

Piaskowski, Jerzy

Technologia wyrobu kryszów malajskich

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 20/3-4, 515-531

1975

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

TECHNOLOGIA WYROBU KRYSÓW MALAJSKICH

Do niezwykle interesujących wyrobów dawnej techniki należą krysy malajskie. Technologia ich wykonania dotychczas nie została całkowicie wyjaśniona. Przyczyną tego była głównie niedostateczna ilość tego rodzaju okazów poddanych badaniom metaloznawczym. Dzięki opisanym badaniom krysa malajskiego z Muzeum Wojska Polskiego w Warszawie — będącego trzecim zbadanym tego rodzaju okazem — które uzupełniono studiami dawnych źródeł pisanych udało się poznać technologię wykonania tych wyrobów.

Za udostępnienie okazu do badań autor czuje się zobowiązany podziękować Dyrekcji Muzeum Wojska Polskiego w Warszawie.

1. DOTYCHCZASOWE BADANIA METALOZNAWCZE KRYSÓW MALAJSKICH

Dotychczas poddano badaniom metaloznawczym, o ile autorowi wiadomo, tylko dwa krysy malajskie. Pierwszy kryś zbadął H. Jacobsen¹, który przeprowadził badania metalograficzne i wykonał analizę chemiczną. Struktura krysa składała się z warstw silniej nawęglonej stali i miękkiego metalu, zwanego „Pamor”, który miał pochodzić z Biliton i Celebes; według ogólnie przyjętego w tym czasie poglądu „Pamor” miał być żelazem pochodzenia meteorytowego.

Miękka warstwa składała się z drobnych ziarn ferrytu i śladów perlitu na granicach ziarn. W warstwie silniej nawęglonej wystąpiły ziarna perlitu, obok ferrytu i wtrąceń żużlu; te ostatnie były widoczne i w warstwie słabiej nawęglonej.

Analiza chemiczna wykazała w pobliżu ostrza — jak można zauważyć, w miejscu silniej nawęglonym — 0,25% C, 0,02% Si, 0,10% P, 0,005% S oraz 0,00% takich domieszek, jak Mn, Cr, Ni, W, Mo, Cu, Al i Ti.

M. Jacobsen stwierdził więc, że „Pamor” nie jest wcale żelazem pochodzenia meteorytowego, nie zawiera bowiem odpowiednio dużej ilości niklu (8—10%), tak jak tego rodzaju metal. Kryś nie wykazał śladów obróbki cieplnej i H. Jacobsen wysunął przypuszczenie, że był on utwardzony przez kucie na zimno.

Praca H. Jacobsena zawiera wiele interesujących wiadomości o kryсах malajskich, jednak dokumentacja metalograficzna jest dość ograniczona, brak w szczególności danych o przebiegu warstw silniej i słabiej nawęglonych.

Dokładniejsze dane o strukturze zbadanego krysa malajskiego podał C. Panseri², który zbadał drugi tego rodzaju okaz. Na poprzecz-

¹ H. Jacobsen: *Dem javanesiske kris. Vaaben-historische Arbøger t. 2.* 1937 s. 83.

² C. Panseri: *L'acciaio di Damasco nella leggenda e nella realta. Armi Antiche* 1962 s. 3

nym przekroju głównej C. Panseri zaobserwował wyraźnie szereg warstw stali: miękkiej, zawierającej — jak można określić w przybliżeniu — około 0,1% C i stali twardej o zawartości około 0,5% C. Warstwy te ułożone były równolegle do powierzchni głównej. W strukturze obok ziarn ferrytu występowały ziarna martenzytu i troostytu. Poza tym przy powierzchni głównej widoczne było nawęglenie mające na celu dodatkowe utwardzenie narzędzia.

Krys zbadany przez C. Panseri'ego był więc zgrzewanym z warstw stali miękkiej i twardej, a następnie poddany obróbce cieplnej.

Temperatura kucia krysa musiała być stosunkowo niska, gdyż nie nastąpiło wyrównanie koncentracji węgla w głównej; zwrócił na to uwagę C. S. Smith³ omawiając technikę wykonania kryś malajskich na podstawie źródeł pisanych. C. Panseri opisując wyniki swych badań ograniczył się tylko do dość ogólnych wniosków w sprawie technologii wyrobu kryś.

2. TECHNIKA WYROBU KRYŚ MALAJSKICH NA PODSTAWIE ŹRÓDEŁ PISANYCH

Pierwszy opis techniki wyrobu kryś malajskich opublikował H. Mille⁴. Według Mille'go wykonuje się je przekuwając stalowe taśmy tak długo aż powstaną z nich równoległe cienkie warstewki. Następnie wykonuje się na tych taśmach okrągłe wzniesienia, które usuwa się później na toczydle uzyskując w ten sposób na powierzchni koliste, koncentryczne linie.

Mille sam próbował odtworzyć sposób wyrobu kryś. Wziął on sześć taśm lanej stali z fabryki braci Couleaux z Molsheim i sześć taśm twardej stali niemieckiej i nawęglął je przez pewien czas w węglu użytym z bawełny. Następnie Mille złożył te taśmy składając naprzemiennie stal laną i stal niemiecką (twardą) i nagrzewał w ognisku, w węglu drzewnym do czerwonego żaru, po czym wyjął je i obsypał tłuczonym boraksem, nagrzał ponownie i zgrzał skuwając lekkimi uderzeniami młotka. Tak uzyskany pręt zginał sześciokrotnie, zgrzał razem i przekuł.

W ten sposób zginając i zgrzewając pręt Mille uzyskał aż 432 warstwy obu rodzajów stali w przecie.

Zmniejszając następnie grubość pręta do 2 linii i kując je po odpowiednim nagrzanu Mille wykonał na przecie wgłębienia i wzniesienia sięgające na pół linii tak, że wgłębienie z jednej strony tworzyło wzniesienie z drugiej strony.

Powstałe w ten sposób nierówności Mille opikał skośnie pilnikiem, tak że każda taśma wystąpiła na powierzchni jako linia wzoru.

Wykute główne Mille nawęglął jeszcze w bawelnie, a po tym hartował. Inne główne poddane były obróbce cieplnej bez nawęglania; na główniach nawęglanych wzór „damasceński” był słabiej widoczny.

³ C. S. Smith: *A History of Metallography*. Chicago 1960 str. 39

⁴ H. Mille: *Procédé pour faire l'acier damassé*. „Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale” T. 35:1836 s. 348. W tłumaczeniu rosyjskim: *O damascirowanej stali wydzielajemoj C. Millem*. „Gornyj Żurnal” 1836 nr 11 s. 248

Znawca indyjskiej broni W. Rosenhain⁵ podał zbliżony opis wyrobu kryszów malajskich. Dwa rodzaje stali — najwidoczniej różniące się stopniem nawęglenia — skuwano razem w płaski pręt i zginano na brzegach na kształt spirali i dwie takie taśmy umieszczano między trzema warstwami stali, zgrzewając je razem. Po wykuciu główki nadano jej kształt szlifując ukośnie tak, aby na powierzchni wystąpiły przekroje poszczególnych warstw. Do wytrawienia wzoru stosowano soki owocowe, często zawierające arsen.

Kilka dość ogólnikowych i niekompletnych wiadomości o wyrobie kryszów malajskich można znaleźć w publikacji F. M. Feldhausa⁶, który dane te uzyskał od dr. Richtera z indyjskiego oddziału Museum für Völkerkunde w Berlinie. Wyrób wzorzystych główki rozpowszechniony był zwłaszcza na Jawie.

Wykonując taką główkę kowal (empu) wykuwał żelazo w postaci taśmy o przekroju prostokątnym i zginał ją w połowie umieszczając jakby pomiędzy okładkami taśmę „żelaza o innym stopniu twardości” — a więc stal — i zgrzewał razem. Podczas przekuwania metal był kilka razy podgrzewany; kowal z jednym lub dwoma pomocnikami kuł główkę w ciągu 1 do 2 godzin lub nawet dłużej. Dla ujawnienia wzoru odpowiednio wyczyszczoną powierzchnię główki nacierano arszenikiem i sokiem cytrynowym.

