

Merjenje časovne odvisnosti poteka delovanja sile pri udarnem preizkusu

DK: 620.178.746.2
ASM/SLA: Q6n

Mitja Šipek

V članku je opisana naprava za elektronsko merjenje udarne sile v odvisnosti od časa na ZF žilavostnih probah.

Prikazan je razvoj naprave, konstrukcija filtrov in elektronskega prožilca ter umerjanje in končno registracija rezultatov.

Na kraju je prikazanih nekaj primerov preizkusa. Sile, ki pri udarnem lomu nastopajo, znašajo do 7 t in lomi trajajo 0,2 do 0,6 msek.

UVOD

Presoja žilavosti nekega materiala smo navajeni ocenjevati po klasičnem postopku merjenja dela, ki je bilo potrebno, da smo preizkušane določene oblike prelomili. Ta preizkus je znan kot žilavostni udarni preizkus.

Nihalo določene teže spustimo iz določene višine na preizkušane, tako da ga zadene z rezino in ga prelomi. Potencialno energijo, ki je nakopičena v sistemu in ki se spremeni v gibalno energijo, podelimo s presekom preizkušanca na mestu preloma. Pri tem zanemarimo stranske učinke, ki zmanjšujejo to energijo, tj. trenje v ležajih, trenje v zraku pri padanju nihala in netogo vpenjanje preizkušanca. Ti stranski učinki so po velikosti tudi zanemarljivo majhni in jih upravičeno lahko zanemarimo.

Dobljeni rezultat, izražen v kpm/cm², nam da vpogled v obnašanje materiala pri dinamični obremenitvi. Običajno krhki materiali pokažejo nižjo porabljeno energijo na enoto preseka.

S točnejšo razčlenitvijo poteka loma pa lahko vidimo, da je podatek dokaj nepopoln. Če upoštevamo, da je hitrost impulza v materialu odvisna od elastičnih lastnosti materiala in znaša cc. 5 km/sek., bo časovni potek delovanja sile pri lomu preizkušanca dal mnogo boljši vpogled v obnašanje materiala pri sunkovitem delovanju sile nanj.

METODA MERJENJA ČASOVNEGA POTEKA DELOVANJA SILE

Prvi poizkusi so bili izpeljani z detektorji sile, ki so bili vgrajeni v naslonih, kjer je vpet preizkušane. Ti detektorji so bili večinoma kristalni ele-

menti, ki so izrabljali piezo efekt transformacije mehanske sile v električno napetost.

Dobra lastnost takih detektorjev je v tem, da so deformacije detektorja izredno majhne, občutljivost detektorja pa dokaj velika, saj pri običajnem preizkusu po metodi Charpy na kristalu lahko dobimo več voltov visoke napetostne sunke. Tudi merjenje takih signalov pri današnji merilni tehniki ne predstavlja problema. Več problemov pa predstavlja mehanski del, saj so kristali izredno krhki in moramo večji del bremena prenašati preko vzporednih vzmeti. Za točno merjenje celotne sile je potrebno vgraditi detektorje pod oba naslona.

Nekatere izvedbe so take, da se piezo element vgradi v rezilo in tako transformira celotno silo v električni signal. Odvisnost med velikostjo sile in električnim signalom je v velikih območjih linearna, kalibriranje naprave pa je mogoče statično z utežmi na vzvodu. Da bi se izognili histerezi, pa običajno damo na element določeno znano prednatezno silo.

Taki sistemi so se obdržali pri meritvah na klasičnih oblikah žilavostnih preizkusov prob (Charpy, Izod).

MERJENJE ČASOVNEGA POTEKA DELOVANJA SILE NA PREIZKUŠANCIH ZA JEKLA, NAMENJENA ZA IZDELAVO ZOBNI KOV (Z. F. probe)

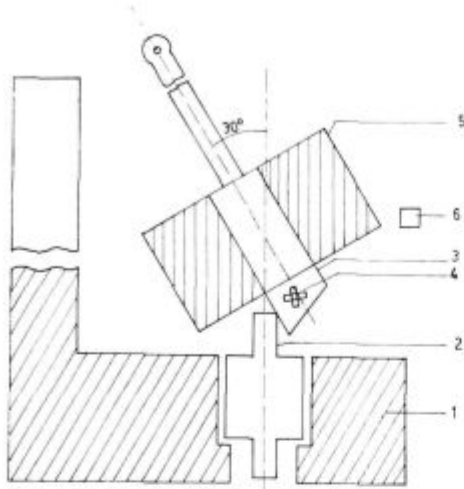
V praksi težijo izdelovalci zobatih prenosov k vedno večji štednji materiala, da bi tako postali prenosni mehanizmi čim lažji. Zato pa morajo izrabiti material do krajnih možnih mej. Običajni žilavostni preizkus daje samo nepopolne podatke o obnašanju materiala pri sunkovitih obremenitvah kot nastopajo pri delovanju zobatih prenosov.

Da bi čim bolj ponazorili razmere v praksi, je predložen preizkušane, ki ima obliko podobno pravemu zobniku, važen pa je tudi kot, pod katerim sila prijemlje, ta je izbran s 30°.

Princip naprave je shematsko prikazan na sliki 1, fotografija celotne naprave pa na sliki 2.

