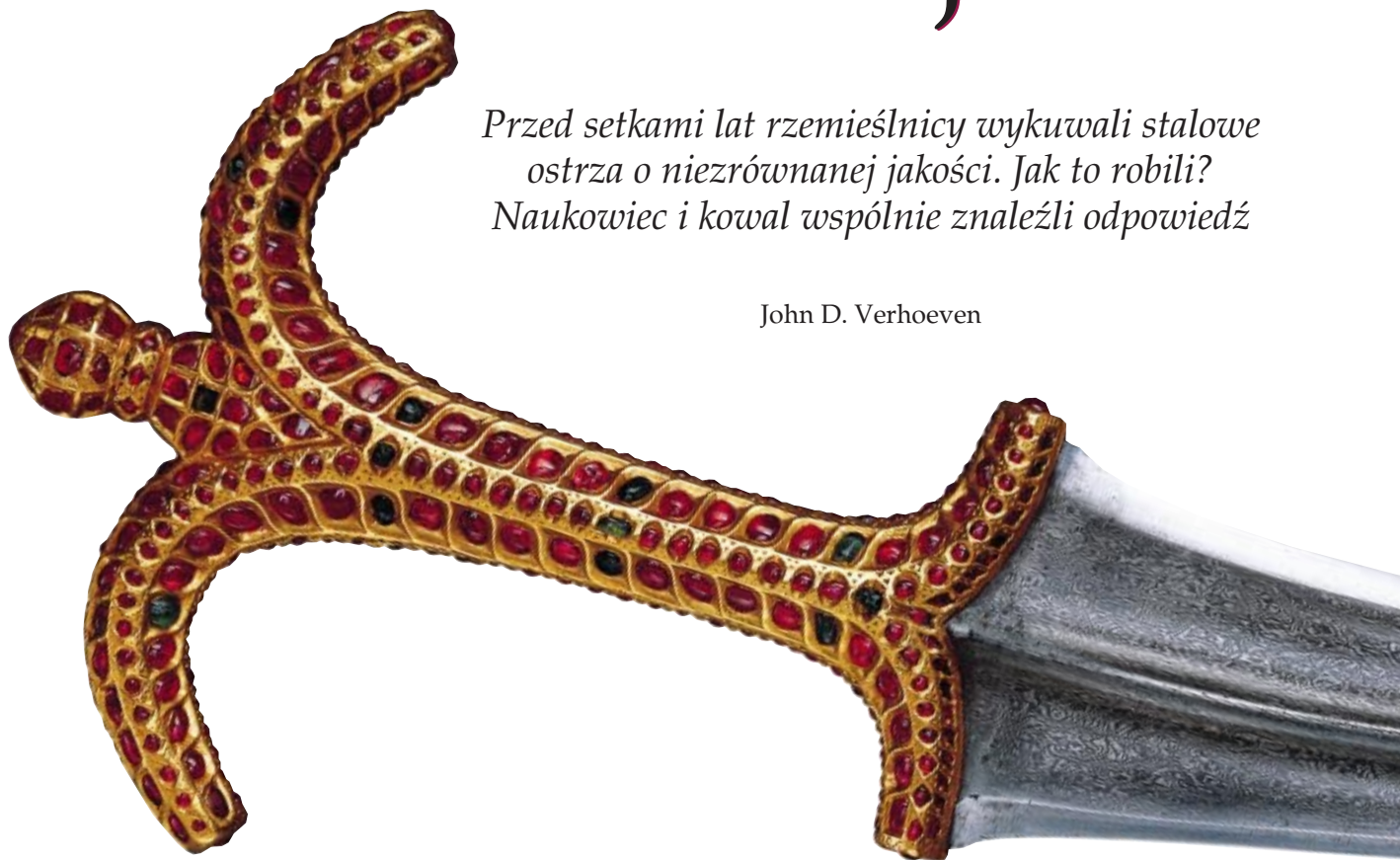


Tajemnica damasceńskiej stali

Przed setkami lat rzemieślnicy wykuwali stalowe ostrza o niezrównanej jakości. Jak to robili? Naukowiec i kowal wspólnie znaleźli odpowiedź

John D. Verhoeven



Począwszy od epoki brązu aż po XX wiek używano miecza czy też szabli jako broni. Armie wyposażone w lepszą broń zyskiwały od razu wyraźną przewagę taktyczną. Damasceńskie szable, z którymi rycerze z zachodniej Europy zetknęli się w czasach wypraw krzyżowych, miały, jak się powszechnie uważa, najlepsze klingi¹ na świecie.

Te szable, początkowo wytwarzane w Damaszku² (położonym dziś na terenie Syrii), cechowały się dwiema właściwościami niespotykanymi w europejskiej broni siecznej. Jedną z nich był falisty wzór dekorujący ich powierzchnię, znany dziś jako wzór damasceński [ilustracja powyżej]. Drugą, znacznie ważniejszą była niewiarygodnie ostra krawędź głowni. Legendy mówią o damasceńskich szablach przecinających jedwabną chustkę frunącą w powietrzu, czego nie można było dokonać żadnym z europejskich mieczy.

