

EMIL OLEWICZ

BADANIA STRUKTURY WARSTWY AZOTOWANEJ
NA MIKROSKOPIE ELEKTRONOWYM

Streszczenie: Przeprowadzono badania metalograficzne warstwy azotowanej na mikroskopie optycznym i elektronowym. Do badań użyto stali 38HML azotowanej przy nagrzewaniu indukcyjnym oraz w piecu mufowym. Określono wpływ temperatury i czasu zabiegu oraz sposobu nagrzewania na strukturę i grubość warstwy azotowanej.

1. W S T Ę P

Związek pomiędzy własnościami, a budową strukturalną stopów metali stanowi jak dotąd jeden z głównych tematów zainteresowań metaloznawczych. Spośród licznych przemian strukturalnych, które mogą zachodzić w metalach i stopach, do najczęściej spotykanych i posiadających największe znaczenie praktyczne należy zaliczyć procesy wydzielania fazowych składników strukturalnych. Procesy te stanowią istotę wielu zabiegów obróbki cieplnej jak hartowanie, odpuszczanie i utwardzanie dyspersyjne. Często występują one samorzutnie jako zjawisko niepożądane, jak to ma miejsce w przypadku starzenia naturalnego. Wpływ omawianych procesów na własności stopów metali zależy głównie od rodzaju, postaci i wielkości wydzieleni. W szczególności im większa dyspersja cząstek wydzielonych składników fazowych, tym wywierają one silniejszy wpływ na fizyczne i mechaniczne własności stopów.

Badania kinetyki procesów wydzieleniowych mają duże znaczenie zarówno teoretyczne jak i praktyczne. Niestety śledzenie tych zjawisk napotyka na duże trudności, ponieważ wielkość cząstek wydzielającej się fazy leży zazwyczaj znacznie poniżej zdolności rozdzielczej mikroskopu optycznego. Analogiczne trudności występują przy stosowaniu rentgenograficznej analizy strukturalnej, która w wielu przypadkach nie przynosi również oczekiwanych wyników: z powodu dyspersji cząstek i ich małej koncentracji w osnowie.

Dlatego do tych celów stosuje się metody pośrednie, oparte na badaniach własności mechanicznych (Rr, HB, U) lub metod fizycznych polegających na pomiarach tłumienia drgań, własności magnetycznych, przewodnictwa elektrycznego i innych. Jednakże metody te wyrażają jedynie skutki procesów wydzieleniowych na postawie których można tylko wnioskować o kinetyce rozpatrywanego zjawiska.

Śledzenie kinetyki procesów wydzieleniowych ułatwia w dużej mierze mikroskop elektronowy, umożliwiający dzięki wysokiej zdolności rozdzielczej obserwacje cząstek o wielkości nawet kilkudziesięciu \AA (angstrémów). W dodatku przy odpowiednich metodach preparatyki można badać nie tylko wielkość, postać i charakter występowania wydzieleni lecz także - w niektórych przypadkach - ich budowę krystalograficzną za pomocą dyfrakcji elektronowej.

Błędny byłby sąd, że mikroskop elektronowy zdoła zastąpić inne metody badań. Zaletą jego jest, że przynosi on nowe dane o budowie i szczegółach wydzielających się składników strukturalnych, ułatwiając tym samym powiązanie dotychczasowych wyników badań i uzasadnienie hipotetycznie wysnutych wniosków.

2. CEL BADAŃ

Przytoczone rozważania, dotyczące procesów wydzieleniowych, odnoszą się w pełni do przemian strukturalnych, towarzyszących utwardzaniu powierzchni stali przez azotowanie. Za pomocą tej obróbki cieplno-chemicznej uzyskuje się cenne własności warstwy powierzchniowej, a przede wszystkim przy użyciu stali stopowej do azotowania, otrzymuje się bardzo wysoką twardość, nie osiągalną przy innych zabiegach obróbki cieplnej. Wzrost twardości tłumaczy się wydzieleniem wysoko - dyspersyjnych azotków, których jednak nie można ujawnić ani za pomocą badań metalograficznych, ani rentgenograficznych.

