

## Žilavost kot odpornost proti sunkom

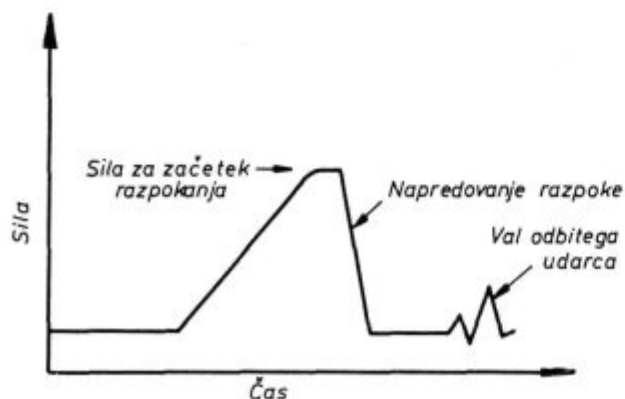
Precej je znanih načinov za določanje žilavosti jekel. Največ se uporabljajo upogibni in zvojni udarni preizkusi. Ugotovljena je tudi določena prednost statičnih preizkusov pred udarnimi, zato so se začele tudi pri udarnih načinih meriti sile potrebne za deformacijo in zlom. Enostavnost in cenenost udarnih preizkusov prideta posebej do izraza pri trdih orodnih jeklih, kjer se z udarno obremenitvijo lahko zajame skupni vpliv meje plastičnosti in modula elastičnosti na obstojnost proti sunkom sil.

### UVOD

Ce želimo preizkusno metodo, pri kateri nastopajo nagle preobremenitve, ali udarne obremenitve, uporabimo žilavostni preizkus in zarezane probe. Toda pri krhkih jeklih je ta metoda precej neobčutljiva. Določanje dinamične trdnosti pa tudi ne pove kaj drugega, kot kolikšna je odpornost na širjenje razpok, ne daje pa zadosti podatkov o nastajanju razpok. Zaželeno je metoda, pri kateri bi lahko izločili vpletanje hitrosti širjenja razpok v rezultat žilavosti. Zato so Charpy kladivo dopolnili z napetostnimi trakovi in osciloskopom, da so lahko analizirali potek deformacije in preloma žilavostne probe.

S poskusi so določali silo, ki je potrebna za nastanek razpok in določali so tudi hitrost širjenja razpok. Kot kaže shematski diagram na sliki 1 so se pojavljali pred zlomom probe še majhni valčki napetosti, ki so posledica odboja udarnega vala.

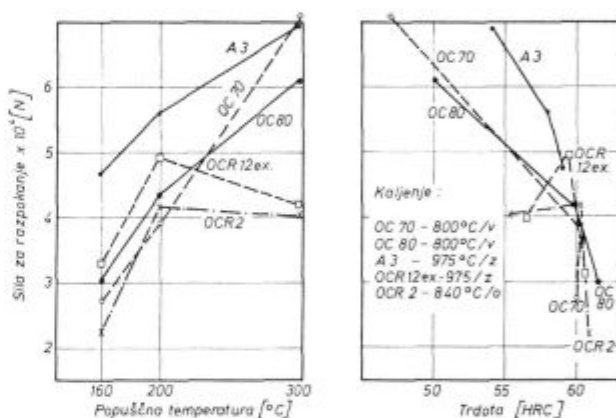
Z merjenjem sile odpornosti proti nastanku razpoke so ugotovili, katere popuščne temperature



Slika 1

Shematski prikaz časovnega poteka napetosti med udarnim upogibnim preizkusom

so najugodnejše, če želimo določeno trdoto in hkrati čimvečjo obstojnost proti razpokam. Pri jeklih skupine OCR 12 je najugodnejša popuščna temperatura 200°C, kajti, posebno pri OCR 12 extra, se zmanjša obstojnost za 20 %, če se popusti na 300°C namesto na 200°C. Nasprotno pa se jeklu A 3 poveča odpornost proti udarcem za 25 %, če ga popustimo na 300°C namesto na 200°C. To se najlepše vidi iz diagrama na sliki 2, saj je tu tudi upoštevano, da se ne sme s popuščanjem preveč zmanjšati trdota jeklenih izdelkov<sup>1</sup>.



