

Izbira konstrukcijskih jekel in njihovih toplotnih obdelav za najustreznejšo žilavost

UDK: 620.178.746.22:669.15-194.2
ASM/SLA: Q6n, Q29, CN, AY, 2-64

Franc Uranc

Do zdaj smo poznali popuščne diagrame, ki kažejo trdoto ali žilavost jekel po popuščanju pri različnih temperaturah. Ker je žilavost vse pomembnejša konstrukcijska postavka, je dobro poznati njen odnos s trdoto.

UVOD

Pogosto zahtevajo obremenitve strojnih delov zelo žilava jekla, ki so tudi zadosti trdna in trda.

Na osnovi popuščnih diagramov moremo izdelati diagrame, s katerih se vidi, kakšno žilavost ima jeklo določene trdote po dani toplotni obdelavi.

Navadno sklepamo na žilavost jekla po vsebnosti ogljika v njem, zato skušajmo odkriti, ali moramo pri takem sklepanju pričakovati kakšne, do zdaj neznane nerednosti.

Preiskovali smo poboljšana jekla, ki so bila izdelana po klasičnih talilnih postopkih.

1. ODNOS TRDOTE IN ŽILAVOSTI

Žilavost jekel je pomembna lastnost dinamično obremenjenih konstrukcijskih delov.

Jekla za poboljšanje delimo po njihovi uporabnosti v udarni uporabi. Najslabše se obnesejo nelegirana jekla, najboljše najvišje legirana konstrukcijska jekla.

Za izdelovanje tistih strojnih delov, ki so le šibko ali srednje močno, statično in dinamično obremenjeni, vzamemo jekla, ki so legirana le s kromom (Č 4130 — VC 130, Č 4731 — VC 140), ali jekla, legirana le z manganom (Č 3130 — VM 100, Č 3135 — 28 Mn6).

Če je potrebna malo večja žilavost izdelka, ga naredimo iz katerega od jekel, ki vsebujejo sicer malo manjši odstotek ogljika, toda oplemenitena so z dodatkom molibdena (Č 4730 — VCMO 125, Č 4731 — VCMO 135, Č 4732 — VCMO 140, Č 4733 — VCMO 150).

Ker so nižjeogljikna in ker molibden preprečuje popuščno krhkost, so ta jekla skoraj v vsem območju trdot bolj žilava od jekel, legiranih le s kromom. Jekla s kromom in molibdenom so primerna tudi za izdelavo konstrukcijskih delov, ki imajo večje preize.

Za posebno močno obremenjene dele so uporabna le jekla, ki so legirana dodatno še z nikljem (Č 5430 — VCMO 100, Č 5431 — VCNMO 150, Č 5432 — VCNMO 200) ali manganom in vanadijem (Č 4830 — VCV 150), ali nikljem in vanadijem (Č 5480, Č 5481), ali kar s povišano vsebnostjo kroma ter dodatkom molibdena in vanadija.

V razpredelnicah priročnikov so napisane poleg trdnosti ali trdot tudi približne žilavosti posameznih jekel, tako da se lahko odločimo za najugodnejše. Vedno pa nimamo na voljo najustreznejšega jekla in tedaj bi nam

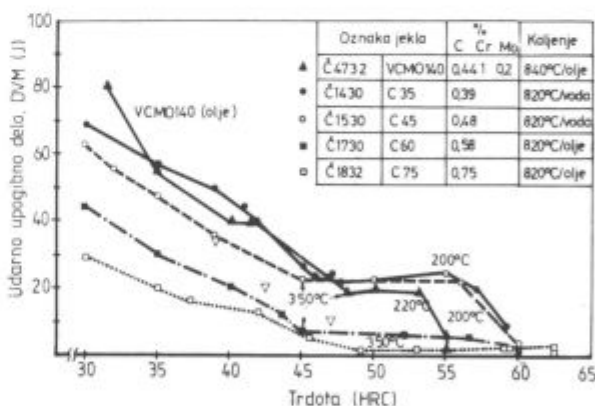
prav prišli primerjalni diagrami trdot in žilavosti različnih jekel.

Kot lahko vidimo po navedenih diagramih, so tudi nižje legirana jekla po določeni obdelavi tako glede trdote kot tudi žilavosti povsem enakovredna dražjim jeklom z večjo vsebnostjo legiranih elementov.

Te diagrame smo dobili tako, da smo popuščne diagrame predelali v diagrame trdota — žilavost. Podatke sorodnih jekel smo vrisali v skupen diagram in tako dobili nekaj diagramov, prikazanih na slikah 1—6.

