

F. Staub i A. Maciejny
Katedra Metaloznawstwa

PORÓWNAWCZE BADANIA STRUKTUR STALI WĘGLOWYCH NA MIKROSKOPIE OPTYCZNYM I ELEKTRONOWYM

STRESZCZENIE

Przeprowadzono porównawcze badania metalograficzne normalizowanych stali węglowych na mikroskopie optycznym i elektronowym, celem uzyskania ciągłości obserwacji przy różnych powiększeniach. Ustalono optymalne warunki preparatyki i porównano zdolność rozdzielczą w obu przypadkach.

1. Cel i zakres badań

Stosowana w mikroskopii elektronowej preparatyka oparta na wykonywaniu replik z badanych powierzchni zgładów powoduje, że oglądane obrazy struktur na mikroskopie elektronowym często w małym stopniu przypominają struktury poznane przy pomocy mikroskopu optycznego. Podobieństwo tych obrazów zależy w głównej mierze od rodzaju replik i stosowanych powiększeń. Obraz struktury pod mikroskopem elektronowym nawet przy małych powiększeniach jest często mało podobny do obrazu w mikroskopie optycznym, z powodu różnic preparatu. W zakresie zaś dużych powiększeń repliki ujawniają nowe szczegóły struktury zmieniając tym samym charakter obrazu znanego z mikroskopu optycznego.

W badaniach metalograficznych wymagana jest zazwyczaj możliwość obserwacji tego samego miejsca na zgładzie przy różnych powiększeniach z zachowaniem podobieństwa obrazu struktury. Przy przejściu z mikroskopu optycznego na elektronowy spełnienie tych wymogów natrafia na duże trudności, ponieważ wpływa na to zarówno preparatyka, jak również stosunkowo duża zmiana powiększenia.

Celem przeprowadzonych badań było wykazanie podobieństwa obrazu struktury na mikroskopie optycznym i elektronowym przy różnych powiększeniach. Badania przeprowadzono z uwzględnieniem następujących czynników:

- a) ustalenie optymalnych warunków przygotowania replik ze stali węglowych.

- b) Otrzymywanie replik z określonego miejsca i ich obserwacja na mikroskopie elektronowym,
 c) Porównanie zdolności rozdzielczej i możliwości ujawniania nowych szczegółów na mikroskopie elektronowym w odniesieniu do obrazu na mikroskopie optycznym.

Do badań użyto próbek ze stali węglowych o zawartościach węgla ok. 0,1% C; 0,5% C; 0,8% C; i 1,2% C. Próbki poddano uprzednio normalizowaniu, celem uzyskania struktury perlitu pasemkowego. Miały one kształt walcowy: średnica $d = 12$ mm i wysokość $h = 15$ mm.

Gatunek i skład chemiczny badanych stali oraz warunki obróbki cieplnej podaje tablica 1.

Tablica 1

Skład chemiczny i temperatury normalizowania badanych stali

Gatunek stali	Skład chemiczny					Temperatura normalizowania °C
	% C	% Mn	% Si	% P	% S	
10	0,11	0,45	0,24	0,017	0,025	920
45	0,48	0,55	0,22	0,024	0,026	840
85	0,82	0,72	0,31	0,022	0,03	780
N 12	1,22	0,31	0,17	0,018	0,02	900

2. Przebieg badań

2.1. Przygotowanie zgładów

Zgłady zarówno do badań na mikroskopie optycznym, jak i elektronowym przygotowano na papierach ściernych oraz polerowano mechanicznie na tarczach filcowych przy użyciu wodnej zawiesiny Al_2O_3 . Celem uzyskania powierzchni zgładu wolnej od warstwy zgniecionej stosowano kilkakrotne polerowanie i trawienie zgładu w 2% roztworze HNO_3 w alkoholu etylowym.

Jakość wypolerowanej powierzchni sprawdzano przez obserwację mikroskopową w polu ciemnym przy 500-krotnym powiększeniu, starając się przy tym uzyskać powierzchnię wolną od rys oraz innych zniekształceń powierzchni.

Optymalne warunki trawienia ustalono przeprowadzając próby z czterema różnymi odczynnikami:

- 2% HNO_3 w alkoholu etylowym
- 2% HNO_3 w alkoholu n-amylovym
- roztwór $FeCl_3$ i HCl w alkoholu metylowym
(1 g $FeCl_3 + 2$ cm³ $HCl + 98$ cm³ alkoholu metylowego)
- pikral — 4% roztwór kwasu pikrynowego w alkoholu metylowym.

