

Henryk Woźnioa
Adam Hernas
Marek Hetmańczyk

Instytut Inżynierii Materiałowej

WPLYW WARUNKÓW NORMALIZOWANIA I WYŻARZANIA ZUPEŁNEGO NA STRUKTURĘ DYSLOKACYJNĄ FERRYTU I WŁASNOŚCI STALI 18G2VA

Streszczenie. Zbadano wpływ normalizowania i wyżarzania zupełnego w zakresie temperatur austenitowania 900 do 1250 °C na strukturę dyslokacyjną ferrytu, morfologię faz i własności mechaniczne. Wyodrębniono charakterystyczne zakresy temperatur austenitowania i zanalizowano zmiany strukturalne zachodzące w poszczególnych zakresach. Określono czynniki strukturalne decydujące o własnościach wytrzymałościowych i udarności. Przedstawiono teoretyczne podstawy doboru optymalnych warunków obróbki cieplnej stali 18G2VA.

1. Wstęp

Racjonalny rozwój produkcji stali o podwyższonej wytrzymałości wymaga dokładnego poznania zjawisk strukturalnych wpływających na zmianę własności mechanicznych i ustalenia na tej podstawie optymalnych parametrów technologicznych.

Liczne prace badawcze wykazały, że zasadniczy wpływ na wzrost granicy plastyczności w tych stalach wywierają następujące czynniki [1]:

- stopień zdefektowania ferrytu,
- rozdrobnienie ziarna,
- nasycenie roztworu stałego żelaza pierwiastkami stopowymi,
- wydzielenia faz dyspersyjnych.

Dotychczas stosunkowo dobrze poznano wpływ: wielkości ziarna, ilości perlitu i nasycenia roztworu stałego pierwiastkami stopowymi, na proces umocnienia stali o podwyższonej wytrzymałości [2], [3]. Brak jest natomiast wyczerpujących danych odnośnie oddziaływania struktury dyslokacyjnej ferrytu i wydzielen dyspersyjnych na zmianę własności mechanicznych. Jednakże wiadomo, że stale o podwyższonej wytrzymałości uzyskują szczególnie korzystny zespół własności w przypadku jednoczesnego oddziaływania umocnienia wydzieleniowego i rozdrobnienia ziarna. Uzyskanemu wzrostowi granicy plastyczności towarzyszy wówczas obniżenie przejściowej temperatury kruchości [4].

Dotychczasowe badania wykazały, że w niskowęglowych stalach manganowych z mikrododatkiem Al, V oraz N mogą występować następujące fazy dyspersyjne:

- węglík wanadu o sieci regularnej typu NaCl [5], [6],
- azotek wanadu: VN o sieci regularnej typu NaCl oraz V₂N o sieci heksagonalnej [7].

Duże podobieństwo sieci VN i VC oraz ich wzajemna rozpuszczalność nie pozwalają na jednoznaczne zidentyfikowanie tych wydzielení. Ogólnie można przyjąć, że w stalach zawierających C, N i V, występująca faza typu MX o sieci regularnej jest węglikoazotkiem wanadu [5].

W obecnej fazie rozwoju stali o podwyższonej wytrzymałości, podstawowym zagadnieniem badawczym staje się określenie wpływu kinetyki wydzielenia i związanej z nią morfologii wydzielení dyspersyjnych na proces umocnienia stali w powiązaniu ze zmianami struktury dyslokacyjnej.