Preizkušane je izoblikovan tako, da predstavlja en zob zobnika, slika 3. Tak nastavek nosi preizkušane na obeh straneh, da se na istem preizkušancu lahko izvedeta dve meritvi. Preizkušane

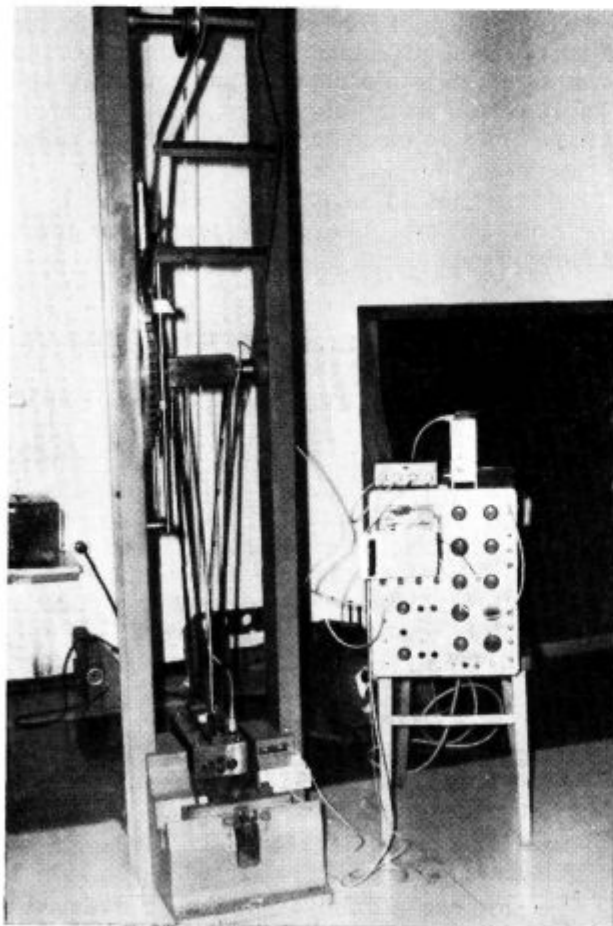
Mitja Šipek je diplomirani inženir metalurgije in direktor kontrole kakovosti v Zelezarni Ravne



Slika 1

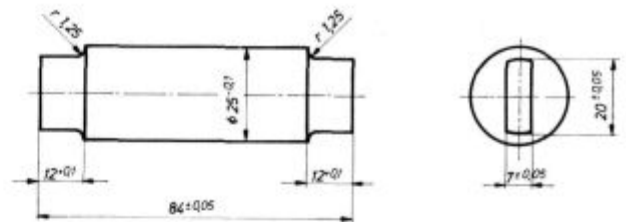
Shema merilne naprave za merjenje poteka sile pri udarnem žilavostnem preizkusu

1. vpenjalni blok
2. proba
3. trn
4. merilni uporovni trakovi
5. kladivo
6. brezkontaktni sprožilec časovne baze



Slika 2

Izgled celotne merilne naprave

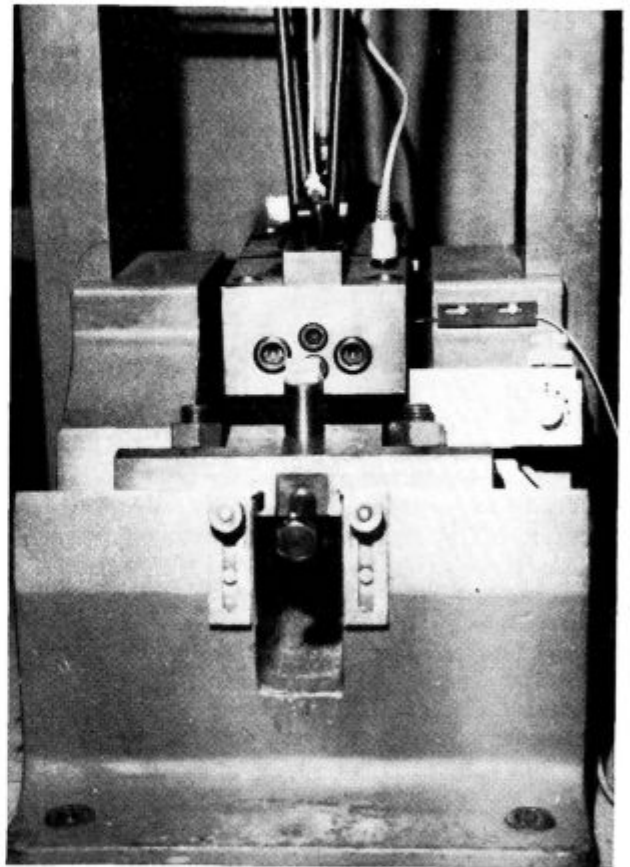


Slika 3

Izgled ZF probe. Na vsakem koncu probe je izdelan po en zob katerega odlomimo

se po obdelavi še termično obdela in v pne v držalo, ki mora biti čim bolj togo. Uporabili smo konstrukcijo kladiva tipa Amsler.

Na sliki 4 je prikazan vpenjalni blok s preizkušancem, montiran na konstrukciji kladiva.

