

MAREK HETMAŃCZYK, ADOLF MACIEJNY

Katedra Materiałoznawstwa

STANISŁAW MANDZIEJ

Katedra Metaloznawstwa

ZMIANY STRUKTURALNE ZACHODZĄCE PODCZAS OBRÓBKI CIEPLNEJ W STALI 18H2N4MA

Streszczenie. Zbadano wpływ podstawowych zabiegów obróbki cieplnej na twardość, wytrzymałość i udarność stali 18H2N4MA. Stosując obserwację replik w mikroskopie elektronowym oraz identyfikację wydzielań metodą dyfrakcji elektronowej określono morfologię węglików oraz substrukturę fazy α' . Wyniki badań pozwoliły na opracowanie wniosków o znaczeniu przemysłowym.

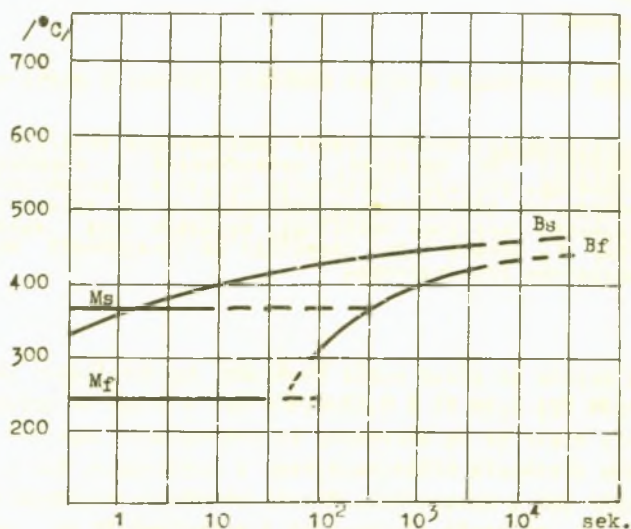
1. Wstęp

Stal 18H2N4MA należy do grupy stali Cr-Ni-Mo, zawierających ok. 0,1 - 0,22% C; ok. 1,5% Cr; 4,5% Ni i 0,25-0,40% Mo. Z uwagi na wysokie własności mechaniczne, stale te są stosowane na szczególnie odpowiedzialne elementy maszyn dla przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego, tak w stanie ulepszonym cieplnie jak i nawęglonym. Wyroby obrobione cieplnie po nawęglaniu uzyskują dużą twardość powierzchni i wytrzymałość na zmęczenie, przy dobrej wytrzymałości rdzenia - R_m ok. $(11,76-13,73) \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (120 - 140 kg/mm^2) i udarności U ok. $137,3 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (14 kgm/cm^2); natomiast wyroby ulepszone cieplnie - bardzo dobre własności plastyczne i wytrzymałościowe na całym przekroju - R_m ok. $(8,83-11,73) \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (90-120 kg/mm^2), R_e ok. $(7,85-8,83) \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (80-90 kg/mm^2) [1].

Dodatki stopowe rozpuszczone podczas austenityzowania w roztworze stałym, zwiększają wydatnie hartowność, przez co wyroby z tej stali po ochłodzeniu na powietrzu uzyskują strukturę bainityczną. Chrom, tworząc trwałe węgliki, opóźnia procesy dyfuzyjne, dzięki czemu stal 18H2N4MA zachowuje wysoką twardość i wytrzymałość nawet po odpuszczeniu w temperaturze 600°C. Molibden jest dodatkiem stopowym, mającym za zadanie przeciwdziałać kruchości odpuszczania. Nikiel natomiast wpływa korzystnie na zachowanie wysokich własności plastycznych - głównie udarności.

Charakterystyczną cechą wykres CTP₀ stali 18H2N4MA jest brak zakresu przemiany perlitycznej (rys. 1). Przemiana bainityczna występuje poniżej temperatury 470°C, przy czym czystą strukturę bainityczną uzyskuje się po ochłodzeniu ciągłym z szybkością mniejszą od ok. 30°C/min. Przy większych szybkościach ochłodzenia uzyskuje się strukturę bainityczno-martenzytyczną.

Temperatura A_{c1} dla tej stali wynosi ok. 700°C , zaś temperatura A_{c3} - 810°C . Temperatury M_s i M_f wynoszą odpowiednio 370 i 250°C , po austenityzowaniu w temperaturach $840 - 860^{\circ}\text{C}$. Ponieważ temperatura M_f jest dość wysoka, zawartość austenitu szczytkowego w omawianej stali jest niewielka i wynosi od 2 do 4% [2].