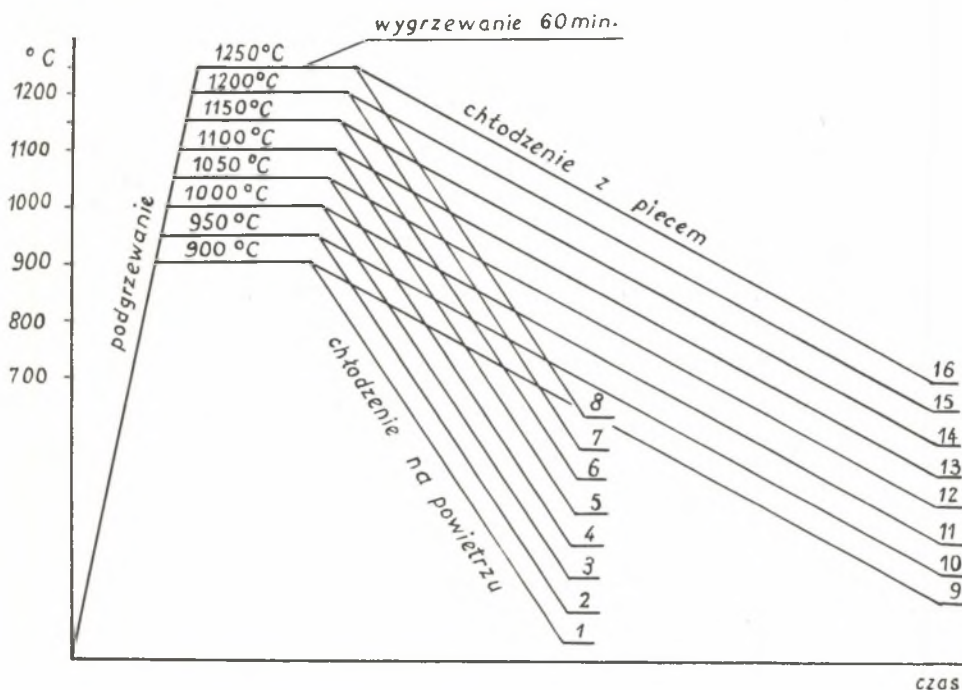
2. Przebieg badań

Badania przeprowadzono na próbkach pobranych z blach o grubości 24 mm ze stali 18G2VA o następującym składzie chemicznym: 0,16% C; 1,25% Mn; 0,35% Si; 0,025% P; 0,038% S; 0,026% Cr; 0,04% Al; 0,012% N₂; 0,19% V. Wyżarzanie normalizujące oraz zupełne, przeprowadzono z zakresu temperatur 900 ÷ 1250°C z wytrzymaaniem w czasie 1 godziny, zmieniając temperaturę austenityzowania co 50°C (rys. 1).

Dla określenia zmian zachodzących w stali 18G2VA pod wpływem obróbki cieplnej przeprowadzono następujące badania:

- statyczną próbę rozciągania,
- badanie udarności,
- badania metalograficzne i fraktograficzne.

Na podstawie statycznej próby rozciągania próbek wykonanych zgodnie z PN-62/H-04310 określono: wytrzymałość na rozciąganie - R_m , granicę plastyczności - R_p , wydłużenie - A_5 i przewężenie - Z . Pomiarzy twardości i udarności przeprowadzono na próbkach Mesnagera z karbem U. Badania metalograficzne przeprowadzone na mikroskopie świetlnym MeF2 Reichert, pozwoliły określić zmiany wielkości ziarna w zależności od temperatury austenityzowania. Badania fraktograficzne powierzchni przełomów próbek udarnościowych przeprowadzone na mikroskopie skaningowym JSM-S1 umożliwiły określenie udziału pęknięć ciągliwych i łupliwych oraz morfologii przełomów. Celem ujawnienia substruktury ferrytu oraz morfologii wydzielení, przeprowadzono badania na mikroskopie elektronowym JEM 100B stosując technikę cienkich folii. Przebieg zmian własności mechanicznych - wytrzymałościowych, plastycznych i udarności w zależności od warunków normalizowania i wyżarzania zupełnego przedstawiono na rys. 2 ÷ 5.



Rys. 1. Schemat cyklu wygrzewania normalizującego i zupełnego stali 18G2VA

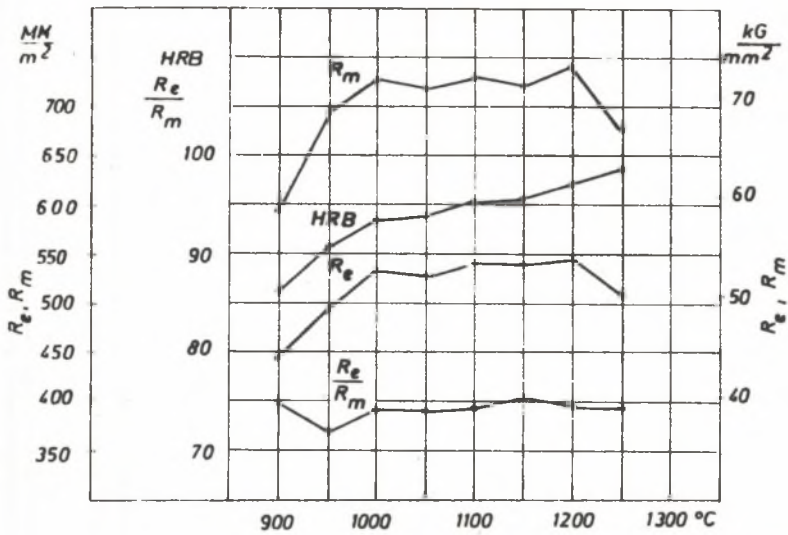
Zmianę wielkości ziarna badanej stali w zależności od temperatury ujmuje rys. 6.

Na rys. 7÷17 przedstawiono wyniki badań struktury na mikroskopie elektronowym a na rys. 18÷20 podano przykładowo charakterystyczne przełomy uzyskane w próbach uderności.