Debelina vseh preizkušancev je bila med toplotno obdelavo 25—30 mm. Vsaka slika kaže trdoto in žilavost primerjanih jekel. V diagramih so podane vsebnosti legiranih elementov posameznih preizkušanih talin, enako pa tudi pogoji avstenitizacije in kaljenja.

Da bi mogli žilavosti teh posameznih jekel primerjati z žilavostmi drugih jekel in skupin jekel, prikazanih na drugih diagramih, je v vseh vnesena krivulja žilavosti jekla Č 4732 — VCMO 140. To jeklo je po žilavosti nekoliko povprečno dobro jeklo, zato se zdi dobro za primerjavo vseh jekel.



Slika 1
Žilavost in trdota jekel po popuščanju pri temperaturah do 600° C oziroma 650° C (jeklo Č 1730 — C 60)

Fig. 1
Toughness and hardness of steel tempered up to 600° C or 650° C (steel Č 1730 — C 60).

Slika 1 podaja poleg primerjalne krivulje, t. j. žilavosti jekla Č 4732 — VCMO 140, žilavosti nelegiranih jekel. Primerjalni krivulji zelo blizu je krivulja žilavosti jekla Č 1430 — C 35. Jeklo Č 4732 — VCMO 140 vsebuje 0,44 % C, jeklo Č 1430 — C 35 pa 0,39 % C.

Žilavost jekla Č 4732 — VCMO 140 pa prikazujejo tudi točke v obliki obrnjenih trikotnikov.

Te točke pomenijo žilavost taline, ki je imela najmanjšo dopustno (za Č 4732 — VC MO 140) vsebnost ogljika (0,37 % C).

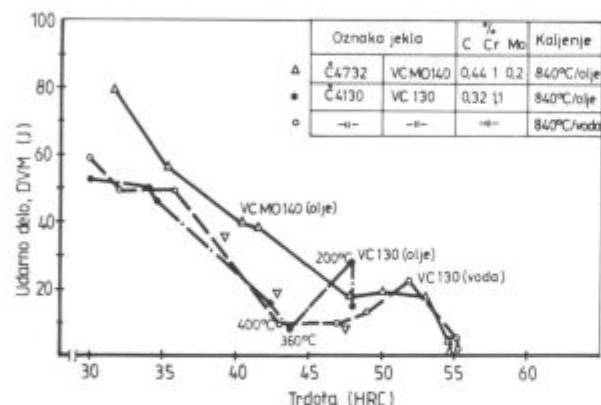
V tistem območju trdot, kjer ni vrisanih teh točk, je žilavost obeh talin jekla Č 4732 — VC MO 140 enaka.

Jeklo Č 4732 — VC MO 140 s trdoto nad 47 HRC je manj žilavo od enako trdih nelegiranih jekel Č 1430 — C 35 in Č 1530 — C 45. Ob trdotah pod 47 HRC (oziroma pod 39 HRC pri talini Č 4732 — VC MO 140 z najnižjo dopustno vsebnostjo ogljika) je legirano jeklo bolj žilavo kot Č 1530 — C 45.

To pomeni, da je tedaj, ko nimamo opraviti z zelo debelimi izdelki trdot nad 47 HRC (natezna trdnost 1500 N/mm²), bolj smiselno uporabiti Č 1530 — C 45 kot Č 4732 — VC MO 140.

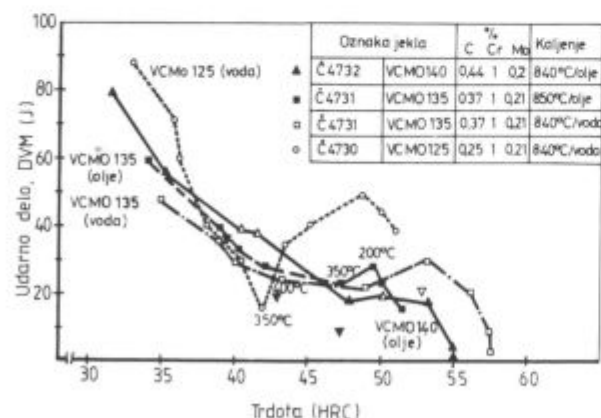
Spodnji krivulji kažeta žilavost jekel z višjo vsebnostjo ogljika. Trdoto 63,5 HRC doseže le jeklo Č 1832 — C 75.

