

Vpliv parametrov pri kontinuirnem litju na mikrostrukturo zlitine Cu-Cr-Zr

Influence of Continuous Casting Parameters on Microstructure of Cu-Cr-Zr Alloy

I. Anžel, A. Križman, Tehniška fakulteta, Maribor

L. Kosec, S. Spaić, FNT Montanistika, Ljubljana,

Lastnosti zlitine Cu-Cr-Zr so pri sedanjem načinu izdelave odvisne predvsem od kemične sestave in termomehanske obdelave. Raziskave izdelave te zlitine s postopkom vakuumskega taljenja in kontinuirnega litja so nakazale možnost doseganja gašenega stanja že po strjevanju. Tako odpade raztopno žarjenje, močno pa naraste vpliv mikrostrukture izhodnega litega stanja na dosežene končne lastnosti zlitine. Na osnovi znanih parametrov za celično strjevanje zlitine Cu-Cr-Zr smo raziskali možnost doseganja drobne celične mikrostrukture pri kontinuirnem litju.

Ključne besede: baker-krom-cirkonij zlitina, strjevanje, celična mikrostruktura, kontinuirano litje

In the present manufacturing process the properties of Cu-Cr-Zr alloy depend mainly on chemical composition and thermomechanical treatment. Research work on the manufacturing of this alloy using vacuum melting and continuous casting processes indicated a possibility of attaining the quenching state immediately after the solidification. The solution treatment becomes unnecessary and the influence of the as cast microstructure is largely increased. Based on the known parameters for cellular solidification of Cu-Cr-Zr alloy the possibilities of attaining fine cellular microstructure in continuous casting were investigated.

Key words: Copper-Chromium-Zirconium Alloy, solidification, cellular microstructure, continuous casting

1 Uvod

Elektrode za uporovno varjenje morajo pri svojem delu pri povišani temperaturi prenašati velike tlačne obremenitve, prevajati velike gostote električnega toka in odvajati toploto. Takšne lastnosti lahko dosežemo pri malolegiranih izločevalno utrjevalnih bakrovih zlitinah, med katere prištevamo tudi zlitino Cu-Cr-Zr. Dosežene mehanske lastnosti so pri izdelavi te zlitine odvisne predvsem od izbire kemijske sestave, pogojev pri strjevanju ter nastale mikrostrukture in od nadaljne termomehanske obdelave¹⁻³.

Mikrostruktura v litem stanju je odvisna od pogojev kristalizacije, oziroma od hitrosti rasti strjevalne fronte V_{sf} in od velikosti temperaturnega gradienta na strjevalni fronti G . V litem stanju želimo doseči drobno celično mikrostrukturo z velikim prenasitjenjem matice α_{Cu} , ter majhnim deležem medceličnega evtektiskega zloga ($\alpha_{Cu} + \beta_{Cr}$). Takšna mikrostruktura litega stanja omogoča popolnejšo homogenizacijo, oziroma daje možnost, ob zadostnem prenasitjenju matice α_{Cu} , direktnega staranja izhodne lite mikrostrukture.

Zaradi velikega vpliva procesa strjevanja na lastnosti zlitine Cu-Cr-Zr, se kot alternativa pri izdelavi izdelkov pojavljajo tehnologije litja, ki omogočajo kontroliran oziroma voden proces strjevanja.

Na osnovi ugotovljenih pogojev za celično strjevanje te zlitine⁴ smo na laboratorijski napravi za kontinuirno litje raziskali možnosti doseganja usmerjene celične mikrostrukture ter zasledovali vpliv spremembe parametrov kontinuirnega litja na mikrostrukturo zlitine Cu-Cr-Zr.

2 Eksperimentalno delo

Doseganje ugodne celične mikrostrukture pri kontinuirnem litju zlitine Cu-Cr-Zr, smo raziskali na laboratorijski napravi za vakuumsko taljenje firme Leybold Heraeus IS 1,5 in vertikalno kontinuirno litje firme Technica Guss. Naprava je sestavljena iz vakuumske indukcijske peči in minikontilivnega sistema.

Za poskuse smo uporabili že izdelano zlitino Cu-Cr-Zr z 1.11% Cr in 0.12% Zr. 15 kilogramske šarže smo talili v elektrografitnem loncu, ki je imel na dnu izdelano odprtino za sprejem grafitne kokile z livno odprtino $\phi = 16$ mm. Tlak je v fazi taljenja znašal od 10^{-1} do 10^0 mbar. Pred začetkom kontinuirnega litja smo v vakuumsko posodo uvedli argon, tako da je absolutni tlak argona v posodi znašal 1150 do 1200 mbar, kar pomeni da smo vli-vali z relativnim nadtlakom argona 150 do 200 mbar. Na ta način smo preprečili vdor zraka v vakuumsko posodo med kontinuirnim litjem.