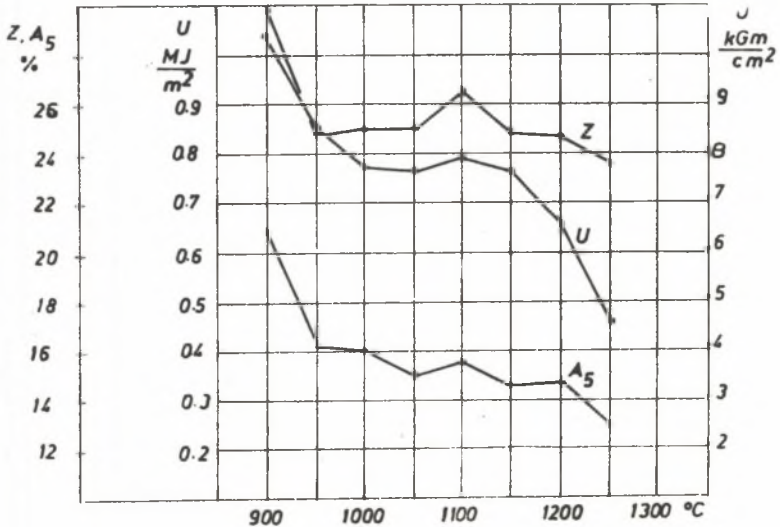
3. Omówienie wyników

Przeprowadzone badania pozwoliły określić wpływ temperatury austenitowania i szybkości chłodzenia na zmiany struktury dyslokacyjnej ferrytu i morfologii wydzielań oraz wpływ tych czynników na własności mechaniczne i charakter pękania stali 18G2VA.

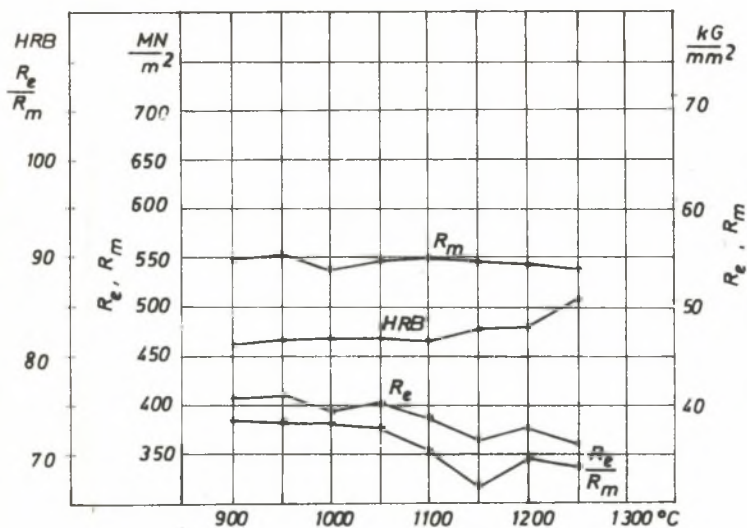
Po normalizowaniu z temperatury 900° stwierdzono w ferrycie o dużej gęstości splotów dyslokacji nierównomierny rozkład, miejscami pasmowy,



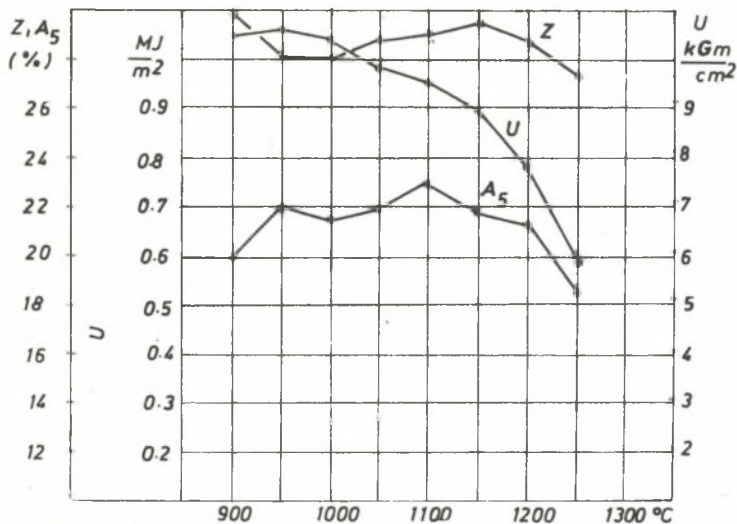
Rys. 2. Wpływ temperatury wyżarzania normalizującego na R_e , R_m , R_e/R_m i twardość



