

Vpliv pretaljevanja pod žlindro in kaljenja v solni kopeli na lastnosti visoko trdnega jekla Č 5432-VCNMo 200

UDK: 620.178:621.785.616.22:669.187.2
ASM/SLA: Q6, Q7, 2-64, SGBA, D8n, J26p

Franc Uranc

Postopka izotermne pretvorbe avstenitiziranega jekla v bainit ali upočasnjenega kaljenja v martenzit sta priljubljena tam, kjer želimo, da je izdelek zelo trden in obenem zelo žilav in da se mu med kaljenjem ne spreminjajo dimenzije bolj, kot je varno in gospodarno.

Ena od izpeljank prvega od teh postopkov je patentiranje. V slovenščini še nimamo imen za ta postopka. Austempering bi lahko imenovali izotermno kaljenje, pri martemperingu (upočasnjem kaljenju v martenzit) pa sicer poteka pretvorba skoraj istočasno in zato pri enaki temperaturi po vsem prerezu izdelka, toda ne pri temperaturi kopeli, temveč šele pozneje. Poskuse smo opravljali z jeklom, ki se je pokazalo primerno predvsem za kaljenje v martenzit. Opisano je, kako vplivajo čas, temperatura pretvorbe in delež bainita v strukturi na mehanske lastnosti jekla.

1. IZOTERMNO KALJENJE JEKLA

Jeklu Č 5432-VCNMo 200 smo želeli zvečati žilavost in duktilnost — delno srednje vrednosti, predvsem pa najnižje, ki so po poboljšanju pod dostupnimi. Ob trdnosti 1400 N/mm² ter meji plastičnosti nad 1300 N/mm² naj bi imelo to jeklo raztezek zaznavno nad 10 %, kontrakcijo nad 42 %, žilavost nad 35 J (preizkušane z zarezo DVM). S poboljšanjem more jeklo doseči takšne lastnosti le včasih, in še to, če je kovano na debelino manj kot 20 mm ali če je izdelano po posebnem postopku.

Zahtevano kontrakcijo in trdnost temu jeklu z lahkoto zagotovimo, težje pa je z žilavostjo in raztežkom. Podobno je z obstojnostjo jekla proti utrujanju.

Odločili smo se izboljšati jeklo z izotermnim kaljenjem, saj s tem lahko izboljšamo celo obstojnost proti utrujanju (1). V grobem delimo izotermno kaljenje na tisto v bainitnem in tisto v mar-

tenzitem temperaturnem območju, pri čemer temperaturo kaljenja izberemo po izotermnem TTT diagramu.

1.1 Izotermno kaljenje v bainit

Izotermno kaljenje v bainitnem temperaturnem območju se imenuje v tuji literaturi austempering, ki je po definiciji izotermna strukturna pretvorba železnih zlitin pod temperaturo tvorbe perlitna in nad temperaturo tvorbe martenzita.

To toplotno obdelavo uporabljamo, če je naš namen povečati zlitini predvsem žilavost in duktilnost, obenem pa doseči veliko trdoto izdelka.

V bainit moremo izotermno kaliti le določena jekla:

- z vsebnostjo ogljika pod 0,5 % in mangana nad 1 %,
- z vsebnostjo ogljika med 0,5 in 1 % ter mangana nad 0,6 %,
- z vsebnostjo ogljika nad 1 % in mangana pod 0,6 %,
- z več kot 0,3 % ogljika, legirana s kromom in manganom.

Od orodnih jekel so primerna za takšno kaljenje jekla za delo v hladnem, ledeburitnega tipa (2 % C, 12 % Cr) in jekla za delo v vročem s 5 % Cr in dodatkov molibdena in vanadija (2).

Jeklo je možno z uspehom izotermno kaliti v bainit, če je nos perlitne krivulje vsaj za dve sekundi odmaknjen od začetka ohlajanja. Omejitve uporabnosti tega postopka je prerez izdelkov, saj npr. ne moremo dobro kaliti predmetov iz jekla Č 1940-OC 80, debelejših od 5 mm, če želimo čisti bainit. Izdelki iz krommanganovih jekel so lahko debeli 25 mm.

Pomembnejše od doseganja 100 % bainitne strukture je doseganje dobrih mehanskih lastnosti, zato so v industriji zadovoljni tudi s 75 % bainita v ustrezno izotermno kaljeni strukturi. Različna jekla se dajo namreč do različne stopnje pretvoriti v bainit. Če doseže izdelek za bainit nadnormalno trdoto, je to znak, da se je poleg bainita tvoril tudi martenzit; če pa je izdelek premehak, je to znak tvorbe perlitna pred tvorbo bainita.

Franc Uranc je diplomirani inženir metalurgije in raziskovalec na področju mehanskih raziskav v železarni Ravne.

