ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Mechanika z. 55 Nr kol. 446

Jan Adamczyk, Stefan Griner

Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa
Politechniki Śląskiej

WPŁYW OBRÓBKI CIEPLNO-MECHANICZNEJ NA STRUKTURĘ I WŁASNOŚCI MECHANICZNE STALI ZAWOROWEJ 50H21G9N4

Streszczenie. Zbadano wpływ obróbki cieplnej i cieplno-mechanicznej na strukturę i własności mechaniczne stali austenitycznej zaworowej 50H21G9N4. Stwierdzono, że w wyniku zastosowania obróbki cieplno mechanicznej następuje zmiana morfologii węglików oraz wzrost własności wytrzymałościowych i plastycznych

Wstęp

Zawory silników spalinowych powinny cechować się wysoką żaroodpornością i żarowytrzymałością, a także odpornością na pełzanie przy obciążeniach zmiennych. W przeważającej liczbie przypadków wymagania te spełniają stale austenityczne utwardzone wydzieleniowo, najczęściej przez węgliki typu $M_{23}C_6$ o sieci regularnej złożonej typu $D8_4$. Węgliki te o parametrze sieci prawie trzykrotnie większym od stałej sieciowej austenitu w początkowym okresie starzenia są koherentne z osnową i powodują wydatne umocnienie stali. Omawiane węgliki wydzielają się zazwyczaj na granicach ziarn, przyjmując orientację krystalograficzną ziarna z którym tworzą koherentną granicę międzyfazową [1-3]. Ilość wydzielających się węglików oraz utwardzenie stali zwiększa się ze wzrostem zawartości węgla [4], przy jednoczesnym pogorszeniu własności plastycznych oraz odporności na korozję [5]. Polepszenie własności wytrzymałościowych i plastycznych, a także odporności na ścieranie i niektórych własności fizycznych można uzyskać przez obróbkę cieplno-mechaniczną [6, 7], stosowaną dotąd najczęściej dla stali konstrukcyjnych i narzędziowych. Uzyskany w wyniku takiej obróbki zespół własności mechanicznych uzależniony jest od utworzonej struktury i substruktury stali. Umocnienie stali w procesie obróbki cieplno-mechanicznej spowodowane jest głównie rozdrobnieniem ziarn i bloków [8, 9], zależnym od temperatury przeróbki plastycznej oraz szybkości odkształcania [10, 11]. Gęstość dyslokacji, a więc i granica plastyczności rosną w miarę zwiększania stopnia odkształcania plastycznego [12]. Przy wysokich temperaturach w ślad za odkształceniem plastycznym przebiegają pro-

cesy dynamiczne aktywowane cieplnie tj. zdrowienie,poligonizacja oraz rekrystalizacja, prowadzące do zmniejszenia gęstości dyslokacji [10, 13, 14] i obniżenia naprężenia płynięcia [10]. Wymienione procesy dynamiczne różnią się od statycznych tym, że uwolnione od dyslokacji komórki, a także nowo utworzone bloki oraz ziarna są ciągle nasycane dyslokacjami w procesie odkształcenia plastycznego. Utworzona podczas odkształcenia plastycznego na gorąco struktura zrekrystalizowana dynamicznie cechująca się dużą gęstością dyslokacji w postaci trwałych konfiguracji, zostaje zatrzymana po oziębieniu stali nadając jej wysokie własności wytrzymałościowe i plastyczne. Struktura ta cechuje się dużą stabilnością nawet w temperaturach wyższych od temperatury rekrystalizacji statycznej [15]. Stabilność tej struktury zwiększa się dodatkowo na skutek wydzielania się na dyslokacjach faz wtórnych w czasie odkształcenia plastycznego [10] i starzenia [16]. Wydzielenia faz wtórnych powodują ponadto wydatne umocnienie materiału, zależnie od rodzaju, ilości i postaci wydzieleń.

Celem pracy jest zbadanie wpływu obróbki cieplno-mechanicznej na strukturę i własności mechaniczne stali austenitycznej zaworowej 50H21G9N4.