Slika 2 kaže primerjavo žilavosti in trdot preizkušancev jekel Č 4130 — VC 130 in Č 4732 — VC MO 140. V olju kaljeni preizkušanci trdote 48 HRC so nekoliko bolj žilavi kot enako trdi preizkušanci, ki so bili kaljeni v vodi. Žilavost obojih je malo manjša kot



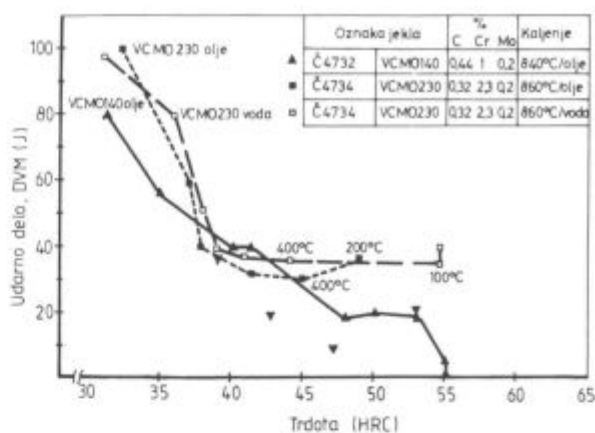
Slika 2
Žilavost in trdota jekel po popuščanju pri temperaturah do 600° C

Fig. 2
Toughness and hardness of steel tempered up to 600° C.



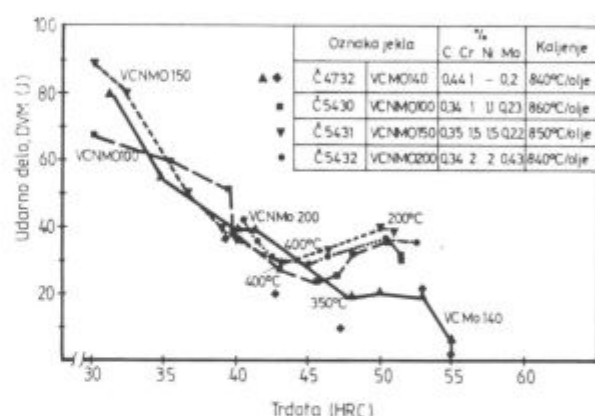
Slika 3
Žilavost in trdota jekel po popuščanju pri temperaturah do 550° C oziroma 600° C (Č 4732 — VC MO 140)

Fig. 3
Toughness and hardness of steel tempered up to 550° C or 600° C (steel Č 4732 — VC MO 140).



Slika 4
Žilavost in trdota jekel po popuščanju pri temperaturah do 600° C (Č 4732) ali do 650° C (Č 4734)

Fig. 4
Toughness and hardness of steel tempered up to 600° C or 650° C (Č 4734).



Slika 5
Žilavost in trdota jekel po popuščanju pri temperaturah do 550° C (Č 5432), do 600° C (Č 5430, Č 4732) ali do 650° C (Č 5431)

Fig. 5
Toughness and hardness of steel tempered up to 550° C (Č 5432), 600° C (Č 5430, Č 4732), or 650° C (Č 5431).

žilavost nižjeogljikne taline (obrnjeni trikotniki) primerjalnega jekla Č 4732 — VC MO 140.

Žilavost obeh jekel, popuščanih na trdoto nad 50 HRC, je približno enaka, pri trdotah pod 45 HRC pa je razlika zelo velika.

S slike 3 vidimo žilavost jekel Č 4731 — VC MO 135 in Č 4730 — VC MO 125 v primerjavi z žilavostjo primerjalnega jekla.

Če so trdote preizkušancev nad 48 HRC, so tisti iz jekla Č 4731 — VC MO 135 precej bolj žilavi kot tisti iz primerjalnega jekla. Preizkušanci jekla Č 4731 — VC MO 135 trdote 53 HRC so za 50 % bolj žilavi kot enako trdi preizkušanci iz primerjalnega jekla, če pa so oboji 55 HRC, je razlika v dobro Č 4731 — VC MO 135 celo štirikratna.

Trši kot 55 HRC so lahko le preizkušanci jekla Č 4731 — VC MO 135, ker so kaljeni v vodi, medtem ko so preizkušanci primerjalnega jekla kaljeni v olju.

Jeklo Č 4730 — VC MO 125 je še veliko bolj žilavo kot jeklo Č 4731 — VC MO 135, in sicer za okoli 80—90 %, če so preizkušanci mehkejši od 35 HRC. To

jeklo pa je tudi najbolj krhko, če je toplotno obdelano na trdoto 42 HRC (popuščeno na 350°C). Podatki veljajo za preizkušance, ki so bili kaljeni v vodi. Razlika med žilavostma preizkušancev, kaljenih v vodi ali v olju, ni videti velika — pri jeklih Č 4731 — VCMO 135. Od jekla Č 4732 — VCMO 140 (kaljen v vodi) je jeklo Č 4730 — VCMO 125 za 100 % (ob trdoti obeh jekel nad 45 HRC) oz. za 40 % (ob trdotah pod 35 HRC) bolj žilavo.