Kaljenje na bainit je zelo priporočljivo, kadar želimo posebno majhne dimenzijske spremembe med kaljenjem. Kalimo v solni kopeli nekoliko nad temperaturo martenzitne tvorbe. Na tej temperaturi zadržujemo orodje toliko časa, da se avstenit ves pretvori v bainit, katerega trdota je odvisna od temperature tvorbe: višja temperatura pomeni nižjo trdoto.

Če bi hoteli doseči čisti bainit v visokolegiranih jeklih, bi potrebovali preveč časa, obdelava bi bila negospodarna.

Ta vrsta kaljenja je posebno ugodna zato, ker zveča malo legiranim jeklom žilavost, ne da bi jim zmanjšala trdoto pod tisto, ki jo dosegajo po navadnem kaljenju in popuščanju na 300 °C, to je temperaturo popuščne krhkosti.

Podobno obdelujemo vsa nelegirana jekla, ki naj bi imela trdoto 30 — 42 HRC. Majhne kose pred kaljenjem izotermno žarimo. Izdelke, ki so predebeli za navadno izotermno kaljenje, obdelamo po posebnem modificiranem postopku. Paziti moramo, da je masa kosov v določenih mejah, kajti ob večji masi, kot je dopustna, se sredina ne ohladi zadosti hitro, kopel se ogreje nad dovoljeno temperaturo in pojavi se mešana struktura, ki jo spremlja spreminjajoča se trdota.

Modificirani postopki so omejeni s številnimi dejavniki in je zato nujnih nekaj poskusov in napak, preden pridemo do najboljšega kalilnega cikla.

Velike izdelke pogosto kalimo tako, da jih najprej ohladimo v kopeli s temperaturo tik nad M_s točko in jih prestavimo v kopel s primerno temperaturo za kaljenje v bainit šele po izenačenju temperature po prerezu (3).

1.2 Izotermno kaljenje v martenzit

Če kalimo z avstenitizacijske temperature v kopeli, ki je ogreta na temperaturo gornjega dela martenzitnega področja (izotermnega TTT diagrama) ali pa malo višje, in če pustimo izdelek v kalilnem sredstvu toliko časa, da se temperatura izravna po prerezu, in če nato ohladimo izdelek na zraku — imamo opraviti z izotermnim kaljenjem v martenzitnem območju, po angleško: z martemperingom.

Martenzit se tvori lepo enakomerno med ohlajanjem na sobno temperaturo. Prednost tega počasnega ohlajanja v martenzitnem območju temperatur je ta, da se tvori martenzit skoraj istočasno po vsem prerezu, oz. po majhnih ali velikih prerezih.

Kaljenje na martenzit torej zmanjša ali izloči deformacije, pusti v izdelku manj napetosti kot navadno kaljenje v hladnem hladilnem sredstvu, ker nastopajo največje toplotne spremembe tedaj, ko je jeklo še v razmeroma plastičnem avstenitnem območju in ker nastopajo pretvorbe po celem prerezu skoraj istočasno.

Kadar imamo opravka z manj kaljivimi jekli, katera zahtevajo veliko ohlajevalno hitrost, da se prekalijo zadosti globoko, pogosto uporabljamo modificirano kaljenje na martenzit. Temperatura hladilne kopeli je v tem primeru nižja kot pri navadnem kaljenju na martenzit ter je lahko 100 °C ali pa tik do M_s točke. Prednost modificirane postopka pred navadnim je cenenost hladilnih priprav, saj lahko kalimo kar v olju.

Enakomerne in ponovljive lastnosti dosežejo izdelki z obema načinoma kaljenja na martenzit, vendar se občutljivi kosi bolj deformirajo pri modificiranem načinu, zaradi česar so potrebni večji brusni dodatki.

Kaljenje na martenzit imenujejo tudi martenzitno kaljenje, kar določeneje pove, da je treba po tovrstni obdelavi tudi še popuščati.

Načelno so primerna za ta postopek vsa jekla, katera lahko kalimo v olju, pa tudi nelegirana, če gre za tenke izdelke in če močno mešamo kalilno sredstvo. Tudi visokolegirana jekla (npr. Č 4171-Prokron 2) včasih tako obdelujejo.

Globina, do katere se tvori martenzit s tem procesom, je tretjina (pri nelegiranih) do dve tretjini (pri krom-nikljevih jeklih) od tiste globine, dosežene s kaljenjem v vodi (3).

Postopek ima tudi vsaj dve hibi. Čeprav naj bi bila ustvarjena struktura enaka kot po navadnem kaljenju, je vendar delež avstenita veliko večji. To je posebno izrazito v srednje legiranih jeklih. Če pa pustimo izdelek predolgo v kalilni kopeli, se tvori bainit, kar zmanjša trdoto! (4).