Slika 2

Odpornost proti širjenju zarez v odvisnosti od popuščanja

Z žilavostnimi preizkusi so ugotovili pri cementacijskih jeklih, da obstaja enostavna povezava med trdnostjo po Wöhlerjevi krivulji in silo potrebno za zlom z udarcem. Wöhlerjeva krivulja je za presojo materiala zelo primerna, vendar se rezultati lahko razlikujejo od taline do taline v razmerju 1:2. Ugotovljena je podobnost med udarno upogibno žilavostjo (kot udarnim delom) in odpornostjo proti nasilnemu zlomu, kar se je preizkušalo na posebni napravi, ki dopušča povečevanje navorov, kateri delujejo na zobnike. Enake rezultate so dobili tudi s preizkusi žilavosti posebnih prob z zobom. Preizkuse so opravili z jekli s trdnostjo 100 kp/mm<sup>2</sup>, probe so bile cementirane v globino okoli 1 mm. Dobre rezultate dajejo samo udarni preizkusi, ne pa tudi statično upogibni, ker so tam razlike premajhne in v praksi neuporabne. Razvoj elektronskega merjenja udarcev je omogočil konstrukterjem točno dimenzioniranje zobnikov za odpornost na udarce, imenovano tudi udarno trdnost. Račun napetosti v upogibni probi se ravna po DIN 3990 in ta račun je možno uporabiti za primerjavo napetosti v zobnikih. Poskusi

dinamične trdnosti na žilavostnih probah so dali enake rezultate kot žilavostni preizkusi, ki so se izvedli kot odpornost proti udarcem. Udarne upogibne žilavost, preračunana na udarno trdnost pride v diagramu dinamične trdnosti kot točka pri številu udarcev  $n = 10^0$ .

Mesto udarne upogibne žilavosti po Wöhlerjevem diagramu se ne more teoretično pojasniti. Preizkusi potekajo v celem območju časovne trdnosti z različnimi hitrostmi, zato ni dane konstante, ki bi vsebovala zmožnost jekla za absorbiranje udarnega dela. Logično lahko razložimo to obnašanje s poenostavitvijo. Če imamo eno točko, ki podaja časovno trdnost v Wöhlerjevi krivulji in če poznamo žilavost tega jekla, lahko narišemo celo krivuljo časovne trdnosti.

Če je udarna upogibna žilavost enaka časovni trdnosti pri  $10^0$  udarcev, tedaj dobimo:

$$\frac{\log \sigma_{\text{din}}(10^0) - \log \sigma_{\text{B(ud. up.)}}}{\log \sigma_{\text{B(ud. up.)}} - \log \sigma_{\text{din}}(10^0)} n = 5$$

$\sigma_{\text{B(ud. up.)}}$  ... z udarnim upogibnim preizkusom določena udarna trdnost

$\sigma_{\text{din}}(10^0)$  ... časovna trdnost, blizu trajne trdnosti.

Izračuna se iz:

$$\sigma_{\text{din}}(10^0) = 0,1 \sigma_{\text{B(ud. up.)}} + 40 \quad (\text{kp/mm}^2)$$

Dodatek 40  $\text{kp/mm}^2$  ni odvisen od trdnosti materiala.

Enačba je dobljena s poskusi na cementacijskih jeklih, ki se razmeroma malo deformirajo nasproti jeklom za poboljšanje, če imajo oboja enako trdnost jedra. Zato veljajo za to enačbo določene omejitve. Prva omejitev je kalilna globina cementacijske plasti. Na splošno velja funkcijska odvisnost za zmanjšano preoblikovalnost kaljene cementirane plasti globine od 0,2 do 0,25-krat modul ozobljenja. Tudi trdnost jedra ne sme ležati pod 100  $\text{kp/mm}^2$ , drugače funkcija ne velja, ne dobijo se zadovoljive merjene vrednosti. Predpisan je tudi padec trdote v globino. Obnašanje cementacijskih jekel je z navadnimi preizkusi težko opredeliti, če pa se meri sila prelamljanja, se lahko ločujejo med seboj tudi posamezne taline jekla.

Trosenje rezultatov se je v zadnjih letih zmanjšalo za polovico, saj se je izboljšala talilna tehnika in udarni upogibni preizkusi ne veljajo samo za kontrolo, temveč tu in tam dajejo tudi že kvalitetno spričevalo cementacijskim jeklom.

