

Žilavost orodnih jekel

I. OBCUTLJIVOST RAZNIH METOD ZA DOLOČANJE ŽILAVOSTI ORODNIH JEKEL

Članek podaja v prvem delu kratek pregled metod, ki se uporabljajo za določevanje žilavosti orodnih jekel. Poseben poudarek je v primerjavah občutljivosti različnih metod preizkušanja. S tem je določeno potrebno število ponovitev pri posameznih poizkusih za določeno statistično zanesljivost rezultatov.

V drugem delu je prikazana uporabnost posameznih metod za preizkušanje žilavosti glede na vrsto orodnega jekla in njegovo uporabo. V večini primerov so statične metode preizkušanja primernejše od udarnih.

Za določanje žilavosti konstrukcijskih jekel se poslužujemo navadno udarno upogibnih preizkusov, ki se opravljajo na strojih charpy in izod. Natančnost preizkusa se lahko poveča z manjšim, lažjim nihalom in z večjo globino ter ostrino zareze na probi. Ta metoda določanja žilavosti se uporablja tudi za orodna jekla, so pa rezultati precej manj zanesljivi kot pri konstrukcijskih jeklih in so tudi vrednosti za žilavost manjše. Žilavost orodnih jekel se določa še z zvojnimi preizkusi, s statičnimi udarnimi, statičnimi upogibnimi preizkusi ter s preizkusi žilavosti ostrine in preizkusi na večkratno udarjanje. Posebno za preizkušanje orodnih jekel potrebujemo občutljivo metodo merjenja žilavosti, zato so ravno z orodnimi jekli dobljeni podatki o natančnosti in občutljivosti raznih načinov določanja žilavosti.

Udarno upogibni preizkus

Žilavost se določa na udarni upogibni način večinoma z napravo charpy ali izod, redkokdaj z rotirajočo udarno napravo guillery. Lažje je preizkušati pri visokih in nizkih temperaturah na charpy nihalu kot na izodovem udarnem stroju.

Trosenje vrednosti je pri določanju žilavosti na charpy kladivu in sploh z udarnim upogibnim preizkusom večje pri milejši zarezi. Največje je trošenje, če uporabljamo probe brez zarez.

Za preizkušanje zelo žilavih jekel se pri raziskovanjih uporabljajo probe, zarezane s treh strani. Z zarezami od strani se izognemu delu za **krčenje, stiskanje** na stranskih ploskvah in povečamo prečne natezne napetosti.

Navadni Charpyjev preizkus se pri orodnih jeklih precej slabo obnese: če imamo probe z normalno DVM zarezo, so vrednosti za porušno delo tako majhne, da je premajhna razločevalna spo-

sobnost. Če pa vzamemo probe brez zarez, je zelo veliko trošenje rezultatov, vendar se v praksi uporabljajo za določevanje žilavosti orodnih jekel probe brez zarez.

Prednost udarnega upogibnega preizkusa pred drugimi metodami določevanja žilavosti je možnost izvajanja pri visokih in nizkih temperaturah, zato se poizkuša na razne načine povečati natančnost preizkusa in določiti s statističnimi metodami gotovost pri rezultatih preizkušanja.

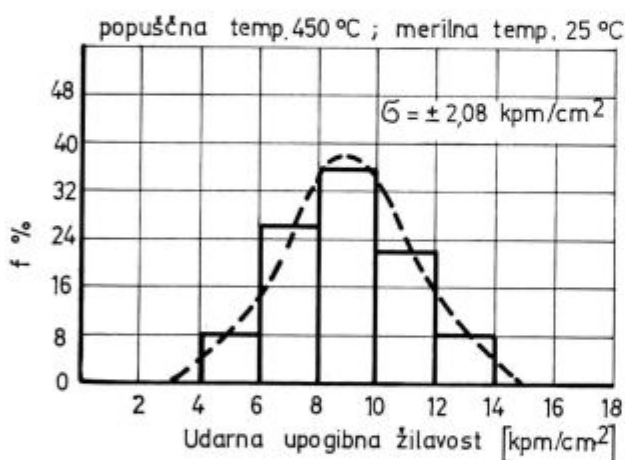
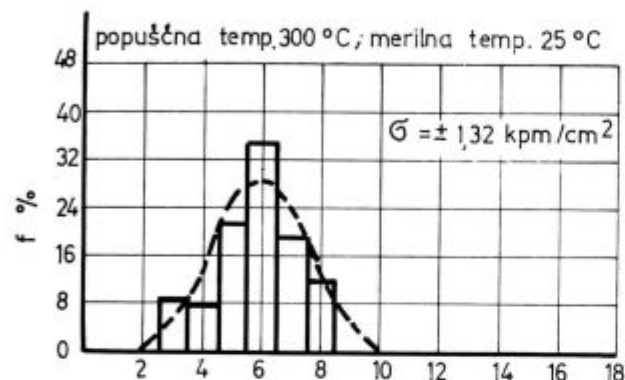
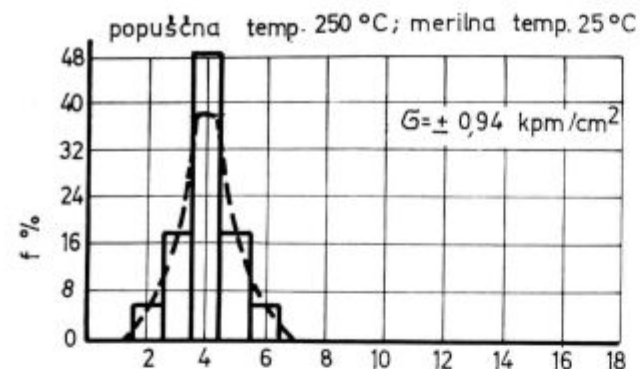
V ZDA¹ so začeli preizkušati orodna jekla s probami, ki imajo le zelo plitvo in milo zarezo, tako da ni velikih koncentracij napetosti. Zareza je v obliki zaokrožitve s **polmerom 12,7 mm**. Da je to optimalna vrednost (1/2 in.) so ugotovili s preizkušanjem prob, ki so imele zarez s polmeri 3,175 mm, 6,35 mm, 12,7 mm in 25,4 mm. Dimenzije prob so bile pri tem $11,4 \times 11,4 \times 51,3 \text{ mm}^3$.

Zareze so izbrusili v smeri pravokotno na vzdolžno os probe, in da bi se odstranile raze od brušenja, so zarez še spolirali. Poudarjajo, da je poliranje zarez brezpogojno potrebno, prav tako je zelo važno centriranje prob pri preizkušanju: razdalja od sredine zarez do ene podpore se lahko razlikuje le za 0,025 mm od razdalje centra zarez do druge podpore.

Udarno delo se je močno zvečalo z večjim polmerom zaokrožitve zarez pri orodnih jeklih, ki se kalijo na zraku, in jeklih za delo v vročem, kot so utop Mo-1, utop 2, utop 3 in pri jeklih, ki so odporna proti obrabi. Pri jeklih, ki se kalijo v olju (npr. merilo) pa je z večjim polmerom zarez povečanje dela za zlom le majhno. Z višjo preizkuševalno temperaturo se poveča delo, potrebno za zlom probe.

Ugotovili¹ so, da se dajo na osnovi rezultatov udarne upogibne žilavosti, dobljenih na probah z zarezo polmera 12,7 mm **ločiti med seboj različna orodna jekla** in da se lahko določijo **optimumi toplotne obdelave**.

