

Sodobna orodna jekla

Pogosto se mora orodjar odločiti za novo vrsto jekla, ki bo povečalo izdržljivost orodja, s tem, da bo bolj žilavo in hkrati enako obrabno obstojno kot jeklo, ki se je uporabljalo doslej. Pravilno izbiro omogočijo seveda samo žilavostni in obrabni preizkusi raznih znanih jekel. Poleg izdržljivosti je pri orodju pomembna postavka tudi cena, zato imajo veliko prednosti jekla, ki ne zahtevajo komplicirane toplotne obdelave ter orodij ni treba veliko brusiti po končni toplotni obdelavi. V članku so opisane preiskave nekaterih novih žilavih in obrabno obstojnih jekel obenem s preiskavami takšnih, ki so že dobro poznana in se na široko uporabljajo.

UVOD

Želja po čimbolj učinkovitih strojnih napravah postavlja strožje zahteve pred izdelovalca orodij. Nove vrste obdelovalnih strojev, novi tipi orodij, večje hitrosti in večje obremenitve — vse to je možno doseči samo z ustreznijšim, boljšim, kvalitetnejšim in bolj izbranim jeklom za orodja, dele orodij in strojev. Scila in Karibda orodjarjev sta pojma žilavost in obrabna obstojnost. Komur je cilj izdelati orodje iz najprimernejšega jekla, se bo moral znati izogniti možnostim, da orodje počasi zaradi premajhne žilavosti, ali pa da mu ga prezgodaj odnese obraba.

Najzanesljivejši preizkusni načini za predvidevanje obstojnosti orodij, ki so obremenjena na udarce in na drsno obrabo, so podani hkrati z opisom lastnosti štirih najsodobnejših orodnih jekel. Posebej pomemben je zapis o tistih jeklih, ki jih v tujini visoko cenijo, pri nas pa so zaradi težav pri predelavi precej neznana. Tako smo nekdanje izdelovalci jekla podobna ameriškim tipom S-6 in A-6, pa smo jih opustili zaradi težav pri kovanju. Zdaj lahko v luči primerjav z drugimi kvalitetnimi jekli ugotovimo, kako se lahko s poceni jeklom, ki ga prav izberemo, dosežemo dobri rezultati glede odpornosti orodja na obrabo ali na udarce. Orodje lahko dobro izdrži določene vrste obremenitev tudi, če ga odlikuje dobra kombinacija žilavosti in obrabne obstojnosti, ki ju neko jeklo pokaže.

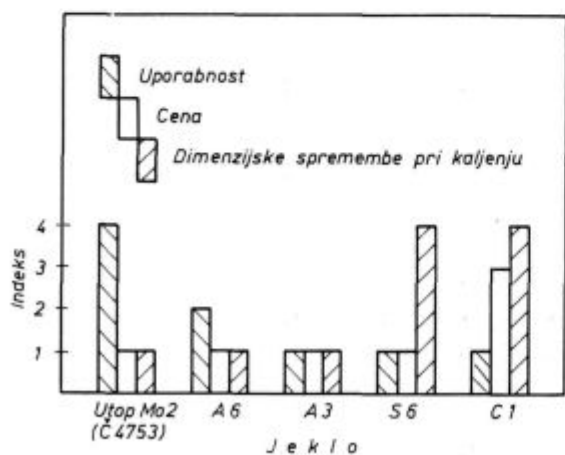
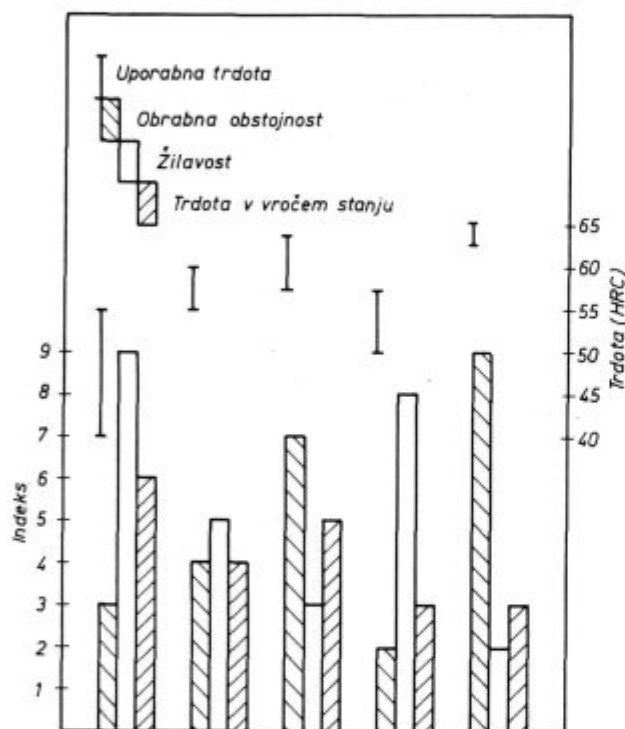
SPLOŠNE LASTNOSTI MODERNIH ORODNIH JEKEL VELIKE ŽILAVOSTI IN OBRABNE OBSTOJNOSTI ALI DOBRE KOMBINACIJE OBEH

Pri nalogi osvajanja primernih jekel za defibratorske mlevne plošče se je pokazala potreba po izbiri čimbolj žilavega in obrabno obstojnega jekla, zato se je bilo potrebno seznaniti z razvojem žilavih orodnih jekel, obrabno obstojnih jekel ter orodnih jekel z dobro kombinacijo žilavosti in obrabne obstojnosti.

Tabela 1: Kemijske sestave preizkušanih jekel

Talina	Oznaka jekla	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Ni
1	A-3 kovano	1,22	0,33	0,85	5,17	1,10	1,11	—	—
2	A-3 lito	1,39	0,31	0,70	5,57	1,04	1,15	—	—
3	Utop Mo 2 (C.4753) lito	0,34	0,84	0,48	5,53	1,60	1,10	—	—
4	S-6 kovano	0,52	1,25	1,39	1,46	0,45	0,29	—	—
5	S-6 lito	0,49	2,49	1,36	1,42	0,43	0,37	—	—
6	A-6 kovano	0,69	0,23	2,85	1,26	1,18	—	—	—
7	A-6 kovano	0,73	0,34	2,42	1,16	1,51	—	—	—
8	A-6 lito	0,63	0,12	2,31	1,05	1,24	0,09	—	—
9	C-1 kovano	1,45	0,46	1,76	1,20	1,07	—	4,20	—
10	C-1 lito	1,65	0,50	1,72	0,92	1,65	—	3,41	—
11	Prokron 2 L sp. (CL.4570) lito	0,26	0,89	0,31	16,93	0,08	—	—	1,84
12	Prokron 2 mod. lito	0,38	0,65	0,35	16,8	0,93	—	—	1,74

