

ISPITIVANJA DINAMIČKIM DEJSTVOM SILE

Pod ispitivanjima dinamičkim dejstvom sile podrazumijevaju se ispitivanja pri kojima sila djeluje jednim ili ponovljenim udarom i ispitivanja pri kojima se vrijednost sile mijenja u izvjesnom opsegu po određenom zakonu i sa određenom učestanošću.

Postoji velik broj metoda ispitivanja materijala na osnovu dinamičkog dejstva sile, i njihovi rezultati služe danas kao polazna tačka za proračune pri konstruisanju mašina.

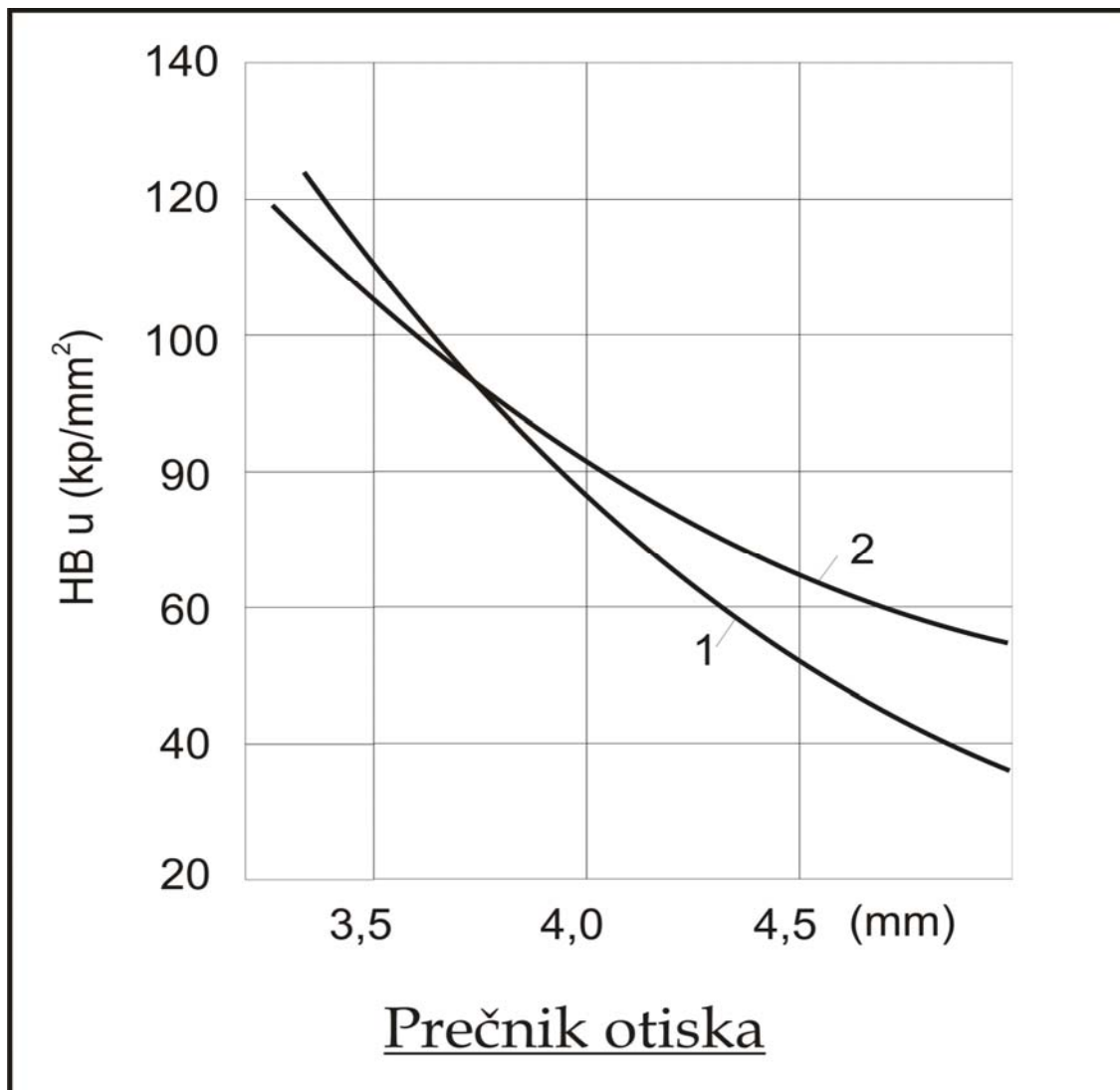
U ispitivanja udarnim dejstvom sile spadaju razni postupci određivanja tvrdoće: Poldijeva, skleropska i duropska metoda, zatim određivanje žilavosti udarom na savijanje po Šarpiju i Izodu, ispitivanje postupkom istezanja pri udaru itd. Dejstvom sile promjenljive vrijednosti utvrđuje se otpornost materijala prema zamoru.