Pri statističnem določevanju občutljivosti tj. uporabnosti udarnega upogibnega preizkusa za orodna jekla so uporabili² probe $10 \times 10 \times 55 \text{ mm}^3$. Vzeli so po pet paralelnih prob (enako toplotno obdelanih) in so dobili žilavost od 2 do 9 kpm/cm². Enako kot v praktični uporabi in z zvojnimi udarnimi preizkusom so tudi tu dobili pri jeklih tipov OCR-12 special, OCR-12, OW-1 zelo nizko žilavost (predvsem pri nižjih popuščnih temperaturah), večjo žilavost pa sta pokazali jekli tipa merilo in merilo ekstra.



Slika 1

Pogostost nastopanja posameznih vrednosti udarne upogibne žilavosti za jeklo tipa C.3840 — merilo³

Slika 1 kaže pregled nad trosenjem vrednosti za udarno upogibno žilavost pri petdesetih paralelnih probah brez zarez iz orodnega jekla tipa merilo ekstra. Standardni odklon je z višjo temperaturo popuščanja večji in znaša pri 250 °C $\pm 0,94$ kpm/cm², pri 300 °C $\pm 1,32$ kpm/cm² in pri 450 °C je $\pm 2,08$ kpm/cm². Z višjo popuščno temperaturo se dobi tudi večja srednja vrednost za žilavost, kot lahko vidimo iz diagramov. Poveča se od 4,03 kpm/cm² za popuščno temperaturo 250 °C na 9,03 kpm/cm² za popuščno temperaturo 450 °C. Tako lahko rečemo, da se večja standardni odklon z naraščanjem srednje vrednosti.

S statističnimi metodami so ugotovili², da pet paralelnih prob ne zadostuje za razločevanje posameznih orodnih jekel in za določanje območja krhkosti. Za relativno napako $\pm 10\%$ in statistično gotovost 99 % je potrebnih 30 do 40 paralelnih prob pri preizkušanju jekla tipa merilo — ekstra. Podobne številke veljajo za ostala orodna jekla z žilavostjo 2—9 kpm/cm². V obratni praksi udarni upogibni preizkus z zarezo ali nezarezo proba ni zadovoljiv za orodna jekla, ker zahteva preveč prob. To kaže na majhno občutljivost metode.

Žilavostni preizkus z večkratnim udarjanjem, žilavost ostrine

Način preizkušanja z udarjanjem je precej podoben udarnemu upogibnemu preizkusu (Charpy) in preizkusu na žilavost ostrine. Nekateri trdijo³, da je to najbolj občutljiva metoda za določanje žilavosti krhkih trdih jekel. Znani so nam podatki za brzorezno jeklo 18-4-1. Naprava za določanje odpornosti na udarjanje ima sledeče glavne dele:

- nihalo z utežmi,
- primež za probo,
- merilno ploščo z razdelitvijo višine v centimetrih.

Nihalo se spušča z vedno večje višine, dokler ne nastopi zlom probe. Odpornost proti udarcem se potem določi iz višine nihala ob končnem udarcu (ko nastopi zlom) in teže uteži. Rezultat se podaja navadno v gcm. Probe so imele mere: dolžina 50,8 mm in premer 3,8 mm. Pri preizkusu na žilavost ostrine⁴ je proba v obliki rezila: udarjani del je zbrušen pod kotom 45°.

Statični upogibni preizkus in primerjava z raztržnim preizkusom

Pri statičnem upogibnem preizkusu ločimo dva načina obremenjevanja:

- sila deluje v eni točki,
- sila deluje v dveh točkah.

Priporočajo⁵ uporabo sistema z obremenjevanjem v dveh točkah, ker je pri tem načinu srednji del probe po dolžini enakomerno obremenjen.

Dimenzije prob so pri nemških avtorjih⁵: debelina okrogle probe $d = 5$ mm ali stranica kvadratne 6 mm, dolžina 100 mm. Razdalje podpor so bile 75 mm (okrogle probe) oz. 70 mm (kvadratne probe). Hitrost obremenjevanja je bila 10 kp/s.

Angleški avtorji⁷ uporabljajo probe velikosti $2,54 \times 5,08 \times 76,2$ mm³. Izdelana je tudi posebna naprava za preizkušanje na upogib in ta omogoča izvedbo preizkusov pri povišanih in pri nizkih temperaturah.

Največja merljiva deformacija na napravi je 2,5 mm, za brzorezna jekla pa zadostuje 1 mm.

Z rezultati preizkusa se lahko izvrše krivulje v diagramu napetost — deformacija. Ta krivulja pa ne ponazarja dejanskega napetostnega stanja in zato jo moramo popraviti. Pri jeklih s trdoto 30—55 HRC je natezna trdnost 40—50 % upogibne

trdnosti in raztezna meja proporcionalnosti je 72 % upogibne meje plastičnosti. To razliko odpravimo, če nominalno upogibno trdnost reduciramo za 28 %, ali če natezno trdnost pomnožimo s faktorjem 1,5.

Energija za porušitev se dobi iz površine pod krivuljo v diagramu napetost — deformacija.

Rezultati:

a) iz nekorrigirane krivulje:

- meja proporcionalnosti, σ_{spr} ,
- nominalna napetost ob zlomu, σ_m ,
- celotni upogib, f_c ,
- plastični upogib, f_p ,
- model elastičnosti, E;

b) iz korigirane krivulje se dobi še:

- prava napetost ob zlomu, σ_m ,
- energija za porušitev, A,
- procent celotne probe, ki je bil obremenjen nad mejo plastičnosti ob zlomu,
- trdota po Vickersu se izračuna.

Energija za porušitev se dobi iz površine pod krivuljo napetost — deformacija. Krivuljo razdelimo na tri dele in dobimo:

$$A = \frac{\sigma_{spr} \cdot f_p}{2} + \sigma_{spr} (f_c - f_p) + \frac{(\sigma_m - \sigma_{spr}) (f_c - f_y)}{2}$$

Razmerje $\frac{f_p}{f_c} = Y$ je merilo za del probe, ki

se ni plastično deformiral in iz tega lahko izračunamo procent vlaken, ki so se plastično deformirala. Ta vrednost Y ni odvisna od dimenzij probe in je premo sorazmerna upogibu.

Za izračun žilavosti lahko potem upoštevamo

faktorje $\frac{\sigma_{spr}}{\sigma_m}$ (razmerje meje plastičnosti in upo-

gibne trdnosti), $\frac{\sigma_{spr}}{W}$, ki je tudi merilo elastične

trdnosti materiala in Y (procent plastično deformiranih vlaken). W je pri tem največja možna meja proporcionalnosti, dosegljiva pri določeni trdoti.

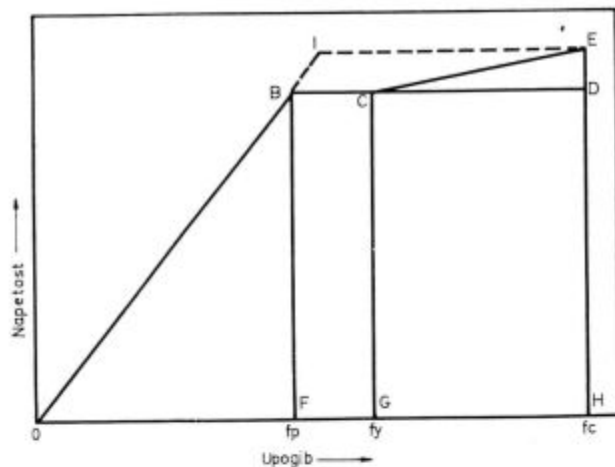
Žilavost po metodi BISRA⁸ je dobljena s podatki upogibnega preizkusa tako:

$$Q = \frac{\sigma_v}{\sigma_m} \cdot \frac{\sigma_v}{W} \cdot Y$$

S posebnimi poizkusi so dokazali, da se spreminja Q podobno kot **udarna upogibna žilavost** in velikost površine pod krivuljo v diagramu napetost — deformacija. (Sl. 2)

Pri upogibnem preizkusu, kjer se obremenjuje v dveh točkah, se dobijo večje vrednosti za upogibno delo, vendar rabimo za isto statistično gotovost večje število paralelnih prob kot pri sistemu obremenjevanja v eni točki. Vrednosti za mejo plastičnosti in za trdnost se z večjo razdaljo podpor le malo zmanjšajo.

