XIII. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2008. március 14-15.

CMSX-3 JELÖLÉSŰ NIKKEL ALAPÚ ÖTVÖZET SZÖVET- SZERKEZETÉNEK VÁLTOZÁSA HŐKEZELÉS SORÁN

Dr. Pinke Péter

Abstract

The microstructure of nickel based superalloys prepared by directional solidification is dendritic. This paper depicts the influence of the heat treatment process on the microstructure of CMSX-3 nickel based superalloy. As a result of applied heat treatment the initial heterogenous structure can be changed and uniform distribution of γ' precipitates can be achieved by high volume.

Összefoglalás

Az irányított kristályosítással előállított nikkell alapú szuperötvözetek szövetszerkezete dendrites. A dolgozat egy hőkezelési eljárás szövetszerkezetre gyakorolt hatását mutatja be CMSX-3 nikkell alapú ötvözet esetében. Az alkalmazott hőkezelés eredményeként a kiinduló heterogén szerkezet megváltoztatható és egyenletes eloszlású γ' precipitátumok érhetők el magas térfogatarányban.

1. Bevezetés

Nikkell alapú szuperötvözetek a leggyakrabban alkalmazott anyagok a gázturbinák és sugárhajtóművek nagyfokú igénybevételnek kitett alkatrészeinek (az égéstér egyes alkatrészei, tárcsa, turbina terelőlapátok, forgólapátok) gyártására. A turbinalapátok anyagát illetően a magas hőmérsékleti mechanikai jellemzők (kúszásállóság, hőfaradással szembeni ellenállóképesség) az egyértelműen elvárt anyagtulajdonságok. A turbinalapátok károsodásállóságát tekintve minőségi ugrás akkor következett be, amikor irányított kristályosítással készített egykristály lapátokat kezdtek alkalmazni, amelyek a gyártástechnológiából következően nem tartalmaztak szemcsehatárokat [1]. A szokványos technológiai paraméterek mellett kristályosított egykristály turbinalapátok oszlopszerű dendritkristályból épülnek fel [2]. A dendrites szerkezetből adódó szegregációs jelenségek megszüntetése és a szilárdságnövelő precipitátumok megfelelő kiválása érdekében a nikkell alapú egykristályokat hőkezelní kell.

2. A nikkell alapú ötvözetek hőkezelésének elméleti alapjai

A hőálló nikkell alapú ötvözetek komplex ötvözesűek. Az alapfázis nikkell különböző ötvözőkkel, pl. Cr, Co, Mo, W, Ta, Ti, Al alkotott szilárd oldata (γ fázis), amelyben $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$ szilárdságnövelő vegyületfázis kiválások (γ' fázis) találhatók magas térfogatarányban. A szövetszerkezetben γ/γ' eutektikum is előfordulhat valamint az ötvözet vegyi összetételéből következően karbidok. A magas kúszásállóság elérése érdekében az ötvözetek hőkezelése oldó izzításból és kiválások keményítésből áll [3]. Oldó izzítás során a nikkell ötvözetet a homogén γ fázis tartományába kell hevíteni. Gyors hűtés után két vagy háromszoros kiválások keményítést szoktak beiktatni a γ' precipitátumok magas térfogatará-

nyú, megfelelő méretű és alakú elérése valamint egyenletes eloszlása érdekében. A hőkezelés alapelveit a γ' fázisképző elemek mennyiségére tekintettel és az irányadó hőmérsékletek feltüntetésével, szemléltető jelleggel, az 1. ábra mutatja.

3. Kísérleti anyag és technika

Hőkezelésre irányított kristályosítás (IK) technológiájával előállított [4,5] CMSX-3 jelölésű nikkell alapú szuperötvözetet alkalmaztunk. Az ötvözet irányadó vegyi összetétele (tömeg %): 8% Cr, 4% Co, 0,5% Mo, 9% Mo, 5,7% Al, 0,7% Ti, 5,7% Ta, 0,1 % Hf a fennmaradó rész Ni. A próbadarabokon oldó izzítást végeztünk 1240 – 1325 °C hőmérséklet-tartományban 4 vagy 6 órás hőntartással és 40 °C/min lehülési sebességgel. Oldó izzítás után kétfokozatú kiválósos keményítést iktattunk be 1000 °C /4h + 870 °C /18h vagy 1100 °C/4h + 870 °C/18h paraméterek mellett. A hőkezelést PZ 810 típusú vákuum kemencében folytattuk le. A szövetszerkezetet Neophot 30 fény- és JSM 35 CF pásztázó elektron-mikroszkópon vizsgáltuk. Az eutektikum és a γ' fázis kvantitatív értékeinek meghatározására Mini BVS képelemző berendezést alkalmaztunk.

1. ábra. Nikkel - γ' fázisképző ötvözők kvázi-binér egyensúlyi diagramja

4. Vizsgálati eredmények

Az IK technológiával készült egykristályok szövete képe a 2. ábrán látható, a dendritok közti térben γ/γ' eutektikum "szigetek" képződtek. A γ' precipitátumok alakja és mérete a dendrites szerkezetben elfoglalt elhelyezkedésükből következően változó (3. és 4. ábra).

