



12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Wpływ boru na kinetykę przemian fazowych stali 1021

J. Kupczyk, A.K. Lis

Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Instytut Inżynierii Materiałowej, Politechnika Częstochowska
Armii Krajowej 27, 42-200 Częstochowa, Poland

Badano wpływ mikrododatku boru na kinetykę przemian fazowych stali 1021 oraz rodzaj powstałych struktur podczas ciągłego chłodzenia z temperatury austenitowania 1050°C dla szybkości chłodzenia od 0,042 °C/s do 9,86 °C/s.

1. WPROWADZENIE I CEL BADAŃ

W ostatnich latach opracowywane są nowe rozwiązania technologiczne w odniesieniu do uspokojonej stali 1021 odlewanej w urządzeniach COS i przeznaczonej do produkcji wyrobów umacnianych na zimno.

Zastosowanie żuźla syntetycznego i zastąpienie mikrododatkiem aluminium i tytanu [1] borem zapobiega zatykaniu się wylewów o małej średnicy kadzi pośredniej nad krystalizatorem przy odlewaniu kęsów o małym przekroju.

Stal 1021 jest klasy ferrytyczno - perlitycznej i jest przewidziana do produkcji wyrobów wykonanych w procesach przeróbki plastycznej na zimno, w związku z tym duża hartowność bainityczna byłaby przeciwwskazaniem do zastosowania stali 1021B w miejsce 1021.

Wpływ mikrododatku boru na właściwości tego rodzaju stali nie jest dostatecznie rozpoznany. Z tego powodu postanowiono zbadać kinetykę przemian fazowych stali 1021B dla warunków ciągłego chłodzenia, które obejmowałyby chłodzenie wlewka powstałego w urządzeniach COS począwszy od temperatury 1050 °C.

2. MATERIAŁ BADAWCZY

Próbki o średnicy $\varnothing = 3\text{mm}$ i długości 30 mm pobrano prostopadle do powierzchni bocznej wlewka ciągłego ze strefy kryształów zamrożonych i kolumnowych obrabiano cieplnie w dylatometrze optycznym bezwzględny LS4.

Zastosowano prędkości chłodzenia wynoszące odpowiednio $V_{8.5} = 9,859\text{ °C/s}$; $8,491\text{ °C/s}$; $4,702\text{ °C/s}$; $2,368\text{ °C/s}$; $0,856\text{ °C/s}$; $0,210\text{ °C/s}$; $0,085\text{ °C/s}$; $0,050\text{ °C/s}$; $0,042\text{ °C/s}$ z temperatury austenitacji 1050 °C.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH DISKUSJA

W oparciu o dane literaturowe odtworzono wykres CTPc stali 1021, który sporządzono po austenitowaniu stali w procesie spawania w temperaturze 1250 °C/30s [2].

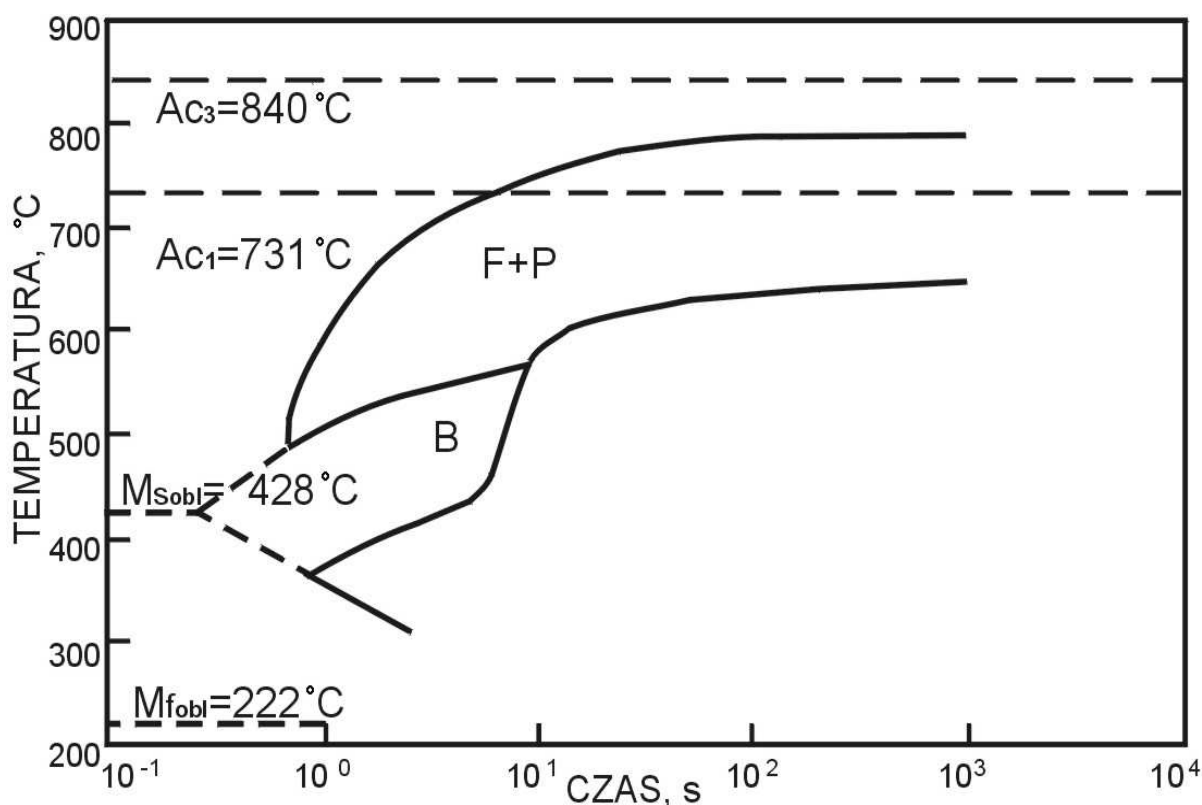
Stanowi on podstawę do porównania z wykresu CTPc badanej stali 1021B pochodzącej z wlewka COS.

