni – głównie mieczy (Williams 1978). Struktury, jakie uzyskiwano przez skuwanie różnych materiałów, ozdabiały głośnie noża wzorami geometrycznymi (ryc. 19).

PODSUMOWANIE

Wykonanie badań na próbkach noży pozwoliło lepiej rozpoznać proces ich wytwarzania w wiekach średnich na terenie Wrocławia. Ustalono, że we wczesnym średniowieczu więcej noży wykonywano z surowca żelaznego (żelaza kutego), bez szczególnej obróbki cieplnej czy cieplnochemicznej. Tak uzyskiwano produkty o niezbyt wysokiej twardości (nieprzekraczającej 300 HV w rejonie ostrza). To nie oznacza, że nie powstawały egzemplarze o lepszej jakości (o znacznie twardszych ostrzach, jak okaz o numerze 1141/77), jednak znaleziono ich znacznie mniej. Natomiast szersze zastosowanie zabiegów zgrzewania żelaza i stali, które pozwala na otrzymanie noży „warstwowych” i z nakładkami (o twardości nawet 600 HV), jest powszechniejsze dla noży produkowanych od XIII wieku. Takie noże stanowiły liczną reprezentację na późnośredniowiecznych stanowiskach archeologicznych. U schyłku średniowiecza nie zmieniła się technologia, ale różnice są widoczne w liczebności, a właściwie proporcji między nożami o niskiej i wysokiej twardości (ryc. 20).

Taki wniosek jest zgodny z wynikami wcześniejszych badań Piaskowskiego i omawianymi typami noży ze średniowiecznego grodziska w Piekarach koło Krakowa (Piaskowski 1958). Inni badacze także donoszą o istnieniu różnych typów ostrzy dla narzędzi tnących. Barrena i in. (2008) prezentują rozwój w wytwarzaniu ostrzy od niejednorodnego kutego żelaza przez nawęglane żelazo aż do różnych, stalowych nakładek. Tylecote (1981), opisując noże średniowieczne, wymienia cztery sposoby otrzymywania ostrza z żelaza i stali. Stalowe elementy w ostrzu były wprowadzane jako wkładki (rdzeń stalowy otoczony z dwu stron żelazem) lub nakładki (stalowe samo ostrze zgrzane z żelaznym grzbietem noża), typ „sandwiczowy” (żelazny rdzeń otulony stalowymi warstwami) i homogeniczne noże (stalowe i żelazne warstwy skuwane i wygrzewane dawały w rezultacie jednorodny stop). Wskazane tu typy noży występowały także równocześnie, jedynie na przestrzeni wieków odnotowywano dominację różnych typów na różnych stanowiskach archeologicznych (Tylecote



Ryc. 20. Rozkład twardości noży wrocławskich na wybranych stanowiskach archeologicznych datowanych od wczesnego średniowiecza (Ostrów Tumski) do późnego średniowiecza (pl. Nowy Targ)
 Fig. 20. The hardness distribution of the knives from Wrocław, dated from early Middle Age (the Cathedral Island) to late Middle Age (the New Market Square)

1981). Dlatego współwystępowanie noży miękkich wraz z twardymi na wrocławskich stanowiskach archeologicznych datowanych na średniowiecze nie jest niczym szczególnym. Tym bardziej, że wyroby takie powstawały najczęściej lokalnie i rzadko były przedmiotem importu z innych miejsc. Skoro są to przedmioty produkowane na miejscu, to można poszukiwać także innych elementów wyposażenia warsztatu nożownika czy kuźni: od półproduktów (sztab żelaznych) poprzez narzędzia (młotki, kowadła) czy elementy pomocnicze (np. gwoździownica). Podczas badań wrocławskich stanowisk, w tym placu Nowy Targ, w latach 60. XX wieku znaleziono ślady warsztatów kowalskich (Kaźmierczyk 1970). O lokalnym wytwarzaniu narzędzi pisał Piekalski (1991) w studium osadnictwa na wrocławskim Ołbinie. Także badania z lat 2010-2012