Slika 4 kaže žilavost preizkušancev jekla Č 4734 — VCMO 230, kaljenih bodisi v olju bodisi v vodi.

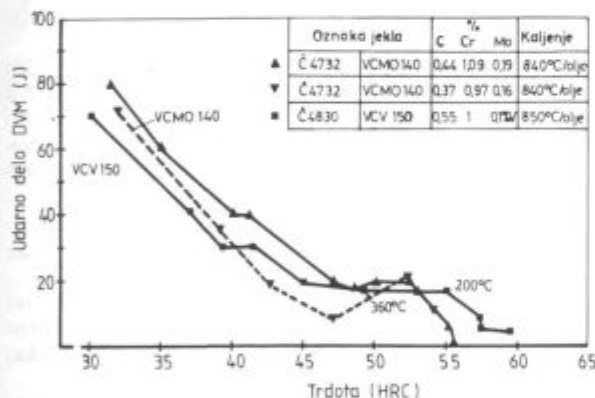
Ob trdotah pod 47 HRC so preizkušanci tega jekla za 80 % bolj žilavi kot preizkušanci iz primerjalnega jekla. Preizkušanci trdot pod 35 HRC so celo bolj žilavi kot jeklo Č 4730 — VCMO 125. Posebna prednost tega jekla pred manj legiranimi je doseganje velike žilavosti (35 do 40 J) ob trdoti 55 HRC.

Jeklo Č 4731 — VCMO 135 dosega ob taki trdoti komaj 25 J žilavosti, jeklo Č 4732 — VCMO 140 pa le 5 J!

Slika 5: Žilavost Cr-Ni jekel Č 5430 — VCNMO 100, Č 5431 — VCNMO 150, Č 5432 — VCNMO 200 je pri majhnih trdotah pod 40 HRC le malenkost večja kot žilavost primerjalnega jekla (razlika nasproti Č 4734 — VCMO 230). Druga razlika med obema je v tem, da Cr-Ni jekla ne dosežajo trdote nad 51–52,5 HRC (odvisno od stopnje legiranja). Podobni pa sta žilavost te skupine grupe jekel in žilavost jekla Č 4734 — VCMO 230 pri trdotah nad 47 HRC.

Primerjava diagramov žilavost — trdota tudi pokaže, da se z zviševanjem legirne vsebnosti ne povečuje le žilavost najbolj krhkih preizkušancev.

Noben jeklo pa ne doseže žilavosti tiste, bolj žilave, taline Č 4732 — VCMO 140, kadar sta obe jekli popuščeni v območju popuščne krhkosti.



Slika 6

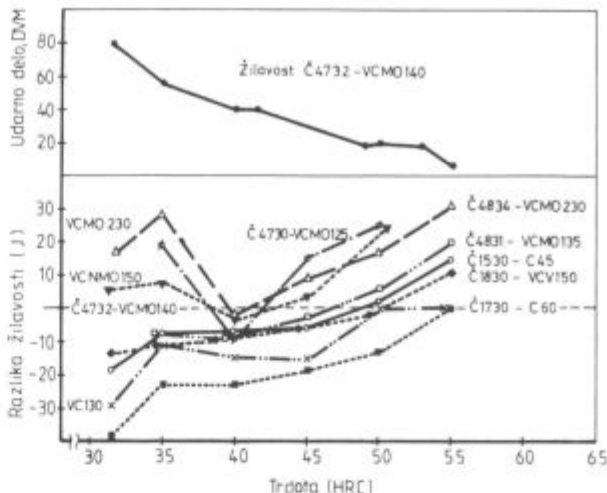
Žilavost in trdota jekel po popuščanju pri temperaturah 600°C (Č 4732 — VCMO 140) ali 650°C (Č 4830 — VCV 150)

Fig. 6

Toughness and hardness of steel tempered up to 600°C (Č 4732 — VCMO 140) or 650°C (Č 4830 — VCV 150).

Slika 6 prikazuje žilavost primerjalnega jekla in jekla Č 4830 — VCV 150. Šele pri trdotah nad 53 HRC je Č 4830 — VCV 150 bolj žilavo — to pa tudi ni težko, ker je primerjalno mehkejša od 56 HRC.

S slike 7 se vidi odnos med žilavostmi različnih jekel kot razlika žilavosti teh jekel ter žilavosti jekla Č 4732 — VCMO 140. Preizkušanci trdote pod 40 HRC so najbolj žilavi, če so iz jekla Č 4734 — VCMO 230. Med trši so najbolj žilavi iz jekel Č 4730 — VCMO 125, Č 5431 — VCNMO 150 in Č 4734 — VCMO 230.