Pomimo sławy i użyteczności tych ostrzy Europejczycy nigdy nie zdołali odkryć, jak wytwarzano stal damasceńską, używaną również do wyrobu sztyletów, toporów i grotów włóczni. Najznakomitsi europejscy metalurdzy i kowale nie potrafili jej odtworzyć nawet wówczas, gdy dokładnie zbadali oryginalne egzemplarze. Ta sztuka została zapomniana nawet w krajach, z których pochodziły. Eksperci są raczej zgodni, że ostatnie damasceńskie ostrza wysokiej jakości wytworzono na początku XIX stulecia. Jednak niedawno udało się nam, znakomitemu kowalowi i mnie, jak wierzymy, odkryć sekret dawnych mistrzów.

Nie jesteśmy pierwszymi, którzy twierdzą, że znaleźli rozwiązanie. My jednak wytworzyliśmy wierne repliki legendarnej broni. Dowód jakiegokolwiek teorii dotyczącej wytwarzania damasceńskich szabel i sztyletów powinien spełniać kilka warunków: repliki muszą być zrobione z tych samych mate-

riałów wyjściowych, co oryginały; końcowe wyroby muszą mieć ten sam damasceński wzór; ten sam skład chemiczny i taką samą mikrostrukturę widoczną pod mikroskopem.

Prawdziwa damasceńska stal

Oryginalną damasceńską broń wytwarzano w wielu miejscach muzułmańskiego Bliskiego i Dalekiego Wschodu, z niewielkich wlewków stali (stopu żelaza z węglem) dostarczanych z Indii. Te materiały wyjściowe nazywano od około początku XIX wieku wlewkami „wootz”, lub plackami „wootz” (jest to zanglicyzowana wersja lokalnej nazwy „ukku”, używanej w indyjskich stanach Karnataka i Andhra Pradesh – przyp. tłum.). Miały one kształt podobny do krążka hokejowego o średnicy około 10 cm i wysokości trochę mniejszej niż 5 cm. Z najdawniejszych przekazów angielskich obserwatorów w Indiach wiemy, że da-

masceńskie ostrza wytwarzano z tych wlewków bezpośrednio przez wielokrotne nagrzewanie i przekuwanie. Stal „wootz” zawiera około 1.5% węgla i niewielkie ilości domieszek, takich jak krzem, mangan, fosfor i siarka.

Przyciągający oko wzór powierzchniowy widoczny na damasceńskich głowniach można jednak otrzymać również w inny sposób. Współcześni kowale artyści potrafili połączyć ze sobą (zespolic) wiele warstw nisko- i wysokowęglowej stali przez kolejne operacje nagrzewania i kucia, tworząc złożone „kompozyty”. Takie zespawanie przez przekuwanie – „zespawanie wzorzyste” – ma na Zachodzie tradycję sięgającą starożytnego Rzymu; podobne metody stosowano w Japonii i Indonezji. Jednak struktura wewnętrzna powstająca w wyniku takiej obróbki jest całkowicie inna od tej w damasceńskich ostrzach. Dla odróżnienia tych dwóch sposobów wytwarzania ostrzy będę używał nazwy spajana damasceńska stal w odniesieniu do tej, którą otrzymywano, przekuwając razem różne gatunki stali, a nazwy stal „wootz” dla materiału, z którego wytwarzano ostrza omawiane w tym artykule.

Europejski kolekcjoner Henri Moser podarował cztery głownie B. Zschokke’emu, który po ich przecięciu dokonał analiz chemicznych i zbadał mikrostrukturę. Resztki ostrzy znalazły się w Muzeum w Bernie w Szwajcarii, a ono z kolei podarowało mi niedawno niektóre z nich do dalszych badań.

Po zbadaniu tych cennych próbek stwierdziłem, że znajdują się w nich pasma wydzieleni węgla żelaza Fe_3C , zwanego cementytem. Te cząstki węgla mają zwykle 6–9 μm średnicy, są kuliste i ciasno ułożone w pasmach znajdujących się w odległości 30–70 μm od siebie, równoległych do powierzchni ostrza niczym włókna w desce. Po wytrawieniu ostrza kwasem węglowym widoczne są jako jasne obszary w ciemnej osnowie. Podobnie jak słoje wzrostu pnia drzewa stają się widoczne na wyciętej z niego desce, tak pofałdowania warstw węglaków powodują pojawianie się zaświetłego damasceńskiego wzoru na powierzchni broni. Cząstki węgla są bardzo twarde. Prawdopodobnie właśnie takie rozmięszczenie warstewek węglaków w bardziej elastycznej osnowie sprawia, że damasceńska głownia łączy

nikami badań naukowych i bardzo uważnie śledzić przebieg doświadczeń. W roku 1993 wraz z jednym ze studentów z Iowa State University pojechałem do Gainesville na Florydzie, do warsztatu Pendraya, gdzie zainstalowaliśmy termoparę i pirometr kontrolowane przez komputer, do rejestrowania temperatur podczas spienienia i przekuwania stali w naszych eksperymentach.