Određivanje tvrdoće dinamičkim dejstvom sile

Za razliku od statičkih metoda ispitivanja tvrdoće kod dinamičkih metoda ispitivanja na utiskivač se djeluje udarnim opterećenjem. Mjerilo tvrdoće je veličina otiska koju načini utiskivač u ispitivanom materijalu ili veličina odskoka tega ili klatna poslije udara o ispitivani materijal.

Postupak uporednog ispitivanja izvodi se Poldijevim aparatom koji omogućuje da utiskivač, okaljena čelična kuglica prečnika d , istovremeno ostavi otisak u ispitivanom materijalu i u komadu šipke poznate tvrdoće. Jačina udarca treba da bude tolika da ostavi otisak prečnika 2-4 (mm).

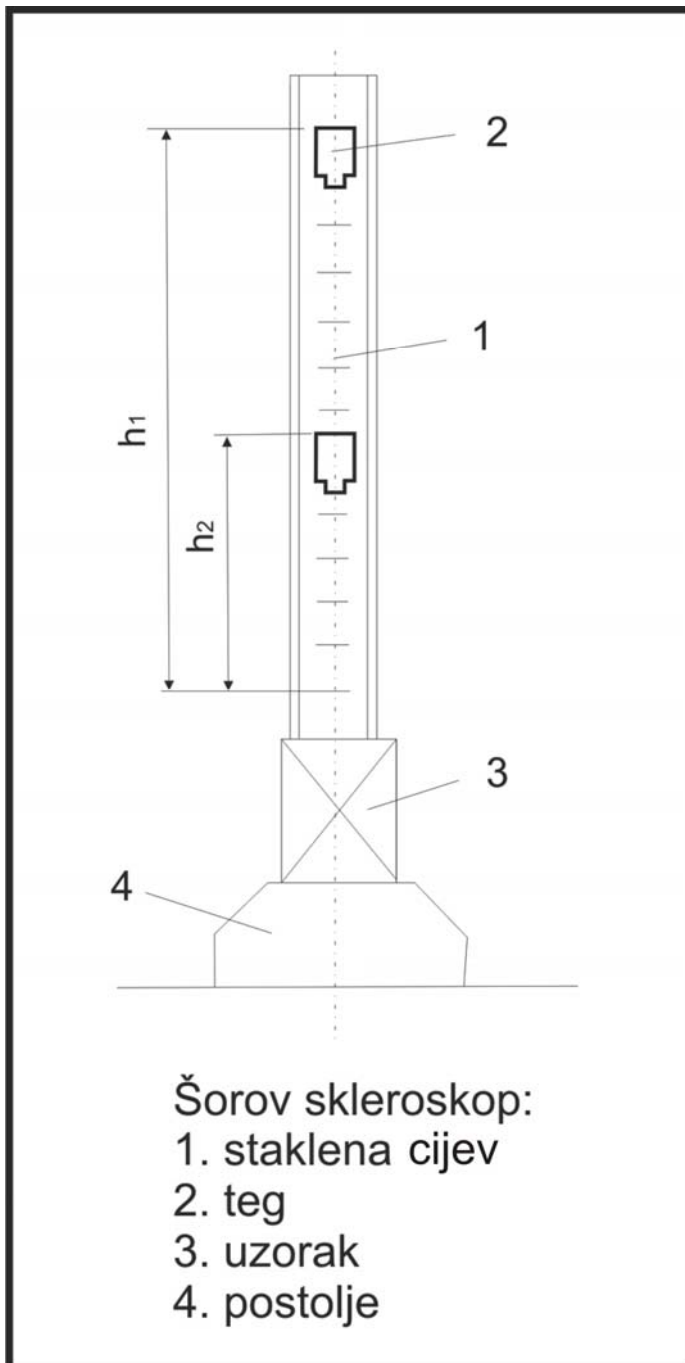
Na sljedećem dijagramu upoređene su tvrdoće po Brinelu sa tvrdoća određenim postupkom uporednog ispitivanja udarom:



Upoređivanje Brinlove (kriva 2) i Poldijeve (1) tvrdoće

Kao što se iz dijagrama vidi vrijednosti Brinlove i Poldijeve tvrdoće, u datom primjeru, su istovjetne samo pri prečniku otiska od približno 3,75 (mm). Kod manjih prečnika tvrdoća po brinelu pokazuje manje a kod većih prečnika otiska veće vrijednosti od tvrdoće određene Poldijevom metodom.

Postupci elastičnog odskakanja određuju tvrdoću posrednim putem, tj. preko ispitivanja elastičnih svojstava površine datog materijala. S obzirom da se ta svojstva kod materijala čiji moduli nemaju slične vrijednosti kao što su na primjer: guma, drvo, kamen, čelik, itd., osjetno razlikuju, to i podaci o tvrdoći zasnovani na njima pokazuju velika kolebanja i ne treba ih međusobno upoređivati, pošto bi se inače mogao izvesti pogrešan zaključak. Za ova ispitivanja se najčešće koristi Šorov skleroskop koji je prikazan na sljedećoj slici:



Šorova metoda

Šorova metoda spada u grupu ispitivanja tvrdoće elastičnim odskokom. Zasniva se na principu odbojnosti tega od ispitivanog materijala. Princip ispitivanja je sljedeći:

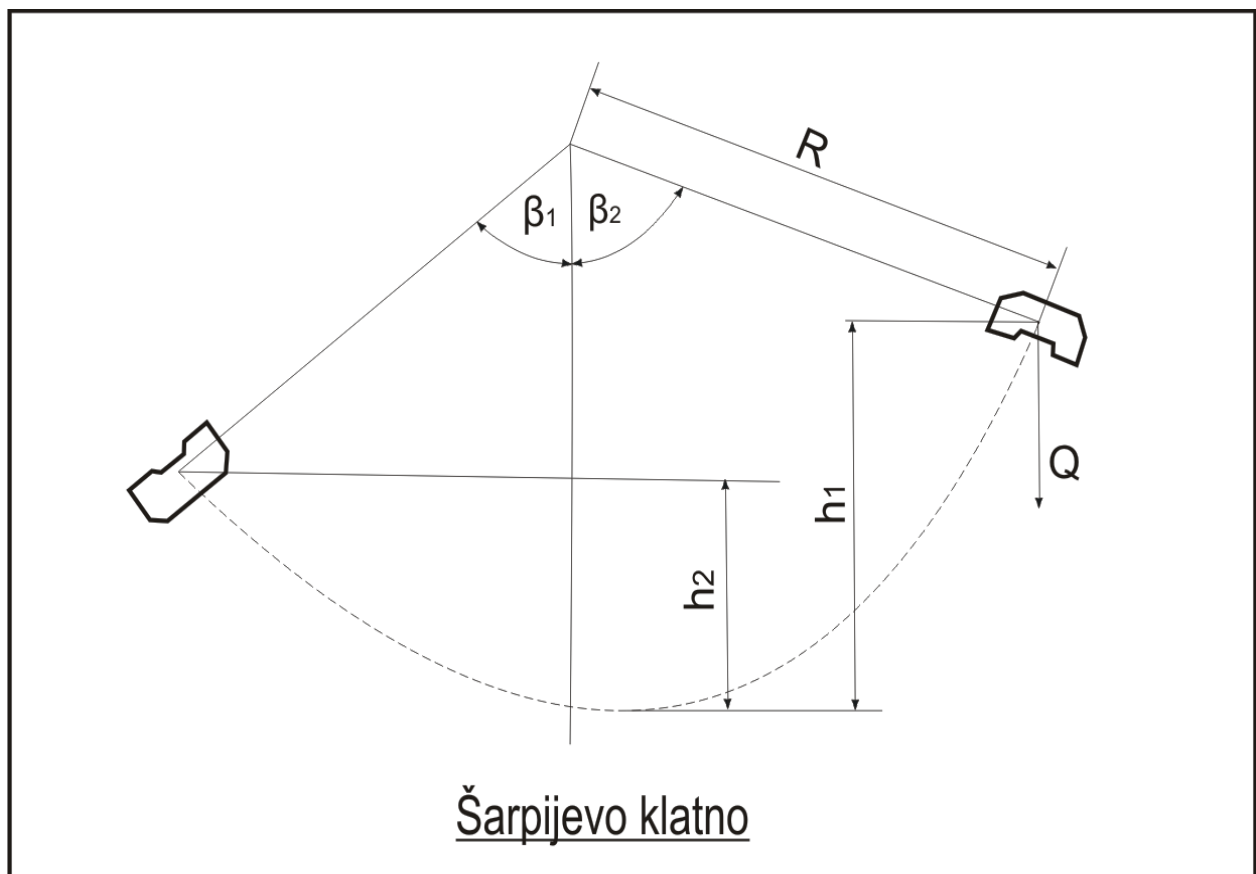
- Sa visine h_1 pušta se da slobodno pada teg sa zaobljenim dijamantskim vrhom (1) na izbrušenu i poliranu površinu uzorka (3).
- Usljed elastičnog udara o uzorak teg se odbija i mjeri se visina odskoka (h_2), koja služi kao mjerilo tvrdoće.
- Veličina h_2 može neposredno da se očita na skali, koja je pričvršćena uz staklenu cijev (2) i ima 130 podioka, tzv. šorovih jedinica.
- Staklena cijev u kojoj se nalazi teg mora da bude vertikalno postavljena radi što manjeg trenja tega.
- Visina sa koje pada teg je različita i zavisi od težine tega npr. : za teg težine 25 mN visina je oko 256mm, za teg težine 250 mN visina je oko 112mm.
- Obično se vrše tri mjerenja tvrdoće i to na tri različita mjesta pa se kao mjerodavna veličina uzima njihova srednja vrijednost.
- Za ispitivanje mekih metala koristi se zatupljeni čelični teg bez dijamantskog vrha.
- Dobijeni rezultati se množe koeficijentom 0,65 da bi se preveli u šorove jedinice.

Ispitivanje žilavosti metala

Ispitivanje žilavosti smatra se kao jedno od najvažnijih ispitivanja materijala dinamičkim dejstvom sile. Pod žilavošću se podrazumijeva sposobnost nekog metala ili legure da se suprostave dejstvu udara. Ukoliko je za lomljenje uzorka udarom potrebno utrošiti veći rad, utoliko se taj materijal smatra žilavijim. Ispitivanja žilavosti se definišu po *Šarpijevoj metodi*.

