

Vpliv parametrov pri kontinuirnem litju na mehanske lastnosti zlitine Cu - Cr - Zr

Influence of continuous casting parameters on mechanical properties of Cu - Cr - Zr alloys

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

Pri zlitini Cu - Cr - Zr, ki je namenjena predvsem za izdelavo elektrod za točkovno varjenje, se zahtevajo dobre mehanske lastnosti, visoka električna in toplotna prevodnost, visoka popuščna temperatura ter stabilnost mikrostrukture in s tem pogojena dolga življenska doba. Dosežene lastnosti zlitine so močno odvisne že od mikrostrukture izhodnega litega stanja. Ker so predhodne raziskave izdelave te zlitine s postopkom vakuumskega taljenja in kontinuirnega litja pokazale velik vpliv parametrov litja (hitrost, hlajenje) na nastalo mikrostrukturo, smo z nadaljnjimi raziskavami želeli ugotoviti primernost tako nastalih mikrostruktur za doseganje optimalnih lastnosti zlitine.

Ključne besede : Zlitina Cu - Cr - Zr, kontinuirno litje, mehanske lastnosti, staranje

The Cu - Cr - Zr alloy, which is mainly used as electrode for point welding, must possess good mechanical properties, high electric and thermal conductivity, high tempered temperature, and stability of microstructure that ensure long lifetime. The properties of alloy, which are attained, depends very from cast microstructure. Previous research work made on the production of this alloy using the process of vacuum melting and continuous casting showed a great influence of continuous casting parameters on microstructure. Therefore various tests were made with intention to investigate acceptability of different continuous casting microstructure on attaining optimal properties of alloy.

Key words: Alloy Cu - Cr - Zr, continuous casting, mechanical properties, ageing

1 Uvod

Kontinuirno litje predstavlja danes široko uporaben postopek izdelave ulitih polproizvodov. Pri tem postopku lahko s spreminjanjem tehnoloških parametrov litja vplivamo na pogoje kristalizacije na strjevalni fronti, oziroma na mikrostrukturo, ki nastaja v procesu strjevanja, s tem pa tudi na mehanske lastnosti kontinuirno lite zlitine. Velik vpliv parametrov litja (predvsem hitrosti) na nastalo mikrostrukturo se je pokazal tudi pri raziskavah vakuumskega taljenja in kontinuirnega litja izločevalno utrjevalne zlitine Cu - Cr - Zr¹⁻⁴. Pri teh raziskavah so bili določeni vplivni parametri, ki pogojujejo posamezno morfologijo strjevanja (celice, dendriti), na tej osnovi pa so bile nato raziskane tudi možnosti doseganja teh morfologij pri kontinuirnem litju. Rezultati teh raziskav kažejo, da je nastanek celične oziroma dendritne mikrostrukture pri tej zlitini odvisen predvsem od hitrosti rasti strjevalne fronte. Z doseganjem osno usmerjene rasti strjevalne fronte (zadostno hlajenje strjenega dela glede na hitrost litja) dosežemo pri hitrosti kontinuirnega litja

nad 3.5 mm/s celično morfologijo strjevanja. Nezadostno hlajenje strjenega dela glede na hitrost litja pa kljub večjim hitrostim kontinuirnega litja ne omogoči osno usmerjene rasti strjevalne fronte in celične morfologije strjevanja. Nastane dendritna struktura, ki postaja z naraščajočo hitrostjo kontinuirnega litja vse bolj groba, z povečanim deležem evtetika v meddendritnem prostoru.

Z nadaljnjimi raziskavami smo želeli ugotoviti primernost tako nastalih mikrostruktur za doseganje optimalnih oziroma zahtevanih lastnosti zlitine.

2 Preizkusi

Izdelava kontinuirno litih palic zlitine Cu-Cr-Zr, pri različnih hitrostih kontinuirnega litja, je bila izvršena na laboratorijski napravi za vakuumsko taljenje firme Leybold Heraeus IS 1,5 in vertikalno kontinuirno litje firme Technica Guss.