Rys. 1. Wykres CTP₀ dla stali 18H2N4MA po austenityzowaniu w temperaturze 860°C [2]

2. Badania własne

Badania miały na celu określenie zmian strukturalnych, zachodzących podczas obróbki cieplnej stali 18H2N4MA oraz ich wpływu na własności mechaniczne: twardość, wytrzymałość i udurowienie. W szczególności chodziło o stwierdzenie wpływu podstawowych parametrów obróbki cieplnej: temperatury austenityzowania i szybkości chłodzenia podczas hartowania, temperatury oraz czasu odpuszczania na morfologię składników strukturalnych.

2.1. Materiał do badań i obróbka cieplna próbek

Badania przeprowadzono na wytopie przemysłowym stali 18H2N4MA. Skład chemiczny badanej stali zawiera tablica 1.

Tablica 1

Skład chemiczny stali 18H2N4MA

Oznaczenie	Skład chemiczny %							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Skład chemiczny stali 18H2N4MA wg PN-58/H-8435	0,15 do 0,20	0,25 do 0,55	0,17 do 0,37	max 0,025	max 0,025	1,35 do 1,65	4,00 do 4,50	0,27 do 0,40
Skład chemiczny badanej stali	0,16	0,30	0,31	0,030	0,012	1,39	4,36	0,30

Próbki do badań wytrzymałościowych i uderzeniowych pobrano z pręta o średnicy 26 mm, zgodnie z kierunkiem przeróbki plastycznej. Próbki poddane następującym zabiegom obróbki cieplnej:

- hartowaniu z temperatur: 860, 900, 950 i 1000°C, przy różnych szybkościach chłodzenia: w oleju, na powietrzu i w osłonie, umożliwiającej chłodzenie z szybkością ok. 15°C/min;
- Odpuszczaniu próbek hartowanych z 860°C w oleju, w temperaturach: 200, 300, 400, 500, 550, 600, 650 i 700°C, przez: 1, 2 i 3 godziny;
- hartowaniu izotermicznemu w 640°C po austenityzowaniu w temperaturze 1000°C;
- zmięczeniu w temperaturze 640°C przez 24 godziny.

Obróbkę cieplną prowadzono w piecach komorowych elektrycznych. Próbki uderzeniowe, obrobione cieplnie podlegały szlifowaniu na wymiar 10x10x55 mm oraz nacięto na nich karb o głębokości 2 mm.

2.2. Przebieg badań

Pomiary twardości przeprowadzono na próbkach hartowanych metodą Rockwella w skali C, zaś na próbkach odpuszczonych metodą Brinella, przy zastosowaniu kulki o średnicy 10 mm i obciążenia 3 000 kG (29430 N).

Próby uderzeniowe przeprowadzono na próbkach typu Mesnager przy użyciu młota wahadłowego typu Charpy do 30 kGm (294,3 J), przy nastawieniu na pełny zakres.

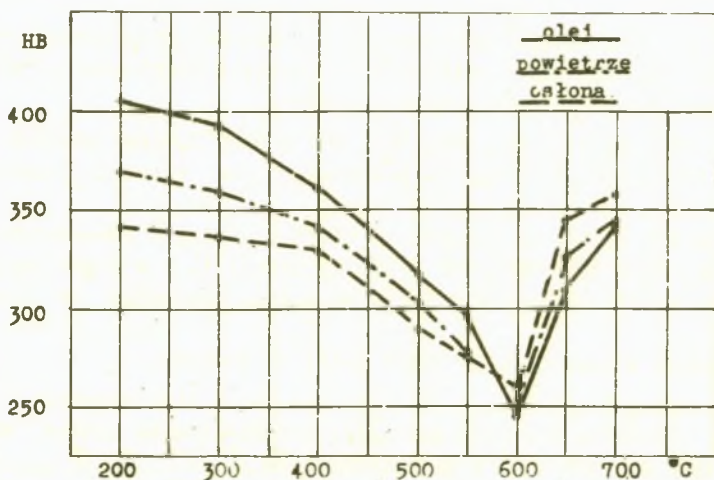
Próby rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Amsler do 50 T (490.10³ N), przy nastawieniu na 25T(245.10³ N) na próbkach o długości lo = 100 mm.

Badania metalograficzne przeprowadzono na mikroskopie elektronowym JEM-6A, przy użyciu replik mowitalowych oieniowanych chromem oraz replik węglowych bezpośrednich i ekstrakcyjnych. Repliki zdejmowano ze względów wypolerowanych mechanicznie i wytrawionych odczynnikami o składzie: 1g FeCl₃ + 2 cm³ HCl + 98 cm³ CH₃OH.