prorowadzone na tym samym placu Nowy Targ ponownie zaowocowały odkryciem znacznej ilości narzędzi wykorzystywanych przez rzemieślników: młotek (10), obcęgi (1), dłuto-przecinak (7) oraz półproduktów żelaznych: pręty (179), sztaby (43), blachy (60), druty (kilkadziesiąt). Interpretacja tych znalezisk potwierdza wcześniejsze tezy o istnieniu warsztatów kowalskich na Nowym Targu. Licznie rozproszone warsztaty kowalskie i nożownicze we Wrocławiu wpisały się swoją działalnością w krąg produkcji wyrobów, technologicznie podobnych do znanych przedmiotów z terenów Europy (Holtman 1993, Tylecote 1981). Wyroby, które produkowali wrocławscy rzemieślnicy, w żadnej mierze nie odbiegają od standardów europejskich, zarówno w zakresie stosowanych surowców, technologii, jak i technik zdobniczych.

Tabela 1. Wyniki badań mikrotwardości dla próbek noży z Ostrowa Tumskiego
Table 1. The microhardness results for knives from the Cathedral Island

l.p.	Nr inw.	Datowanie	Twardość, HV						
			1 (tylec)	2	3	4	5	6	7 (ostrze)
1	120c/78	2 poł Xw. lub X/XIw.	242	182	129	109	108	120	109
2	263/77	2 poł Xw. lub X/XIw.	145	166	171	-	182	186	202
3	251o/77	2 poł Xw. lub X/XIw.	228	-	246	-	231	207	224
4	193a/77	X/XIw.	I: 105	110	141	167	192	166	151
5			II: 139	143	108	158	191	181	183
6	114ł/77	1 ćw. XIw.	211	240	247	259	420	433	491
7	19a/77	2 ćw. XIw.	-	-	91	180	179	165	159
8	41b/76	poł. XIw.	-	-	-	239	144	138	159
9	255f/75	3 ćw. XIw.	136	109	82	127	127	125	118
10	86/74	3,4 ćw. XIIw.	142	-	184	168	187	245	350
11	21a/74	3,4 ćw. XIIw.	-	-	-	154	238	333	277
12	106e/73	XIIIw.	227	196	226	230	697	678	666
13	74f/77	XIIIw.	233	219	216	269	418	489	468
14	144a/73	XIIIw.	191	165	179	140	147	153	116
15	116c/73	XIIIw.	188	295	180	154	157	159	174
16	66a/73	XIIIw.	-	-	-	79	107	113	136

Tabela 2. Wyniki badań mikrotwardości dla próbek noży z Ołbina
Table 2. The microhardness results for knives from Ołbin

l.p.	Opis próbki.	Datowanie	Twardość, HV						
			1 (tylec)	2	3	4	5	6	7 (ostrze)
1	A - 12/76 Ob. 1 (studnia)	XI-pocz. XIIw.	280	283	281	322	340	362	502
2	B-wykop 23/85	XII w. (budowa kościół klasztorne)	-	184	204	197	202	191	202
3	C - grób 179 (29.VII. 83)		172	171	201	262	389	493	504
4	D - znalezisko luźne (11.06.87) z wykopu pod kanalizację	II poł. XIIw.	287	636	567	466	518	512	524
5	E - wykop 18/76, ob. Nr 9	XI- pocz. XIIw.	-	176	173	312	342	353	320
6	F - wykop 31/87, osada nr 28	XI- pocz. XIIw.	-	-	267	262	264	339	333
7	G - wykop 18/76 ob. Nr 8	XI- pocz. XIIw	118	-	177	134	405	575	553
8	H - ob. Nr 6 (02.08.83)	XIIw.	-	85	149	159	188	443	582
9	J - ob. Nr 6 (02.08.83)	XIIw.	-	-	156	137	136	123	128
10	A ₁ - komplet noży (wykop 2, ob. 4, bud. nr 1, 1976r.)	1	-	-	405	439	459	378	384
		2	223	-	178	216	161	196	185
		3	-	-	132	264	132	198	231