F. M. Feldhaus wymienił w swej pracy szereg publikacji dotyczących kryszów malajskich w języku holenderskim, z którymi jednak nie mógł zapoznać się autor niniejszego opracowania.

3. BADANIA WŁASNE

Fotografię zbadanego krysa malajskiego z Muzeum Wojska Polskiego w Warszawie przedstawiono na ryc. 1, a jego szkic z wymiarami i miejscem wycięcia próbek — na ryc. 2. Kryś był ułamany na końcu, tam też wycięto próbkę do badań.

Poza tym fotografię w pobliżu rękojeści, wykonaną z obu stron i wyraźnie przedstawiającą charakterystyczny — i różny na każdej stronie — wzór, podano na ryc. 3 i 4. Fotografię wzoru na powierzchni główki, nieco powiększoną (około 2×), przedstawia ryc. 5.

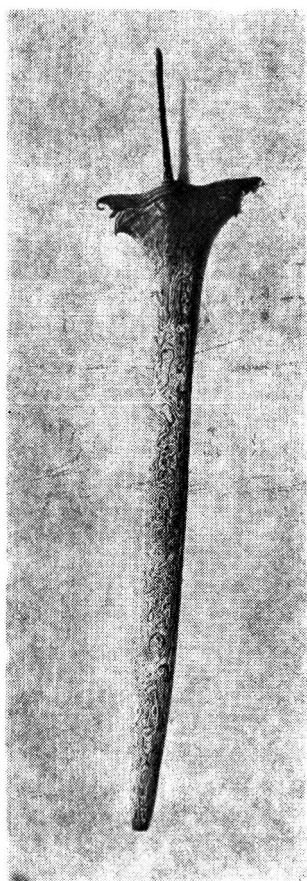
Przez środek poprzecznego przekroju główki przechodziło pasmo metalu o grubości dochodzącej do ok. 0,5 mm silniej nawęglonego w pobliżu krawędzi tnących. Po obu stronach tego pasma widoczne były znacznie cieńsze pasemka silniej nawęglone (o grubości około 0,02—0,05 mm), rozdzielone warstewkami ferrytu (a więc słabo nawęglonymi) na ogół o grubości jednego ziarna (0,05—0,1 mm) — ryc. 7.

Strukturę silniej nawęglonego metalu w pobliżu krawędzi tnącej ostrza krysa przedstawiono na ryc. 8, a strukturę warstwy silniej nawęglonej pod większym powiększeniem — na ryc. 9. Ziarna ferrytu w części słabiej nawęglonej krysa również pod większym powiększeniem widoczne są na ryc. 10.

Ciemne linie na powierzchni krysa tworzą właśnie owe warstewki metalu silniej nawęglonego (stali).

⁵ W. Rosenhain: *Notes on Malay Metal Work*. „Journal of the Anthropological Society” t. 31:1901 s. 161

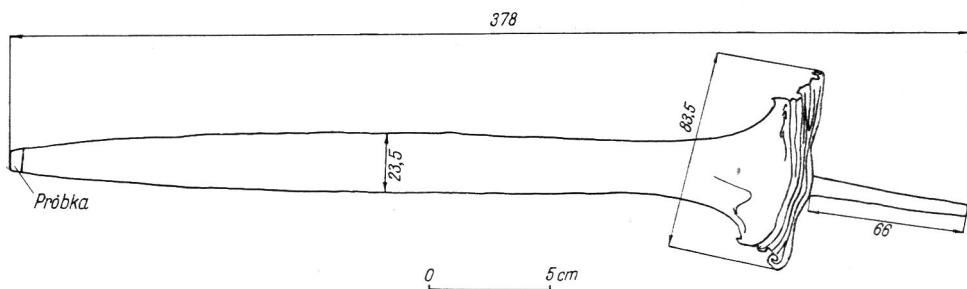
⁶ F. M. Feldhaus: *Ein Wort zur Frage des Damastes*. „Zeitschrift für historisches Waffengunde”. 1906—08 t.4; s. 187



Ryc. 1. Fotografia badanego krysu malajskiego z Muzeum Wojska Polskiego w Warszawie

Рис. 1. Малайский крис из Музея польской армии в Варшаве.

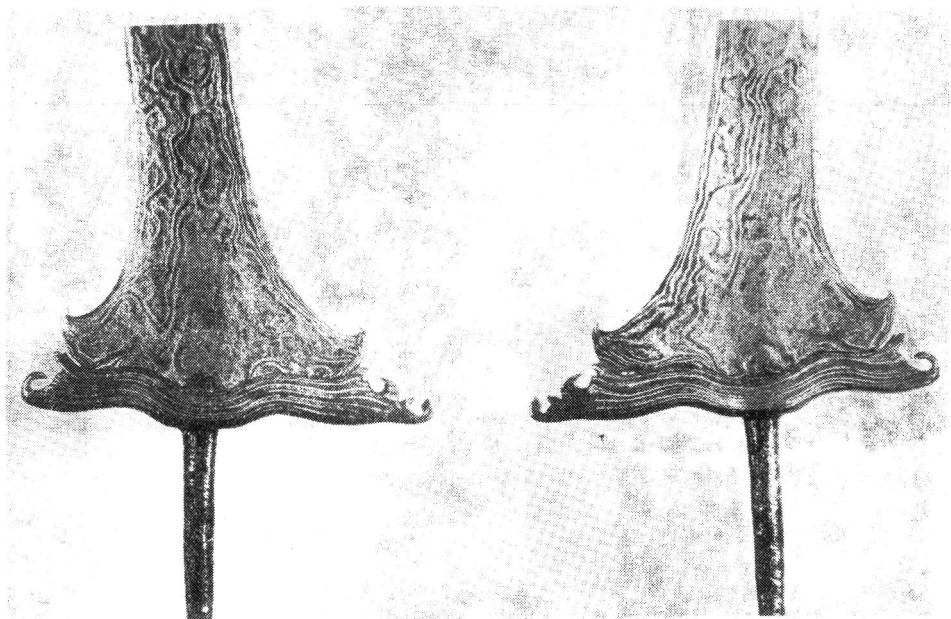
Phot. 1. Le criss malais étudié du Musée de l'Armée Polonaise à Varsovie.



Ryc. 2. Rysunek oraz główne wymiary badanego krysa malajskiego

Рис. 2. Эскиз и основные размеры исследованного малайского криса.

Phot. 2. Le dessin avec les dimensions du criss malais étudié.



Ryc. 3.

Ryc. 4.

Ryc. 3. Fotografia w pobliżu rękojeści badanego krysa malajskiego (pierwsza strona)

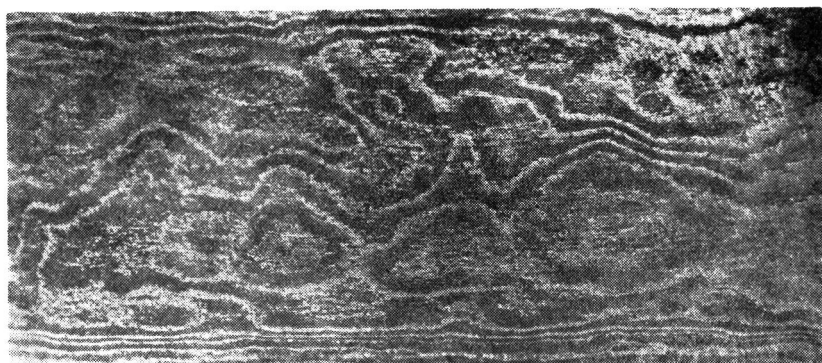
Ryc. 4. Fotografia w pobliżu rękojeści badanego krysa malajskiego (druga strona)

Рис. 3. Рукоятка исследуемого крика с одной стороны.

Рис. 4. Рукоятка исследуемого малайского крика с другой стороны

Phot. 3. Le criss malais étudié, la partie près de sa poignée.

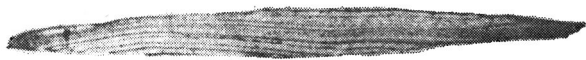
Phot. 4. Le criss malais étudié près de sa poignée (de l'autre côté).



Ryc. 5. Fotografia charakterystycznego wzoru na powierzchni badanego krysa malajskiego, pow. 2×

Рис. 5. Характерный узор на поверхности исследуемого малайского крика (увел. 2×).