Zbrali smo podatke o najmodernejših orodnih jeklih velike žilavosti in obrabne obstojnosti ter se odločili za študij najpomembnejših reprezentantov. Od posebno priznanih ter modernih jekel **H-11, H-13, A-3, S-6** (ameriška); **75 CrMoNiW 6, 55 CrMoV1 34** (nemški); **4 HS, 6 HV 2 S** (ruski) ter jekla C-1 smo se namenili bolj spoznati in primerjati H-13 (naš Utop Mo 2), A-3, A-6, S-6 ter jeklo C-1 z 1,5 % C in 4 % W. V preiskavo smo vključili tudi Prokron 2 L special in modifikacijo Prokrona 2 L special z 1 % Mo. Nemški jekli nas nista preveč zanimali, ker smo vedeli samo za njihovo kemijsko sestavo, ki je nekje med našim Utop Mo 2 ter ameriškim A-3 tudi zajetim v programu raziskav. Ruski jekli sta po lastnostih podobni našim Osikro in vzmetnim jeklom in torej ne pomenijo napredka



Slika 1

Primerjava indeksov žilavosti, trdote, obrabne obstojnosti in trdote v vročem stanju za sodobna orodna jekla

med njimi. Kemijsko sestavo primerjanih jekel prikazuje tabela 1. Podana grafikona (slika 1) kažeta za izbrana jekla razen Prokronov ocene **obrabne obstojnosti, žilavosti, trdote v vročem, razširjenosti uporabe, cene, navadne delovne trdote ter dimenzijskih sprememb pri kaljenju.**

Vse ocene so izbrane v lestvici, ki ima 9 stopenj, vendar te stopnje niso enakomerne, temveč se nanašajo na razdelitev (ameriških) orodnih jekel v 9 skupin, znotraj katerih so si jekla v določeni lastnosti podobna. Podatki so ameriškega izvora¹.

Vidimo, da je jeklo C-1 najbolj obrabno obstojno; sledijo mu A-3, ki je tudi zelo obstojen proti obrabi, nato A-6, Utop Mo 2 in S-6, ki so precej manj obrabno obstojni. Glede žilavosti stojita najbolje Utop Mo 2 in S-6 (boljši je Utop), dobro žilavost ima tudi A-6, A-3 in C-1 pa imata precej nizko oceno. Glede trdote v vročem so jekla v tabeli razvrščena od najboljšega Utop Mo 2, malo slabših A-3 in A-6 do S-6 in C-1, ki imata najnižjo trdoto v vročem.

Od teh jekel se največ uporablja Utop Mo 2, precej tudi A-6, ostali trije predstavniki pa znatno manj; najdražji od vseh je C-1, ki se tudi najtežje mehansko obdeluje, cene ostalih štirih jekel so si precej enake in tudi precej nižje kot pri C-1. Navadna delovna trdota je najvišja pri C-1 (65 HRC), nekoliko nižja pri A-3, še z manjšo trdoto pa se uporabljajo A-6, S-6 in Utop Mo 2. Po enakem vrstnem redu se zmanjšuje tudi največja dosegljiva trdota teh jekel; debeline do 25 mm vedno in pri vseh prekalijo.

Dimenzijske spremembe pri kaljenju so velike samo pri S-6 in C-1 (ki se lahko kalita v olju) in varnost pri kaljenju je manjša kot za ostala tri jekla. Razogljivenje je povsod precej veliko. Trdota v valjanem stanju je okrog 500 HB pri prvih treh in okrog 400 HB pri C-1 ter S-6. Utop Mo 2 in S-6 sta v žarjenem stanju približno enako trda, nekoliko trša sta A-6 in A-3 in najtežje se doseže nizka trdota pri žarjenju jekla C-1.

POSEBNOSTI KOVANJA IN TOPLLOTNE OBDELAVE NAŠTETIH JEKEL

Jeklo A-3 se lahko kuje od 1100 do 900°C, A-6 pa od 1100 do 800°C; ohlajanje ni dopustno na zraku, temveč se mora po kovanju kos dati v izolacijsko sredstvo (pepel, sljudo, apno). Kovanje A-6 lahko povzroča težave. A-3 se žari na 820 do 850°C ter počasi ohlaja (20°C/h) do 550°C, nato lahko hitreje. Lahko se izotermno žari pri 760°C, 4–6 ur, ter ohlaja na zraku.

A-6 se žari na 750°C in tudi počasi ohlaja do 550°C, potrebno je dvakratno žarjenje.

Pred fino mehansko obdelavo se žari na odpravo napetosti pri 650 do 700°C.

Za kaljenje naj se ogrevata ti dve jekli v peči z zaščitno atmosfero, drugače pa tesnjeni v nevtralnem in rahlo ogljičujočem materialu. Naogljčenje je nevarno, ker zniža površinsko trdoto A-3

do 53 HRC, zato se večji kosi ogrevajo vedno na nižjo kalilno temperaturo kot manjši. Kalilne temperature za A-3 so med 970 in 990° C ter za A-6 med 830 do 870° C. Priporoča se predgrevanje na 800° C (za A-3) oz. 650° C (za A-6). Povečevanje avstenitizacijske temperature rezultira pri A-3 v večjo količino zadržanega avstenita kot pri A-6 in počasnejše ohlajanje prav tako povečuje vsebnost zadržanega avstenita.

Ti dve jekli se popuščata na 180 do 425 oziroma 180 do 550° C, kjer veljajo višje popuščne temperature za A-3, ki je bolj popuščno obstojen od A-6.

Statična torzijska žilavost je pri A-2 (podatkov o podobnem A-3 ni) za okoli 50 % večja kot pri jeklu 0-1 podobnemu našemu Merilo extra. Maksimalna žilavost za A-2 sta pri popuščni temperaturi 200 in 400° C. Če je glavna zahteva velika obrabna obstojnost, popuščamo na 200° C, če pa je žilavost, na 400° C.

Z višjo popuščno temperaturo se dimenzijske spremembe A-3 stalno zmanjšujejo, A-6 pa kaže minimum pri 200° in maksimum dimenzijske spremembe pri 300° C popuščne temperature. Največje dimenzijske spremembe zaradi kaljenja in popuščanja znašajo okoli 0,01 %.

Orodno jeklo S-6 z originalno oznako La Belle HT je po podatkih iz literature enako žilavo kot Utop Mo 1 ter bolj obrabno obstojno kot Utop extra, vendar manj kot jeklo tipa Osikro. Prednost tega jekla je nizka cena.

Jeklo S-6 se lahko kuje pri 1100 do 900° C, na temperaturi ne sme biti preveč časa, ker se rado razogljíči. Žari naj se v varovalni atmosferi ali tesnjeno v inertnem materialu in ne nad 810° C, ker lahko nastopi grafitizacija. Kali se brez nevarnosti z 910 do 950° C v olju, popuščno je obstojno do 300° C.

Jeklo Utop Mo 2 se razmeroma lahko kuje in se ohlaja po kovanju v peči. Izjemoma se veliki kosi normalizirajo, da se zveča prečna duktilnost. Žari se v nevtralnem materialu na temperaturi 840–900° C (po ameriških podatkih), ohlaja pa v peči vsaj do 550° C. Pri ogrevanju na kalilno temperaturo se predgrevajo komplicirani kosi na 650 in 850° C, enostavnejši na 700–800° C. Če mora prenašati v obratovanju velike udarce, pritiske, se orodje iz Utop Mo 2 popušča na trdoto 40 do 44 HRC. Vakuumsko lito jeklo pa se za podobno uporabo lahko popušča na 52 HRC.