Badania własne

Badania przeprowadzono na wytopie przemysłowym stali 50H21G9N4. Stal w postaci prętów o średnicy 24 mm pocięto na próbki, z których część przesycono z temperatury 1150°C/1 h w wodzie, natomiast pozostałą część poddano obróbce cieplno-mechanicznej, tj. wygrzaniu w temperaturze 1100°C/1 h chłodzeniu w spokojnym powietrzu do 850°C i kuciu w tej temperaturze z 50 lub 70% stopniem gniotu.Po odkształceniu plastycznym próbki chłodzono w spokojnym powietrzu oraz w wodzie. Próbki przesycone i obrobione cieplnomechanicznie poddano starzeniu w zakresie temperatur 600 do 900°C ze stopniowaniem co 50°C. Czas starzenia próbek wynosił 1; 2,5 oraz 5 godzin. Po zakończeniu zabiegu próbki chłodzono w spokojnym powietrzu.

Próbki obrobione cieplnie i cieplno-mechanicznie oraz starzone po tych obróbkach poddano badaniom metalograficznym na mikroskopie świetlnym oraz elektronowym JEM-6A przy napięciu 100 kV techniką cienkich folii.Pomiarów twardości dokonano metodą Vickersa przy obciążeniu 98,1 N (10 kG). Statyczną próbę rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu ZD10/90 stosując próbki o średnicy 5 mm.

Wyniki badań i dyskusja

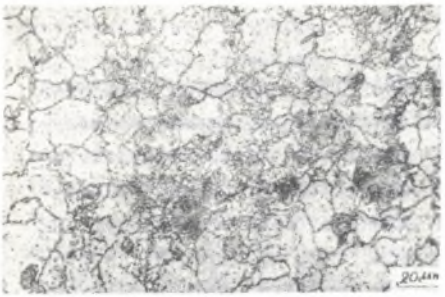
Stal w stanie surowym posiada strukturę austenitu o zmiennej wielkości ziarn z licznymi wydzieleniami ziarnistych węglików $M_{23}C_6$, rozmieszczonymi głównie na granicach i w przygranicznych obszarach ziarn austenitu. Wewnątrz ziarn występują lokalnie obszary pseudoperlitu $\alpha + M_{23}C_6$ w układzie płytkowym (rys. 1). Badania struktury cienkich folii wykazały, że stal w tym stanie posiada znaczną gęstość dyslokacji, szczególnie w otoczeniu drobnych węglików (rys. 2), wykazujących względem osnowy najczęściej przypadkową orientację krystalograficzną. Taka struktura nadaje stali twardość ok. 350 HV. Twardość stali wydatnie zmniejsza się po przesycaniu z temperatury 1150°C, wskutek rozpuszczenia w roztworze stałym znacznej ilości węglików oraz rozrostu ziarn osnowy. Węgliki ziarniste, nierozpuszczone w austenicie, występują najczęściej na granicach ziarn. Austenit przesycony posiada ponadto pewną ilość dyslokacji, utworzonych pod wpływem zgniotu cieplnego, rozmieszczonych głównie w otoczeniu nierozpuszczonych węglików (rys. 3) oraz w postaci płaskich spiętrzeń i splotów przed granicami ziarn (rys. 4). Własności mechaniczne stali przesyconej wynoszą twardość ok. 295 hV, R_m ok. 115 daN/mm^2, $R_{0,2}$ ok. 70 daN/m^2 oraz A_5 i Z ok. 40% (tablica 1).

Duży wpływ na strukturę i własności stali wywiera obróbka cieplno mechaniczna. Przeróbka plastyczna przeprowadzona przez kucie w zakresie temperatur 850-800°C z 50 lub 70% stopniem gniotu powoduje wydatny wzrost własności wytrzymałościowych, tym większy, im stal doznała silniejszego odkształcenia plastycznego (tablica 1).

