

Mehanske lastnosti in korozijska odpornost super zlitine Ravnic2

Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Superalloy Ravnic2

B. Drogenik, D. Oblak, Železarna Ravne

V naslednjem prispevku so podani rezultati preiskave zlitine Ravnic2. Določili smo optimalno temperaturo toplotne obdelave, mikrostrukturo, mehanske lastnosti ter oksidacijsko in korozijsko odpornost. Dobljene rezultate smo nato primerjali z rezultati ostalih proizvajalcev.

Ključne besede: zlitina Ravnic2, kemijska sestava in mikrostruktura, toplotna obdelava, mehanske lastnosti, trajna mirujoča trdnost, oksidacijska in korozijska odpornost

In the given paper the results of investigation of alloy Ravnic2 are presented. Optimal temperature of heat treatment, microstructure, mechanical properties and oxidation and corrosion resistance were investigated. Our results were compared with the results of other producers.

Key words: alloy Ravnic2, chemical composition and microstructure, heat treatment, mechanical properties, creep resistance, oxidation and corrosion resistance.

Uvod

Ravnic2 je Ni-Cr-Co zlitina, ki se precipitacijsko utrjuje. Ima visoko trdnost in dobro odpornost proti lezenju do temperature 920°C, odporna je proti visokotemperaturni koroziji in oksidaciji. Zaradi teh lastnosti se uporablja za delo v toplem, za plinske turbine, vzmeti in v letalski industriji⁽¹⁾.

V Železarni Ravne je bila v specialni jeklarni v vakuumski indukcijski peči izdelana poskusna šarža zlitine. Odliti sta bili dve elektrodi, ki smo jih pretalili po EPŽ postopku. Ingote smo nadalje predelali s kovanjem do dimenzije Φ 90 mm.

Raziskali smo lastnosti superzlitine Ravnic 2: mehanske lastnosti pri sobni in pri povišani temperaturi, trajne statične lastnosti pri povišani temperaturi ter oksidacijsko in korozijsko odpornost.

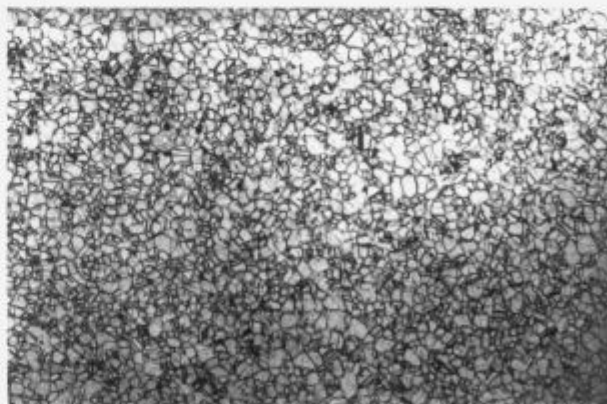
1. Kemijska sestava in mikrostruktura

Kemijska sestava zlitine Ravnic2: 19% Cr, 19% Co, 2,5% Ti, 1,5% Al, maks.1,5% Fe, ostalo Ni. Zlitina je sestavljena iz austenitne nikljeve osnove, ki je precipitacijsko utrjena. Utrjevanje povzroča faza γ' , ki se formira v matrici in delno po mejah zrn. Izloča se v obliki finih precipitativ s sferično ali kubično morfologijo. Faza γ' ima ploskovno centrirano kubično kristalno strukturo, ki je koherentna s ploskovno centrirano kubično kristalno strukturo matrice. Ti precipitati imajo majhno površinsko energijo, kar povzroča večjo stabilnost pri delu v vročem. Poleg faze γ' se po mejah zrn pojavljajo še titanovi karbonitridi in karbidi. Zaželjeno je, da ima zlitina optimalno količino in porazdelitev karbidov po mejah zrn in sicer v obliki globularnih mejnih karbidov^(1,2).

Na slikah 1a in 1b je prikazana mikrostruktura vzorcev v surovem stanju. Zrna so enakomerne poligonalne oblike, po mejah vidimo precejšnjo količino izločenih karbidov. Faze γ' z optičnim mikroskopom ne vidimo. Da dobimo po toplotni obdelavi

ustrezno velikost zrn in s tem zadovoljive mehanske lastnosti, je pomembna velikost zrn v surovem stanju. Ta ne sme biti večja od 4 po ASTM E112. V našem primeru je velikost zrn 6-8, kar ustreza tej zahtevi.