Za preizkuse smo uporabili zlitino Cu-Cr-Zr z 1,11% Cr in 0,12% Zr. Nekoliko višjo koncentracijo legiranih elementov

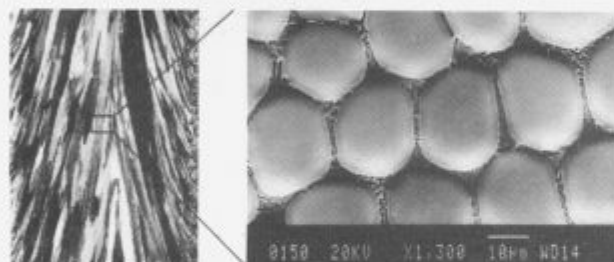
od maksimalne topnosti v osnovni kovini smo izbrali na osnovi rezultatov predhodnih raziskav^{3,4}, ki so pokazale, da lahko pri dovolj veliki hitrosti napredovanja strjevalne fronte dosežemo povečanje topnosti legirnih elementov v α_{Cu} matici.

Raziskave makro in mikrostrukture smo opravili s svetlobno in elektronsko mikroskopijo, mehanske preizkuse pa na trgalnem stroju firme Instron.

Na podlagi raziskav 5 in predlagane optimalne tehnologije izdelave (raztopno žarjenje, gašenje, hladna deformacija in izločevalno utrjanje na temperaturi 475°C), smo kontinuirno lite palice hladno deformirali z vlečenjem v Mariborski livarni, in jih nato starali pri temperaturi 475°C.

3 Rezultati in diskusija

Pri hitrosti kontinuirnega litja 4 mm/s je bila dosežena osno usmerjena rast kristalnih zrn z celično morfologijo strjevanja (slika 1). V teh celicah primarne α_{Cu} faze nismo zasledili grobih nekoherentnih izločkov β_{Cu} faze, ki so sicer pogosto prisotni v liti mikrostrukturi. Majhen delež evtektika v medceličnem prostoru pa potrjuje, da je večina legirnih elementov ostala v notranjosti celic.

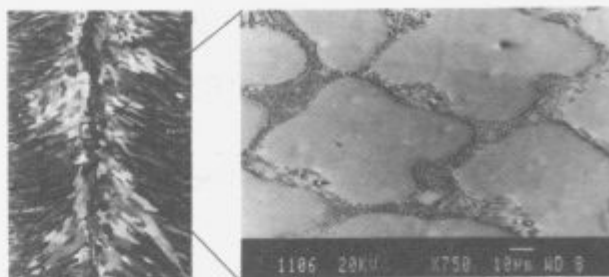


Slika 1: Makro- in mikrostruktura kontinuirno lite palice; Makro 3:1; Hitrost kontinuirnega litja - 4 mm/s;

Figure 1: Macro- and microstructure of continuously cast rod; Macro 3:1; Continuous casting speed - 4 mm/s;

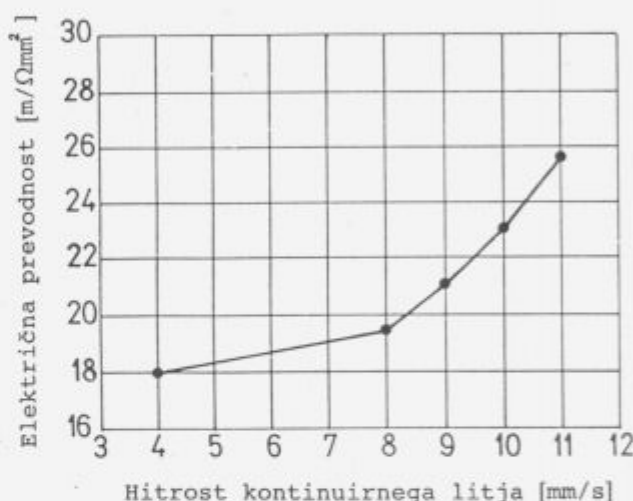
Povečanje hitrosti kontinuirnega litja na 8, 9, 10 in 11 mm/s je zaradi nezadostnega hlajenja strjenega dela kontinuirno lite palice povzročilo prečno rast kristalnih zrn z dendritno morfologijo strjevanja (slika 2). Z naraščajočo hitrostjo kontinuirnega litja postaja dendritna mikrostruktura vse bolj groba, z močno razraščanimi sekundarnimi vejami, ter vse večjim deležem evtektika. V mikrostrukturah z dendritno morfologijo strjevanja smo opazili tudi grobe izločke β_{Cu} faze tako v meddendritnem prostoru kakor tudi v notranjosti posameznega dendrita (slika 7). Njihov delež se je z naraščajočo hitrostjo kontinuirnega litja povečeval.