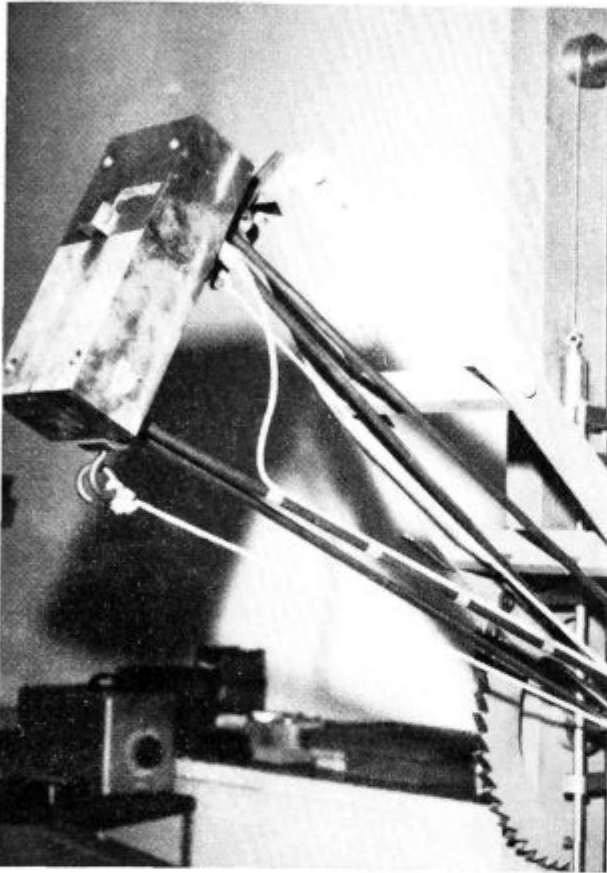


Slika 4

Vpenjalni blok s proba, ki je izvlečena. Na desni strani je viden sprožilec, nad njim sonda za nameščanje prožilne točke

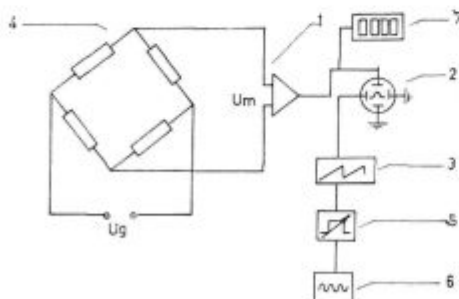
Kot merilec sile (v tem slučaju upogiba) smo uporabili podobno kot konstrukterji v zap. Nemčiji (Südwestfalenhütte Geissweid, Zahnradfabrik Ludwigshafen) kombinacijo merilnih trakov (Dehnungsmessstreifen, Strain gages) 4 kom., ki so nalepljeni na udarnem trnu pod kotom 45° in vezani v električni most, tako da leže aktivni trakovi v eni, kompenzacijski pa v drugi veji mostu, slika 5 — trn montiran v kladivu.

Most je napajan z enosmernim tokom 10 V, skrbno stabiliziran. Signal iz mostu je okrepljen v enosmernem pojačalu in ga okrepljenega peljemo na oscilograf, ki je dovolj točno kalibriran v enotah napetosti ter omogoča zunanje proženje.



Slika 5
Izgled kladiva z merilnim trnom

Mostične sheme za merjenje sil z merilnimi trakovi v praksi često uporabljajo izmenično napajanje mostu s frekvencami 5 do 50 kHz, kar je pri starejših napravah skoraj nujno, saj je okre-



Slika 6
Električna principierna shema naprave:

1. ojačevalo
2. katodni oscilograf
3. časovna baza
4. merilni most
5. sprožilec z nastavljivo zakasnitvijo
6. oscilator sprožilca
7. merilec vršne napetosti kalibriran v kp.

pitev izmeničnih signalov mnogo bolj enostavna. Novejša tranzistorizirana integrirana vezja pa omogočajo razmeroma enostavno okrepitev enosmer- nih signalov, da pa pri tem ničelna točka ostane stabilna kljub spremenljivim temperaturam okolice.

Napajanje mostu z izmeničnim tokom pa je v tem primeru popolnoma neuporabno, saj trajajo merni signali 0,2 do 0,5 msec., torej 5 do 2 kHz in bi tudi generatorji pri 50 kHz vnašali nevzdržne napake v meritev. Izbrali smo merni most KVS 3000, firme Hottinger, Messtechnik, ter imulz- ni oscilograf Tektroniks 545 B.

Nemški avtorji zatrjujejo, da naj bo celotna konstrukcija naprave čim bolj mehansko robustna, tako stojalo kot nihalo, da ne bi prišlo do nekontroliranih parazitnih nihanj v merjenem signalu. V ta namen so običajno izbirali masivne konstruk- cije starejših izvedb kladiv (npr. Losenhausen) in jih priredili za to merjenje.