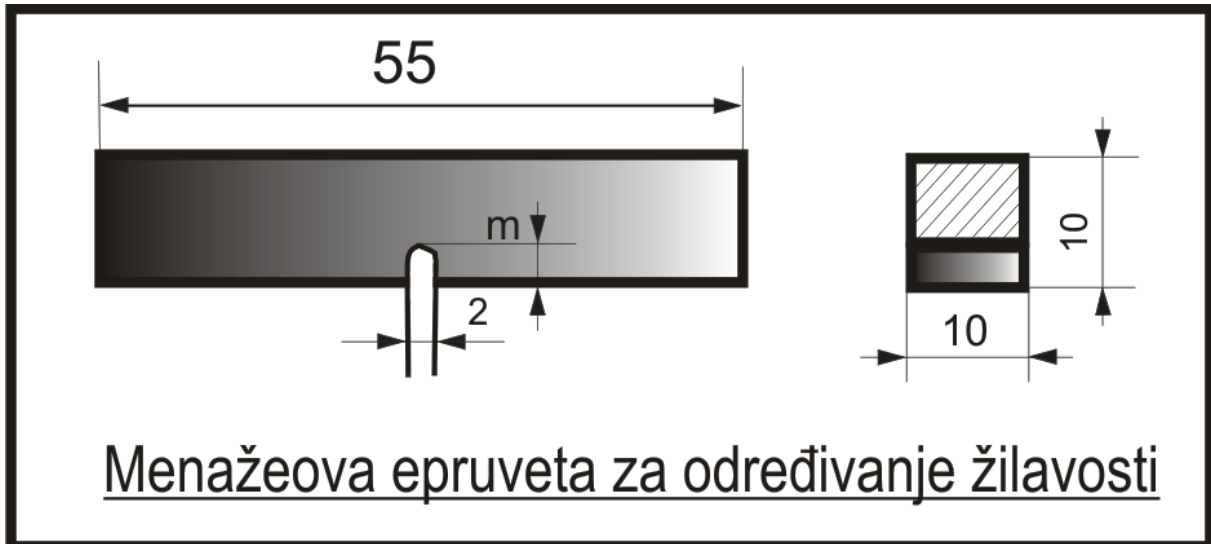
Šarpijev metod

Definiše se kao rad koji je potrebno utrošiti po jedinici površine poprečnog presjeka, iznad zareza, da bi se probni štap slomio jednim udarom. Šarpijevo klatno prikazano je na slici:



Šarpijevo klatno ima na svome kraju teg sa nožem u sredini. Ono se prije ispitivanja otkloni za izvjestan ugao β_1 u odnosu na ravnotežni položaj i tada raspolaže sa potencijalnom energijom $G \cdot h = 10, 20$ ili 30 (N/m). Pri udaru o epruvetu dio energije se utroši, a ostatak diže klatno do izvjesne visine h_2 . Razlika ove dvije energije predstavlja utrošenu energiju za prelamanje epruvete.

Epruveta za ispitivanje žilavosti je paralelopipednog oblika, dužine 55 (mm), kvadratnog poprečnog presjeka, sa zarezom na sredini, čija dubina iznosi 2, 3 ili 5 mm. Na sljedećoj slici prikazana je Menažeova epruveta sa dubinom zareza 3mm.



Nož uvijek udara u epruvetu sa suprotne strane od one na kojoj se nalazi zarez. Kao površina presjeka epruvete uzima se površina ispod zareza i ona iznosi u zavisnosti od dubine zareza 0,5 cm kvadratnih. Temperatura epruvete treba da je $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, i ukoliko je niža ili viša, mora se posebno podvući, pošto se vrijednosti žilavosti određene na različitim temperaturama znatno razlikuju.

Žilav prelom je sitnozrnaste strukture, mat boje i sa jasnim znacima deformacije. Krt prelom je krupnozrnast, svjetlije boje i bez vidljivih znakova deformacije. U zavisnosti od strukture materijala i sulova ispitivanja često se pojavljuje prelom, čiji jedan dio površine ima odlike krtog, a drugi dio žilavog loma. Ovakav prelom zove se mješoviti.

Ispitivanje zamaranjem

Pod zamaranjem se podrazumijeva postepeno razaranje materijala usljed dugotrajnog dejstva periodično promjenljivih opterećenja. Periodično promjenljivim opterećenjem se naziva takvo opterećenje koje se mijenja periodično, približno po zakonu sinusoida. Postoje dve osnovne vrste promjenljivog opterećenja :

1. jednosmjerno promjenljivo opterećenje
2. naizmjenično promjenljivo opterećenje

Kod *jednosmjerno promjenljivog opterećenja* materijal je tokom cijelog ispitivanja opterećen istom vrstom naprezanja, čija se vrijednost neprekidno mijenja. Najmanji dio funkcije opterećenje – vrijeme, koji se periodično ponavlja, zove se *ciklus*. Broj ciklusa u jedinici vremena naziva se *frekvencom*.