Žilavost orodij iz tega jekla se poveča pri temperaturi 200–400° C, zato se priporoča ogrevanje orodij pred delovanjem. Kaljenje v olju ter popuščanje da večjo žilavost kot kaljenje na zraku in popuščanje na enako trdoto. Posebno značilna za Utop Mo 2 je visoka odpornost proti utrujanju in to ga dela primerne tudi kot konstrukcijsko jeklo.

Jeklo, ki ga imenujemo C-1, nima standardiziranega imena, prva pa ga je izdelala firma Carpenter. Pri ogrevanju za kovanje se naj pregreva na 750° C, kuje naj se zelo previdno in ohlaja prav

tako. Žarjenje je učinkovito le, če se opravi po posebnem režimu: z žarilne temperature 850° C se ohladi na 650° C, drži na tej temperaturi toliko časa, da se izravna temperatura po preseku, nato se zelo počasi (10° C/h) ohlaja.

Zelo rado se razogljíči, zato se priporoča ogrevanje za kaljenje v solni kopeli ali v peči z varovalno atmosfero. Kali se na zraku, če želimo majhne dimenzijske spremembe, ali v olju, če hočemo večjo trdoto ter manj škajenja.

Posebnost tega jekla je izredno otežkočena mehanska obdelavnost, brusnost, zato je najbolj ekonomično brusiti z diamantno ploščo.

Po naših podatkih ima jeklo C-1 žilavost v preiskovalnem območju popuščnih in kalilnih temperatur okoli 0,25 kpm/cm² (neprekovane probe) do 0,75 kpm/cm² (kovane probe) in trdote padejo od 65 HRC (po popuščanju na 150° C) na 62 HRC, če se je popuščalo na 300° C.

Pri toplotni obdelavi Prokrona 2 L special se mora posebno strogo paziti na sledeče: pred ogrevanjem za kaljenje se morajo vsi deli skrbno očistiti (maščob, oznak s svinčnikom; škodljivi so, pravijo, celo prstni odtisi). Podpore in vezi pri delani z globokimi rezi naj se pri ogrevanju za ogrevanju naj bodo iz nerjavnega jekla.

Deli z zelo različnimi preseki, ostrimi ogli, obkaljenje (in žarjenje) predgrevajo na 800° C. S kaljenjem v olju se doseže večja korozijska obstojnost in žilavost kot s kaljenjem na zraku.

Če hočemo doseči veliko korozijsko obstojnost, jeklo kalimo z višje kalilne temperature, če pa je potrebna žilavost, duktilnost, ga kalimo z nižje kalilne temperature. Glede časov držanja na kalilni temperaturi so dognali, da je za dimenzije pod 12 mm zadosti 30–60 min., za vsakih nadaljnjih 25 mm debeline pa se podaljša čas držanja na temperaturi za 30 min.

Zadržanega avstenita je do 30 volumenskih odstotkov in če ga hočemo čimveč odpraviti, je potrebno dvakratno popuščanje in po vsakem popuščanju podhlajevanje do –75° C.

Značilen je padec žilavosti in korozijske obstojnosti po popuščanju na 480° C. Proti napetostni koroziji dobrodejno učinkuje dvojno popuščanje. Veliko skrbi lahko povzroča pri martenzitnem nerjavnem jeklu, kot je Prokron 2 special vodikova krhkost, ki se pojavi po kaljenju v olju in svetlem žarjenju v atmosferi vodika ali disociiranega amoniaka. Če se pojavi na jeklu kaljenem v olju zelen oksid, se mora pred popuščanjem odstraniti, ker drugače ovira sproščanje vodika.

PREIZKUSNI REZULTATI

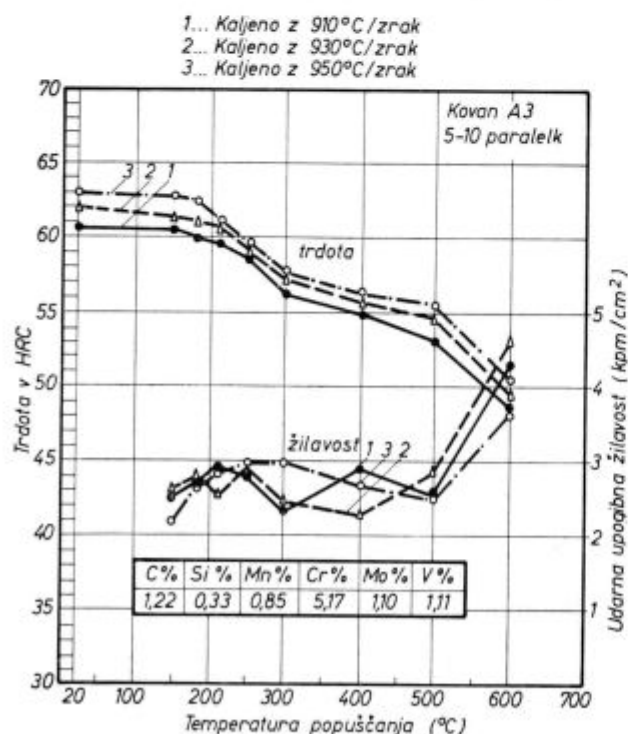
Kvalitete, za katere smo predpostavljali, da so primerne za orodja, kjer se zahteva precejšnja žilavost (npr. defibratorji), smo izdelali na majhni poizkusni peči in ugotovili, da se vse ugodno lijejo razen tipa C-1. Vse šarže niso povsem v mejah

kemijskih sestav predpisanih po inozemskih normah: talina št. 6 v tabeli 1 ima za 0,6 % višjo vsebnost mangana, talina št. 8 iste kvalitete ima 0,09 % vanadija, ki pa ga originalne analize ne zahtevajo, ena od dveh šarž jekla C-1, t. j. talina št. 10 ima za 0,55 % višji molibden, ena od dveh šarž jekla S-6, t. j. talina št. 4 ima zelo nizek silicij. Ostale šarže pa po kemijski analizi povsem ustrezajo standardnim ameriškim sestavam.

Ta jekla ne povzročajo posebnih težav pri kovanju, razen tipa C-1, ki smo ga lahko kovali le pri temperaturah od 800 do 900° C. Podatki iz literature omenjajo kovaško temperaturo 1050 do 1100° C (vendar te številke pri nas niso potrjene).

Žarjenje tipov A-6, C-1 in obeh modifikacij prokronov je povzročalo težave. Pri A-6 se je dosegla ugodna obdelavnost z dvakratnim žarjenjem, jeklo C-1 pa se je s težavo že dalo obdelovati po žarjenju na 800° C in ohlajanju v peči. Jeklo Prokron 2 L special z višjim odstotkom ogljika se je moralo tudi dvakrat žariti, da se je dalo obdelovati, modificiran Prokron 2 L special (z dodatkom 1 % molibdena) pa je postal po drugem žarjenju še trši kot po prvem — trdota se je dvignila od **95 na 150 kp/mm²**. Po tretjem žarjenju na 600° C je trdota padla le do 120 kp/mm², toda obdelavnost je bila zelo dobra.