Slika 7

Žilavost jekla Č 4732 — VCMO 140 ter razlike med žilavostmi drugih jekel in jekla Č 4732 — VCMO 140, kadar sta trdoti obeh enaki

Fig. 7

Toughness of Č 4732—VCMO 140 steel and comparison with the toughness of other steel when hardnesses are the same.

2. NEVARNOST POPUŠČNE KRHKOSTI

Žilavost nelegiranih jekel se po popuščanju na srednje visoko trdoto močno razlikuje.

Jeklo Č 1430 — C 35 je desetkrat bolj žilavo kot enako trdo (55 HRC) jeklo Č 1830 — OC 70. Če pa popuščamo jekli na trdoto 35 HRC ali 59 HRC, je razlika le še trikratna. Takšni odnosi nam navadno ne hasnejo, toda včasih se le obnese tudi jeklo Č 1430 — C 35 obdelati na najvišje dosegljivo trdoto ali pa visokoogljeno jeklo na majhno trdoto. Tak premislek je dobro upoštevati, kadar potrebujemo obrabno obstojne dele, obstojne tudi proti udarcem.

Jeklo, legirano le s kromom, je nekoliko bolj ali približno tako žilavo kot primerjalno jeklo Č 4732 — VCMO 140, če je popuščeno pri temperaturi pod 200°C (trdote 48 HRC). Višje popuščeno kromovo jeklo je močno popuščno krhko. Preizkušanci, ki so bili kaljeni v vodi, so krhki do višje popuščne temperature (400°C) kot tisti, kaljeni v olju (360°C). Ker pa so po kaljenju trdote ustrezno različne, je trdota obojih preizkušancev pri temperaturi, ki že malo zmanjša krhkost, enaka. Prav tako imata pri tej temperaturi obe vrsti preizkušancev tudi enako žilavost.

Ko imamo jeklo legirano s kromom in molibdenom, se popuščna krhkost izgublja že s popuščanjem nad 250°C (po kaljenju v vodi). Žilavost tudi v kratkem območju krhkosti ne pade pod 20 J (DVM), razen pri jeklu Č 4730 — VCMO 125 in nizkoogljeno talini jekla Č 4732 — VCMO 140.

Tako lahko domnevamo, da so nižjeogljena jekla z vsebnostjo 1 % Cr in 0,2 % Mo bolj podvržena popuščni krhkosti kot višjeogljena. Jeklo z 2,3 % Cr (Č 4734 — VCMO 230) je navkljub razmeroma majhni vsebnosti ogljika (0,32 %) tudi v območju popuščne krhkosti zelo žilavo, saj po kaljenju v vodi (ko je bolj žilavo kot po kaljenju v olju) žilavost sploh ne pade pod 35 J. Poprava žilavosti pa se vendar ne začne, preden ne popuščamo na 400°C. To je razumljivo, saj je zadeli precejšnje vsebnosti kroma zadržani avstenit popuščno obstojnejši kot v jeklih z 1 % Cr. Jekla z 0,35 % C, 1 % Cr, 1 % Ni in

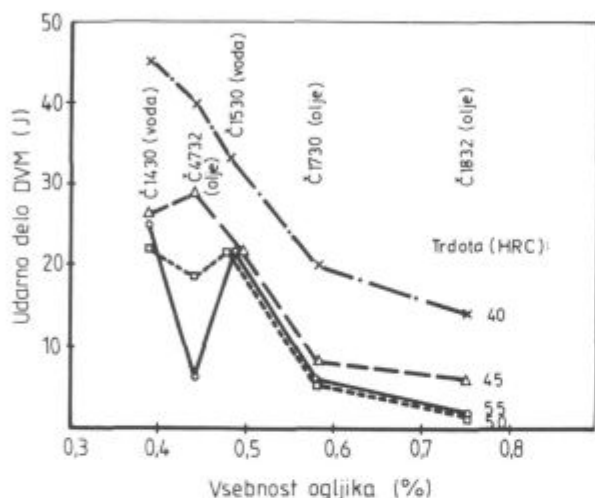
0,2 % Mo so popuščno krhkejša, toda odpravljati se ta krhkost začne že s popuščanjem pri 350°C.

Jekli z višjo vsebnostjo (1,5–2 %) kroma in niklja (1,5–2 %) sta podobni jeklu z 2,3 % Cr in 0,2 % Mo. Žilavost jima ne pade pod 30 J. Pri 55 HRC je žilavost 40 J.