Mikrostrukturne raziskave smo opravili s svetlobno in elektronsko mikroskopijo ter EDX mikroanalizo. Z meritvami trdote in električne prevodnosti smo zasledovali lastnosti zlitine.

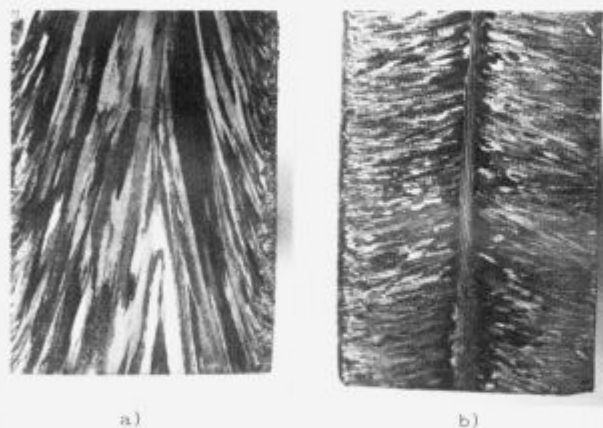
3 Rezultati in diskusija

Pri kontinuirnem litju palic smo uporabili način dela s ciklusom: poteg-mirovanje-poteg. Pregled pogojev pri preizkusih je podan v tabeli 1.

Tabela 1. Pogoji preizkusov kontinuirnega litja zlitine Cu-Cr-Zr

Parameter litja	Preizkus			
	C_1	C_2	C_3	C_4
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	1250	1250	1250	1250
Poteg (mm)	2	2	2	3
Čas mirovanja (s)	0.3	0.2	0.3	0.2
Hitrost potega (mm/s)	6.6	6.6	20	20
Kol. hlad. vode (l/min.)	20	20	26	26
Aksialna hitrost (mm/s)	3	4	5	8.5

Pri preizkusih C_1 in C_2 , kjer smo kontinuirno lili z osno hitrostjo 3 oziroma 4 mm/s, smo dosegli osno usmerjeno rast kristalnih zrn po celotnem preseku (**slika 1a**). Zadostno ohlajanje v primarnem hladilnem sistemu je povzročilo prevladovanje osne komponente odvoda toplote in s tem omogočilo osno kristalno rast. Zaradi prednostne osne rasti kristalnih zrn lahko rečemo, da je bila hitrost rasti strjevalne fronte enaka osni hitrosti kontinuirnega litja.



Slika 1. Makrostruktura kontinuirno litih palic; Makro 3:1; Vzdolžni prerez a) Osno usmerjena rast kristalnih zrn (preizkusa C_1 in C_2); b) Prečna rast kristalnih zrn (preizkusa C_3 in C_4).

Figure 1. Macrostructure of continuously cast rods; magn. 3 times; Longitudinal cross section: a) Axially oriented growth of crystal grains (Tests C_1 and C_2); b) Lateral growth of crystal grains (Tests C_3 and C_4).

Pri preizkusu C_1 , kjer smo lili z hitrostjo 3 mm/s, je nastala osno usmerjena dendritna struktura, z eutektsko strjeno preostalo talino v meddendritnem prostoru (**slika 2a**). S povečanjem hitrosti rasti strjevalne fronte na 4 mm/s smo dosegli pogoje za celično strjevanje ($V_{sf} > 3.5$ mm/s), kar potrjuje tudi nastala mikrostruktura (**slika 2b**). Pri preizkusu C_2 je nastala drobna osno usmerjena celična struktura z veliko prenasitjenostjo kroma v primarni α_{Cu} fazi (**tabela 2**) in z majhnim deležem medceličnega eutektika. Celice primarne faze α_{Cu} , ki rastejo vzporedno odvodu toplote, potiskajo raztopljene elemente krom in cirkonij ($K < 1$) v talino pred seboj, ter bočno na meje celic, kjer se s topljencem obogatena talina strjuje kot eutektik $\alpha_{Cu} + \alpha_{Cr}$. Cirkonij se nahaja raztopljen v alfa zmesnem kristalu, razen tega pa ga zasledimo še v obliki izločenih kompleksnih primarnih cirkonidov v medceličnem prostoru. Z naraščanjem hitrosti strjevanja se je povečala tudi prenasitjenost kroma

v α_{Cu} matici in je pri celičnem strjevanju dosegla vrednost 0,9%.