Początkowo próbowałem wykonać ostrza w sposób zaproponowany przez Wadswortha i Sherby’ego, ale nie udało nam się uzyskać ani właściwej mikrostruktury, ani damasceńskiego wzoru na powierzchni. Następnie w ciągu kilku lat opracowaliśmy metodę, którą dziś Pendray z powodzeniem stosuje do wytwarzania replik broni z damasceńskiej stali „wootz”. Udało mi się również odtworzyć wzór znany jako drabina Mahometa [ilustracja na stronie 75], spotykany na niektórych, najlepszych egzemplarzach starej muzułmańskiej broni. Zafalowania w tym wzorze układają się, podobnie jak szczeble drabiny, wzdłuż ostrza. Uznawano je za symbol drogi, którą wierni wspina się do nieba.



SZTYLET ze stali damasceńskiej wykonany w Indiach w czasach panowania dynastii Mogołów około 1585 roku. Ostrze tej znakomitej broni jest ściennione, aby łatwiej przebijało pancerz, złożona rękojeść wysadzana jest rubinami i szmaragdami.

Już w 1824 roku Jean Robert Bréant we Francji, a nieco później Paweł Anosow w Rosji ogłosili, że udało im się odkryć sekretną sztukę muzułmańskich kowali; obydwoj twierdzili, że wytworzyli repliki. W XX wieku pojawiły się inne doniesienia, jedno z ostatnich autorstwa Jeffreya Wadswortha i Olega D. Sherby’ego [„Damascus Steels”; *Scientific American*, luty 1985]. Jednak w żadnym z tych przypadków współcześni rzemieślnicy nie byli w stanie wytworzyć zadowalających ostrzy, mających wygląd zewnętrzny i wewnętrzną strukturę jak dawne oryginały.

Przez długi czas nie mogliśmy porównać składu chemicznego i mikrostruktury współczesnych ostrzy wytworzonych ze stali „wootz” z ich dawnymi odpowiednikami. Damasceńska broń muzealnej jakości jest wartościowym dziełem sztuki i rzadko poświęca się ją na naukowe badania struktury wewnętrznej. Jednak w 1924 roku znany

ostrość twardej krawędzi tnącej ze sprężystością i odpornością na pęknięcie.

Początkowo próbowałem uzyskać mikrostrukturę damasceńskiej stali „wootz” w laboratorium uniwersyteckim. Jednak szybko się zorientowałem, że powinienem współpracować z kimś biegłym w wykuwaniu stalowych ostrzy. Okazało się, że mistrz kowalski Alfred H. Pendray też próbował rozwiązać zagadkę stali damasceńskiej. Sporządził niewielkie wlewki ze stali topionej w piecu ogrzewanym gazem i wykuwał z nich różnego rodzaju ostrza mające często mikrostrukturę zadziwiająco podobną do tej, którą odznaczały się najlepsze damasceńskie głownie.

W 1988 roku zaczęliśmy współpracować. Pendray jako chłopiec nauczył się kowalstwa od swego ojca i w sztuce wykuwania stali przejawiał cierpliwość i zrozumienie. Jednak aby odtworzyć starożytną technikę, musieliśmy wprzeć nasze koncepcje dokładnymi wy-

Nasza metoda [opis na stronie 74] jest w zasadzie podobna do tej, którą opisywali wcześniejsi badacze, są jednak znaczące różnice. Składniki naszego wlewka topiliśmy w zamkniętym tyglu, a potem wykuwaliśmy wlewek, nadając mu ostateczny kształt ostrza. Nasz sukces i to, że mogliśmy się posunąć dalej niż nasi poprzednicy, zależały w istotny sposób od użytego stopu żelaza, węgla i innych pierwiastków (takich jak wanad i molibden, które na nasze potrzeby będziemy nazywać domieszkami), wziętych do wytworzenia stali, od tego, jak długo i w jakiej temperaturze wygrzewany był tygiel, a także od temperatury wielokrotnie przekuwanego elementu i kunsztu kowala.

Opowieść o stali

Jeśli weźmiesz stal zawierającą około 1.5% węgla, dodasz do niej jeden lub kilka innych metali (w zadziwiająco małych

ilościach, około 0.03%), potem poddasz ją pięciu lub sześciu cyklom nagrzewania aż do osiągnięcia określonej temperatury i chłodzenia do temperatury pokojowej, to możesz uzyskać mikrostrukturę ze zgrupowaniami węglików. To właśnie te cząstki węglików powodują pojawienie się charakterystycznego wzoru na powierzchni wykuwanych elementów. Doświadczenia ze starożytną i współczesną bronią wskazują na to, że tworzenie się pasm węglików związane jest w mikroskopowej skali z segregacją pierwiastków domieszek podczas krzepnięcia stygnącego wlewka.