Za oceno žilavosti se največ uporabljajo podatki o meji plastičnosti, plastičnem upogibu in delu za plastičen upogib.



Slika 2

Vpliv raznih faktorjev na delo za zlom pri statičnem upogibnem preizkusu⁹

Nekateri vzamejo kot merilo plastičnosti kar upogib in tako preizkušajo že izgotovljena orodja (svedre). Naprava za preizkušanje je zelo enostavna: na ročni pogon s polžnim prenosom. Upogib pa se pri raznih brzoreznih jeklih ne razlikuje veliko, zato ta način tudi ni preveč občutljiv. Natančnost statičnega upogibnega preizkusa je statistično ugotovljena. Merilo natančnosti je standardni odklon s, ki ga izračunamo iz končnega števila meritev in je le približek pravemu standardnemu odklonu. Iz standardnega odklona s in števila paralelnih prob N izračunamo območje verjetnosti za pravo srednjo vrednost po formuli:

$$T_s = 2t \cdot \frac{s}{\sqrt{N}}$$

t je faktor, odvisen od števila paralelnih prob in statistične varnosti.

Trosenje je večje pri plastičnem upogibu, plastičnem in celotnem delu kot pri ostalih vrednostih (trdnost, meja plastičnosti, delo za elastičen upogib).

Pri statistični varnosti 95—99 % je potrebno za določanje trdnosti elastičnega upogiba in dela za elastični upogib 6 do 8 paralelnih prob in za celoten upogib ter celotno delo 10 do 20 paralelnih prob.

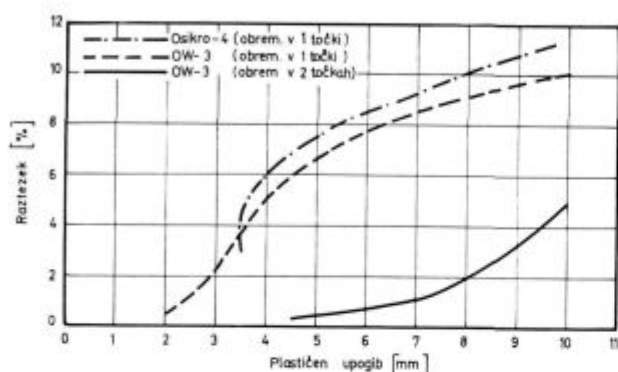
Sprememba razdalje podpor ne vpliva na velikost standardnega odklona.

Odvisnost med rezultati raztrznega in upogibnega preizkusa so ugotavljali⁷ na jeklih tipov OW-3 in OSIKRO-4.

Pri raztrznem preizkusu je majhna plastična deformacija in veliko trosenje, zato niso možna natančna merjenja. Že majhna premaknitev prijemališča sile in nepopolnost površine lahko povzroči krhek prelom pri meji plastičnosti ali celo pod njo. Probo za raztržni preizkus so spolirali pod kotom 45° glede na os. Hitrost obremenjevanja so vzeli 2250 kp na minuto. Pri upogibnem preizkusu so vzeli razdaljo zunanjih podpor 50,8 mm in razdaljo notranjih 18,5 mm, hitrost obremenjeva-

nja je bila pri tem 453 kp na minuto. S temi preizkusi so pokazali, da imajo nizkolegirana orodna jekla podobne trdnosti, trdote in meje plastičnosti, močno pa se razlikujejo v duktilnosti.

Razmerje upogibne in raztržne trdnosti ni odvisno od kemijske sestave ali trdote. V območju trdot 30–55 HRC je raztržna trdnost 45–50 % upogibne trdnosti, meja plastičnosti pri raztržnem preizkusu je 88 % upogibne meje plastičnosti in raztezna meja proporcionalnosti je 72 % upogibne meje plastičnosti in 82 % meje 0,2 %. Slika 3 kaže odnos podaljškov in upogibov za OW-3 in OSIKRO-4.



Slika 3

Odnos raztezek — upogib⁷ za jekli tipov Č. 6444 — Osikro 4 in Č. 6441 — OW-3

Upogib in raztezek pri obremenjevanju v eni točki se le malo razlikujeta za obe jekli.

Sliki 4 in 5 prikazujeta odvisnost absorbirane energije (žilavosti) od trdote pri raztržnem in upogibnem preizkusu. Značilen je padec žilavosti v območju trdot 48–56 HRC (tj. popuščnih temperatur 200–300 °C za OSIKRO-2).

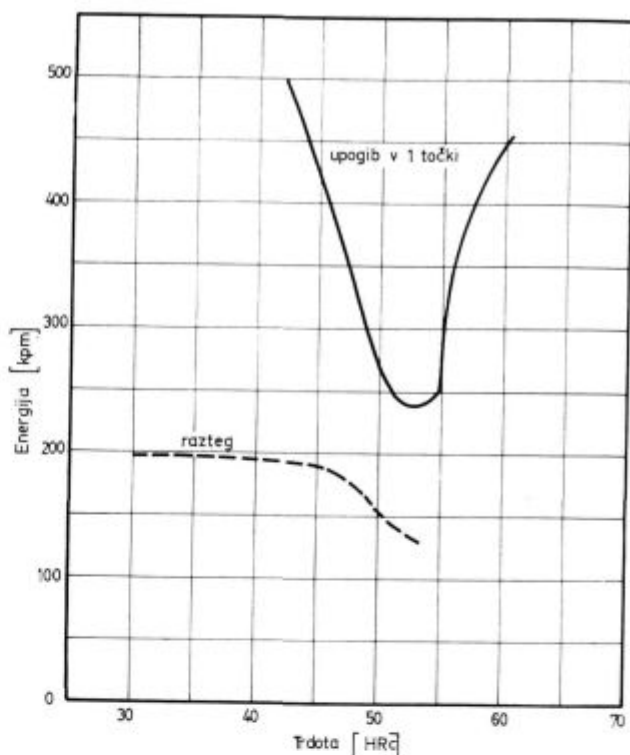
Raztržni preizkus ne da zadovoljivih rezultatov pri trdotah nad 54 HRC, ker je preveliko trosenje in močan vpliv gladkosti površine.

Glede natančnosti raztržnega in upogibnega preizkusa so ugotovili, da so pri raztržnem preizkusu odkloni od srednje vrednosti za trdnost in mejo plastičnosti 1 %, pri redukciji preseka in raztezu pa 10–25 %. Pri upogibnem preizkusu so odkloni za mejo plastičnosti in trdnost 1–5 % in 2–10 % za celoten in plastičen upogib. Vse te številke veljajo za trojno vrednost standardnega odklona, tj. 3 s. Upogibni preizkus nam daje o duktilnosti zanesljivejše podatke kot raztržni, glede trdnosti in meje plastičnosti pa sta oba preizkusa enakovredna. To velja predvsem za nizko legirana jekla.

Pri upogibnem preizkusu je pomembno še to: sistem obremenjevanja v dveh točkah je za krhke materiale uporabnejši kot sistem z obremenjevanjem v eni točki, ker se z njim doseže večji upogib.