Grobo mehansko obdelane žilavostne probe smo kalili v razširjenem območju temperatur priporočenih v literaturi, zelo široko smo vzeli tudi preizkusno območje popuščnih temperatur in da bi lahko zares učinkovito ocenili vpliv toplotne

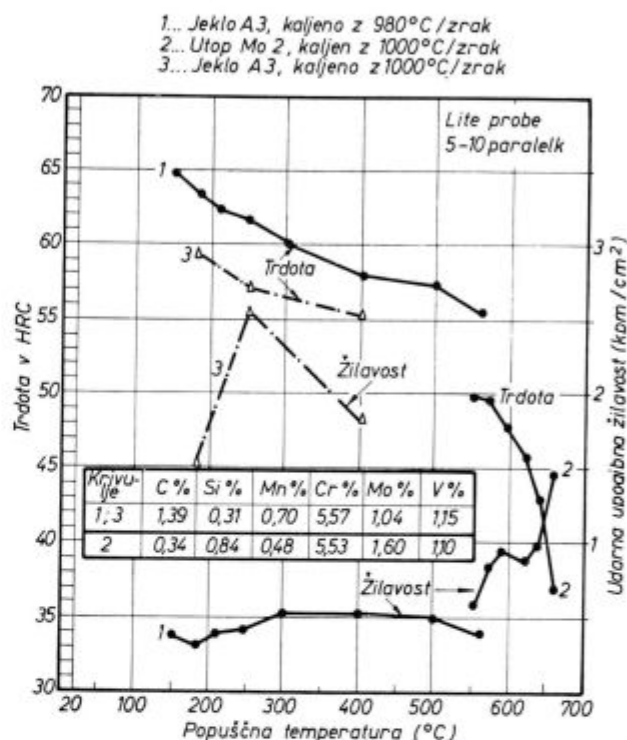


Slika 2

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih kovanjih prob iz jekla A-3

obdelave na žilavost in trdoto pri nas precej novih jekel, smo za vsako kombinacijo kalilnih in popuščnih pogojev planirali po pet prob.

Dilatometriške meritve so pokazale sledeče temperature premen A_{c1} in A_{c3} za A-6, C-1, A-3, S-6, (po vrsti): **710, 790; 735, 770; 760, 810; 790, 840**. Pri A-6 nismo dobili premene A_{r3} , pri modificiranih tipih Prokron 2 L special, ki imata premeno A_3 na temperaturi 850° C, pa sploh ni premen pri ohlajanju.



Slika 3

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih litih prob iz jekel A-3 in Utop Mo 1 (C.4751)

Probe s širokim območjem kalilnih in popuščnih temperatur, so bile namenjene predvsem preizkušanju žilavosti in merjenju trdote. Probe so bile na sredini izbrušene v obliki blage zaokrožitve polmera 10 mm in globine 1 mm. Takšno obliko zareze priporočajo za orodna jekla zaradi tega, ker je zaradi lokalne oslavitve trosenje manjše kot pri probah brez zarez, hkrati pa so vrednosti porušnega dela (imenovanega tudi udarna upogibna žilavost) zadosti velike in se s tem zveča razločevalna sposobnost pri določevanju vpliva toplotne obdelave in legiranosti, tj. vrste jekla.

Razmeroma veliko **žilavost** smo ugotovili pri A-3 kaljenem z raznih temperatur in popuščenem na 250° C. Dvakratni maksimum žilavosti pri 200 in 400° C, kot so ga dobili z zvojnimi žilavostnim preizkusom nismo odkrili najbrž zaradi manjše natančnosti Charpyjevega preizkusa. Vidna je tendenca premaknitve maksimuma in minimuma žilavosti k višjim popuščnim temperaturam z višjo

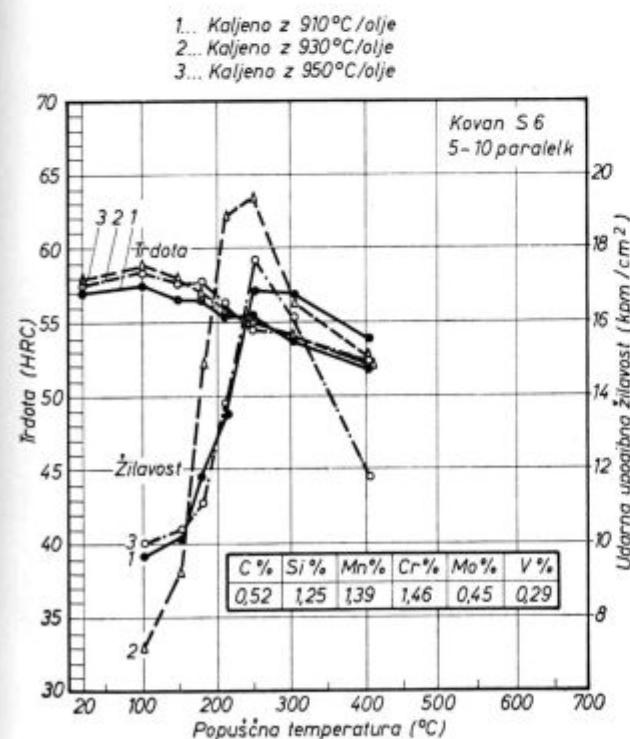
kalilno temperaturo. Maksimum pri popuščni temperaturi 210° C ustrezajo za kalilne temperature 930, 950, 980° C maksima pri 250, 300 in 300° C. Minimum za 910° C kalilne temperature pri 300° C popuščne temperature ustrezata minima pri 400 (za 930) in 500° C (za 950° C). Prob kaljenih z 980° C pa nismo popuščali nad 550° C, tako da ne vemo, kje je minimum žilavosti (slika 2 in 3).

Na kovanih probah kaljenih in popuščanih do trdote 55 HRC smo izmerili žilavosti od 2 do 3 kpm/cm², če se popušča na 50 HRC pa se zviša žilavost na 4 kpm/cm². Žilavost litih prob je veliko manjša, znaša okoli 0,5 kpm/cm², le pri kaljenju s 1000° C je 2,5 kpm/cm². Krivulje trdot v odvisnosti od popuščnih temperatur kažejo precej hiter padec v popuščnem območju 200—300° C z nadaljnjim popuščanjem do 500° C se trdota zniža le za 2 do 3 Rockwella, pri višjih popuščnih temperaturah se trdote spet hitreje zmanjšujejo.

Diagrami trdote in žilavosti v splošnem soglašajo s podatki iz literature o tem jeklu.