3. Wyniki badań

3.1. Wyniki pomiarów twardości

Twardość stali 18H2N4MA wyuosiła po hartowaniu ok. 40 HRC; nie stwierdzono wyraźnego wpływu zmiany temperatury austenitizowania i różnych szybkości ochłodzenia na twardość stali zahartowanej. Maksymalną twardość - 41,5 HRC posiada stal po hartowaniu z temperatury 900°C w oleju, zaś najniższą - 38 HRC po hartowaniu izotermicznym w temperaturze 640°C.



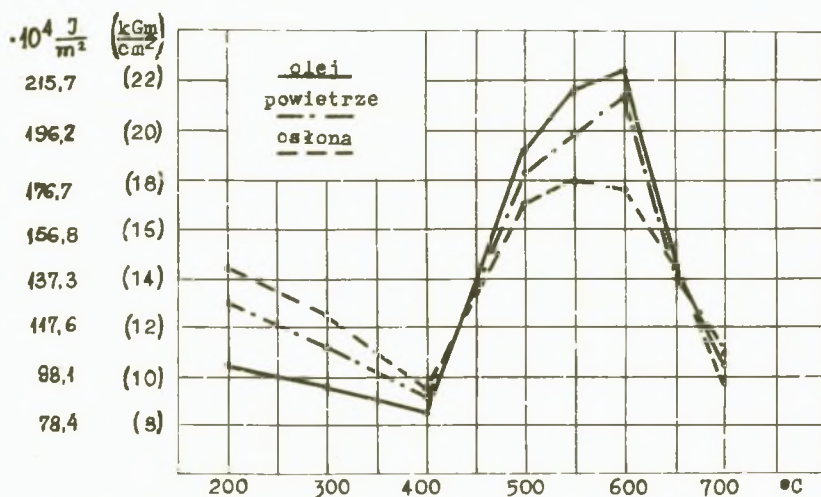
Rys. 2. Wpływ temperatury odpuszczania i szybkości ochłodzenia na twardość stali 18H2N4MA austenitizowanej w temp. 860°C

Wyniki prób twardości po odpuszczaniu przedstawiono na rysunku 2. Ze wzrostem temperatury odpuszczania twardość stali hartowanej w oleju spada od ok. 400 HB po odpuszczaniu w temp. 200°C do ok. 240 HB po odpuszczaniu w temp. 600°C. Dla próbek hartowanych w osłonie z szybkością ochłodzenia ok. 15°C/min wyraźne zmiany twardości występują dopiero po odpuszczaniu w temp. powyżej 400°C. Przebieg zmian twardości próbek hartowanych na powietrzu wykazuje wartości pośrednie. W zakresie temperatur odpuszczania 600-700°C zaobserwowano wzrost twardości, typowy dla zjawiska twardości wtórnej. Stosowanie większych szybkości ochłodzenia podczas hartowania pozwala uzyskać większą twardość po odpuszczaniu w zakresie temperatur od 200 do 600°C; natomiast po odpuszczaniu w temperaturach powyżej 600°C wyższą twardość wykazują próbki hartowane z mniejszymi szybkościami ochłodzenia. Nie stwierdzono wyraźnego wpływu czasów odpuszczania na twardość badanej stali.

3.2. Wyniki próby uderności

Zmiany uderności w zależności od temperatury odpuszczania przedstawiono na rysunku 3. Po odpuszczaniu w temperaturze 200°C uderność w zależności od szybkości ochłodzenia podczas hartowania wynosiła:

- po hartowaniu w oleju - $103,0 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ ($10,5 \text{ kGm/cm}^2$);
- po hartowaniu w powietrzu - $127,5 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ ($13,0 \text{ kGm/cm}^2$);
- po hartowaniu w osłonie - $142,2 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ ($14,4 \text{ kGm/cm}^2$).



Rys. 3. Wpływ temperatury odpuszczania i szybkości chłodzenia na uderność stali 18H2N4MA austenityzowanej w temp. 860°C