Poważną niedogodnością oraz przeszkodą w szerszym stosowaniu azotowania stali w praktyce jest długi czas zabiegu. Nie ulega jednak wątpliwości, że intensyfikacja tego rodzaju obróbki cieplno-chemicznej możliwa jest jedynie w oparciu o dokładną znajomość zmian strukturalnych jej towarzyszących. Wysoka dyspersja wydzielonych faz w procesie azotowania stali, czyni mikroskop elektronowy szczególnie przydatnym do badania tych zjawisk.

Praca niniejsza miała na celu zbadanie struktury warstwy azotowanej przy zastosowaniu porównawczych obserwacji na mikroskopie optycznym i elektronowym. W szczególności chodziło o określenie wpływu nagrzewania indukcyjnego prądami wielkiej częstotliwości oraz temperatury i czasu zabiegu na występowanie faz w strukturze warstwy azotowanej i ich dyspersję. Otrzymane wyniki porównano z uzyskanymi po azotowaniu konwencjonalnym w piecu muflowym.

3. DOBÓR STALI I OBRÓBKA CIEPŁINA

Próby azotowania przeprowadzono na stali chromowo-glinowo-molibdenowej do azotowania o oznaczeniu 38HMJuA, zawierającej 0,39% C, 1,57% Cr, 0,88% Al i 0,21% Mo. Stal tę poddano wstępnemu ulepszaniu cieplnemu przez hartowanie z temperatury 940°C w oleju i odpuszczeniu w 640°C, a następnie po tym zabiegu wykonano cylindryczne próbki o średnicy 15 mm i wysokości 16 mm. Przygotowane próbki poddano azotowaniu przy nagrzewaniu indukcyjnym i w piecu muflowym przy parametrach podanych w tabelicy 1.

Tablica 1

Parametry azotowania stali 38HMJuA przy nagrzewaniu indukcyjnym i w piecu muflowym

| Oznaczenie próbek | temperatura azotowania °C | Czas azotowania godz. | Dysocjacja NH ₃ % | U w a g i |
|-------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---|
| 1 | 500 | 16 | 25 | azotowanie przy nagrzewaniu indukcyjnym |
| 2 | 550 | 8 | 35 | |
| 3 | 600 | 4 | 40 | |
| 4 | 650 | 4 | 50 | |
| 5. | 560 | 48 | 35 | azotowanie w piecu muflowym |

Azotowanie przy nagrzewaniu indukcyjnym przeprowadzono w rurze wykonanej ze szkła trudnotopliwego i umieszczonej w induktorze grzejnym pieca wielkiej częstotliwości. Próbki w rurze ustawiano na pręcie kwarcowym umocowanym w specjalnym uchwycie tak, aby zajmowały one współśrodkowe położenie

względem induktora i całkowicie mieściły się w jego jednorodnym polu magnetycznym. Odpowiednie zamknięcia końców rury zapewniały doprowadzenie amoniaku i odprowadzenie produktów jego dysocjacji. Temperaturę mierzono termoelementem Pt - PtRh, którego gorący koniec wprowadzono do otworu wywierconego tuż pod powierzchnią próbki. Regulacji temperatury dokonywano przez zmianę mocy doprowadzonej oraz zmianę sprzężenia zwrotnego. Czas azotowania został dobrany przez kolejne próby tak, aby warstwa po azotowaniu indukcyjnym miała w przybliżeniu tę samą grubość, jaką osiągnięto w piecu muflowym po 48 godzinach przy temperaturze 560°C. Azotowanie w piecu muflowym przeprowadzono sposobem powszechnie stosowanym w praktyce laboratoryjnej i przemysłowej. Pomiar dysocjacji amoniaku w obu odmianach nagrzewania dokonywano za pomocą wodnego dysocjometru absorbcyjnego.

4. PRZYGOTOWANIE ZGŁADÓW I WYKONANIE REPLIK DO BADAŃ STRUKTURY NA MIKROSKOPIE ELEKTRONOWYM

Po zabiegach azotowania próbki inkludowano w tulejkach stalowych przez wypełnienie wolnej przestrzeni gęstopłynną zawiesiną polimeru (proszek) w monomerze (ciecz) metakrylanu metylu, który polimeryzując w temperaturze otoczenia tworzy zwartą i twardą substancję. Sposobem tym zabezpieczano zewnętrzną warstwę azotków przed wykruszaniem się podczas dalszych zabiegów wykonywania zgładów. Inkludowane próbki szlifowano od czoła na szlifierce do płaszczyzn zdejmując warstwę o grubości około 4 - 5 mm. Dalsze szlifowanie przeprowadzono ręcznie na wodoodpornych papierach ściernych a następnie polerowano na specjalnych tarczach pastami diamentowymi. Do badań metalograficznych na mikroskopie optycznym próbki trawiono 2% roztworem kwasu azotowego.

