

A SZILÁRDSÁGI SZÁMÍTÁSOK ALAPJAI

A törés fajtái (okai):

- Erőszakos törés (képlékeny vagy rideg)
- Fáradt törés
- Feszültség-korrózió miatt beállt törés
- Magas hőmérsékleten beálló törés

A szilárdsági méretezéseket két szakaszban végezzük:

1. Méretezés.

A méretek meghatározása adott terhelés, geometriai-szilárdságtani modell és adott, ill. kiválasztott anyag esetére.

2. Ellenőrzés

A kvázi véglegesen kialakított szerkezet illetve alkatrész adott méretei, adott terhelés és anyagjellemzők ismeretében ellenőrizni kell, hogy elviseli-e és mekkora biztonsággal a terhelést.

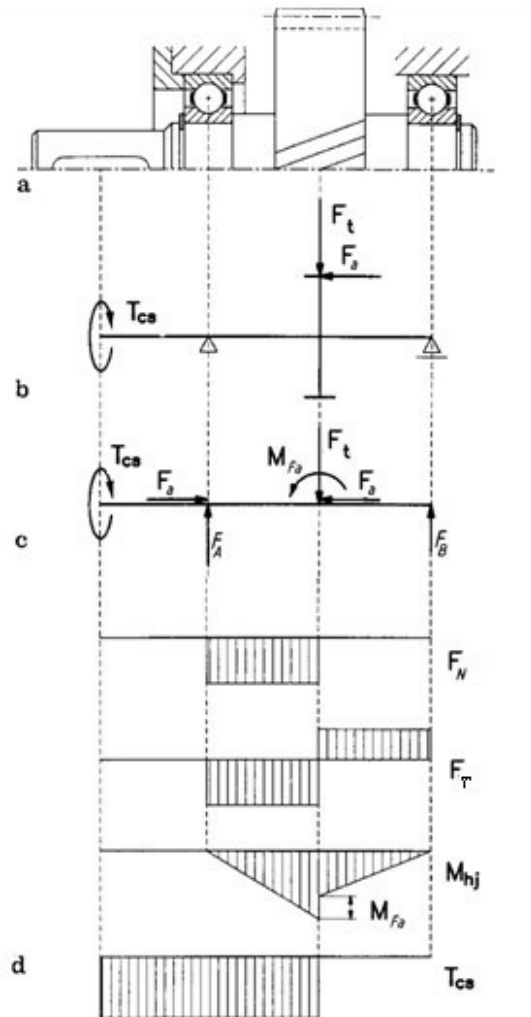
A modell és a valós szerkezet

a) a valós objektum geometriai modellje

b) a valós objektumot helyettesítő mechanikai modell

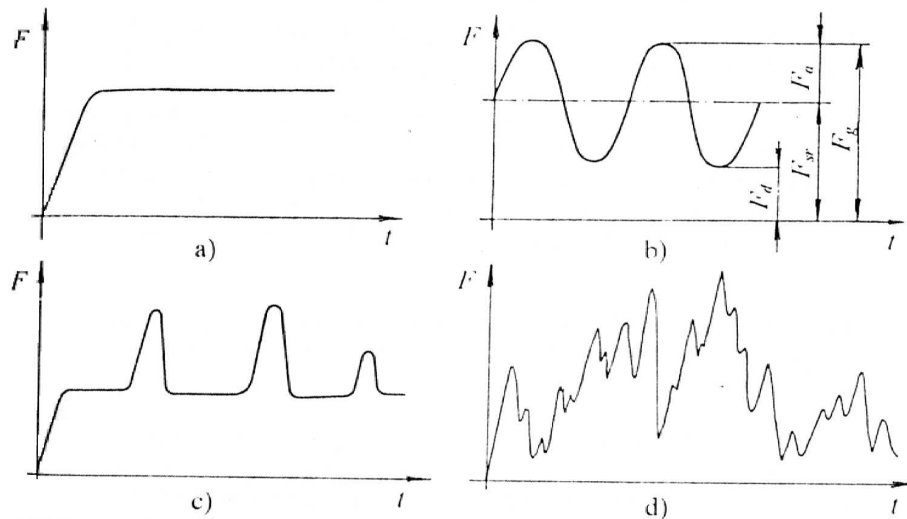
c) terhelési (sztatikai) modell

d) igénybevételi ábrák



GÉPELEMEK ÜZEMI TERHELÉSE

A terhelés időbeli lefolyása lehet állandó értékű azaz nyugvó terhelés (sztatikus terhelés) vagy változó. A váltakozás lehet harmonikus, ütésszerű vagy véletlenszerű (2-1 ábra). A valós üzemi körülményeknél leggyakrabban véletlenszerű terhelés jelentkezik, mégis az egyszerűség érdekében a további tárgyalás során a terhelést nyugvó vagy harmonikusan váltakozó terhelésnek tekintjük.



