

ELEMENTI STROJEVA (strojni dijelovi), u užem smislu, jesu gotovi, ugrađivi dijelovi stroja za čiju izradu nije potrebno montažno spajanje, što znači da se u pravilu ne sastoje od većeg broja dijelova (npr. vijci, matice, zatici, klinovi i dr.). U širem smislu, elemente strojeva sačinjavaju određeni sklopovi (montažne jedinice) koji tvore rastavljivu ili nerastavljivu cjelinu nastalu spajanjem stanovitog broja strojnih dijelova (npr. kuglični ležaji, spojke i dr.). Cjelina koja nastaje spajanjem stanovitog broja sklopova ili sklopova sa strojnim dijelovima naziva se grupa.

»Elementi strojeva« (skraćeno umjesto »nauka o elementima strojeva«) naziva se i tehničko-naučna disciplina koja obrađuje i razvija metode proučavanja, te pravila i norme konstruiranja strojnih dijelova.

Zbog sve bržeg razvoja tehnike i sve većeg porasta industrijske proizvodnje, tipovi se strojeva u suvremeno doba vrlo brzo mijenjaju. Osim toga, nova područja tehnologije zahtijevaju sve više novih, savršenijih strojeva. Pri tome se postavljaju sve veći zahtjevi: traži se da strojevi podnose veća opterećenja i veće brzine rada, da imaju veći stupanj sigurnosti u radu, veću ekonomičnost, da su što lakši, da zauzimaju što manji prostor i da omogućavaju jeftiniju proizvodnju.

Ti zahtjevi stavljaju projektante i konstruktore strojeva pred složene zadatke koje u znatnoj mjeri olakšava činjenica da se strojevi iste vrste sastoje od niza dijelova, kojima su oblik i funkcija za istu vrstu stroja vrlo često slični. To pruža mogućnost da se kombinirano primjenom teorijskih znanja i praktičnih iskustava konstruktivni oblici tih dijelova ujednače i standardiziraju.

Standardizacija elemenata strojeva zasniva se na strogom pridržavanju redova standardnih brojeva i određenih tolerancija (v. *Standardizacija*). Primjena standardnih brojeva obvezna je za gotovo sve karakteristike elemenata strojeva i njihovih funkcija (duljinske mjere, površine, volumene, težine, sile, tlakove, brojeve okretaja, brzine, snage, prijenosne odnose itd.). Izuzeci su dopušteni samo u opravdanim slučajevima.

Nesavršenost čovjeka, strojeva, alata i materijala uzrokuju u proizvodnji elemenata strojeva veća ili manja odstupanja od temeljnih standardnih (nazivnih) mjera. Namjena elemenata strojeva često je takva da su kod njih odredbe o dozvoljenim odstupanjima (tolerancije) posebno važne i da su strože nego za većinu drugih proizvoda.

Kod elemenata strojeva redovito se određuje tolerancija samo onih mjera kojih bi netočnosti mogle ometati ispravnost njihove funkcije i mjera o čijoj točnosti ovisi izmjenljivost dijelova bez međusobnog prilagođavanja.

ISO-sustav tolerancija (ISO je kratica za »International Standardising Organisation«), određuje principe za utvrđivanje dopuštenih odstupanja od nazivnih mjera za različite stupnjeve točnosti izrade elemenata strojeva i za različite načine njihovog međusobnog dosjedanja u sklopovima, principe za izbor tih odstupanja, principe za mjerenje dijelova izrađenih po tom sustavu tolerancija i za izradu za tu svrhu potrebnih mjerila, te brojčane vrijednosti dozvoljenih odstupanja za pojedine stupnjeve točnosti izrade i položaje njihovih područja (polja tolerancije).

Sve tehnički razvijene zemlje, pa tako i Jugoslavija, imaju svoje propisane standarde koji vrijede i obvezni su za čitav teritorij određene zemlje. U nekim zemljama uobičajen je za te propise naziv »standard« a u nekim »norma«, što se odražava i u oznakama. U slijedećoj tablici dat je pregled oznaka za standarde, odnosno norme nekih zemalja:

Zemlja	Oznaka	Zemlja	Oznaka
Australija	ASA, AS, SAA	Nizozemska	HCNN, NEN
Austrija	ONORM	Norveška	NSF, NS
Belgija	NBN	Njemačka Demokratska Republika	TGL
Bugarska	BDS	Njemačka Savezna Republika	DIN
Čehoslovačka	ASN	Poljska	PN
Danska	DS	Rumunjska	STS
Finska	SFS	SSSR	GOST, MNI, OST i dr.
Francuska	NF, FD, PN	Švedska	MNC, SIS, SEN
Grčka	ENO	USA	ASTM, ASA, SAE i dr.
Indija	IS, ISI	Vel. Britanija	BS, PD, CP, BSCRA
Italija	UNI		
Japan	JIS		
Kanada	CSA		
Mađarska	MNOSZ, MSZ		

Sve veća međunarodna suradnja na tehničkom polju kako u pogledu kooperacije tako i u pogledu međunarodne podjele rada dovela je do potrebe međusobnog usklađivanja nacionalnih stan-

darda. To usklađuje ISO kao najviše tijelo, koje ima zadatak da objavljuje preporuke, olakšava koordinaciju, razmjenu informacija itd.

