

Vpliv izhodnega strukturnega in trdnostnega stanja ventilskih jekel na mehanske lastnosti pri povišanih temperaturah

Ivan Kos*

UDK: 669.14.018.853.4:620.17:620.179.13
ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1—66, 3—70

Ventilska jekla uporabljamo za izdelavo ventilov motorjev z notranjim izgorevanjem. Ločimo sesalne in izpušne, ki se razlikujejo po svoji kemični sestavi, strukturi in lastnostih. V članku obravnavamo primerjavo mehanskih lastnosti dveh različnih tipov ventilskih jekel, ki smo ju preizkušali pri povišanih temperaturah v različnih izhodnih stanjih.

1. UVOD

Ventilska jekla smo na splošno že predstavili v Železarskem zborniku 19, 1985, 4. S tem člankom pa bomo podrobneje obdelali področje »mehanske lastnosti pri povišanih temperaturah«. Zanima nas vpliv izhodnega strukturnega stanja na potek plastomehanskih lastnosti v temperaturnem območju, kjer ventili za motorje z notranjim izgorevanjem delujejo.

Predstavljamo dva tipa ventilskih jekel:

a) martenzitni tip Č4581,

b) avstenitni tip s karbonitridi Č4870.

Martenzitni tipi ventilskih jekel se utrjujejo s poboljšanjem. Zaradi tega pomenijo delovne temperature preko 500° C območje popustnih efektov. Jeklom se drastično spremenijo trdnostne lastnosti. Jeklu Č4581 pade natezna trdnost pod 100 N/mm² v temperaturnem območju med 700 in 800° C.

V nasprotju s to vrsto ventilskih jekel so avstenitna. Ta jekla se izločevalno utrjujejo. Izločeni karbonitridi blokirajo ravnine drsenja, kar pomeni višjo natezno trdnost. Zaradi tega pojava je ta vrsta ventilskih jekel uporabna za izpušne ventile, ki obratujejo v temperaturnem območju okrog 800° C.

Pri izbiri materiala ventilov za motorje z notranjim izgorevanjem moramo biti pozorni. Vedeti moramo, kako so dani ventili v motorju toplotno obremenjeni, kajti na tej osnovi izbiramo jeklo za posamezno vrsto ventilov.

2. NAMEN POSKUSOV

Za raziskavo ventilskih jekel pri povišanih temperaturah smo uporabljali raztržni poskus. Osnovni namen poskusov je bil izmeriti mehanske lastnosti, ugotoviti razlike glede na vrsto izhodnega stanja ter izdelati diagramski prikaz odvisnosti plastomehanskih lastnosti od temperature.

2.1 Vrsta jekla ter izhodno stanje

2.1.1 V uvodu smo omenili, s katerima jekloma smo opravljali poskuse. V tabeli 1 navajamo njuni okvirni kemični sestavi.

2.1.2 Za poskuse smo dobili jeklo v vlečenem stanju. Naknadno smo ga toplotno obdelali, tako da smo imeli za obe vrsti jekla tri izhodna stanja.

V tabeli 2 prikazujemo stanje jekla z mehanskimi lastnostmi, ki smo jih dosegli z ustrezno toplotno obdelavo. Vrsto oziroma postopek za toplotno obdelavo smo izbrali standardno. Le pri jeklu Č4581 smo za poboljšanje s poskusi izbrali pravilno temperaturo kaljenja, za katero vemo, da je odvisna od konkretne kemične sestave.

Zaradi boljše predstave o razliki mehanskih lastnosti glede na različna izhodna stanja smo naredili tudi diagramski prikaz. Na sliki 1 sta prikazani obe preiskovani jekli.