3. VPLIV LEGIRANJA NA ŽILAVOST

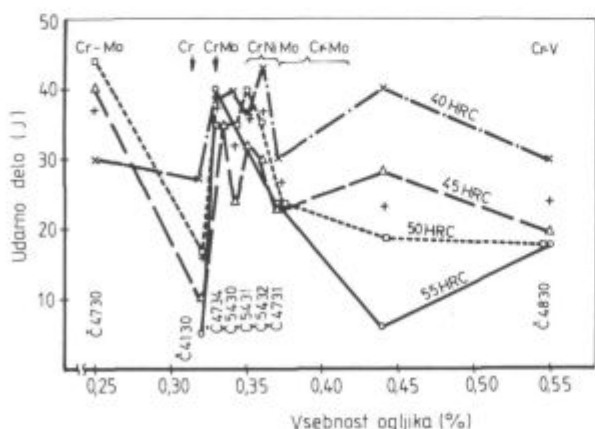
Radi bi poznali žilavost najtrdnjših jekel.

Sliki 8 in 9 omogočata primerjavo širin žilavostnih območij in porazdelitve žilavostnih vrednosti znotraj teh območij za vsa preizkušena jekla. Na abscisi je nanesena vsebnost ogljika. Takšna osnova razvrstitve je utemeljena z dejstvom, kot je prevladujoči vpliv vsebnosti ogljika na trdoto in opredelitvijo preizkušane območja žilavosti z opredelitvijo območja trdote.



Slika 8
Primerjava žilavosti nelegiranih jekel, razvrščenih po vsebnosti ogljika

Fig. 8
Comparison of toughnesses of unalloyed steel, arranged according to the carbon content.



Slika 9
Primerjava žilavosti legiranih jekel, razvrščenih po vsebnosti ogljika

Fig. 9
Comparison of toughnesses of alloyed steel, arranged according to the carbon content.

Iz prejšnjih diagramov smo prebrali žilavostne vrednosti, ustrezajoče trdotam 40, 45, 50 in 55 HRC, ter tako dobili žilavost preizkušanih jekel z natezno trdnostjo med 1250 in 2000 N/mm².

Slika 8 prodaja za posamezna nelegirana jekla in primerjalno jeklo Č 4732 — VCMO 140 (0,44 % C) območje in višino območja žilavosti preizkušancev, ki so toplotno obdelani na trdoto med 40 in 55 HRC. Če pogledamo najprej le višino žilavosti nelegiranih jekel, vidimo, da se z zmanjševanjem vsebnosti ogljika od 0,77 do 0,58 % C žilavost le počasi povečuje pri vzorcih vseh upoštevanih trdot. Če pa jemljemo jekla z manjšo vsebnostjo ogljika, se strmo povečuje žilavost tistih preizkušancev, ki imajo trdoto 40 HRC, oz. preizkušancev trdote 45 in 55 HRC ter vsebnostjo ogljika pod 0,58 % in nad 0,48 %. Manjša je zahtevana trdota, nižji je %C, do katerega se s popuščanjem dviga žilavost nelegiranih jekel. Preizkušanci trdote 50–55 HRC so po žilavosti precej podobni, če vsebuje jeklo nad 0,58 % C.

Zelo dobro žilavi sta ob veliki trdoti 55 HRC jekli, ki vsebuje 0,39 ali 0,48 % C. Preizkušanci jekla Č 1832 — C 75 so veliko bolj žilavi, če so popuščeni na trdoto 45 HRC, kot če so na 50 ali 55 HRC. Razlika je 300 %.

Z zmanjševanjem trdote se žilavost nelegiranih jekel nesorazmerno močno povečuje. Če smo zadovoljni s trdoto (površinsko) 40 HRC, je jeklo Č 1430 veliko uporabnejše kot vsa druga višjeogljikna jekla, ker je bolj žilavo. Med žilavostjo izdelkov iz Č 1430 — C 35 in izdelkov iz Č 1530 — C 45 pa ni več kot 10–20 % razlike, če je trdota teh izdelkov med 45 in 55 HRC.

Točke, ki podajajo žilavost jekla z vsebnostjo ogljika 0,44 %, predstavljajo jeklo Č 4732 — VCMO 140. Zelo izrazita je enakomernost poteka žilavosti v vsem območju trdot. V diagramu žilavost — trdota dobimo premico. Strmina krivulje žilavost — trdota je konstantna pri tem jeklu v tem območju trdot, doseženih s kaljenjem v olju in s popuščanjem do 480°C. Koeficient strmine je —2 J/HRC.

Seveda je tak količnik nasilje nad resnično krivuljo — podano kot primerjalno krivuljo na slikah 1–6. Ne upošteva posebno izrazitega dviga žilavosti po odpravi notranjih napetosti. Ne zajame izrazitega padca žilavosti po popuščanju v območju, ki povzroča močno škodljivo učinkovanje fosforja in dušika na žilavost.