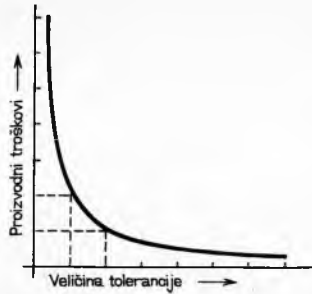
Jugoslavenske savezne standarde JUS izdaje JZS (Jugoslavenski zavod za standarde) na osnovi zakona o jugoslavenskim standardima od 11. aprila 1960 prema zakonski određenom postupku. Inicijativu za donošenje nekog standarda može da daje Zavod ili neko drugo zainteresirano tijelo (privredne organizacije, državni organi, komore, ustanove). Djelatnost JZS osim izdavanja standarda JUS obuhvaća nadalje i praćenje standardizacije u pojedinim zemljama, suradnju sa ISO i sličnim organizacijama, evidentiranje i arhiviranje stranih standarda, organiziranje konzultacija i savjetovanja i dr.

U Jugoslaviji je veliki broj elemenata strojeva standardiziran prema sustavu JUS baziranom uglavnom na DIN-normama.

U standardima dosjeda elemenata strojeva po JUS posebno su izdvojeni preporučeni dosjedi. Gdje god je to moguće, treba upotrebljavati standarde dosjeda unutar tog užeg izbora. Ostali standardizirani dosjedi, koji se dobivaju kombinacijom dopuštenih odstupanja, smiju se upotrijebiti samo u posebnim slučajevima.

Često se traži da se ne samo duljinske mjere i polja tolerancija izrađenih elemenata strojeva nalaze unutar propisanih granica već se takvi zahtjevi postavljaju i u pogledu oblika, kao što su npr. ovalnost, konicitet ili cilindričnost povrta.

Povećanjem vrijednosti tolerancije pojeftinjuje se proizvodnja elemenata strojeva. Ovisnost njihovih proizvodnih troškova o veličini tolerancije prikazana je principijelnim dijagramom na sl. 1. Zbog toga se tolerancija mora odrediti tako da se u slučaju njenog prekoračenja izradak zaista mora odbaciti.



Sl. 1. Ovisnost proizvodnih troškova o veličini tolerancije

O primjeni tolerancije na području elemenata strojeva vidi opširnije u članku *Tolerancije i naleganja*.

Opća načela proračunavanja elemenata strojeva. Konstruiranje nekog elementa (dijela) stroja sastoji se po pravilu od skiciranja i proračunavanja. Nakon što je konstruktor donio odluku o materijalu od kojeg će dio biti napravljen a na temelju svojega i tuđeg iskustva, te eventualnih prethodnih eksperimenata, on će napraviti načelnu skicu dijela prema funkciji koju taj dio treba da obavlja; na temelju te skice on utvrđuje »opasne presjeka« dijela, tj. one presjeka koji su izvrnuti najvećim naprezanjima i, prema tome, najvećoj opasnosti loma. Prema silama za koje konstruktor zna da će u tim presjecima djelovati kad taj dio bude u funkciji kao element jednog određenog stroja (bilo da ih je izračunao ili da su pokusima utvrđene), on izračunava uz pomoć nauke o čvrstoći dimenzije opasnih presjeka. Kad su mu te dimenzije poznate, on već može oblikovati cijeli element, tj. skicirati ga birajući mu oblik i ostale dimenzije tako da se element uklapa u stroj, da se može što lakše i što ekonomičnije proizvesti, što lakše izmijeniti, čistiti, da udovoljava također estetskim zahtjevima i dr. Tada slobodno izabrane dimenzije provjerava računom čvrstoće da se uvjeri da element nije nigdje ni poddimenzioniran ni nepotrebno predimenzioniran. Prema rezultatima takvih provjera oblik se elementa ponekad mora modificirati i više puta.