Tabela 1

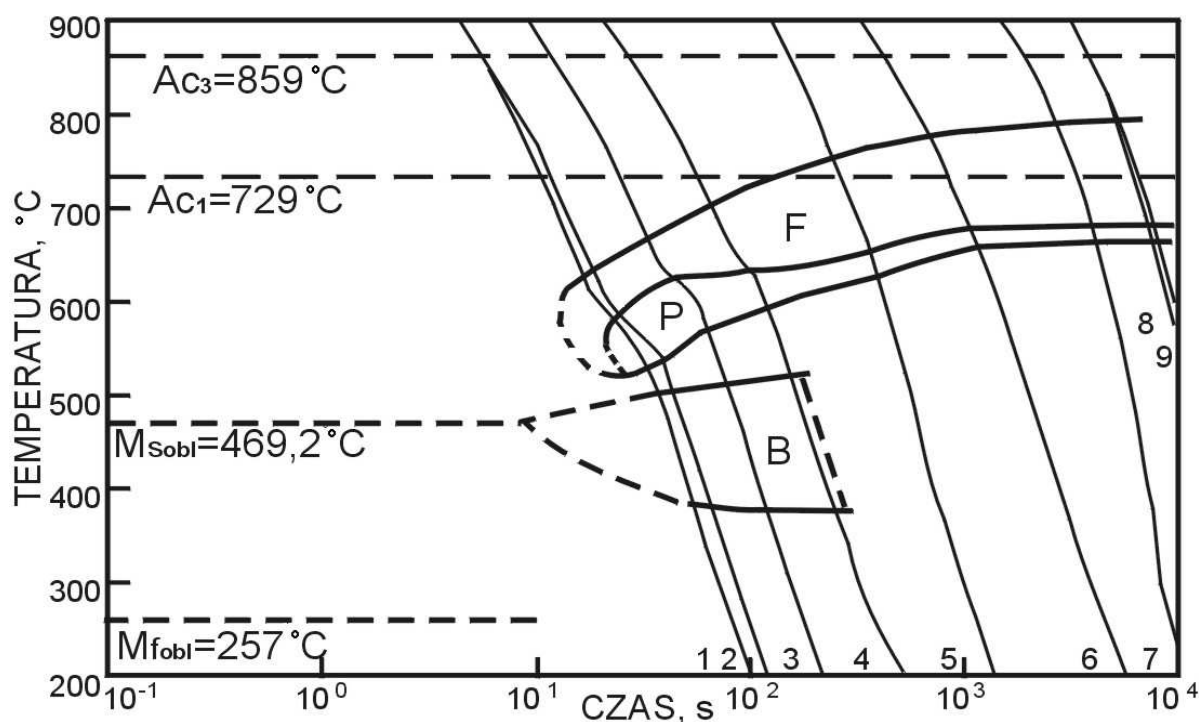
Składy chemiczne badanych stali w % wagowych

Stal	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	Sn	B
1021	0,23	0,44	0,10	0,034	0,051	-	-	-	-	-	-	-
1021B	0,21	0,66	0,19	0,022	0,026	0,05	0,07	0,17	0,004	0,016	0,01	0,007

Wykresy CTPc dla obu stali przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys.1. Wykres CTPc stali 1021 po austenitowaniu 1250 °C /30s



Rys.2. Wykres CTPc stali 1021B po austenizowaniu 1050 °C/900s. Zastosowane szybkości chłodzenia $V_{8,5}$: 1- 9,859; 2- 8,491; 3- 4,702; 4- 2,368; 5-0,856; 6-0,210; 7- 0,085; 8- 0,050; 9- 0,042 °C/s.

Z wykresów CTPc obu stali widać, że dla wybranego poziomu temperatury $T=600$ °C początek przemiany ferrytycznej został opóźniony o ok. 13s, a koniec przemiany perlitycznej o ok. 162s dla stali 1021B.