Meritve električne prevodnosti kontinuirno litih vzorcev, so potrdile tezo, da pri celičnem strjevanju dosežemo veliko prenasíčenost legirnih elementov v primarni α_{Cu} fazi, saj so bile izmerjene vrednosti električne prevodnosti pri tej mikrostrukturi najnižje (slika 3). Stanje takšne celične mikrostrukture z majhnim deležem medceličnega evtektika, nizko električno prevodnostjo in razmeroma visoko trdoto (100 HB) lahko smatramo kot gašeno stanje. Pri kontinuirno litih vzorcih z dendritno mikrostrukturno električna prevodnost z naraščajočo hitrostjo kontinuirnega litja narašča.



Slika 2: Makro- in mikrostruktura kontinuirno lite palice; Makro 3:1; Hitrost kontinuirnega litja - 11 mm/s;

Figure 2: Macro- and microstructure of continuously cast rod; Macro 3:1; Continuous casting speed 11 mm/s;

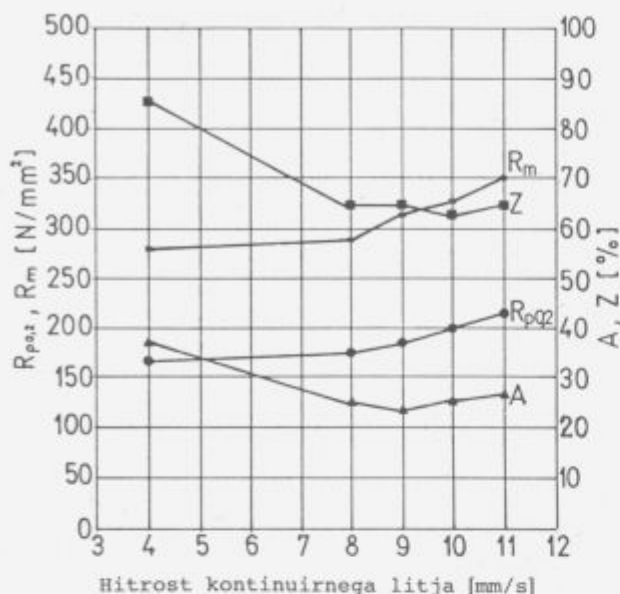


Slika 3: Vpliv hitrosti kontinuirnega litja na električno prevodnost zlitine Cu-Cr-Zr;

Figure 3: Influence of the continuous casting speed on the electrical conductivity of Cu-Cr-Zr alloy;

Natezni preizkusi kontinuirno litih palic kažejo veliko odvisnost mehanskih lastnosti od hitrosti kontinuirnega litja oziroma od nastale mikrostrukture. Meja tečenja ($R_{p0.2}$) in natezna trdnost (R_m) kontinuirno litih palic z večanjem hitrosti litja naraščata. Ker z večanjem hitrosti kontinuirnega litja narašča temperatura palic na izhodu iz primarnega hladilnega sistema, se hitrost ohlajanja palic v trdnem z naraščajočo hitrostjo kontinuirnega litja zmanjšuje. Z zmanjšanjem hitrosti ohlajanja pa se večja delež izločkov (vse bolj ravnotežno ohlajanje), ki omogočijo utrjanje kontinuirno litih palic. Raztezek (A) in kontrakcija (Z) se s prehodom iz celične v dendritno mikrostrukturno zmanjšata, medtem ko se pri sami dendritni mikrostrukturi z naraščajočo hitrostjo kontinuirnega litja ne spreminjata bistveno.