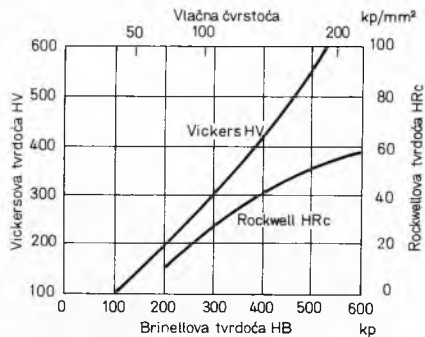
Opterećenja kojima element treba da odolijeva mogu biti: statička ili dinamička, opterećenja na vlak, tlak, savijanje, izvijanje, smicanje, torziju i udar. Ta opterećenja izazivaju u elementu odgovarajuća *naprezanja* (vlačna, tlačna, udarna itd.). Različiti materijali imaju u različitoj mjeri sposobnost da bez loma podnesu pojedina ili sva ta opterećenja; ta sposobnost karakterizira se nekim graničnim naprezanjima koja se određuju na standardiziran način na pokusnim tijelima standardiziranog oblika i propisanih dimenzija. (V. *Nauka o čvrstoći*.) Na temelju tih karakteristika elementi se strojeva proračunavaju, tj. određuju im se ili provjeravaju dimenzije.

Među spomenutim graničnim naprezanjima najčešće se navode kao karakteristike za mehanička svojstva materijala napreza-

nja (uz druge podatke) koja se određuju podvrgavanjem standardiziranog pokusnog tijela sve većem statičkom vlačnom opterećenju do prekida u tzv. »kidalicama«. To su: prekidno naprezanje σ_L , granica proporcionalnosti σ_p , granica elastičnosti σ_E i granica razvlačenja σ_R . U odnosu prema tim karakterističnim vlačnim naprezanjima (napose prekidnom naprezanju i granici razvlačenja) daju se često i naprezanja druge vrste koja se u elementima strojeva mogu pojaviti.

Rezultati pokusa kidanja pokusnog štapa (epruvete) skupljeni su u dijagramu koji prikazuje ovisnost deformacije (izduženja) o naprezanju (dijagram σ - δ , v. npr. u članku *Čelik*, TE 3, str. 47). Do granice proporcionalnosti vrijedi Hookeov zakon, tj. izduženje je proporcionalno naprezanju; na granici razvlačenja materijal popušta naprezanju pa se izdužuje a da naprezanje ne raste (ili čak opada, pa postoji gornja i donja granica razvlačenja); pri daljem povećanju opterećenja materijal se *plastično deformira* uz stalno očvršćivanje (tj. zahtijeva za deformaciju sve veće naprezanje) do maksimalnog naprezanja, koje se naziva (među ostalim) *čvrstoćom* materijala. Poslije toga naprezanje s istezanjem prividno opada jer mjereno naprezanje predstavlja kvocijent sile i površine prvobitnog presjeka probnog štapa, a u stvari se žilavom materijalu presjek smanjuje uslijed velikog istezanja pri opterećenju iznad granice čvrstoće. Smanjenje presjeka (odn. promjera) probnog štapa pri prijelomu u odnosu prema prvobitnom presjeku, kao i produljenje štapa u odnosu prema prvobitnoj njegovoj duljini, predstavlja mjeru za *žilavost* materijala.

Umjesto čvrstoće često se za karakteriziranje mehaničkih svojstava materijala daje njegova *tvrdoća*, tj. otpor što ga materijal pruža prodiranju tvrdog pokusnog tijela u njegovu površinu (određena prema Brinellu, Vickersu, Rockwellu ili Shoreu), jer se iz mjernih vrijednosti tvrdoće na temelju iskustvenih formula može izračunati čvrstoća (sl. 2).



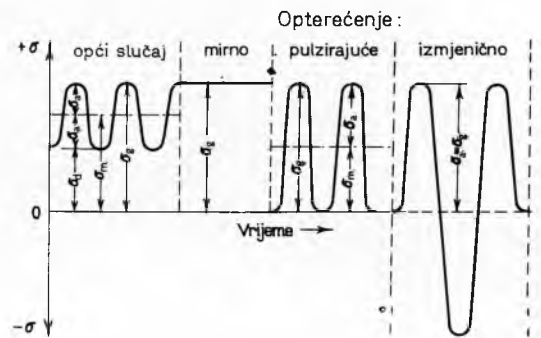
Sl. 2. Odnos tvrdoća HV i HRC prema tvrdoći HB i vlačnoj čvrstoći za C-čelik

Pri opterećenju na tlak, savijanje ili torziju mogu se odrediti naprezanja analogna granici razvlačenja: granica gnječanja, granica razvlačenja pri savijanju, odn. torziji; za krte materijale određuje se također čvrstoća na tlak, savijanje ili torziju. Čvrstoća na smicanje određuje se pokusom odrezivanja s dvije rezne plohe ili pokusom probijanja rupe.