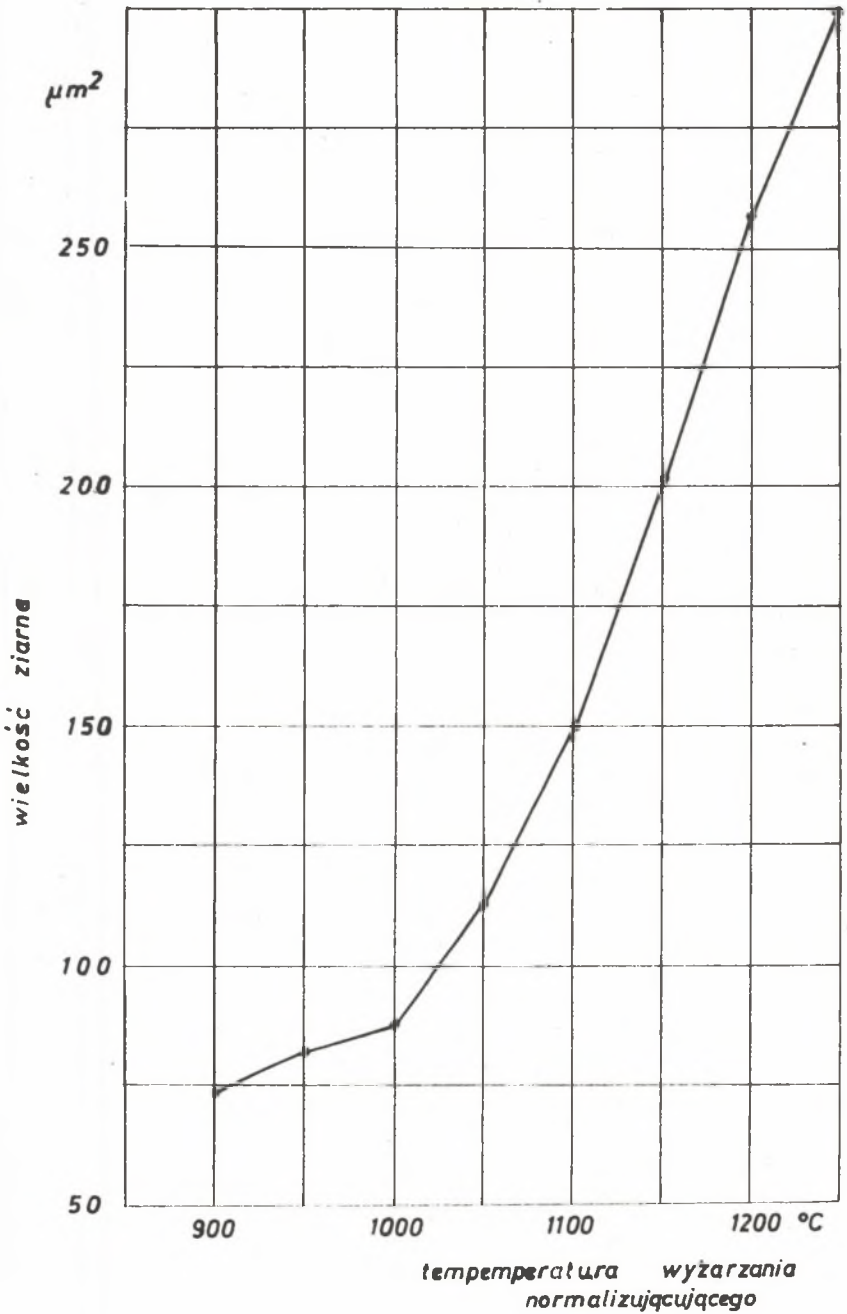
Rys. 3. Wpływ temperatury wyżarzania normalizującego na wydłużenie, przężenie i udarność



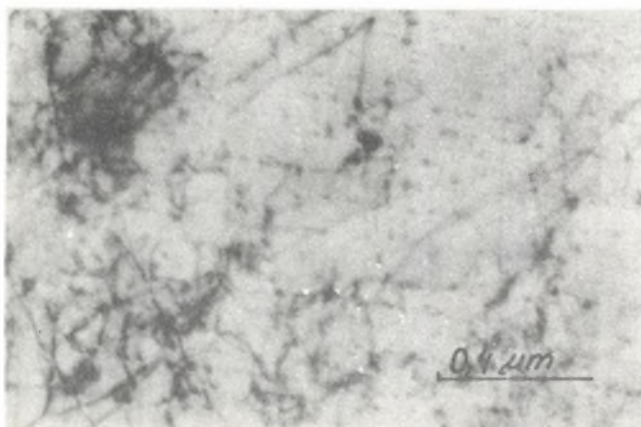
Rys. 4. Wpływ temperatury wyżarzania zupełnego na R_e , R_m , R_e/R_m i twardość



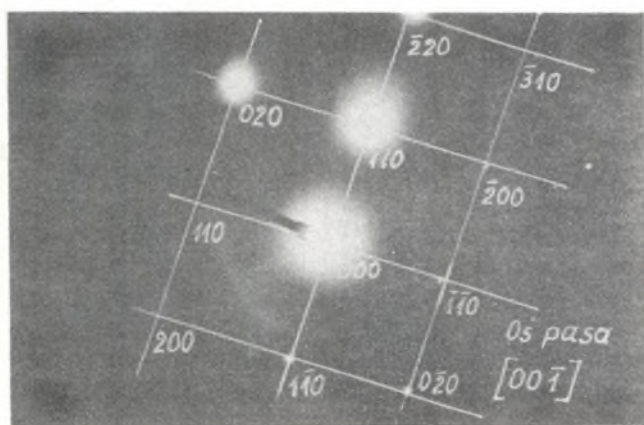
Rys. 5. Wpływ temperatury wyżarzania zupełnego na wydłużenie, przewężenie i udarność



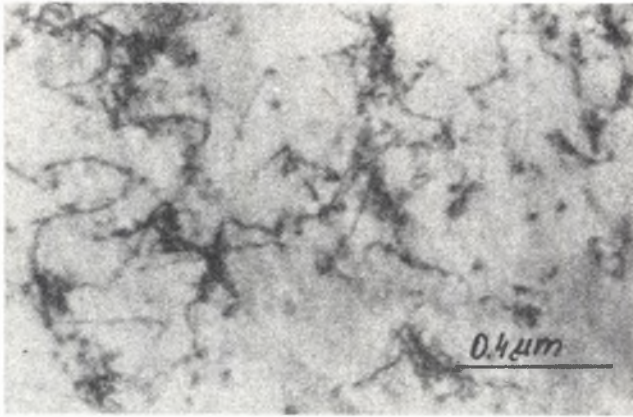
Rys. 6. Wpływ temperatury wyżarzania normalizującego na wielkość ziarna