Phot. 5. Le dessin caractéristique à la surface du criss malais étudié; gross. 2×.



Ryc. 6. Makrostruktura na poprzecznym przekroju badanego krysa malajskiego.
Próbka trawiona azotalem, pow. 11×

Рис. 6. Макроструктура поперечного разреза исследуемого малайского криса (образец, протравленный нитратом, увел. 11×).

Phot. 6. La macrostructure sur la section transversale du criss malais étudié.
L'échantillon décapé au moyen du nital, gross. 11×.

Przeprowadzono także obserwacje przebiegu wtrąceń żużla na próbie nie trawionej. Układały się one na ogół równolegle do powierzchni głównej, wskazując kierunek zgrzewania warstw metalu (ryc. 11). Struktura wtrąceń żużla była złożona; na ciemnym tle występowały na ogół jaśniejsze wydzielения o różnym kształcie (ryc. 12)⁷.

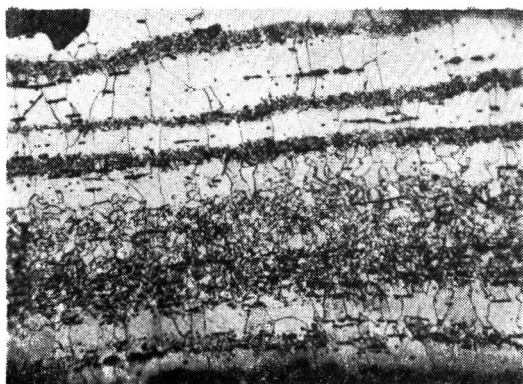
Szczególną uwagę zwrócono na strukturę warstewek silniej nawęglonych, chodziło bowiem o stwierdzenie czy warstewki te pochodzą z taśm stali, umieszczonych pomiędzy taśmami żelaznymi (wtedy na granicach pomiędzy warstewkami stali i żelaza powinny wystąpić wydłużone wtrącenia żużlu), czy też są wynikiem nawęglania taśm żelaznych przez umieszczenie pomiędzy nimi sproszkowanego stopu o dużej zawartości węgla — sposób ten stosowali kowale japońscy. W tym ostatnim przypadku wtrącenia żużlu powinny wystąpić w środku warstwy nawęglonej.

Wynik obserwacji struktury nie był jednak jednoznaczny. Przede wszystkim ilość wtrąceń żużlu nie była zbyt duża, występowały one na przykład także w środku warstw słabo nawęglonych, o strukturze ferrytycznej (ryc. 7), wiele ich było także wewnątrz grubej warstwy nawęglonej w środku głównej. Natomiast rzadko występowały pomiędzy warstwami silniej i słabiej nawęglonymi, zdarzały się jednak i w środku cienkich warstewek nawęglonych.

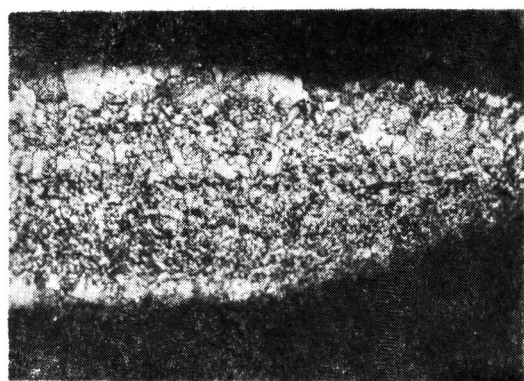
Przykład taki przedstawiono na ryc. 13, gdzie występuje cieniutka warstewka silniej nawęglona o grubości ok. 0,03 mm, a w jej środku widać szereg drobnych wtrąceń żużla, które — ewentualnie — mogłyby wskazywać na istnienie zgrzeiny.

Rozwiązanie tego problemu — jak można sądzić — dały obserwacje struktury próbek po uprzednim wytrawieniu odczynnikami Oberhoffera, ujawniającym różnicę w zawartości fosforu. Stwierdzono mianowicie, że wkładka środkowa z metalu nawęglonego w pobliżu ostrzy wystąpiła w postaci wyraźnego pasma o niższej zawartości fosforu (ryc. 14 i 15). W części żelaznej zawartość tej domieszki była wyższa, nie stwierdzono natomiast różnic zawartości fosforu w warstewkach nawęglonych.

⁷ Klasyfikację struktury wtrąceń żużla przedstawił autor w pracy: J. Piaskowski: *Klasyfikacja struktury wtrąceń żużla i jej zastosowanie dla określenia pochodzenia dawnych przedmiotów żelaznych*. „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” T. 27:1969 z. 2, s. 61. Por. także: J. Piaskowski: *Dalsze badania technologii wyrobów żelaznych na ziemiach polskich w okresie halszackim i wczesnolateńskim*. „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” T. 11:1963 z.1 s. 8.



Rys. 7



Rys. 8

Ryc. 7. Struktura krysa malajskiego: pasma ziarn silniej i słabiej nawęglonych oraz wtrącenia żużla, traw. azotalem, pow. 100×

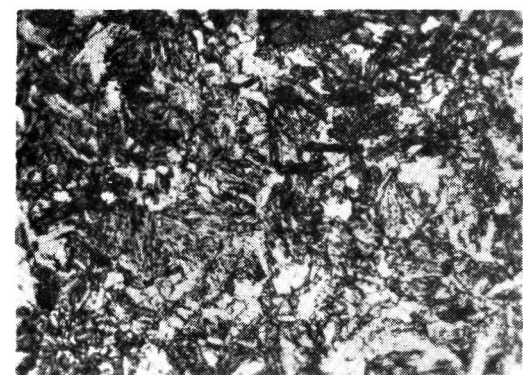
Ryc. 8. Struktura pasma silniej nawęglonego w pobliżu krawędzi tnącej: ziarna troostytu iglastego i ferrytu, traw. azotalem, pow. 100×

Рис. 7. Структура малайского криса: полосы зерен, более и менее науглероженных и шлаковые включения. (Образец, протравленный нитратом, увел. 100×).

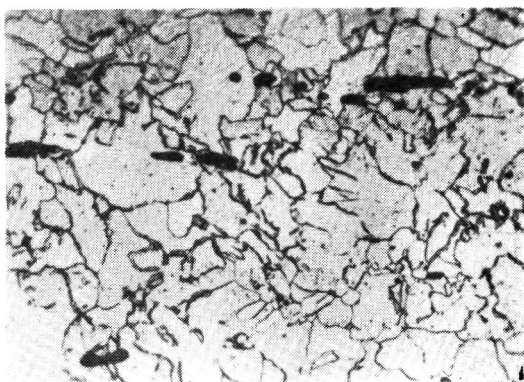
Рис. 8. Структура полосы, более науглероженной около секущего края: зерна игольчатого троостита и феррита (протравлен нитратом, увел. 100×).

Phot. 7. Le criss malais. La structure des couches fort et faiblement cémentées ainsi que les inclusions de la scorie; décapage au moyen du nital, gross. 100×.

Phot. 8. La structure de la couche carburée plus forte, la partie près de la pointe tranchante: les grains du troostite aciculaire et de la ferrite; décapage au moyen du nital, gross. 100×.



Rys. 9



Rys. 10

Ryc. 9. Struktura pasma silniej nawęglonego w pobliżu krawędzi tnącej pod większym powiększeniem: troostyt iglasty i wtrącenia żużla, traw. azotalem, pow. 500×

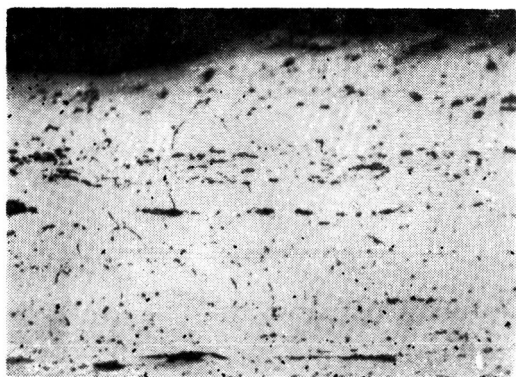
Ryc. 10. Struktura części słabiej nawęglonej krysa pod większym powiększeniem: ferryt i wtrącenia żużla, traw. azotalem, pow. 500×

Рис. 9. Структура полосы, более науглероженной около секущего края при большем увеличении: игольчатый троостит и шлаковые включения (протравлен. нитратом, увел. 500×).