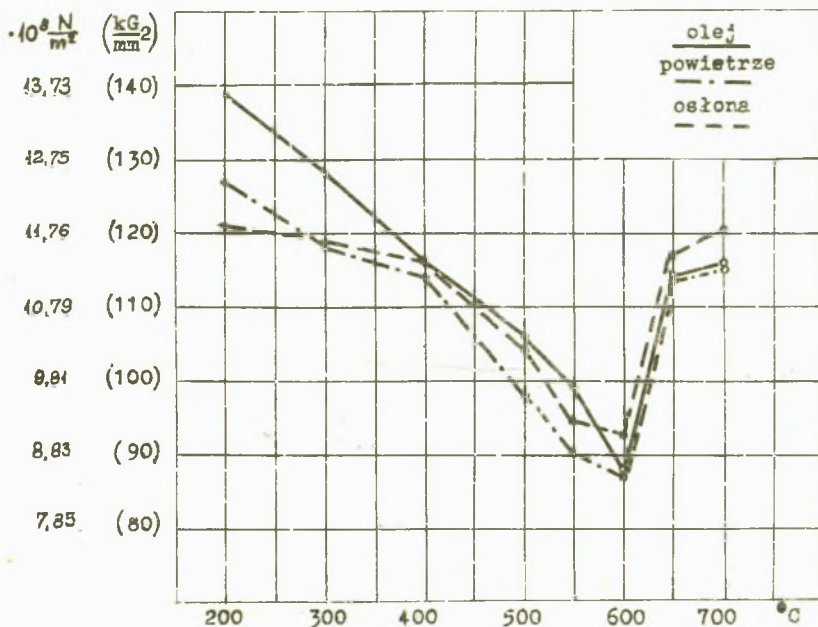
Odpuszczanie w temperaturze 400°C spowodowało spadek uderności do ok. $88,3 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (9 kGm/cm^2). Dalszy wzrost temperatury odpuszczania do ok. 600°C wywołał gwałtowny wzrost uderności dla próbek:

- hartowanych w oleju - do ok. $215,7 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (22 kGm/cm^2);
- hartowanych w osłonie - do ok. $176,5 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (18 kGm/cm^2).

Na próbkach hartowanych w powietrzu uzyskano wartości pośrednie. W zakresie temperatur 650–700°C uderność ponownie spada do ok. $98,1 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (10 kGm/cm^2). Podobnie jak przy pomiarze twardości nie stwierdzono wyraźnego wpływu stosowanych czasów wygrzewania podczas odpuszczania na wyniki prób uderności.

3.3. Wyniki próby rozciągania

Maksymalną wytrzymałość na rozciąganie wynoszącą $13,62 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (139 kg/mm^2) uzyskano dla próbek hartowanych w oleju i odpuszczonych w temperaturze 200°C . Po odpuszczeniu w temp. 600°C wytrzymałość spadła do ok. $8,83 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (90 kg/mm^2). Wydłużenie względne A przyjmuje wartości od 14 do 20%, przewężenie Z - od 55 do 77%. Wyniki próby rozciągania przedstawiono na rys. 4.

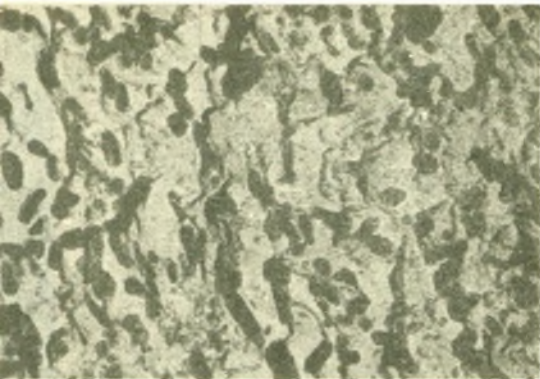


Rys. 4. Wpływ temperatury odpuszczenia i szybkości chłodzenia na wytrzymałość stali 18H2N4MA austenityzowanej w temp. 860°C

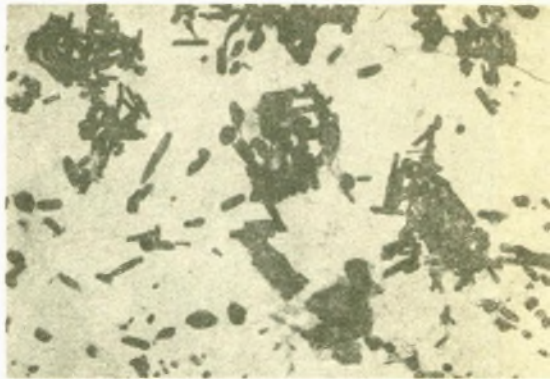
3.4. Badania metalograficzne

Najbardziej charakterystyczne struktury stali 18H2N4MA, po różnych zabiegach obróbki cieplnej, przedstawiono na rysunkach od 5 do 15. Identyfikacji wydzielań węglików, wykstrahowanych na replikach węglowych, dokonano metodami dyfrakcji elektronowej selektywnej i wysokorozdzielczej na mikroskopie elektronowym [3].