Repliki do badań struktury na mikroskopie elektronowym zdejmowano ze zgładów wykonanych ukośnie na powierzchni bocznej próbek po wytrawieniu polerowanej powierzchni 1% roztworem kwasu azotowego w alkoholu amylovym. Po wytrawieniu, na starannie umyty i oczyszczony zgład наносzono kroplę 0,5% roztworu mowitalu w chloroformie, który po odparowaniu pozostawiał na powierzchni cienką błonkę mowitalową o grubości przydatnej do badań elektronowych. Przed oddzieleniem błonkę wzmacniano warstwą kolloidum, którą po wyschnięciu zdejmowano razem z błonką mowitalową. Następnie replikę cieniowano chromem pod kątem 45° i rozpuszczano warstwą wzmacniającą. Wyłowione repliki na siateczki nośne poddawano obserwacji na mikroskopie elektronowym.

Badanie na mikroskopie elektronowym struktury warstwy azotowanej, w szczególności preparatyka, nastrożają pewne trudności. Polegają one na tym, że obszar na zglądzie z którego wykonuje się replikę jest stosunkowo mały, przy czym struktura zmienia się w sposób ciągły. Istnieje zatem konieczność ścisłego oznaczenia na replice położenia miejsca badanego, co w przedstawionej pracy uzyskiwano przez odciski mikrotwardościomierza. Oznaczony w ten sposób obszar odwzorowany na replice i zajmujący centralne położenie siateczki nośnej, można było z łatwością wprowadzić w pole widzenia mikroskopu elektronowego.

5. WYNIKI BADAŃ

Badania metalograficzne struktury warstwy azotowanej przeprowadzono za pomocą mikroskopu optycznego przy powiększeniach od $100 \div 1000 \times$ oraz na mikroskopie elektronowym przy powiększeniach od $2000 \div 10000 \times$.

Obserwacja na mikroskopie optycznym umożliwiła wstępną ocenę struktury warstwy, a w szczególności ogólne rozeznanie jej budowy oraz odróżnienia rodzajów i głębokość zalegania poszczególnych faz.

Charakterystyczne obrazy struktur fotografowano przy powiększeniach $100 \div 500 \times$.

Celem ujawnienia szczegółów struktury, a przede wszystkim obecności wydzieleni, do badań stosowano mikroskop elektronowy.

Wyniki badań przedstawiają się następująco:

Po ulepszeniu cieplnym materiał próbek wykazuje strukturę sorbitu iglastego w układzie pomartenzytycznym z prawie niewidocznymi wydzieleniami cementytu przy obserwacji w powiększeniu do $1000 \times$. Szczegóły budowy tej struktury ujawnia dopiero mikroskop elektronowy. Na ciemnym tle osnowy ferrytycznej występują jaśniejsze, iglaste ziarna ferrytu, powstałe z igieł odpuszczonego martenzytu oraz węgliki o kształtach globulitycznych i wydłużonych - rys.1 i 2. Rozkład węglików jest nierównomierny, tworząc skupienia na granicach utworów iglastych oraz pierwotnych ziarn austenitu. W obszarach igieł pomartenzytycznych wydzielenia są drobniejsze, kuliste a ilość ich jest mniejsza.

Po azotowaniu w $500 \text{ }^\circ\text{C}$ na powierzchni próbek występuje nietrawiąca się warstwa fazy ϵ o jednolitej budowie i grubości około $0,02 \text{ mm}$, ostro odcinająca się od przyległej warstwy przesyconego roztworu α . Za przejściem, w roztworze α wi-

doczna jest faza γ' , występująca w postaci jasnej, nietrawiącej się siatki na granicach ziarn, ułożonej równoległe do powierzchni. Ze wzrostem głębokości faza ta zanika rys.3.