Tabela 1: Kemična sestava jekel

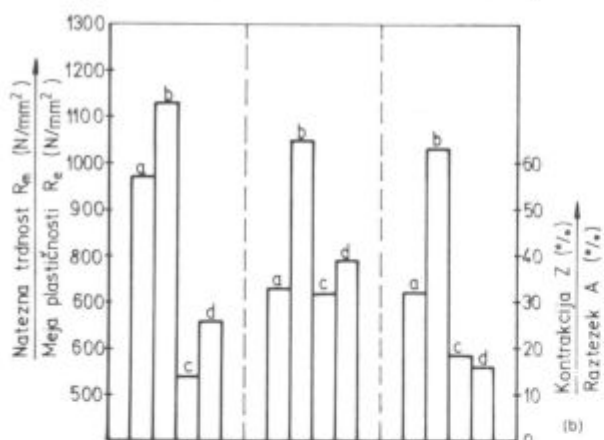
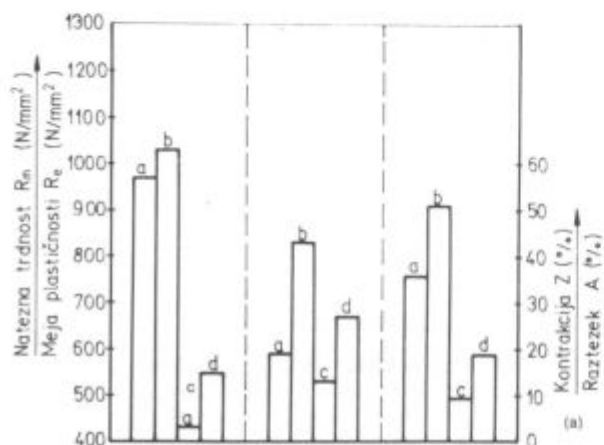
Oznaka JUS	% C	% S	% Si	% Cr	% Ni	% Mn	% P	% V	% Mo	% Nb	% N ₂
Č4581	0,75	max	1,75	19,0	1,20	max	max				
	0,85	0,030	2,25	21,0	1,70	1,0	0,040				
Č4870	0,48	max	max	20,0	3,25	8,0	max	0,75	0,75	0,75	0,38
	0,58	0,035	0,25	22,0	4,25	10,0	0,040	1,25	1,25	1,25	0,50

* Ivan Kos, dipl. inž. met., Železarna Ravne

Tabela 2: Izhodno stanje jekla ter pripadajoče mehanske lastnosti

Jeklo JUS	Izhodno stanje	Mehanske lastnosti			
		Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A (%)	Z (%)
Č 4581	vlečeno	970	1030	3,5	15,0
Č 4581	* rekristalizacijsko žarjeno	590	830	13,0	27,0
Č 4581	** poboljšano	760	910	9,5	19,0
Č 4870	vlečeno	974	1130	14,0	26,0
Č 4870	*** rekristalizacijsko žarjeno	730	1050	32,0	39,0
Č 4870	**** starano	730	1030	18,5	16,0

Opomba: * rekristalizacijsko žarjeno pri 750^o C/zrak
 ** poboljšano — kaljeno pri 1050^o C/olje ter popuščano pri 720^o/zrak
 *** rekristalizacijsko žarjeno pri temperaturi 1100^o C/voda
 **** starano — rekristalizacijsko žarjeno pri 1100^o C/voda ter starano pri 760^o C/8^h/zrak.



Legenda: a — meja plastičnosti b — natezna trdnost
 c — raztezek d — kontrakcija

Slika 1:

Izhodno stanje ter pripadajoče mehanske lastnosti za jekli Č 4581 (a) in Č 4870 (b).