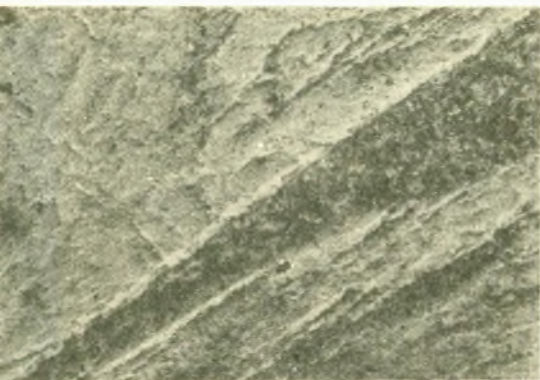
Struktura stali w stanie surowym zawiera w osnowie fazy α' wydzielenia skoagulowanych węglików typu M_3C i M_6C (rys. 5). Po zmiękczeniu w temperaturze 640°C przez 24 godziny uzyskano strukturę składającą się ze skoagulowanych węglików M_6C i M_7C_3 , rozmieszczonych w osnowie fazy α' (rys. 6). Po hartowaniu z temperatury 860°C w oleju stal posiada strukturę marten-



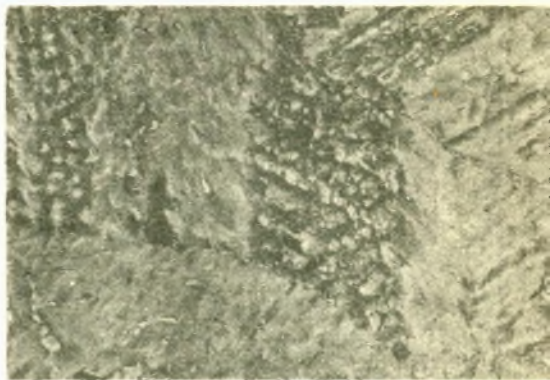
Rys. 5



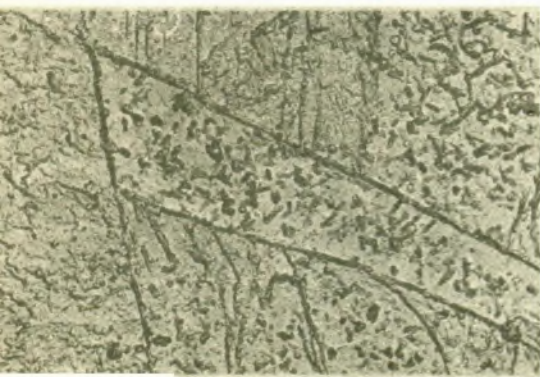
Rys. 6



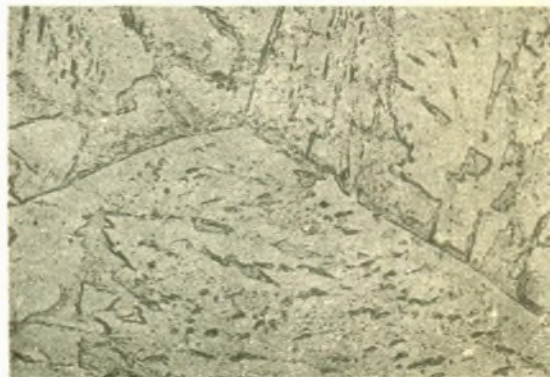
Rys. 7



Rys. 8

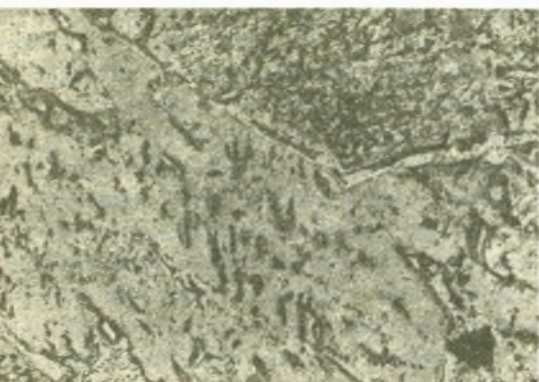


Rys. 9

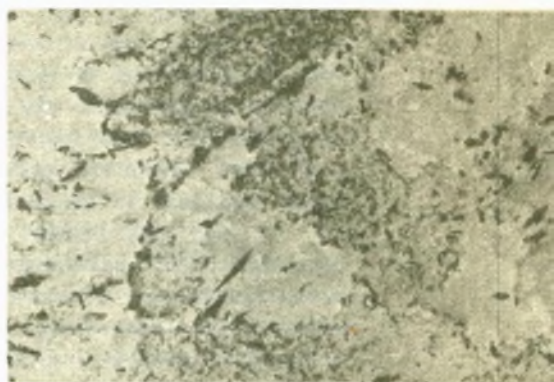


Rys. 10

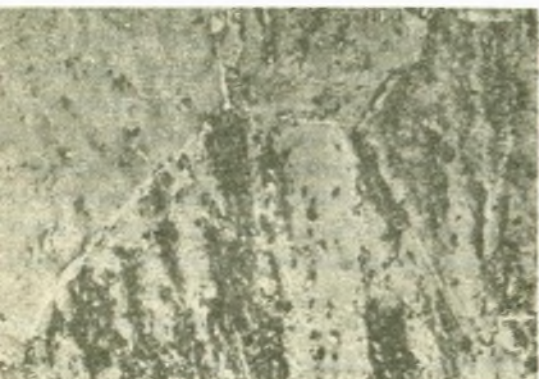
Nr rys.	Obróbka cieplna	S t r u k t u r a	Redzaj preparatu	Powiększenie
5	Stan surowy	Skoagulowane węgliki M_3C i M_6C w roztworze stałym α .	Replika węglowa ekstrakcyjna	10 000 x
6	Zmiękczenie: 640°C/24 godz. powietrze	Skoagulowane węgliki M_6C i M_7C_3 w roztworze stałym α .	"	10 000 x
7	Hartowanie: 860°C/30 min. olej	Martensyt samoodpuszczony z bardzo drobnymi wydzieleniami węglików.	Replika mowitowa, oieniowana chromem.	2 500 x
8	Hartowanie: 860°C/30 min. powietrze	Bainit iglasty z zaznaczonymi granicami bloków.	"	2 000 x
9	Hartowanie: 860°C/30 min. osłona	Bainit górny z częściowo skoagulowanymi węglnikami.	Replika węglowa bezpośrednia.	10 000 x