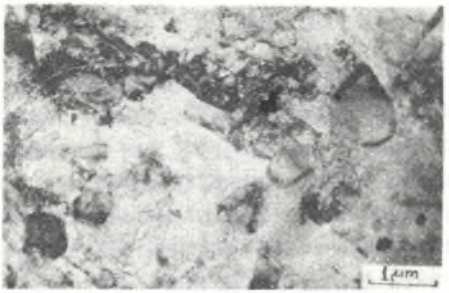
Tablica 1

Wyniki badań własności mechanicznych

Własności mechan. / Obróbka cieplna	R_m	$R_{0,2}$	A_5	Z	HV
	daN/mm^2		%		
Przesycanie 1150°C/1h	115	69	38	42	295
WOCM - 50%	112	92	11	30	425
WOCM - 70%	122	106	13	25	445
Przesycanie 1150°C/1h + starzenie 900°C/5h	106	67	14	15	305
WOCM - 50% + starzenie 900°C/5h	113	74	19	20	355
WOCM - 70% + starzenie 900°C/5h	116	77	24	24	350

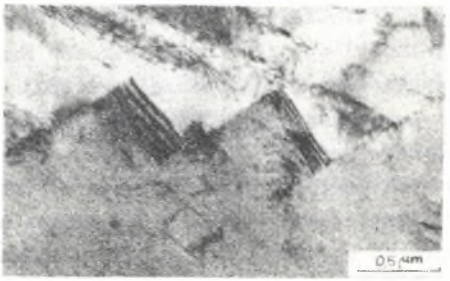


Rys. 1



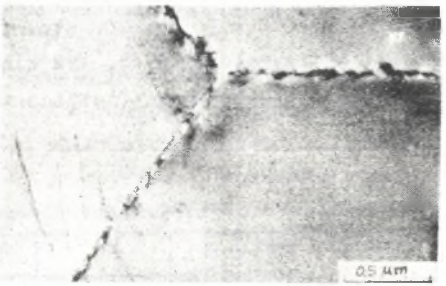
Rys. 2

Rys. 3

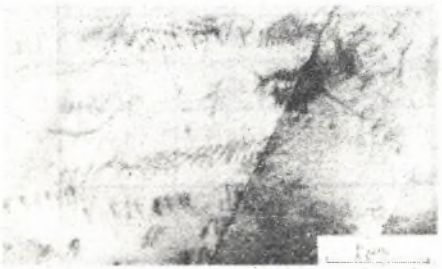


Rys. 4

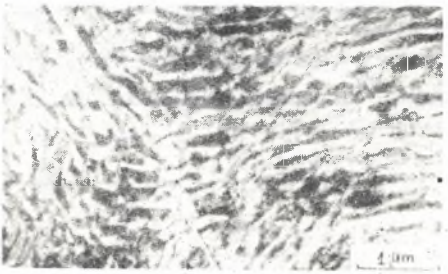
Rys. 5



Rys. 6



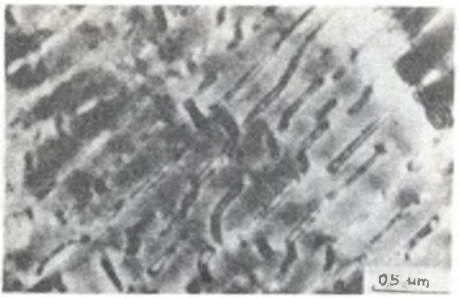
Rys. 7



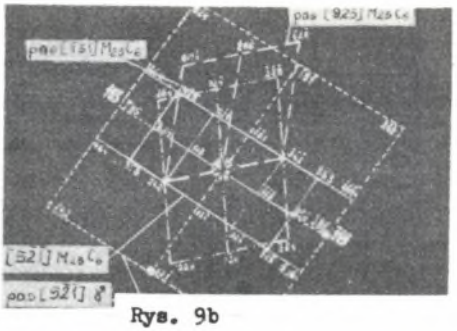
Rys. 8

Opis rysunków

Numer rysunku	Obróbka cieplna	Struktura
1	Stan surowy	Austenit z ziarnistymi i płytkowymi wydzieleniami węglików $M_{23}C_6$
2	j.w.	Austenit o dużej gęstości dyslokacji w otoczeniu drobnych węglików $M_{23}C_6$
3	Przesycenie z 1150°C /1 godzinę w wodzie	Węglik $M_{23}C_6$ w osnowie austenitu o znacznej gęstości dyslokacji
4	j.w.	Spiętrzanie i sploty dyslokacji w pobliżu granicy bliźniaczej
5	Wygrzewanie w 1100°C przez 1 godz., studzenie w spokojnym powietrzu do 850°C, kuciu w tej temperaturze z 70% stopniem gniotu i studzenie	Austenit zgnieciony o dużej gęstości dyslokacji i słabo wykształconej komórkowej strukturze dyslokacyjnej
6	Przesycenie 1150°C/1 h w wodzie, starzenie w 650°C przez 2 godz.	Austenit z drobnymi wydzieleniami węglików $M_{23}C_6$ na granicy ziarn, w ziarnie widoczne płaskie spiętrzenia dyslokacji przed granicami
7	j.w.	Spiętrzanie dyslokacji przed granicą bliźniaczą austenitu
8	Przesycanie 1150°C/ 1 godz. w wodzie, starzenie w 750°C przez 5 godz.	Austenit z płytkowymi wydzieleniami węglików