Megfelelő paraméterű oldó izzítással a dendrites szerkezet eltávolítható, javul az ötvözők eloszlása a γ mátrixban és lehülés során finom γ' precipitátumok egyenletes kiválása érhető el. Az oldó izzítás választott kezdeti hőmérséklete (1240 °C) csak kis méretű változást okozott a szövetszerkezetben, a dendritok belsejében finomodott a γ' fázis kiválása, a dendritok közti térben viszont nem történt számottevő változás (5. ábra). A γ/γ' eutektikum oldódása 1300 °C-on végrehajtott izzítás során már megfigyelhető volt, az eutektikum szomszédságában még kis mértékben előfordultak fel nem oldódott (öntés utáni) γ' precipitátumok (6. ábra). Homogén szövetállapotot minimális mennyiségű eutektikummal az 1310 °C/6h paraméterű izzítás eredményezett, a hőkezelt ötvözet szövete képe a 7. ábrán látható. Az 1310 °C/6h paraméterű oldó izzítás után a γ' vegyületfázis gömb és kocka alakú volt (8. ábra) 0,35 μm átlagmérettel, míg a hőkezelés előtti állapotot tekintve ezen fázisok nagysága 0,85 μm (a

dendrit belsejében), illetve 1,1 μ m (a dendritek közti térben) volt. Az alkalmazott kiválásos keménység szövetállapotra gyakorolt hatását a 9. a) és b) ábra szemlélteti.

A magasabb hőfok (1100 °C) közel kocka alakú (kuboid) γ' precipitátumok képződéséhez vezetett 0,7 μ m átlagmérettel, míg alacsonyabb hőfok esetében szabálytalanabb gömb és kocka alakú γ' fázisok jöttek létre 0,5 μ m nagysággal. A γ/γ' eutektikum térfogatarányának változását a végrehajtott oldó izzítások függvényében a 10. ábra mutatja. Az alkalmazott hőkezelési eljárások hatását a γ' fázis térfogatarányára és méretére az 1. táblázat összegzi.

2. ábra. CMSX-3 ötvözet dendrites szerkezete

3. ábra. γ' precipitátumok a dendrit belsejében

4. ábra. γ' precipitátumok a dendritek közti térben

5. ábra. Szövetkép 1240 °C/4h oldó izzítás után

6. ábra. Szövetkép 1300 °C/6h oldó izzítás után

7. ábra. Szövetkép 1310 °C/6h oldó izzítás után

5. Összefoglaló

Az irányított kristályosítás technológiájával feldolgozott CMSX-3 jelölésű nikkel alapú ötvözet dendrites szerkezetű, amelyben a szilárdság- és kúszásállóságnövelő γ' precipitátumok alakja és mérete eltérő, valamint γ/γ' eutektikum is jelen van. Optimális paraméterű oldó izzítással (1310 °C/6h) a den-

8. ábra. γ' precipitátumok 1310 °C/6h oldó izzítás után

9. ábra. CMSX-3 ötvözet szövetképe teljes hőkezelés után

a) 1310 °C/6h + 1000 °C/4h + 870 °C/18h

b) 1310 °C/6h + 1100 °C/4h + 870 °C/18h

drítes szövetszerkezet eltávolítható és egyenletes eloszlású finom (0,35 μm átlagméretű) γ' fázisok hozhatók létre. A kiválasztott keményítéssel alapuló további hőkezelés paraméterei által beállítható a γ' precipitátumok végső mérete, alakja és magas térfogataránya.

10. ábra. A γ/γ' eutektikum térfogatarányának változása oldó izzítás során

1. táblázat. Az alkalmazott hőkezelés hatása a CMSX-3 ötvözet γ' fázisának néhány paraméterére

CMSX-3 nikkel bázisú ötvözet állapota	γ' fázis térfogataránya $V_{\gamma'}$ [%]	γ' fázis mérete $\bar{a}$ [μm]
Kristályosítás után:		
dendritben	(42,7 ± 2,8) %	0,85 μm
dendritek között	(46,5 ± 2,9) %	1,1 μm
Oldó izzítás 1310 °C/6h	(49,6 ± 2,9) %	0,35 μm
Teljes hőkezelés 1310 °C/6h + 1000 °C/4h + 870 °C/18h	(53,3 ± 2,9) %	0,5 μm
Teljes hőkezelés 1310 °C/6h + 1100 °C/4h + 870 °C/18h	(55,4 ± 2,9) %	0,7 μm

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki Žitňanský professzornak és Maroš Martinkovič docensnek az irányított kristályosítással összefüggő projektek során megvalósult sikeres együttműködésért.

Irodalomjegyzék

- [1] M. McLean: *Philosophical Transactions of Royal Society*, Vol. 351, 1995, pp. 419-433.
- [2] H. Fu – X. Geng: *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 2, 2001, pp. 197-204.
- [3] G.K. Bouse – J.R. Mihalisin, In: J.K. Tien – T. Caulfield (eds.), *Superalloys, Supercomposites and Superceramics*, Academic Press, New York, 1989, pp. 99-148.
- [4] M. Žitňanský – M. Hazlinger – P. Pinke – J. Zrník: *Irányított kristályosítással előállított anyagok*, Kutatási jelentés 1/990 376/93, MTF STU Trnava, 1991.
- [5] Pinke P.: *Műszaki Tudományos Füzetek XII.*, FMTÜ 2007, EME, Kolozsvár, 149-152. old.

Dr. Pinke Péter, egyetemi adjunktus

Szlovák Műszaki Egyetem Pozsony, Anyagtechnológiai Kar Nagyszombat

Paulínska 16, 917 24 Trnava, Slovenská republika, Tel: 00421/33 552 1007, E-mail: peter.pinke@stuba.sk