



Zásady konštruovania strojových súčiastok

Konštruovanie strojových súčiastok je možné realizovať dvoma základnými spôsobmi.

V prípade prvého spôsobu, ktorý nazývame návrh, dizajn alebo dimenzovanie, je tvar, rozmery, materiál súčiastky stanovený na základe výpočtu z požadovaných skutočných vlastností.

V prípade druhého spôsobu, ktorý nazývame kontrola, je tvar, rozmery, materiál súčiastky stanovený na základe požadovanej funkčnosti alebo na základe technického predpisu (norma, smernica, zákon) a následne sú kontrolované jej skutočné vlastnosti. Druhý spôsob sa uplatňuje aj pri riešení konkrétneho vzniknutého problém alebo poruchy počas prevádzky súčiastky.

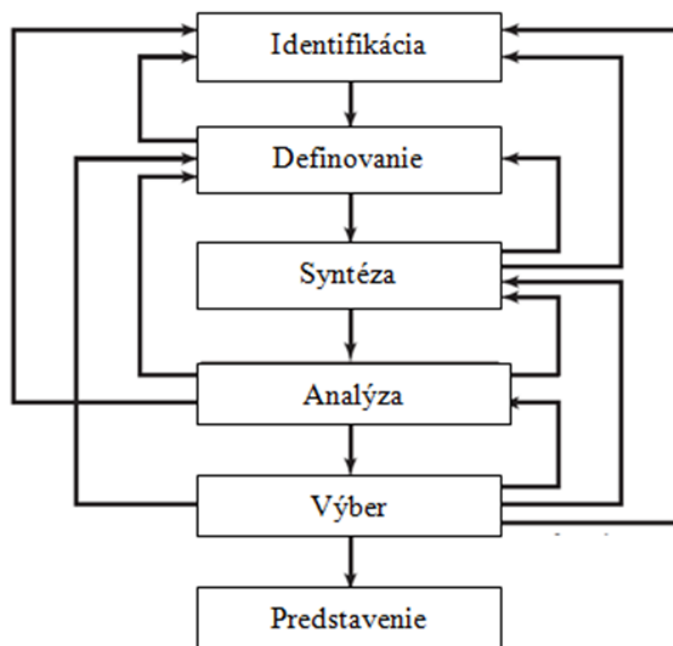
Konštruovanie musí byť cielené k vytvoreniu produktu – súčiastky (zostavy, podzostavy), čo má fyzickú realitu. Vytvorený produkt musí spĺňať podmienky:

- funkčnosti,
- bezpečnosti,
- spoľahlivosti,
- konkurencieschopnosti,
- účelnosti a použiteľnosti,
- výrobitelnosti.

Konštruktérske metódy

Tvorivý proces konštruktéra pri riešení úloh je možné charakterizovať ako fázy analýzy a syntézy obr.1.1. Jedna sa o fázy súvisiace s:

- Identifikácia: v tejto fáze je potrebné identifikovať problém a porozumieť mu,
- Definovanie: v tejto fáze stanovíme kritéria rozhodovania,
- Analýza: analyzujeme problém - neprijímame rozhodnutia,
- Syntéza: kompletizujeme poznatky a navrhujeme aj variantné riešenia,
- Výber: vyberieme a verifikujeme najvhodnejšieho riešenia,
- Predstavenie: s výsledným riešením je oboznámený zadávateľ.





Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 1

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Konštruovanie strojových súčiastok je vysoko tvorivý proces, v ktorom nie je možné postupovať podľa jediného všeobecného predpisu, do ktorého budú konkrétne požiadavky a podmienky.

Je však možné si osvojiť určité pravidlá konštruovania, ktoré urýchľujú proces a vytvárajú overené metódy konštruovania. Metódy konštruovania sa stále zlepšujú, inovujú a vyvíjajú.