Рис. 10. Структура части криса менее науглероженной под большим увеличением: феррит и шлаковые включения (протравлен. нитратом, увел. 500×).

Phot. 9. La structure de la couche carburée plus forte près de la pointe tranchante: troostite aciculaire et les inclusions de la scorie; décapage au moyen du nital, gross. 500×.

Phot. 10. La structure de la partie du criss malais carburée plus faiblement: la ferrite et les inclusions de la scorie; décapage au moyen du nital, gross. 500×.



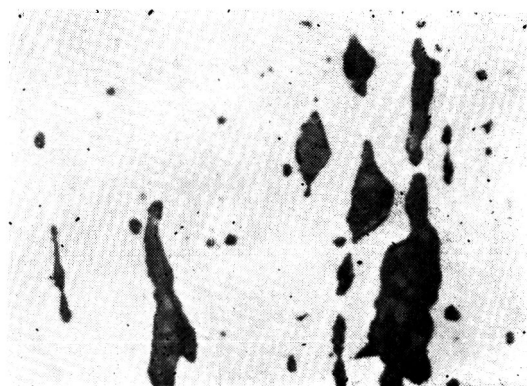
Rys. 11

Ryc. 11. Wtrącenia żużla w krysie. Nietraw., pow. 100×

Ryc. 12. Struktura wtrąceń żużla w krysie, nietraw., pow. 500×

Рис. 11. Шлаковые включения в кризе (не протравл., увелич. 100×).

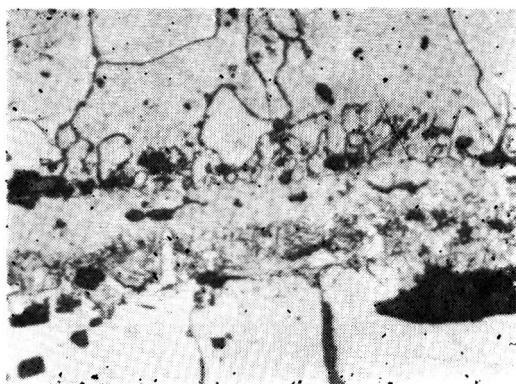
Рис. 12. Структура шлаковых включений (не протравл., увелич. 500×).



Rys. 12

Phot. 11. Les inclusions de la scorie dans le criss malais; sans décapage, gross. 100×.

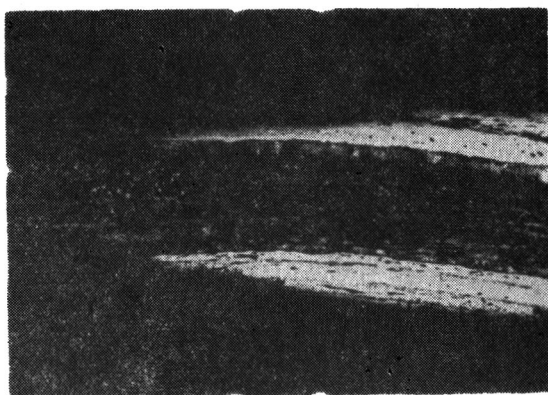
Phot. 12. La structure des inclusions de la scorie dans le criss malais; sans décapage, gross. 500×.



Ryc. 13. Struktura pasma silniej nawęglonego pod większym powiększeniem. Widoczne wtrącenia żużla. Traw. azotalem, pow. 500×

Рис. 13. Структура полосы более науглероженной под большим увеличением. Видны шлаковые включения (протравлен. нитратом, увелич. 500×).

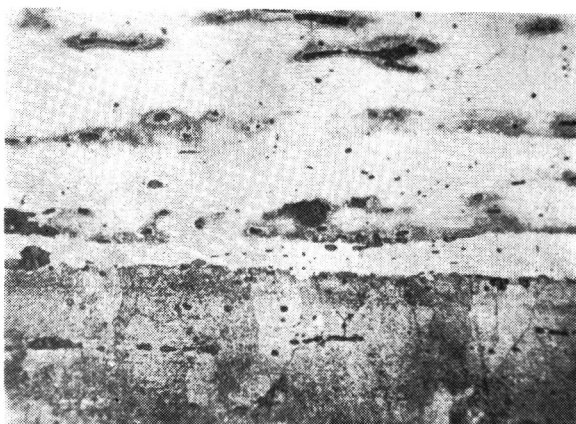
Phot. 13. La structure de la couche carburée plus fort; les inclusions de la scorie; décapage au moyen du nital, gross. 500×.



Ryc. 14. Segregacja fosforu na poprzecznym przekroju krysa: pasmo stali zawierającej mniej fosforu uległo zaciemnieniu, części żelazne — jasne. Traw. odczynnikiem Oberhoffera, pow. 33,3×

Рис. 14] Сегрегация фосфора на поперечном разрезе криса: полоса стали, содержащей меньше фосфора, — темная, части железа — светлые. (протравленные реактивом Обергоффера, увел. 33,3×)

Phot. 14. La ségrégation du phosphore sur la section transversale du criss malais: la couche de l'acier comprenant moins de phosphore devient sombre, les parties de fer sont claires; décapage au moyen d uréactif Oberhoffer, gross. 33,3×.



Ryc. 15. Segregacja fosforu w miejscu zgrzania warstwy stali (u dołu) z warstwą żelaza — u góry. Miejsca o mniejszej zawartości fosforu uległy zaciemnieniu. Traw. odczynnikiem Oberhoffera, pow. 250×

Рис. 15 Отделение фосфора на месте нагревания слоя стали (внизу) со слоем железа (вверху). Места с меньшим содержанием фосфора — темные. (Протравлен. реактивом Обергоффера, увел. 250×)

Phot. 15. La ségrégation du phosphore à l'endroit du soudage de la couche de l'acier (en bas) avec celle du fer (en haut). Les parties où la teneur en phosphore est moindre sont devenues sombres. Décapage au moyen du réactif Oberhoffer, gross. 250×.

Można więc przypuszczać, że warstewki te nie były pasmami stali, lecz powstały w wyniku wtórnego nawęglania powierzchni pręta żelaznego, który następnie pakietowano — stąd uzyskano zwielokrotnienie pasemek.

Ponadto określono wielkość ziarn ferrytu — według normy PN-56/H-04507 — jako odpowiadającą klasie 6. Granice ziarn w pasmach nawęglonych nie były dostatecznie wyraźne, aby można było określić ich wielkość.

Pomiary mikrotwardości ferrytu w dwóch miejscach, przy użyciu mikrotwardościomierza Hanemanna, dały wynik 188 i 194 kG/mm², większe różnice twardości wykazały ziarna troostytu iglastego (martensytu?) w trzech miejscach; pomiary mikrotwardości tych ziarn dały wynik 319, 387 i 408 kG/mm². Każdy wynik jest średnim z pięciu.

Twardość metalu określona sposobem Vickersa przy obciążeniu 10 kG w ciągu 15 s wynosiła 187 kG/mm².

Ponieważ wielkość próbki, jaką można było wyciąć z głowni była ograniczona, wykonano tylko oznaczenia zawartości fosforu i niklu metodą fotometryczną. Analiza (średnia dla wszystkich warstw) wykazała zawartość 0,10% P i 0,54% Ni. Ze względu na bardzo niewielką ilość metalu poddanego analizie jej dokładność może być ograniczona.

Ponadto jakościowa analiza spektrograficzna wykazała obecność (oprócz Fe, C, Si, Mn, P, S): Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Mg, Ni, Nb, Sn, Ti, Zn oraz — ewentualnie — ślady ostatnich linii Ag i przypuszczalnie V.