Da bi neki strojni dio udovoljavao minimalnom zahtjevu sigurnosti od tzv. nasilnog loma, on mora biti dimenzioniran tako da mu naprezanje pri radu stroja bude manje od prekidne čvrstoće (odn. čvrstoće na tlak, savijanje ili torziju) materijala. Obično se i pri statičkom opterećenju traži veća sigurnost, tj. da naprezanja u elementu ne prekorače granicu elastičnosti. Naprezanje materijala ispod te granice naziva se *dopuštenim naprezanjem* σ_{dop} . Kako je granicu elastičnosti materijala često teško izmjeriti, dopušteno se naprezanje obično izračunava iz čvrstoće ili, rjeđe, iz granice rastezanja množenjem prikladnim koeficijentom sigurnosti S (ili ν), kojemu su vrijednosti različite prema načinu opterećenja, materijalu, obliku i funkciji strojnog elementa. Obično se bira $S = 2 \dots 10$, ali ponekad i znatno veći. Dopušteno naprezanje je tada $\sigma_{dop} = \sigma_L/S$, odn. σ_R/S . Dopuštene vrijednosti naprezanja na tlak, savijanje i torziju mogu se odrediti metodama sličnim metodama određivanja dopuštenih naprezanja pri vlačnim opterećenjima.

Tako izračunate vrijednosti svih dopuštenih naprezanja potpuno su pouzdane samo kad se radi o statičkim (mirnim) opterećenjima, odnosno kad se opterećenja kolebaju samo unutar dovoljno uskih granica. Međutim, elementi strojeva rijetko su izloženi samo statičkim opterećenjima. U uvjetima njihove funkcije najčešće dolaze do izražaja još i dinamička opterećenja. Ona se mogu uzeti u obzir kad se raspolaze dovoljnim iskustvom. Namjesto navedenih koeficijenata sigurnosti primjenjuju se za 1,5, odnosno za 3 puta veći koeficijenti, već prema tome da li se radi o istosmjernim ili izmjeničnim promjenljivim opterećenjima. Za točan proračun elemenata jedino je pouzdano određivanje tzv. *trajne dinamičke čvrstoće* materijala od kojeg je element izrađen. Trajna dinamička čvrstoća zove se katkada izdržljivost materijala ili čvrstoća zamora.

Dinamička čvrstoća materijala. Za proračun elemenata strojeva najčešće je mjerodavna dinamička čvrstoća pri savijanju (σ_{sata}). Osim toga iz nje se često izračunavaju vrijednosti dinamičke čvrstoće materijala za druge vrste opterećenja na temelju odnosa između njihovih vrijednosti utvrđenih iskustvom. Ti podaci za mnoge materijale mogu se naći u tabelama priručnika.



Sl. 3. Shematski prikaz vremenskog toka naprezanja materijala pri različitim slučajevima opterećenja

Vremenski tok naprezanja materijala u općem slučaju i u граниčnim slučajevima opterećenja shematski je prikazan na sl. 3. Pri tome je kao karakteristično određeno gornje i donje naprezanje σ_g , σ_d , dok je tok naprezanja između gornjeg i donjeg proizvoljno pretpostavljen. U dijagramu označeno je i tzv. srednje naprezanje: $\sigma_m = (\sigma_g + \sigma_d)/2$ kroz 2. Amplituda naprezanja određena je izrazom $\sigma_a = (\sigma_g - \sigma_d)/2$ i to bez obzira na predznak. Gornje, odnosno donje naprezanje materijala, općenito za sve slučajeve opterećenja, određeno je prema tome izrazom $\sigma_g = \sigma_m + \sigma_a$, odn. $\sigma_d = \sigma_m - \sigma_a$.

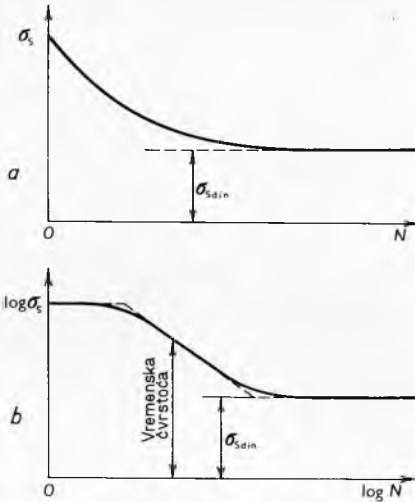
Na sl. 3 prikazana su ujedno i tri karakteristična slučaja opterećenja s kojima se operira kod proračuna elemenata strojeva:

mirno opterećenje	$\sigma_a = 0, \sigma_m = \sigma_g = \sigma_d$
pulzirajuće opterećenje	$\sigma_d = 0, \sigma_a = \sigma_m = \sigma_g/2$
izmjenično opterećenje (općenito)	$\sigma_m = 0, \sigma_a = \sigma_g$ $(\sigma_g = \sigma_m \pm \sigma_a)$