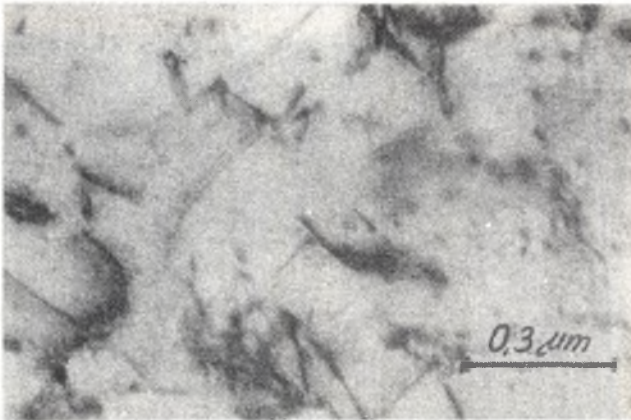
Rys. 7. Wyżarzanie normalizujące 900°C/1h. Ferryt o skupiskach splecionych dyslokacji; drobne wydzielenia fazy MX ułożone szeregowo w płaszczyźnie (001)



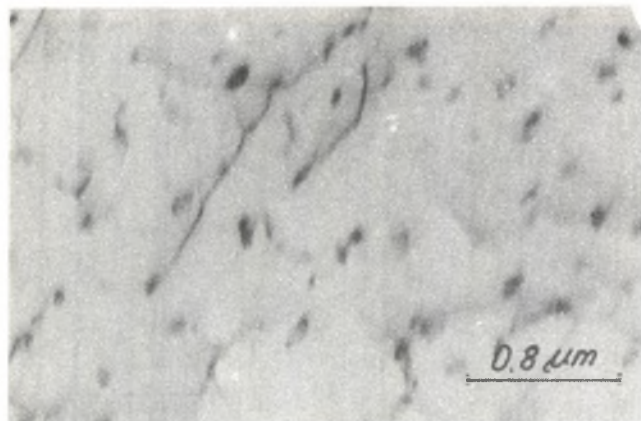
Rys. 8. Obraz dyfrakcyjny z osnowy i wydzielen fazy MX przedstawionych na rys. 7



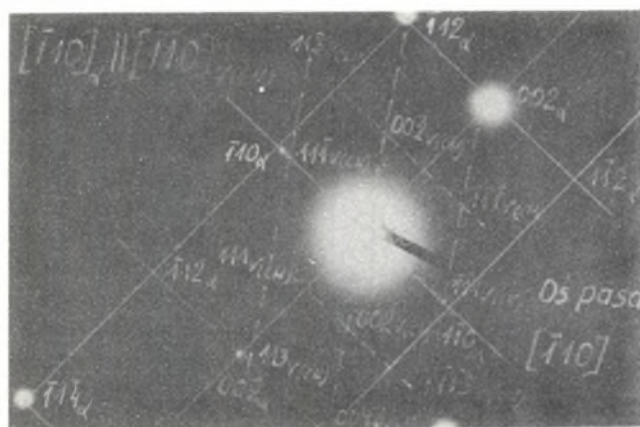
Rys. 9. Wyżarzanie normalizujące 950°C/1h. Wydzielenia zmiennej wielkości fazy MX w osnowie ferrytu oraz efekty wskazujące na obecność wydzieleni na dyslokacjach



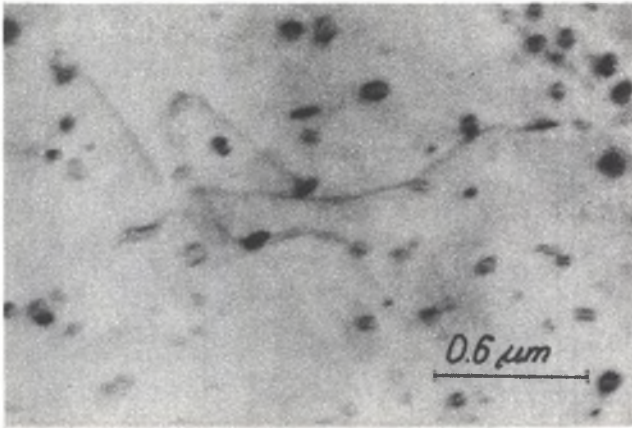
Rys. 10. Wyżarzanie normalizujące 1000°C/1h. Struktura ferrytu z układem dyslokacji, miejscami zarys siatek; ślady nierozpuszczonych wydzieleni fazy MX w osnowie, wokół dyslokacji charakterystyczny kontrast związany z procesami wydzieleniowymi