Slika 9 daje precej bolj zapleteno podobo odnosa žilavost — trdota. Le jeklo Č 4732 — VCMO 140 kaže premo soodvisnost.

Jekla, legirana z nikljem, so prikazana na abscisi od 0,34–0,36 % C, čeprav imata kar dve enaki vsebnosti ogljika. Za preglednost si je bilo treba izbojevati nekaj prostora navzgor ob abscisi.

Primerjava jekel, legiranih s Cr in Mo pokaže jeklo Č 4731 — VCMO 135 v ugodnejši luči kot jeklo Č 4732 — VCMO 140, če sta obe trdi 55 HRC ali 50 HRC. Razmerje med žilavostma preizkušancev trdote 55 HRC je celo trikratno.

Jeklo Č 4734 — VCMO 230 je veliko bolj žilavo kot Č 4731 — VCMO 135 in s trdoto 55 HRC do 40 HRC enako žilavo kot jeklo Č 4732 — VCMO 140, ki je popuščeno na trdoto 40 HRC. Če je trdota 45 ali 50 HRC, je žilavost 35 J, kar je še zmerom za 10 J več, kot premore enako trdo jeklo Č 4731 — VCMO 135.

Posebno lepo žilavost ob visoki trdoti pokaže jeklo z najmanjšo možno vsebnostjo ogljika, če je popuščeno na trdoto 45 ali 50 HRC. Žilavost dosega celo 44 J. Omejena pa je uporabnost tega jekla Č 4730 — VCMO 125 s trdoto 50 HRC (največ 1700 N/mm²).

Jeklo, legirano samo s kromom, je zelo krhko, navkljub majhni vsebnosti ogljika. Po žilavosti je podobno

jeklu Č 1730 — C 60, razen kadar je popuščeno na najmanjšo od preiskovanih trdot ali na 50 HRC, ko dosega žilavost 17 J.

Žilavost jekla Č 4830 — VCV 150, legiranega s kromom in vanadijem, je po popuščanju na 40 HRC enaka žilavosti enako trdega Č 4731 — VCMO 135.

Trši preizkušanci (45–55 HRC) jekla Č 4830 — VCV 150 pa so malo manj žilavi od tega primerjalnega jekla. Prvi imajo 18 J, drugi 24 J.

Jekla, legirana s Cr, Ni, Mo, so po žilavosti enaka jeklu Č 4732 — VCMO 230, ne dosegajo pa trdote 55 HRC.

Jekli Č 5430 — VCNMO 100 in Č 5432 — VCNMO 200, trdote 50 HRC, sta enako žilavi kot enako trdo Č 4734 — VCMO 230 (35 J).

4. SKLEP

Za osnovo primerjave žilavosti jekel smo vzeli žilavost jekla Č 4732 — VCMO 140 (0,44 % C, 1 % Cr, 0,2 % Mo).

Nelegirano jeklo Č 1430 — C 35 je za 10–15 J bolj žilavo od jekla Č 1530 — C 45, če imata trdoto pod 45 HRC. S trdotami 45–55 HRC sta enako žilavi, t.j. za 20 % (do 53 HRC) bolj žilavi od Č 4730 — VCMO 140.

Pod 47 HRC sta Č 1430 — C 35 in primerjalno jeklo enako žilavi.

Jeklo Č 4731 — VCMO 135 je podobne žilavosti kot Č 1430 — C 35. Medtem, ko je za izdelke trdot do 45 HRC zelo primerno jeklo Č 1430 — C 35, je za trdote 45 do 50 HRC najboljše jeklo Č 4730 — VCMO 125, saj je ob trdoti 46 HRC dvainpolkrat bolj žilavo od primerjalnega jekla.

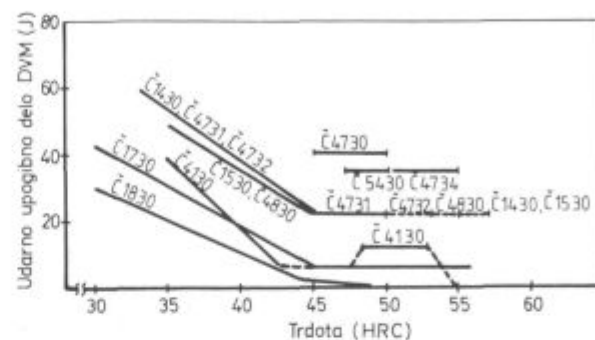
Če želimo veliko žilavost ob trdoti nad 50 HRC, vzamemo jeklo Č 4734 — VCMO 230. Cr-Ni-Mo jekla so najprimernejša za izdelke trdot 47–50 HRC, seveda pa jih uporabljamo predvsem za izdelke velikih prere-zov.