Pokusni štاپ (epruveta) podvrgava se periodično promjenljivom opterećenju $\sigma_g = \sigma_m \pm \sigma_a$, te se utvrdi kod kojeg broja titraja N dolazi do loma. Pokus se ponavlja na drugim pokusnim štاپovima (svi ti štاپovi moraju biti potpuno jednaki u pogledu materijala, oblika i kakvoće obrade), svaki put s nešto manjim σ_a , sve dok do loma uopće ne dođe ma koliko povećavali broj titraja ($N = \infty$); to je trajna čvrstoća materijala.

Kako je dinamička čvrstoća materijala maksimalno naprezanje koje materijal može podnijeti uz određeni broj promjena opterećenja, trajna je dinamička čvrstoća definirana kao najveće naprezanje, pod kojim se materijal ne lomi ni uz bilo kakvo povećanje broja titraja opterećenja. Kod čeličnih materijala to se obično događa kod broja titraja opterećenja $\sim 10^7$, a kod lakih i obojenih metala $\sim 10^8$ pa i iznad toga. S podacima iz tih pokusa mogu se tada izraditi dijagrami u koordinatnom sustavu σ_s - N ili $\log \sigma_s$ - $\log N$ poput onih na sl. 4 a i b koji zorno prikazuju odnose između statičke čvrstoće materijala (npr. pri opterećenju na savijanje σ_s), njegove trajne dinamičke čvrstoće σ_{sata} i broja

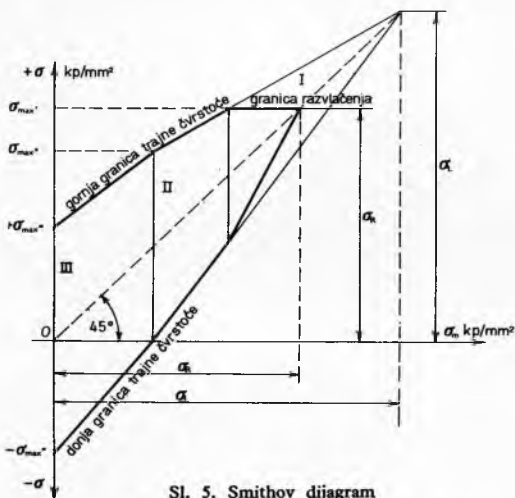
titraja N . To su tzv. krivulje izdržljivosti ili trajnosti (Wöhlerove krivulje). Pri tome se na opadajućem dijelu krivulje utvrđuju još i vrijednosti tzv. *vremenske čvrstoće*, tj. naprezanje koje materijal može podnijeti samo do određenog broja promjena opte-



Sl. 4. Wöhlerove krivulje

rećenja; te vrijednosti upotrebljavaju se namjesto trajne dinamičke čvrstoće materijala u svim računima povezanim s proračunavanjem elemenata strojeva koji su izloženi samo povremenim ili sporim promjenama opterećenja i koji bi, zbog toga, kad bi se proračunavali na temelju trajne dinamičke čvrstoće, bili nepotrebno predimenzionirani.

U strojogradnji se podaci o trajnoj dinamičkoj čvrstoći materijala često nalaze u obliku tzv. Smithovih dijagrama (sl. 5). Ti dijagrami konstruiraju se za svaki materijal posebno. Dijagram trajne dinamičke čvrstoće prikazuje najveća naprezanja σ_{max} i otklone naprezanja prema srednjem naprezanju σ_m . Na dijagramu se vidi trajna dinamička čvrstoća materijala različitih dimenzijskih opterećenja: I σ_{max}' za mirno opterećenje, II σ_{max}'' za pulzirajuće opterećenje, III σ_{max}''' za izmjenično opterećenje.



Sl. 5. Smithov dijagram

Srednje opterećenje prikazuje u dijagramu crta iz ishodišta koordinatnog sustava, nagnuta pod kutem od 45°. Razmaci od nje prema gore i prema dolje do gornjeg, odnosno do donjeg naprezanja jesu otkloni naprezanja.

Budući da se materijal u konstrukcijama strojnih dijelova ne smije opterećivati preko granice razvlačenja σ_R , to je tom granicom u dijagramu trajne dinamičke čvrstoće ograničeno područje dopuštenog dinamičkog opterećenja.