Rys. 11. Wyżarzanie normalizujące 1200 °C/1h. Wydzielenia w osnowie fazy MX zmiennej wielkości oraz nieliczne wydzielenia na pojedynczych dyslokacjach



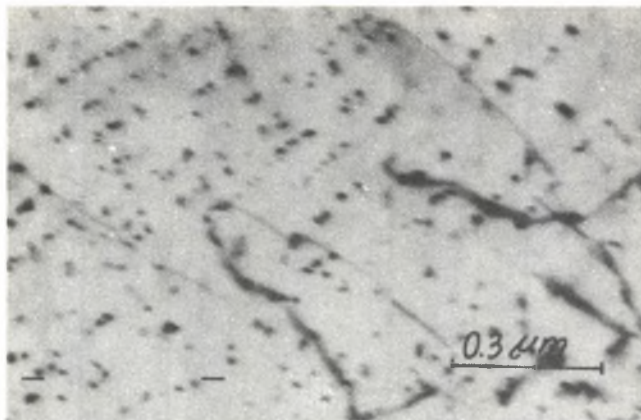
Rys. 12. Obraz dyfrakcyjny z osnowy wydzielań fazy MX przedstawionych na rys. 11



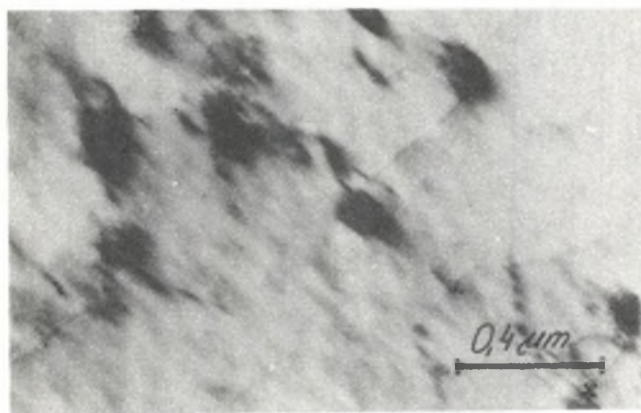
Rys. 13. Wyżarzanie normalizujące 1250°C/1h. W osnowie ferrytycznej zawierającej pojedynczo dyslokacje wydzielienia fazy MX o charakterystycznym kontraście



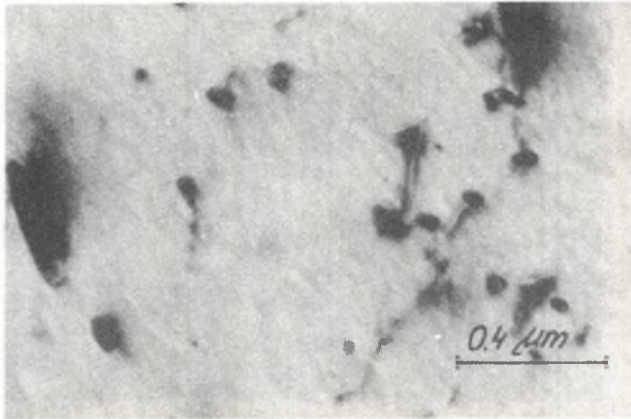
Rys. 14. Wyżarzanie normalizujące 1250°C/1h. W ferrycie perlitycznym widoczne dyslokacje oraz wydzielienia fazy MX



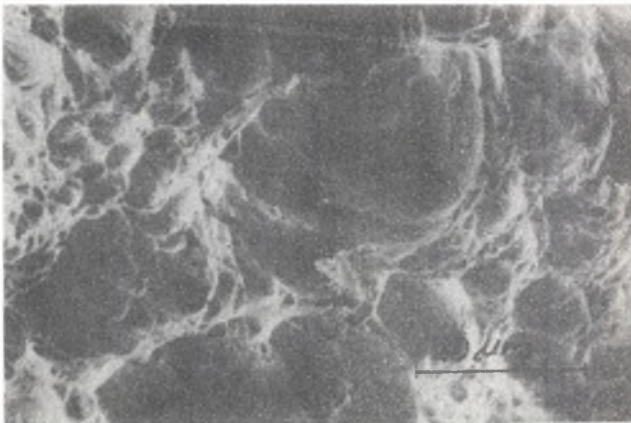
Rys. 15. Wyżarzanie zupełne 900°C/1h. Drobne wydzielenia fazy MX o szeregowym ułożeniu oraz pojedyncze dyslokacje w ferrytye



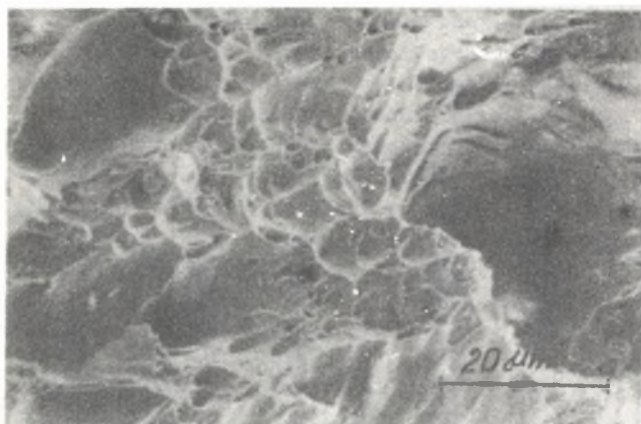
Rys. 16. Wyżarzanie zupełne 950°C/1h. W osnowie ferryty charakterystyczny kontrast związany z wydzieleniami na nieoalkowicie rozpuszczonych w osadzie austenitizowania fazach dyspersyjnych