Kljub temu, da ni neposrednega povoda, se tudi z martemperingom občutno boljše žilavost orodnih in konstrukcijskih jekel, kar postavlja ta postopek po pomembnosti ob postopek izotermnega kaljenja v bainit.

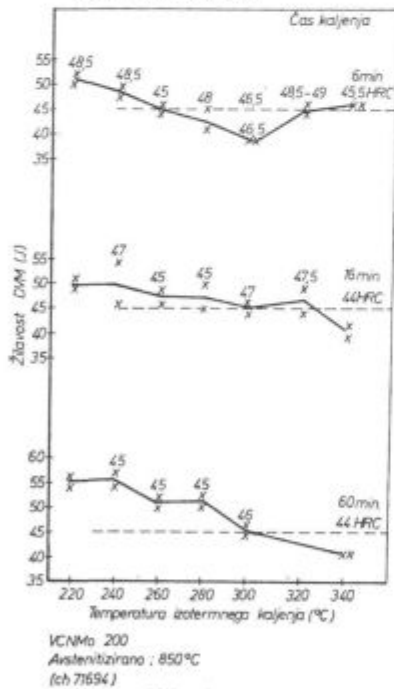
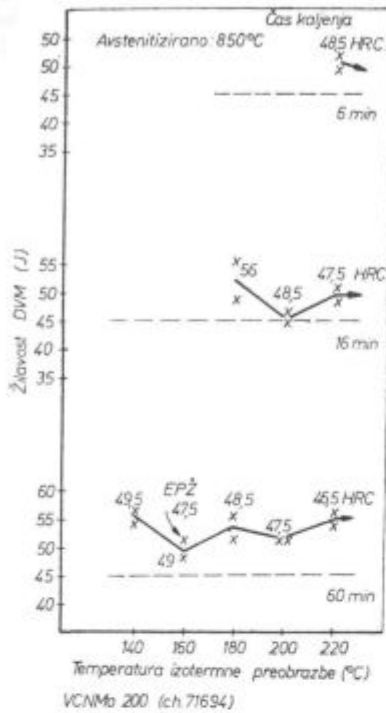
2. TRDNOSTNE LASTNOSTI, ŽILAVOST IN STRUKTURA JEKLA PO IZOTERMNEM KALJENJU

Poskuse izotermnega kaljenja za vpeljavo le-tega v industrijsko delo smo opravili z dvema talinama, ki sta bili različno izdelani. Tabela 1 kaže kemično sestavo obeh talin.

Tabela 1: Kemična sestava preizkušenih talin jekla Č 5432-VCNMo 200

Talina	C	S	Si	Cr	Ni	V	Cu	Mn	Mo	P
A	0,31	0,021	0,30	2,29	1,96	0,01	0,25	0,60	0,43	0,015
B	0,30	0,006	0,26	2,01	2,10	0,02	0,20	0,52	0,50	0,019

Jeklo obeh talin je bilo prekovano na kvadrat 14 mm, žarjeno in po izdelavi preizkušancev toplotno obdelano za ugotavljanje vpliva temperature ohlajevalne kopeli na trdoto in žilavost jekla.

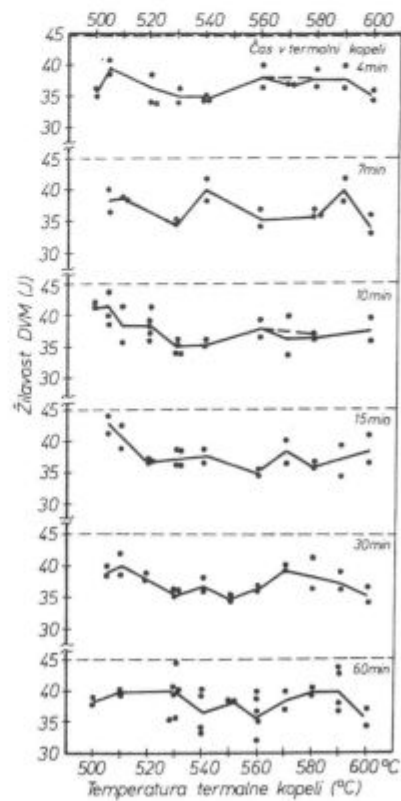
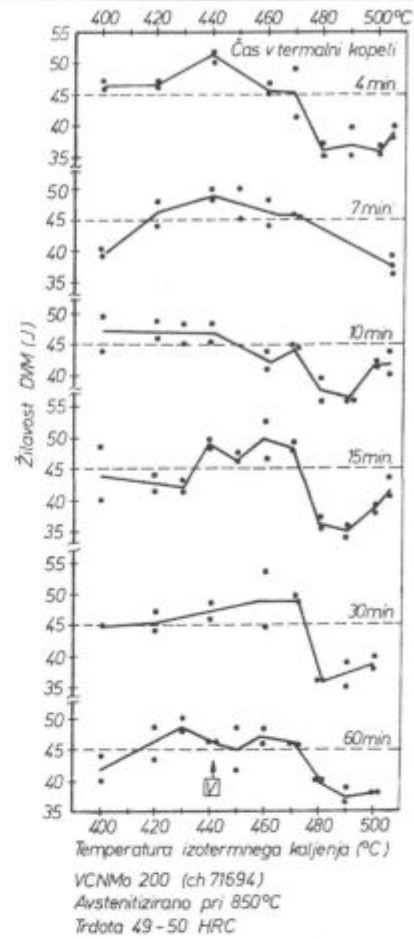