Po trawieniu zgłady płukano w benzenie oraz w roztworach acetonu, alkoholu metylowego i kwasu cytrynowego, celem usunięcia produktów trawienia oraz innych zanieczyszczeń powierzchni [1].

2.2. Przygotowanie replik

Repliki do badań na mikroskopie elektronowym wykonano z mowitalu, biorąc pod uwagę ich następujące zalety:

- a) łatwość i prostota wykonania,
- b) podobieństwo odzwierciedlanej struktury do obrazu na mikroskopie optycznym,
- c) duża wytrzymałość mechaniczna,
- d) brak struktury własnej.

Wadą tego rodzaju replik jest stosunkowo niska zdolność rozdzielcza nie mniejsza jednak od 500 \AA° , przy czym przez zastosowanie cieniowania można ją zwiększyć do 200 \AA° [2].

Do wykonywania replik użyto 0,6% roztworu mowitalu w chloroformie. Błonek mowitalową wzmacniano 10% roztworem nitrocelulozy w octanie amylovym (kolodium), po czym oddzielano ją od zgładu mechanicznie, zanurzając zgład z nałożoną repliką kilkakrotnie na przemian w wodzie destylowanej wrzącej oraz zimnej o temperaturze otoczenia.

Oddzielone repliki poddawano wytrawieniu w 20% roztworze H_2SO_4 w wodzie destylowanej w czasie 2-ch godzin, celem usunięcia przyczepionych do repliki cząstek metalicznych, bez stosowania replik czyszczących. Jak wykazały badania [3], repliki czyszczące przy oddzielaniu od zgładu wyrwywają cząstki faz, które tym samym nie mogą być ujawnione na replice właściwej. Trawienie replik można przeprowadzać w roztworach takich kwasów jak H_2SO_4 i HCl lub innych kwasów mocnych.

Celem polepszenia kontrastu obrazu na mikroskopie elektronowym wszystkie repliki cieniowano chromem w próżni przy ciśnieniu 10^{-4} torr. Kąt cieniowania wynosił 30° , zaś grubość warstwy cieniującej odpowiadała jasnobrązowej barwie interferencyjnej na kontrolnej płycie porcelanowej.

Z kolei po cieniowaniu rozpuszczano błonki wzmacniające, a osadzone na siatkach nośnych preparatu repliki suszono i oglądano pod mikroskopem stereoskopowym, odrzucając zanieczyszczone lub uszkodzone.

Przy wszystkich operacjach dokonywanych na błonkach należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość odróżniania strony pokrytej repliką mowitalową od strony pokrytej błonką wzmacniającą. Jest to o tyle trudne, że optycznie obie powierzchnie nie dają się rozróżnić i wobec tego trzeba w czasie preparowania stale mieć to na uwadze, bowiem cieniowanie dotyczy repliki mowitalowej zaś rozpuszczanie — błonki wzmacniającej.

2.3. Przygotowanie replik z wybranych miejsc na zgładzie

W badaniach metalograficznych na mikroskopie elektronowym obserwacja wybranego miejsca na zgładzie (np. w obrębie zakreślonego kółka) jest utrudniona ze względu na skomplikowane zabiegi preparowania, jak opisano poprzednio. Aby wybrany szczegół struktury mógł być oglądany pod mikroskopem elektronowym musi się on znaleźć z kolei w osi optycznej mikroskopu elektronowego, co wymaga bardzo starannego nałożenia repliki na siatkę nośną preparatu, oraz następnego centrycznego

ułożenia siatki z repliką w nośniku preparatu. W praktyce okazuje się to bardzo pracochłonne i dlatego preparatyka celowana jest rzadko stosowana w mikroskopii elektronowej.

Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań [4] wykonano szereg pomysłowych prób obserwacji z wybranych miejsc, stosując przy tym samodzielnie wypracowaną uproszczoną metodę wykonywania preparatów.

Kolejność przygotowania repliki z wybranego miejsca była następująca:

wytrawiony zgląd obserwowano na mikroskopie optycznym ustawiając wybrany szczegół struktury w środku pola widzenia. Po zamianie obiektywu na przyrząd z diamentowym ostrzem na zglądzie zakreślano kółko o średnicy 0,5 — 1 mm, w środku którego znajdował się wybrany szczegół. Kółko to jako trwały ślad zostaje na replice i jest również na niej widoczne przy obserwacji pod mikroskopem stereoskopowym.