Žilavost je pri konstrukcijskih jeklih pomembna, predvsem pri delih z zarezi, kajti žilavost je obstojnost proti preobremenitvam v območju visoke časovne trdnosti. V tem območju pa je trosenje zelo veliko, kar zmanjšuje uporabnost številnih konstrukcijskih jekel. Z žilavostnim preizkusom lahko merimo odpornost materiala enako natančno kot z Wöhlerjevim v območju časovne

trdnosti. Ker je enostaven, se žilavostni preizkus lahko uporablja za tekočo šaržno kontrolo. Zgovornost preizkusnih rezultatov je zadosti velika, da se lahko neposredno uporabijo za konstrukcijsko dimenzioniranje. Dosedanje podatke v normah bi lahko smotrno dopolnili z značilkami obstojnosti proti udarcem. Izvedba žilavostnega preizkusa je enostavna tudi, če se meri sila preloma in deformacije. Vendar se preizkusi cementacijskih jekel s trdnostjo pod 100  $\text{kp/mm}^2$  in preizkusi prob s plitvo cementacijsko plastjo (pod 1 mm) ne priporočajo, ker na rezultate premočno vpliva meja plastičnosti.

Z udarnim upogibnim preizkusom lahko nadzorujemo toplotno obdelavo, škodljive vplive obdelovalnih sredstev in spremljajočih elementov v jeklu.<sup>2</sup>

Z elektronskim posnemanjem sile in raztezka pri različnih žilavostnih preizkusih so odkrili načine prelomov pri raznih preizkusnih metodah. Poslužili so se napetostnih trakov in merilcev, ki so bili za vse razne metode lahko isti.

Analiza dobljenih krivulj je pokazala sledeča dejstva:

Enostavne krivulje se dobijo po metodah Charpy, Battelle, Schnadt, in s trgalnim načinom. Zapletene krivulje se dobijo po metodi Pellini. Potek krivulj prvega tipa je sledeč: dvig krivulje napetosti ob elastični nato ob plastični deformaciji, kjer se začne že tudi razpokanje zaradi zareze; nato pride do največje obremenitve in plastične deformacije ob padajoči obremenitvi. Po metodi Pellini je potek krivulj bolj zapleten, ker se pojavlja padec obremenitve celo že v začetku plastičnega upogiba.

Sile je možno registrirati pri raznih žilavostnih preizkusih in lahko se postavijo kriteriji skupni vsem vrstam preizkusov, posebno še za preizkuse velikih prob. Registracija dopušča podrobno analizo krhkega preloma, registrirajo se lahko sile in udarci kot energije udarcev. Dejansko stanje preizkusov pa ne omogoča, da bi prišli do splošnih zaključkov. Koristnost registriranja sil in deformacij ima določene omejitve, pri preizkusih po metodah Charpy, Battelle in Schnadt se namreč lahko zamenjuje kristaliničnost preloma s padcem sile v diagramu sila — deformacija.<sup>3</sup>

Pri vseh izboljšavah v metodah merjenja žilavosti trdih ali površinsko utrjenih jekel pa ni žilavostno obnašanje enosmiselno opredeljeno. Sedanje značilke žilavostnega obnašanja ne zadovoljujejo, ker se pričakuje od različnih izdelkov obstojnost proti različnim vrstam udarcev — zvoj, upogib, iztrgavanje. Težava je bila tudi v tem, da do zdaj niso mogli računsko predvideti obstojnosti posameznega strojnega dela proti sunkom z določenimi hitrostmi in z določeno silo.

Poskusi določanja obstojnosti proti sunkom sile dajejo po predpostavki uporabnejše vrednosti za razumevanje žilavostnega obnašanja. Po tej metodi se skuša določiti tisti največji sunek sile, ki

ga proba še vzdrži brez plastične deformacije, oziroma brez preloma. Posebej lahko prideta do izraza obe komponenti žilavosti kot udarnega dela: hitrost in masa ob preizkusni kos udarjajoče trde snovi, ki naj ima po predpostavki tudi po naključnem prelomu le zelo majhno preostalo hitrost. S tem je podan globlji vpogled v obstojnost jekel proti sunkom, ki nastajajo iz raznih vzrokov.

### Predpostavke preizkusa obstojnosti proti sunkom sil

Za določanje sunka sile, ki je potreben, da se z udarcem prelomi proba določenega preseka in določene dolžine, se je uporabilo improvizirano nihalo dolžine 0,46 m in teže 0,2 kp. Vso težo nihala predstavlja njegova utež, ki je v obliki valja. Ena stran valja-ovna je izdelana v obliki klina, ki je ustrezno kaljen. Ta oven je prek žic povezan z vrtilščem nihala in leži v spodnji legi nihala vodoravno ter tudi z ostrino klina vodoravno. Nasproti rezini klina ovna se postavi primež za vpenjanje prob, ki jih udarjamo z ovnom. Vpenja se en konec probe, drugi konec in zareza pa gledata iz primeža tako, da oven udari s klinom pravokotno na probu v določeni oddaljenosti od zareze. Poskusne pogoje shematsko prikazuje slika 3. Probe so valjaste, 40 mm dolge in 8 mm debele, v sredini imajo zastruženo zarezo s kotom odprtine  $30^\circ$  in z zaokrožitvijo 2 mm. Debelina probe na mestu zareze je  $d = 3$  mm. Probe se vpenjajo v pokončnem položaju, zgornji konec je toliko iznad primeža, da je razdalja mesta udarca klina nihalnega ovna od sredine zareze (probe)  $z = 7$  mm. Na stojalu, ki nosi nihalo, je kotomer, ki kaže kot, ki ga zavzema srednja obešalna žica z navpično črto, ki gre skozi vrtilšče nihala. Ko nihalo spustimo (s klinom proti probi) in se dotakne probe, je ravno v spodnji stabilni legi, kjer ima največ možne