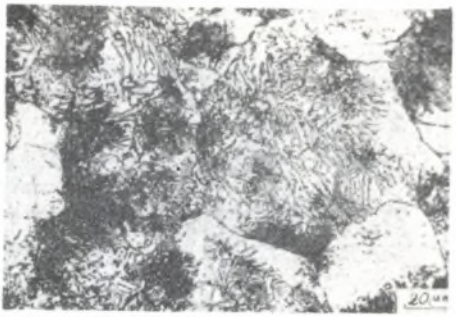


Rys. 9a

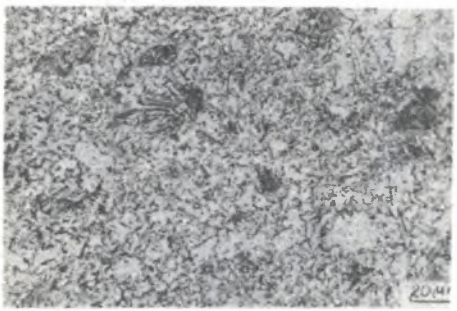


Rys. 9b

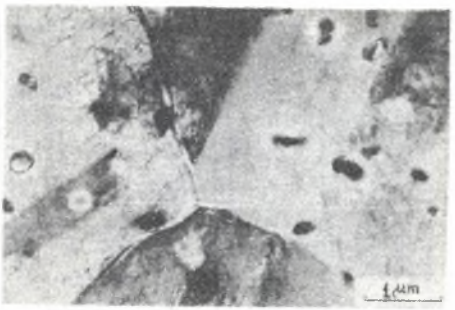
Rys. 10



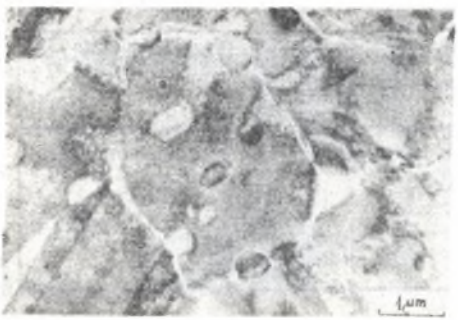
Rys. 11



Rys. 12



Rys. 13



Rys. 14

Rys. 15

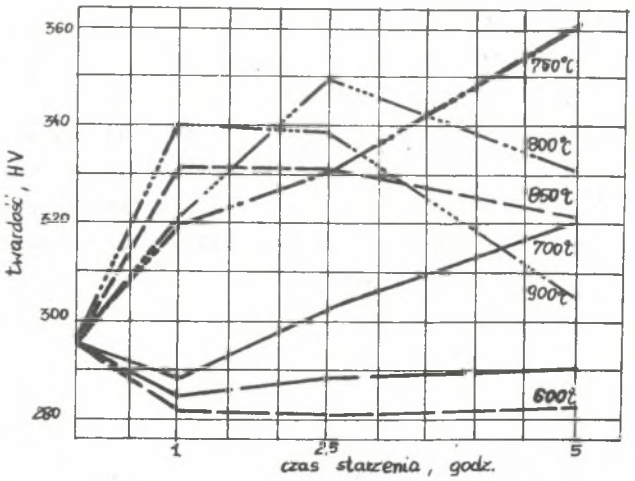
Opis rysunków

Numer rysunku	Obróbka cieplna	Struktura
9 a	Przesycanie 1150°C/1 godz. w wodzie, starzenie w 750°C przez 5 godzin	Austenit z płytkowymi wydzieleniami węglików $M_{23}C_6$ o uprzywilejowanej orientacji względem austenitu
9 b	j.w.	Wywskaźnikowany dyfraktogram do rys. 9b
10	Przesycanie 1150°C/ 1 godz. w wodzie, starzenie w 800°C przez 2,5 godz.	Ziarniste i płytkowe wydzielenia węglików $M_{23}C_6$ na granicach i wewnątrz ziarn
11	Przesycanie 1150°C/ 1 godz. w wodzie, starzenie w 900°C przez 5 godz.	Austenit z płytkowymi i ziarnistymi wydzieleniami węglików $M_{23}C_6$
12	Wygrzewanie w 1100°C przez 1 godz., studzenie w spokojnym powietrzu do 850°C, kuciu w tej temp. z 50% stopniem gniotu, studzenie na powietrzu i starzenie w 800°C przez 2,5 godz.	Austenit z wydzieleniami ziarnistych oraz lokalnie płytkowych węglików $M_{23}C_6$
13	OCM jak wyżej, kucie z 70% stopniem gniotu, starzenie w 900°C przez 1 godzinę	Austenit zrekrystalizowany z wydzieleniami węglików $M_{23}C_6$