Rys. 17. Wyżarzanie zupełne 1200°C/1h. Wydzielenia fazy MX na dyslokacjach oraz w osnowie



Rys. 18. Wyżarzanie normalizujące 900°C/1h. Przełom transkryształiczny mieszaniny z przewagą obszarów oślagnych; liczne płaszczyzny rozdziału typowe dla struktury drobnoziarnistej



Rys. 19. Wyżarzanie zupełne 900°C/1h. Przełom transkryystaliczny mieszany ze znaczną przewagą pęknięć ciągliwych



Rys. 20. Wyżarzanie zupełne 1250°C/1h. Przełom transkryystaliczny żupliwy o wyraźnie zaznaczonych płaszczyznach rozdziału

zróżnicowanej wielkości wydzieleni fazy MX (rys. 7, 8). Istnieją przesłanki do stwierdzenia, że zarodkowanie tych wydzieleni nastąpiło na płaszczyznach poślizgu jeszcze w toku procesu walcowania [8], natomiast austenityzowanie podczas wyżarzania doprowadziło do ich ozęsiołowego rozrostu, o czym świadczy zróżnicowana wielkość wydzieleni. Badania fraktograficzne ujawniły przełom transkryystaliczny oślągły z niewielką ilością płaszczyzn rozdziału (rys. 18). Zapewniło to uzyskanie maksymalnej udarności $1,02 \text{ MJ/m}^2$ przy granicy plastyczności wynoszącej 444 MN/m^2 (rys. 2, 3). Podwyższenie temperatury austenityzowania do 950°C spowodowało przejście większej ilości węglikoazotków wanadu do roztworu i w czasie ochłodzenia ich ponowne wydzielenie głównie na dyslokacjach (rys. 9). Towarzyszył temu spadek udarności do $0,84 \text{ MJ/m}^2$ i wzrost granicy plastyczności do 496 MN/m^2 (rys. 2, 3). Z dalszym wzrostem temperatury austenityzowania do 1150°C następowało zmniejszenie ilości dyslokacji, a wydzielenia fazy MX o większej dyspersji tworzyły się zarówno na dyslokacjach jak i w osnowie (rys. 10). Pomimo stałego wzrostu wielkości ziarna (rys. 6, 5) nie stwierdzono obniżenia granicy plastyczności, która wynosiła ok. 540 MN/m^2 (rys. 2). Jest to wynikiem umocnienia wywołanego procesami wydzieleniowymi faz dyspersyjnych, które efektywnie blokują ruch dyslokacji pod wpływem naprężeń zewnętrznych.

Austenityzowanie w temperaturze 1200 i 1250°C spowodowało pełne rozpuszczenie w roztworze stałym wydzieleni fazy MX oraz ALN [10], powodując intensywny rozrost ziarna. Po ochłodzeniu w strukturze stwierdzono obecność pojedynczych dyslokacji oraz wzrost wielkości wydzieleni fazy MX (rys. 11, 12 i 13). W całym zakresie temperatur austenityzowania w ferrycie perlitu ujawniono obecność dyslokacji oraz dyspersyjnych wydzieleni fazy MX (rys. 14). Normalizowanie z temperatury 1200°C nie powoduje istotnych zmian granicy plastyczności, natomiast udarność obniża się do $0,66 \text{ MJ/m}^2$. Wzrost temperatury wyżarzania do 1250°C wywołał spadek granicy plastyczności do 509 MN/m^2 i udarności do $0,46 \text{ MJ/m}^2$ (rys. 2 i 3). Ze wzrostem temperatury austenityzowania następowało zmniejszenie udziału obszarów odkształconych plastycznie.

Porównanie struktur normalizowania i wyżarzania zupełnego wykazuje, że przedłużenie czasu przemiany $\gamma \rightarrow \alpha$ wpływa bardzo znacząco na zmniejszenie gęstości dyslokacji oraz wzrost wielkości wydzieleni dyspersyjnych w ferrycie (rys. 15, 16 i 17). Po wyżarzaniu zupełnym nie stwierdzono obecności wydzieleni fazy MX w ferrycie perlitu. Można to tłumaczyć sprzyjającymi warunkami dyfuzji występującymi podczas wolnego ochłodzenia, pozwalającymi na pełniejszy rozdział pierwiastków między poszczególne fazy stali. Wyżarzanie zupełne w całym badanym zakresie temperatur austenityzowania nie wpływa w istotny sposób na zmianę morfologii wydzieleni V(C, N) i ALN. Zmniejszenie gęstości dyslokacji oraz zróżnicowanie wielkości wydzieleni faz dyspersyjnych powoduje obniżenie granicy plastyczności do ok. 385 MN/m^2 . Wzrost temperatury od 900°C ÷ 1250°C spowodował spadek udarności

od $1,04 \text{ MJ/m}^2$ do $0,59 \text{ MJ/m}^2$ (rys. 4 i 5). Granica plastyczności zmienia się w wąskich granicach od 410 MN/m^2 do 360 MN/m^2 . Badania fraktograficzne ujawniły znaczne zwiększenie udziału pęknięć łupliwych wraz ze wzrostem temperatury wyżarzania zupełnego (rys. 19 i 20).