A oto jak zachodzi taka mikrosegregacja: podczas chłodzenia gorącego tygla, kiedy jego zawartość zaczyna krzepnąć, front krystalizującego się stopu zwiększa swoją powierzchnię, przyjmując pofałdowany kształt choinki. Nazywa się go dendrytem. W przypadku stali zawierającej 1.5% węgla bezpośrednio po zakrzepnięciu stop ma strukturę austenitu (roztworu stałego węgla w żelazie gamma). Reszta ciekłego metalu zostaje chwilowo uwięziona w przestrzeniach międzydendrytycznych. Żelazo w stanie stałym może „przyjąć” mniej atomów węgla i atomów domieszek niż ciekłe żelazo, dlatego podczas krzepnięcia stopu w postaci dendrytów austenitu węgiel i inne domieszki mają tendencję do gromadzenia się (segregacji) w pozostałej jeszcze cieczy. Dlatego w tych międzydendrytycznych obszarach, które krzepną najpóźniej, stężenie pierwiastków domieszki może być bardzo duże.

Podczas krzepnięcia stopu i wzrostu dendrytów w obszarach pomiędzy nimi pozostaje sieć atomów domieszek „zamrożona” w austenicie, w miejscu wykrystalizowania (jak sznur paciorków). Kiedy później wlewki poddany zostaje wielokrotnym cyklowi nagrzewania i chłodzenia, to właśnie atomy domieszek sprzyjają wzrostowi szeregów twardych cząstek cementytu tworzących jasne pasma w stali. Można wykazać, że rozmieszczenie takich pasm uwidoczni się jako jasne i ciemne pasma w stali „wootz”. Odległości pomiędzy gałęziami dendrytów wynoszą około pół milimetra; podczas kucia wlewka, a więc i redukcji jego grubości, odległości te również się zmniejszają. Ostateczna odległość pomiędzy gałęziami dendrytów ściśle odpowiada odległości pasm w stali damasceńskiej.

Ważne jest, aby podczas przekuwania stali utrzymywać właściwą temperaturę dla uzyskania struktury austenitu z tkwiącymi w niej cząstkami węglików. Kiedy temperatura wlewka spada poniżej wartości krytycznej, zaczynają się tworzyć cząstki węgla żelaza (cząstki cementytu, jakie zaobserwowałem w głowniach Mosera). Najniższa temperatura, w której występuje jeszcze tylko austenit, nazywana

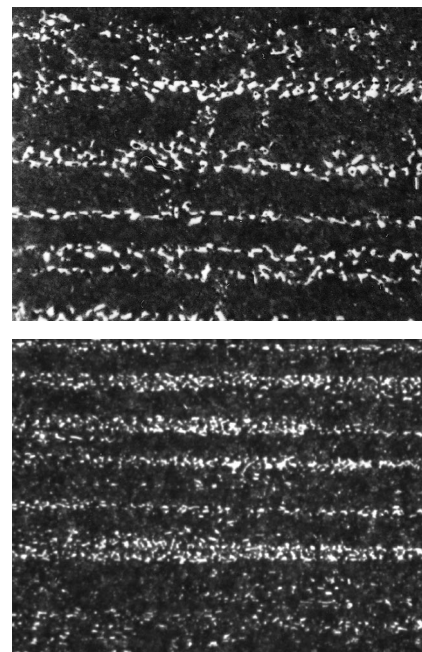
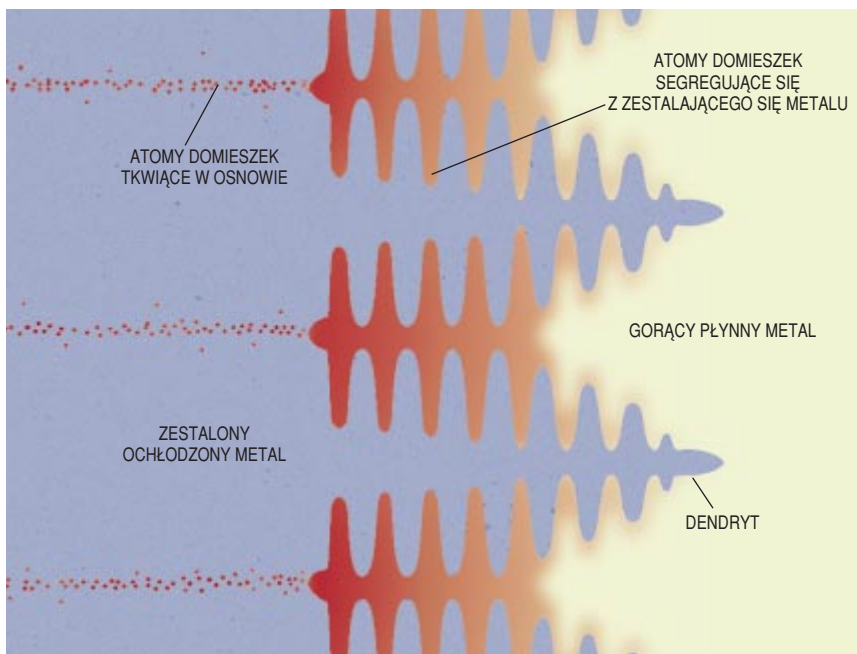
jest ogólnie temperaturą A_c . Dla stali z zawartością węgla powyżej 0.77% temperatura ta nosi nazwę temperatury A_{cm} . Poniżej temperatury A_{cm} zaczynają się w austenicie w przestrzeniach międzydendrytycznych pojawiać cząstki cementytu. To właśnie one tworzą jasne pasma tak ważne dla właściwości końcowego wyrobu. (Po ochłodzeniu przekuwanego elementu do temperatury pokojowej żelazo występuje w jeszcze innej odmianie fazowej nazywanej ferrytem – roztworze stałym węgla w żelazie alfa. Cząstki cementytu rozmieszczone są wówczas w ferrytyce – przyp. tłum.).