Slike 1a — d

Žilavost in trdota jekla Č 5432 VCNM0 200 po različno dolgem kaljenju z avstenitizacijske temperature 850 °C v kopeli z različno temperaturo. Ohlajanje pod temperaturo kopeli je na zraku.

Figs. 1a to d

Toughness and hardness of Č 5432-VCNM0 200 steel after various austempering/martempering times from the austenitization temperature 850 °C in the bath with various temperatures. Cooling below the bath temperature is in air



Obsežnejše preiskave trdote in žilavosti smo opravili s preizkušanci taline A, to je klasično izdelane taline, zato obravnavamo rezultate teh preizkav posebej.

Slike 1a—1d prikazujejo rezultate preizkusov jekla taline A. Vsaka točka pomeni srednjo vrednost dveh meritev. Številke nad krivuljami pomenijo trdoto posameznih preizkušancev. Črtkana vodoravna črta ob vsaki krivulji je zelena raven žilavosti (45 J, preizkušanci z zarezo DVM). Dopustna je le žilavost nad 35 J. Žilavostni preizkušanci so bili avstenitizirani 30 minut pri 850 °C in nato kaljeni v staljeni soli AS 135.

Po kaljenju v kopeli s temperaturo 220 °C so bili preizkušanci, glede na doseženo trdoto 46,5 HRC (po enournem držanju v kopeli) zelo žilavi (okoli 50 J). Če je bila temperatura kopeli 180 °C, so dobili preizkušanci trdoto 56 HRC.

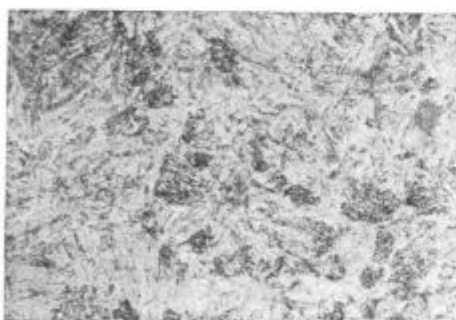
Če vzamemo kot še gospodaren čas držanja na temperaturi pretvorbe eno uro, vidimo, da je primerna temperatura izotermne pretvorbe (oz. začetka tvorbe martenzita ali bainita) do 300 °C ali med 420 in 470 °C.

Po kaljenju v vseh kopelih (temperatura od 160 do 600 °C) so bili preizkušanci zadosti trdi. Najmehkejši so bili preizkušanci, kaljeni v kopeli s temperaturo 340 °C.

To talino smo tudi metalografsko pregledali.

Dilatometrijske preizkušance smo avstenitizirali 15 minut pri 850 °C. $M_s = 400$ °C, $M_f = 160$ °C.

Pri preizkusih v dilatometru je nastopila bainitna pretvorba, že ko smo z avstenitizacijske temperature 850 °C ohlajali na 350 °C, ne pa pri ohlajanju na temperaturo 280 °C. Znižanje M_s točke je posledica dejansko kontinuirnega ohlajanja preizkušanca.



Slika 2

Mikrostruktura žilavostne probe avstenitizirane pri 850 °C in nato ohlajane pri 400 °C eno uro in nadalje na zraku. Vsebnost 40 % bainita, 60 % martenzita. Trdota 50 HRC, žilavost 50 J (DVM). (500 ×)

Fig. 2

Microstructure of toughness probe austenitized at 850 °C and consequently cooled at 400 °C one hour, and after it in air. Content 40 % bainite, 60 % martensite. Hardness 50 HRC, toughness 50 J (DVM) 500 ×

Različni časi držanja dilatometrijskih preizkušancev pri različnih temperaturah so dali take količine bainita v strukturi:

1. Ohlajanje z 850 °C na 400 °C je povzročilo nastanek bainita že po 100 sekundah in 16-urno držanje pri tej temperaturi je dalo 70 % bainita v strukturi.