kinetične energije. Hitrost nihala je v tem trenutku 1 m/s ali 6 m/s, odvisno od višine, s katere smo ga spustili. Teoretično se sunek sile enači s produktom

$$F \cdot t = m (v_1 - v_2)$$

Pri čemer je  $F$  sila, s katero oven udari probu,  $t$  pa čas trajanja udarca. Ta produkt je enak gibalni količini, to je produktu mase ovna ter njegove hitrosti. Pri teh preizkusih sta se hitrost nihala po zlomu in hitrost probe zanemarila.

$$F \cdot t = m \cdot v$$

$v$  = hitrost nihala v trenutku, ko udari probu.

Gibalna količina ovna nihala:

$$G = m \cdot v = m \sqrt{2gr(1 - \cos\alpha)}$$

$r$  = dolžina nihala (m)

$\alpha$  = kot spusta nihala, kot nihala in navpičnice (stopinje)

Odpornost proti sunku sile

$$\sigma_B \cdot t = F \cdot t \cdot \frac{z}{W} = \frac{z}{W} \cdot m \sqrt{2gr(1 - \cos\alpha)}$$

$z$  = razdalja udarjenega dela probe od sredine zareze, (m)

$W$  = odpornostni moment probe na mestu preloma, na stanjšanjem delu, ( $m^3$ )

$g$  = zemeljski pospešek, ( $ms^{-2}$ )

$\sigma_B \cdot t$  = obstojnost proti sunku sile, ( $kp \cdot sek/m^{-2} = kg m^{-1} sek^{-1}$ )

Za nihalo z določenimi lastnostmi se lahko postavi računski konstanta, s katero se skrajša postopek izračuna obstojnosti proti sunku sile.

$$r = 0,46 \text{ m}$$

$$m = 0,2 \text{ kg}$$

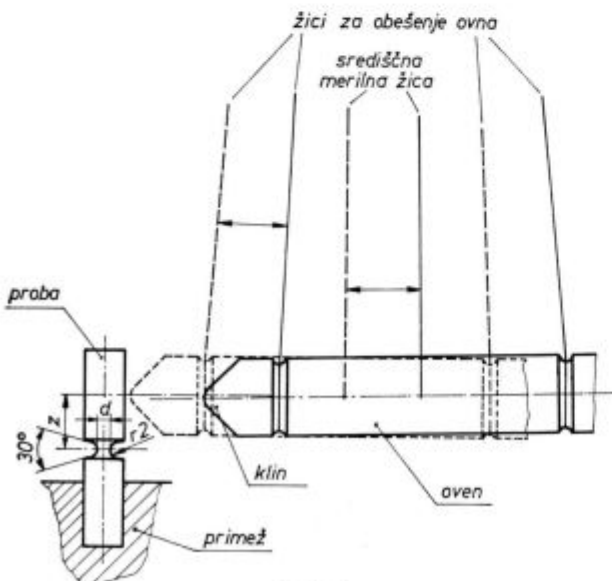
$$z = 0,07 \text{ m}$$

$$W = 2,7 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$\sigma_B \cdot t = 1,58 \cdot 10^6 \sqrt{1 - \cos\alpha}$$

Med probu in ovnom nihala pride ob šibkejšem udarcu ovna do elastičnega trka, ko pa je impulz sile zadosti velik, pride do deformacije probe in do preloma.

Udarec nihala ob probu se lahko primerja z elastičnim trkom krogle in stene. Proba predstavlja pravzaprav orodje iz določenega jekla in v tem primeru ponazarja steno, v katero se zaletava krogla, katero ponazarja oven, ki predstavlja vključke, robove, nehomogeno obdelovano snov, neenakomerno trdoto obdelovanega materiala. Če je gibalna količina ovna premajhna za zlom probe, se oven odbije in se mu spremeni gibalna količina za dvakratno vrednost, kar pomeni, da je proba morala prenesti velik, močan sunek. Zaradi tega nastopi zlom probe, ki ima velik elastični modul,



Slika 3

Shema poskusnih pogojev pri merjenju odpornosti jekel proti sunku sile

razmeroma hitreje kot lom mehkejše probe, kajti v zelo kratkem času se mora spremeniti smer gibalne količine ovna in v tem času pritisne na probo dvakrat večja sila kot pri probi, kjer traja zaustavitev ovna dvakrat dalje.