14	OCM jak wyżej, starzenie w 900°C przez 2,5 godziny	Austenit zrekrystalizowany z wydzieleniami ziarnistych węglików na granicach i wewnątrz ziarn
15	OCM jak wyżej, starzenie w 900°C przez 5 godzin	Austenit z wydzieleniami drobnych węglików $M_{23}C_6$ o równomiernym rozmieszczeniu w osnowie

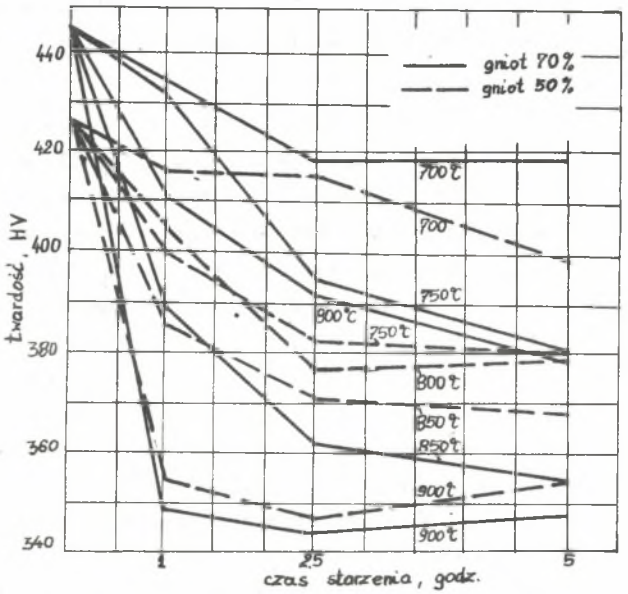
Podwyższenie własności wytrzymałościowych przy jednoczesnym obniżeniu plastyczności stali obrobionej cieplno-mechanicznie spowodowana jest w głównej mierze umocnieniem zgniotowym, wynikającym ze zwiększenia gęstości dyslokacji oraz rozdrobnieniem ziarn austenitu. Strukturę bardziej drobnoziarnistą o równomiernym rozłożeniu węglików wykazuje stal silniej odkształcona plastycznie, niezależnie od stosowanej po kuciu szybkości chłodzenia. Na podstawie analizy struktury cienkich folii stwierdzono, że podczas odkształcenia plastycznego stali na gorąco przez kucie w wymienianym zakresie temperatur przebiega jedynie zdrowienie dynamiczne, prowadzące do częściowej anihilacji dyslokacji i utworzenia wybitnie drobnokomórkowej struktury dyslokacyjnej (rys. 5). Pewien wpływ na umocnienie stali obrobionej tym sposobem wywiera bardziej równomierny rozkład węglików, nierozpuszczonych w roztworze stałym w wysokiej temperaturze oraz prawdopodobnie segregacja atomów międzywęzłowych na dyslokacjach.