10	Hartowanie: 950°C/30 min. powietrze	Bainit ziarnisty o wyraźnie zaznaczonych granicach ziarn byłego austenitu; obok obszarów bainitu górnego z częściowo skoagulowanymi węglnikami bainit dolny, zawierający węgliki dyspersyjne.	"	10 000 x



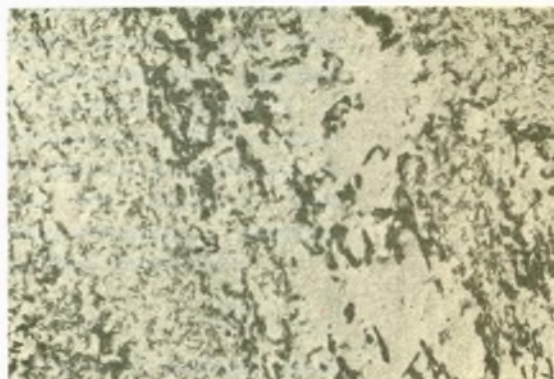
Rys. 11



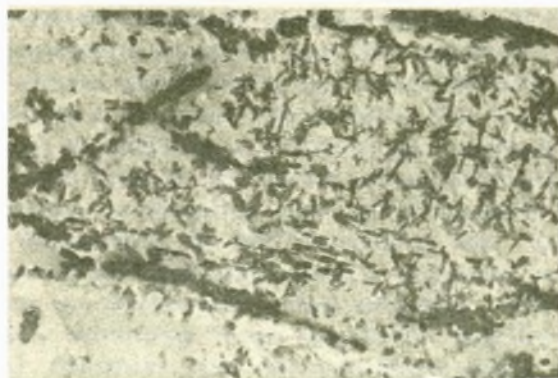
Rys. 12



Rys. 13



Rys. 14



Rys. 15

Nr rys.	Obróbka cieplna	S t r u k t u r a	Rodzaj preparatu	Powiększenie
11	Hartowanie: 860°C/30 min. osłona Odpuszczanie: 200°C/3 godz. powietrze.	Bainit odpuszczony z wydzieleniami węglików o zmiennym kształcie i wielkości.	Replika mowitowa cieniowana ohremem.	5 000 x
12	Hartowanie: 860°C/30 min. olej. Odpuszczanie: 400°C/3 godz. powietrze.	Martenzyt odpuszczony: naprzemianległe ułożenie obszarów fazy α' z wydzieleniami węglików M_3C oraz obszarów bez węglików.	"	6 000 x
13	Hartowanie: 860°C/30 min. powietrze. Odpuszczanie: 400°C/3 godz. powietrze.	Bainit odpuszczony: w osnowie fazy α' o budowie iglastej wydzielenia węglików częściowo skoagulowane; widoczne granice ziarn byłego austenitu.	"	3 000 x
14	Hartowanie: 860°C/30 min. olej Odpuszczanie: 550°C/3 godz. powietrze.	Struktura sorbityczna: w osnowie fazy α' obok skoagulowanych węglików M_3C występują drobne iglaste węgliki M_7C_3	"	10 000 x
15	Hartowanie: 1000°C/30 min. olej Odpuszczanie: 700°C/1 godz. powietrze.	Struktura charakterystyczna dla zakresu twardości wtórnej: na granicach ziarn i bloków pasmowe wydzielenia węglików; w obrębie bloków węgliki iglaste Mo_2C .	Replika węglowa ekstrakcyjna.	10 000 x