Ciemniej trawiąca się faza roztworu α (nitroferrytu) wykazuje drobno iglastą budowę, lecz iglastość ta jest mniejsza niż w rdzeniu. Całkowita grubość warstwy azotowanej wynosi ok. 0,48 mm.

Rys.4 przedstawia strukturę roztworu α przy powiększeniu 10000 x. Nietrawiące się jasne utwory o nieregularnych kształtach stanowią wydzielenia fazy γ' (Fe_4N), tworzące przerywane pasma pomiędzy którymi w osnowie występują wysoko-dyspersyjne cząstki wydzieleni kulistych. Wydzieleni tych zidentyfikować nie zdołano, lecz prawdopodobnie są one azotkami składników stopowych.

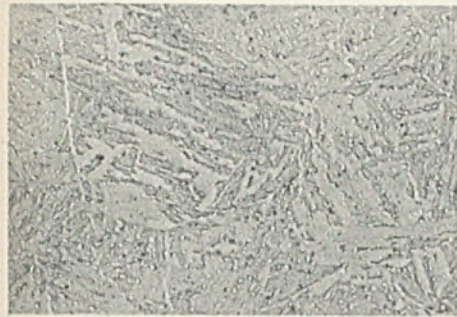
Struktura warstwy azotowanej w temperaturze 550°C wykazuje ~ podobnie jak poprzednio - na powierzchni obecność fazy ϵ o stosunkowo łagodniejszym przejściu do warstwy sąsiedniej. Na przejściu faza ϵ częściowo przenika się z warstwą roztworu α a wydzielenia fazy γ' w postaci siatki zanikają szybko ze wzrostem głębokości - rys.5 i 6.

Szczegóły budowy strukturalnej roztworu α widoczne są na rys.7 i 8. Niewidoczne przy mniejszych powiększeniach wydzielenia azotków fazy γ' o kształtach nieregularnych skupiają się na granicach ziarn lub bloków struktury mozaikowej, względnie tworzą przerywane pasma wzdłuż granic niskokątowych. Wewnątrz ziarn i bloków występują dyspersyjne wydzielenia o kształtach globulitycznych lub wydłużonych.

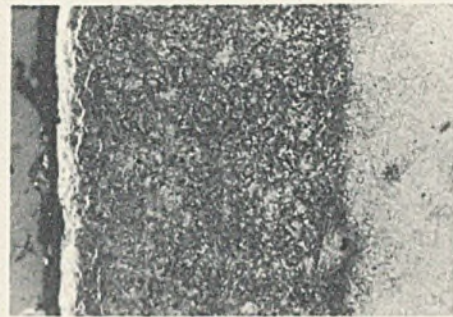
Struktura próbek azotowanych w temperaturze 600°C posiada ten sam układ warstw fazowych jak próbki azotowane w temperaturach niższych. Różnica występuje tylko w grubości zewnętrznej warstwy fazy ϵ , która maleje. Zanika również siatka azotków fazy γ' . Struktura roztworu stałego przybiera bardziej jednolity charakter i ztraca iglastą budowę. Obserwacje przy dużych powiększeniach ujawniają natomiast rozrost wydzieleni fazy γ' na granicach ziarn tworzących miejscami pasma ciągłe - rys.9. Rozrastają się także dyspersyjne wydzielenia azotków wewnątrz ziarn lub bloków, przybierając kształt drobno-iglasty rys.10.

Wzrost temperatury azotowania do 650°C wywołuje pojawienie się nowej fazy zwanej braunitem. Występuje ona pod warstwą fazy ϵ jako faza najbardziej podatna na odczynnik trawiący i z tej przyczyny przybiera ona barwę ciemno brunatną, zbliżoną do koloru czarnego. Kolejną warstwę stanowi roztwór α , który ztraca całkowicie budowę iglastą a struktura przybierze