Wpływ rozpadu przesyconego roztworu stałego na strukturę i własności mechaniczne zależy od poprzedniej obróbki cieplnej i cieplno-mechanicznej Pod wpływem starzenia następuje rozpad przesyconego oraz zgniecionego austenitu, cechujący się wydzielaniem węglików $M_{23}C_6$ o intensywności zwiększającej się z podwyższaniem temperatury zabiegu. W strukturze stali przesyconej a następnie starzonej w zakresie 600 do 650°C występują drobne wydzielenia węglików na szerokokątowych granicach ziarn (rys. 6), przy czym austenit starzony w tych warunkach zawiera dyslokacje o układach podobnych jak w stanie przesyconym (rys. 7). W strukturze stali starzonej w temperaturach wyższych od ok. 700°C oprócz wydzieleń ziarnistych występują płytkowe węgliki $M_{23}C_6$ o rozmieszczeniu zbliżonym do perlitu stali węglowych (rys. 8 i 9). Ilość obszarów pseudoperlitycznych zwiększa się w miarę podwyższania temperatury starzenia (rys. 10). Węgliki te posiadają najczęściej uprzywilejowaną orientację krystalograficzną, zgodną z orientacją osnowy i powodują wydatne zwiększenie własności wytrzymałościowych. W temperaturze 900°C pod wpływem długotrwałego wygrzewania następuje częściowa fragmentacja płytkowych węglików (rys. 11).

Nieco odmiennie kształtuje się rozpad przesyconego roztworu stałego w stali obrobionej cieplno-mechanicznie. Silne zdefektowanie struktury austenitu spowodowane tą obróbką sprzyja intensywnemu wydzielaniu węglików $M_{23}C_6$ zarówno na granicach jak i wewnątrz ziarn (rys. 12),natomiast przebieg procesów rekrystalizacji osnowy ogranicza częściowo płytkowy wzrost węglików. Stąd nawet po długotrwałym starzeniu w wysokich temperaturach wydzielone węgliki posiadają postać ziarnistą i równomierne rozmieszczenie w osnowie stali (rys. 13-15). Natomiast obszary pseudoperlityczne występują tylko lokalnie w stali przekutej z mniejszym stopniem gniotu.Decyduje to o większych własnościach wytrzymałościowych i plastycznych stali



Rys. 16. Wpływ temperatury i czasu starzenia na twardość stali 50H21G9N4 przesyconej z temperatury 1150°C w wodzie



Rys. 17. Wpływ temperatury i czasu starzenia na twardość stali 50H21G9N4 obrobionej cieplno-mechanicznie z 50 i 70% stopniem gniotu i studzonej w spokojnym powietrzu po odkształceniu plastycznym

starzonej po obróbce cieplno-mechanicznej w porównaniu z tymi samymi własnościami stali starzonej po przesyceniu (tablica 1). Twardość stali obrobionej konwencjonalnie wykazuje wyraźne maksimum, przemieszczające się z podwyższeniem temperatury starzenia do krótszych czasów (rys. 16), natomiast w stali starzonej po obróbce cieplno-mechanicznej następuje obniżenie twardości, tym silniejsze, im starzenie przebiegało w wyższej temperaturze (rys. 17). Związane to jest z przebiegiem procesów zdrowienia i rekrystalizacji statycznej zgniecionego austenitu, które usuwają, a nawet przekraczają efekt utwardzania wydzieleniowego.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono:

Stal w stanie surowym posiada drobnoziarnistą strukturę austenitu z ziarnistymi i płytkowymi wydzieleniami węglików $M_{23}C_6$, Na ogół równomiernie rozmieszczonymi w osnowie.

Przesycanie oraz obróbka cieplno-mechaniczna powodują rozpuszczenie znacznej ilości węglików, przy czym w wyniku obróbki cieplno-mechanicznej powstaje drobnoziarnista struktura osnowy o dużej gęstości dyslokacji oraz wydatne zwiększenie własności wytrzymałościowych.