Rozpuszczanie błonki wzmacniającej przeprowadza się na mostku z siatki niklowej [1] przymocowanym doraźnie do dna płaskiego naczynka szklanego np. za pomocą kitu. Następnie przy ciągłej obserwacji na mikroskopie stereoskopowym o możliwie dużym powiększeniu np. 100 × i zastosowaniu okularu z krzyżem, nakłada się na siatkę nośną, skrawek repliki stroną pokrytą mowitalem do góry.

Manipulując pincetą i obserwując równocześnie przez mikroskop, ustawia się replikę w taki sposób, aby wybrany szczegół ograniczony zarysem kołowym znalazł się w środku siatki nośnej. Po wycentrowaniu repliki, naczynko wypełnia się odczynnikiem rozpuszczającym błonkę wzmacniającą tak, by ciecz podpływała do repliki nie powodując jednak jej spłynięcia.

Po rozpuszczeniu błonki wzmacniającej i wysuszeniu repliki umieszcza się ją w nośniku preparatu, ustawiając centryczność położenia pod mikroskopem stereoskopowym. Końcowe sprawdzenie wycentrowania przynosi obserwacja pod mikroskopem elektronowym. Ostateczne skorygowanie dokonuje się przez pokręcenie śrubami przesuwu preparatu.

Obserwację repliki z wybranym miejscem rozpoczyna się stosując najmniejsze powiększenia (od 1500 do 2000 ×), zbliżone do powiększeń na mikroskopie optycznym. W odszukaniu szczegółów dopomaga uprzednio, wykonane zdjęcie na mikroskopie optycznym.

Po zidentyfikowaniu poszczególnych fragmentów struktury można przeprowadzić obserwację przy coraz to większych powiększeniach oraz wykonywać zdjęcia.

3. Wyniki badań

3.1. Wpływ przygotowania zglądu i repliki na obraz mikroskopowy stali

Liczne próby w toku badań wykazały, że w oparciu o wypracowaną preparatykę o jakości repliki decyduje głównie trawienie zglądu. Optymalne warunki trawienia badanych stali zestawiono w tablicy 2.

Dla stali podeutektoidalnych najlepsze wyniki trawienia uzyskano stosując 2% roztwór HNO_3 w alkoholu n-amyłowym — dla stali entektoidalnych i nadeutektoidalnych najwłaściwszy okazał się pikral.

Wyniki przeprowadzonych prób trawienia przedstawiono na rysunkach 1—4. W opisach rysunków podano szczegóły aktualnego postępowania przy wykonywaniu zglądu i repliki.

Tablica 2

Warunki trawienia zglądów do badań na mikroskopie elektronowym

Gatunek stali	Oddzynn timer trawiący	Czas trawienia	Błona czyszcząca	Trawienie czyszczące replikę
10	2 % HNO ₃ w alkoholu n-amyłowym	50 sek.	—	20 % H ₂ SO ₄ w wodzie destyl./2 godz.
45	2 % HNO ₃ w alkoholu n-amyłowym	60 sek.	—	20 % H ₂ SO ₄ w wodzie destyl./2 godz.
85	4 % kwasu pikrynowego w alkoholu metylowym	60 sek.	10 % roztwór kolodium	20 % H ₂ SO ₄ w wodzie destyl./2×2 godz.
N 12	4 % kwasu pikrynowego w alkoholu metylowym	90 sek.	10 % roztwór kolodium	20 % H ₂ SO ₄ w wodzie destyl./2×2 godz.

W stali podeutektoidalnej występuje trudność w doborze odczynn timer i warunków trawienia, które by pozwalały na ujawnienie zarówno granic ziarn ferrytu, jak również szczegółów w ziarnach perlitu. Ujawnienie granic ziarn przy trawieniu pikralem lub chlorkiem żelaza wymaga przedłużenia czasu trawienia do kilku minut, co znowu powoduje zbyt silne zaatakowanie perlitu i zniekształcenie jego struktury. Trudność tę rozwiązano stosując 2% roztwór HNO₃ w alkoholu n-amyłowym rys. 2.

Trawienie chlorkiem żelaza wykazało, że odczyn timer ten atakując powierzchnię ziarn ferrytu w zależności od ich orientacji krystalograficznej pozwala też ujawnić obszary o zmiennej orientacji ferrytu w obrębie ziarn perlitu rys. 4. Stosowanie tego odczynn timer wymaga jednak bardzo starannego płukania zglądu po trawieniu.