4. BADANIA ROZŁOŻENIA DOMIESZEK W METALU PRZY UŻYCIU MIKROANALIZATORA RENTGENOWSKIEGO

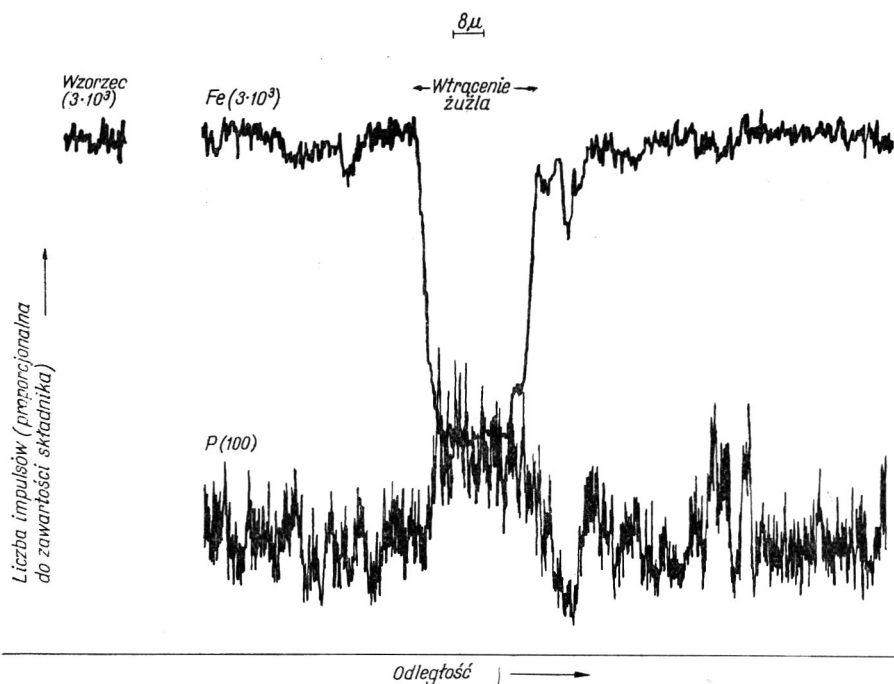
Po ukończeniu opisanych analiz ogólnie stosowanymi metodami w laboratoriach metaloznawczych przeprowadzono dodatkowe badania przy pomocy mikroanalizatora rentgenowskiego⁸. To nowe urządzenie, dotąd prawie niestosowane jeszcze w badaniach dawnych przedmiotów żelaznych wykorzystano w celu ujawnienia rozłożenia poszczególnych domieszek w zaobserwowanych warstwach metalu o różnej strukturze.

Badania przeprowadzono przy użyciu mikroanalizatora rentgenowskiego firmy Cameca typ M-46. Stosowano liniową metodę badań przy napięciu 20 kV, natężeniu 120 μ A o średnicy wiązki elektronów 1 μ m. Przesuw próbki był równy 200 μ m/min, lub przy większych powierzchniowo obszarach — 75 μ m/min, a przesuw taśmy rejestratora — 25 mm/min.

Przed każdym pomiarem określano poziom wzorca dla każdego pierwiastka, a po zakończeniu pomiaru — poziom tła (tzn. poziom zerowy), co pozwoliło na ilościowe określanie zawartości poszczególnych pierwiastków w metalu.

Zmiany zawartości Fe (żelaza) i P (fosforu) w metalu, z jakiego został wykuty krysz, a ściślej — jego części zewnętrzne (wzorzyste) przed-

⁸ Analizę przeprowadziła mgr J. Bryniarska z Instytutu Odlewnictwa w Krakowie. Wyniki analiz zaczerpnięto z pracy: J. Bryniarska, J. Piaskowski: *Zastosowanie mikroanalizatora rentgenowskiego technologii* (w przygotowaniu do druku).



Ryc. 16. Wykres zmian zawartości Fe i P w strukturze krysa malajskiego

Рис. 16. График изменения содержания Fe и P в структуре малайского криса.

Phot. 16. Le graphique présentant les changements de la teneur en Fe et P dans la structure du criss malais.

stawiono na ryc. 16. Jak widać z tego wykresu, zarówno w warstwach żelaza (o strukturze ferrytycznej), jak i w warstwie nawęglonej jest ona prawie równa (ok. 99%) z tym jednak, że w tej ostatniej warstwie ilość Fe jest nieznacznie mniejsza; wyjaśniła to dalsza analiza, która wykazała w warstwie nawęglonej większą zawartość — poza węglem — innych domieszek (niklu).

Minima na krzywej zawartości Fe wypadają w miejscach, gdzie występowały wtrącenia żużlu, tam też wyższa była zawartość fosforu. Ilościowe określenie zawartości Fe w żelazie czy w warstwie nawęglonej nie było celowe, natomiast wyliczono przybliżoną zawartość żelaza we wtrąceniu żużla uzyskując wynik 44,2% Fe. Taka ilość Fe występuje istotnie w żużlu dymarskim⁹.

Należy zaznaczyć, że obliczona wielkość ma charakter pierwszego przybliżenia, gdyż w obliczeniach nie uwzględniono poprawek na absorpcję, fluorescencję, różnice liczb atomowych pierwiastków znajdujących się w metalu itp.

Brak wzorca uniemożliwiał oznaczenia zawartości fosforu w żelazie i w żużlu (określona metodą fotometryczną zawartość fosforu w kry-

⁹ Por. J. Piaskowski: *Klasyfikacja dawnego żużla dymarskiego, występującego na ziemiach Polski w świetle statystycznej analizy składu chemicznego*. „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” T.14:1966 z.2 s.335.