Sztuczka z pasemkami

Największą tajemnicą damasceńskich ostrzy ze stali „wootz” było to, w jaki sposób przekuwanie niewielkich wlewków stali w ostateczny kształt głowni powodowało ułożenie się węglików w wyraźnie widoczne pasma. Badaliśmy systematycznie przekroje naszych wlewków na różnych etapach przekuwania od stanu wyjściowego do końcowego ostrza. Aby wywołać odpowiednie zmiany, ogrzewaliśmy wlewki do temperatury, w której powstawała w stali mieszanina austenitu z cząstkami cementytu, i poddawaliśmy kuciu. Podczas kucia wlewki ochładzały się do temperatury początkowej niższej o około 50°C od A_{cm} do temperatury niższej o około 250°C od A_{cm} . Podczas tego chłodzenia zwiększał się udział cząstek cementytu. Następnie poddawaliśmy wlewki kolejnemu cyklowi nagrzewania i kucia w tym samym zakresie temperatur. Na podstawie naszych doświadczeń doszliśmy do wniosku, że potrzeba około 50 takich cykli przekuwania, żeby uzyskać głownie o wymiarach zbliżonych do oryginalnych – 45 mm szerokości i 5 mm grubości.

Wydaje nam się, że pasmowość powstaje w następujący sposób: podczas pierwszych mniej więcej 20 cykli twarde cząstki węglików powstają w przypadkowych miejscach, potem natomiast wraz z każdym kolejnym cyklem zaczynają się układać wzdłuż sieci punktów wyznaczonych przez międzydendrytyczne obszary. Taka zmiana struktury związana jest z rozpuszczaniem się niektórych cząstek węglików podczas każdego cyklu nagrzewania stali. Atomy domieszek spowalniają proces rozpuszczania, przyczyniając się do pozostania większych cząstek. Każdy cykl na-

SZABLA ze stali damasceńskiej (fragment głowni) z XVII wieku mająca na powierzchni klasyczny damasceński wzór wijących się jasnych i ciemnych pasemek. Z napisu dowiadujemy się, że tę znakomitą broń wykonał w 1691 lub 1692 roku Assad Allah, najznakomitszy wówczas perski płatnierz.



FRONT KRYSTALIZACJI krzepnącego wlewka stali damasceńskiej wykazuje w skali mikroskopowej obecność dendrytów, czyli choinkopodobnych obszarów wykrystalizowanego stopu wchodzących w ciecz. Atomy domieszek (*czzerwony*), takich jak wanad, podlegają segregacji, gromadząc się w przestrzeniach między ramionami dendrytów, gdzie pozostają w zestalonym osnowie w regularnych odstępach jak paciorki koralu. W następujących potem operacjach nagrzewania i chłodzenia atomy domieszek są ośrodkami wzrostu twardych cząstek węglików żelaza, które stają się widoczne jako jasne pasma na powierzchni damasceńskiej główki. Na górnej mikrofotografii widoczne są jasne i ciemne pasma na przekroju oryginalnej damasceńskiej szabli. Dolna mikrofotografia pokazuje przekrój brzeszczota wykonanego wspólnie pod kierunkiem autora. Podobieństwo obydwu obrazów świadczy o tym, że można obecnie dokładnie odtworzyć dawny proces.

grzewania i chłodzenia powoduje jedynie nieznaczny wzrost tych cząstek i dlatego potrzeba tak wielu cykli do utworzenia wyraźnych pasm. Ponieważ atomy domieszek rozmieszczone są głównie w obszarach między dendrytami, to właśnie tam koncentrują się węgliki. Uwydatnianiu się sieci węglików towarzyszy jej deformacja w miarę przekuwania wlewka.

Sprawdzanie teorii

Chociaż od dawna podejrzewaliśmy, że pierwiastki domieszek grają główną rolę w tworzeniu się pasm, nie byliśmy pewni, które z nich były najważniejsze. Szybko okazało się, że krzem, siarka i fosfor, o których wiadano od dawna, że znajdują się w stali „wootz”, nie mają w tym procesie większego znaczenia. Ta informacja nie rozwiązywała jednak naszego problemu.

Szczęśliwym przełomem okazało się użycie metalu Sorela jako jednego z materiałów wyjściowych do wykonania wlewka. Metal ten jest stopem żelaza z węglem, zawiera od 3.9 do 4.7% węgla i znikomą ilość domieszek, a wytwarza się go z wielkich złóż ilmenitowej rudy z okolic Lac Tio nad Rzeką Świętego Wawrzyńca w Quebecu. Złoża rudy zawierają śladową domieszkę wanadu i stąd w metalu Sorela znajduje się też domieszka wanadu w ilości 0.003–

–0.014%. Początkowo nie zwracaliśmy na nią uwagi, bo nie sądziliśmy, aby tak niewielka ilość domieszki miała jakiegoś znaczenie. Jednak stopniowo (po dwu latach bezowocnych prób) dotarło do nas, że nawet tak mała zawartość może być istotna.