Zvojni žilavostni preizkus

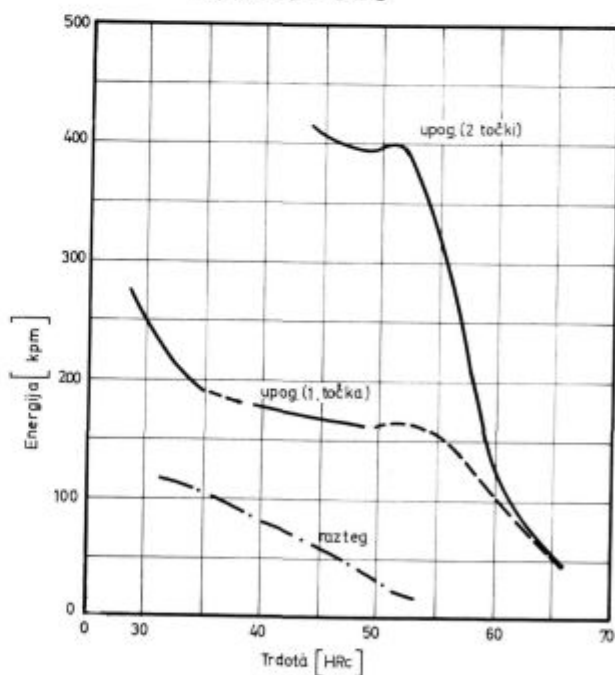
Glede na to, da se pri trdih, krhkih jeklih udarno upogibni žilavostni preizkus z zarezano probo ne obnese najbolje, so vpeljali nov način



Slika 4

Vpliv trdote na energijo⁷, porabljeno pri raztržnem preizkusu za jeklo tipa Č. 6444 — Osikro 4

Č. 6441 - OW3



Slika 5

Vpliv trdote na porabljeno energijo pri upogibnem preizkusu⁷

preizkušanja, pri katerem je razmerje strižne in normalne napetosti veliko večje in nastopajo zato večje deformacije. Hkrati z deformacijami se po-

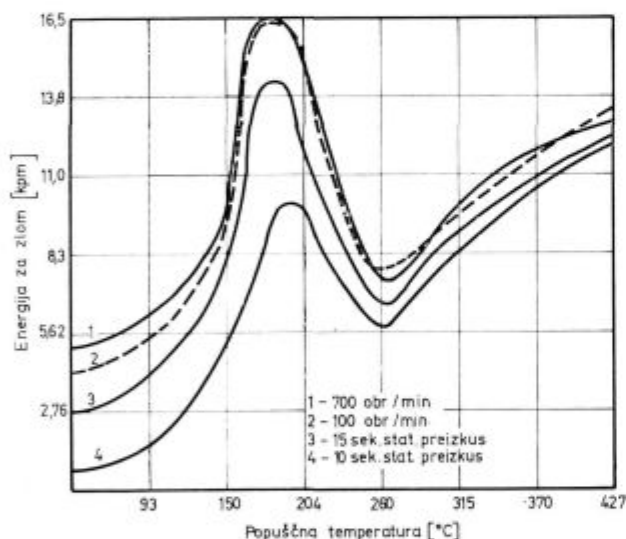
veča tudi razločevalna sposobnost: možnost razlikovanja jekel in rezultatov preizkušanj prob, ki so iz istega jekla, toda različno toplotno obdelane. Ta nov način preizkušanja žilavosti ima tudi prednost zaradi večjega deformacijskega dela. Pri deformaciji sodeluje namreč cela proba, mi pa lahko določimo takšno dolžino in presek, ki nam ustrezata. Pri tem smo omejeni zaradi možnosti prekaljenja in kalilnih deformacij, zato so tudi tu postavljene meje deformacijskemu volumnu in s tem deformacijskemu delu.

Zvojni preizkušanje je lahko statično in udarno. Prednosti statičnega načina preizkušanja:

— dobimo več podatkov, ki nam lahko označujejo žilavost, ker moremo narisati krivuljo napekost — deformacija in iz diagrama lahko dobimo mejo plastičnosti, plastično in elastično deformacijo, plastično in elastično komponento dela za zlom probe;

— dobljene vrednosti za porušno delo bolj sovpadajo kot pri udarnem zvojnem preizkusu, če so probe natančnih mer (toleranca v premeru srednjega dela probe je 0,005 mm). Trosenje je tedaj veliko manjše in zato zadostuje manjše število paralelnih prob.

Č.1940 - OC100



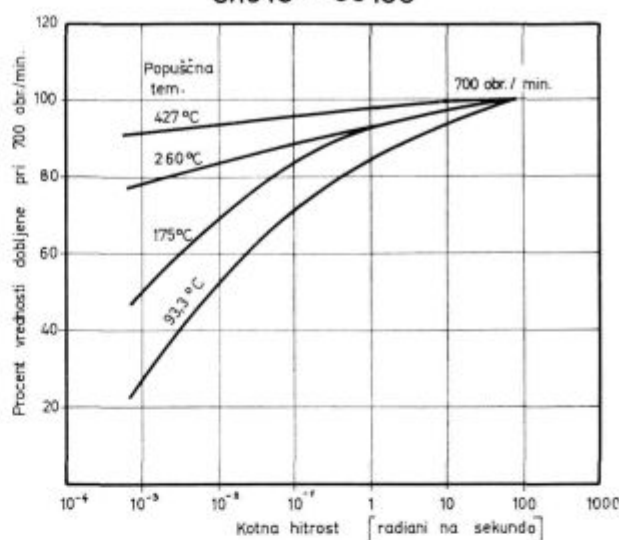
Slika 6

Vpliv popuščanja na porušno delo pri zvojnem poizkusu orodnega jekla tipa Č.1940 - OC100 za različne hitrosti deformacije⁹

Hiba statičnega zvojnega preizkusa je nujnost izredne natančnosti pri obdelavi površine merilnega dela probe. Udarni zvojni preizkus zahteva večje število paralelnih prob, je pa lažje in hitreje izvedljiv, od prob se zahteva manjša točnost dimenzij.

Vrednosti porušnega dela dobljene s statičnim zvojnem preizkusom se ujemajo z rezultati udarnega zvojnega preizkusa, le nekoliko nižje so (slika 6). Vpliv deformacijske kotne hitrosti je dobro viden iz slike 7, ki kaže odvisnost vrednosti

Č.1940 - OC100



Slika 7

Vpliv preizkuševalne hitrosti na porušno delo (Č.1940 - OC100), ki je izraženo v procentih glede na delo pri hitrosti 700 obr/min⁹

za zvojni žilavost od hitrosti preizkušanja in popuščne temperature (za orodno jeklo OC100).

Za odkrivanje vpliva kotne hitrosti so se držali teh pogojev:

- udarni zvojni preizkus: 700 obr/min (73 rd/s);
- preizkus z majhno hitrostjo: 100 obr/min;
- statični preizkus: čas trajanja 15 sekund do 10 minut; hitrost znaša 0,1 do 0,001 radiana na sekundo.

Energija vztrajnika je pri prvih dveh načinih 34,5 kpm. S temi poizkusi so dokazali, da je razlika v rezultatih zaradi različnih deformacijskih hitrosti zadosti majhna ter nam zaradi tega ni treba jemati statičnega in udarnega zvojnega preizkusa kot dveh različnih postopkov za določanje žilavosti.

Standardni stroj za preizkušanje udarne zvojne žilavosti je sestavljen iz teh delov: elektromotor, vztrajnik, tahometer, križna glava, prijemni del z vzvodom za osni premik probe. Vztrajnik se požeze z elektromotorjem na določeno hitrost in nato se z vzvodom potisne proba v smeri osi proti vztrajniku, ki s klini zgrabi križno glavo na preizkušancu, katerega zviže ob vzdolžni osi do porušitve.