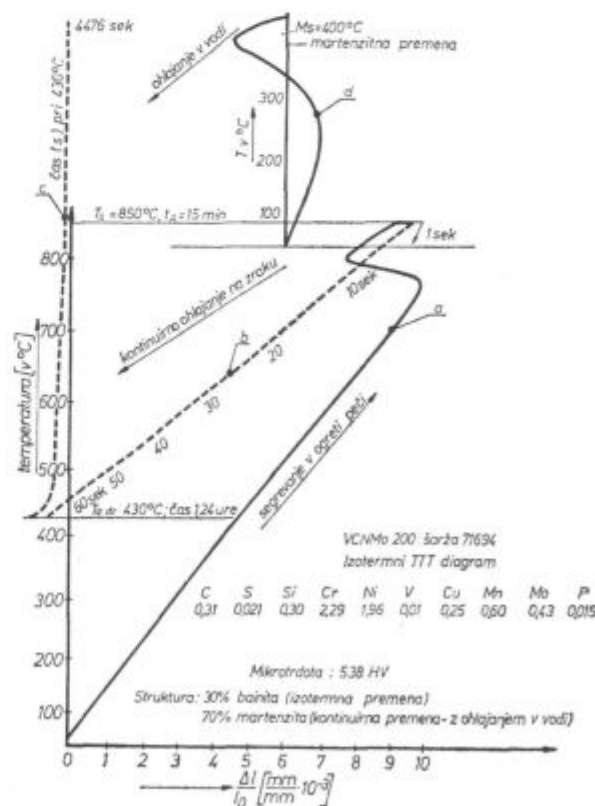
Mikrotrdota je 449 HV.

Slika 2 kaže videz strukture žilavostnega preizkušanca, ki ga zadržujemo 60 minut pri 400 °C. Struktura je 40 % bainit, 60 % martenzit. Žilavost je 50 J (DVM), trdota 50 HRC.

2. Ohlajanje avstenitiziranega preizkušanca na temperaturo 430 °C je sprožilo tvorbo bainita že po 130 sekundah. Po 1,24 ure je bilo v strukturi že 30 % bainita. Vidimo, da se pri tej temperaturi začena pretvorba v bainit nekoliko pozneje kot pri 400 °C, toda teče hitreje (difuzija) in se je zato v veliko krajšem času ustvarilo skoraj toliko bainita kot po 16 urah pri 400 °C.

Mikrotrdota je znašala 538 HV.

Slika 3 kaže potek snemanja temperaturnega cikla. Krivulja a ponazarja segrevanje preizkušanca v ogreti peči do avstenitizacijske temperature. Krivulja b ilustrira ohlajanje preizkušanca do temperature izotermnega držanja. Krivulja c kaže izotermno pretvorbo strukture v bainit. Krivulja



Slika 3

Temperaturni cikel izotermnega kaljenja v dilatometru

Fig. 3

Temperature cycle of isothermal quenching obtained by the dilatometer

d pa kaže nadaljnje kontinuirno ohlajanje preizkušanca v vodi, ko se ostanek avstenita pretvori v martenzit.

Kot za to temperaturo izotermne pretvorbe so bili posneti diagrami še za šest temperatur med 250 in 500 °C.

3. Z ohlajanjem avstenitiziranega dilatometriškega preizkušanca na 500 °C se je začel tvoriti bainit po 295 sekundah, toda po 2,7 urah je vsebovala struktura le 2 % bainita.

Mikrotrdota je 510 HV.

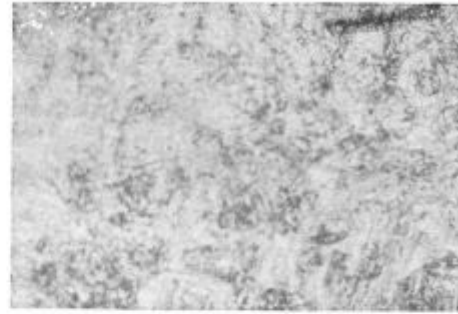
Žilavostni preizkušanci so pokazali take strukture:

1. Sliki 4 in 5 kažeta videz strukture, nastale z izotermnim 20 ali 60-minutnim držanjem žilavostnega preizkušanca pri 180 °C. Preizkušavec je bil seveda prej avstenitiziran.

Podoben videz imajo strukture, nastale s hlajenjem avstenitiziranih preizkušancev pri 220 ali 240 °C.

2. Nekoliko drugačna je videti struktura, kaljena v kopeli pri 260 ali 280 °C (sl. 6 in sl. 7). Žilavost in trdota pa sta kar obe manjši (za 3,5 enot

HRC oz. za 5 J), kot po kaljenju v kopeli s temperaturo 180 °C, dasiravno se je pojavilo že okoli 10 % bainita v strukturi.