Dalszą trudność stanowiło pozostawanie błonki mowitalowej na zglądzie przy oddzielaniu repliki. Stwierdzono, że jest to spowodowane bądź to zbyt silnym wytrawieniem zglądu lub jego nieodpowiednim wypolerowaniem, bądź też stosowaniem zużytego mowitalu tj. zbyt nio zawilgoconego.

Przy badaniu stali o zawrtości 0,8% C i 1,2% C, aby przeciwdziałać wyrrywaniu ziarn cementytu przy oddzielaniu repliki trzeba było zastosować repliki czyszczące oraz wytrawienie replik mowitalowych w roztworze H₂SO₄ w czasie 2 × 2 godz.

3. 2. Obserwacja wybranych miejsc

W badaniach metalograficznych struktur chodzi o ujawnienie nowych szczegółów, co uzyskuje się przez stosowanie wzrastającego powiększenia. Czynn timer decydującym jest tu przede wszystkim zdolność rozdzielcza tak preparatu, jak i mikroskopu. Na mikroskopie optycznym maksymalne powiększenie wynosi ok. 1500 × [5], a dalsze fotograficzne powiększenie nie wnosi nowych szczegółów. Natomiast na mikroskopie elektronowym istnieje możliwość stosowania dużych powiększeń nawet

do 100 tys. \times , przy czym powiększenia fotograficzne często również może polepszyć czytelność obrazu. Przeprowadzone własne badania potwierdziły te założenia, co wykazano na rys. 5 ÷ 16. Szczegóły obserwacji podano w tablicy 3.

Porównując obrazy z mikroskopu optycznego i elektronowego przyjęto zbliżone powiększenia zdjęć bezpośrednich oraz powiększonych fotograficznie.

Z porównania rys. 7 i 8 wynika, że przy zachowaniu podobieństwa w obrazie struktury, mikroskop elektronowy, przy tym samym powiększeniu co optyczny pozwala uzyskać znacznie większą zdolność rozdzielczą ujawniając szereg nowych szczegółów w obrębie ziarn perlitu i daje pełniejszy obraz struktury od mikroskopu optycznego. Potwierdzają to również rys. 10, 11.

W danych warunkach badania dla stali węglowej można wnioskować, że przy zastosowanej preparatyce wzrost powiększenia na mikroskopie elektronowym powyżej ok. 5000 \times nie ujawnia raczej dalszych szczegółów struktury polepszając jednak wyrazistość i czytelność obrazu — rys. 11 i 12.

Z porównania rysunków 13 i 14 oraz 15 i 16 wynika, że przy powiększeniach ok. 1200 \times obserwacja na mikroskopie elektronowym mimo posługiwania się obiektem pośrednim — repliką daje więcej szczegółów struktury niż uzyskuje się przy tym samym powiększeniu na mikroskopie optycznym.

3.3. Badanie na mikroskopie elektronowym

Przy obserwacji na mikroskopie elektronowym ujawniono szereg nowych szczegółów struktury niewidocznych na mikroskopie optycznym — rys. 17 — 20.

W stali 0,1% C normalizowanej z 920 °C zaobserwowano występowanie obok ziarn perlitu pasemkowego, luźnych skupień cementytu w ferrycie — rys. 17.

Stwierdzono, że większość ziarn perlitu w stali 0,1% C i 0,5% C posiada otoczkę cementytu, występującą jako zgrubienia płytek cementytu na granicy ziarn perlitu — rys. 2, lub też tworzącą skupienia ciągłe — rys. 18.

We wszystkich badanych stalach wystąpiła po normalizowaniu częściowa koagulacja cementytu. W pewnych przypadkach jednak cementyt perlitu wykazuje jakby budowę „słupkową”, co ujawnia się przy przecięciu ziarna perlitu — rys. 19.

W stalach nadeutektoidalnych cementyt perlitu w większości przypadków dokrystalizowuje do cementytu wtórnego. Często wydzielanie się cementytu wtórnego obniża koncentrację węgla, w przyległych ziarnach austenitu i powstałe ziarna perlitu wykazują zmniejszenie ilościowego udziału w nich płytek cementytu — rys. 20.

Ujawnione szczegóły struktury wskazują na celowość prowadzenia dalszych bardziej szczegółowych badań na mikroskopie elektronowym, kinetyki przemian w stalach.