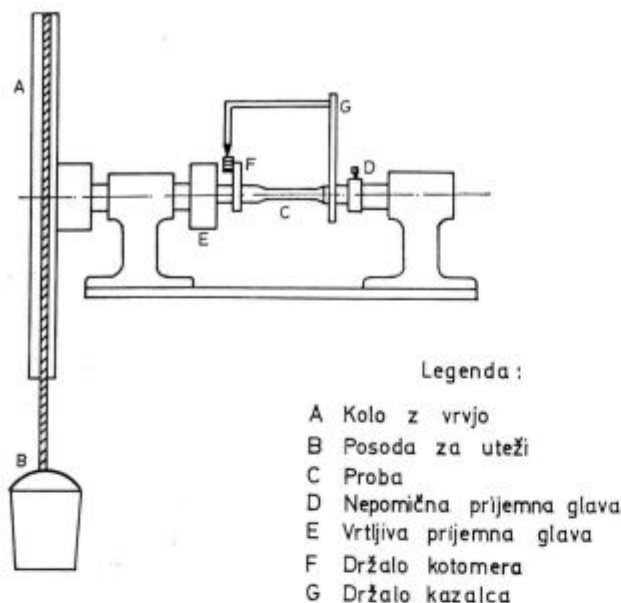
Za statični preizkus se namesto motorčka namesti kolo s premerom 1220 mm in potreben moment za zvoj probe se dobi z utežmi, ki se obešajo na vrv pripeto na obodu kolesa (slika 8). Produkt največjega vrtilnega momenta in zasuka predstavlja »koeficient žilavosti«.

Pri udarnem torzijskem preizkusu se dobi porabljen delo iz zmanjšanja števila obratov vztrajnika:

$$A = \frac{J \cdot \omega_1^2}{2} - \frac{J \cdot \omega_2^2}{2}$$

J ... vztrajnostni moment vztrajnika (kgm²)

ω ... kotna hitrost vztrajnika (rd/s).



Slika 8

Skica stroja za preizkušanje zvojne statične žilavosti⁸

Na žilavost (porabljen delo v kpm) ne vpliva hitrost vztrajnika pač pa dolžina in presek preizkušanca iz določenega jekla.

Pri statičnem preizkusu trosenje praktično ni odvisno od toplotne obdelave, pri zelo nizkih kalilnih temperaturah pa se vendar precej poveča.

Zelo ugodno je, če lahko tudi z udarnim zvojnim preizkusom dobimo krivuljo napetost — deformacija. To lahko dosežemo tako, da preizkušamo z zmanjšano hitrostjo in jo postopno povečujemo, dokler ne nastopi zlom. Pri različnih hitrostih (momentih) dobimo različno deformacijo; tako lahko vnesemo v diagram moment in deformacijo.

Krivulje v diagramih, ki kažejo odvisnost udarne zvojne žilavosti in popuščne temperature, imajo značilno obliko: žilavost ne raste stalno s popuščno temperaturo, temveč nastopa pri določeni popuščni temperaturi maksimum (pri nelegiranih in nizko legiranih jeklih je pri 150—200°C, pri brzo-rezernih jeklih je pri 300 do 350°C).

Za določevanje popuščne temperature, pri kateri dosežemo največjo žilavost, nam lahko koristijo raziskave izgleda prelomov prob. Tako so prelomi prob iz jekla OC-100, popuščanega pod 150°C, vedno krhki in potekajo po ravninah, pravokotnih na smer glavnih normalnih napetosti, tj. pod kotom 45° glede na os probe. Pri 150 do 170°C se opazi prehod k strižnemu prelomu.

Poleg ostalega je prednost zvojnega preizkusa pred upogibnim enakomerna porazdelitev napetosti po dolžini probe.

Po ameriških podatkih se glede trajnosti v uporabi najbolj obnesejo orodja, ki so toplotno obdelana na največjo zvojno žilavost.

Natančnost statičnega zvojnega preizkusa so določili na orodnem jeklu »merilo« (C.3840). Kot

merilo trosenja se vzame standardni odklon in ta nam z določenim številom paralelnih prob da natančnost srednje vrednosti za dano statistično varnost.

Trosenje je večje pri mehanskem merilnem sistemu (kot pri električnem) in pri vrednostih, ki označujejo plastičnost. Standardni odklon se ne spreminja veliko z različno toplotno obdelavo, zato se lahko tvori srednja vrednost. Da se še lahko določi razlika v toplotni obdelavi, mora znati natančnost srednje vrednosti pri meji plastičnosti ± 10 do 15 kp/mm² in pri vrednostih za plastično komponento porušnega dela ± 40 —50 kpcm. Za statistično varnost dosežemo to natančnost z 8 paralelnimi probami in za varnost 99 % dosežemo to natančnost z 12 paralelnimi probami. Merilo žilavosti sta predvsem meja plastičnosti in plastičnostna komponenta porušnega dela.

Iz dosedanjih preiskav je razvidno, da za enako statistično varnost potrebujemo pri raznih metodah preizkušanja žilavosti različna števila paralelnih preizkušancev. Za orodna jekla velja pri statistični varnosti 95—99 %, da potrebujemo pri statičnem upogibnem preizkusu 10—20, pri udarnem upogibnem 30—40 in pri zvojnem statičnem preizkusu 8 do 12 paralelnih (tj. enako toplotno obdelanih) prob.

II. METODE, PRIMERNE ZA PREIZKUŠANJE ŽILAVOSTI POSAMEZNIH SKUPIN ORODNIH JEKEL

Žilavost konstrukcijskih jekel se lahko zadovoljivo določa na charpy kladivu, z izod kladivom ali z drugo podobno napravo, ki nam daje možnost določanja udarne upogibne žilavosti. Ne more pa se uspešno kontrolirati žilavosti orodnih jekel s to standardno metodo, razen če si privoščimo (zadosti) veliko število paralelnih prob (enako toplotno obdelane probe iste kvalitete in šarže). Težko se odkrivajo razlike v odvisnosti od kvalitete in toplotne obdelave, ker so vrednosti za porušno delo zelo majhne.

Zato so razvili nove metode določanja žilavosti: statični upogibni preizkus, zvojni (statični, udarni preizkus), preizkus za žilavost ostrine, preizkus na večkratno udarjanje.

Pred izbiro metode za določanje žilavosti smo postavljeni vselej, če imamo delo z orodnimi jekli. Pri tem nam lahko koristijo sledeča izvajanja:

z zvojnem preizkusom so zvečali deformacijski volumen in razmerje strižnih napetosti proti normalnim. S tem so dosegli predvsem naslednje:

— zaradi večjega deformacijskega volumna je potrebno večje deformacijsko delo in so razlike med kvalitetami bolj očitne,

— zaradi večjega razmerja strižnih napetosti glede na normalne nastopajo večje deformacije, s čimer se tudi poveča razločevalna sposobnost.

Statistično so tudi dokazali, da se za enako zanesljivost srednje vrednosti žilavosti rabi najmanj paralelnih prob pri zvojnem načinu preizkušanja.

Zal pa s tem ne moremo zavreči ostalih metod preizkušanja orodnih jekel na žilavost. Navadno se predpostavlja, da dobimo z nekim žilavostnim preizkusom relativne podatke, ki kažejo enako odvisnost od toplotne obdelave in kvalitete kot rezultati vsakega drugega žilavostnega preizkusa z drugačnim načinom obremenjevanja (z drugačnim razmerjem strižnih napetosti v probi glede na normalne, z drugačno hitrostjo preizkušanja in deformacije). Ta predpostavka pa ne drži vedno, kar so ugotovili z različnimi metodami določanja žilavosti brzoreznih jekel.

Metoda preizkušanja žilavosti naj bi po možnosti ponazarjala obremenitve, ki nastopajo pri orodju v uporabi. Zaželena bi bila naprava, s katero bi lahko preizkušali izgotovljena orodja (svedre, nože).