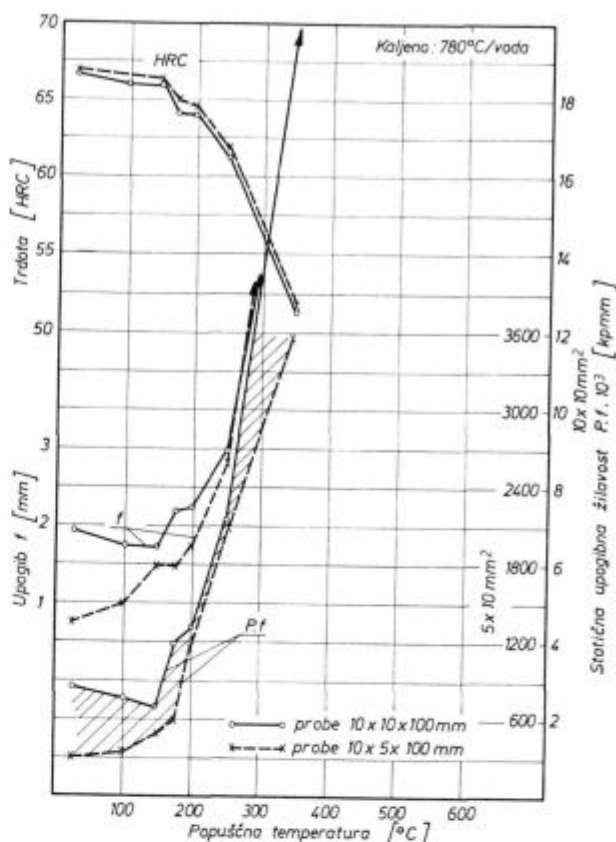
Za merjenje škodljivih učinkov sunkov, ki so blizu tiste velikosti, katera lahko zlomi probo, je ta način merjenja primernejši od standardnega žilavostnega, ki premalo upošteva vpliv modula elastičnosti in vpliv hitrosti udarca na mejo vzdržnosti oziroma mejo lomljivosti jekla.

Čimvišjo mejo elastičnosti ima proba in čim večja je možna elastična deformacija, tem večji kratkotrajni sunek bo proba lahko vzdržala. Predvideva se lahko tudi na osnovi rezultatov statičnih preizkusov, neposredno pa se lahko izračuna obstojnost proti udarcem samo na osnovi preizkusov z različnimi, odmerjenimi sunki sil. Elektronske registracijske naprave pri tem niso nujno potrebne.

Ne samo trdo in trdno, temveč predvsem žilavo orodje se dobro obnese pri obdelavi snovi, ki vsebuje zelo trde drobce. Trd vložek v obdelovancu pomeni za orodje sunek sile, ki povzroči elastično deformacijo orodja. Lahko se sam obdelovani trdi kos odbije od orodja, če nastopi neželen dodaten obdelovalec, npr. kamen, žebelj, ki je sredi lesnega drobiža. Trdo orodje pa se odlikuje po tem, da dobro prenaša velike sile, ki se s potekom deformacije ne zmanjšujejo. Žilavo orodje prenese manjše sile kot zelo trdno trdo orodje, toda večje sunke sil. Teh sunkov pa ne more ustrezno ponazoriti zelo težko nihalo, ki v vsakem primeru zlomi vsako probo, le da nekatere lažje, druge pa z večjo potrošnjo energije. Pri takem nihalu ni upoštevan čas udarca, ki pa vendar skupaj z zmožnostjo elastične deformacije odloča o tem, kako veliki sunki še ne porušijo probe. Sunek sile  $F \cdot t$ , ki ne poruši orodja in ne povzroči njegove deformacije, se zaradi spremembe smeri za dvakrat poveča. Odbiti udarec brez znatne deformacije je za orodje težka naloga, ker mora prenesti dvojni sunek sile. Za tanka orodja je to nerešljiv problem, v kolikor se ne sme orodje med delom elastično deformirati, niti mu ne smemo povečati mer, mu ne moremo povečati preseka.