Na slikah 2a in 2b je prikazana mikrostruktura vzorcev, ki so bili raztopno žarjeni 8 ur pri 1080°C. Po žarjenju dobimo ponovno austenitno mikrostrukturo. V primerjavi z vzorci v surovem stanju so zrna v toplotno obdelanih vzorcih večja (2-4 ASTM E112), količina karbidov je manjša, izločeni so tako po mejah kakor tudi po zrnih.



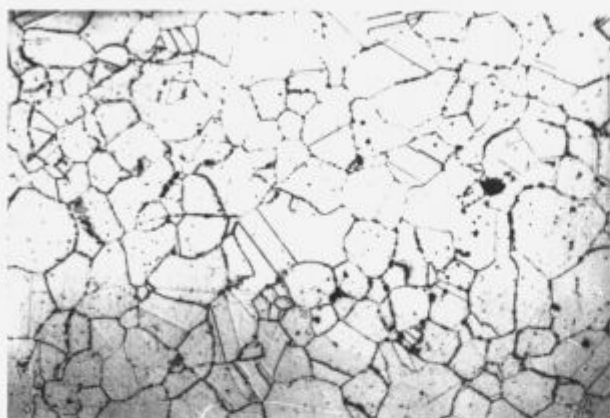
Slika 1a. Surovo stanje (100x)

Figure 1a. Initial state (100x)

2. Določitev optimalne toplotne obdelave

Iz gredice Φ 90 mm smo izrezali vzorce za toplotne, metalografske in žilavostne preiskave ter jih raztopno žarili pri temperaturah 1050 in 1080°C ter časih 4, 8 in 10 ur v komorni in

vakumski peči. Po žarjenju smo vzorce še izločevalno utrdili pri 700°C 16 ur. Ko smo primerjali med seboj mehanske lastnosti ter mikrostrukturo različno žarjenih vzorcev, nismo opazili bistvenih razlik. Tudi žarjenje v vakuumu ni vplivalo na lastnosti zlitine. Pri naših raziskavah bi bilo zadostno že štiriurno žarjenje, vendar sklepamo, da je to posledica majhnih premerov vzorcev (Ø 10 mm). Na podlagi tega smo se odločili za naslednjo toplotno obdelavo: raztopno žarjenje pri 1080°C 8 ur, ohlajanje na zraku in izločevalno utrjevanje pri 700°C 16 ur, ohlajanje na zraku.



Slika 1b. Surovo stanje (500x)
Figure 1b. Initial state (500x)



Slika 2a. 1080°C, 8h, kom. (100x)
Figure 2a. 1080°C, 8h, kom. (100x)



Slika 2b. 1080°C, 8h, kom. (500x)
Figure 2a. 1080°C, 8h, kom. (500x)

3. Mehanske lastnosti pri sobni temperaturi

Različno toplotno obdelane vzorce smo preizkusili na univerzalnem servohidravličnem stroju AMSLER, instrumentiranem Charpy kladivu PW300/150 ter izmerili trdoto po Brinelu. Rezultati vzorcev, ki so bili raztopno žarjeni pri 1080°C 8 ur, so podani v tabeli 1. V tabeli 1 imamo za primerjavo podatke po ISO DIS 9723⁽³⁾ ter The Nimonic alloys⁽¹⁾. Rezultati zlitine Ravnic2 v Železarni Ravne se zadovoljivo skladajo z rezultati drugih proizvajalcev.

	eksperiment. podatki ŽR / lit. podatki ISO DIS 9723 * - The Nimonic Alloys			SUROV
	TOPLOTNO OBDELAN VZ.			
	galen	raztop.žar.	raztop.žar. + izloč. utr.	
Trdota(HB)	219	176/269	247/322*	330
Žil(J)			146	
Rp (N/mm)			675/695	
Rm (N/mm)			1108/1080	
A (%)			35/25	
Z (%)			41	
Velik zrn ASTM E112		3-4(2)	2-3(5-6)	6-8

Tabela 1. Mehanske lastnosti pri sobni temperaturi

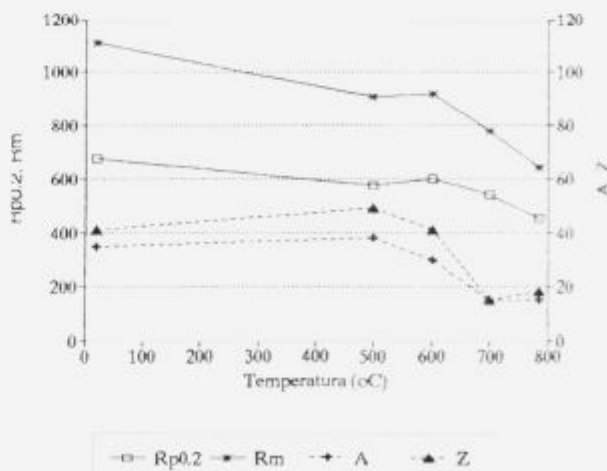
4. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi

Vzorce, ki so bili obdelani po poprej določeni toplotni obdelavi, smo preizkusili na servohidravličnem stroju tipa AMSLER. Dobljeni rezultati so podani v tabeli 2 in sliki 3. Iz diagrama vidimo, da so mehanske lastnosti Rp_{0.2} in Rm, kakor tudi raztezek in kontrakcija obstojne do približno 700°C, nato s temperaturo postopno padajo.

Temp. (°C)	Rp0.2 [N/mm ²]	Rm [N/mm ²]	A [%]	Z [%]	Rp0.2** [N/mm ²]	Rp0.2** [N/mm ²]	Rm** [N/mm ²]
20	675	1108	35	41	810	514	1109
500	574	905	38	49	750	485	948
600	601	915	30	41	720	462	907
700	542	776	15	15	690	457	807
785	453	642	15	18			
800					451	338	578
900					190	157	222
1000					30	23	113

** - Boehler
* - The Nimonic Alloys

Tabela 2. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi



Slika 3. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi
Figure 3. Mechanical properties at elevated temperatures

5. Preizkušanje trajne statične trdnosti pri povišani temperaturi

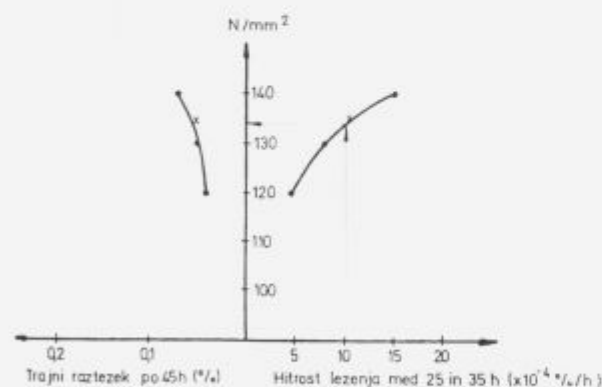
Preizkus lezenja smo izvedli na agregatu DSTM 702-AM-SLER. Cilj preizkušanja s trajnimi obremenitvami pri povišani temperaturi je, dobiti informacijo o obnašanju materiala pri danih pogojih.

V praksi se pogosto uporablja takoimenovana DVM meja lezenja: to je napetost, ki pri določeni temperaturi v časovnem intervalu med 25 in 35 uro preizkušanja izzove hitrost lezenja $10 \times 10^{-4} \% / h$ pod pogojem, da trajna deformacija po 45 urah od začetka preizkušanja ne bo večja od 0,2%⁽⁵⁾.

DVM mejo smo določili pri temperaturi 870°C in začetni napetosti 140 N/mm². Rezultati preizkusov so podani v **tabeli 3** in **sliki 4**. Na sliki vidimo, da obremenitev 140 N/mm² izzove med 25 in 35 uro lezenja hitrost $15 \times 10^{-4} \% / h$, medtem ko 0,2% trajnega raztezka po 45 urah ne dosežemo. Vendar predstavlja DVM mejo lezenja manjša vrednost teh dveh napetosti. Iz krivulje odčitamo DVM mejo pri temperaturi 870°C 134 N/mm². Ko smo dobili DVM mejo, smo raziskali še vpliv temperature na lezenje. Vzorce smo obremenili s silo 135 N/mm² pri temperaturah 500 do 1000°C. Rezultati so podani v **tabeli 4**. Iz podatkov lahko razberemo, da je hitrost lezenja pri temperaturah 500, 600, 700 in 800°C zanemarljivo majhna. Pri 900°C se hitrost lezenja skokovito poveča, saj znaša $107 \times 10^{-4} \% / h$. Trajni raztezek po razbremenitvi je 2,2%. Pri 1000°C pa hitrosti lezenja nismo mogli določiti, ker so se vzorci takoj po obremenitvi porušili.