Z večanjem hitrosti strjevanja se difuzijska razdalja pred strjevalno fronto ($\delta = D/V_{sf}$) krajša, mikrostruktura postane finejša, s tem pa se povečuje vpliv kapilarnosti na morfologijo strjevalne fronte. Pri takšnih pogojih je dendritna mikrostruktura za difuzijske procese pregraba in strjevanje preide v celično.

Tabela 2. Primerjalni pregled mikrostrukturnih značilnosti, porazdelitve kroma in lastnosti kontinuirno ulitih palic

Vzorec	Trdota HB 2.5/62.5	El. prevodnost ($\text{m}/\Omega\text{mm}^2$)	C_{Cr} (mas. %)	λ (μm)
C_1	90	22	0.7	25
C_2	100	18	0.9	10
C_3	82	30	0.8 - rob 0.5 - not.	18 - rob 31 - not.
C_4	78	30	0.8 - rob 0.4 - not.	19 - rob 40 - not.

Z namenom, da bi povečali hitrost rasti strjevalne fronte, ter tako dosegli še finejšo celično strukturo, smo nadaljne preizkuse kontinuirnega litja izvedli pri večjih osnih hitrostih litja z intenzivnejšim hlajenjem primarnega hladilnega sistema (preizkusa C_3 in C_4). Pri tem je zaradi nezadostnega hlajenja v trdnem prevladovala radialna komponenta odvoda toplote, kar je povzročilo prevladujočo prečno rast kristalnih zrn (**slika 1b**). Pri prečni rasti pa povzroči nastanek zračne reže v primarni kokili velike razlike v mikrostrukturi med robnim delom in notranjostjo kontinuirno lite palice. V robnem delu palice je zaradi hitrega strjevanja nastala drobna celična struktura ($\lambda = 10 \mu\text{m}$) z veliko prenasitjenostjo kroma v primarni fazi α_{Cu} (**tabela 2**).

Z nastankom zračne reže se je hitrost odvajanja toplote in s tem hitrost strjevanja močno zmanjšala, kar je povzročilo prehod v izrazito dendritno strjevanje z močno razraščanimi sekundarnimi dendritnimi vejami in majhno prenasitjenostjo kroma v primarni fazi α_{Cu} (**tabela 2**).