Temperatury początku przemiany $\gamma \rightarrow \alpha$ w znacznym stopniu zostały obniżone, podobnie jak temperatury końca przemiany perlitycznej dla stali 1021B. Dla bardzo małych szybkości chłodzenia zbliżonych do warunków równowagowych temperatury początku przemiany ferrytycznej i końca perlitycznej dla obu stali są prawie identyczne.

Z porównania wykresów CTPc obu stali wynika, że dla wybranego poziomu temperatury $B_s \approx 490$ °C zatoka przemiany bainitycznej została opóźniona o ok. 19s, a koniec zatoki o ok. 183s dla stali 1021B. Temperatura początku przemiany bainitycznej B_s stali 1021 zmienia się w szerokim zakresie temperatur od ok. 428 °C do 565 °C ze spadkiem szybkości chłodzenia, natomiast temperatura końca przemiany bainitycznej B_f wzrasta od 365 °C do ok. 440 °C a dalej do temperatury $B_s = 565$ °C. Dla stali 1021B temperatura początku przemiany bainitycznej B_s wzrasta od ok. 469 °C, a w zakresie zastosowanych szybkości chłodzenia od 497 °C do ok. 517 °C. Temperatura końca przemiany bainitycznej B_f dla stali 1021B, dla zastosowanych szybkości chłodzenia oscyluje wokół stałej wartości (375÷383 °C).

Dla stali 1021 bez boru obliczono temperatury początku M_s i końca M_f przemiany martenzytycznej wg wzorów Coe z poz. [3]:

$$M_s = 539 - 423 C - 30,4 Mn - 17,7 Ni - 12,1 Cr - 7,5 Mo \approx 428 \text{ °C} \quad (1)$$

$$M_f = 346 - 474 C - 33 Mn - 17 Ni - 17 Cr - 21 Co \approx 222 \text{ °C} \quad (2)$$

Dla stali 1021B obliczono M_s i M_f wg wzorów Wojnara i Mikuły z poz. [3] z uwzględnieniem wpływu boru:

$$M_s = 635,02 - 549,82 C - 85,441 Mn - 68,967 Si - 18,07 Cr + 30,965 Ni + \\ - 69,301 Mo - 6,603 V + 420,26 Nb + 553,8 Ti + 2709,3 B \approx 469^\circ C \quad (3)$$

$$M_f = 381,76 - 252,44 C - 111,12 Mn + 54,538 Si + 114,1 Cr - 23,779 Ni + \\ + 215,7 V - 57,381 Mo + 945,4 Nb + 1821,7 Ti - 1746,5 B \approx 257^\circ C \quad (4)$$

Ze względu na wysokie wartości temperatur M_s i M_f i dużą różnicę pomiędzy nimi dla stali z borem możliwe jest częściowe samoodpuszczenie powstałego martenzytu.

W zakresie szybkości chłodzenia $V_{8-5} = 9,859 \div 2,368$ °C/s występują różne postacie bainitu (górnego i dolnego) o twardości od 177,3 do 158 HV10, przy czym dla $V_{8-5} = 2,368$ °C/s ilość bainitu górnego maleje na rzecz perlitu. Twardość mikrostruktury ferrytyczno – perlitycznej dla szybkości chłodzenia $V_{8-5} = 0,856 \div 0,042$ °C/s zawiera się między 138,3 a 124,3 HV10.

4. WNIOSKI

1. Bor stabilizuje austenit podczas ciągłego chłodzenia, ogranicza i opóźnia te procesy dyfuzyjne w czasie rozpadu austenitu, które wymagają zarodkowania na granicach ziaren t.j. ferryt i perlit.
2. Stwierdzono, że zatoka bainityczna dla stali 1021B występuje przy wielokrotnie niższych szybkościach ciągłego chłodzenia 9,86 do 2,368 °C/s w porównaniu ze stałą 1021. Świadczy to o wyraźnym wpływie boru na wzrost hartowności bainitycznej.
3. Korzystnym oddziaływaniem mikrodotadku boru jest również obniżenie temperatury początku przemiany bainitycznej dla stali 1021B, ponieważ zmniejsza to udział bainitu górnego, co w dalszej konsekwencji będzie miało korzystny wpływ na własności mechaniczne stali.
4. Dodatkowa korzyść stosowania mikrodotadku boru w stali 1021B polega na lokalnej dyfuzji węgla w utworzonych listwach martenzytu, oraz na zmniejszeniu w nich gęstości dyslokacji. Martenzyt taki dla umiarkowanych szybkości chłodzenia jest bardziej plastyczny i ciągliwy.
5. Przez cały zakres zastosowanych szybkości ciągłego chłodzenia występuje struktura ferrytyczno-perlityczna, która umożliwia stosowanie stali 1021B w miejsce 1021.
6. Dla całego zakresu zastosowanych szybkości ciągłego chłodzenia nie stwierdzono w strukturze martenzytu.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały Inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Gliwice –Warszawa, 2002.
2. J. Brózda, J. Pilarczyk, M. Zeman, Spawalnicze wykresy przemian austenitu CTPc-S, Wydawnictwo „Śląsk”, 1983.
3. E. Tasak, Spawalność stali, FOTOBIT, Kraków 2002.