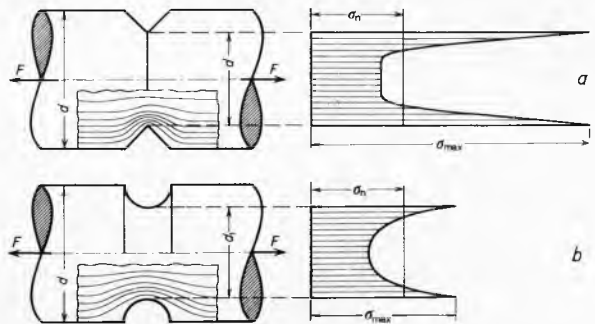
Korisna trajna čvrstoća. Dinamička čvrstoća gotovog strojnog dijela (korisna trajna čvrstoća σ_K) nije isto što i dinamička

čvrstoća materijala; ona je obično manja, što je posljedica oblika, obrade površine, veličine, a ponekad i uvjeta rada (npr. korozije, temperature) strojnog dijela.

Slučajevi u kojima je korisna dinamička čvrstoća gotovog elementa manja od dinamičke čvrstoće njegovog materijala zbog oblika, najčešće se javljaju na onim mjestima gdje se mijenja presjek. Na tim mjestima nastupa povećanje koncentracije naprezanja (shematski prikazano silnicama u presjeku na sl. 6), tako da mu je vršna vrijednost (σ_{max}) stvarno veća od nazivne vrijednosti. Što je promjena presjeka naglija, to su veća i vršna naprezanja, a zbog toga i prekoračenja nazivnog naprezanja na tim mjestima. »Koefficient oblika« ili »koefficient koncentracije napre-

zanja« $\alpha_K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$ ovisan je praktički o načinu opterećenja i o vanjskom obliku predmeta, naročito o dubini ureza, te o njegovoj tjemenskoj zakrivljenosti, dakle, općenito — o ošttrini ureza. U običnim slučajevima koefficient koncentracije naprezanja dostiže vrijednosti do 3, a u posebnim slučajevima i do 10. Podaci o ovisnosti trajne čvrstoće mnogih elemenata strojeva o promjeru i drugim dimenzijama mogu se naći u tablicama priručnikâ.

Na sličan način djeluju hrapavost površine, površinske pukotine, zarez i ogrebotine.



Sl. 6. Utjecaj promjene presjeka. a Koncentracija naprezanja kod oštrog utora, b koncentracija naprezanja kod zaobljenog utora

Korisna čvrstoća je manja od trajne dinamičke čvrstoće također i kod strojnih dijelova s grubo obrađenom (hrapavom) površinom (koja se zapravo sastoji od mnogo sitnih »zarezâ) nego kod onih sa glatkom, odnosno poliranom površinom. Stoga na dinamički teško opterećenim strojnim dijelovima površine moraju biti što glade obrađene.

Korisna trajna čvrstoća elemenata strojeva koji su izloženi koroziji vrlo je malena. U krajnjim slučajevima ona u stvari ne postoji, tj. tada se može računati samo s vremenskom čvrstoćom.

Utjecaj je temperature na korisnu trajnu čvrstoću različit, već prema konstrukcijskom materijalu elemenata strojeva. Dok se dinamička čvrstoća elemenata od čelika gotovo ne mijenja do cca 350 °C, dotle ona stalno opada s porastom temperature kod drugih metalnih konstrukcijskih materijala.

Korisna trajna čvrstoća elemenata strojeva može se odrediti iz trajne čvrstoće materijala korekcijskim faktorima koji izražavaju navedene utjecaje. Oni se najčešće određuju pokusima u laboratoriju.

Nepovoljni utjecaj navedenih činilaca na korisnu čvrstoću elemenata strojeva može se smanjiti prikladnim mjerama pri izradi. Tako se nepovoljni utjecaji oblika mogu ublažiti zaobljavanjem mjesta promjena presjeka (sl. 6), koje znatno smanjuje koncentracije naprezanja. Nepovoljni utjecaji hrapavosti i oštećenja površine na korisnu trajnu čvrstoću elemenata strojeva mogu se također ublažiti brušenjem, poliranjem, tlačnim glačanjem, kemijskom obradom itd. Time se korisna čvrstoća može u nekim slučajevima povećati i za 25%.