2-1 ábra. A terhelés időbeli lefolyása: a) nyugvó, b) harmonikusan váltakozó, c) ütésszerű, d) véletlenszerűen váltakozó [1]

IGÉNYBEVÉTEL ÉS FESZÜLTSG

Az **igénybevétel** az alkatrészben kialakult állapot, amelyet külső terhelés idéz elő.

Megkülönböztetünk

- teljes térfogatban ható igénybevételt (húzás-nyomás, hajlítás, nyírás, csavarás) és
- felületi igénybevételt (felszíni nyomás).

A **feszültség** az anyagban jelentkező belső ellenálló erők nagysága egy egységnyi felületre vonatkoztatva.

Teljes térfogatban ható igénybevételek

Igénybevétel	Feszültség (N/mm ²)	Feszültségeloszlás
Húzás vagy nyomás	$\sigma_{h-ny} = \frac{F_a}{A}$	
Hajlítás	$\sigma_{hj} = \frac{M}{K}$	
Csavarás	$\tau_{cs} = \frac{T}{K_p}$	
Nyírás	$\tau_{ny} = \frac{F_T}{A}$	
A (mm ²) - a keresztmetszet területe; K (mm ³) - keresztmetszeti tényező; K _p (mm ³) - poláris keresztmetszeti tényező		

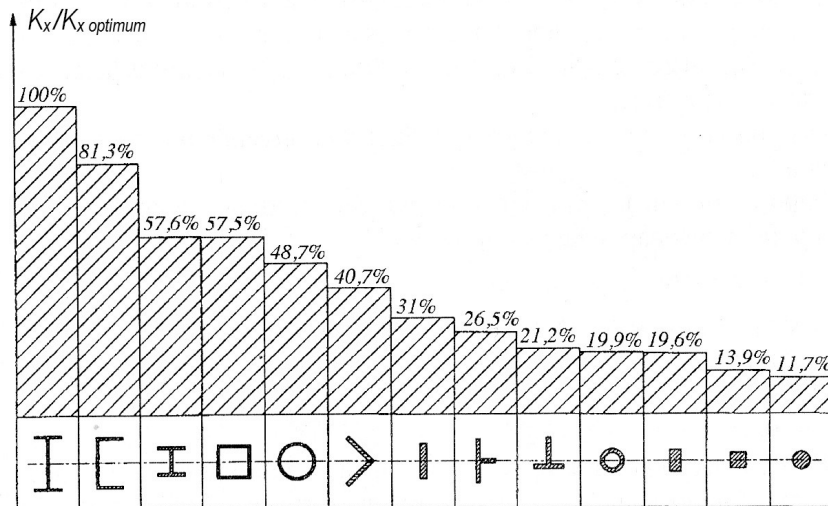
Keresztmetszeti tényező

A hajlításnál ébredő normál feszültség nem csak a tartó keresztmetszetének a nagyságától függ, hanem nagymértékben annak alakjától is.