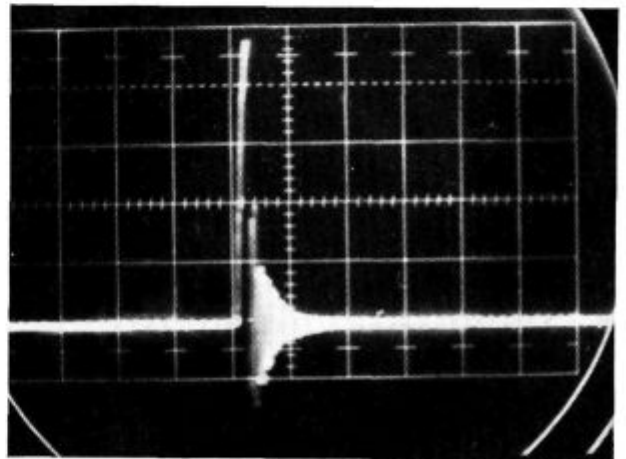
Novejši Amslerjev tip kladiva pa je izveden z valjanimi U profili, samo kladivo pa je obešeno na štirih tankih palicah \varnothing 12 mm, kjer o kakšni ro- bustnosti ni govora.

Da bi lahko ugotovili, ali je tak sistem sploh uporaben, smo morali posneti poizkusne oscilo- grame, ne da bi vedeli natančneje parametre za nastavitev časovne baze in okrepitev.

Ze na prvih posnetkih smo ugotovili, da glav- nemu impulzu sledi periodično iznihavanje si- stema, slika 7.

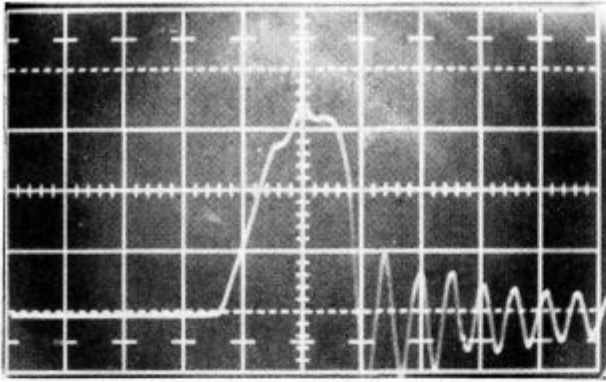
Ko smo isti posnetek napravili z močno razvle- čeno časovno bazo, kjer en razdelek na horizontali pomeni 0,2 msec, smo lahko izmerili širino glav- nega signala, 0,48 msec, ter iznihavanja, ki se ena- komerno iztekajo s širino 0,114 msec, kar odgo- varja 8,8 kHz, slika 8.

Če računamo s hitrostjo zvoka cc. 5 km/sek. v trnu, ki je izdelan iz jekla Č. 4150 — OCR 12 in termično obdelan na cc. 50 HRC ter ima prečno di- menzijo 25 mm, vidimo, da traja potrebni čas na



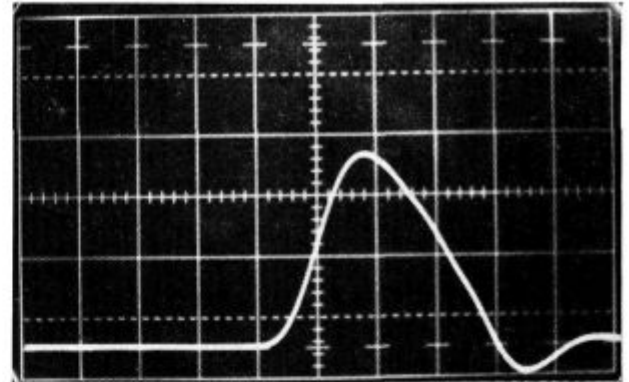
Slika 7

Posnetek loma na oscilografu. Vidna so dušena iznihava- nja trna



Slika 8

Z raztegnjeno časovno bazo je mogoče iz slike 5 odčitati frekvenco iznihavanja, ki znaša 8,8 kHz

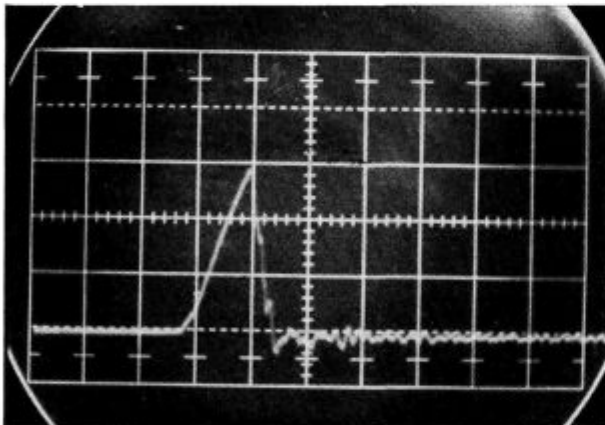


Slika 10

RC filter preveč raztegne signal iz slike 7 in 8 na 0,72 msek.

poti 2×25 mm 0,1 msek ali 10 kHz. Očitno je torej, da iznihava trn, da pa pri tem ne sodeluje ostala konstrukcija kladiva (ravno zaradi netožega obešanja). Dejansko tako iznihavanje merjenja ne moti, vendar želimo imeti bolj izglašen oscilogram zaradi lažjega odčitavanja, predvsem zato, ker želimo na isti film posneti več lomov. Uporabili smo polaroidno kamero Swinger sistema. Iznihavanje bi preglednost posnetkov zelo kompliciralo.