Dopušteno ili dozvoljeno naprezanje kod elemenata strojeva. Kao što je to slučaj i u proračunu elemenata strojeva izloženih statičkim naprezanjima, tako se i elementi strojeva izloženi dinamičkim naprezanjima, zbog sigurnosti u radu, proračunavaju pri opterećenjima koja u njima smiju izazivati samo

dopuštena naprezanja σ_{dop} . Ta dopuštena (ili dozvoljena) naprezanja znatno su manja od pokusima ili računski utvrđenih naprezanja, te se smiju nalaziti znatno ispod lomnih naprezanja σ_L , a svakako i znatno niže od naprezanja na granici elastičnosti, tj. $\sigma_{dop} < \sigma_E$ (v. dijagram σ - ϵ u članku *Nauka o čvrstoći*). Dozvoljena naprezanja mogu se naći obično u tablicama strojarskih priručnika i knjiga za sve strojograđevne materijale, kao rubrike za σ_v , σ_p , σ_s , $\sigma_{s, din}$, τ_s i τ_t a podijeljena su u 3 grupe: za mirno, pulzirajuće i izmjenično opterećenje. Prema potrebi, kod dinamičkih opterećenja uvadaju se u te brojčane vrijednosti još i spomenuti korekcijski faktori, koji obuhvataju specifične prilike rada elementa u sklopu stroja.

Podjela elemenata strojeva. Elementi strojeva obično se dijele na elemente za spajanje, za kružno gibanje, za pretvaranje pravocrtnog i kružnog gibanja jednog u drugo, za transport fluida i njegovo reguliranje te za brtvljenje.

Pod *elementima za spajanje* obično se razumijevaju elementi za rastavljivo ili razrješivo spajanje, tj. takvo spajanje koje omogućava rastavljanje spoja bez razaranja ili oštećenja, kao i ponovno sastavljanje. U elemente strojeva za kruto rastavljivo spajanje ubrajaju se vijci, zatici, svornjaci i tzv. elementi za spojeve s glavinama (klinovi i drugi). U elemente strojeva za elastično rastavljivo spajanje ubrajaju se opruge i gibnjevi.

Nerastavljivo ili nerazrješivo spajanje, tj. ono pri kojem se sastavljeni dijelovi ne mogu rastaviti bez razaranja, odnosno oštećenja, kao što su porubljeni, zavareni, lemljeni i lijepljeni spojevi, obuhvaća postupke čija je tehnologija sasvim posebna i vrlo opsežna, pa zbog toga ono se u ovom članku uopće ne razmatra (v. *Zavarivanje i lemljenje; Ljepila*). U nerazrješive spojeve ubrajaju se i zakovični spojevi. Za njihovu izradu potrebne su zakovice koje se smatraju zasebnim elementima strojeva, pa su zbog toga i obrađene u ovom članku.

Elementi strojeva za *kružno gibanje* jesu oni elementi koji omogućavaju ili prenose kružno gibanje. To su osovine, vratila, osnaci, spojke, ležaji, remenice, užnice, tarenice, zupčanici, pužne jedinice, lančanici i reduktori.

Elementi strojeva za *pretvaranje pravocrtnog i kružnog gibanja jednog u drugo* jesu tzv. stapni mehanizmi, tj. dijelovi stapnih strojeva. Oni su manje ili više specifični za svaku pojedinu vrstu tih strojeva, i zato čine posebno vrlo opširno područje. Zbog toga se obično, pa i u ovoj enciklopediji, oni razmatraju odvojeno (v. *Motori s unutrašnjim izgaranjem, Parni stapni strojevi, Stapni mehanizmi*).

Elemente strojeva za *transport različitih medija* (plinova, tekućina, usitnjenih krutih tvari) sačinjavaju cijevi, cijevni vodovi i cijevne veze. Tom grupom obuhvaćene su još i brtve i zaporni organi (v. također *Hidraulika*).

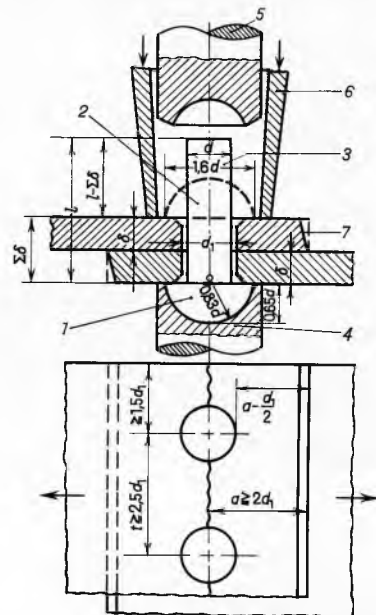
Osim takve uobičajene podjele elemenata strojeva postoje još i druge. Tako se elementi strojeva ponekad dijele na *opće*, tj. one koji se mogu naći u svim strojevima (elementi za spajanje i elementi za kružno gibanje) i *specijalne* (svi ostali elementi strojeva) koji se nalaze samo u određenim strojevima (npr. elementi dizalica i prenosilica, transportera, parnih strojeva, različitih turbina, motora s unutrašnjim izgaranjem, mlaznih motora, hidrauličkih motora, alatnih strojeva i dr.).