Wprowadzenie wanadu w tak znikomej ilości, jak 0.003% do czystych stopów żelaza z węglem powodowało pojawienie się wyraźnej pasmowości. Molibden również dawał pożądany efekt. Podobnie, choć w mniejszym stopniu, działały domieszki chromu, niobu i manganu. Pierwiastkami, które nie sprzyjały powstawaniu pasm węglików, okazały się miedź i nikiel. Analizy przeprowadzone mikrosondą rentgenowską potwierdziły fakt, że skutecznie działające domieszki, w ilości rzędu 0.02% składu wlewka, podlegały mikrosegregacji do przestrzeni międzydendrytycznych, gdzie występowały w znacznie większym stężeniu.

Żeby sprawdzić prawdziwość naszych wniosków – pasmowość związana jest z mikrosegregacją pierwiastków domieszek prowadzącą do niejednorodnego rozmieszczenia cząstek cementytu – zaplanowaliśmy doświadczenia mające wykazać, że wykluczenie mikrosegregacji domieszek (i cząstek cementytu) prowadzi do zaniku pasmowości struktury. Braliśmy niewielkie kawałki antycznych i współczesnych

kląg wykazujących ładną pasmowość i ogrzewaliśmy je do temperatury wyższej o około 50°C od temperatury A_{cm} . W tej temperaturze wszystkie cząstki cementytu rozpuszczały się w austenicie. Potem próbki szybko chłodziliśmy w wodzie. Szybkie chłodzenie powodowało w stali powstanie fazy martenzytycznej – bardzo twardej i wytrzymałej, pozbawionej cząstek węglika żelaza. A ponieważ znikły węgliki, nie było również związanej z nimi pasmowości.

Chcąc odtworzyć cząstki cementytu, poddawaliśmy ostrza wielokrotnym cyklom nagrzewania do temperatury o 50°C niższej od temperatury A_{cm} z następującym potem chłodzeniem w powietrzu, co dawało węglikom czas na powstanie i niejednorodne rozmieszczenie w osnowie. Po pierwszym cyklu pojawiły się węgliki, ale były rozmieszczone przypadkowo. Jednak po dalszych dwu cyklach uwidoczniła się słabo zaznaczona pasmowość, która po sześciu–ośmiu cyklach stała się zupełnie wyraźna.

W jednym z doświadczeń podnieśliśmy temperaturę znacznie powyżej A_{cm} – do 1200°C, tuż poniżej temperatury topnienia stali – i przetrzymaliśmy próbki w tej temperaturze przez 18 godz. Następujące potem cykle wygrzewań nie doprowadziły do pojawienia się pasmowości w rozmieszczeniu cząstek cementytu. Obliczenia wskazują, że podczas takiej wysokotemperatu-

JAK WYKONAĆ OSTRZE ZE STALI DAMASCEŃSKIEJ

Pokaz mistrza kowalskiego
Alfreda H. Pendraya w jego kuźni
nieopodal Gainesville na Florydzie.

1 Zgromadź materiały potrzebne do wytopu w tyglu, tj. czyste żelazo, metal Sorela, węgiel drzewny, odtamki szkła i trochę zielonych liści. Ilość węgla i domieszek wprowadzonych do wytopu zależy od proporcji czystego żelaza, metalu Sorela i węgla drzewnego włożonych do tygla.

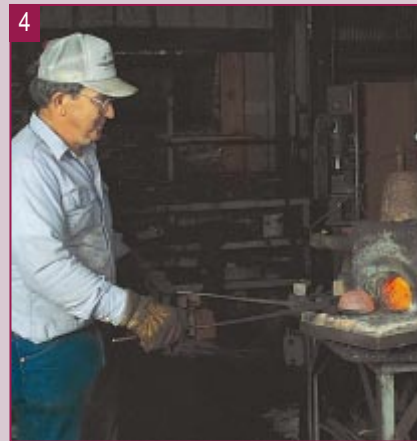
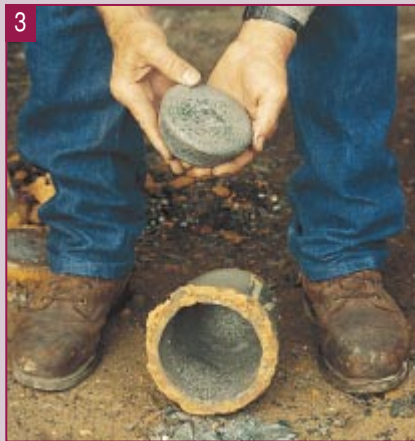
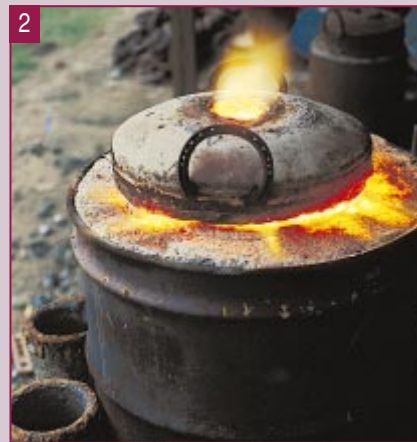
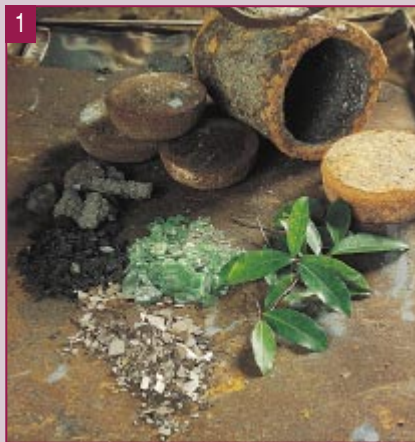
2 Ogrzewaj tygiel – szkło topi się, tworząc żużel, którego warstwa zapobiega utlenieniu wlewka. Liście stanowią „poduszkę”, która na początku utrzymuje szkło ponad resztą wsadu. Liście są również źródłem wodoru, o którym wiadomo, że przyspiesza nawęglanie żelaza. Węgliki żelaza są ważne – gromadząc się w pasma, nadają damasceńskiej stali charakterystyczne, wijące się wzory na powierzchni. Liście i szkło można pominąć, ale uzyskane bez nich wlewki częściej pękają podczas kucia.