Tabela 3. Wyniki badań twardości dla stanowisk późnośredniowiecznych pl. Nowy Targ, ul. Uniwersytecka, Kotlarska oraz Szewska (Wrocław)
 Table 3. The microhardness results for late medieval knives from the New Market Square, Uniwersytecka Street, Kotlarska Street and Szewska Street (Wrocław)

l.p.	Stan.	Nr inw.	Datowanie	Twardość, HV						
				1 (tylec)	2	3	4	5	6	7 (ostrze)
1	Rynek 5/	72/08	XIII w. (XIV/XV)	112	144	110	123	133	139	132
2	Kielbaśnicza 6	178/W/08	XIV/1 poł. XV w.	129	-	402	-	468	-	509
3	ul. Uniwersytecka	105/W	-	179	-	239	335	348	308	310
4	ul. Kotlarska	95/W	-	-	585	619	545	565	548	525
5	Pl. Nowy Targ	4016/11	2 poł. XIII/XIV w.	69	66	89	107	88	96	96
6		10048/11	XIV/XV w.	91	131	133	171	321	404	274
7		10666/11	XIII w.	144	161	169	326	489	454	397
8		8811/11	XIV/XV w.	127	130	475	411	462	464	450
9		7912/11	XIII w.	-	-	-	-	200	346	302
10		11536/11	XIII w.	116	128	373	454	496	570	587
11		8833/11	XIII w.	-	-	556	531	536	508	468
12		9747/11	XIII w.							
13		3044/11 - weźszy	XIV w.	207	200	211	183	190	366	432
14		3044/11	XIV w.	204	188	197	191	186	367	436
15		10988/11	XIII-XV w.	168	153	-	285	-	412	429
16		3489/11	XIV w.	131	-	176	198	187	247	364
17	9937/11	XIII w.	260(600)	205	417	567	438	378	366	
18	9043/11	XIV w.	-	-	-	208	208	171	172	
19	ul. Szewska ¹	371/05	-	109-142	168-184	247	292	272	363	187
20		370/05	-	189	190	210	311	317	323	319
21		100/05	2 poł. XIII/XIV w.	167-190	215-233	355	317	336	341	346
22		81/05	1 poł. XIV w.	134	162	211*	108	129	145	143

* dziwierowanie głowni noża. Twardość metali dziwierowanych jest wyższa niż kutego żelaza²

¹ Badania twardości noży z ulicy Szewskiej wykonano w ramach projektu: *Ulice średniowiecznego Wrocławia* (nr N109 044 31/3751); kierownik: prof. dr hab. Jerzy Piekalski, finansowanie MNiSW w latach 2006-2008.

² Sherby i Wadsworth opisują, że stal damasceńska (o podobnej strukturze materiałowej do dziweru) charakteryzuje się dwukrotnie, a nawet pięciokrotnie większą twardością aniżeli żelazo poddane obróbce termicznej. To wyjaśnia wzrost twardości dla części dziwerowanej głowni noża.

BIBLIOGRAFIA

- Barrena M.I., Gomez de Salazar J.M., Soria A. 2008. Roman iron axes manufacturing technology. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 266, 955-960.
- Ehrenreich R.M., Hamilton E., Nash S.K. 2005. Far from Barbaric: Re-assessing the Sophistication of Merovingian Metalworking. *JOM - The Journal of the Minerals, Metals and Materials Society* 57, nr 8, 51-55.
- Eliyahu M., Barkai O., Goren Y., Eliaz N., Kahanov Y., Ashkenazi D. 2011. The iron anchors from the Tantura F shipwreck: typological and metallurgical analyses. *Journal of Archaeological Science* 38, 233-245.
- Fulford M., Sim D., Doig A., Painter J. 2005. In defense of Rome: a metallographic investigation of Roman ferrous armour from Northern Britain. *Journal of Archaeological Science* 32, nr 2, 241-250.