ZAKOVICE

Zakovice su strojni dijelovi koji se sastoje od *svornjaka* (tijela) i glave, tzv. gotove ili *temeljne glave*. Druga glava, nazvana *završna glava*, oblikuje se tokom operacije zakivanja. Princip zakivanja, nazivi dijelova, oznake i odnosi dimenzija prikazani su na sl. 7.

Izrada provrta na dijelovima koji se spajaju izvodi se probijanjem ili bušenjem. Prvi je brži i ekonomičniji, ali postoji opasnost od pojave pukotina na rubovima provrta. Bolje je naknadnim bušenjem ili razvrtavanjem proširiti manji provrt na konačnu dimenziju. U kvalitetnim konstrukcijama (čelične konstrukcije, kotlovi) primenjuje se isključivo bušenje. Rubovi provrta na vanjskoj strani spoja moraju kod većeg promjera zakovica biti skošeni. Za postizanje ispravnog zakovičnog spoja, provrti na dijelovima koji se međusobno spajaju izvode se tako da se ti dijelovi nalaze u privremenom montažnom spoju ostvarenom s pomoću vijaka, zatega ili sl.

Zakivanje može biti *hladno* kod upotrebe zakovica od mjedi, bakra ili lakih legura kao i čeličnih od promjera < 10 mm. *Toplo* zakivanje izvodi se čeličnim zakovicama zagrijanim do svjetlocrvenog žara (~ 1000 °C). Za zagrijavanje zakovica služe peći ložene drvenim ugljenom ili koksom. Najprikladnije je električno ili plinsko zagrijavanje zakovica.



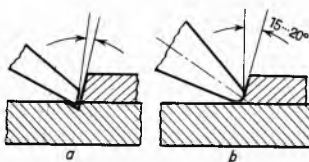
Sl. 7. Shematski prikaz spajanja zakivanjem. 1. Temeljna glava, 2. završna glava, 3. svornjak zakovica, 4. podmetač, 5. glavičar, 6. pritiskač (samo kod strojnog zakivanja), 7. lim

Zakivati se može ručno (uz upotrebu ručnog alata, odnosno pneumatskog ili električnog čekića) ili strojno. *Ručno* zakivanje ograničeno je na slučajeve kad je obim rada mali i kad je promjer zakovica manji od 26 mm, jer iznad toga, naročito kad su svornjaci zakovica dugi, snaga čovjeka nije dovoljna za postizanje prikladne deformacije čitavog tijela zakovice. Postupak pri ručnom zakivanju vrlo je jednostavan. Ugrijana zakovica se zakivanje, tim se načinom postiže veći i jednoličniji pritisak na svornjak zakovice, te se zakovica sabija po cijeloj dužini i bolje popunjava provrt. Brzina rada je mnogo veća, a specijalni uređaj osigurava bolje priljublivanje dijelova koji se spajaju. Glavni nedostatak je u tome što se često ne može primijeniti na mjestu montaže konstrukcije.

Osim dobrog ispunjavanja rupe u ispravnom zakovičnom spoju, završne glave zakovica moraju biti potpuno formirane, moraju dobro nalijegati na površine elemenata u spoju i ne smiju imati napukline.

U slučajevima kad zakovičasti spojevi ne smiju dozvoliti prolaz fluida (npr. stijenke rezervoara, limovi parnih kotlova, oplata brodova i sl.), *nepropusnost* je bezuvjetan zahtjev koji se na njih postavlja. Da bi se nepropusnost zakovičnih spojeva u takvim slučajevima još više osigurala, njihova izrada uključuje još i tzv. *podbijanje* (zaklepanje) kao završnu operaciju.

Ta operacija sastoji se u priljublivanju krajeva limova i glava zakovica posebnim alatom, tzv. *podbijaćima* čiji završetak mora biti malo zaobljen (sl. 8). Radi toga rubovi dijelova koji se spajaju moraju biti zakošeni pod kutom od 15° – 20° . Pri tome ne smije doći do oštećenja limova alatom, jer to može izazvati njihovo nedopušteno slabljenje. Podbi-



Sl. 8. Podbijanje: a neispravno — alat zasjeca lim, b ispravno — alat zaobljen

toga rubovi dijelova koji se spajaju moraju biti zakošeni pod kutom od 15° – 20° . Pri tome ne smije doći do oštećenja limova alatom, jer to može izazvati njihovo nedopušteno slabljenje. Podbi-