Wnioski

1. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono podobieństwo, obrazu struktury przy przejściu z obserwacji na mikroskopie optycznym na mikroskop elektronowy.
2. Przy zastosowaniu tych samych powiększeń na mikroskopie optycznym i elektronowym, obraz na mikroskopie elektronowym zawiera więcej szczegółów struktury.
3. Repliki mowitalowe cieniowane chromem dają obrazy struktur stali węglowych najbardziej zbliżone do obrazu mikroskopu optycznego, stąd celowe jest stosowanie ich do badań porównawczych przy małych powiększeniach (do 6000 \times); przy powiększeniach większych nie ujawniają one już dalszych szczegółów struktury.
4. Przy zastosowanej preparatyce badanie na mikroskopie elektronowym ujawniło budowę ziarn perlitu oraz charakter i rozmieszczenie wydzieleń cementytu wtórnego i trzeciorzędowego. Nie stwierdzono jednak innych szczegółów struktury w obrębie ziarn ferrytu i na ich granicach.
5. Stwierdzono, że na jakość obrazu na mikroskopie elektronowym duży wpływ wywiera dobór właściwego odczynnika trawiącego dla badanej struktury. W przypadku obserwacji miejsc wybranych sposób trawienia musi uwzględnić zarówno potrzeby obserwacji na mikroskopie optycznym, jak i wykonanie replik.
6. Warunkiem uzyskania wyników w preparatyce celowanej jest stała kontrola pod mikroskopem optycznym położenia wybranego miejsca, by zostało ono umieszczone w obrębie osi optycznej mikroskopu elektronowego.
7. Opisana metoda umożliwia prowadzenie dalszych badań kinetyki przemian w stalach na mikroskopie elektronowym.

PIŚMIENNICTWO

- [1] F. Staub i J. Tymowski — Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Mechanika Nr 5 1958 r.
- [2] L. Habraken — Sur la Métallographie Electronique-Liège 1953 r.
- [3] H. Modin — *Jernkontorets Annaler* ARG. 139 H 8 1955.
- [4] J. F. Nankivell — *British Journal of Applied Physics* nr 4 maj 1953 r.
- [5] F. Staub i E. Olewicz — *Mikroskop Metalograficzny* PWT — Warszawa 1956.

Сравнительное исследование структур углеродистых сталей на оптическом и электронном микроскопе

Проведено сравнительное металлографическое исследование нормализованных углеродистых сталей при помощи оптического и электронного микроскопа при различных увеличениях. Особенное внимание обращено на определение условия приготовления шлифов и отпечатков, намеченную препаратику и наблюдение выбранного места при помощи оптического и электронного микроскопа.

Определено пригодность различных реактивов в зависимости от структуры углеродистых сталей и требуемых эффектов травления. Обнаружено целесообразность применения к сравнению исследований лаковых (мовиталиевых) отпечатков, потому что дают они большое сходство видов структур на оптическом и электронном микроскопе.

Проведено много положительных мест испытаний наблюдения выбранных мест на металлографическом шлифе, применяя самостоятельно разработанный метод приготовления препаратов.

Vergleichsuntersuchungen von Struktur der Kohlenstoffstähle am Optischen — und Elektronenmikroskop

Es wurden metallographische Vergleichsuntersuchungen von Struktur der Kohlenstoffstähle bei Beobachtung mit dem Optischen — und Elektronenmikroskop durchgeführt.

Es wurde besonders, auf die Schliffherstellung, Ätzen, Präparationsmethoden und die Möglichkeit der Beobachtung derselben Stellen mit Hilfe von beiden Geräten hingewiesen.

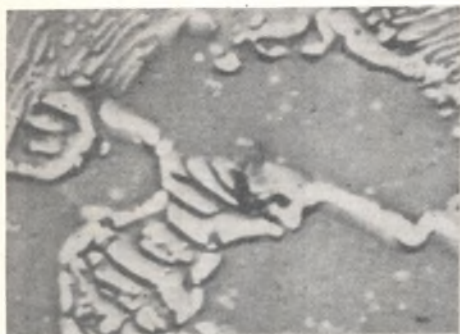
Es hat sich gezeigt, dass man die geeignetste Resultate mit den Movitalabdrücken bei der Ätzung von Salpetersäure in Amylalkohol erhält. Es wurden eigene Präparationsmethoden entwickelt.