4. Wnioski

4.1. Zasadniczy wpływ na morfologię produktów przemiany austenitu stali 18G2VA przy normalizowaniu i wyżarzaniu zupełnym wywiera struktura wyjściowego austenitu:

- niejednorodny austenit występujący w temperaturach do 1000°C prowadzi do powstawania ferrytu o dużej gęstości dyslokacji z nierozpuszczonymi wydzieleniami faz dyspersyjnych,
- w zakresie temperatur $1000 \div 1200^\circ\text{C}$ dominuje zjawisko migracji wanadu i pierwiastków międzywęzłowych do dyslokacji w austenicie,
- jednorodny austenit, tworzący się w temperaturach wyższych od 1200°C prowadzi do powstania struktury ferrytu z nieznaczną gęstością dyslokacji i równomiernie rozmieszczonymi w osnowie węglikoazotkami wanadu.

4.2. Optymalny zespół własności wytrzymałościowych $R_{\sigma} = 537 \text{ MN/m}^2$; $R_m = 720 \text{ MN/m}^2$; $U = 0,78 \text{ MJ/m}^2$ uzyskano po wyżarzaniu normalizującym z temperatury 1100°C .

4.3. Dla określonych temperatur austenitowania wyżarzanie zupełne daje niższe własności wytrzymałościowe w porównaniu do normalizowania, lecz wyższe własności plastyczne i ułamność. Różnice te wynikają z mniejszej gęstości dyslokacji, obecności w strukturze większych wydzieleni o zróżnicowanym rozmieszczeniu oraz przypuszczalnie mniejszym przesyconiu ferrytu po wyżarzaniu zupełnym.

LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa pod redakcją Pecknera D.: The Strengthening of Metals, Reinhold Publishing Corporation, New York Amsterdam, London, 1967.
- [2] Greday T., Lutts A.: C.N.R.M.8, 1968.
- [3] Baird J.D., Jamieson A.: J.I.S.I. 1966.
- [4] Samsonow G.W.: Nietaliczeskije nitrydy, Moskwa, 1969.
- [5] Golikow J.N., Goldsztein M.I., Marzin I.I.: Wanadij w stali, Moskwa, 1968.
- [6] Storms E.K., Mo Neal R.J.: J. Phys. Chem., Ithaka, 1962, 66, 1401.
- [7] Goldschmidt H.: Interstitial Alloys, London, 1967.
- [8] Woźniew H.: Oddziaływanie układów dyslokacji i morfologii wydzieleni dyspersyjnych w procesie umocnienia stali 18G2VA, Praca doktorska, Pol. Śl., Wydział Metalurgiczny, Katowice, 1973.

- [9] Hetmańczyk M., Rauszer B., Trzcionka B., Woźnica H.: Wpływ mikrodotaku wanadu na kinetykę rozrostu ziarna austenitu, Wiadomości Hutnicze, 1972, 7-8.
- [10] Rauszer B.: Przemiany strukturalne wpływające na proces umocnienia stali 18G2VA z mikrodotatkami aluminium, wanadu, azotu, Praca doktorska, Pol. Śl., Wydział Metalurgiczny, Katowice, 1972.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НОРМАЛИЗАЦИИ И ПОЛНОГО ОТЖИГА
НА ДИСЛОКАЦИОННУЮ СТРУКТУРУ ФЕРРИТА И СВОЙСТВА СТАЛИ 18Г2ВА

Р е з ю м е

Исследовано влияние нормализации и отжига в пределе температур аустенизации 900-1250°C на дислокационную структуру феррита, морфологию фаз и механические свойства.

Обособлено характеристические пределы температур аустенизирования и приведён анализ структурных изменений в определённых пределах. Определено структурные факторы, которые обуславливают прочность и сопротивление удара.

Представлено теоретические основы подбора оптимальных условий термообработки стали 18Г2ВА.

THE INFLUENCE OF NORMALIZING AND FULL ANNEALING
CONDITIONS ON THE DISLOCATION STRUCTURE OF FERRITE
AND MECHANICAL PROPERTIES OF 18G2VA-STEEL

S u m m a r y

The influence of normalizing and full annealing after austenitizing in the range of 900 to 1250°C, on the dislocation structure of ferrite, morphology of phases and mechanical properties of 18G2VA-steel have been investigated. Characteristic ranges of austenitizing temperatures have been revealed. The structural changes occurring in respective temperature ranges were analysed. The structural factors controlling the tensile and impact strength of investigated steel have been estimated. The results of the work give the theoretical base for choosing the best heat treatment conditions of 18G2VA-steel.