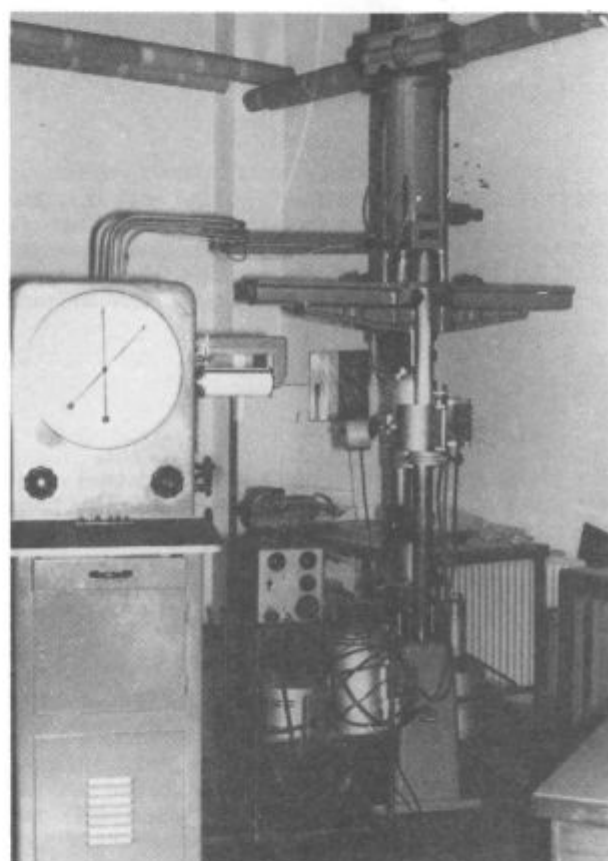
Fig. 1:

Initial state and corresponding mechanical properties for steel Č 4581 (a), and Č 4870 (b)

3. OPIS POSKUSOV

3.1 Trgalne poskuse pri povišanih temperaturah smo delali v mehanskem laboratoriju ŽR.

Pri poskusu smo uporabljali naslednje naprave: (slika 2)



Slika 2:

AMSLER trgalni stroj 200 kN s pripadajočimi aparaturami za preizkušanje jekel pri povišanih temperaturah.

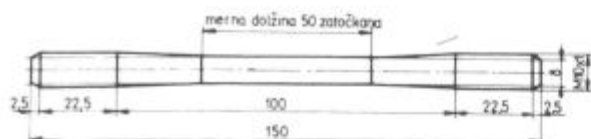
Fig. 2:

Amsler tensile machine of 200 kN with belonging set-ups for testing steel at elevated temperatures

1. Univerzalni trgalni stroj, tipa AMSLER 200 kN.
2. Električna peč za preizkušanje v vročem, moči 5 kW.
3. Amslerjev stikalni aparat.
4. Temperaturni regulator AMSLER.
5. Instrument za odčitavanje temperature.

3.2 Potek poskusa

Za preizkušanje in merjenje mehanskih lastnosti ventilskih jekel pri povišanih temperaturah smo izdelali po-



Slika 3:

Skica trgalne probe z obojestranskim navojem za trganje pri povišanih temperaturah.

Fig. 3:

Scheme of tensile testing probe with both-sided thread for rupture tests at elevated temperatures

sebne preizkušance z obojestranskim navojem. Skica preizkušanca je prikazana na sliki 3.

Značilnost trgalnega preizkusa za trganje pri povišanih temperaturah je v izredno fini obdelavi oslabljenega dela preizkušanca. Preizkušamo namreč jekla z visokimi trdnostmi in pri nižjih temperaturah preizkušanja je lahko vsak najmanjši zarezni učinek tisti, ki povzroči predčasno prekinitev poskusa in s tem nepravilnost meritve.

Časovno traja poskus trganja pri povišanih temperaturah okrog 20 minut. Delali smo z več paralelkami na isti temperaturi. Temperaturo smo merili s termoelementom, tipa Pt Rh Pt.

Trdnostne lastnosti smo odbirali na merilni skali AM-SLER trgalnega stroja. Raztezek in kontrakcijo smo izmerili po ohladitvi preizkušanca.

Temperature preizkušanja smo si izbrali v intervalih po 50° C, in sicer za jeklo Č4870 med 400 in 850° C, za jeklo Č4581 pa med 500 in 800° C.

4. REZULTATI POSKUSOV

Rezultati poskusov trganja pri povišanih temperaturah za jekli Č4581 in Č4870 so prikazani v tabelah 3 in 4. Navedene so srednje vrednosti več meritev.