- Intuitívne metódy
- Systematické metódy
- Normalizačné a zákonom definované metódy a postupy

Navrhovanie strojových súčiastok

Navrhovanie strojových súčiastok je mnohokrát uskutočnené na konštrukčnej dedičnosti. Znamená to, že sa využívajú postupy, metódy, vzory a skúsenosti, ktoré boli už v minulosti aplikované, overené alebo verifikované. Strojové súčiastky a strojové zariadenia môžeme konštruovať ako nové, modifikované, modernizované, alebo optimalizované. V každom z týchto postupov je nevyhnutné stanoviť konštrukčné kritérium alebo konštrukčný faktor " n_d ", na základe ktorého budeme vedieť zhodnotiť dosiahnutý stav. Konštrukčné kritérium je možné vyjadriť podľa vzorca.

$$n_d = \frac{\text{parameter straty funkčnosti}}{\text{maximálne prípustný (dovolený) parameter}}$$

Častým konštrukčným kritériom je porušenie súčiastky, dôsledkom straty pevnosti. Z hľadiska porušenia súčiastky strata pevnosti nemusí byť jedinou príčinou straty funkčnosti. Je nevyhnutné vhodne definovať konštrukčné kritérium už vo fáze oboznámenia sa s problémom a pri definovaní úlohy.

Za konštrukčné kritéria môže považovať:

- pevnosť
- tuhosť
- opotrebenie
- hmotnosť
- životnosť
- hluk
- vibrácie
- údržbu
- prevádzkovateľnosť
- recyklovateľnosť a pod.

V čitateli vzorca sa nachádza "parameter straty funkčnosti". V prípade a materiálových vlastností sa pod týmto pojmom budú nachádzať parametre (hodnoty) pri ktorých dochádza k porušeniu alebo kritériálnym zmenám materiálu, napr. (medza pevnosti, medza klzu a pod.). Parametrom straty funkčnosti môže byť aj legislatívou definovaná hodnota, napr. (maximálna hlučnosť, maximálne emisie, a pod.). V menovateli vzorca sa nachádza "maximálne prípustný (dovolený) parameter". Dovolený parameter je hodnota ktorá bude použitá ako hodnota porovnávacia so skutočnou dosiahnutou hodnotou a ktorá nám má zabezpečiť dostatočnú bezpečnosť navrhovaného zariadenia alebo navrhovanej súčiastky, napr. (dovolená hodnota v ťahu, dovoľený priehyb hriadeľa, dovoľená hodnota vibrácií ložiska a pod.).



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 1

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Je potrebné mať na zreteli, že na dovolený parameter vplyvajú aj ďalšie činitele ktoré môžu definovať ako pravdepodobné alebo deterministické činitele. Mnohokrát ide o súbor vzájomné pôsobiacich činiteľov ako sú:

- Zloženie materiálu a vplyv vonkajších a vnútorných zmien na jeho vlastnosti.
- Nehomogenita materiálu.
- Vplyv spracovania materiálu a výroby súčiastky.
- Vplyv spoluzaberajúcich súčiastok.
- Vplyv tepelného a chemického spracovania súčiastok.
- Koncentrácia napätia.
- Vplyv času na pevnosť a geometriu.
- Účinok korózie.
- Účinok opotrebenia, a pod.

Všeobecným prístupom k problému prípustného (dovoleného) parametra (zaťaženia) verzus parameter straty funkcie je metóda deterministického bezpečnostného faktora (súčiniteľu, koeficienta) " n_d , (k)", ktorá sa niekedy nazýva klasická výpočtová metóda. Základná rovnica musí zohľadňovať všetky režimy straty funkcie a musí sa riadiť režimom ktorý vedie k najmenšiemu bezpečnostnému súčiniteľu.

Po dokončení návrhu sa skutočný návrhový faktor môže zmeniť v dôsledku zmien, ako je zaokrúhlenie prierezu na štandardnú veľkosť prierezu alebo použitie najbližších normalizovaných rozmerov a pod.

$$n_d = \frac{\text{strata parameteru funkčnosti}}{\text{maximálne prípustný parameter}} = \frac{S}{\sigma_{dov} \text{ alebo } \tau_{dov}}$$

Dôležitú úlohu pri konštruovaní strojových súčiastok zohráva samotný materiál a jeho vlastností z ktorého je súčiastka konštruovaná. Stanovenie parametra straty funkčnosti pre materiály používané v konštruovaní je proces zahŕňajúci experimentálne aj numerické analýzy. Vhodným spôsobom vyjadrenia kritéria straty funkčnosti materiálu je jeho stanovenie na základe parametra porušenia materiálu. Kritérium porušenia materiálov sa preto najčastejšie používajú pri konštruovaní strojových súčiastok a zariadení. V technickej praxi sa často používajú tieto kritériálne metódy:

- **metóda dovolených napätí** súčiastky, táto metóda dovolených napätí vychádza zo skutočností, aby napätia vo všetkých prierezoch, vyvolané vonkajším zaťažením, neprevyšovali hodnotu dovoleného napätia.
- **metóda dovolených zaťažení** súčiastky, táto metóda umožňuje určiť najväčšie zaťaženie, ktoré neporuší konštrukciu, môžeme ju označiť aj ako metódu maximálnej únosnosti.
- **metóda medzných stavov** súčiastky, táto metóda sa požíva pri konštruovaní nosných a stavebných konštrukcií, jej základné pojmy sú formulované normou STN 73 0031.
- **metóda kontaktnej únavovej pevnosti** súčiastky, táto metóda je určená pre konštruovaní takých súčiastok v ktorých dochádza ku kontaktným tlakom vplyvom spolupôsobiacich častí.



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 1

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Metóda dovolených napätí

Metóda dovolených napätí súčiastky je prednostne určená pre statický zaťažované súčiastky. Statické zaťaženie je stacionárna sila alebo silová dvojica pôsobiaca na strojovú súčiastku. Statické zaťaženie môže spôsobiť ťah alebo odtlačenie, šmykové zaťaženie, ohybové zaťaženie, torzné zaťaženie alebo ich kombinácie. Aby sa zaťaženie mohlo považovať za statické, nemôže sa v čase meniť. Hodnota dovoleného napätia, ktorá sa použije ako porovnávacia hodnota pre určenie funkčnosti je menšia ako nebezpečné napätie pre materiál. Dovoľené napätie definujeme:

$$\sigma_D = \frac{\sigma_N}{k}$$

kde:

σ_D - je dovolené napätie [MPa],

σ_N - nebezpečné napätie [MPa],

k - miera bezpečnosti (bezpečnosť), odporúčané hodnoty pre húževnaté materiály $k = 1,4 - 1,6$ pre krehké materiály $k = 2,5 - 3$.

Pre súčiastky vyrobené z húževnatých materiálov sa za nebezpečné napätie považuje medza klzu R_e , resp. pevnosť R_m a pre krehké materiály pevnosť R_m . Hodnota miery bezpečnosti k udáva, koľkokrát je dovolené napätie menšie ako nebezpečné napätie. Závisí od stavu materiálu (krehký, húževnatý), charakteru zaťaženia (statické, dynamické, cyklické), od ďalších faktorov (homogenita materiálu, tolerancie vonkajšieho zaťaženia, presnosť výpočtových schém) a tiež od toho, ktoré napätie považujeme za nebezpečné (R_e alebo R_m).

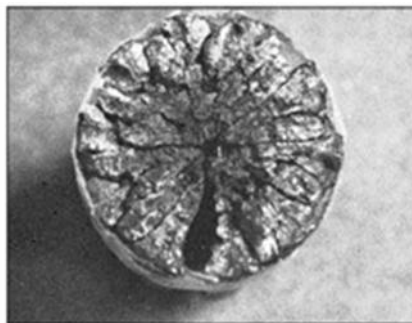
Pre materiály v húževnatom stave pri statickom zaťažení upravíme vyššie uvedený vzorec nasledovne:

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k}$$

Pre materiály v krehkom stave pri statickom zaťažení upravíme vzorec nasledovne:

$$\sigma_D = \frac{R_m}{k}$$

Pri konštruovaní strojných súčiastok ktoré sú namáhané zaťažením v čase nepremenným je možné ako parameter straty funkčnosti používať vyššie uvedené hodnoty dovoleného napätia materiálov stanovené na základe materiálových skúšok. Na obr., vidíme poruchu hriadeľa po prekročení dovoleného napätia.



Porušenie súčiastky prekročením dovoleného napätia



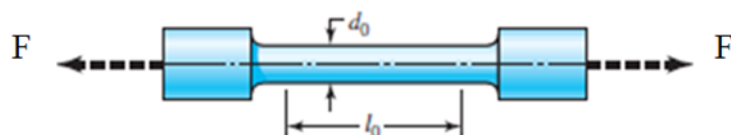
Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 1

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Základné materiálové vlastnosti pre konštruovanie strojových súčiastok na základe dovoleného napätia súčiastok je možné určiť z ťahového diagramu materiálu.

Skúšobná vzorka ktorá sa používa pre ťahové skúšky má predpísaný tvar a rozmery normami STN 42 0310 až 42 0317. Skúšobná vzorka je umiestnená do trhacieho stroja na ktorom je realizovaná skúška v ťahu. Počiatočné rozmery skúšanej vzorky sú podľa obr., priemer d_0 a dĺžka l_0 drieku vzorky.