Jeklo Č 4830 — VCV 150 je le do trdote 40 HRC enako žilavo kot Č 4731 — VCMO 135 ali Č 1430 — C 35.

Nelegiranemu jeklu Č 1730 — C 60 je podobno Č 4130 — VC 130, ki je šele nad 51 HRC bolj žilavo od primerjalnega jekla.

Za kalilca je pomembno, da se izogne popuščanju pri temperaturi popuščne krhkosti, zato naj popušča pod 260° C za trdoto nad 45 HRC in nad 400° C za trdoto pod 45 HRC.

Če želimo, da bo jeklo Č 1830 C 70 žilavo, ga ne popuščamo pod 400° C.



Slika 10

Zgornje območje žilavosti jekel, ki so izdelana v elektroobločni peči, kovana in nato poboljšana na različne trdote

Fig. 10

Upper region of steel toughness made in electric arc furnace, forged and after it quenched and tempered to various hardnesses.

Sl. 10 kaže največje trdote in žilavosti, ki jih dosega-j o klasično izdelana jekla. Vpliv vsebnosti ogljika na žilavost je velik. V splošnem velja, da ima jeklo z manj kot 0,55 % C žilavost nad 20 J tudi ob trdoti 55 HRC. Izjema so le jekla, ki vsebujejo 0,4–0,45 % C, in jekla, ki so legirana le s kromom in ogljkom. Takšna jekla imajo ob trdoti 55 HRC le 5 J žilavosti.

Zahvala: Za podatke o žilavosti in trdoti gre zahvala Ivanu Krančanu in drugim sodelavcem v Metalurškem laboratoriju Železarne Ravne.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Vergleich der Stähle nach deren Härte und Zähigkeit zeigt, dass für die Erzielung der Härte bis 40 HRC Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,35–0,40 % bestgeeignet sind. Bei der Härte von 45–50 HRC zeichnet sich der Stahl Č 4730 mit der besten Zähigkeit aus, um einen Teil weniger Zähigkeit die Cr-Ni-Mo Stähle die eine gleiche Zähigkeit aufweisen als der Stahl Č 4734. Dieser Stahl erreicht neben der Zähigkeit von 35 J eine Härte von 50–55 HRC. Im Bereich der Härte 45–57 HRC sind von der niedrigsten bis zu der höchsten Här-

te der Reihe nach am besten anzuwenden Č 4731, Č 4732, Č 4830, Č 1430 und Č 1530.

Der Chromstahl erreicht bei 47–53 HRC eine Zähigkeit von kaum 12 J, hochkohlenstoffhaltige Stähle noch weniger.

Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt unter 0,55 % erreichen allgemein eine Zähigkeit über 20 J bei einer Härte von 55 HRC. Ausnahmen sind nur Chromstähle und alle Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,40–0,45 % C.

SUMMARY

Comparing steel according to its hardness and toughness shows that products which demand hardnesses up to 40 HRC are the most suitably made of steel with 0.35 to 0.4 % carbon.

The most tough steel having the hardness 45 to 50 HRC is Č 4730, followed by Cr-Ni-Mo steel having the same hardness as Č 4734. The hardness of this steel is 50 to 55 HRC at the toughness 35 J. In the hardness region 45 to 57 HRC the most

aplicable steel — given here from lower to higher hardnesses — are Č 4731, Č 4732, Č 1430, and Č 1530.

Chromium steel reaches the toughness of only 12 J at 47 to 53 HRC, and high-carbon steel even less.

Steel with less than 0.55 % C can normally and generally reach toughness over 20 J at the hardness of 55 HRC. Exceptions are only chromium steel and the steel with 0.40 to 0.45 % C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение сталей на основании их твёрдости и вязкости показывает, что изделия твёрдости до 40 единиц по Роквеллу (HR) более всего отвечают стали с содержанием 0,35—0,4 % углерода. При твёрдости 45—50 HR самая вязкая сталь марки Č. 4730, немного меньше чем стали марок Cr-Ni-Mo, которых вязкость одинакова стали марки Č. 4734. Эта сталь достигает при вязкости 35 дж твёрдость 50—55 HR. В области твёрдостей 45—57 HR находятся в употреблении последовательный твёрдости от меньшей до более высокой — стали Č4731, Č4732, Č4830, Č1430 и Č1530.

Хромистая сталь достигает при твёрдости 47—53 HR вязкость едва 12 дж, а высокоуглеродистые стали даже ещё меньше.

Стали с содержанием менее чем 0,55 % C могут нормально и в общем достигнуть вязкость свыше 20 дж при твёрдости 55 HR. Исключение представляют только хромистые стали и все прочие стали с содержанием 0,40—0,45 % углерода.