5. OCENA IN ANALIZA REZULTATOV

5.1 Primerjava mehanskih lastnosti jekla Č4581 za posamezna izhodna stanja je naslednja:

— Jeklo Č4581 ima najslabše mehanske lastnosti v vlečenem stanju. Izrazito odstopa meja plastičnosti R_e , ki se že močno približa natezni trdnosti R_m . V vlečenem stanju je zelo nizek tudi raztezek A, le za spoznanje boljša je kontrakcija.

— Z rekristalizacijskim žarjenjem smo povrnili jeklu sorazmerno dobre plastomehanske lastnosti. Pozna se velik padec meje plastičnosti, vidno se zboljšata tudi raztezek in kontrakcija.

— Za poboljšanje vemo, da je postopek, ki da jeklu pri povišani trdnosti večji raztezek in kontrakcijo. S poboljšanjem preizkušane jekla smo dosegli zanj predpisane lastnosti za to stanje.

Tabela 3: Vrednosti mehanskih lastnosti jekla Č4581 pri povišanih temperaturah

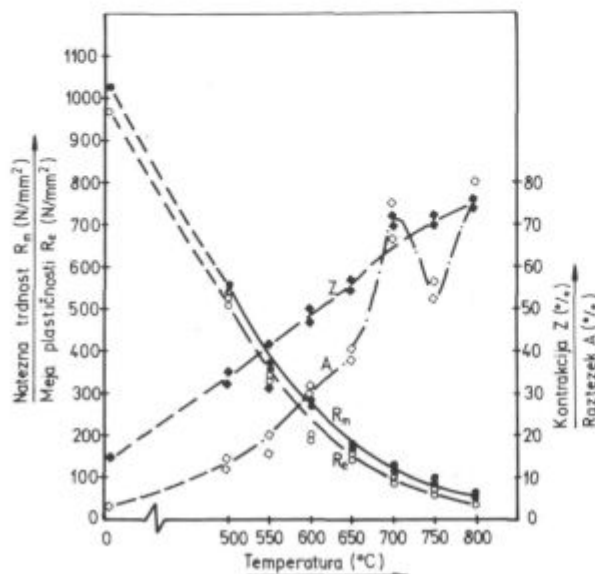
Mehanske lastnosti	Temperatura (°C)							Izhodno stanje
	500	550	600	650	700	750	800	
R_e (N/mm ²)	520	350	195	162	95	70	50	vlečeno
R_m (N/mm ²)	540	365	275	180	120	90	60	
A (%)	13,5	17,0	30,0	39,0	70,0	55,0	87,0	
Z (%)	34,5	37,5	48,5	56,0	71,0	70,5	75,0	
R_e (N/mm ²)	332	235	163	152	100	70	55	rekristalizacijsko žarjeno
R_m (N/mm ²)	450	310	195	175	120	90	70	
A (%)	22,5	41,0	36,0	45,0	52,5	74,0	73,0	
Z (%)	41,0	48,0	56,0	63,0	67,0	74,0	75,0	
R_e (N/mm ²)	470	392	277	222	147	87	65	poboljšano
R_m (N/mm ²)	520	435	295	235	160	120	80	
A (%)	21,0	19,5	25,5	34,5	37,5	40,0	80,0	
Z (%)	43,5	49,0	58,0	65,5	72,0	73,0	84,0	

Tabela 4: Vrednosti mehanskih lastnosti jekla Č4870 pri povišanih temperaturah

Mehanske lastnosti	Temperatura (°C)										Izhodno stanje
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	
R_e (N/mm ²)	665	625	594	582	555	552	489	431	331	257	vlečeno
R_m (N/mm ²)	814	774	760	735	669	605	546	459	363	278	
A (%)	16,0	15,1	15,5	15,5	13,0	11,5	11,1	11,1	11,5	16,0	
Z (%)	26,0	34,0	35,0	32,5	22,0	22,0	21,0	23,5	27,0	41,0	
R_e (N/mm ²)	440	—	367	380	345	315	300	267	252	227	rekristalizacijsko žarjeno
R_m (N/mm ²)	780	—	670	720	655	595	520	450	365	320	
A (%)	30,0	—	29,0	28,5	24,0	20,5	18,5	20,5	24,5	25,0	
Z (%)	37,0	—	41,5	44,0	31,5	23,5	22,0	26,5	38,5	47,5	
R_e (N/mm ²)	467	—	447	377	332	310	297	265	230	190	starano
R_m (N/mm ²)	765	—	690	670	605	560	485	410	360	310	
A (%)	24,0	—	20,0	20,5	22,0	24,0	23,0	26,5	25,5	30,5	
Z (%)	28,0	—	30,0	34,5	36,0	33,5	36,0	38,5	46,0	46,0	