### Rezultati preizkusov

Na trgalnem stroju so opravljeni statični upogibni preizkusi prob iz jekla OC 100. Probe so bile dveh različnih tipov, ene dimenzij  $10 \times 10 \times 100$  mm, druge  $5 \times 10 \times 100$  mm. Kaljene so bile s  $780^\circ\text{C}$  v vodi in popuščane eno uro na poskusni temperaturi. Slika 4 kaže upogib in produkt upogiba ter upogibne porušne sile za obe vrsti prob. Posebna značilnost teh krivulj je zmanjšana strmina porasta pri zvišanju popuščne temperature od  $150^\circ$  do  $200^\circ\text{C}$ . To ni v skladu z rezultati zvojnih in upogibnih udarnih preizkusov, ki kažejo pri  $200^\circ\text{C}$  ravno konico žilavosti zaradi povečane duk-



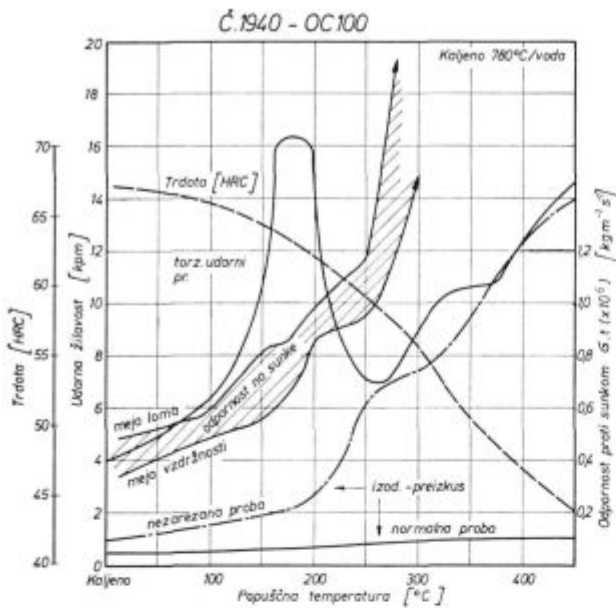
Slika 4

Statični upogibni preizkus jekla OC 100. Sila deluje v treh točkah, razmak fiksnih podpor je 80 mm, hitrost obremenjevanja je 200 kp/min

tilnosti. Produkt  $P \cdot f$  za debelejšje probe kaže (zaradi zmanjšane zmožnosti upogiba) minimum pri  $150^\circ\text{C}$ , kar tudi ni razumljivo. Ugodneje je preizkušati s tanjšimi probami, kajti tedaj krivulji upogiba ter produkta upogiba s končno silo vsaj nakazujejo zmanjšanje porasta žilavosti pri popuščanju nad  $200^\circ\text{C}$ , če že ne zmanjšanje žilavosti.

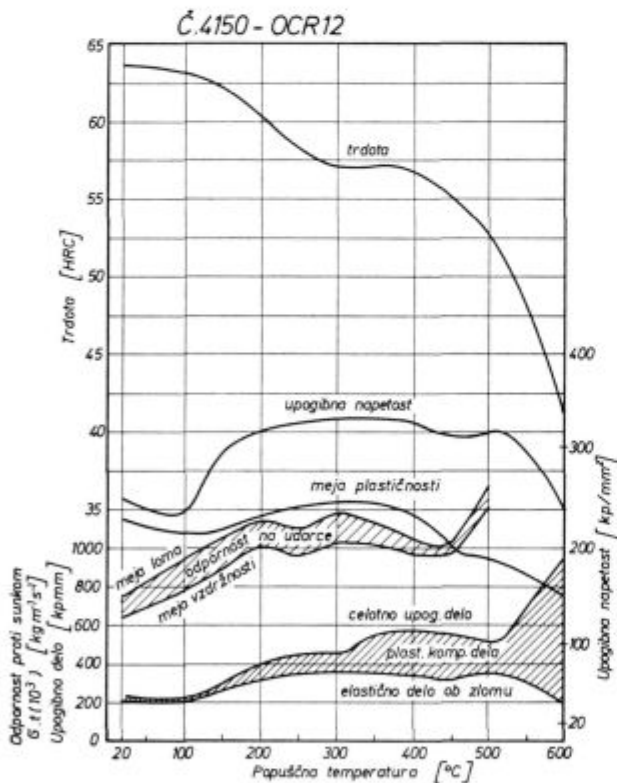
Poleg statičnih preizkusov so se opravili posebni preizkusi obstojnosti proti sunkom. Rezultati so prikazani skupaj z rezultati Izodovega preizkusa (slika 5). Vidi se, da je preizkus na sunek občutljivejši, saj se žilavost — obstojnost proti sunkom — pri probah popuščanih nad  $250^\circ\text{C}$  kaže kot zelo velika. To daje misliti na močno zmanjšanje modula elastičnosti v tem območju, saj se trdota ne zmanjša tako močno in se verjetno tudi meja plastičnosti ne dvigne znatno glede na upogibno oz. natezno trdnost. Potrdilo k tej domnevi sta krivulji upogiba iz diagrama, ki kaže rezultate statičnih preizkusov. To vse skupaj bi torej potrjevalo domnevo, da se obstojnost proti sunkom pri stalni ali celo zmanjšani meji plastičnosti povečuje s padanjem modula elastičnosti.