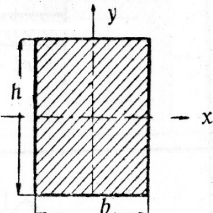
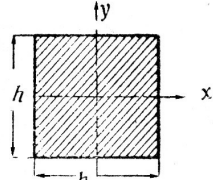
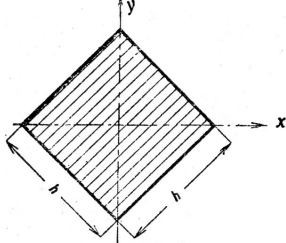
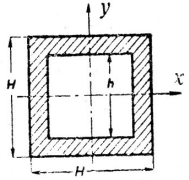
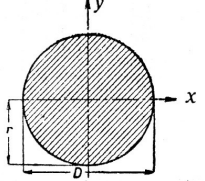
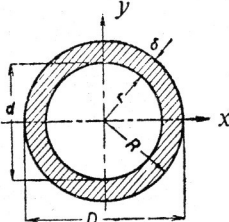
A szabályos síkidomok keresztmetszeti tényezőit egyszerű képletekkel számoljuk ki:

Hajlító igénybevétel esetén az „I” profil tekinthető optimálisnak.

Az ábra azonos felületű keresztmetszetek keresztmetszeti tényezőit mutatja százalékosan az I-profilhoz viszonyítva.