Prema JUS C.A4.035 od 1966. godine, *gornje opterećenje* je najveća algebarska vrijednost opterećenja u ciklusu.

Donje opterećenje je najmanja algebarska vrijednost opterećenja u ciklusu.

Srednje opterećenje se izražava kao algebarska vrijednost aritmetičke sredine gornjeg i donjeg opterećenja.

Apsolutna vrijednost algebarske razlike gornjeg i donjeg opterećenja naziva se *rasponom*.

Apsolutna vrijednost polovine algebarske razlike gornjeg i donjeg opterećenja naziva se *amplituda*.

Kod naizmjenično promjenljivog opterećenja neprekidno se mijenja veličina tokom zamaranja, a periodično predznak opterećenja. Pod *naponom* se podrazumijeva opterećenje jedinice poprečnog presjeka epruvete i obično izražava u N/mm kvadratnom. Postoje dva osnovna napona.

- normalni i
- tangencijalni.

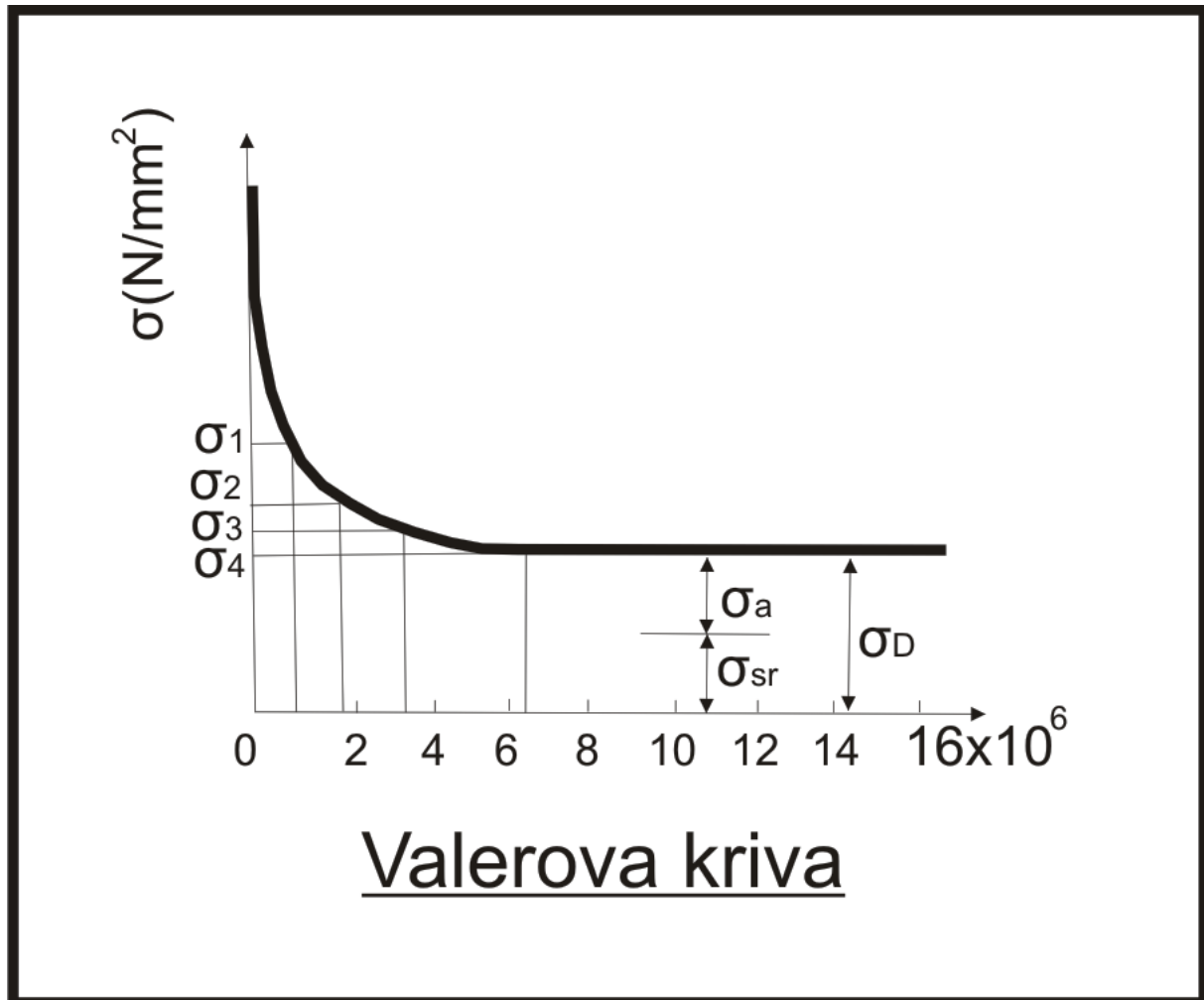
Normalni napon djeluje normalno na površinu presjeka i obilježava se sa „+“ ako izaziva zatezanje, i sa „-“, ako izaziva pritisak.