5.1.1 Primerjava mehanskih lastnosti pri povišanih temperaturah

— Glede mehanskih lastnosti pri povišanih temperaturah lahko ugotovimo, da se jeklo Č4581 najboljše obnaša v poboljšanem stanju. Mejna temperaturna vrednost za uporabnost tega ogljik-krom-silicijevega jekla je pri okrog 500–600° C. V tem temperaturnem območju

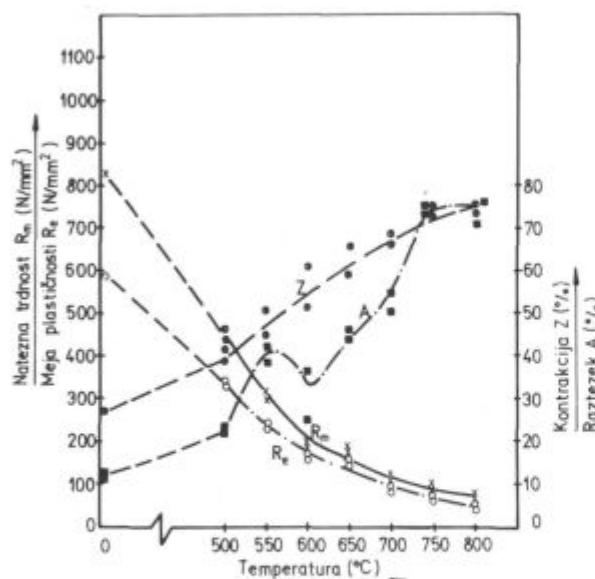


Slika 4:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4581 v vlečenem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 4:

Mechanical properties of the Č4581 valve steel, as drawn, at elevated temperatures.



Slika 5:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4581 v rekristalizacijsko žarjenem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 5:

Mechanical properties of the Č4581 valve steel, as recrystallized, at elevated temperatures

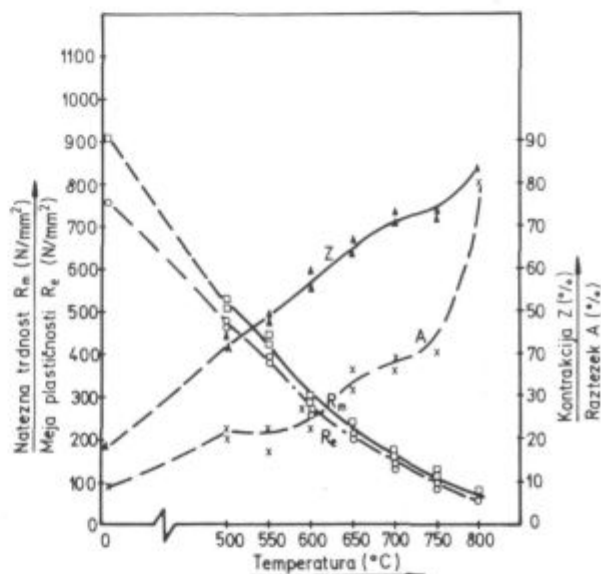
mu trdnostne lastnosti močno padejo. Natezna trdnost R_m je le še okrog 300 N/mm².

— Razlika v mehanskih lastnostih med posameznimi izhodnimi stanji pri preizkušanju pri povišanih temperaturah je očitna v glavnem le v spodnjem temperaturnem območju preizkušanja.

— Vseeno lahko ugotovimo, da ima jeklo Č4581 v poboljšanem stanju pri vseh temperaturah preizkušanja najvišje vrednosti trdnostnih parametrov.