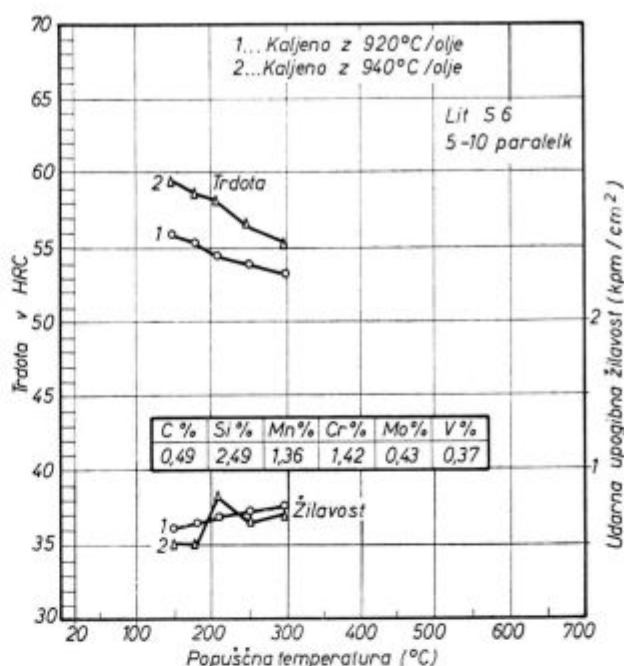
Jeklo za vroče delo **Utop Mo 2** smo preizkušali samo v stanju popuščenem na 550 do 650° C (sl. 3). Trdota z rastočo popuščno temperaturo pada, žilavost se veča in doseže po popuščanju na 760° C tudi 3 kpm/cm², vendar je večina vrednosti okoli 1,1 kpm/cm², zato je tudi srednja vrednost nižja. Za lite probe pa je to kar dober rezultat! Kovane probe tega jekla so za okoli 15-krat bolj žilave.

Diagrama na slikah 4 in 5 kažeta vpliv toplotne obdelave na trdoto in žilavost orodnega jekla S-6.



Slika 4

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih kovanih prob iz jekla S-6



Slika 5

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih litih prob iz jekla S-6

Prva šarža (kovana) ima nižjo vsebnost ogljika, kot je predpisana za jeklo S-6 po ameriških standardih, zato je tudi žilavost prob nekoliko večja, trdota pa manjša kot pri originalnih ameriških jeklih.

Potek žilavostnih krivulj je podoben kot pri ameriških jeklih te legirne skupine S-2, S-4, S-5, ki kažejo maksimum žilavosti po popuščanju na 200 do 300° C. Naše probe so imele žilavost 17 do 19 kpm/cm² po popuščanju na 250°, pri višjih in nižjih popuščnih temperaturah pa so žilavosti veliko manjše: pri 150° C so npr. okoli 10 kpm/cm² in pri 400° C okoli 12 do 15 kpm/cm².

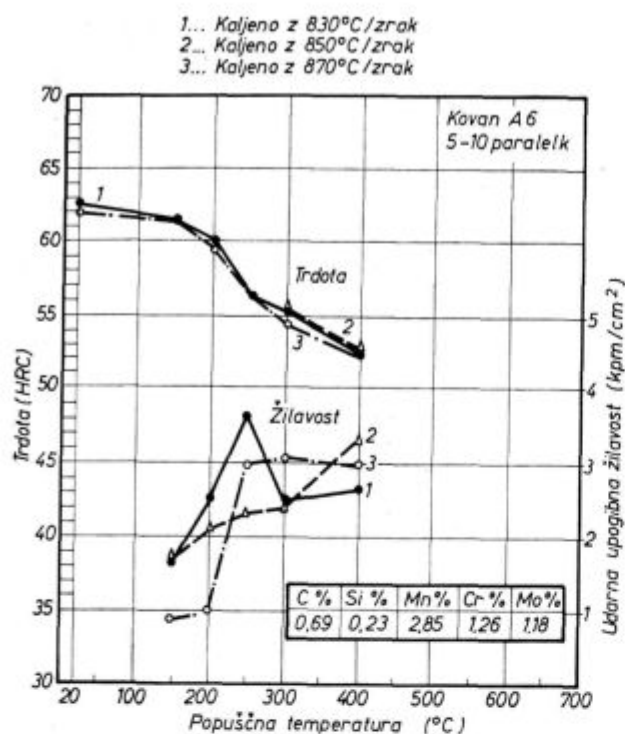
Trdote se po kaljenju s temperatur med 910 in 950° C ne razlikujejo veliko, predvsem po popuščanju na višje temperature ne. Trdota po popuščanju na 100° C je večja kot pa v kaljenem stanju in znaša 57 do 59 Rockwella; s popuščanjem na 400° C se zniža do 53 HRC.

Žilavost litih prob iz jekla S-6 je veliko manjša in znaša 0,5 do 0,8 kpm/cm² v območju popuščnih temperatur 150—300° C, trdota je od 59 do 53 HRC.

Žilavost jekla S-6 in Utopa Mo 2 se lahko primerjata, pri tem pa ima S-6 za okoli 4 enote Rockwella večjo trdoto.

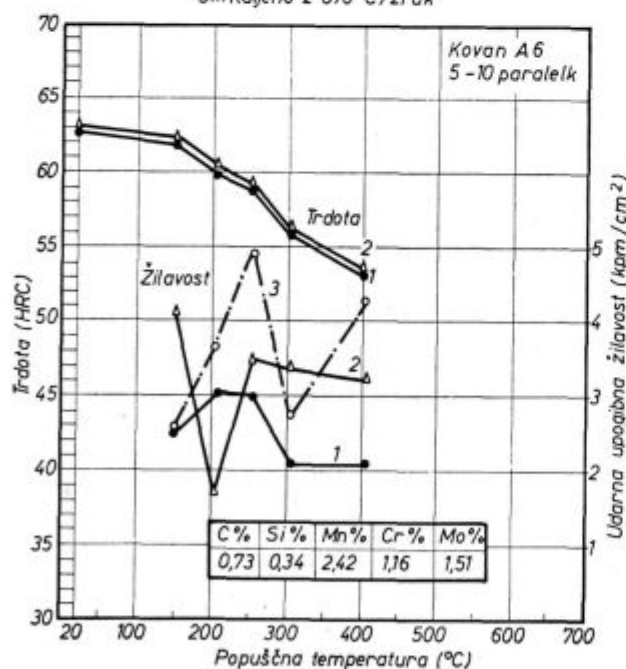
Po teh podatkih se vidi, da je za S-6 ugodna kalilna temperatura pri 940 do 950° C, popuščna pa pri 250° C.

Diagram za A-6 kaže na sliki 6 porast žilavosti do 250° C popuščne temperature pri kalilnih temperaturah 830 do 870° C, z višanjem popuščne temperature pa pade žilavost prob kaljenih z 830° C od 3,5 na 2,5 kpm/cm².