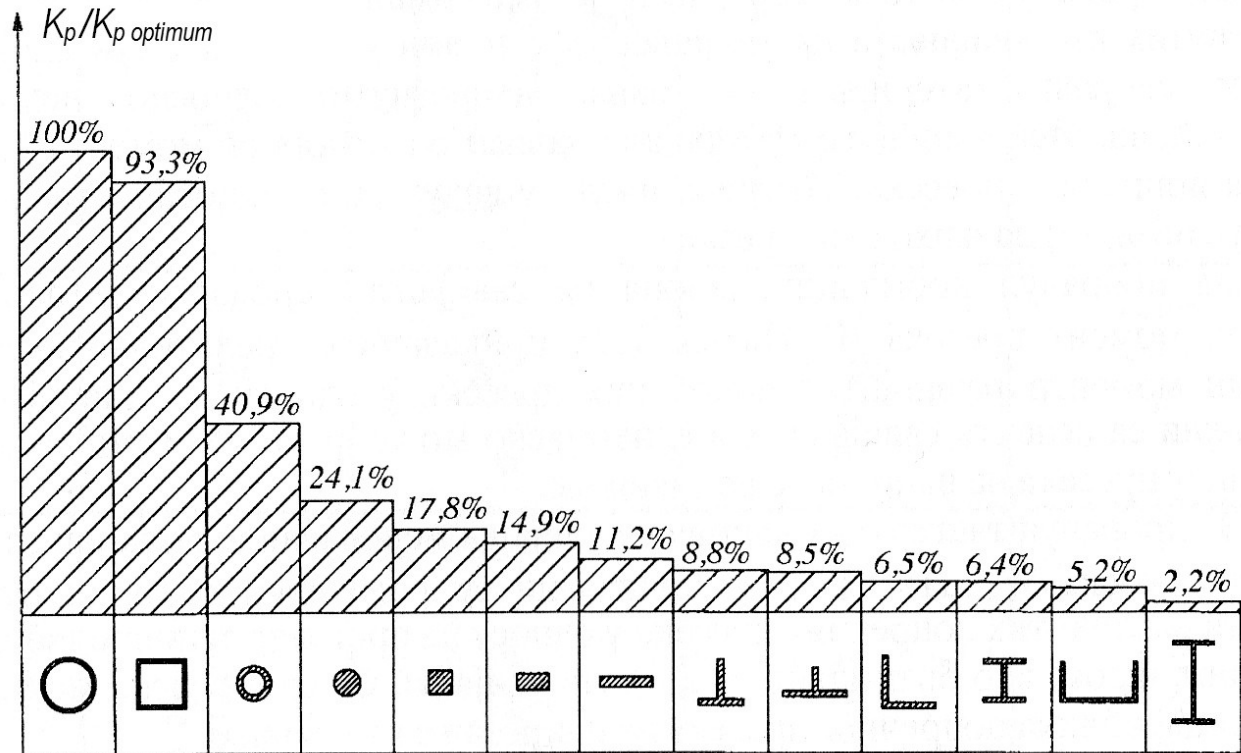


Táblázat: Keresztmetszeti tényező néhány gyakori keresztmetszet esetére

Síkidom	Terület	Keresztmetszeti tényező	Poláris keresztmetszeti tényező
	$A = b \cdot h$	$K_x = \frac{b \cdot h^3}{6}$ $K_y = \frac{h \cdot b^3}{6}$	
	$A = h^2$	$K_x = K_y = \frac{h^3}{6}$	$K_p = 0,208 \cdot h^3$
	$A = h^2$	$K_x = K_y = \frac{h^3}{12} \sqrt{2}$	
	$A = H^2 - h^2$	$K_x = K_y = \frac{1}{6} \frac{H^4 - h^4}{H}$	
	$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$	$K = \frac{D^3 \cdot \pi}{32} \approx 0,1D^3$	$K = \frac{D^3 \cdot \pi}{16} \approx 0,2D^3$
	$A = (H^2 - h^2) \cdot \frac{\pi}{4}$	$K = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D}$	$K = \frac{\pi}{16} \frac{D^4 - d^4}{D}$

Csavaró igénybevétel esetén a K_p (mm^3) - poláris keresztmetszeti tényező a mértékadó.
Itt optimális a gyűrű alakú keresztmetszet.

Az ábra azonos felületű keresztmetszetek keresztmetszeti tényezőit mutatja százalékosan a gyűrű keresztmetszetű vékonyfalu csőtengelyhez viszonyítva.

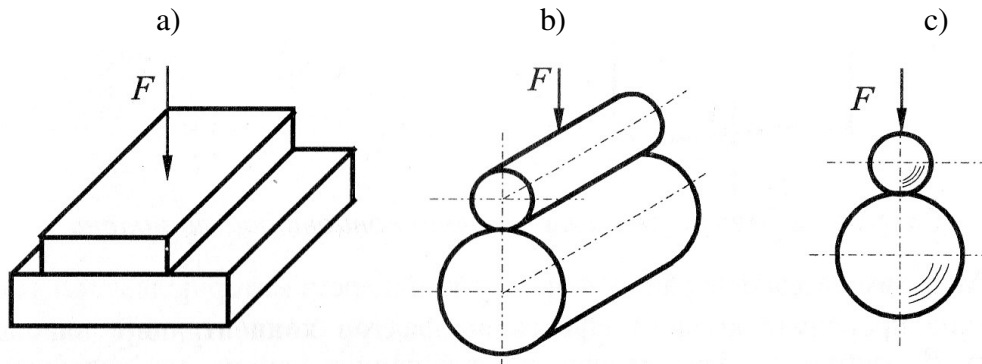


Felületi igénybevétel (felszíni nyomás)

Felszíni nyomás jelentkezik a gépelemek érintkező felületein.

Két alapvető esetet kell megkülönböztetni:

1. Terhelésmentes állapotban az érintkezés **véges felületen** valósul meg (2-3 a) ábra).
2. A gépelemek terhelésmentes állapotban egy **vonall mentén vagy egy ponton** érintkeznek (2-3 b) és c) ábra).



2-3 ábra. Gépelemek érintkezése

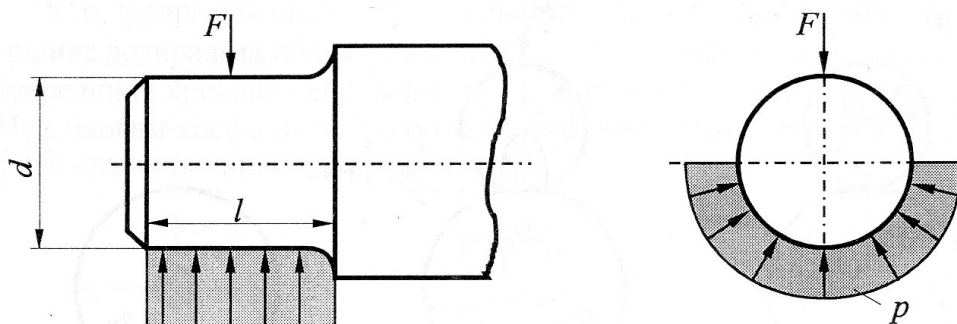
Véges felületen történő érintkezés esetén a felszíni nyomás középértékével számolunk:

$$p = \frac{F}{A}$$

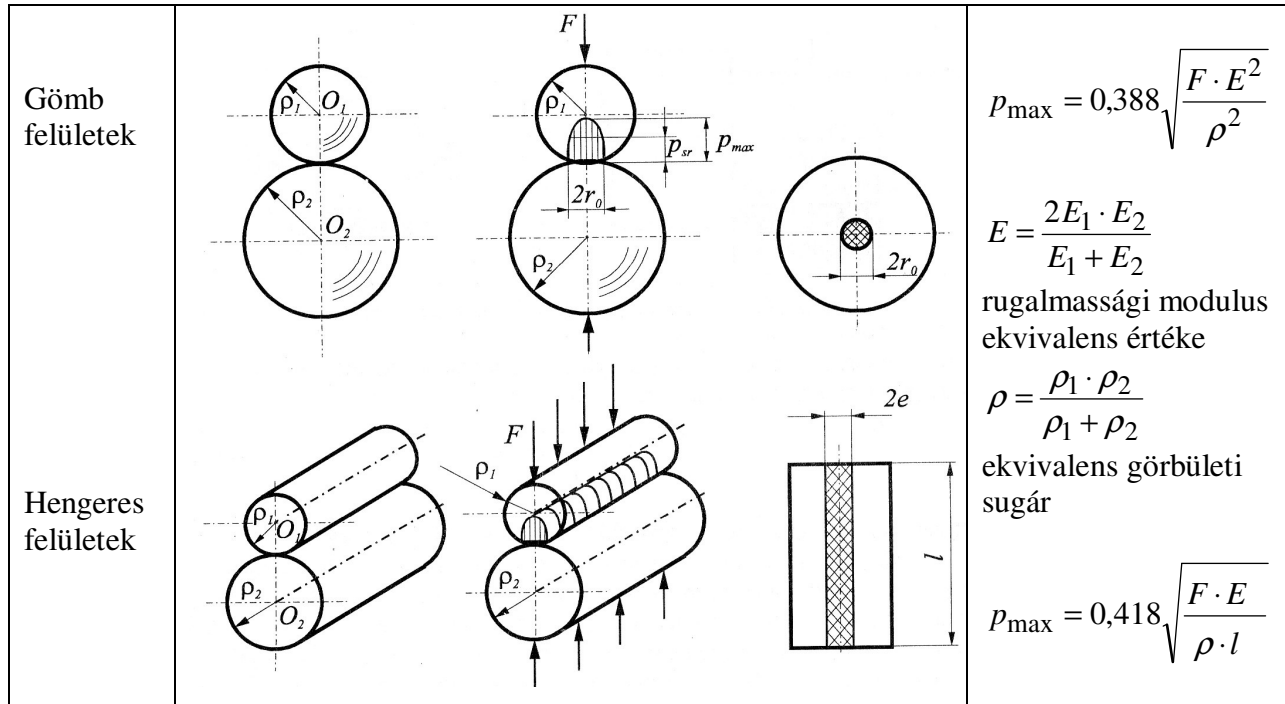
Konkáv és konvex felületek érintkezésénél a felület terhelés irányára merőleges vetületével

számolunk:

$$p = \frac{F}{d \cdot l}$$



Két henger vagy két gömb érintkezésénél jelentkező felszíni nyomást Herz tanulmányozta. Az érintkezés helyén az anyag rugalmassága folytán a gömbfelület rugalmas alakváltozást szenved és így az érintkezés már nem egy ponton, hanem egy kis körfelületen történik. A vonal menti érintkezés pedig egy kis téglalap területén valósul meg.



Az igénybevétel az alkatrészben kialakult állapot, amelyet külső terhelés idéz elő. Megkülönböztetünk teljes térfogatban ható igénybevételt (húzás-nyomás, hajlítás, nyírás, csavarás) és felületi igénybevételt (felszíni nyomás). A gépalkatrészek rendszerint a felsorolt egyszerű igénybevételekből álló összetett igénybevételnek vannak kitéve.