Slika 6

Mikrostruktura žilavostne probe, kaljene 60 minut v kopeli pri 260 °C in nadalje na zraku. 10 % bainita, 45 HRC, 50 J (500 ×)

Fig. 6

Microstructure of toughness probe, austempered 60 minutes in the bath at 260 °C, and consequently in air. 10 % bainite, 45 HRC, 50 J, 500 ×

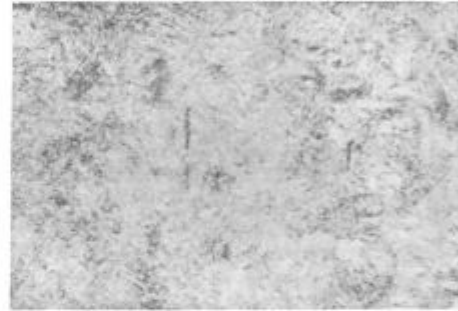


Slika 4

Mikrostruktura žilavostne probe, kaljene 20 minut v kopeli pri 180 °C in nato na zraku. 50 HRC, 50 J. (500 ×)

Fig. 4

Microstructure of toughness probe, martempered 20 minutes in the bath at 180 °C, and consequently in air. 50 HRC, 50 J, 500 ×

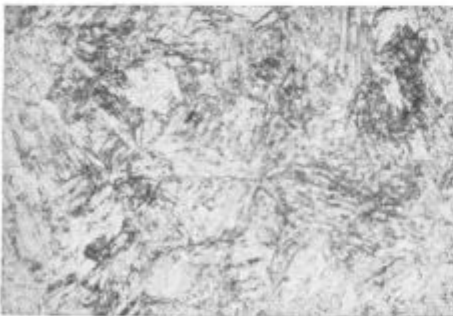


Slika 7

Mikrostruktura žilavostne probe, kaljene 60 minut v kopeli pri 280 °C, nadalje na zraku. 10 % bainita, 45 HRC, 51 J (500 ×)

Fig. 7

Microstructure of toughness probe, austempered 60 minutes in the bath at 280 °C, and consequently in air. 10 % bainite, 45 HRC, 51 J, 500 ×

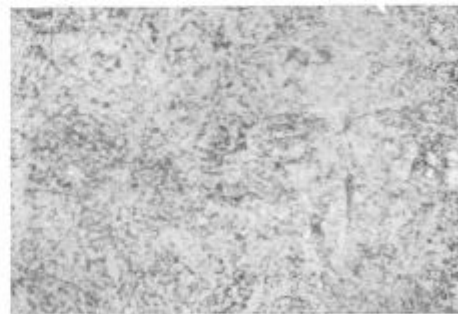


Slika 5

Mikrostruktura žilavostne probe, kaljene 60 minut v kopeli pri 180 °C in nato na zraku. 48,5 HRC, 56 J (500 ×)

Fig. 5

Microstructure of toughness probe, martempered 60 minutes in the bath at 180 °C, and consequently in air. 48.5 HRC, 56 J, 500 ×

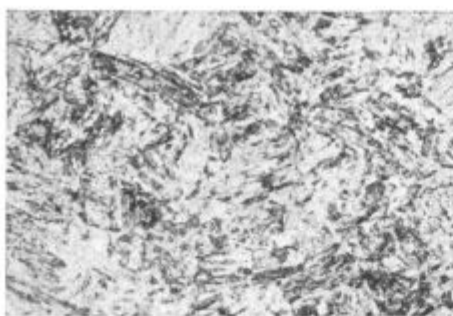


Slika 8

Mikrostruktura žilavostne probe, kaljene 60 minut v kopeli pri 340 °C in nadalje na zraku. 40 % bainita, 45 HRC, 40 J (500 ×)

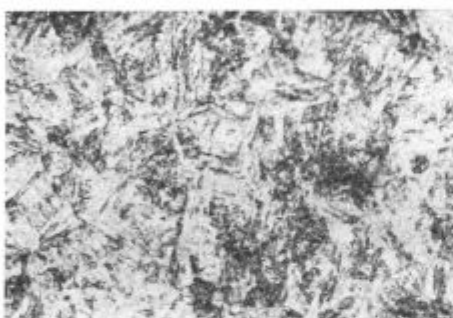
Fig. 8

Microstructure of toughness probe, austempered 60 minutes in the bath at 340 °C, and consequently in air. 40 % bainite, 45 HRC, 40 J, 500 ×



Slika 9
Mikrostruktura žilavostne probe, kaljene 60 minut v kopeli pri 460 °C nato na zraku. Ni bainita. 49 HRC, 47 J (500 ×)

Fig. 9
Microstructure of toughness probe, austempered 15 min. in the bath at 460 °C, and consequently in air. No bainite, 49 HRC, 47 J, 500 ×



Slika 10
Mikrostruktura žilavostne probe, kaljene 60 minut v kopeli pri 580 °C, nadalje na zraku. Ni bainita. 50 HRC, 30 J (500 ×)

Fig. 10
Microstructure of toughness probe, austempered 60 minutes in the bath at 580 °C, and consequently in air. No bainite, 50 HRC, 30 J, 500 ×

3. Še drobnejšo, manj urejeno martenzitno-bainitno strukturo kaže preizkušavec, kaljen pri 340 °C (sl. 8), z žilavostjo 40 J in trdoto 45 HRC. Slika 9 kaže stanje strukture po 15-minutnem kaljenju pri 460 °C.