Slika 6 kaže primerjavo rezultatov dobljenih s statičnim upogibnim preizkusom in preizkusom obstojnosti proti sunkom. Preizkušalo se je jeklo OCR 12 (Č.4150), ki je kaljeno z  $950^\circ\text{C}$ , oziroma



Slika 5

Torzijska in upogibna udarna žilavost, odpornost proti sunkom in trdota CO 100 v odvisnosti od popuščne temperature



Slika 6

Statični upogibni preizkus jekla OCR 12: probe kaljene z 950°C, v termalni, popuščano 2 uri. Odpornost na sunek sile: probe kaljene z 960°C/olje, popuščano 1 uro

960°C, v termalni kopeli (statične upogibne probe) oz. v olju (probe za preizkus na sunek sile). Precej podobni sta si krivulja, ki kaže odvisnost obstojnosti proti sunkom od popuščne temperature ter krivulja, ki kaže podobno odvisnost meje pla-

stičnosti. Razlika je le v tem, da se obstojnost proti sunkom pri probah popuščeni nad 450°C strmo zvišuje (trdota je še nad 55 HRC), medtem ko meja plastičnosti z višjo popuščno temperaturo stalno pada. Zaradi tega sta si do temperature 500°C še bolj podobni krivulja odpornosti proti sunkom in krivulja, ki kaže elastični del dela potrebnega za zlom probe. Škoda je, da nimamo krivulje sunkov nad popuščno temperaturo 500°C. Iz teh podatkov lahko izvajamo zaključke, da modul elastičnosti bolj vpliva, pri normalni toplotni obdelavi, na obstojnost pri sunkovih obremenitvah kot meja plastičnosti. Ob znižanju meje plastičnosti se je zvečala elastična komponenta dela za zlom zato, ker se je zmanjšal modul elastičnosti. V območju strmega padca trdote pa se povečuje plastična komponenta porušnega dela.

Absolutnih vrednosti krivulj, ki kažejo obstojnost proti sunkovim obremenitvam se za ti dve jekli ne more primerjati, ker so se razlikovali preizkusni pogoji, ki so bili poleg tega pri OCR 12 tudi enakomernejši.

Zgornji podatki so razumljivi, če pojmujejo žilavost kot obstojnost proti sunkom sil. Ker je vsako orodje predvideno za normalne delovne pogoje, je predpostavka sunkov sil uporabnejša za opredelitev žilavostnega obnašanja kot predpostavka o delu porabljenem za zlom probe. Zelo močnih sunkov orodje ne vzdrži, zato težimo za tem, da ugotovimo, ali vzdrži takšne, ki se vkljub previdnosti in razviti tehnologiji še vseeno tu in tam pojavljajo, niso pa ekstremno veliki.

## Zaključek

Primerjava rezultatov lastnih preizkusov z rezultati standardnih statičnih in udarnih upogibnih preizkusov pokaže, da je metoda merjenja obstojnosti proti sunkom sil zelo uporaben pripomoček za opisovanje jekel. Predvsem je namenjena ta metoda orodnim jeklom, ki se uporabljajo obdelana na visoko trdoto in imajo pri tem lahko tudi različno velik modul elastičnosti. Od vrste orodja je seveda odvisno, ali je dopustna precejšnja elastična deformacija med obdelavo snovi, ki teče sunkovito ali nezvezno, ali ni homogena ali udarja ali podobno. Prikazani način podajanja in obravnavanja ima to posebno prednost, da omogoča za vsako orodje računsko predvideti, kolikšen sunek sile, oziroma gibalno količino posebnega, neregularnega dela obdelovane snovi glede na orodje je to orodje zmožno brez zloma prenesti.

Metoda je bolj življenjska od navadne metode merjenja sil oziroma dela ob zlomu probe, ker pove kolikšne sunke prenese orodje brez nevarnosti loma, ne pa samo koliko dela se porabi za zlom. Sunki sil se lahko ustvarjajo kot različne kombinacije hitrosti in mase udarne snovi.