Žilavost se najbolj splošno označuje kot varnost pri zlomu. Pogosto se vzame tudi pri statičnem upogibnem in statičnem zvojnem preizkusu za merilo žilavosti samo porabljen porušno delo, ki ga geometrijsko predstavlja površina pod krivuljo napetost — deformacija. To pa ni dobro, ker nam veliko povesta o žilavem obnašanju jekla tudi oblika krivulje in meja plastičnosti. Ker v uporabi ne želimo plastične deformacije in spremembe oblike orodja, naj bo čim višja meja plastičnosti in s tem čim večje delo za elastično deformacijo. Material naj bo čim bolj trden in čim bolj duktilen — kombinacija teh dveh lastnosti predstavlja žilavost.

Iz tega vidimo, da si želimo metodo preizkušanja, ki nam daje poleg porušnega dela še druge značilke žilavostnega obnašanja materiala. Če to izvajanje navežemo na prej omenjeno željo, da bi s preizkusom ustvarili v probi podobno napetostno stanje, kot nastopa v orodju iz določenega jekla, bomo razumeli, zakaj so vpeljali statični upogibni preizkus za določanje žilavosti.

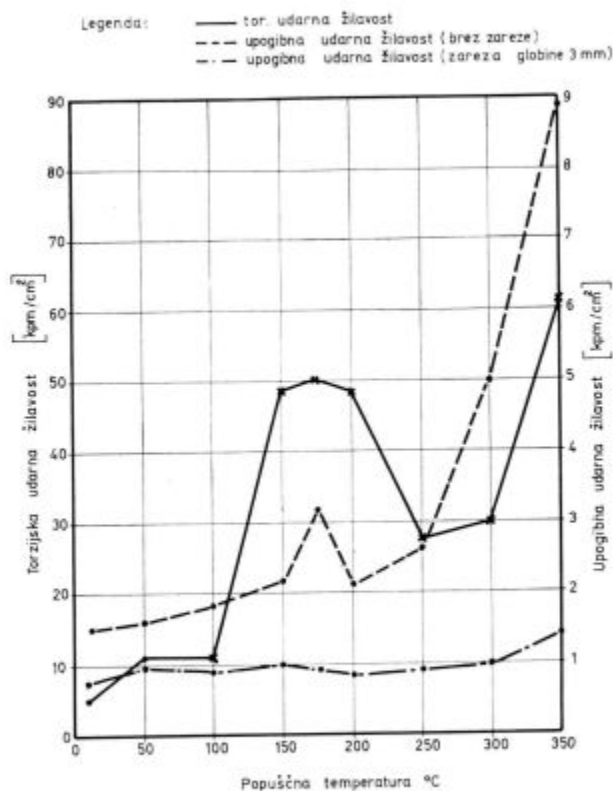
Do sedaj so uporabljali na različnih orodnih jeklih različne preizkuse: nekatera jekla so preizkušali na več načinov, druga na manj; delno je to odvisno tudi od načina obremenjevanja orodij, ki se izdelujejo iz določenega jekla.

Pregled uporabljenih metod za določevanje žilavosti pri posameznih orodnih jeklih

Orodno jeklo OC-100 (Č. 1940)

To jeklo so preizkušali največ na zvojni udarni in upogibni udarni način. Z zvojnimi udarnimi preizkušanjem so¹⁰ ugotovili, da je optimalna žilavost pri popuščnih temperaturah 150—200°C. Podoben rezultat so dobili z udarnim upogibnim preizkušanjem, če so imeli probe brez zareze; z zarezanimi probami se ne dobijo uporabne vrednosti. Zanimivo je, da je porast žilavosti, dobljene z udarnim upogibnim preizkusom z nezarezano probo že pri nižjih popuščnih temperaturah kot porast žilavosti, dobljene z zvojnimi udarnimi preizkusom (slika 9).

Glede zvojne udarne žilavosti v odvisnosti od kalilne temperature¹⁰ so ugotovili, da je najboljša



Slika 9

Zvojna in upogibna udarna žilavost pri raznih temperaturah popuščanja za jeklo Č. 1940 — OC-100¹⁰

čim nižja možna kalilna temperatura in kratek vtopni čas (ogrevalni čas).

S statičnim upogibnim preizkusom¹¹ so dobili podobne rezultate kot z udarnim upogibnim. Krivulja upogiba se po obliki ujema s krivuljo upogibnega dela.

Statični zvojni preizkus¹² je dal rezultate, ki se ujemajo z onimi, dobljenimi pri udarnem zvojnem preizkusu.

Orodno jeklo OC-80 (Č. 1840)

Znani so samo podatki¹⁰ udarne upogibne žilavosti. Vrednosti za žilavost so majhne, vendar se more ločiti maksimum pri 200°C popuščne temperature.

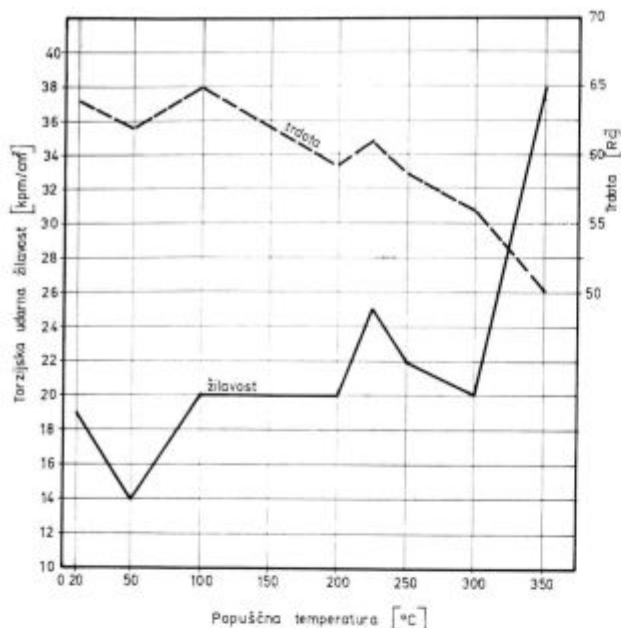
Nelegirana jekla so preizkušali največ z zvojnimi in upogibnim načinom (statično, udarno).

OW-1 (Č. 6840)

Znani so iz literature¹⁰ podatki zvojnega udarnega preizkusa. Maksimum žilavosti je pri popuščni temperaturi 225°C, vendar je porast žilavosti tu majhen. (slika 10)

OW-3 (Č. 6441)

To jeklo so preizkušali¹⁷ na statični upogibni in raztržni način. Raztržni preizkus se ni obnesel za določanje žilavosti, upogibni preizkus pa je pokazal maksimum pri trdoti 62 HRC (kaljeno z 870°C).



Slika 10

Zvojni udarna žilavost v odvisnosti od popuščenja za jeklo tipa Č. 6840 — OW-1. Kaljeno s 780°C v vodi¹⁶

Upogib narašča nad popuščno temperaturo 250°C in pri tej temperaturi se doseže tudi maksimum meje plastičnosti.

OSIKRO-4 (Č. 6444)

Tudi to jeklo so preizkušali¹⁷ na statični upogibni in raztržni način (poleg udarnega upogibnega). Rezultati obeh načinov preizkušanj se ujemajo. Porabljena energija za zlom je zelo nizka pri trdoti okoli 57 HRC (minimum za upogibno žilavost).

OCR-4 ex. spec. (Č. 4146)

V literaturi¹⁰ so podatki zvojnega udarnega preizkusa. Maksimum žilavosti se pojavlja pri popuščni temperaturi okoli 175°C (po kaljenju z 840°C v olju (slika 11)).

OCR (Č. 4140)

Znani so diagrami¹³, izrisani na osnovi rezultatov zvojnega statičnega in udarnega preizkusa. Oba načina dajeta soglasne vrednosti: maksimum žilavosti je za kalilno temperaturo 840°C pri popuščni temperaturi 175°C.