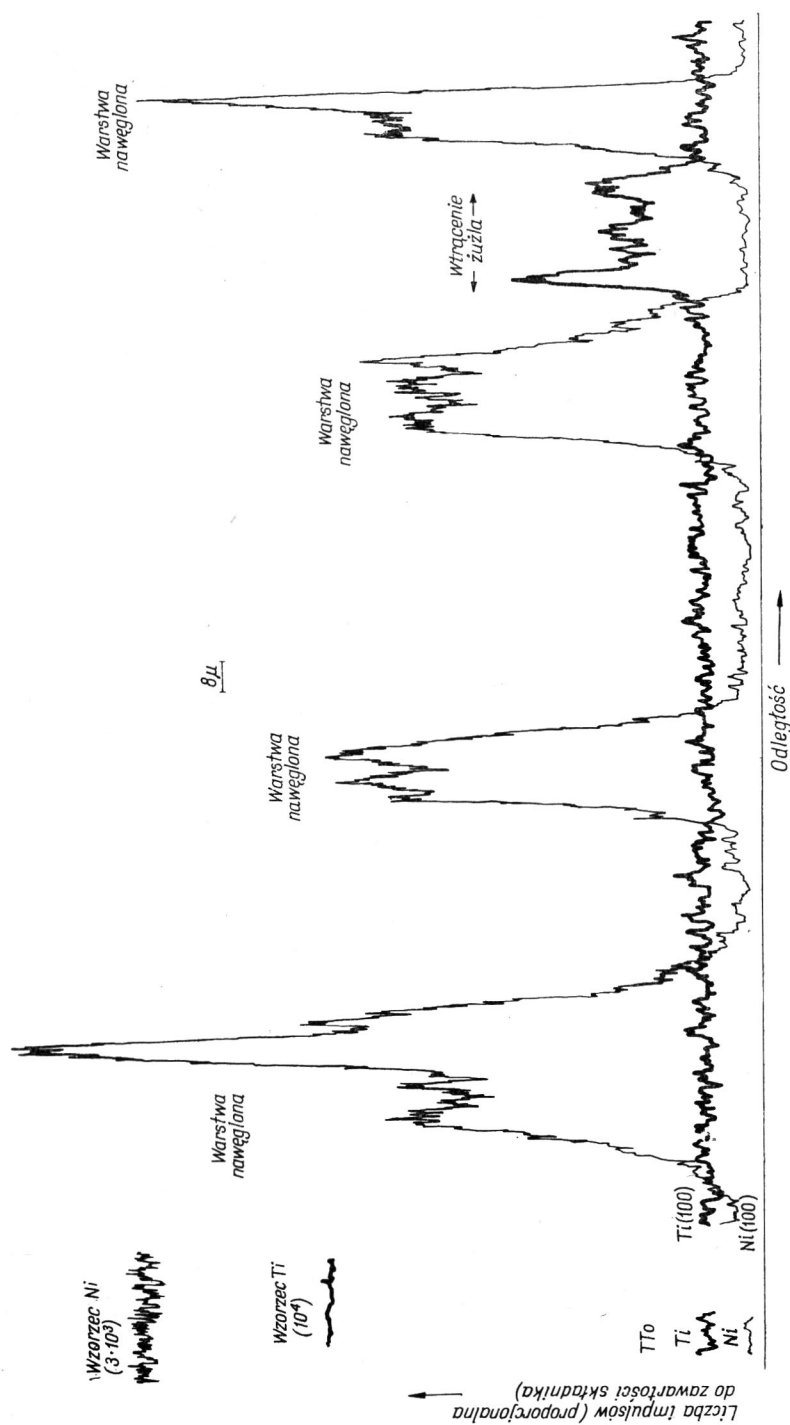


Рис. 17. Wykres zmian zawartości Ni i Ti w strukturze krysa mалайського

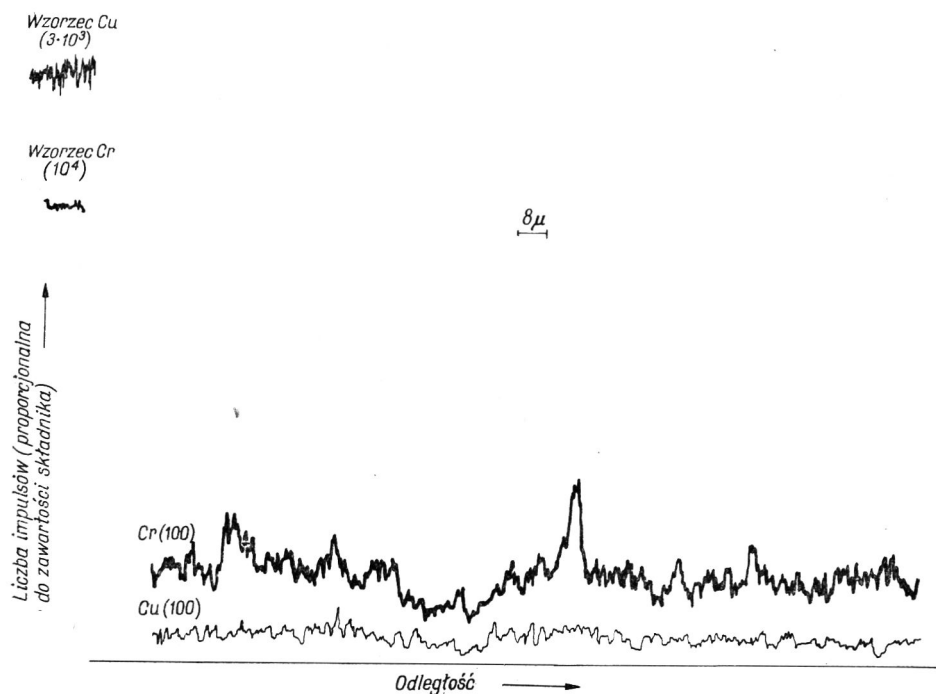
Рис. 17. График изменений содержания Ni и Ti в структуре малайского криса.

Phot. 17. Le graphique présentant les changements de la teneur en Ni et Ti dans la structure du criss malais.

sie — 0,10% P — jest wielkością uśrednioną obejmującą metal wraz z zawartym w nim żużlem), określono natomiast — w pierwszym przybliżeniu — stosunek P w metalu do zawartości P w żużlu. Stosunek ten był równy 0,5 tj. zawartość fosforu w żużlu była 2 razy wyższa niż w metalu¹⁰.

Ciekawy wynik dała analiza rozłożenia Ni i Ti na poprzecznym przekroju krysa malajskiego (ryc. 17). Otóż w warstwach silniej nawęglonych występowała wyraźna segregacja niklu. W miejscach tych zaobserwowano regularne maksima (por. ryc. 17), w których zawartość Ni sięgała 3,3—3,9% Ni, przeciętnie w warstwach nawęglanych zawartość niklu wynosiła 1,8—2,0% Ni.

W warstwach żelaza dymarskiego o strukturze ferrytycznej, a także we wtrąceniach żużla zawartych w żelazie zawartość niklu była bardzo niska tj. bliska zeru (poziom tła). Należy tu jednak dodać, że



Ryc. 18. Wykres zmian zawartości Cu i Cr w strukturze krysa malajskiego

Рис. 18. График изменений содержания Cu и Cr в структуре малайского криса.

Phot. 18. Le graphique présentant les changements de la teneur en Cu et Cr dans la structure du criss malais.

¹⁰ Wynik ten jest całkowicie zgodny ilościowo z wyznaczoną przez autora zależnością pomiędzy zawartością fosforu w żelazie i w żużlu dymarskim. Por. J. Piaskowski: *Zależność pomiędzy zawartością fosforu w rudzie i w żużlu dymarskim*. „Studia i materiały z dziejów nauki polskiej” Seria D 1973 z.7 s. 47. Por. także J. Piaskowski: *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych produkowanych przez starożytnych hutników w Górach Świętokrzyskich w okresie wpływów rzymskich (I — IV w. n.e.)*. „Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa” T.6: 1963 s. 33.

wyniki te (podobnie jak i podane w dalszej części niniejszej pracy) należy traktować jako przybliżenie, gdyż przy ich obliczaniu nie uwzględniono poprawek na absorpcję, fluorescencję, różnice liczb atomowych pierwiastków znajdujących się w metalu itd.

Średnia zawartość niklu w krysie malajskim — jak już podano — wynosiła 0,54% Ni. Przyczyną tego była bardzo niewielka masa warstewek nasyconych niklem w stosunku do masy metalu.

Tytan występował w ilościach śladowych i był rozłożony dość równomiernie tj. ilość tej domieszki, zarówno w warstwach żelaza (o strukturze ferrytycznej), jak i w warstwach nawęglonych była prawie jednakowa, natomiast we wtrąceniu żuźła zawartość tej domieszki była większa i wynosiła ok. 0,17% Ti dochodząc maksymalnie do 0,39% Ti.

Miedź występowała w ilościach śladowych zarówno w warstwach żelaza o strukturze ferrytycznej, jak i w warstwach nawęglonych.

Pewne różnice wystąpiły w rozłożeniu chromu, domieszki prawie nie występującej w dotychczas zbadanych przez autora dawnych przedmiotach żelaznych. Chrom nie występował prawie wcale we wtrąceniach żuźła, natomiast zawartość tej domieszki była nieco wyższa w warstwach silniej nawęglonych, aniżeli w warstwach o strukturze ferrytycznej.

Badania przeprowadzone przy pomocy mikroanalizatora rentgenowskiego potwierdziły więc wyniki jakościowej analizy spektrograficznej, która wykazała obecność Cr w żelazie dymarskim użytym do wyrobu krysa.

5. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Na podstawie trzech zbadanych kryków i paru dość ogólnikowych wzmianek w źródłach pisanych trudno wyjaśnić sposób wyrobu kryków malajskich. Dane te pozwalają nam jednak ogólnie zorientować się w technice stosowanej przy wyrobie kryków. W każdym jednak razie widoczne jest, że krysy malajskie nie były wykonane z jednego metalu — jak „damasceńskie” głównie z bułatu lub głównie stalowe poddane selektywnemu wytrawianiu, lecz z dwóch rodzajów: z żelaza (jak okaz z Muzeum Wojska Polskiego w Warszawie) lub dość miękkiej stali (to jest o niezbyt wysokiej zawartości węgla) i z twardej stali (jednak nie tak twardej jak bułat), zawierającej około 0,8% węgla.

Charakterystyczne wtrącenia żuźła wskazują, że zarówno metal silniej, jak i słabiej nawęglony został wytopiony sposobem dymarskim tj. przez redukcję rudy węglem drzewnym przy czym uzyskiwano bryłę metalu w stanie stałym, silnie zanieczyszczoną wtrąceniami żuźła. Podczas przeróbki kowalskiej żużel ten częściowo usuwano, resztki jednak pozostały w metalu.