## Literatura:

1. Moulin L., R. Tricot, R. Castro: Comparaison de la tenue au choc de différents aciers à l'état traité ou cimenté par la mesure de l'effort de fissuration, Revue de Metallurgie 66 (1969) 4, str. 263—270.
2. Brugger H.: Schlagbiegeversuch zur Beurteilung einseitig gehärteter Stähle, Schweitzer Archiv, Juli 1970, str. 219—231.
3. Grumbach M., M. Prudhomme, G. Sanz: Essais dynamiques de rupture fragile avec enregistrement, Revue de Metallurgie 66 (1969) 4, str. 270—281.

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei modernen Methoden der Kerbschlagzähigkeitsbestimmung wird die für die Deformation und den schlagartigen Bruch der Probe benötigte Kraft bestimmt. Damit ist den Konstrukteuren die Möglichkeit gegeben, Maschinenteile auf Grund der Daten zu dimensionieren, welche unmittelbar in den Festigkeitsrechnungen angewendet werden, ohne dabei den schlagartigen Charakter der Beanspruchung zu vernachlässigen. Kerbschlagzähigkeit und die dynamische Festigkeit sind gleichbedeutende Begriffe, wenn es sich um eine kleine Zahl der Hochspannungszykluse der Beanspruchung handelt. Im Artikel ist ein neuer Zutritt zu den Untersuchungen und der Auffassung der Zähigkeit dargestellt.

Die Beständigkeit gegen die Stosskraft wird als Resultante der Schlagbeständigkeit analysiert, welche wieder eine Schlagresultante bestimmter Massenpunkte mit be-

stimmter Geschwindigkeit darstellen. Es ist der Einfluss der Schlagmassengeschwindigkeit auf die Schlagbeständigkeit untersucht worden. Eine Ähnlichkeit der Schlagbeständigkeitsänderung mit der Änderung der Plastizitätsgrenze und der elastischen Arbeitskomponente für den Probenbruch ist festgestellt worden.

Neben der Plastizitätsgrenze ist für das zähige Verhalten sehr harten Stahles der Elastizitätsmodul massgebend.

Deshalb ist die Methode für die Schlagbeständigkeitsbestimmung ein einfaches und ziemlich vollkommenes Hilfsmittel für die Bestimmung der elastischen und Zähigkeitseigenschaften der harten Stähle im Härtebereich, wo die Stähle eine beträchtliche plastische Deformation nicht ertragen.

## SUMMARY

In modern determination of toughness the force which is necessary for deformation and the impact breakage of the sample are determined. Designers are thus enabled to design machine parts from data which can be directly used in static calculations without neglecting the impact characteristic of loads. Toughness and dynamic strength are actually identical conceptions when a small number of high-stress cycles of loading is in question. New access to investigations and the conception of toughness is presented in the paper. Resistance to force shocks is analyzed as resultant resistance against impacts which are resultant of shocks of certain masses with determined velocities. In-

fluence of velocity of impact mass on the resistance against shocks was investigated. Similarity in variation of resistance against shocks as a function of yield point and in variation of elastic component of work needed for breakage of the sample was found. Beside the yield point Young's modulus is the most competent for tough behaviour of high-strength steel. Therefore testing which determines the resistance against shocks is simple and much more complete way for determining elastic and toughness properties of high-strength steel in the region of hardnesses where steels have no ability for bigger plastic deformations.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При современных способах определения вязкости определяют силу которая необходима для наступления деформации и ударного излома образца. На основании этого конструктору дается возможность вычисления размеров машинных частей на основании данных, которые можно непосредственно применить при вычислении прочности, при чём уделено внимание на характер ударно-разрывного напряжения. Вязкость и динамическая прочность представляют, в случаях небольшого числа циклов высокого напряжения, одно и то же понятие.

В статье изложен новый доступ к испытанию и представлено о вязкости. Устойчивость на толчки действием силы разлагается как результат толчков определенных точек массы опреде-

ленных скоростей. В статье описано исследование влияния быстроты ударной массы на устойчивость в отношении действия толчков. Установлено сходство изменения стойкости на толчки с изменением кажущегося предела текучести и упругости рабочего компонента для излома образца. О вязкости очень твердой стали получим представление на основании кажущегося предела текучести а в особенности модуля упругости.

Поэтому опытный способ определения стойкости на толчки простой и довольно совершенно вспомогательный способ определения вязкости и упругости твердых сортов стали в пределах твердости при которых ещё не наступает значительная пластическая деформация.