Nr rys.	Gatunek stali	Próbka normalizowana w temp.	Trawienie	Preparat	Struktura	Powiększenie × *)			
						Po	Pof	Pe	Pef
1	45	840°C	2% HNO ₃ w alkoholu etyl.	replika mowital. cien. Cr	W osnowie ferrytu ziarna perlitu. Struktura zniekształcona na skutek zbyt silnego zaatakowania perlitu i granic ziarn ferrytu przez odczynnik trawiący. Ciemne linie w perlicie — produkty traw.	—	—	6000	8000
2	45	840°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	replika mowital. cien. Cr	Struktura jak wyżej, lecz zastosowanie odczynnika o łagodniejszym działaniu wybitnie polepsza jej obraz. Widoczna granica ziarn ferrytu oraz charakterystyczne pogrubienia płytek cementytu na granicach ziarn perlitu	—	—	6000	8000
3	45	840°C	pikral	replika mowital. cien. Cr	Struktura jak na rys. 1. Odczynnik trawiący dobrze oddaje budowę płytkową ziarn perlitu, nie ujawnia jednak granic ziarn ferrytu. Jasny punkt u góry rysunku — uszkodzenie repliki.	—	—	6000	8000
4	45	840°C	Chlorek żelaza	replika mowital. cien. Cr	Struktura jak na rys. 1. Trawienie chlorkiem żelaza ujawniło w obrębie ziarn perlitu obszary ferrytu o zmiennej orientacji krystalograficznej w wyniku różnego działania odczynnika trawiącego. Granice ziarn ferrytu słabo ujawnione	—	—	3000	6000
5	10	920°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	zgiąd	W osnowie ferrytu ziarna perlitu. Widoczny zarys kółka obejmującego wybrany szczegół strukt. Prostokąt A obejmuje szczegół struktury pokazany na rys. 6	100	—	—	—
6	10	920°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	zgiąd	Szczegół A rys. 5. Struktura jak na rys. 5 lecz wzrost powiększenia ujawnia nowe szczegóły. Prostokąt B — szczegół pokazany na rys. 7 i 8	500	—	—	—
7	10	920°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	zgiąd	Szczegół B rys. 6. Struktura jak wyżej, lecz ujawnia się budowa ziarna perlitu i wydzielenia cementytu trzeciorzędowego na granicach ziarn ferrytu	1200	2000	—	—
8	10	920°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	replika mowital. cien. Cr	Szczegół B rys. 6 oglądany pod mikroskopem elektronowym. Struktura jak na rys. 7 lecz znacznie bogatsza w szczegóły. Widoczne rozmieszczenie płytek cementytu w perlicie oraz wydzieleń cementytu trzeciorzędowego na granicach ziarn ferrytu. Czarne punkty — zanieczyszczenia repliki	—	—	1200	2000

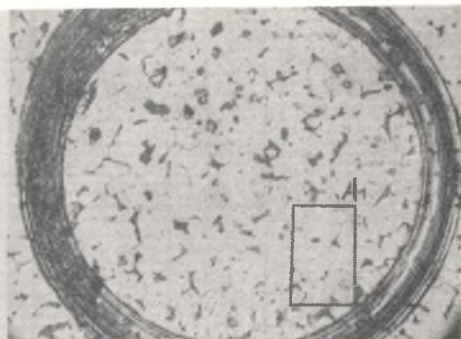
*) Po — powiększenie na mikroskopie optycznym,

Pe — powiększenie na mikroskopie elektronowym,

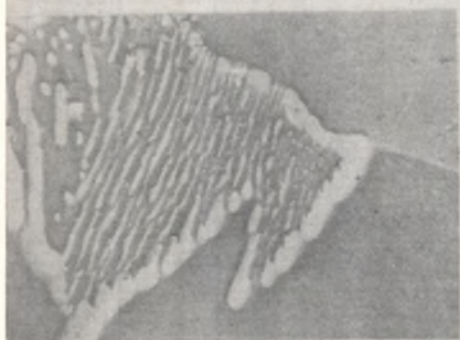
Pof i Pef — całkowite powiększenia fotograficzne obrazów uzyskanych na mikroskopie optycznym lub elektronowym.