Szczególne znaczenie posiada wynik badań przy użyciu mikroanalizatora rentgenowskiego wskazujący na zwiększoną zawartość niklu w warstwie nawęglonej, sięgającą do 3,3—3,9% Ni. Wyjaśnienie tego zjawiska wiąże się ściśle z technologią wykonywania kryków. Jeśli warstewki nawęglane były wynikiem zgrzewania prętów stalowych umieszczonych pomiędzy prętami żelaznymi wówczas można byłoby przyjąć, że stal ta zawierała nikiel. Tak niskie zawartości niklu zdarzają się

wprawdzie w meteorytach¹¹, jednak metal tego rodzaju mógł być również wytapiany przez człowieka sposobem dymarskim z mieszanych rud żelazowo-niklowych¹².

Jednak przeprowadzone obserwacje metalograficzne wskazują, że nawęglone warstewki były raczej wynikiem cementacji, tj. wygrzewania prętów żelaznych w węglu drzewnym itp. substancjach nawęglających. Otóż możliwe jest, że przy tym procesie stosowano jakąś substancję o wysokiej zawartości niklu, której identyfikacja jest w tej chwili trudna, gdyż w dotychczasowych pracach nie znaleziono danych wskazujących na stosowanie tego rodzaju procesu w dawnych wiekach (przynajmniej w Europie). Nie jest wykluczone, że stosowano do tego celu rozdrobnioną stal wysokoniklową, np. zawierającą ok. 20% Ni, a więc tyle, ile występuje w meteorytach, jednak nie ma poza tym innych danych, które wskazywałyby na używanie meteorytów przy wyrobie kryków. Produkcja kryków była zbyt rozpowszechniona, aby znaleziska meteorytów mogły zaspokoić potrzeby wytwórców tych ozdobnych noży.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyjaśnić czym jest miękniejszy rodzaj metalu używany przy wyrobie kryków, określane jako „Pamor”. Nie jest to — jak już wspomniano opierając się na zgodnych wynikach badań — żelazo meteorytowe, nic też nie przemawia, aby to było żelazo utwardzane na zimno, proces ten bowiem, w przypadku takich wyrobów, jak kryk zawierający już twardą wkładkę stalową, nie miałby widocznego wpływu na własności krysa.

„Pamor” jest natomiast żelazem, które poddano niezbyt głębokiemu nawęglaniu powierzchni — być może stosując przy tym substancję zawierającą nikiel — a następnie pakietowano uzyskując w ten sposób pręt żelazny zawierający równoległe do powierzchni warstewki nawęglone. Była do właśnie część dająca, po odpowiedniej przeróbce, charakterystyczny wzór na powierzchni krysa. Podobny proces stosowali kowale japońscy przy wyrobie słynnych ozdobnych mieczów¹³.

Tak więc technika wykonania polegała na zgrzewaniu trzech prętów ułożonych wzdłuż głównej płaszczyzny symetrii krysa. Dwa pręty zewnętrzne wykonane były z żelaza nie nawęglonego, ewentualnie nasyczonego niklem i pakietowanego („Pamor”), jeden — umieszczony pomiędzy nimi — z niskofosforowego metalu, częściowo nawęglony.

Określenie sposobu wykonywania warstwy środkowej mającej grubość ok. 0,5 mm natrafia na pewne trudności. Warstwa ta wykazywała silniejsze nawęglenie (do około 0,5% C), jednak tylko w pobliżu obu krawędzi tnących; w części środkowej struktura tej warstwy była ferrytyczna, podobnie jak obu zewnętrznych warstw żelaznych. Warstwa środkowa w tej części różniła się więc od tych ostatnich tylko nieco niższą zawartością fosforu.

Trudno przyjąć, że warstwa środkowa była stalą o nierównomiernym nawęgleniu (pierwotnym), które znalazło się w pobliżu obu kra-

¹¹ Por. G.F. Zimmer: *The use of meteoric iron by primitive men*. „Journal of the Iron and Steel Institute” T. 94: 1916 s. 306.

¹² Por. J. Piaskowski: *O produkcji żelaza wysokoniklowego w starożytności*. „Acta Archaeologica Carpathica” T. 11:1969—1970 z.2, s. 319.

¹³ M. Chikaschige: *Alchemy and other chemical achievements of the orient*. Tokyo 1936. Por. C.S. Smith: *A History of metallography*. Chicago 1960, s. 47.

wędzi tnących krysa, choć za taką ewentualnością przemawiają przytoczone opisy. Z drugiej jednak strony nawęglanie to nie wykazywało gradientu zawartości węgla, charakterystycznego dla procesu nawęglania (wtórne), co przemawiałoby przeciw stosowaniu tego procesu. Możliwe jednak, że środkowy pręt wykuto z żelaza i poddano z dwóch stron nawęglaniu, a podczas dalszej przeróbki, zgrzewaniu z dwoma zewnętrznymi warstwami żelaza. W wyniku dyfuzji nastąpił zanik charakterystycznego gradientu zawartości węgla.

Nie wiadomo, czy żelazo o niższej zawartości fosforu, nawęglane w miejscach z którego ukształtowane było ostrze (żelazo często o nierównomiernym nawęglaniu) było innego pochodzenia, aniżeli żelazo na warstwy zewnętrzne (nawęglane i pakietowane). Wniosek taki wymaga potwierdzenia opartego na badaniach kilku jeszcze kryków.

Dalsza przeróbka złożonych już trzech warstw: środkowej z nawęglanymi ostrzami i dwóch zewnętrznych nawęglonych i pakietowanych polegała na pofalowaniu głównej drogą kucia, zeszlifowaniu zgrubień i obróce cieplnej (przypuszczalnie było to ulepszanie cieplne, to jest hartowanie i odpuszczanie); dalej głównie szlifowano dodatkowo (oczyszczając ze zgorzeliny), polerowano i poddawano wytrawianiu powierzchni rozcieńczonymi kwasami dla ujawnienia wzoru.

Zgrzewane warstwy żelaza i stali (a także powierzchni ich zgrzania) były w krykach malajskich równoległe do głównej płaszczyzny symetrii głównej, podczas gdy w zgrzewanych mieczach rzymskich i innych wyrobach z Europy powierzchnie zgrzewania analogicznych warstw były prostopadłe lub skośne do głównej płaszczyzny symetrii głównej. Dalsza, mniej lub więcej charakterystyczna różnica obu tych rodzajów ozdoby głównej polegała na tym, że przy wyrobie kryków — oprócz zgrzewania stosowano także nawęglanie powierzchni, który to proces — z wyjątkiem pewnego specyficznego przypadku — nie był stosowany przy wyrobie omawianych zgrzewanych głów w wzorzystych w Europie, w których układ warstw różniących się zawartością węgla był prostopadły lub skośny do powierzchni głównej.

Kryk zbadany przez C. Panseri'ego był właśnie paddany takiemu powierzchniowemu nawęglaniu, natomiast przy wyrobie kryka z Muzeum Narodowego w Warszawie proces ten nie był stosowany.

Różnica ta miała wpływ na rodzaj wzoru i własności głównej. Technologia kryków malajskich nie pozwalała na taką różnorodność wzorów ozdobnych na powierzchni głównej, jak technologia stosowana w Europie. Zasadniczo, istniał bowiem tylko jeden typ techniki wyrobu i rodzaju wzoru na krykach malajskich; różnice w odstępach linii poprzecznych na głównej nie miały istotniejszego wpływu na wygląd głównej i jej właściwości.

Natomiast technologia stosowana przy wyrobie zgrzewanych głów w wzorzystych w Europie, w których powierzchnie zgrzewania były prostopadłe lub skośne do głównej płaszczyzny symetrii głównej, dawała niezwykle szerokie możliwości stosowania rozmaitych wzorów ozdobnych (w których jeden element periodycznie w zasadzie powtarzał się). Stąd też istniały bardzo rozmaite wzory na tego typu wyrobach, wymieniane ich tu nie mieści się jednak w temacie niniejszego opracowania.

Własności obu opisywanych typów głównej wzorzystych były zbliżone. Wydaje się, że krysy malajskie były bardziej sprężyste i mniej

sztywne, choć znaczny był wpływ składu warstw, ich grubości, a zwłaszcza składu metalu (zawartości różnych domieszek, przede wszystkim fosforu) i obróbki cieplnej.