Kontinuirno lite palice, pri katerih je nastala prenasíčena celična mikrostruktura, kažejo večjo deformabilnost, medtem ko se vzorci pri katerih je prišlo do izločanja že pri kontinuirnem litju, med deformacijo hitreje utrjujejo, kar privede do manjše deformabilnosti palic z dendritno mikrostrukturno. Manjše raztezke in kontrakcije pri



Slika 4: Mehanske lastnosti zlitine Cu-Cr-Zr v odvisnosti od hitrosti kontinuirnega litja;

Figure 4: Mechanical properties of Cu-Cr-Zr alloy depending on the continuous casting speed;

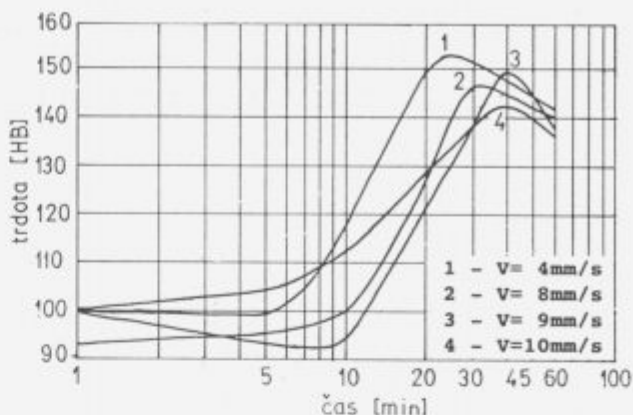
palicah, kjer je z naraščajočo hitrostjo kontinuirnega litja nastala dendritna mikrostruktura, lahko pripišemo nastajanju grobih izločkov β_{Cr} faze pri počasnem ohlajanju v trdnem.

Dosežena izhodna lita mikrostruktura močno vpliva tudi na proces staranja tako litih kakor tudi hladno deformiranih palic. Najvišjo trdoto po staranju so imele palice, pri katerih je bila pri kontinuirnem litju dosežena prenasitenost, ki ustreza gašenemu stanju. Glede na večjo prenasitenost matrice α_{Cu} z zlitinskima elementoma kromom in cirkonijem je prišlo pri staranju kontinuirno lite palice z celično mikrostrukturo do hitrejšega izločanja in povišanih trdnostnih lastnosti (slika 5). Nekontrolirano izločanje pri samem procesu kontinuirnega litja, z nastajanjem grobih izločkov, ima negativen vpliv na kasnejši proces umetnega staranja, ter ne omogoča doseganja tako visokih trdnostnih lastnosti kot pri prenasiteni celični mikrostrukturi.

Podobno obnašanje zasledimo tudi pri staranju hladno deformiranih palic (slika 6), kjer dosežemo še višje trdote kot pri staranju kontinuirno litih palic. Tudi pri staranju hladno deformiranih palic dosežemo najvišje trdote pri kontinuirno liti palici z celično mikrostrukturo, kjer smo dosegli pri kontinuirnem litju prenasitenost stanje.

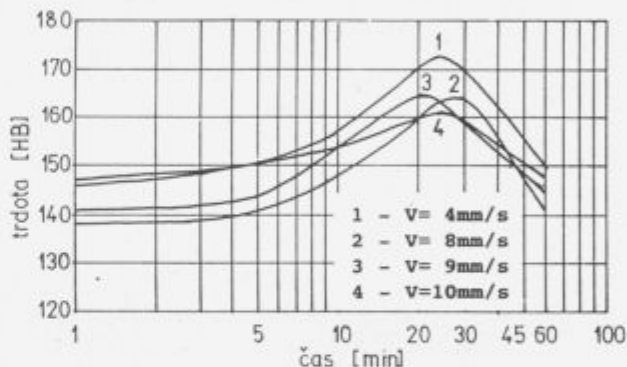
4 Zaključki

Z raziskavami lastnosti kontinuirno litih palic zlitine Cu-Cr-Zr, litih pri različnih hitrostih kontinuirnega litja, smo ugotavljali primernost nastalih mikrostruktur za doseganje optimalnih lastnosti tako izdelanih zlitin.