zytu samoodpuszczonego z wydzieleniami węglików (rys. 7). Przy mniejszych szybkościach hartowania, tj. na powietrzu i w osłonie stal posiada strukturę mieszaną: bainitu górnego i dolnego; przy czym po hartowaniu na powietrzu struktura ta ma charakter iglasty (rys. 8). Strukturę po hartowaniu w osłonie przedstawiono na rys. 9. Wzrost temperatury austenitizowania wpłynął na uwydatnienie się granic ziarn byłego austenitu (rys. 10). Po hartowaniu izotermicznym w temp. 640°C stwierdzono ze wzrostem czasu wytrzymanie izotermicznego koagulację wydzielań węgla M_7C_3 [3].

Odpuszczanie próbek hartowanych w oleju w temperaturze 200°C wpłynęło na wzrost wydzielań węglików, utworzonych w procesie samoodpuszczania (rys. 11). Po odpuszczaniu w 400°C w strukturze pomartenzycyicznej stwierdzono naprzemianległe ułożenie roztworu α z drobnymi wydzielinami węglików M_3C oraz obszarów nie zawierających węglików (rys. 12). Na granicach ziarn i bloków wystąpiły miejscami wydzielenia skoagulowane. Po hartowaniu w powietrzu i odpuszczaniu w temperaturze 400°C widoczne są wyraźne granice ziarn byłego austenitu. Węgliki na granicach ziarn i bloków uległy ozięściowej koagulacji (rys. 13). Struktura stali odpuszczonej w 550°C ma charakter sorbityczny; w osnowie fazy α obok skoagulowanych węglików M_3C występują węgliki M_7C_3 (rys. 14). Sorbityczny charakter struktury ujawnił się jeszcze wyraźniej po odpuszczaniu w temperaturze 600°C . Wysokie odpuszczanie w temperaturze 700°C wpłynęło na znaczne zmniejszenie ilości skoagulowanych węglików, przy jednoczesnym ich wzroście. Stal 18H2N4MA posiada po takiej obróbce cieplnej blokową strukturę roztworu stałego α z dyspersyjnymi wydzieleniami węglików Mo_2C (rys. 15).

4. Dyskusja wyników

Przeprowadzone badania pozwalają określić wpływ różnych zabiegów obróbki cieplnej na strukturę i własności użytkowe badanej stali.

Stal 18H2N4MA należy do grupy stali martenzytyczno-bainitycznych. Po hartowaniu w oleju uzyskuje ona strukturę martenzytu niskowęglowego, samoodpuszczonego, o małej zawartości austenitu szorstkowego (rys. 7) i twardości ok. 40 HRC. Samoodpuszczenie martenzytu oraz mała zawartość austenitu są wynikiem wysokiego zakresu temperatur M_S - M_F , co zostało potwierdzone badaniami dylatometrycznymi i termomagnetometrycznymi [4]. Przy małych szybkościach ochłodzenia, tj. na powietrzu i w osłonie stal uzyskuje strukturę bainitu dolnego i górnego (rys. 8, 9). Wzrost temperatury austenitizowania nie ma istotnego wpływu na strukturę (rys. 10) i własności stali.

Niskie odpuszczanie w temperaturze ok. 200°C w zasadzie nie powoduje żadnych zmian strukturalnych w próbkach hartowanych z mniejszymi szybkościami chłodzenia, natomiast po odpuszczaniu próbek uprzednio zahartowanych w oleju, pojawiły się w strukturze liczne wydzielenia węglików, zidentyfikowane jako M_3C [3]. Otrzymana struktura niskoodpuszczonego martenzytu wykazuje wysoką wytrzymałość: R_m ok. $13,73 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (140 kg/mm^2) i

tvardość ok. 400 HB przy udarności $103,0 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ ($10,5 \text{ kGm/cm}^2$). Odpuszczony bainit posiada nieco niższą wytrzymałość: R_m ok. $11,76 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (120 kG/mm^2) i tvardość ok. 340 HB, natomiast wyższą udarność - $141,2 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ ($14,4 \text{ kGm/cm}^2$).

Odpuszczanie w temperaturze 400°C spowodowało znaczny spadek udarności stali, przy równoczesnym obniżeniu tvardości i wytrzymałości, co związane jest z nierównomiernym rozmieszczeniem węglików w osnowie i ich znacznym zagęszczeniem na granicach ziarn byłego austenitu (rys. 12 i 13). Obszary przygraniczne są prawdopodobnie w takiej strukturze miejscem powstawania mikropęknięć [5].