Iz nadaljne serije lomov smo prišli do primerov krhkega loma, kjer glavni signal traja vsega 0,3 msek, kar odgovarja frekvenci 3,3 KHz, slika 9. Pojavi, ki so krajši, naj bodo izločeni, v ta namen je potrebno signale filtrirati.



Slika 9

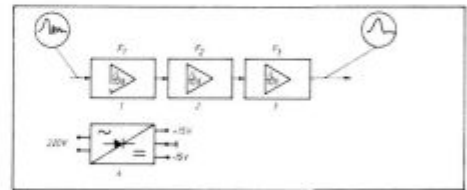
Krhak lom traja kratek čas vsega 3,3 kHz = 0,3 msek.

Konstrukcija filtrov

Prve poizkuse smo naredili tako, da smo vgradili pasivni filter za nizke frekvence. Tak filter sicer poreže visoke frekvence, vendar močno popači originalni signal, kar vnaša napake v meritev, tako da zniža najvišji signal, kar pomeni, da odčitamo manjšo silo, kot jo v resnici merimo, pa tudi širino signala razvleče in tako odčitamo daljši čas delovanja sile, kot v resnici je.

Tak primer vidimo na sliki 10. Tu je viden posnetek drugega zoba na preizkušancu iz slike 7, pri sicer istih pogojih občutljivosti. Vidimo, da se je signal na vrhu znižal, predvsem pa se je podaljšal čas loma od 0,48 na 0,72 msek. Največja težava pri teh filterih pa je ta, da naprave ne moremo kalibrirati statično, saj gre za RC sklope, ki enosmernih signalov ne prepuščajo.

Pristopili smo torej h konstrukciji aktivnih filtrov v več stopnjah z uporabo integriranih operacijskih ojačevalcev. Taka shema je prikazana na sliki 11.



Slika 11

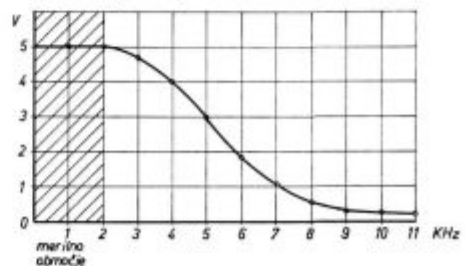
Principielna shema aktivnega filtra, ki je sestavljen iz treh ojačevalcev $F_1, 2, 3$

Levo zgoraj — signal z iznihavanjem
Desno zgoraj — filtriran signal

Frekvenčni potek takega filtra je prikazan na sliki 12.

Razvidno je, da filter enakomerno prepušča signale, od enosmernih pa do 2,5 kHz, tiste, ki najbolj motijo, torej nad 5 kHz, pa praktično popolnoma poreže.

Krivulja aktivnega filtra



Slika 12

Frekvenčna karakteristika tristopenjskega filtra. Merno področje je uporabno do cc. 3 kHz, višje frkevence so močno dušene

Kalibriranje naprave

Najenostavnejši način kalibriranja je statičen, tako da držalo s trnom snamemo z obešala in ga vpnemo na robustni jarem, katerega postavimo na trgalni stroj.

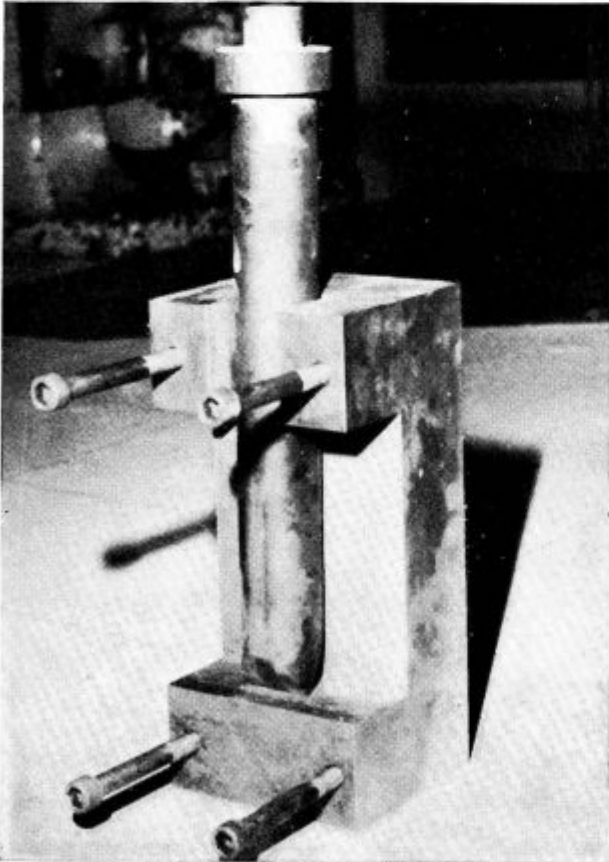
Jarem ima vgrajen bat z ostrino, ki jo justiramo tako, da nasede na trn točno na istem mestu, kjer nasede trn na preizkušanelec. To mesto je po nekaj lomih na trnu dobro vidno. Tako napravo vidimo na sliki 13.

Trn pritisnemo postopoma po 1 t in merimo napetost pri točno poznani občutljivosti ojačevala in oscilografa do 10 t.