3 Po ostygnięciu tygla wyjmij wlewk, który przypomina placki stali „wootz” wytwarzanej w dawnych Indiach.

4 Ogrzej wlewk do odpowiedniej temperatury. Pendray używa pieca opalanego gazem, w którym odpowiednio dobrana proporcja propanu i powietrza minimalizuje tworzenie się powierzchniowej warstwy tlenków podczas kucia. Po zostaniu po przekuwaniu warstwy tlenków na powierzchni ma około pół milimetra grubości i musi być zeszlifowana.

5 Przekuwaj wlewk (kształtując go przez uderzenia młotkiem, gdy jest jeszcze wystarczająco gorący). Kiedy wlewk staje się zbyt chłodny, by go odkształcać bez pęknięcia, nagrzej go ponownie i przekuwaj dalej. Pokazano tu cztery stadia przekuwania wlewka; między każdym z nich następowało kilka cykli nagrzewania i kucia. Do uzyskania ostatecznego kształtu ostrza potrzeba około 50 cykli – proces jest pracochłonny. Pendray używa młota pneumatycznego. Można używać ręcznego młota, ale cały proces trwa wtedy dłużej.

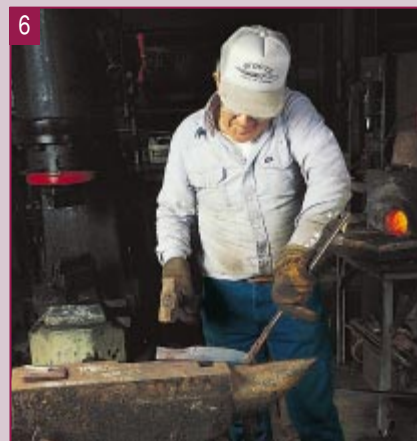
6 Wytnij ostateczny kształt ostrza i ręcznie kując, ukształtuj jego detale.



7 Usuń nadmiar stali na krawędziach klingi i odwęgloną warstwę powierzchniową. Pendray używa tu współczesnej szlifierki taśmowej.

8 Jeśli chcesz, natnij rowki i wywierć zagłębienia na powierzchni ostrza, aby uzyskać wzory w kształcie drabiny Mahometa i kwiatu róży. Wykuwaj dalej ostrze aż do uzyskania z powrotem płaskiej powierzchni, a potem poleruj ją, nadając prawie ostateczną formę.

9 Wytraw powierzchnię ostrza w kwasie, aby ujawnić wzór na powierzchni – miękka struktura ciemnieje, a twarda staje się widoczna jako jasne pasma.





WYKOŃCZONE OSTRZE ze wzorami drabiny Mahometa i kwiatu róży.

rowej obróbki cieplnej dyfuzja atomów jest na tyle intensywna, że usuwa mikrosegregację atomów domieszek.

Wraz z Pendrayem wykonaliśmy również dobrze kontrolowane doświadczenia, w których całkowicie usunęliśmy domieszki. Wtedy nawet po wielu cyklach grzania i wolnego chłodzenia wlewki nie wykazywały ani obecności zgrupowań cząstek węglików, ani pasmowości. Kiedy do tych samych wlewów dodaliśmy domieszkę i podaliśmy je takim samym cykлом ogrzewania i chłodzenia – pojawiała się pasmowość.