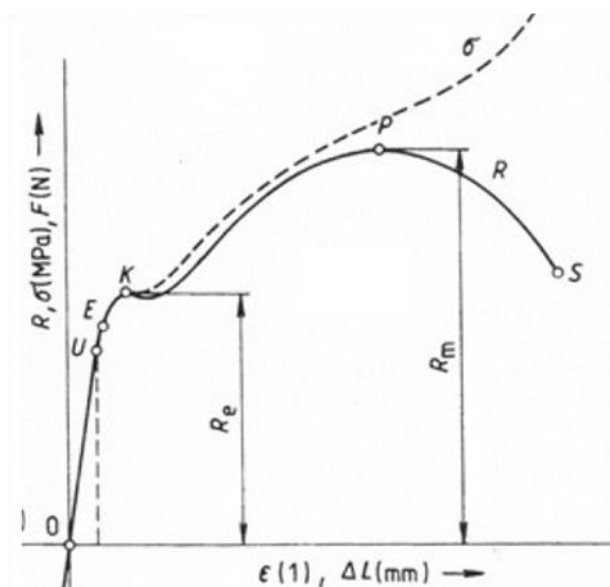
Tvar a počiatočné sledované rozmery skúšobnej vzorky

Po zaťažení osovou silou F sa vzorka predĺži a driek zúži. Skúšobná vzorka bude mať vplyvom zaťaženia priemer drieku " d " a dĺžku " l ". Na základe zmeny týchto rozmerov je možné stanoviť pomernú deformáciu ε a pomerné zúženie ψ materiálu nasledovne:

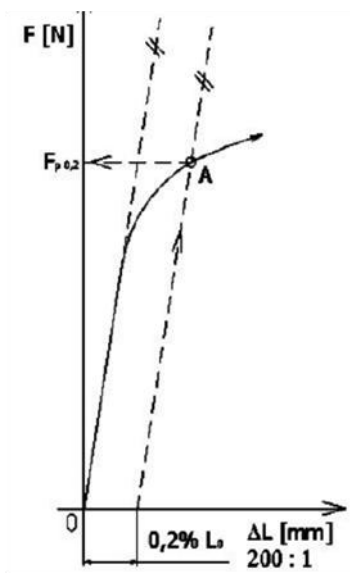
$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

$$\psi = \frac{d_0 - d}{d_0}$$

Zároveň so sledovaním zmeny rozmerov sa sleduje aj zaťaženie ktoré túto zmenu vyvolalo. Záznam závislosti zaťaženia a deformácie skúšobnej vzorky sa graficky zaznamenáva do ťahového diagramu obr.



a) húževnatý materiál



b) tvrdý (krehký) materiál

Ťahový diagram materiálu

V ťahovom diagrame obr.a), sa nachádzajú kľúčové miesta (body) označené písmenami U, E, K, P, S.



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 1

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

U- medza úmernosti – do tejto hodnoty je deformácia úmerná zaťaženiu.

Až po stav vyznačený na diagrame bodom U je závislosť $\varepsilon - \sigma$ lineárna. Značí to, že predĺženia skúšobnej tyče rastú úmerne s napätím. Priamka zvierá s osou poradníc veľmi malý uhol, čo znamená, že predĺženie skúšobnej tyče rastie na tomto úseku pomaly. Najvyššia hodnota napätia, po ktoré rastie deformácia úmerne s napätím (bod U), sa nazýva medzou úmernosti a označujeme ju R_u .

Pomer napätia a jemu prislúchajúceho pomerného predĺženia je po hranicu úmernosti konštantný a môžeme ho vyjadriť:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

kde: E [MPa] – modul pružnosti v ťahu (Youngov modul), pre oceľ $2,1 \cdot 10^5$ MPa do teploty 100°C , pre hliník $0,7 \cdot 10^5$ MPa

Konštanta úmernosti E medzi napätím a deformáciou sa nazýva modul pružnosti v ťahu. Má rozmer napätia. Vzťah nazývame Hookeov zákon. Absolútna hodnota podielu pomernej priečnej deformácie a pomerného pozdĺžneho predĺženia v medziach platnosti Hookeovho zákona je konštantná a rovná Poissonovému číslu μ .