OPIS RYSUNKÓW



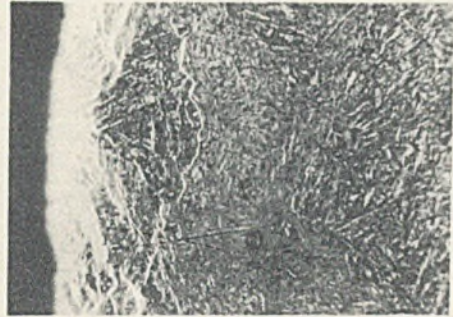
1



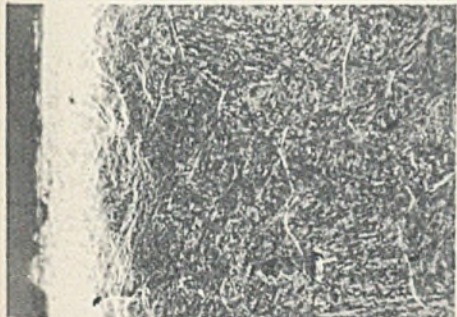
5



2



6



3



7



4

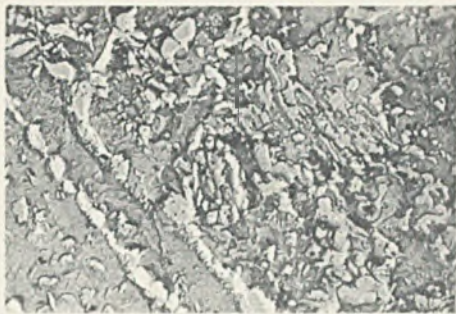


8

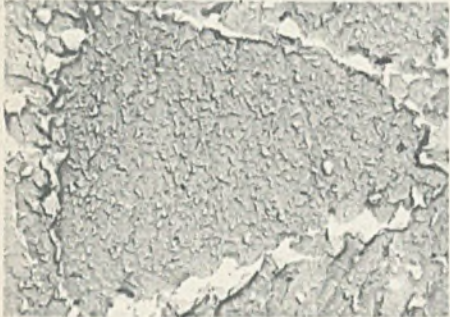
| Nr rys. | Nr próbki | Preparat | Struktura | Powiększenie X | | | |
|---------|-------------------------------|-----------------------------|---|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | | | P _o | P _{of} | P _e | P _{ef} |
| 1 | próbka po ulepszeniu cieplnym | replika mowitalowa cien. Cr | Sorbit zachowujący iglastą budowę martenzytyczną. W osnowie ferrytu skoagulowane węgliki, skupiające się na granicach utworów iglastych oraz pierwotnych ziarn austenitu. | — | — | 2000 | 3500 |
| 2 | jak na rys. 1 | replika mowitalowa cien. Cr | Struktura jak na rys. 1, lecz obserwowana przy większym powiększeniu. W osnowie ferrytu globulityczne oraz wydłużone wydzielenia węglików. Gładki wydłużony obszar — wtrącenie niemetaliczne. | — | — | 8000 | 10000 |
| 3 | 1 | zgląd | Struktura warstwy azotowanej. Jasna warstwa fazy ε na powierzchni próbki oraz siatka fazy γ' na granicach ziarn ciemno trawiącego się roztworu α (nitro-ferrytu). | 500 | 500 | — | — |
| 4 | 1 | replika mowitalowa cien. Cr | W osnowie przesyconego roztworu α duże jasne wydzielenia fazy γ' (Fe ₄ N) o nieregularnych kształtach oraz wysokodyspersyjne cząstki wydzielen azotków składników stopowych. | — | — | 8000 | 10000 |
| 5 | 2 | zgląd | Struktura warstwy azotowanej. Jasne pasmo fazy ε na powierzchni próbki o łagodnym przejściu do warstwy sąsiedniej. Wydzielenia fazy γ' zanikają szybko ze wzrostem głębokości. | 100 | 100 | — | — |
| 6 | 2 | zgląd | Struktura jak na rys. 5. | 500 | 500 | — | — |
| 7 | 2 | replika mowitalowa cien. Cr | W osnowie nitro-ferrytu wydzielenia fazy γ'. Widoczne skupienie wydzielen na granicach ziarn oraz bloków struktury mozaikowej, przerywane pasma wydzielen wzdłuż granic niskokątowych. W obrębie ziarn i bloków wydzielenia o wysokiej dyspersji. | — | — | 8000 | 10000 |
| 8 | 2 | replika mowitalowa cien. Cr | Struktura jak na rys. 7. | — | — | 8000 | 10000 |