- Hošek J. 2006 The metallography of iron objects from Se-monice stronghold in the light of studied forged pieces from medieval strongholds, villages and towns. *MJoM: Metalurgija – Journal of Metallurgy* 12, nr 2-3, 207-220.
- Jimenez J.M., Bravo E., Criado A.J., Arevalo R., Dietz Ch., Martinem J.A. 2004. A New method for dating ancient steel samples using Vickers microhardness. *Materials Characterization* 52, 145-151.
- Kaźmierczyk J. 1970 *Wrocław lewobrzeżny we wczesnym średniowieczu. Część 2*. Wrocław.
- Lv G.Ch., Wang Z. S., Wu L. M., Xu Ch. 2011 Characterization of corrosion products on archaeological iron coins. *Anti-Corrosion Methods and Materials* 58, nr 1, 39-45.
- Michalak A., Biborski M., Stepiński J. 2012. Przedmioty metalowe z Nowińca, stan. 2 w świetle analizy archeologicznej i metalograficznej. (W:) B. Gruszka (red.), *Nowiniec, stan. 2 – wczesnośredniowieczny gród na pograniczu śląsko-łużyckim w świetle badań interdyscyplinarnych*. Zielona Góra, 131-155.
- Pense A.W. 2000 Iron through the ages. *Materials Characterization* 45, 353-363.
- Piaskowski J. 1958. *Metaloznawcze badania zabytków archeologicznych z Wyciąża, Igołomni, Jadownik Mokrych i Piekar*. (W:) J. Pazdur (red.), *Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa*, t. II. Wrocław, 67-77, 96-98.
- Piekalski J. 1991. *Wrocław średniowieczny. Studium kompleksu osadniczego na Olbinie w VII-XIII wieku*. Wrocław.
- Rauhut L. 1957. *Studia i materiały do historii starożytnego i wczesnośredniowiecznego hutnictwa żelaza w Polsce*. (W:) A. Gieysztor (red.), *Studia i materiały z historii kultury materialnej*, t. I, J. Pazdur (red.), *Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa*, t. I. Wrocław, 183-221.
- Różański W. 1958. Badania przedmiotów metalowych pochodzących z grobów ciałopalnych. (W:) A. Gieysztor (red.), *Studia i materiały z historii kultury materialnej*, t. III, J. Pazdur (red.), *Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa*, t. II. Wrocław, 99-114.
- Scott D.A. 1991. *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*. Santa Monica, United States.
- Sherby O.D., Wadsworth J. 2001. Ancient blacksmith, the Iron Age, Damascous steel, and modern metallurgy. *Journal of Materials Processing Technology* 117, 347-353.
- Tylecote R.F. 1981. The medieval smith and his methods. (W:) D.W. Crossley (red.), *Medieval Industry*. London, t. 40, 42-50.
- Williams A.R. 1978. On the manufacture of Armor in Fifteenth-Century Italy, Illustrated by Six Helmets in The Metropolitan Museum of Art. *Notes in Metropolitan Museum Journal* 13, 131-142.

THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF KNIFES PRODUCTION IN MEDIEVAL WROCŁAW BASED ON METALLOGRAPHIC INVESTIGATIONS

SUMMARY

The determining the level of past technologies forces contemporary archeology to focus not only on the provenance or the function of items, but also the technology of their production and the structure of the material. The artefacts' properties can be defined basing on data on their chemical composition and microstructure. Therefore, in the archaeological study of medieval metal objects it's important to understand the physicochemical properties of iron and steel as well as the general blacksmithing techniques, especially in view of the widespread use of these materials. Such knowledge is useful in understanding medieval Wrocław society in two aspects: the development of the craftsmen skills and the economic level of the inhabitants. The tools that were used for the study are the optical mi-

croscopy and the hardness tests. Both of these techniques provide a number of complementary research data to distinguish the different technologies of knives production in medieval Wrocław. The results indicated that Wrocław craftsmen produced knives of various raw materials (iron and steel) and using different blacksmith operations (carburizing, welding and hardening). They resulted in various properties of the knives (mostly various hardness of the cutting edges). It is worth noting that both the knives with hard or soft blades were produced during whole Middle Ages. The early medieval sites (the Cathedral Island and the Benedictine monastery at Olbin) provided both soft-edged knives with a hardness of just over 100HV, but also knives with blades of hardness of about 500HV. The same

hardness values in the blade region were measured for the later chronology artefacts. The difference between early and late medieval sites corresponds with the ratio of the

hard and soft knives. For early medieval site, the number of harder knives is lower, while in late Middle Ages, knives are harder and more of them have steel blades.

Adres Autorki:

Dr Beata Miazga
Instytut Archeologii
Uniwersytetu Wrocławskiego
ul. Szewska 48
50-139 Wrocław
e-mail: beata.miazga@uni.wroc.pl