Struktura sorbityczna otrzymana po odpuszczaniu w temperaturach powyżej 500°C charakteryzuje się wysoką udarnością:

- $215,7 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (22 kGm/cm^2) po uprzednim hartowaniu w oleju;
- $196,7 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (20 kGm/cm^2) po uprzednim hartowaniu w powietrzu;
- $176,5 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (18 kGm/cm^2) po uprzednim hartowaniu w osłonie.

Wytrzymałość stali po tej obróbce wynosi ok. $9,32 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (95 kG/mm^2), zaś tvardość 240-260 HB.

Wysoki wzrost tvardości stali, odpuszczonej w zakresie temperatur $600-700^\circ\text{C}$, do ok. 340 HB przy jednoczesnym obniżeniu udarności do ok. $98,1 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (10 kGm/cm^2) związany jest z wystąpieniem efektu tvardości wtórnej. Struktura stali wykazuje blokową budowę fazy α z dyspersyjnymi wydzieleniami węglików Mo_2C .

Przeprowadzone badania wskazują na ścisłą współzależność własności mechanicznych i procesów wydzieleniowych zachodzących w stali 18H2N4MA podczas obróbki cieplnej. Przemiany węglików, zachodzące w tej stali, pociągają za sobą zmiany stężenia składników stopowych w osnowie i tym samym zmiany własności osnowy. Struktura osnowy oraz postać, rozmieszczenie i rodzaj węglików decydują o własnościach.

5. Wnioski

Analiza otrzymanych wyników pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

Stal 18H2N4MA po hartowaniu w oleju posiada strukturę martenzytu samoodpuszczonego, zaś po hartowaniu w powietrzu i osłonie - strukturę bainitu dolnego i górnego.

Niskie odpuszczanie w temperaturach do 200°C nie powoduje wyraźnych zmian; w tym stanie najwyższą wytrzymałość osiąga stal uprzednio zahartowana w oleju: $R_m = 13,62 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ (139 kG/mm^2) przy udarności $U = 103,0 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ ($10,5 \text{ kGm/cm}^2$), natomiast najwyższą udarność $U = 141,2 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ ($14,4 \text{ kGm/cm}^2$) - stal zahartowana uprzednio z szybkością ok. 15°C/min .

Odpuszczanie stali w temperaturze 400°C powoduje znaczne obniżenie udarności do ok. $28,3 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (9 kGm/cm^2) oraz pogorszenie pozostałych

własności mechanicznych: te warunki odpuszczania wydają się być nieprzydatnymi w praktyce przemysłowej.

Stal zabartowana w oleju i odpuszczona w temperaturach 500-600°C osiąga najwyższą udarność ok. $215,7 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (22 kGm/cm²), zaś hartowana z mniejszymi szybkościami i odpuszczona w tych samych warunkach - ok. $186,4 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (19 kGm/cm²).

Przy odpuszczaniu w zakresie temperatur od 650-700°C występuje zjawisko twardości wtórnej, przez co twardość stali wzrasta do ok. 350 HB, porównując za sobą spadek udarności do ok. $98,1 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ (10 kGm/cm²).

LITERATURA

- [1] PN-58/H-84035.
- [2] Przegaliński St.: Karty materiałowe IMŻ - WGH, Katowice 1959.
- [3] Mandziej St.: Praca dyplomowa niepublikowana, Pol. Śl., Biblioteka Katedry Metaloznawstwa, Gliwice 1969.
- [4] Hetmańczyk M.: Praca dyplomowa niepublikowana, Pol. Śl., Biblioteka Katedry Metaloznawstwa, Gliwice 1969.
- [5] Maciejny A.: Zesz. Nauk. Pol. Śl., Mechanika 35, Gliwice 1968.

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 18Х2Н4МА (18Х2Н4МА)

Резюме

Исследовано влияние температуры нагрева, скорости охлаждения во время закалки и условий отпуска на морфологию карбидов и субструктуру α -фазы при использовании электронной микроскопии и углеродных экстракционных реплик. Определено род карбидов методом электронной дифракции. Описано влияние структуры после различных вариантов термической обработки на твердость, прочность и ударную вязкость стали 18Х2Н4МА. Результаты исследований имеют промышленное значение.

STRUCTURAL TRANSFORMATIONS DURING HEAT TREATMENT OF THE 18H2N4MA STEEL

S u m m a r y

Investigations of the influence of austenitizing temperature, cooling rate and tempering conditions on the morphology of carbide phases and α solid solution substructure by an application of the electron microscopy methods and carbon extraction replicas had been carried out.

The identification of the carbide precipitations had been studied by the selected area and high resolution electron diffraction.

Influence of the structure, obtained after applied heat treatment on the hardness, tensile strength as well as impact properties was established.

From this work it is possible to suggest the technological indications for the industrial practice.