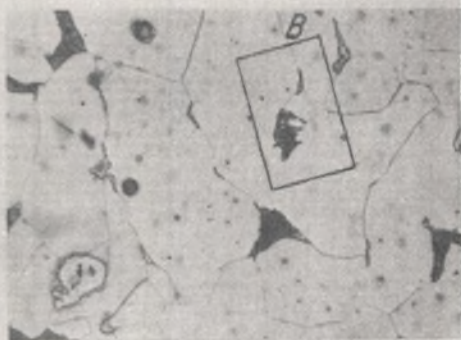
1



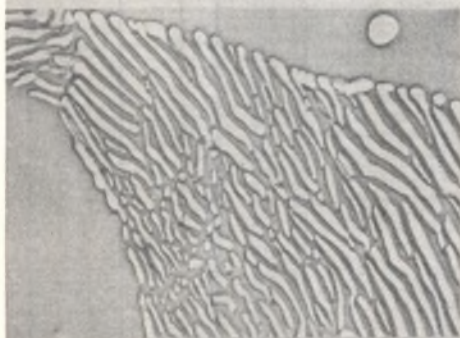
5



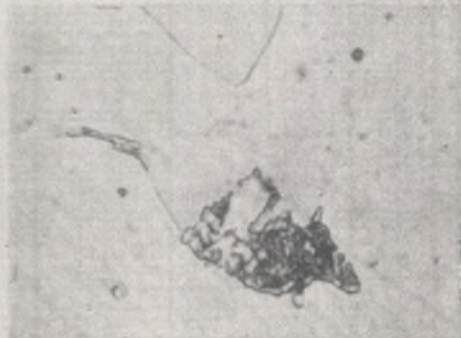
2



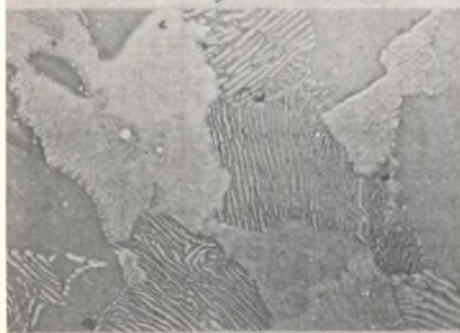
6



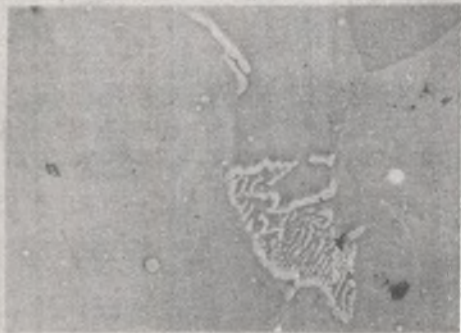
3



7



4



8

Nr rys.	Gatunek stali	Próbka normalizowana w temp.	Trawienie	Preparat	Struktura	Powiększenie × *)			
						Po	Pof	Pe	Pef
9	45	840°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	zgląd	Ziarna ferrytu i perlitu pasemkowego. Z lewej strony rys. widoczny częściowo zarys kółka obejmującego wybrany szczegół. Prostokąt C obejmuje szczegóły struktury pokazany na rys. 10 i 11	500	—	—	—
10	45	840°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	zgląd	Szczegół C rys. 9. Jasne ziarna ferrytu i ciemne perlitu	1200	2000	—	—
11	45	840°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	replika mowital. cien. Cr	Szczegół C rys. 9 oglądany pod mikroskopem elektronowym. Struktura jak wyżej, lecz znacznie bogatsza w szczegóły. Ferryt występuje jako jednolite obszary z zaznaczonymi granicami ziarn; pozostałe obszary — perlit z wyraźnie ujawnioną budową płytkową. Punkty jasne — uszkodzenia repliki, punkty ciemne — zanieczyszczenia repliki. Prostokąt D — szczegół pokazany na rys. 12	—	—	1200	2000
12	45	840°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	replika mowital. cien. Cr	Szczegół D rys. 11 oglądany przy większym powiększeniu elektronowym. Ziarno ferrytu jako jednolity obszar jasny w perlicie pasemkowym w którym ujawnia się wyraźnie ułożenie płytek cementytu. Wzrost powiększenia podnosi czytelność obrazu	—	—	5000	10000
13	85	780°C	pikral	zgląd	Perlit pasemkowy w stali eutektonoidalnej z wyraźnym zaznaczeniem budowy płytkowej	1200	2000	—	—
14	85	780°C	pikral	replika mowital. cien. Cr	Struktura jak wyżej oglądana pod mikroskopem elektronowym. Przy tym samym pow. co optyczny, mikroskop elektronowy daje wyraźny wzrost zdolności rozdź.	—	—	1200	2000
15	N 12	900°C	pikral	zgląd	Perlit pasemkowy z siatką cementytu wtórnego na granicach ziarn	1200	2000	—	—
16	N 12	900°C	pikral	replika mowital. cien. Cr	Struktura jak wyżej oglądana pod mikroskopem elektronowym. Widoczne szczegóły ułożenia płytek cementytu w perlicie oraz wydzieleń cementytu wtórnego na granicach ziarn perlitu	—	—	1200	2000