4. Slika 10 kaže, da pri 580 °C ne nastopi po 60 minutah še nič bainita. Žilavost preizkušancev, ki so bili po avstenitizaciji tako ohlajeni (nadalje na zraku), je bila 30 J, trdota 50 HRC.

3. VPLIV NAČINA IZDELAVE IN VRSTE TOPLLOTNE OBDELAVE TALIN NA LASTNOSTI JEKLA

Kot kažejo žilavosti in trdote izotermno kaljenih preizkušancev jekla Č 5432-VCNMo 200, sta ugodni temperaturni območji izotermnega držanja pod 300 °C ali med 400 in 470 °C.

Za osnovo primerjave vpliva toplotnih obdelav smo izdelali iz taline A nekaj preizkušancev, katere smo po avstenitizaciji izotermno držali eno uro v kopeli s temperaturo 180 °C. Rezultate preizkusov teh vzorcev kaže tabela 2.

Tabela 2: Mehanske lastnosti jekla Č 5432-VCNMo 200 po kaljenju v kopeli pri 180 °C

Re	Rm	A	Z	σ_{tr}	$\left(\frac{\sigma_{tr}}{Rm}\right)$
N/mm ²	N/mm ²	%	%	N/mm ²	
1600	1770	12,4	48,0	727;692	0,40

Vsak podatek v tabeli je srednja vrednost dveh izmerjenih rezultatov. Za to visoko trdnost sta duktilnost in trajna nihanja trdnost odlični.

Trajno nihajno trdnost smo izračunali iz zlomne napetosti (5). Žilavost je znašala 56 J.

Nekaj preizkušancev taline A in taline B smo izotermno kalili pri 470 °C in nekaj smo jih popeljali (850 °C/olje + popušcanje pri 480 °C), tako da smo jih popustili na temperaturo, podobno tisti pri kopeli za izotermno ohlajanje. Kot najugodnejši čas držanja (Ø 8 mm) v hladilni kopeli smo izbrali 9 minut. Označimo izotermno kaljenje z I in popoljšanje z II! Rezultati so v tabeli 3.

Izotermno kaljenje daje veliko enakomernejše lastnosti kot popoljšanje, po katerem je nekaj lastnosti pod zelenimi, npr. talina A nima zadostne trdnosti in meje plastičnosti, talina B pa kontrakcije.

Na trajno nihajno trdnost delujeta obe vrsti toplotne obdelave podobno, ne pa na trdnost, ki se jeklu taline B (pretaljene po EPŽ postopku) s popoljšanjem nenavadno lepo dvigne, talina A pa je precej mehkejša, kot bi pričakovali po rezultatu preizkusa trajne nihajne trdnosti.

Tabela 3: Mehanske lastnosti jekla Č 5432-VCNMo 200 po kaljenju v vroči (470 °C) solni kopeli (I) ali po popoljšanju (II)

Obdelava	Talina	Re	Rm	A	Z	Trdota	Žilavost (DVM)	σ_{tr}	$\left(\frac{\sigma_{tr}}{Rm}\right)$
		N/mm ²	N/mm ²	%	%				
I	A	1490	1570	13,2	47	—	48	575	0,37
	B	1500	1540	11,0	46	400	42—57	615	0,40
II	A	1225	1330	12,5	52	—	35	555	0,417
	B	1545	1773	11,7	36	440	37	616	0,35

Razmerje trajne natezno-tlačne trdnosti proti natezni trdnosti kaže, da je izotermno tvorjena struktura obstojnejša od poboljšane. To še posebno velja, če je dosežena struktura homogena, sam martenzit. Pri tem jeklu nastane taka struktura pri nizki temperaturi izotermne pretvorbe (180 °C). Razmerje 0,4 pri trdnosti 1770 N/mm² po izotermnem kaljenju pomeni veliko proti skoraj enakemu razmerju pri poboljšanem jeklu s trdnostjo 1330 N/mm². Jeklo taline B (EPŽ pretaljene) je bilo po poboljšanju veliko trdnije od jekla taline A, toda kontrakcija je bila pod dopustno.

4. SKLEPI

1. Struktura dilatometriških preizkušancev je delno bainitna že po ohlajanju avstenitiziranega preizkušanca v kopeli pri 350 °C. Po dolgem času držanja avstenitiziranega preizkušanca v kopeli pri 400 °C nastane 70 % bainita, skoraj preneha pa tvorba pri temperaturi 500 °C. Žilavostni preizkušanci so delno bainitni že po kaljenju v kopeli s temperaturo 260 °C. Če je kalilna kopel pri 340 do 400 °C, dosežejo v eni uri 40 % bainita. Pri višjih temperaturah se ne tvorijo znatne količine bainita.