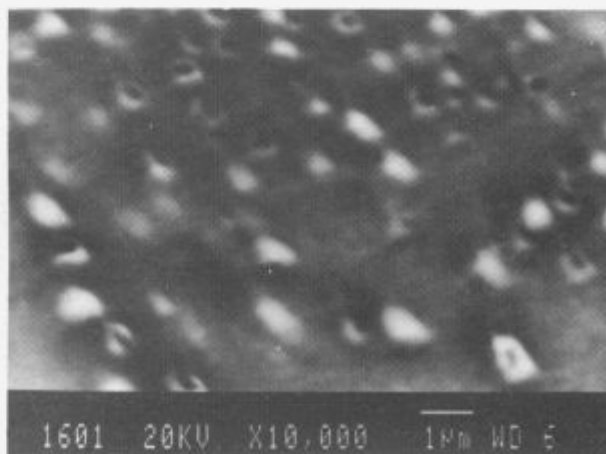
Slika 5: Sprememba trdote pri staranju kontinuirno litih palic na temperaturi 4750°C;

Figure 5: Variation of hardness during the ageing of continuous casting rods on the temperature 4750°C;



Slika 6: Sprememba trdote pri staranju kontinuirno litih in hladno deformiranih palic na temperaturi 4750 °C;

Figure 6: Variation of hardness during the ageing of continuous casting and cold worked rods on the temperature 4750°C;



Slika 7: Izločki β_{Cr} faze v dendritni mikrostrukturi; SEM; Hitrost kont. litja - 11 mm/s;

Figure 7: SEM image of β_{Cr} precipitate in dendritic microstructure; Continuous casting speed - 11 mm/s;

Mikrostrukturne raziskave ter meritve električne prevodnosti so potrdile, da pri zadostnem hlajenju pri hitrosti kontinuirnega litja nad 3.5 mm/s dosežemo celično strukturo, z veliko prenasičenostjo legirnih elementov v celični matrici. Takšna kontinuirno lita mikrostruktura, katere stanje lahko smatramo kot gašeno stanje, omogoča pri kasnejšem staranju tako lite, kakor tudi deformirane strukture, doseganje najvišjih trdnostnih lastnosti. Dosežena trdota teh palic po staranju presega vrednosti, ki jih dosežemo z termomehansko obdelavo v kokile litih trupcev.

Nastajanje dendritne mikrostrukture z veliko gostoto grobih izločkov, ne omogoča doseganje optimalnih lastnosti po staranju.

Počasno ohlajanje kontinuirno litih palic v trdnem povzroči nastajanje grobih izločkov, ki zmanjšajo deformabilnost lite mikrostrukture in zmanjšajo uspešnost kasnejšega staranja.

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, A. Križman: Litje posebnih bakrovih zlitin; 6. Kongres livaca; Budva; 1982;
- ³ I. Anžel, A. Križman: Vpliv ohlajevalnih pogojev na mikrostrukturo litega stanja zlitine Cu--Cr-Zr, 33. Livarsko strokovno posvetovanje; Portorož; 1992
- ⁴ I. Anžel, A. Križman, L. Kosec, S. Spaić: Vpliv parametrov pri kontinuirnem litju na mikrostrukturo zlitine Cu-Cr-Zr; 43. Posvetovanje o metalurgiji in kovinskih gradivih; Portorož; 1992;
- ⁵ S. Spaić, A. Križman: Raziskave izdelave in lastnosti terne zlitine Cu-Cr-Zr; Raziskovalna naloga, LJ/MB; 1981;