4 Zaključki

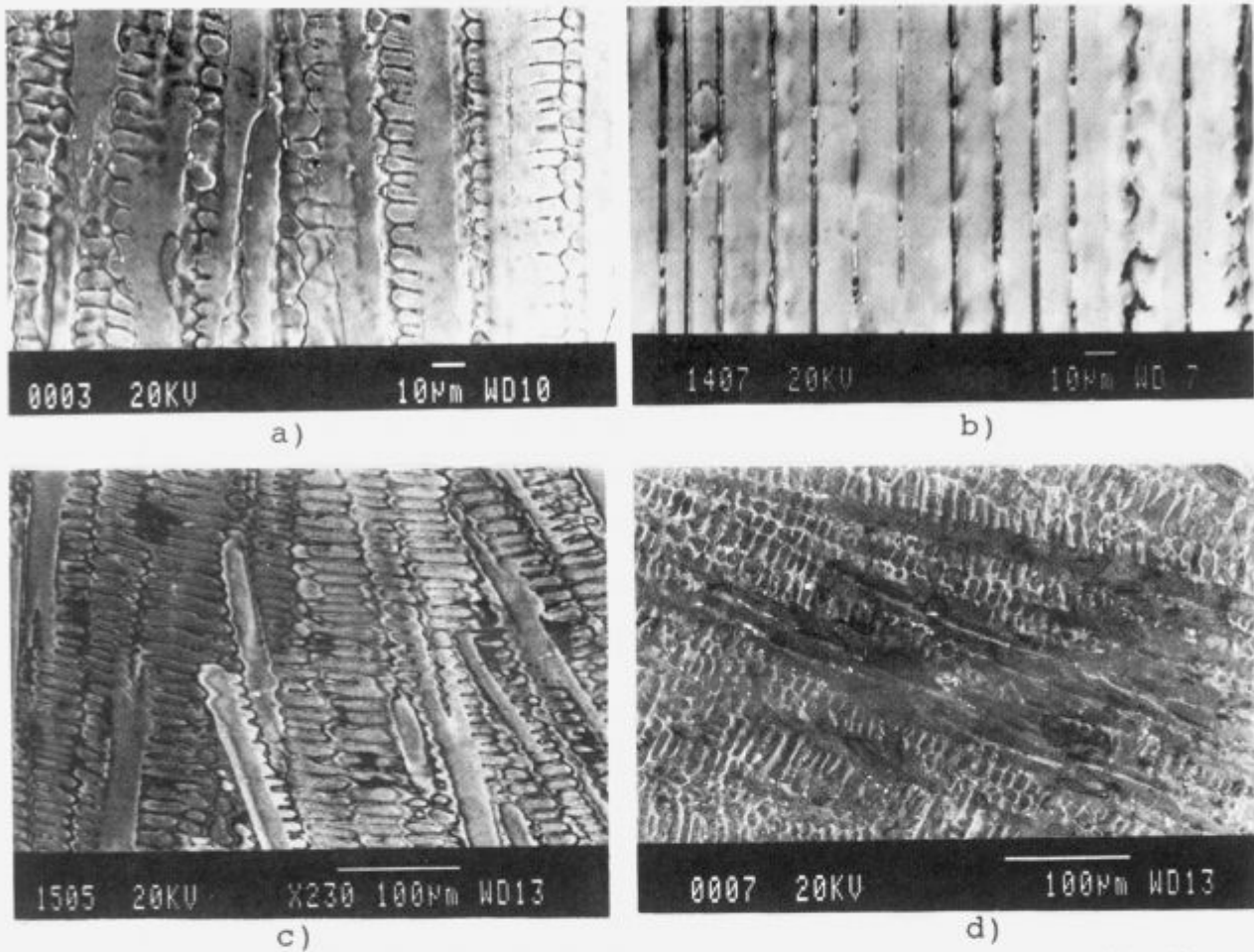
Na laboratorijski napravi za kontinuirno litje smo raziskali možnosti doseganja usmerjene celične mikrostrukture.

Pri osni hitrosti litja 4 mm/s lahko z zadostnim hlajenjem dobimo osno usmerjeno rast kristalnih zrn, kar omogoča približevanje dejanske hitrosti rasti strjevalne fronte osni hitrosti kontinuirnega litja in nastanek drobne celične mikrostrukture.

Pri tako nastalih celicah smo dosegli prenasitjenost kroma v α_{Cu} matici večjo od maksimalne topnosti, kar omogoča direktno staranje izhodne lite mikrostrukture.

Pri preizkusih z večjo osno hitrostjo litja prevladuje zaradi nezadostnega hlajenja prečna komponenta odvoda toplote, oziroma prečna rast kristalnih zrn. Ta pa povzroči nastanek zračne reže v primarni kokili in s tem velike razlike v mikrostrukturi med robom in notranjostjo strjene palice.

Pri dobljeni drobni celični mikrostrukturi z zadostno prenasitjenostjo α_{Cu} matic lahko pričakujemo, da bi že z razmeroma kratkimi časi staranja dobili mikrostrukturo z uporabnimi lastnostmi.



Slika 2. Mikrostruktura kontinuirno litih palic; Vzdolžni prerez; REM; a) Vzorec C_1 ; b) Vzorec C_2 ; c) Vzorec C_3 ; d) Vzorec C_4 .
Figure 2. Microstructure of continuously cast rods; Longitudinal cross section, SEM; a) Sample C_1 ; b) Sample C_2 ; c) Sample C_3 ; d) Sample C_4 .

5 Literatura

- ¹ S. Spaić, A. Križman, M. Pristavec: Makro- in mikrostruktura zlitine Cu-Cr-Zr v izhodnem litem stanju; 31. Livarsko strokovno posvetovanje; Portorož; 1989;
- ² S. Spaić, V. Marinkovič, A. Klemenčič: Vpliv različnih dodatkov na strukturo in lastnosti zlitine Cu-Cr-Zr; Rudarsko metalurški zbornik; Ljubljana 30, 1983, s. 259-267
- ³ S. Spaić, A. Križman: Litje posebnih bakrovih zlitin; 6. Kongres livaca; Budva; 1982;
- ⁴ I. Anžel, A. Križman: Vpliv ohlajevalnih pogojev na mikrostrukturo litega stanja zlitine Cu-Cr-Zr; 33. Livarsko strokovno posvetovanje; Portorož; 1992;