Slika 6
Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih kovanih prob iz A-6

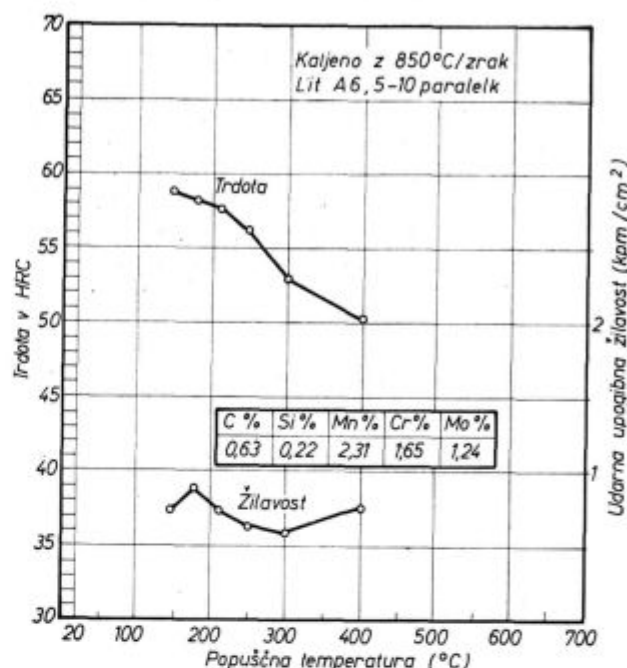
1... Kaljeno z 830°C/zrak
2... Kaljeno z 850°C/zrak
3... Kaljeno z 870°C/zrak



Slika 7
Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih kovanih prob iz A-6

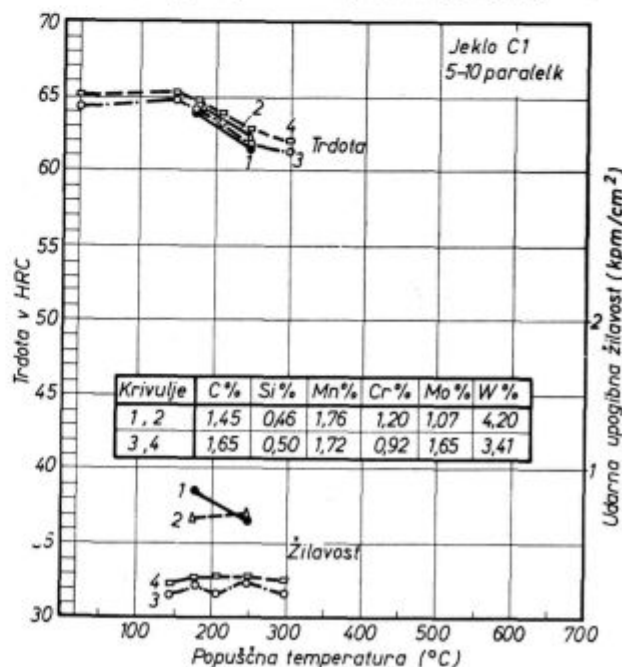
Trdota po popuščanju na 250°C je okoli 57 HRC. Probe istega jekla druge šarže so bile tembolj žilave čim višja je bila kalilna temperatura: žilavost je znašala tudi do 5 kJ/m² pri trdoti do 59 HRC (slika 7).

Lite probe te kvalitete (slika 8) so imele žilavost le do 0,8 kJ/m², maksimum je nastopal pri 180°C popuščne temperature za razliko od kovanih, ki so bile najbolj žilave po popuščanju na 250°C. Trdota pri največji žilavosti je tudi okoli 58 HRC.



Slika 8
Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih litih prob iz A-6

1... Kovane probe, kalilna temperatura 840°C/zrak
2... Kovane probe, kalilna temperatura 870°C/zrak
3... Lite probe, kalilna temperatura 840°C/zrak
4... Lite probe, kalilna temperatura 870°C/zrak



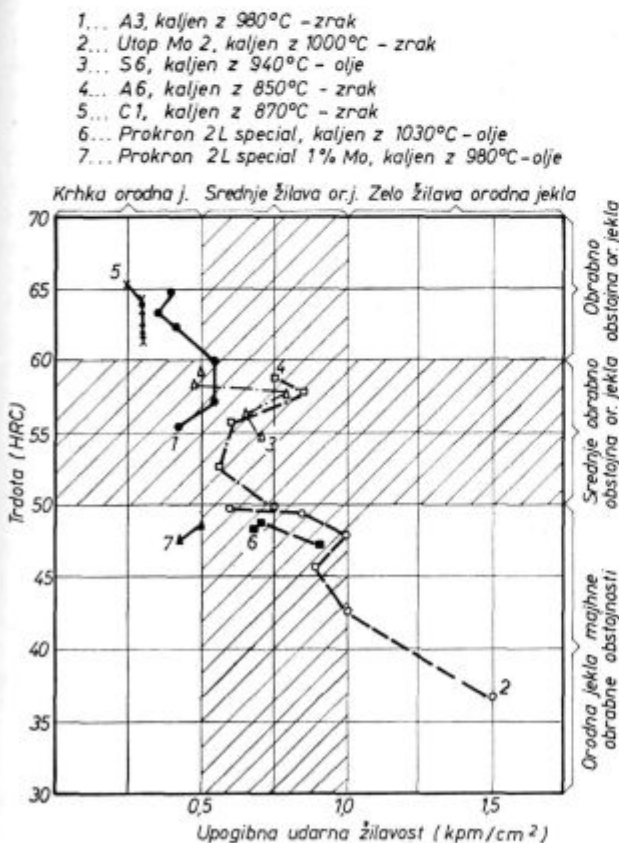
Slika 9
Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih prob iz C-1

Slika 9 kaže, da je žilavost jekla C-1 zelo majhna.

Žilavost obeh variant Prokron 2 L special je po kaljenju z 980—1030°C in popuščanju na 400 do 500°C okoli 0,5—0,7 kpm/cm². Trdota je pri tem okoli 50 HRC.

PRIMERJAVA PREIZKUŠANIH JEKEL

S podatki, ki smo jih dobili s preizkusi novih orodnih jekel in našega Utop Mo 2 ter Prokron 2 L special, smo lahko izrisali diagram odvisnosti trdote in žilavosti litih prob (slika 10). Odkrili smo, da se krivulje precej dobro prilegajo diagonalni diagramu, ki poteka od trdote 70 HRC ter žilavost 0 do trdote 30 HRC ter žilavosti 1,75. Ti dve mejni točki seveda nista doseženi, ker se krivulji za C-1 in Utop Mo 2 (za najbolj obrabno obstojno in najbolj žilavo od teh jekel) končata pri trdoti 65 HRC in žilavosti 1,5 kpm/cm². Vzdolž zamišljene korelacijske črte se vrstijo od največjih trdot k največji žilavosti v tem območju jekla C-1, A-3, S-6, A-6, Utop Mo 2. Modifikacija Prokron 2 L special se lahko smatra kot prehod od A-6 k Utop Mo 2. Delno se prekrivajo vrednosti za A-3 in S-6 (pri največji žilavosti jekla A-3 in največji trdoti S-6) ter A-6 in S-6. Pri tem se pokaže A-6 boljši kot S-6, ker doseže pri enaki največji trdoti



Slika 10

Odnos žilavost — trdota za lite toplotno obdelane probe opisanih orodnih jekel

za 50 % večjo žilavost in tudi maksimalne žilavosti so večje pri A-6 kot S-6. To velja za lite probe.

Pri kovanih toplotno obdelanih probah iz S-6 pa so dobili večje žilavosti kot pri kovanih probah A-6. S šrafuro je nakazano področje ugodne kombinacije žilavosti in obrabne obstojnosti orodnih jekel. To razmejitev pa ni treba jemati preveč strogo, storjena je po približnih ocenah in po številkah iz literature o modernih orodnih jeklih. Odlične kombinacije žilavosti ter obrabne obstojnosti so lastnosti jekel Utop Mo 2, A-3, S-6, A-6.