T = 780°C	NAPETOST (N/mm ²)			
	120	130	135	140
Trajna def. po 45h (%)	0.038	0.049	0.045	0.074
Skupna def. pri 25h (%)	0.047	0.064	0.054	0.065
Skupna def. pri 35h (%)	0.051	0.072	0.065	0.081
Hitr. lezenja (graf.) $\times 10^{-4} \% / h$	4.5	6	6	15
Hitr. lezenja (rac.) $\times 10^{-4} \% / h$	4	8	9	16

Tabela 3. Vrednosti lezenja pri povišani temperaturi (pri konstantni temperaturi)



Slika 4. Določitev DVM meje lezenja

Figure 4. Determination of DVM creep limit

6. Določitev oksidacijske odpornosti

Zlitino smo raziskali pri temperaturi 700 do 1000°C. En vzorec je bil surov, eden raztopno žarjen pri 1080°C, ostali pa žarjeni pri 1080°C in izločevalno utrjeni pri 700°C. Dva od teh smo vsakih 24 ur vzeli iz peči in ju ohladili - na zraku in v vodi, dva pa smo kontinuirno žarili 50 oziroma 100 ur.

Zlitina ima dobro oksidacijsko odpornost pri vseh raziskanih temperaturah. Izredna oksidacijska obstojnost je posledica formi-

NAPETOST 135 N/mm ²	TEMPERATURA (°C)				
	500	600	700	800	900
Trajna def. po 45h (%)	0.021	0.008	0.006	0.026	
Skupna def. pri 25h (%)	0.3	0.017	0.034	0.056	0.286
Skupna def. pri 35h (%)	0.03	0.017	0.037	0.056	2.869
Hitr. lezenja (graf.) $\times 10^{-4} \% / h$	0.5	0.5	2.7	1.7	107
Hitr. lezenja (rac.) $\times 10^{-4} \% / h$	0.3	0	2.7	0.7	138

Tabela 4. Vrednosti lezenja pri povišani temperaturi (pri konstantni napetosti)

ranja kompaktne oksidne plasti na površini, ki raste s temperaturo in časom ter upočasnji hitrost oksidacije.

7. Določitev korozijske obstojnosti

Zlitino smo raziskali v 4%, 10% in koncentrirani H₂SO₄, H₃PO₄ in HCl. Naredili smo še preizkus odpornosti zlitine proti interkristalni koroziji po standardu DIN 50914. Vzorci so bili raztopno žarjeni pri 1080°C in izločevalno utrjeni pri 700°C. Rezultati so podani v **tabeli 5**.

		sobna temp.:	povišana temp.:	čas(t)
H ₂ SO ₄	4%	0	1	96
	10%	1	3	96
	konc.	1	1	96
H ₃ PO ₄	4%	0	0	96
	10%	0	0	96
	konc.	0	3	96
HCl	4%	1	2	96
	10%	1	3	96
	konc.	2	3(48h)	96

0 - popolnoma obstojen material
1 - dobro obstojen material
2 - slabo obstojen material
3 - neuporaben material

Tabela 5. Korozijska odpornost zlitine Ravnic2

Po standardu DIN 50914 je material odporen proti interkristalni koroziji.

Zaključek

V Želzarni Ravne je bila v specialni jeklarni izdelana poskusna šarža zlitine Ravnic2. Zlitino smo mehansko preizkusili, opravili metalografski pregled in raziskali oksidacijsko in korozijsko odpornost. Dobljene vrednosti smo nato primerjali z razpoložljivimi podatki drugih proizvajalcev. Ugotovili smo sledeče: Rezultati preizkušanj mehanskih lastnosti pri sobni in povišani temperaturi zlitine Ravnic2 se skladajo s podatki po standardu ISO DIS 9723, prav tako s podatki iz knjige The Nimonic Alloys. Boehlerjeve vrednosti zlitine NiCr20Co18Ti, ki odgovarja zlitini Ravnic2 pa so precej višje. Oksidacijska obstojnost zlitine je zelo dobra, saj je odporna še pri 1000°C, prav tako je odporna proti interkristalni koroziji. Korozijska obstojnost zlitine v raztopinah H₂SO₄, H₃PO₄ in HCl je pri sobni temperaturi zelo dobra, pri povišani temperaturi pa je neodporna v 10% H₂SO₄, koncentrirani H₃PO₄ in v HCl.

Literatura

- W. Betteridge, J. Heslop: The Nimonic Alloys, Edward Arnold (Publishers) Limited 1974
- H. Kaker: Mikrostruktura svojstva niklovih superslitina, Zbornik predavanja u Želzarni Ravne, Ravne 1998
- ISO DIS 9723, Nickel and nickel alloy bars, International Organization for Standardization
- Boehler: Edelstahl - Handbuch
- D. Dobi: Preizkušanje trajne statične trdnosti pri povišanih temperaturah, Informativni fužinar, 1991, 9.