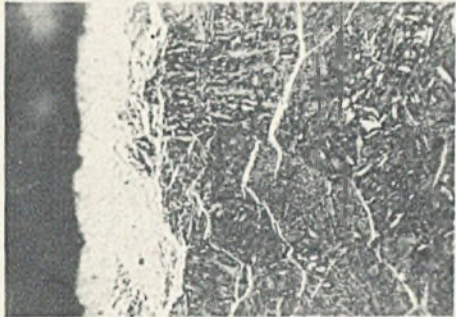
9



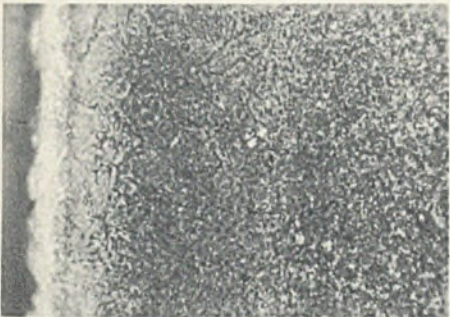
13



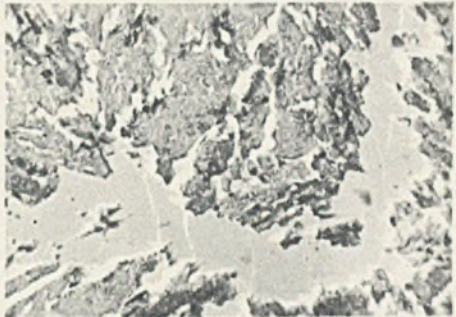
10



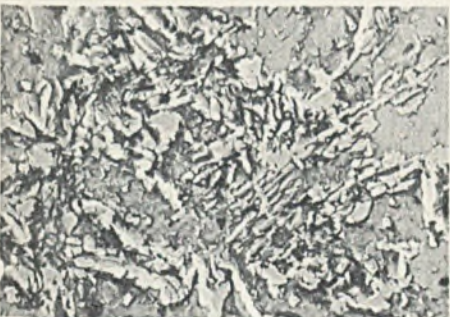
14



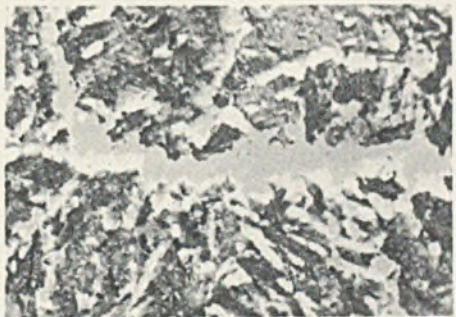
11



15



12



16

| Nr rys. | Nr próbki | Preparat | Struktura | Powiększenie X ^{*)} | | | |
|---------|-----------|----------------------------|--|------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | | | P _o | P _{of} | P _e | P _{ef} |
| 9 | 3 | replika mowitalowacien, Cr | Znaczne skupienia fazy γ' na granicach ziarn oraz bloków struktury mozaikowej nitroferrytu. Miejscami faza γ' tworzy pasma ciągle. | — | — | 2000 | 3500 |
| 10 | 3 | reolika mowitalowacien, Cr | Struktura jak na rys. 9, oglądana przy większym powiększeniu. Dyspersyjne wydzielenia azotków wewnątrz ziarn przybliżają kształt drobnoglasty. | — | — | 8000 | 10000 |
| 11 | 4 | zgląd | Struktura warstwy azotowanej. Jasna warstwa fazy ϵ na powierzchni próbki, przechodząca kolejno w braunit oraz roztwór α . Zanik iglastości struktury. | — | — | 8000 | 10000 |
| 12 | 4 | replika mowitalowacien, Cr | Braunit — eutektoidalna mieszanina fazy γ' (jasnej) oraz nitroferrytu. Wydzielenia fazy γ' stosunkowo duże i o zróżnicowanym kształcie i wielkości. | — | — | 8000 | 10000 |
| 13 | 4 | replika mowitalowacien, Cr | Struktura jak na rys. 12. | — | — | 8000 | 10000 |
| 14 | 5 | zgląd | Struktura warstwy azotowanej. Jasna faza ϵ na powierzchni próbki oraz wydzielenia fazy γ' na granicach ziarn nitroferrytu. Znaczna gruboiglastość struktury. | 500 | 500 | — | — |
| 15 | 5 | replika mowitalowacien, Cr | Jasna siatka fazy γ' na granicach nitroferrytu. W obrębie ziarn fazy α widoczne azotki składników stopowych o nieregularnym kształcie i znacznie mniejszej dyspersji niż w próbce nr 2 (rys. 4). | — | — | 8000 | 10000 |
| 16 | 5 | replika mowitalowacien, Cr | Struktura jak na rys 15. | — | — | 8000 | 10000 |