Tangencijalni napon djeluje u ravni presjeka i izražava se kao apsolutna vrijednost.

Tipične vrste periodično promjenjivog opterećenja	Max. napon	Količnik donjeg i gornjeg napona	Srednji napon σ_{sr}	Amplituda napona σ_a
Jednosmjerno promjenjivo opterećenje između gornjeg (σ_g) i donjeg napona (σ_d)	σ_g	$0 < \sigma_d / \sigma_g < 1$	$\sigma_g + \sigma_d / 2$	$\sigma_g - \sigma_d / 2$
Jednosmjerno promjenjivo opterećenje između (σ_g) i nule	σ_g	$0 / \sigma_g = 0$	$\sigma_g / 2$	$\sigma_g / 2$
Naizmjenično promjenjivo opterećenje između (σ_g) i ($-\sigma_d$), gdje je $\sigma_d < \sigma_g$ i suprotnog znaka	σ_g	$-1 < -\sigma_d / \sigma_g < 0$	$\sigma_g - \sigma_d / 2$	$\sigma_g + \sigma_d / 2$
Naizmjenično promjenjivo opterećenje između σ_g i σ_d gdje je $\sigma_g = \sigma_d$, ali su suprotnog znaka	σ_g	$-(\sigma_d / \sigma_g) = -1$	0	σ_g

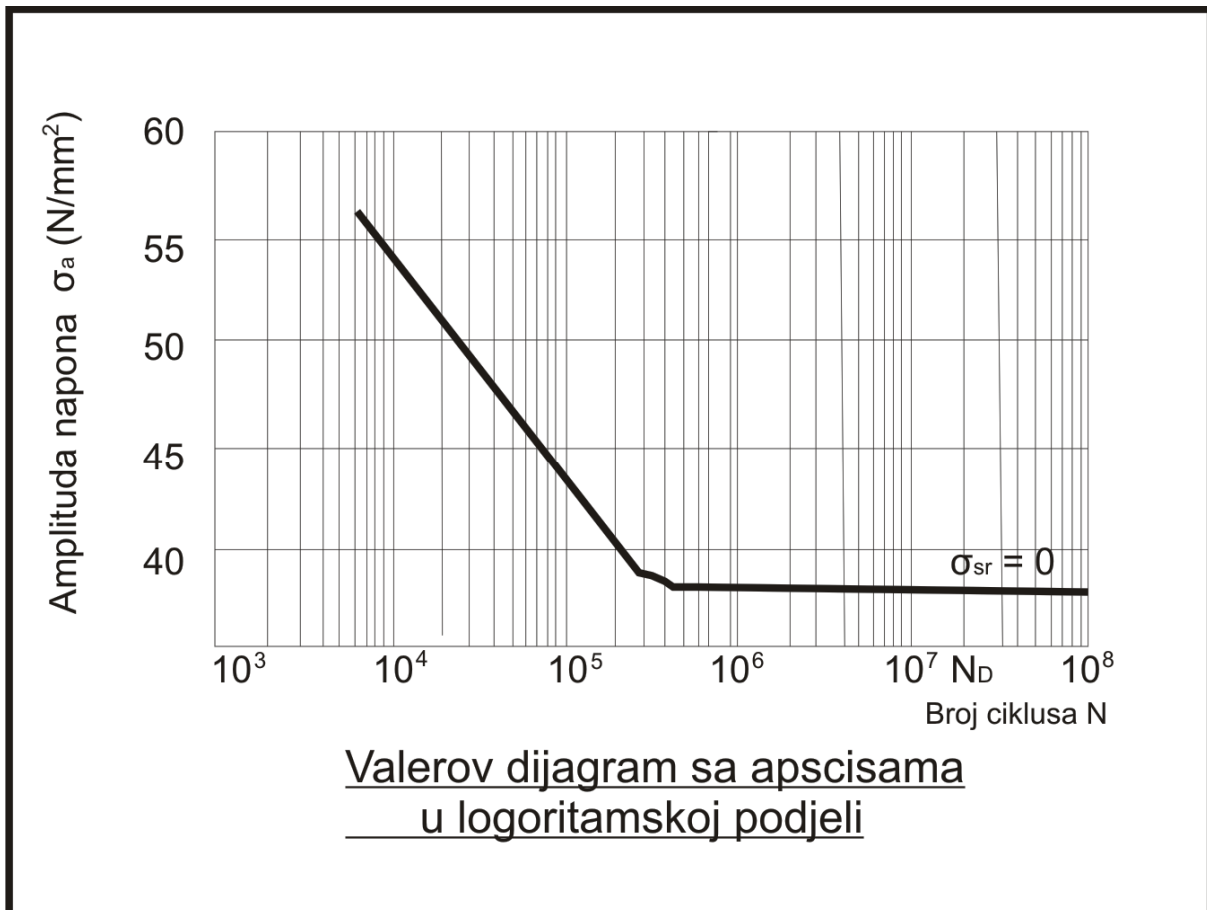
Valerov dijagram zamaranja

Kao mjerilo otpornosti materijala prema periodično promjenljivom opterećenju služi dinamička čvrstoća, koja se određuje iz Velerovog dijagrama zamaranja. Valerova kriva prikazana je na sljedećoj slici:



Početni dio Velerove funkcije je krivolinijski i obuhvata napone pod kojima dolazi do preloma epruvete poslije odgovarajućeg manjeg ili većeg broja promjena opterećenja. Pri određenom broju opterećenja, koji se naziva graničnim brojem promjena opterećenja, Velerova kriva prelazi u pravu paralelnu sa apscisnom osom. Veličina ordinate pravolinijskog dijela velerove krive zove se dinamička čvrstoća materijala. To je najveći napon, koji pri datom periodično promjenljivom opterećenju, može ispitivani materijal da izdrži neograničeno dugo, a da pri tome ne dođe do preloma.

Ukoliko se broj promjena opterećenja nanese u logaritamskoj podjeli, dobiva se oštar prelaz početnog u završni dio Velerove krive, koja se tada praktično svodi na dve prave.

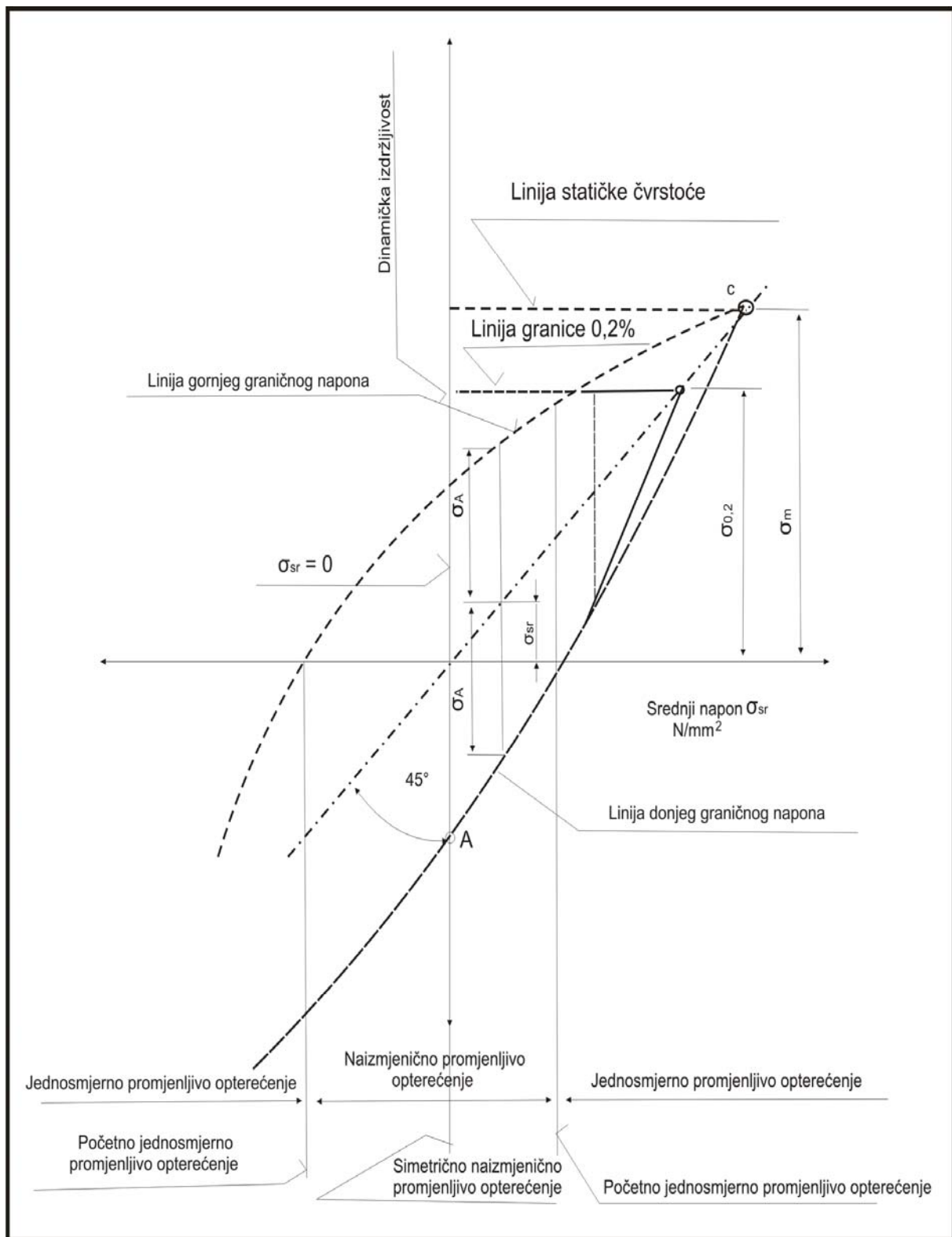


Na slici su date Velerove krive za nekoliko često upotrebljivanih metala i legura.