Zanimivo je, da je do temperature poprave kristalov tudi vlečeno stanje trdnostno ugodno. Plastomehanski parametri pa so sorazmerno nizki, predvsem ta trditve velja za raztezek.

— Vrednosti mehanskih lastnosti pri povišanih temperaturah posameznih stanj jekla Č4581 smo prikazali tudi diagramsko, in sicer imamo te odnose prikazane na slikah 4, 5 in 6.



Slika 6:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4581 v poboljšanem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 6:

Mechanical properties of the Č4581 valve steel, as quenched and tempered, at elevated temperatures.

5.2 Primerjava mehanskih lastnosti jekla Č4870 za posamezna izhodna stanja je:

— To jeklo ima najboljše plastomehanske lastnosti v rekristaliziranem stanju. Trdnostna parametra R_e in R_m sta nizka, hkrati pa ima jeklo visok raztezek in kontrakcijo.

— Podatek, da so najslabše vrednosti, ki karakterizirajo plastičnost jekla, v vlečenem stanju, ne preseneča. Hladna deformacija jeklo utrdi, kar je pri avstenitnih strukturah še izrazitejša. Spet najbolj izstopa meja plastičnosti, ki je odraz hladne utrditve jekla.

5.2.1 Primerjava mehanskih lastnosti pri povišanih temperaturah:

— Razlika med posameznimi preizkušanimi izhodnimi stanji pri jeklu Č4870 ni velika.

— Enako kot pri jeklu Č4581 tudi pri tem avstenitnem tipu vlečeno stanje vse do temperatur poprave kri-

stalov (800° C) trdnostno odstopa. Odstopa pa tudi v raztežku, ki je pri vseh temperaturah najnižji.

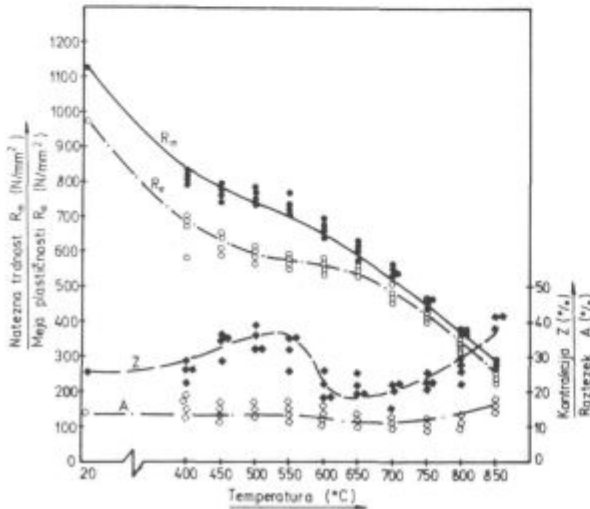
— Šele v temperaturnem območju 800–850° C pride do izraza starano in rekristalizacijsko žarjeno stanje jekla.

— Vseeno lahko povzamemo, da ima jeklo Č4870 najprimernejše mehanske lastnosti v staranem stanju. Namreč gledano v celoti, sta raztezek in kontrakcija tudi pomembna parametra, ki pa sta v tem stanju vseskozi najvišja.

— Zanimiva pa je ugotovitev, da med lastnostmi v rekristaliziranem stanju in staranemu stanju ni izrazito velikih razlik. Verjetno je potrebno razlago za to iskati v

osnovnem gašenju. Temperatura osnovnega gašenja 1050° C je za popoln raztop karbidov in karbonitridov prenizka. Ker pa pri osnovnem gašenju nismo raztopili vseh karbidnih faz, je razlika med stanjema »rekristalizirano« in »starano« minimalna.

— Vrednosti preizkušanja pri povišanih temperaturah posameznih stanj jekla Č4870 pa prikazujemo tudi v diagramih na slikah 7, 8 in 9.