Poissonove číslo je bezrozmerná veličina a nadobúda hodnoty z intervalu $0 < \mu \leq 0,5$. Ak uvažime, že pri ťahu sa prierez tyče zmenšuje a pri tlaku zväčšuje, potom

$$-\mu \cdot \varepsilon = -\mu \cdot \frac{\sigma}{E}$$

Youngov modul pružnosti a Poissonove číslo úplne charakterizujú pružné vlastnosti izotropného materiálu.

Hookov zákon je možné aplikovať aj pre stanovenie modulu pružnosti materiálu v šmyku "G", ale len pre malé deformácie nasledovne:

$$G = E/2 \cdot (1 + \mu)$$

Hodnota modulu pružnosti v šmyku pre oceľ je $G = 0,8 \cdot 10^5$ MPa.

E – medza elasticity (pružnosti) – pri tejto hodnote dochádza aj po odľahčení k čiastočnej trvalej deformácii na úrovni $\varepsilon = 0,005\%$, medzu pružnosti ako hodnotu napätia, pri ktorom trvalá deformácia neprevýši normou stanovený podiel pôvodnej meranej dĺžky skúšobnej tyče ($\varepsilon = 0,005\%$) a označuje sa $R_{p0,005}$.

Pri malom napätí sa tyč po úplnom odľahčení skráti svojou pružnosťou na pôvodnú dĺžku. Medza pružnosti R_p je napätie, po ktoré sú predĺženia v podstate iba pružné (elastické).

K – medza klzu (Re) – pri tejto hodnote dochádza k trvalej deformácii a lokálnemu spevneniu.

Pri ďalšom zvyšovaní napätia sa čiara diagramu odchyľuje od priamky plynulo k bodu K. Niektoré materiály, napr. mäkká oceľ, vykazujú na ťahovom diagrame počínajúc bodom K úsek, na ktorom predĺženie začína náhle rásť bez zväčšovania zaťaženia. Tento jav sa nazýva klzom (tečením) materiálu. Medzou klzu teda nazývame napätie, pri ktorom nastáva značné predlžovanie tyče bez zväčšovania zaťaženia. Bod K sa nazýva kritickým bodom. Namiesto vodorovného úseku diagramu za bodom K dostávame niekedy dokonca úsek sklonený doprava dole. Toto klesanie prestáva pri tzv. dolnej medzi klzu. Za dolnou medzou klzu pracovný diagram znova stúpa.

V ťahaných skúšobných tyčiach nastáva súčasne zmenšovanie plochy prierezu tyče z pôvodnej prierezovej plochy A_0 na A. Zmenou prierezu sa zmení aj skutočné napätie. V diagrame na obr. a) je čiarkovanou čiarou znázornený priebeh vzťahovaný ku skutočne zmenenému prierezu A, teda skutočné napätie a plnou čiarou je znázornený priebeh vzťahovaný k pôvodnej ploche A_0 .

Dohodnutá medza klzu pre tvrdé materiály $R_{p0,2}$ obr.b), je napätie, ktoré spôsobí trvalú deformáciu o veľkosti $0,2\%$ z L_0 . Ak medzu klzu nemôžeme zreteľne určiť obr.b), možno dohovorenú



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 1

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

(konvenčnú) medzu klzu $R_{p0,2}$ definovať ako napätie, pri ktorom plastické (trvalé) pomerné predĺženie tyče dosahuje 0,2%.

P – medza pevnosti (R_m): Bod P prislúcha najväčšej hodnote napätia. Toto napätie sa nazýva pevnosť a označujeme ju R_m . Pri dosiahnutí pevnosti sa v húževnatých oceliach začína tvoriť miestne zúženie tyče, tzv. krčok. Predlžovanie tyče potom nastáva hlavne v oblasti krčku a ostatná časť tyče sa takmer nepredlžuje. Pretože sa prierez v krčku stále znižuje, pokračuje deformácia i pri znižujúcom sa napätí.

S – porucha: Pri napätí prislúchajúcemu bodu S sa tyč pretrhne. V okamžiku pretrhnutia je však skutočné napätie najväčšie, pretože plocha krčku dosiahne v tomto okamihu minimum.

Priebeh závislosti predĺženia vplyvom zaťaženia je pre rôzne materiály rôzny, na obr. sú priebehy z ťahových skúšok pre rôzne druhy materiálov.