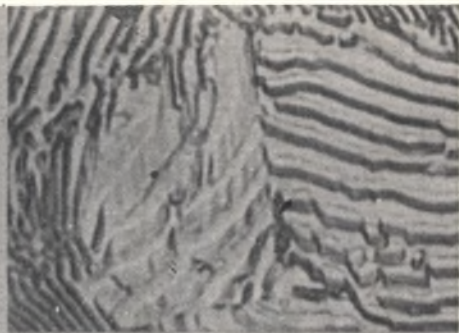
*) Po — powiększenie na mikroskopie optycznym,

Pe — powiększenie na mikroskopie elektronowym,

Pof i Pef — całkowite powiększenia fotograficzne obrazów uzyskanych na mikroskopie optycznym lub elektronowym.



9



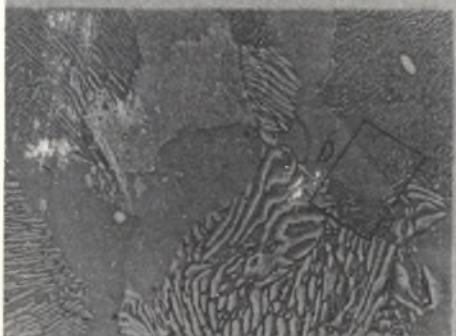
13



10



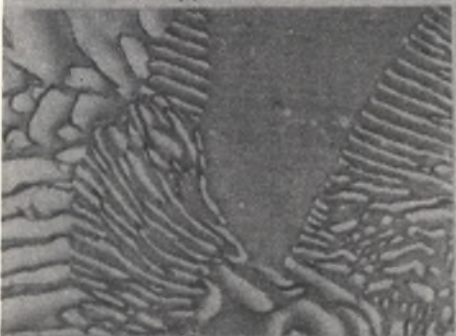
14



11



15



12



16

Nr rys.	Gatunek stali	Próbka normalizowana w temp.	Trawienie	Preparat	S t r u k t u r a	Powiększenie × *)			
						Po	Pof	Pe	Pef
17	10	920°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	replika mowital. cien. Cr	Skupienia cementytu w ferrycie w stali niskowęglowej — tzw. „perlit zdegenerowany”	—	—	6000	9000
18	10	920°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	replika mowital. cien. Cr	W osnowie ferrytu z cementytem trzeciorzędowym na granicach ziarn — ziarno perlitu z charakterystyczną „otoczką” cementytu	—	—	3000	6000
19	45	840°C	2% HNO ₃ w alkoholu n-amyl.	replika mowital. cien. Cr	W osnowie ferrytu ziarno perlitu w którym ujawnia się obszar o charakterystycznej „słupkowej” budowie wydzielen cementytu	—	—	6000	9000
20	N 12	900°C	pikral	replika mowital. cien. Cr	Wydzielenia cementytu wtórnego na granicach ziarn perlitu, częściowo skoagulowanego. Z lewej strony rys. widoczne dokrystalizowanie płytek cementytu perlitu do wydzielen cementytu wtórnego	—	—	6000	9000

*) Po — powiększenie na mikroskopie optycznym,

Pe — powiększenie na mikroskopie elektronowym,

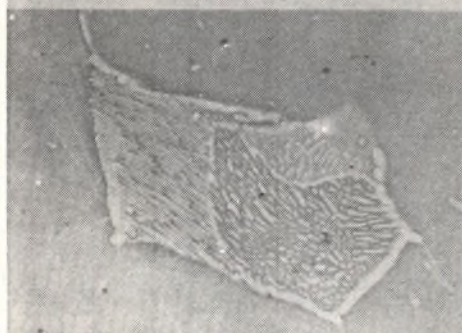
Pof i Pef — całkowite powiększenia fotograficzne obrazów uzyskanych na mikroskopie optycznym lub elektronowym.



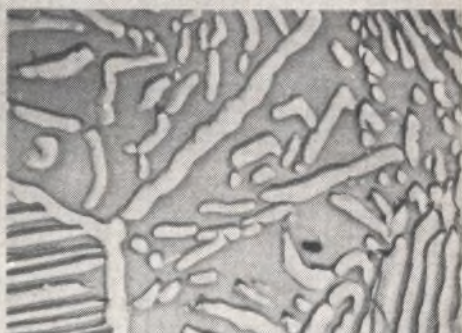
17



19



18



20