Na sliki 14 je prikazana krivulja odvisnosti odklona na oscilografu v V v odvisnosti od obremenitve. Viden je odličen linearni potek kalibracijske krivulje. Ko smo napravo tako kalibrirali, je pripravljena za delo. Držalo s trnom snamemo iz jarma in ga ponovno pritrdimo na obešalo kladiva.

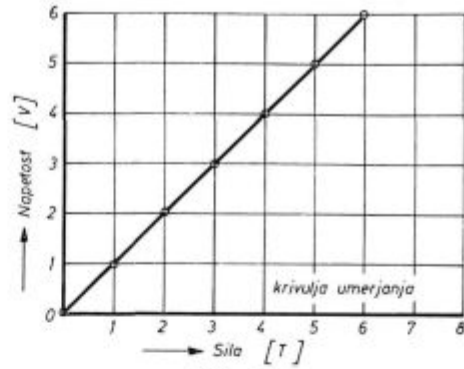
Proženje časovne baze oscilografa

Za snemanje oscilogramov smo uporabili polaroidno kamero FOT 1, ki je pritrjena na oscilograf. Kamero vsakokrat ročno sprožimo, ni pa nikakršnih zadržkov, da ne bi mogli izvesti avtomatsko proženje.



Slika 13

Izgled jarma s trnom za kalibriranje. Ključna sestavina je masivna kovinska konstrukcija, ki vsebuje vertikalni stebriček s trnom na vrhu. Na strani so vidni štiri vijaki, ki služijo za pritrditev na jarem. Na spodnjem delu konstrukcije so nameščeni dve vijaki, ki služijo za nastavljanje ostrine bato.



Slika 14

Krivulja umerjanja naprave pokaže zelo linearen potek signala v odvisnosti od sile

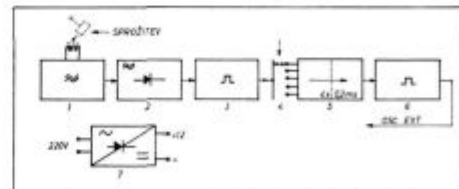
Da bi lahko pomikali pričetek oscilograma horizontalno po ekranu osciloscopa in tako izrabili en film za več posnetkov, moramo poskrbeti za avtomatsko proženje časovne baze.

Proženje lahko izvedemo na različne načine. Z mehanskim kontaktom, fotocelično ali elektromagnetno. Za vsakim prožilcem pa moramo vključiti časovno zakasnitev, ki jo lahko poljubno nastavljamo od 0,0 do 2 msek.

Najenostavnejši pa najmanj gotov je mehanski sprožilec. Fotoelektrični je sicer dobro uporaben, ima pa obrabljiv del, tj. izvor svetlobe, zato smo se rajši odločili za brezkontaktno električno stikalo. Sproži ga držalo trna, ko pride pred sondo. Razdalja med sondo in držalom ni kritična in znaša nekaj milimetrov.

Stikalo je v bistvu visokofrekvenčni generator, ki niha dokler kvaliteta nihajnega kroga ne pade pod kritično mejo zaradi izgub, ki nastanejo, ko se kovinsko držalo približa nihajni tuljavici. V tem trenutku izpade nihanje. Napetostni impulz, katerega na ta način dobimo, sproži monostabilni vibrator z nastavljivo časovno konstanto. S potenciometrom lahko določimo čas, v katerem ostane vibrator v labilnem položaju. Ko preskoči v stabilno lego, dobimo ponovno diferenciran impulz, ki proži časovno bazo oscilografa.