^{*)} P_o — powiększenie na mikroskopie optycznym,

P_e — " " " elektronowym,

P_{ef}, P_{of} — całkowite powiększenie obrazów otrzymanych na mikroskopie elektronowym lub optycznym.

postać jednolitą o szczegółach niedostrzegalnych pod mikroskopem optycznym - rys.11.

Dopiero badania na mikroskopie elektronowym ujawniają szczegóły budowy w warstwie roztworu α . Wydzielenia azotków γ' zarówno pasmowe jak i na granicach ziarn oraz wewnątrz ziarn wydatnie wzrastają, przybierają rozmaite kształty - od grubych, nieregularnych lub wydłużonych, aż do drobnych - globulitycznych lub w formie igiełek i przecinków. Szczególną budowę przedstawia braunit, który jako produkt rozpadu eutektoidalnego fazy γ tworzy pasmkowy układ równoległych płytek fazy γ' i nitroferrytu - rys.12 i 13. Jednak eutektoidalna faza braunitu nie odznacza się tak regularną budową, jak to ma miejsce w stopach Fe-C dla perlitu.

Rys.14, 15 i 16 przedstawiają dla porównania struktury warstwy azotowanej w temp. 560°C w piecu muflowym. Przy tym zabiegu zarówno warstwa fazy ϵ jak i siatka fazy γ' powstaje o znacznie większej grubości niż te same składniki strukturalne przy nagrzewaniu indukcyjnym, niezależnie od temperatury zabiegu.

6. DYSKUSJA WYNIKÓW

Jak wynika z przeprowadzonych badań, mikroskop elektronowy pozwala ujawnić szereg istotnych szczegółów struktury warstwy azotowanej, niewidocznych na mikroskopie optycznym. Dotyczy to głównie wielkości, kształtu i rozmieszczenia wydzieleni fazy γ' , drobnych azotków w nitroferrycie oraz budowy braunitu.

Wydzielenia fazy γ' posiadają kształt nieregularny i występują głównie w postaci siatki na granicach ziarn, przerywanych pasm na granicach bloków struktury mozaikowej oraz jako drobne cząstki w nitroferrycie (rys.4, 7 i 8). Ujawnione w obrębie ziarn roztworu α bardzo drobne, nieregularne wydzielenia są przypuszczalnie azotkami dodatków stopowych (rys.10).

W porównaniu do wydzieleni fazy γ' , azotki te odznaczają się znacznie większą dyspersją.

W strukturze próbek azotowanych w temperaturze 650°C wystąpił braunit, widoczny na mikroskopie optycznym w postaci ciemno trawiących się obszarów; mikroskop elektronowy pozwolił ujawnić jego dwufazową budowę. Rozmieszczone w osnowie nitroferrytu wydzielenia fazy γ' braunitu mają kształt nieregularny i różną wielkość (rys.12 i 13).

Porównanie struktury warstw azotowanych przy nagrzewaniu indukcyjnym oraz w piecu muflowym wykazało, że zastosowanie nagrzewania indukcyjnego nie wpływa na układ poszczególnych faz i składników strukturalnych warstwy azotowanej. Zwiększa ono natomiast w znacznym stopniu dyspersję wydzieleni fazy γ' i azotków dodatków stopowych oraz zmniejsza grubość fazy ϵ . Zjawisku temu towarzyszy wzrost twardości warstwy azotowanej która przy azotowaniu w temperaturze 500°C wynosi około 1300 HV, a w 650°C 1050 - 1100 HV, podczas gdy przy azotowaniu w piecu muflowym w temperaturze 560°C uzyskano tylko 980 HV

Znaczny wzrost twardości tłumaczy się wzrostem dyspersji cząstek oraz prawdopodobnym wzrostem zawartości azotu w warstwie. Oznacza to, że nagrzewanie indukcyjne powoduje zwiększenie szybkości dyfuzji azotu w stali oraz ułatwia jego przenikanie poprzez ziarna i tym samym zmniejsza różnicę szybkości na granicach ziarn. Jako dowód tego zjawiska można wskazać na różnice grubości siatki fazy γ' , która nawet ze wzrostem temperatury w zupełności zanika.