W ten sposób krysy malajskie, jak wskazują przytoczone źródła pisane oraz wyniki badań metaloznawczych, m.in. okazji z Muzeum Wojska Polskiego w Warszawie, reprezentują pewną specyficzną technikę i związany z tą techniką charakterystyczny wzór. Technika ta, polegająca na zgrzewaniu warstw z dwóch stopów żelaza różniących się stopniem nawęglania i zawartością fosforu, ułożonych wzdłuż głównej płaszczyzny symetrii główki, na pofalowaniu główki i usunięciu drogą szlifowania zgrubień — przy ewentualnym zastosowaniu nawęglania — jest najprostszym i najłatwiejszym sposobem¹⁴ uzyskania ozdobnej główki o trwałym, nie zanikającym wzorze¹⁵.

Mogą tu istnieć pewne drobne różnice w technice wykonania kryków, na co wskazują już zbadane trzy okazy. Różnice te będą polegać na przykład, na doborze metalu silniej i słabiej nawęglonego, na nawęglaniu powierzchni lub niestosowaniu tego procesu na różnym ukształtowaniu wzoru itp. Poznanie tych subiektywnych różnic będzie wymagało zbadania dalszych kryków.

E. Пяkowski

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МАЛАЙСКИХ КРИКОВ

Описав результаты исследований малайских криков, произведенных до настоящего времени учеными Г. Якобсеном и К. Панцери, автор назвал библиографические источники о технике производства криков и представил результаты собственных исследований.

Малайский крик из Музея польской армии сваривали давлением из двух полос сыродутного железа и находящегося между ними слоя железа с более низким содержанием фосфора, науглероживанным около острия (стали). Темные трещинки на поверхности крика создают слой металла, который науглерожен сильнее (стали). Кроме среднего слоя, толщиной около 0,5 мм, находящегося в середине сечения клинка, все остальные науглероженные слои были очень тонкими (0,02—0,05 мм); такими же тонкими были слои железа (0,05—0,1 мм). Исследования при помощи рентгеновского микроанализатора показали, что в науглероженных слоях появляется высокое содержание никеля (примерно 1,8—3,9% никеля), в то время как в слоях с ферритной структурой и в шлаковом включении никель появляется в очень малом количестве.

Величина зерен феррита отвечала классу 6, их микротвердость составляла 188 и 194 кг/мм². В слоях стали появляется игольчатый троостит и измерение его микротвердости дали следующие результаты — 319, 387 и 408 кг/мм². Довольно значительные различия в измерениях произошли, вероятно, в результате неравномерного науглероживания. Твердость металла проверена по методу Вюкенса и равна 187 гк/мм². Химический анализ показал в

¹⁴ Prosta metoda było jedynie selektywne wytrawianie hartowanej główki stalowej, pozwalające zdobić powierzchnię dowolnym wzorem. Wzór ten jednak nie był trwały, z czasem zacierał się i aby go poprawić, trzeba go było właściwie robić na nowo.

¹⁵ Należy zaznaczyć, że w niektórych główniach produkowanych w Europie w czasach nowożytnych stosowano tego samego rodzaju technikę zgrzewania jak w krykach malajskich. Przykładem tego mogą być głównie firmy Alexander Koppel z Solingen. Próbkę takiego metalu badał B. Zschokke: *Du damassé et des lames de Damas*. „Revue de Métallurgie” Mémoires. T. 21:1924 s. 635.

среднем 0,10% Р и 0,54% Ni. Кроме того, спектрографический анализ показал, что кроме Fe, C, Si, Mn, P, S, присутствуют A, Ba, Ca, Cu, Mg, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn, а также следы последних линий Ag и, вероятно, V.

Послековки криса был подвергнут аккуратно и точно проведенной термической обработке.

Технология производства криса состояла в согревании трех стержней. Два внешние слои были сделаны из железа с большим содержанием фосфора, предварительно науглероженного на поверхности, как нам кажется, цементированного веществом, содержащим никель. В дальнейшем эти стержни были пакетированы и отсюда получался металл, содержащий слои с более или менее низким содержанием угля. В дальнейшем между двумя такими стержнями помещали стержень из стали или из железа с низким содержанием фосфора, который имел науглероженные края; после науглероживания они были острием криса.

Далее путемковки делали на крисе поперечные углубления, а получающиеся „горки” спиливали. Таким образом, открыли поперечные линии, слои науглероженного металла. После соответствующей термической обработки (вероятно, после закалки и отпуска), шлифовки, полировки поверхности и травления ее разбавленной кислотой, получали нужный образец.

Явно видно, что Памор, из которого сделаны внешние слои клинка, это не метеоритное железо, но и не железо, которое получило твердость от холоднойковки. Это — сырдутное железо, подвергнутое поверхностному науглероживанию и пакетированию; такую же самую технику применяли японские кузнецы при изготовлении известных мечей, служащих как украшение.

J. Piaskowski

LA TECHNOLOGIE DE LA PRODUCTION DES CRISS MALAIS

Après avoir décrit les résultats des recherches en cours de H. Jacobsen et C. Panseri concernant les criss malais, ainsi qu'après avoir cité la bibliographie concernant la technique de la production de ces poignards, on a présenté les résultats de ses propres études.

Le criss malais du Musée de l'Armée Polonaise à Varsovie a été soudé de deux bandes de fer à loupes et de la couche de fer, située entre elles, avec moindre teneur en phosphore et carburée sur la pointe (l'acier). Les couches du métal cémenté fort (l'acier) forment à la surface du criss de sombres lignes. Excepté la couche centrale d'épaisseur environ 0,5 mm, qui se trouve au milieu de la section de la lame, d'autres couches carburée étaient très fines (0,02—0,05 mm); les couches de fer étaient fines aussi (0,05—0,1 mm). Les contrôles que l'on a faits au moyen du microanalyseur radiographique ont démontré que dans les couches carburée la teneur en nickel était considérable (1,8—3,9% Ni), tandis que dans les couches dont la structure était ferritique et dans les inclusions de la scorie, on ne trouvait que des traces du nickel.

La grandeur des grains de la ferrite était conforme à la 6^e classe et leur microdureté s'élevait à 188 et 194 kG/mm². Dans les couches de l'acier, on a trouvé du troostite aciculaire et les mesures de sa microdureté ont donné les résultats qui suivent: 319, 387 et 408 kG/mm²; la dispersion assez considérable est probablement le résultat de la carburation disproportionnée. La dureté du métal mesurée selon la méthode Vickers s'élevait à 187 kG/mm².

L'analyse dynamique moyenne a démontré 0,10% P et 0,54% Ni. En plus, l'analyse spectrographique a démontré, sauf Fe, C, Si, Mn, P et S, la présence

de A, Ba, Ca, Cr, Cu, Mg, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn ainsi que les traces de dernières lignes de Ag et probablement de V.

Après le forgeage, le criss était soumis au traitement thermique exécuté habilement.

Donc, la technologie de la production du criss consistait en soudage de trois barres. Deux barres extérieures ont été faites en fer où la teneur en phosphore était plus considérable et qui était auparavant cimenté à la surface — comme il semble — de la substance comprenant le nickel. Les barres ont été ensuite empilées et de cette façon on a reçu le métal renfermant en lui les couches où la teneur en charbon était plus ou moins considérable. Ensuite, entre ces deux barres, on plaçait une autre en acier ou bien en fer où la teneur en phosphore était moindre; cette dernière barre a eu les arrêtes carburées qui après de soudage devenaient les pointes du criss.

Ensuite, au moyen du forgeage, on faisait sur le criss des creux et des tétons transversaux; ces derniers ont été soumis au limage. De cette façon paraissaient les lignes transversales, c'est-à-dire les couches du métal carburé. Après le traitement thermique convenable (probablement la trempe et le revenu), après le meulage, le polissage de la surface et après son décapage au moyen de l'acide dilué — on obtenait le modèle caractéristique.

Il est évident que „Pamor”, avec lequel on fabriquait les couches extérieures de la lame, n'est pas le fer d'aérolithe ou bien le fer endourci pendant le forgeage à froid; il est cependant le fer à loupes cimenté superficiellement et empilé. La même technologie a été appliquée par les forgerons japonais dans la production de nouveaux célèbres glaives.