Primerjava žilavosti in trdote nam sicer veliko pove, še več pa izdržljivost orodij izdelanih iz teh jekel. Ker so jekla šele na pragu uporabe, seveda ni na razpolago obsežnih podatkov o njihovih prednostih za različna orodja.

Hitreje kot z zasledovanjem izdržljivosti pravih orodij se dobijo podatki, če opravimo ustrezne obrabne preizkuse na zadosti zanesljivem modelu. Precej dobro sliko o obrabni obstojnosti posameznih orodnih jekel kaže tabela 2, kjer so podane obrabe rezil iz teh jekel in hkrati količine snovi, ki so jo ta rezila odstranila s posebnih prob po 9 minutah. Obdelovale so se probe iz poboljšane jekla C-35. Normalni tlaki na vsakem rezilu so znašali od 0,5 do 1 kp na milimeter dolžine rezila. Hitrost rezila je bila pri tem na enem koncu nič in na drugem, udarno obremenjenem 0,24 m/sek. Rezilo je v vlogi čelnega rezkarja. Rezultati tega preizkusa obrabne obstojnosti rezil so ugodni, nekoliko pa preseneča razmeroma majhna izdržljivost orodja iz kovanega C-1. Iz tabele se vidi možnost uporabe jekla A-6 namesto dražjega Utop Mo 2, ko gre za hladno delo. Omeniti bi bilo vredno dve dejstvi. Prvo je to, da so se tudi pri preizkusih, kjer so bili drugačni pogoji obrabe in drugačen obdelovani material, pokazali podobni odnosi med izdržljivostmi kovanih ali litih nožev iz teh vrst jekel. Nič nenavadnega ni, da se pokaže posamezen nož iz litega A-6 obstojnejši od noža iz kovanega jekla A-3, ali pa nož iz litega A-3 obstojnejši od noža iz jekla C-1. Drugo dejstvo, ki daje polno podporo natančnosti tovrstnih preizkusov pa je, da so se dosegla pri različnih obdelovanih snoveh podobna razmerja med izdržljivostmi nožev iz raznih jekel, čeprav se pri preizkusih na vsaki vrsti obdelovane snovi vzelo od vsakega preizkušene jekla samo po eno rezilo.

Glede na to, da sodijo obrabni preizkusi med najbolj nenatančne tehnološke preizkuse, so rezultati, dobljeni na Ravnah, prava izjema od pravila.

Druge vrste podatki o obstojnosti orodij iz raznih orodnih jekel so se dobili z merjenjem vzdržnosti defibratorskih mlinskih plošč. Defibrator imenujejo mlin, v katerem vlaknajo les, da se iz njega lahko izdela lesnit. Mlinske plošče v defibratorju so pri normalnih pogojih delovanja obremenjene samo na mirno drsno obrabo z lesom. Izdržljivost mlinskih plošč iz raznih jekel se v tabeli 3 primerja z izdržljivostjo orodij, izdelanih iz teh istih jekel in uporabljenih za odrezovanje

Tabela 2 — Obrabna obstojnost preizkušanih jekel je podana z obrabo rezila in s količino snovi, ki jo je odrezal v določenem času nož iz posameznega jekla. Žilavost in trdota sta merjeni na probah enakih dimenzij.

Jeklo rezila	Količina odrezane snovi (mg)	Obraba rezila (mikroni)	Razmerje količine odrezane snovi in obrabe rezila	Trdota (HRC)	Žilavost (kpm)
12 Mn L (CL.3160)	390	150/170	1,2	—	—
S-6 kovan	310	35/75	2,8	55	17,0
Prokron 2 sp. L (CL.4570)	410	90/145	1,8	48,5	0,7
Utop Mo 2 lit. (C.4753)	460	85/120	2,2	48	0,9
A-6 lit	470	25/45	6,7	57,5	0,8
A-3 lit	740	15/45	12	62,5	0,4
A-3 kovan	490	20/40	8	61,5	2,8
C-1 lit	1000	15/35	20	65	0,2
C-1 kovan	570	25/35	9,5	64	0,7

OPOMBA: Od dveh števil, ki podajata obrabo rezila v mikronih, velja prva za razmeroma mirno potekajočo obrabo pod velikim tlakom in pri majhni hitrosti in druga je rezultat udarne obrabe.

kovine. Rezila so obremenjena na drsno obrabo s kovino, pri tem pa obraba ni mirna, temveč kombinirana z zmernimi udarci na rezilni rob. Obstojnost plošč merimo z obratovalnimi urami, obstojnost rezil pa z globino obrabe na dveh različnih mestih. Prva številka pomeni obrabo tistega dela rezila, ki je obremenjeno na razmeroma mirno obrabo pri majhni hitrosti in pod velikim tlakom, druga pa obrabo tistega dela, ki ga poleg drsne obrabe prizadevajo še zmerno močni udarci. V zadnji vrstici sta navedena rezultata za dve jekli, ki spadata k istemu legirnemu tipu in imata podobne tehnološke lastnosti. Iz jekla C-1 so bila izdelana rezila, iz jekla BRE (C.4880) pa mlinske plošče.

Podatki prvega stolpca so izvleček iz poročila o izdržljivosti segmentov v tovarni lesonita, drugi

stolpec je posnet po drugem stolpcu tabele 2. Primerjava obstojnosti posameznih plošč, oziroma rezil, z obstojnostjo ustreznih orodij iz jekla 12 MnL (CL.3160) pokaže pravilno zakonitost. Razliko v indeksih izdržljivosti jekel BRE (C.4880) in C-1 lahko razložimo z dejstvom, da so mlinski segmenti na videz morali razmeroma manj izdržati kot rezila, ker so se prvi enkrat ali celo dvakrat brusili na ostrino robov, rezila pa so se uporabljala le toliko časa, da še ni bilo treba ponovno brusiti. Realneje bi bilo primerjati čas obratovanja mlinskih plošč do prvega brušenja in obrabo rezil v času, ko so se zatopila do neuporabnosti. Kljub tej nujni nedoslednosti v primerjanju obstojnosti so rezultati uporabni, ker lahko ocenimo, koliko je neenotnost rezultatov odvisna od neenakih pogojev obrabe.

Tabela 3 — Primerjava izdržljivosti mlinskih plošč v defibratorjih z izdržljivostjo preizkusnih rezil

Jeklo orodja	Izdržljivost defibratorskih plošč (h)	Obraba rezil (mikroni)	Izdržljivost glede na plošče iz 12 Mn	Izdržljivost rezil glede na rezilo iz 12 Mn
12 MnL (CL.3160)	500	150/170	1	1/1
Prokron 2 sp. L (CL. 4570)	900	90/145	1,8	1,67/1,17
Utop Mo 2 (C.4753)	1100	85/120	2,2	1,76/1,42
C-1, BRE (C.4880)	1500	15/35	3	10/4,75

Tabela 4 — Izdržljivost mlinjski segmentov in rezilna sposobnost orodij iz istih jekel

Jeklo orodij	Mlin			Rezila		
	Izdržljivost (h)	Razlike v izdržljivosti (h)	Indeks	Odrežejo snovi (mg)	Razlike v rezilnosti (mg)	Indeks
12 MnL	500	400	2	390	20	0,4
Prokron 2 sp. L	900	200	1	410	50	1
Utop Mo 2	1100	400	2	460	110	2,2
C-1, BRE	1500			570		

Podobne podatke dobimo v tabeli 4, kjer se kot merilo obrabne obstojnosti podaja količina odrezane snovi namesto obrabe rezil.