2. Žilavost lahko temu jeklu najbolj povečamo, če ga kalimo po avstenitizaciji v kopeli s temperaturo med 150 in 300 °C. Tako dosega to jeklo Č 5432-VCNMo 200 žilavost do 56 J. Držanje v hladilni kopeli s temperaturo pod 300 °C naj traja vsaj eno uro. Če je temperatura kopeli nad 250 °C, se pojavi v strukturi do 10 % bainita (do 300 °C v eni uri).

Drugo območje primerne temperature kalilne kopeli je okoli M_s točke vse do temperature 470 °C, pri čemer naj bo čas zadrževanja v kopeli

le okoli 10 minut. Preizkušanci dosežejo žilavost okoli 48 do 50 J (DVM zarez) ter trdoto 49 HRC, kar je podobno, kot po kaljenju v kopeli z nižjo temperaturo (pod 180 °C). S popuščanjem se žilavost ne spremeni veliko.

3. Trajno nihajno trdnost moremo temu jeklu močno dvigniti le s kaljenjem v kopeli pri nizki temperaturi (180 °C). Razmerje trajne trdnosti k natezni trdnosti pa je enako (0,40) kot po postopku izotermnega zadrževanja pri 470 °C.

Preizkušanci, poboljšani na enako trdnost, kot jo ima jeklo po kaljenju v kopeli pri 180 °C (in nadalje na zraku), vzdržijo za 15 % manjše napestne amplitude pri utrujanju.

4. Postopek izdelave jekla odločilno vpliva na obstojnost proti utrujanju. Če so preizkušanci obeh talin kaljeni (zadrževani) pri 470 °C, je trajna nihajna trdnost jekla, izdelanega po EPŽ postopku, za 7 % večja kot pri enako trdnem jeklu, izdelanem po klasičnem talilnem postopku. S poboljšanjem pa se pojavijo med obema talinama dodatno še zelo velike razlike trdnosti, kar povzdiguje vrednost jekla, izdelanega po EPŽ postopku.

Literatura

1. Clayton V. V., R. Taylor: Metallurgical Factors Influencing the Fatigue Properties of High-Strength Steels. British and Iron Steel Association. ID 75/6, Železarna Ravne.
2. K-E Thelning: Steel and its Heat Treatment, Butterworths, London 1975, str. 217–219.
3. Metals Handbook Vol. 2, Ed. 8, str. 36–39.
4. K-E Thelning: Steel and its Heat Treatment, Butterworths, London 1975, str. 214–217.
5. Enomoto N.: A method for determining the fatigue limit of metals by means of stepwise load increase test. Proc. ASTM, 1959, vol. 59, str. 711–720.

ZUSAMMENFASSUNG

Dem hochfesten Konstruktionsstahl Č 5432-VCNMo 200 kann die Zähigkeit durch das Härten im Salzbad bei 160 bis 300 °C erheblich verbessert werden (von 37 auf 56 J oder 48 J) oder so, dass es beim Härten von der Austenitisierungstemperatur bei 400—470 °C um 10 bis 30 Minuten angehalten wird.

Das ESU Verfahren verbessert dem Stahl die Wechselfestigkeit um 10 % wenn der Stahl vergütet wird, oder um 7 % wenn der Stahl warmbadgehärtet wird.

Die Art der Stahlherstellung ändert den Einfluss der Wärmebehandlungsart auf die Ermüdungsbeständigkeit nicht.

SUMMARY

The toughness of VCNMo 200 — Č 5432 high-strength structural steel can be essentially improved (from 37 J to 56 J or 48 J) by hardening in the salt bath at 160 to 300 °C, or if it is kept for 10 to 30 minutes at 400 to 470 °C when quenched from the austenitizing temperature. ESR process

improves the fatigue limit for 10 % (if steel is hardened and tempered) or for 7 % (if it is martempered). The manufacturing process of steel does not change the influence of the heat-treatment process on the fatigue resistance.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструкционной стали высокой твердости марки С. 5432 — VCNMo 200 можно значительно улучшить вязкость (с 37 на 56 ед. по Ж), если эту сталь подвергнем закалке в соляной ванне при 160—300 °C, или же с закалкой при аустенитной температуре задержим при темп-ре 400—470 °C в течении 9—30 минут. Способ

ЭСП улучшает этой стали усталостную прочность на 10 % (если сталь была улучшена), или на 7 % (если выпалена изотермическая закалка).

Способ изготовления стали не изменяет влияние вида термической обработки на стойкость против старения.