Drabina Mahometa

Nasz sukces w odtworzeniu damasceńskich ostrzy pomógł nam odpowiedzieć na inne pytanie – w jaki sposób dawni kowale uzyskiwali wzór drabiny Mahometa? Uzyskane przez nas wyniki potwierdzają jedną z dwu wcześniejszych teorii – drabiniasty wzór otrzymywano, nacinając niewielkie rowki w brzeszczocie prawie całkowicie wykutym [zdjęcie 8 powyżej], a potem dalej

go wykuwając, aż do zniknięcia nierówności. Takie kucie zmniejsza odległość pomiędzy jasnymi i ciemnymi pasmami na powierzchni finalnej, zwłaszcza w okolicy brzegów rowków. Na głowniach wykonanych przez dawnych płatnerzy spotyka się również okrągłe wzory określane mianem róż. Pochodzą one z okrągłych zagłębień wierconych w ostrzu na tym samym etapie obróbki, w którym nacinano rowki.

Dlaczego sztuka wytwarzania tej broni zaginęła prawie 200 lat temu? Być może nie wszystkie rudy w Indiach zawierały potrzebne węglikotwórcze pierwiastki. Cztery starożytne głownie Mosera, które badaliśmy, zawierały domieszkę wanadu i pewnie dlatego utworzyła się w nich pasmowa struktura. Jeśli zmieniły się warunki handlu i z Indii nie dostarczano już wlewów zawierających potrzebne domieszki, kowale, a potem ich synowie, nie wiedząc dlaczego, nie potrafili już wytwarzać broni ozdobionej pięknymi wzorami. Jeśli taki stan utrzymał się przez jedno czy dwa pokolenia, to sekret wytwarzania legendarnych damasceńskich

kling mógł zaginąć.³ I dopiero teraz dzięki partnerstwu nauki i rzemiosła artystycznego opadła zasłona skrywająca tajemnicę.

Tłumaczyl
Jan Kozubowski

Przypisy redakcji:

¹ Broń biała sieczna – miecz, szabla, szpada, sztylet itd. – składa się z głowni (po staropolsku: głownia, brzeszczot, żelazo; z niemieckiego: klinga; potocznie ostrze) i rękojeści zwykle zawierającej jelec (z francuskiego: garda) chroniący rękę władającą bronią. Miecz przeznaczony do rąbania na krótkiej powierzchni ma prostą obosieczną głownię i otwartą rękojeść o jelcu krzyżowym. Szabla używana przede wszystkim do cięcia na dużej powierzchni ma jednosieczną, zawsze zakrzywioną głownię. Szpada służy wyłącznie do kłucia, ma zamkniętą rękojeść oraz sztywną, prostą, wąską i kończystą głownię. Sztylet przeznaczony do kłucia wykonany jest w całości z żelaza, ma krótką profilowaną głownię przechodzącą w krótki jelec i profilowaną rękojeść.

² Zdaniem Włodzimierza Kwaśniewicza, znawcy broni białej, jest to mylny stereotyp myślowy wynikający ze zbieżności nazw – w Damaszku nie produkowano ani stali damasceńskiej (damast, po staropolsku bułat, z perskiego pulad), ani broni z niej. W mieście tym rozkwitła sztuka zdobienia broni, tzw. damaskinaz, polegająca na inkrostowaniu, także głowni szabel, złotem lub srebrem, miedzią lub mosiądzem. Do perfekcji doprowadzili ją płatnerze włoscy i francuscy; w Hiszpanii zdobiono w ten sposób głownie ze stali tolekańskiej.

³ Istnieją też poglądy, że damast europejski został wyparty przez wysokogatunkową stal współczesną, znacznie łatwiejszą w obróbce.

Informacje o autorze:

JOHN D. VERHOEVEN jest honorowym profesorem Materials Science and Engineering w Iowa State University. Tajemnicą stali „wootz” interesuje się od czasu studiów w University of Michigan. W 1982 roku rozpoczął badania zmierzające do odtworzenia stali damasceńskiej. Ta działalność, początkowo hobbyistyczna, nabrała poważniejszego charakteru w wyniku wieloletniej współpracy z Alfredem H. Pendrayem – mistrzem kowalskim.

Literatura uzupełniająca

DZIEJE SZABLI W POLSCE. Wł. Kwaśniewicz; Dom Wydawniczy Bellona, 2001.
1000 SŁÓW O BRONI BIAŁEJ I UZBROJENIU OCHRONNYM. Wł. Kwaśniewicz; Wyd. MON, 1990.
O STALI DAMASCEŃSKIEJ. J. Piaskowski; Wyd. Zakł. Nar. Ossolińskich PAN, 1974.
LEGENDA DAMASTÓW. W. Podoski; *Broń i Barwa*, R. II: 1935, nr 12, s. 269-275.
HISTORY OF METALLOGRAPHY: THE DEVELOPMENT OF IDEAS ON THE STRUCTURE OF METALS BEFORE 1890. Cyril S. Smith; MIT Press, 1988.
ON DAMASCUS STEEL. Leo S. Figiel; Atlantis Arts Press, 1991.
ARCHAEOLOGY: THE KEY ROLE OF IMPURITIES IN ANCIENT DAMASCUS STEEL BLADES. J. D. Verhoeven, A. H. Pendray i W. E. Dauksch; *JOM: A Publication of the Minerals, Metals and Materials Society*, tom 50, nr 9, s. 58-64; IX/1998. Praca dostępna na stronach internetowych www.tms.org/pubs/journals/JOM/9809/Verhoeven-9809.html