Merilo — ekstra (Č. 6440)

To jeklo se je preizkušalo največ¹⁶ na udarno upogibno žilavost in zvojno statično žilavost. Jekla skupine merilo so preizkušali tudi na statičen vzvojni in upogibni način. Rezultati zvojnega in upogibnega preizkusa se ne ujemajo.

OCR-12 (Č. 4150)

Zvojni (udarni) in statični upogibni preizkus sta se največ uporabljala^{10, 15} pri raziskavah o žilavem obnašanju tega orodnega jekla. Za OCR-12

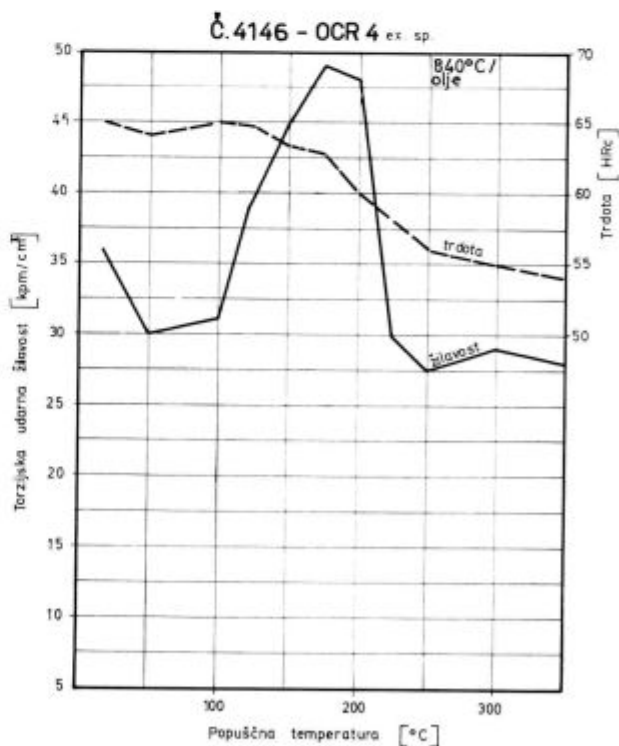
special in OCR-12 ekstra so podatki upogibnih preizkusov. Porušno delo pri zvojnem in upogibnem preizkusu se v odvisnosti od popuščne temperature ne spreminja podobno. Z zvojnem preizkusom so dobili maksimum pri 150–200°C, z upogibnim preizkusom pa se maksimum pojavi pri popuščni temperaturi 400°C (slika 12). Dobi se pa s statičnim upogibnim preizkusom več podatkov kot z udarnim zvojnem.

Utop-2 (Č. 6451)

Za to orodno jeklo so znani iz literature¹⁷ podatki udarnega žilavostnega preizkusa, ki daje zadovoljive vrednosti, po katerih se lahko orientiramo pri toplotni obdelavi. Minimum udarne upogibne žilavosti je ravno v območju popuščnih temperatur, ki se največ uporabljajo pri jeklih srednje trdnosti (550–650°C). Pri krajših časih popuščenja so najmanjše žilavosti pri višji temperaturi. Razločiti se da tudi vpliv temperature preizkušanja na žilavost. Ugotovili so lahko, da je vpliv kalilne temperature na žilavost močnejši kot vpliv popuščne temperature. Zaradi enostavnega preizkušanja pri višjih temperaturah je metoda udarnega upogibnega preizkusa še posebno primerna za utopna jekla.

BRW (Č. 6880)

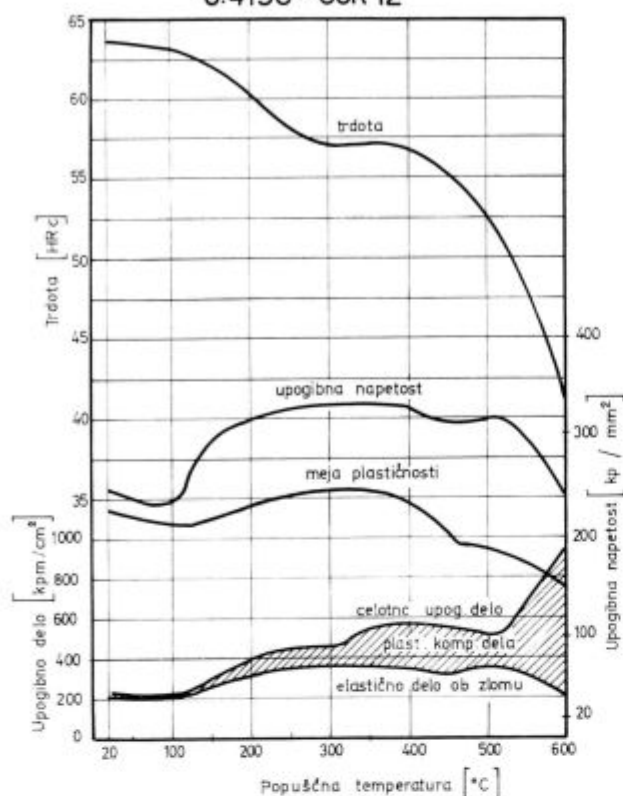
Zvojni (statična, udarna) metoda, statična upogibna metoda in metoda za določevanje žilavosti ostrine (knife-edge) so se uporabljale^{3, 4, 10, 13} pri tem jeklu. Maksimumi za statično zvojno žilavost



Slika 11

Zvojni udarna žilavost in trdnost v odvisnosti od popuščne temperature¹⁰ za jeklo Č. 4146 — OCR 4 ex. sp.

Č. 4150 - OCR 12



Slika 12

Statični upogibni preizkus za jeklo Č. 4150 - OCR 12, kaljeno z 950° C in popuščano 2 uri¹⁵

in maksimum trdote sta pri isti popuščni temperaturi, prav tako sovpadata maksimum zvojne udarne žilavosti in maksimum plastične deformacije pri zvoju. Največje žilavosti se pojavljajo za razne metode preizkušanja pri različnih pogojih toplotne obdelave (popuščnih temperaturah). (Slika 13)

BRW-2 (Č. 6882)

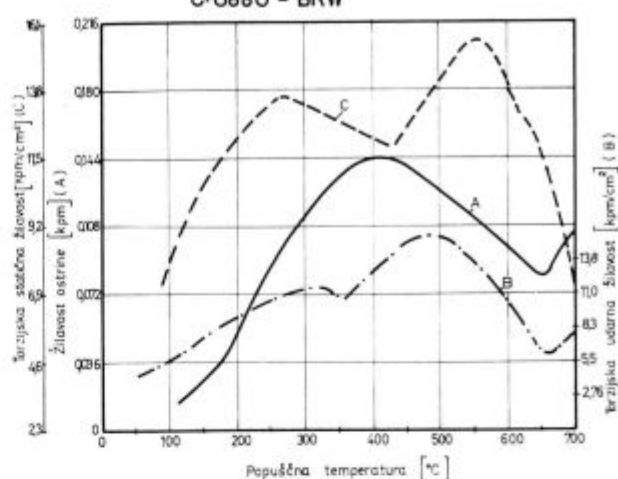
Iz literature znani diagrami^{13, 14} se ne ujemajo glede popuščne temperature, pri kateri se pojavlja maksimum zvojne žilavosti. Razlika je posledica¹⁴ različnih deformacijskih volumnov. Tudi to jeklo (kot sploh volframova brzorezna jekla) se preizkuša na vse občutljivejše načine določanja žilavosti: zvojni (statični, udarni), statični upogibni ter način za določanje žilavosti ostrine.