Po tej tabeli se ne ujemata izdržljivosti mlinjskih segmentov in rezil iz jekla 12 Mn L. To se lahko razloži. Rezila so obremenjena na udarno obrabo, mlinci pa na mirno drsno. Ker so jekla tipa 12 Mn močno nagnjena k utrditvi s hladno deformacijo, je jasno, zakaj so se rezila iz tega jekla razmeroma bolje obnesla kot mlinjske plošče.

Uporaba

Jeklo A-3 predstavlja dobro kombinacijo žilavosti in obrabne obstojnosti tako, da je glede teh dveh lastnosti med jekli tipa Utop Mo 2 in OCR 12. Če želimo večjo žilavost, kot jo ima A-3 ter manjše dimenzijske spremembe pri kaljenju in nižjo kalilno temperaturo, vzamemo jeklo A-6, ki pa je manj obrabno obstojno in se težje mehansko obdeluje. Za komplicirane matrice se priporoča jeklo A-6. Tipična uporaba teh dveh jekel so **orodja za globoki vlek, kalupi (forme) pri litju umetnih snovi, patrice za vtisovanje, gladine, oblikovalne, vlečne matrice, oblikovalni valji**.

Jeklo S-6 se uporablja za **velike sekače, rezila škarij, matrice, rezalce premoga** ter za držala orodij iz karbidnih trdin ali hitroreznega jekla. Ta držala se kalijo na zraku, če je orodje trdina in v olju, če je orodje iz hitroreznega jekla.

Jeklo Utop Mo 2 se uporablja po svetu za utope, matrice pri vročem stiskanju, trne, kalupe za litje aluminija, zlitin cinka, magnezija, kalupe za litje umetnih snovi, **rezila škarij za vroče delo, matrice za izstiskovanje aluminijevih, magnezijevih zlitin**.

Tipična uporaba jekla označenega s C-1 so **obloge za peskomete, matrice za globoki vlek, obloge pri kalupih za opeko, izstiskovalne matrice za keramične dele, orodje pri stiskanju trdin**.

Jeklo Prokron 2 L special se uporablja za dele, ki prihajajo v stik z morsko vodo. To so razni deli

črpalk, osi, ventili. Vse bolj se tudi uporablja za razna orodja v lesni industriji, kjer morajo biti strojni deli odporni proti organskim kislinam.

Zaključek

Toplotna obdelava izdelanih kvalitetnih orodnih jekel je bila tako ugodna, da so probe pokazale zares dobre trdote, žilavosti in obrabne obstojnosti. Rezultati so povsem primerljivi z vrednostmi, ki jih dobivajo drugi svetovno znani producenti orodnih jekel. Kovanje jekla C-1 je bilo v redu opravljeno kljub temu, da je območje kovaških temperatur zelo ozko in kljub temu, da smo to območje odkrili pri čisto drugačnih temperaturah, kot navaja del literature. Primerno in zahtevno žarjenje jekel C-1 in Prokron 2 L special modificiran je omogočilo, da so se lahko probe mehansko obdelale. Posebna prednost novih jekel med preizkušanimi je ta, da se kalijo zelo enostavno z razmeroma nizkih temperatur in na zraku. Toplotna obdelava je zato cenena in ne povzroča velikih dimenzijskih sprememb izdelka, kar pomeni, da je po kaljenju in popušcanju treba le še zelo malo brušenja. To je nadaljnja pocenitev, ki jo ta jekla omogočajo pri izdelavi orodij.

Podatki o obstojnosti orodij iz teh jekel povedo, da se zelo splača orodja ulivati. Posebej se to seveda splača pri jeklih, ki se težko kujejo. Razlike v izdržljivosti litih in kovanih orodij so po teh enkratnih preizkusih od 50 do 100 %. Sodeč po količini snovi, ki jo odstruži nož glede na enoto obrabe rezila, so za rezilna orodja odlična jekla A-6, A-3, C-1. Seveda pa bodo popolnejšo podobo o uporabnosti in primernosti dale izdržljivosti različnih orodij izdelanih iz teh jekel.

Viri

1. Roberts A. A., J. C. Hamaker, A. R. Johnson: Tool Steels 3rd Ed. Metals Park, Ohio, American Society for Metals 1962

ZUSAMMENFASSUNG

Es sind einige Probleme in Verbindung mit der mechanischen Bearbeitung, Wärmebehandlung und Schmieden einiger Werkzeugstähle der Spitzenqualität günstig gelöst worden. Die Prüfungen der Härte der Kerbschlagzähigkeit und der Dauerstandfestigkeit der Werkzeuge aus diesen Stählen haben gezeigt, dass es sich in jeder Hinsicht lohnt sie zu gebrauchen. Neben der ausgezeichneten Abriebfestigkeit oder Kerbschlagzähigkeit oder einer Kombination dieser beiden ist der Vorteil der modernen Werkzeugstähle eine

einfache und billige mechanische und Wärmebehandlung. Die Ergebnisse zeigen, dass die gegossenen Werkzeuge meistens besser von der geschmiedeten sind, wenn diese auch dort angewendet werden, wo starke schlagartige Beanspruchungen auftreten. Die Auswahl des richtigen Stahles für ein bestimmtes Werkzeug ermöglichen die Ergebnisse über die Kerbschlagzähigkeit dieses Stahles und dessen Abriebfestigkeit.

SUMMARY

Some problems connected to mechanical working, heat treatment, and forging of some top tool steels are satisfactory solved. Strength, toughness, and durability tests of tools made of these steels showed that they can be used in any case. Beside the very good resistance to wear or toughness, or combination of both, the advantage

of modern steels is their low production price, simple heat treatment and mechanical working. Results of investigations show that the cast tools are generally better than forged ones if they are used for operations with moderate impact loads. Choice of the correct steel for single tool is enabled by data on toughness of the steel, and on its resistance to wear.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Положительно разрешены некоторые проблемы в связи механической обработки, теплового режима иковки некоторых сортов инструментальной стали высокого качества.

Испитание твердости, вязкости и прочности инструментов из этой стали показали, что их употребление во всех отношениях рекомендуется. Кроме превосходной износостойчивости и вязкости, а также сочетанием этих свойств, преимущество сортов

этих сталей состоит также в том, что их механическая и тепловая обработка весьма простая и дешевая. Исследования показали, что литейные инструменты из этих сталей гораздо лучше откованных при работах при которых наступает умеренное ударно-разрывное напряжение.

Выбор подходящей стали для определенного инструмента дают данные о вязкости и износостойчивости этой стали.