Różnice strukturalne warstwy azotowanej i wzrost szybkości dyfuzji azotu przy nagrzewaniu indukcyjnym są wynikiem oddziaływania szybkozmiennego pola magnetycznego i związanego z nim zjawiska magnetostrykcji. Wydaje się także możliwy wpływ wzbudzanych prądów wirowych na transport atomów azotu w stali. To ostatnie zjawisko wymagałoby jeszcze dodatkowych badań.

W przeprowadzonych badaniach nie zdołano przeprowadzić identyfikacji wysokodispersyjnych wydzieleni występujących w ziarnach i blokach struktury mozaikowej, ponieważ posiadany przez Katedrę Metaloznawstwa mikroskop elektronowy jako przestarzały nie jest przystosowany do tego rodzaju badań.

Zastosowanie nagrzewania indukcyjnego wpływa nie tylko na strukturę i twardość warstwy azotowanej, lecz również zwiększa jej grubość, co pozwala na znaczne skrócenie czasu zabiegu. W praktyce może to przynieść znaczne korzyści techniczne i ekonomiczne. Sprawa ta wymaga jeszcze dalszych doświadczeń, a przede wszystkim sprawdzenia własności mechanicznych i technologicznych oraz analizy kalkulacyjnej, co dałoby ostateczną odpowiedź i ocenę tego zagadnienia.

Z tych względów badania nad azotowaniem indukcyjnym w Katedrze Metaloznawstwa będą nadal kontynuowane.

7. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika:

1. Mikroskop elektronowy pozwala ujawnić kształt, wielkość i rozmieszczenie fazowych składników strukturalnych warstwy azotowanej.
2. Sposób nagrzewania przy azotowaniu nie wpływa na zmianę układu faz w warstwie azotowanej, natomiast zmienia ich dyspersję.
3. Zastosowanie nagrzewania indukcyjnego zmniejsza grubość kruchej fazy ε , przeciwdziała występowaniu fazy γ' w postaci grubej siatki na granicach ziarn oraz zwiększa dyspersję wydzieleni azotków w osnowie roztworu α .
4. Wyższa twardość warstwy azotowanej oraz możliwość znacznego skrócenia czasu zabiegu przy nagrzewaniu indukcyjnym, wskazują na duże praktyczne znaczenie tego sposobu nagrzewania.

LITERATURA

- [1] Staub F. - Obróbka cieplna stopów metali. PWN- Łódź - Kraków 1955.
- [2] Kosieradzki P. - Obróbka cieplna metali. PWT - Warszawa 1955.
- [3] Minkiewicz A.N. - Chimiko - termiczeskaja obrabotka stali. Moskwa 1950.
- [4] Hägg G. - Z. Phys. Chem. 8, 1930.st.455.
- [5] Jack K,H. - Acta Cryst. 5, 1952. str.404.
- [6] Houdremont E. - Handbuch der Sonderstahlkunde. Springer Verlag - Berlin 1958.
- [7] Taylor A. - X-Ray Metallography. John - Willey - New York, 1961

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ ПОСЛЕ АЗОТИРОВАНИЯ

Проведено металлографические исследования при помощи электронного микроскопа поверхностного слоя стали 38ХМЮА после азотирования. Образцы закаленные от температуры 940° в масле, после отпуска при 640° азотировались при индукционном и конвенциональном нагреве в области температур от 500 до 650°.

Определено влияние температуры и времени процесса, а также способа нагрева на структуру и толщину поверхностного слоя азотированной стали.

GEFÜGEUNTERSUCHUNG EINER NITRIERTEN SCHICHT IM ELEKTRONENMIKROSKOP

Die nitrierte Schicht eines 38HMJuA Stahles, welche bei Induktionsanwärmung sowie im Muffelofen erhalten wurde, wurde beschrieben. Das Gefüge im Bezug von Temperatur und Zeiteinfluss der Nitrierung wurde erläutert.