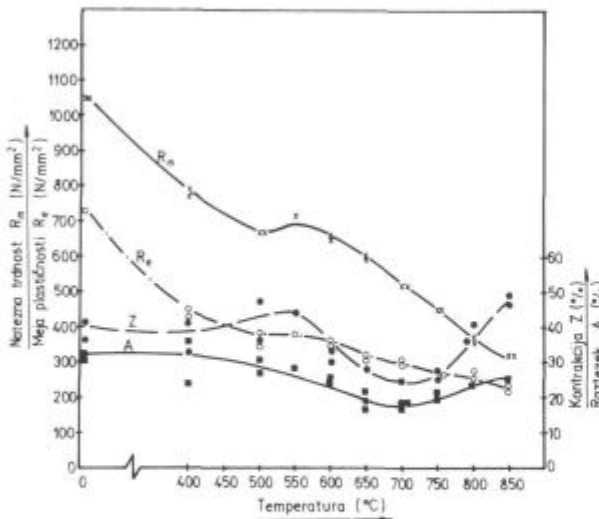


Slika 7:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4870 v vlečenem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 7:

Mechanical properties of the Č4870 valve steel, as drawn, at elevated temperatures.

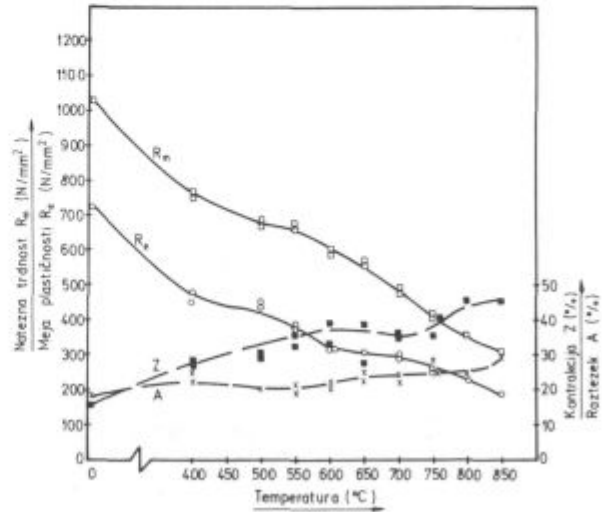


Slika 8:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4870 v rekristalizacijsko žarjenem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 8:

Mechanical properties of the Č4870 valve steel, as recrystallized, at elevated temperatures.



Slika 9:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4870 v staranem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 9:

Mechanical properties of the Č4870 valve steel, as aged, at elevated temperatures.

6. Primerjava med jekloma Č4581 in Č4870

Že v uvodu smo ugotovili, da je ogljik-krom-silicijev jeklo Č4581 z 0,80 % C namenjeno za sesalne ventile. Ti poskusi so nam to potrdili. Jeklo ima vse do popuščnih temperatur zadovoljive lastnosti. Vemo pa tudi, da so delovne temperature za to vrsto ventilov sorazmerno nizke, okrog 500° C.

Nasprotno pa za jeklo Č4870 velja, da se izločevalno utrjuje. Karbonitridni precipitanti imajo temperature raztopa višje, zato so mehanske lastnosti tega jekla tudi v območju do 850° C sorazmerno visoke.

V primerjavi z jeklom Č4581 ima jeklo Č4870 pri temperaturi okrog 800° C za faktor 4 do 5-krat višjo natezno trdnost.

Vpliv izločevalnih učinkov pri jeklu Č4870 pa je viden tudi pri raztežku in kontrakciji. Od izhodnega stanja pa do 800° C ta dva parametra narasteta za okrog 50 %. Pri jeklu Č4581 pa je porast mnogo večji — za okrog 200 %.

7. SKLEPI

7.1 Ventilsko jeklo Č4581 je martenzitnega tipa in se uporablja za sesalne ventile, kjer praviloma nastopajo nižje delovne temperature in s tem nižje toplotne obremenitve.

Najprimernejše je v poboljšanem stanju tako glede na trdnostne kot plastomehanske lastnosti.

7.2 Jeklo Č4870, ki je legirano s karbidotvornimi elementi in dušikom, ima po ustrezni toplotni obdelavi v

svoji strukturi izločene karbonitridne precipitate. Zaradi teh, ki jeklu tudi pri višjih temperaturah od 500° C dajejo povišano natezno trdnost, se to jeklo uporablja za bolj obremenjene izpušne ventile.