BRC (Č. 6980)

Zvojni in upogibni statični način preizkušanja žilavosti sta dala pri tem jeklu naslednje rezultate:

Z udarnim zvojnim preizkusom so odkrili¹⁰ maksimum žilavosti pri popuščni temperaturi 500° C. S statičnim upogibnim preizkusom so dobili¹⁵ maksimum žilavosti pri popuščni temperaturi 530° C. Odnos obremenitev — upogib je do popuščne temperature 520° C linearne značaja, pri višjih popuščnih temperaturah pa se že začne plastičen upogib. Elastičen upogib narašča s popuščno temperaturo hitreje pri probah, ki so manjkrat

Č. 6880 - BRW



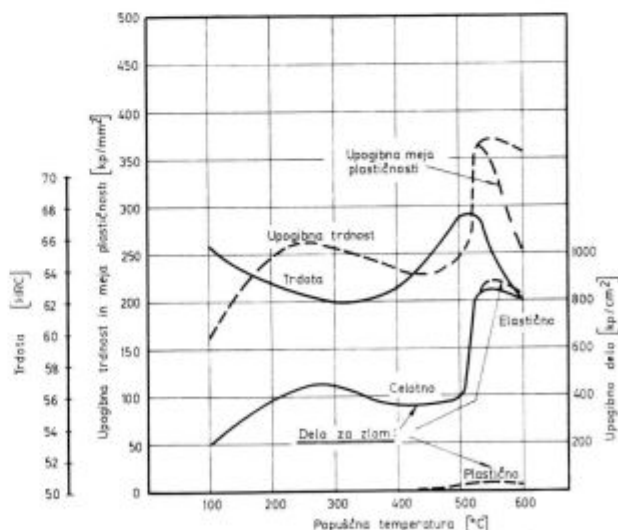
Slika 13

Udarne in statične zvojne žilavosti ter žilavost ostrine v odvisnosti od popuščne temperature⁴ za jeklo Č. 6880 - BRW

popuščane. Tako se vidi prednost statičnega upogibnega preizkusa, ki nam daje poleg porušnega dela (udarni upogibni preizkus) še upogib, upogibno trdnost, elastično in plastično komponento dela za zlom (slika 14).

BRM-1 (Č. 7880)

S statičnim upogibnim preizkusom so ugotovili^{11, 15} velik porast elastične komponente porušnega dela pri popuščni temperaturi 500° C in pri vseh kalilnih temperaturah. Ta skok izgine le pri višjih kalilnih temperaturah in daljših vtopnih časih. Določiti se da tudi plastična komponenta porušnega dela pri statičnem upogibu: plastična deformacija nastopa pri probah, kaljenih z nižje temperature, že pri nižjih popuščnih temperaturah.



Slika 14

Statični upogibni preizkus jekla Č. 6980 - BRC (Probe 6 × 6 mm², kaljene s 1260° C vtopni čas 120 s. 3 × 2^h popuščano)¹⁵

BRM-2 (Č. 7680)

Znani so rezultati preizkušanja^{5, 11} na udarni in statični upogibni način. Pri tem so vzeli iz podatkov statičnega preizkusa kot značilko za žilavost upogib. Upogibna krivulja ima maksimum pri popuščni temperaturi 300° C in pri temperaturah nad 320° C spet narašča žilavost (upogib). Izkušnje potrjujejo te rezultate. Prav tako so ugotovili padec žilavosti (upogiba) pri kalilnih temperaturah nad 1240° C. Po tej metodi (upogibu) lahko preizkušamo tudi izgotovljena orodja (svedre). To je zelo primerno, ker lahko določimo toplotno obdelavo najugodnejše kombinacije trdote in žilavosti na orodjih.

Orodno jeklo BRM-2 so z uspehom preizkušali na statičen upogibni način.

Literatura

1. Steven G.
Impact Test for Evaluating Tool Steels
Metal Progress, 1959, 5
2. Bungardt K., O. Mülders, W. Spyra
Statistische Auswertung von Zähigkeitsuntersuchungen an ungekerbten Schlagbiegeproben aus Stählen hoher Härte, Stahl und Eisen 77, št. 26
3. Bancroft W. E., W. W. Wight
The Practical Heat Treatment of High Steel Cutting Tools
Metal Progress 1948, št. 4, str. 545—555
4. Carr H.
High Speed Steel, Some Development in Heat Treatment
Iron and Steel 1950, str. 383—388
5. Hoyle G., E. Ineson
A Modified Bend Test for Hardened Tool Steels
Journal of the Iron and Steel Institute, jan. 1959
6. Wilmes S.
Zähigkeitsuntersuchungen an Schnellarbeitsstählen
Stahl und Eisen 81, št. 10
7. Hamaker J. C., V. C. Strang, G. A. Roberts
Bend: Tensile Relationships for Tool Steel at High Strength Levels
Trans. ASM 49 (1957), str. 550—575
8. B I S R A
A Bend Test for Hardened Tool Steels
Summary 124, Prospekt
9. Hoyle G.
An Improved Model of the Bend Test Apparatus for Testing Hardened Tool Steel
The British Iron and Steel Research Association, Project M G/L/105
10. Scherer R., H. Kiessler
Verdrehschlagzähigkeit von Werkzeugstahl
Stahl und Eisen 63, str. 353—360
11. Weckener H. D.
Beitrag zur Untersuchung der Zähigkeit bei Schnellarbeitsstählen
Das Industrieblatt; Stuttgart, Juli 1958
12. Greene O. V., R. D. Stout
A Study of the Influence of Speed on the Torsion Impact Test
ASTM, June 26—30, 1939, zv. 39
13. Emmons J. V.
Some Physical Properties of Hardened Tool Steel
ASTM, June 22—26, 1931, zv. 31
14. Faller F.
Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Wärmebehandlung und der Legierung auf die Zähigkeit von Schnellstahl.
Werkstatt und Betrieb, Oktober 1954
15. Wilmes S., H. R. Pantke
Zähigkeit von Werkzeugstählen mit hohem Cromgehalt.
Das Industrieblatt (1962) št. 7
16. Bungardt K., O. Mülders, W. Schmidt
Die Eignung des statischen Verdrehversuches zur Ermittlung der Zähigkeit sehr harter Stähle.
Stahl und Eisen 81, št. 10
17. Bungardt K., G. Hoch, O. Mülders
Einfluss der Wärmebehandlung auf die Zugfestigkeit und Kerbschlagzähigkeit von Warmarbeitsstählen.
Stahl und Eisen 75, št. 16

ZUSAMMENFASSUNG

Aufgezeigt sind die Erfahrungen bei Verwendung verschiedener Methoden der Zähigkeitsuntersuchung und die Abhängigkeit der Untersuchungsergebnisse von der Kerbart auf der Probe, die bei der Bestimmung der Schlagbiegezähigkeit verwendet wird. Die Untersuchungsgenauigkeit auf dem Charpy-Hammer wurde statistisch festgestellt. Beschrieben ist die Untersuchungsmethode mit mehrmaligen Schlägen (chock resistance) und die Methode der Bestimmung der Schneidzähigkeit (knife-edge Methode).

Es werden die guten und schlechten Seiten des statischen und schlagartigen Verdrehversuches miteinander verglichen. Es ist soeben auch ein Vergleich zwischen dem statischen Biegeversuch und dem Zugversuch gegeben. Im kurzen werden auch die Versuchs durchführung und die Prüfgeräte für die Bestimmung der Torsionszähigkeit beschrieben.

Im zweiten Teil ist ein Überblick über die verwendeten Verfahren der Zähigkeitsbestimmung bei den einzelnen Schnelldrehstahlarten gegeben.

SUMMARY

Experiences with different methods of impact strength testing are described as well as dependence of results of notch applied at bending impact strength determination.

Notched bar impact test and shock resistant test are described.

Advantages and disadvantages of static and impact

torsion test are compared. Apparatus and methods for impact strength determination are described briefly.

Statistical data are talking about accuracy of various methods. Special application of these methods is described for comparison of bending test results and tensile test results for tool steels.