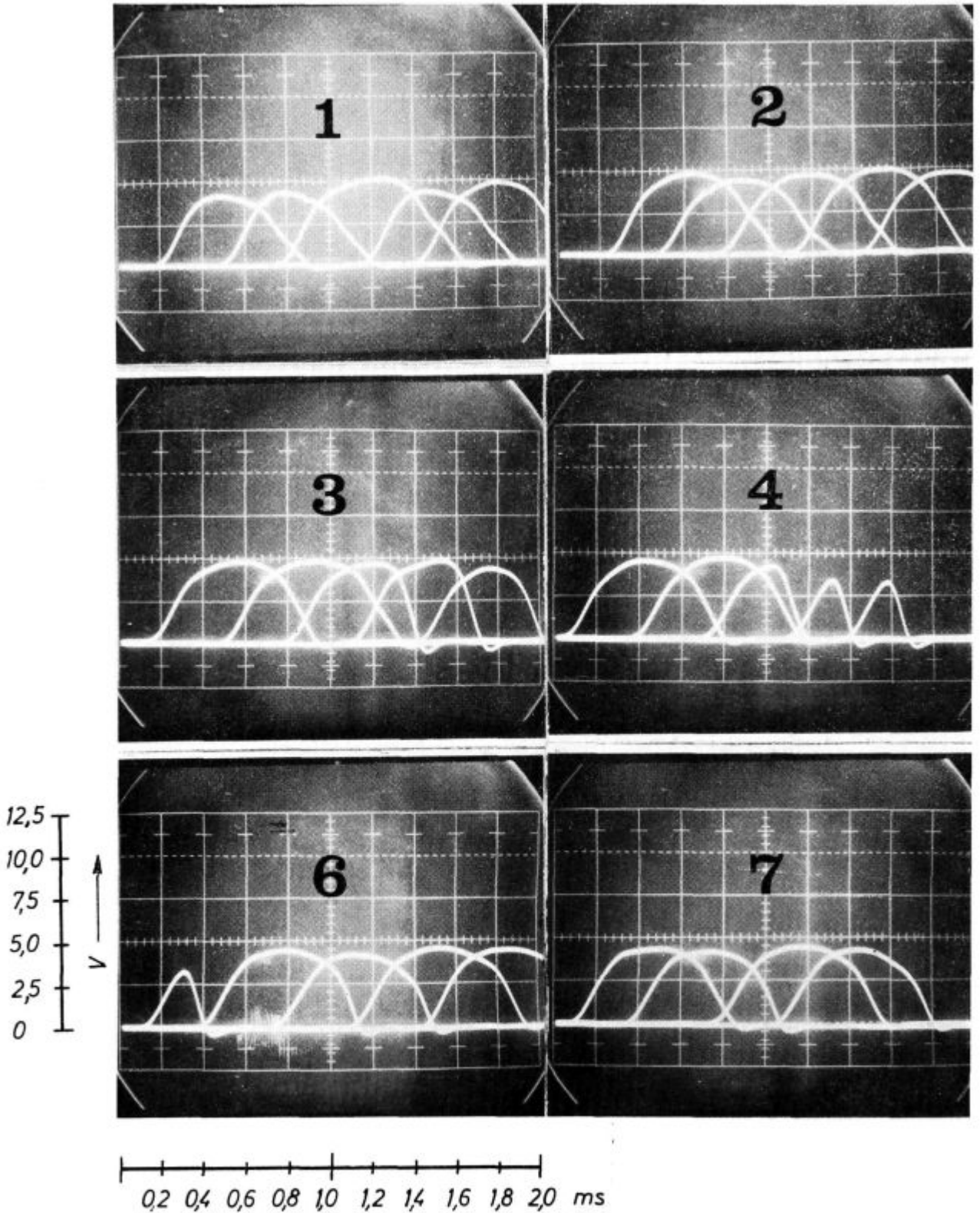
Principielna shema elektromagnetnega stikala z zakasnilnim členom je prikazana na sliki 15.



Slika 15

Principielna shema prožilca:

1. VF sinusni generator
2. Demodulator
3. Monostabilna stopnja
- 4., 5. Preklopnik za izbiranje dolžine signala monostabilne stopnje po 0,2 msek/cm
6. Smitov triger za proženje časovne baze



Slika 16
 Nekaj primerov posnetkov digramov: sila-čas abscisa-čas ordinata-sila

Na ta način moremo posneti družino krivulj različnih lomov, kot je prikazano na sliki 16, kjer pomeni en razdelek na horizontali 0,2 msec in en razdelek na vertikali 2,5 t. Na sliki vidimo, da

filter odstrani vsa iznihavanja, pri tem pa skoraj ne okrne nastopa in izteka signala. Naprava je bila kalibrirana skupaj s filtrom, ki propušča tudi enosmerni signal.

Registracija rezultatov z elektronskim voltmetrom

Če se zadovoljimo samo s snemanjem oscilogramov, smo prisiljeni čakati, da zlomimo vso količino preizkušancev, ki jo nameravamo posneti na en film, preden lahko vidimo rezultat po razvijanju (ki traja 20 do 30 sek.).

Rado se zgodi, da film odpove ali naredimo napako pri snemanju ali razvijanju. V tem primeru je izgubljen tudi rezultat in uničen preizkušavec.

Da bi se temu izognili, smo se odločili, da vgradimo za ojačevalcem še merilec vršne napetosti (peak detector). To je v bistvu elektronski voltmeter, ki ima na vhodu vgrajeno elektrometersko pojačalo z zelo visoko vhodno upornostjo. Vršna napetost signala napolni razmeroma majhen kvalitetni kondenzator in cevni voltmeter meri statično napetost, vse dokler rezultata ne izbrišemo s pritiskom na gumb. Nakazovanje rezultata more biti s kazalčnim instrumentom ali digitalno, ki ima pred prvimi prednost, da odpade napaka subjektivnega čitanja. Pri takem načinu registracije rezultata seveda izgubimo podatek o trajanju loma, vendar pa nam ostane najvažnejši podatek o vršni sili.

Časovno potni diagram poteka sil, ki smo ga na ta način dobili, nam pove mnogo natančneje, kako se material obnaša pri sunkoviti obremenitvi, ne pove nam pa, kako poteka sila v odvisnosti od napredovanja loma, tj. v odvisnosti od poti.

Snemanje diagrama sila - pot

Na dvokanalnem oscilografu lahko istočasno snemamo diagram sila-čas in sila-pot — sinhrono, če napravo opremimo tako, da bo časovna baza priključena na izhod ojačala, ki registrira pot merilnega trna od trenutka, ko udari na rob preizkušanca, do loma. Taki sistemi so znani iz literature (1), vendar so nekoliko zastareli. Z uporabo eksponencialnega sivega klina lahko dobimo linearno odvisnost od količine svetlobe, ki jo klin propušča, in napetostjo na izhodu ojačala.