Najprimernejša toplotna obdelava je staranje. Dileme o tem, ali starano ali vlečeno, seveda ni, ker vemo, da ventile izdelujemo iz paličastega jekla z vročim kovanjem. Torej je ventil po kovanju v surovem kovanem stanju in ga je potrebno v celoti in popolnoma toplotno obdelati.

7.3 Poskusi pa so vseeno pokazali, da določene razlike preizkušanja ventilskih jekel pri povišanih tempera-

turah obstajajo. Za dober ventil in njegovo dolgo življenjsko dobo je tako za martenzitni tip kot avstenitni potrebnina popolna toplotna obdelava.

Literatura:

1. H. Brandis, B. Huchteman: Verbesserung Der Verarbeitbarkeit austenitische Ventilstähle. Thyssen Edelstahl Technische Berichte, 10 Band, 1984.
2. Deutsche Norm-Ventilwerkstoffe DIN 17480.
3. Rodič A.: Sistematika in značilnosti mikrostruktur ventilskih jekel ŽR; R-8405.
4. Kos I.: Ventiliska jekla; Železarski zbornik, 19, 1985, 4.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Untersuchung hatte das Ziel den Einfluss des Ausgangszustandes von Stahl auf die mechanischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen festzustellen. Zwei verschiedene Stahltypen von Ventilstählen sind untersucht worden:

- martensitischer Typ Č 4581
- austenitischer Typ mit Karbonitriden Č 4870

Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass der austenitische Stahl Č 4870 tatsächlich temperaturbeständiger ist als der martensitische Stahl Č 4581. Ein Vergleich der mechanischen

Eigenschaften zeigt, dass bei 800° C die Zugfestigkeit von Stahl Č 4870 viermal größer ist als beim Stahl Č 4581.

Der Ausgangszustand hat beurteilt nach unseren Untersuchungen einen größeren Einfluss beim Stahl Č 4581, da der vergütete Zustand ausgeprägt abweicht. Beim Stahl Č 4870 kann festgestellt werden, dass der Ausgangszustand nicht einen so grossen Einfluss hat.

In jedem Fall ist aber die Alterung das Verfahren, dass dem Stahl die besten temperaturbeständigen und stabilen Eigenschaften zusichert.

SUMMARY

The tests with valve steel were made to find the influence of the initial state of steel on the mechanical properties at elevated temperatures. Two various types of valve steel were tested:

- martensitic Č 4581 steel, and
- austenitic Č 4870 steel with carbonitrides.

The results of investigations showed that austenitic Č 4870 steel has actually better temperature stability than the martensitic Č 4581 steel. Comparison of strengths show that tensile

strength of Č 4870 steel at 800° C is four times greater than that of Č 4581 steel.

The initial state according to our investigations has greater influence with the Č 4581 steel since as quenched and tempered differs essentially. It was found that the original structure of the Č 4870 steel has not such a great influence. Anyhow, the ageing assures the optimal properties which are temperature stable.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С исследованием сталей для вентиля автор этой работы хотел определить какое влияние оказывает выходное состояние стали на механические свойства при повышенных температурах. Исследованы были два различных сорта сталей для вентиля:

- Č 4581 мартенситного вида и
- Č 4870 аустенитного вида с карбонитридами.

Результаты исследования показали, что аустенитная сталь Č 4870, более температурноустойчива чем мартенситная сталь Č 4581. Сравнение свойств прочности показывает, что при

температуре 800° C натяжная прочность стали Č 4870 четыре раза больше чем при стали Č 4581.

На основании мнения нашего исследования более существенное влияние оказалось при стали Č 4581, где ясно выражено улучшенное состояние.

Для стали Č 4870 можно установить, что первоначальная структура не оказывает большое влияние. Всё-таки способ старения представляет собой существенное значение, которое обеспечивает стали самые лучшие, температурноустойчивые стабильные свойства.