Starzenie stali powoduje rozpad przesyconego oraz zgniecionego austenitu, cechujący się wydzielaniem węglików $M_{23}C_6$ o uprzywilejowanej orientacji krystalograficznej z osnową. W stali przesyconej węgliki te zarodkują na granicach ziarn, a przy wysokich temperaturach starzenia również wewnątrz ziarn austenitu w postaci pseudoperlitu $\gamma + M_{23}C_6$; w stali obrobionej cieplno-mechanicznie następuje natomiast intensywne wydzielanie ziarnistych węglików $M_{23}C_6$ w całej objętości wyrobu.

Maksymalną twardość ok. 360 HV uzyskuje stal obrobiona konwencjonalnie po starzeniu w 750°C przez 5 godzin; natomiast w stali odkształconej plastycznie podczas starzenia następuje obniżenie twardości w miarę podwyższania temperatury starzenia, przy czym jest ona wyższa niż otrzymana po starzeniu stali przesyconej. Nieznacznie wyższą twardość uzyskuje stal silniej odkształcona plastycznie. Własności wytrzymałościowe i plastyczne są znacznie wyższe w stali starzonej po obróbce cieplno-mechanicznej niż starzonej po przesycaniu.

LITERATURA

[1] Lewis M.H., Hattersley B.: Third European Regional Conference on Electron Microscopy., Prague, v. A, 1964, 67.

[2] Lewis M.H., Hattersley B.: Acta Metallurgica 13, 1965, 1153.

[3] Adamczyk J., Barton J.: Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Mechanika Z. 51, Gliwice 1973, 75..

[4] Irvine J.J., Llewellyn D.T., Pickering F.B.: J. Iron Steel Inst. 199 1961, 153.

[5] Colombier L., Hochman J.: Stale odporne na korozję i stale żaroodporne, Wyd. "Śląsk", 1968.

[6] Bersztejn M.L.: Tiermomiechaniczjeskaja obrabotka mietałłow i spławow, izd. Mietałłurgia, Moskwa 1968.

[7] Berkowski L.: Obróbka plastyczna 9, 4, 1971, 481.

[8] Grange R.A., Mitchel J.B.: Metals. Eng. Quart., 1, 1961, 41.

[9] Gulajew A.P., Sigarew A.S.: Mietałł. Tierm. Obr. Miet., 4, 1963, 9.

[10] Adamczyk J., Barton J.: Odkształcanie plastyczne na gorąco stali 00H18N10 z azotem, Hutnik (w druku).

[11] Bersztejn M.L.: Stal 2, 1972, 157.

[12] Ohtakava V., Nakamura T., Sakui S.: Trans. Iron. Steel. Inst. Japan 12, 1972, 207.

[13] Stüwe N.P.: Acta Met., 13, 1965, 1337.

[14] Bersztejn M.L., Sztremel M.A.: Fiz. Miet. i Mietałłow., 15,1,1963,82.

[15] Bersztejn M.L., Hensger K.E.: Neue Hutte, 18, 7, 1973, 157.

[16] Taylor A.: J. Metals. 9, 1957, 72.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 50H21G9N4

Р е з ю м е

Исследовано влияние термомеханической обработки на структуру и механические свойства стали 50H21G9N4. Образцы после нагрева до 1100°C и охлаждения на воздухе до 850°C подвергались ковке с обжатием 50 и 70% с последующей закалкой в воде и на воздухе и подвергались старению в диапазоне температур 700-900°C. Было установлено, что вследствие примененной термомеханической обработки и старения происходит повышение механических свойств и пластичности. Во время старения из твердого раствора выделяются карбиды $M_{23}C_6$, которых морфология зависит от процесса термомеханической обработки.

THE INFLUENCE OF HIGH - TEMPERATURE THERMOMECHANICAL TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE 50H21G9N4 STEEL

S u m m a r y

Investigation of the influence of hihg-temperature thermomechanical treatment on the structure and mechanical properties in 50H21G9N4 steel. Specimens after heating in 1100°C and cooling in the air to 850-800°C were strained with 50 and 70% plasticts deformation. After that steel had been aged in temperature range 700-900°C. It has been found that these treatment conditions, improve mechanical properties.