Pozneje so bili izvedeni poizkusi s svetlobnimi vlakni (Glassfaser), danes pa nam nudijo izhod izredno fino fokusirani laserski žarki. V principu pa je uporaben vsak sistem, ki lahko z zadostno

točnostjo spreminja izhodni signal v odvisnosti od poti trna, ki pa je razmeroma kratka, posebno še pri krhkkih vzorcih.

Diskusija rezultatov

Opisana metoda je empirična in njena točnost odvisna od mnogih pogojev:

- Točnost uporabljenih instrumentov, ki se giblje med 1 do 2 %.
- Točnost filtrov v primeru z drugimi izvedbami.
- Točnost nalepljenja trakov.
- Točnost pri kalibriranju. Posebno je važno, da rezina kalibriranega bata nalega na isto mesto kot preizkušavec.
- Točnost odčitavanja.
- Točnost vpenjanja preizkušanca — zob paralelno s trnom.
- Točnost izdelave preizkušanca in njegova homogenost.

Če seštejemo vse te vplive, ne smemo pričakovati rezultatov, ki bi presegali točnost $\pm 10\%$, tako da ostane ta preizkus še vedno primerjalni.

Literatura

- Alberti H., Kügler J.: Anlage zur Registrierung von Schlagkraft und Durchbiegung bei der Kerbschlagprüfung mit einem Pendelschlagwerk
Materialprüfung 13 (1971), N^o 9, S. 292,97
- H. Schmiedel ZIS Halle (Saale): Kerbschlagzähigkeitsuntersuchungen bei hohen Schlaggeschwindigkeiten
620. 178. 746 int. poročilo
- Ermittlung von Schlagkraft-Durchbiegungs-Diagrammen mit dem PSWO 30
620. 178. 311. 3 (084-2) int. poročilo
- Fearnebough G. D., Hoy C. J.: Mechanism of deformation and fracture in the Charpy test as revealed by dynamic recording of impact bonds
Journal of The Iron and Steel Institute, Nov. 1964
- Messtechnische Briefe für elektrisches Messen mechanischer Größen. Hottinger Baldwin Messtechnik Darmstadt
- H. Bruger: Schlagbiegeversuch zur Beurteilung einsetzgehärteter Stähle. Schweizer Archiv — jul. 1970 S.219,229
- H. Bruger, G. Kraus: Einfluss der Zähigkeit auf das Verhalten von Einsatzstählen im Statischen und dynamischen Biegeversuch. Archiv für das Eisenhüttenwesen 32 (1961) Aug. H. 8. S. 529—531

ZUSAMMENFASSUNG

Der klassische Kerbschlagzähigkeitsversuch ermöglicht uns nicht eine genügend klare Einsicht in die Ereignisse bei dem stossweisem Bruch der Probe. Neben der Arbeit auf die Bruchflächeneinheit interessiert uns vor allem die grösste Kraft und die Zeit des Kraftverlaufes von dem Stoss des Hammers bis zu dem Bruch der Probe.

Mit den elektronischen Hilfsmitteln ist eine Methode für die Verfolgung des Bruchverlaufes gegeben so, dass die Kraft mit Dehungsmeistreifen gemessen, und der Zeitverlauf der Kraft am Oszilograph abgebildet wird. Beim Hammerschlag auf die Probe kommt es zu den mechani-

schen Ausschwingungen, welche mit elektrischen Filtern gedämpft werden können.

Der Startpunkt der Zeitablenkung wird durch kontaktlosen elektromagnetischen Schalter mit Verzögerung durchgeführt.

Die Registrierung wird photographisch und mit dem Digitalvoltmeter der die Spitzenspannung registriert, realisiert.

Die gemessene Spannung ist der Kraftspitze proportional.

SUMMARY

Usual toughness test does not give enough clear insight into phenomena during sudden fracture of the test piece. Beside the absorbed work per unit fracture area also the maximal force and the time function of force from the beginning of impact till breakage is of great interest.

Electronics enable us to follow the course of fracture, so that force is measured by strain gages and the

time function of force is registered on oscilograph. When pendulum hits the test piece mechanical vibrations occur which can be isolated by electric filters. Electronic start is achieved by contactless plugs with debey line. The results are double registered: photographically and by digital voltmeter registering peale voltage which is directly proportional to the maximal ocuring force.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Классический метод определения вязкости нам не даёт ясное представление о процессе, который происходит до разрушения образца как следствие ударной нагрузки. Кроме действия на единицу поверхности излома, нас главным образом интересует максимальная сила и промежуток времени от удара молотом до излома образца. Электронные вспомогательные средства нам позволяют следить за процессом излома, при чём силу определяем марными лентами, а интервал времени действия силы определяем на осциллографе момент, когда на осциллографе должно произойти начало

передвижения электронной лучи определяет электромагнитный включитель, который действует без соприкосновения и позволяет в определённом пределе начало действия. Во время удара молотом в образце появляются механические колебания, которые необходимо изолировать при помощи электронных фильтров. Результаты регистрируем двойным способом: фотолафическим и при помощи цифрового вольтметра, который регистрирует максимальное напряжение, а это, со своей стороны, прямо пропорционально максимальной возникающей силе.