Dijagrami dinamičke čvrstoće

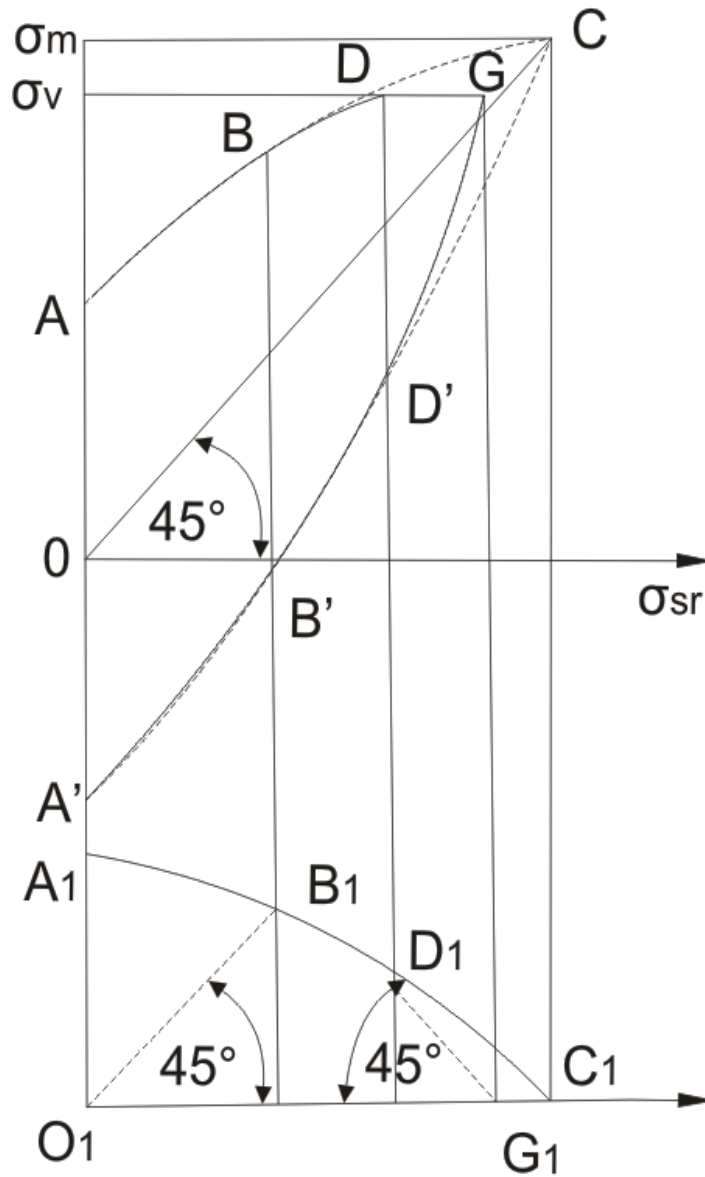
Dinamička čvrstoća zavisi od vrste opterećenja, vrste napreznja i srednjeg napona. Pomoću dijagrama dinamičke čvrstoće moguće je pregledno prikazati zavisnost dinamičke čvrstoće od srednjeg napona pri jednosmjerno i naizmjenično promjenljivom opterećenju, za različite vrste napreznja. Od dijagrama dinamičke čvrstoće u praksi se najčešće koriste Smitov i Hajov.

Smitov dijagram



Smitov dijagram se obično konstruiše do srednjeg napona jednakog granici razvlačenja, pošto napon veći od granice razvlačenja osjetno trajno deformiše materija, već pri prvom opterećenju.

Hajov dijagram



Hajov dijagram dinamičke čvrstoće

Hajov dijagram dinamičke čvrstoće dobija se iz Smitovog kada se na apscisnu osu nanesu vrijednosti srednjeg napona, a na ordinatnu osu odgovarajuće vrijednosti amplitude. Preko Hajovog dijagrama lakše se određuje faktor sigurnosti.

Zamor metala i legura

Pod dejstvom periodično promjenljivog opterećenja struktura metala i legura oštećuje se u manjem ili većem stepenu u zavisnosti od niza činioca. Ova pojava naziva se zamorom.

Osnovni uzrok zamora leži u anizotropnosti strukture čvrstih supstanci usljed čega se pojedini strukturni elementi ponašaju različito pri djelovanju spoljnih sila.

Proces zamaranja odvija se u više faza. U početnoj fazi, pod dejstvom periodično promjenljivog opterećenja, najviše napregnuti dijelovi kristalne rešetke počinju da se pomeraju duž odgovarajućih kliznih ravni. Usljed toga pojedina uža područja metalnog zrna bivaju trajno deformisana. U sljedećoj fazi zamaranja lokalno deformisana područja počinju poslije većeg broja promjene opterećenja da ojačavaju i to pri znatno nižim naponima, nego što bi bio slučaj kod statičkog opterećenja. U fazi dinamičkog ojačavanja materijala naponi se praktično ne mijenjaju sve dok cijela masa zrna ne ojača. Najzad, u trećoj fazi, napon se povećava do vrijednosti zatezne čvrstoće što izaziva pojavu prve mikro prskotine, na mjestu najmanje otpornosti.