A feszültség az anyagban jelentkező belső ellenálló erők nagysága egy egységnyi felületre vonatkoztatva. Minden igénybevételnek egy jellemző feszültségeloszlás felel meg a keresztmetszet felülete mentén.

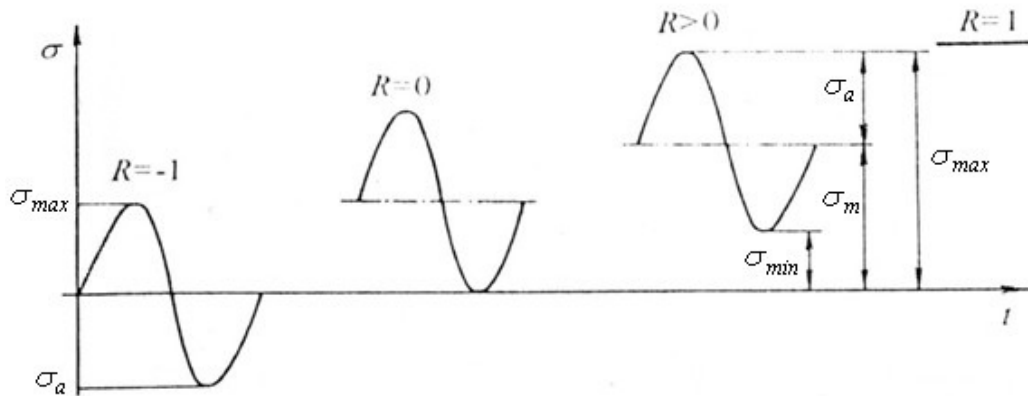
A gépalkatrészekben ébredő feszültség időbeli lefolyása, a terheléshez hasonlóan (2-1 ábra), lehet nyugvó (sztatikus), ciklikusan változó, ütőjellegű és véletlenszerű. Szabályos harmonikus váltakozás a valóságban ritkán jelentkezik, de gyakran alkalmazzuk a valós feszültség aprokszimációjaként a számítások egyszerűbbé tétele érdekében.

A feszültség legnagyobb (σ_{max}) és a legkisebb értékétől (σ_{min}) függően a változás különböző típusú lehet (2-4 ábra). A változás típusát az R aszimmetria tényezővel fejezik ki:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = -1 \dots +1$$

Az aszimmetria tényező jellemző értékeinek jelentése:

$0 < R < 1$	lűktető feszültség (előfeszültséggel)
$R = 0$	tiszta lűktető feszültség
$-1 < R < 0$	aszimmetrikusan váltakozó lengő feszültség
$R = -1$	tiszta (szimmetrikus) lengő feszültség
$R = +1$	nyugvó (sztatikus) feszültség



2-4 ábra

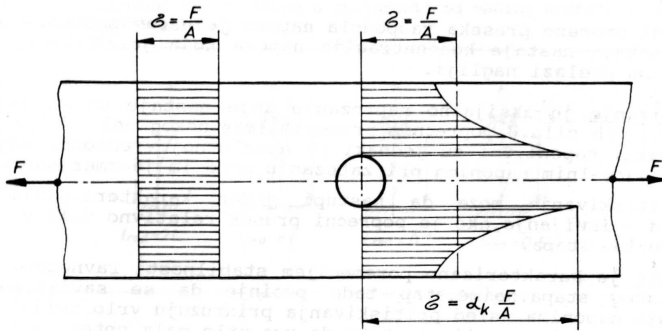
Az állandó határok közötti feszültségváltozás további jellemzői:

az átlagos vagy közepfeszültség $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$

és a feszültséglengés (amplitúdó) $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$

Feszültséggyűjtő hatás

Az előzőekben adott képletek segítségével számított feszültségértékek a síma, állandó keresztmetszetű rudak esetében érvényesek. A valóságban viszont a gépalkatrészek alakja igen összetett lehet több keresztmetszet változással (különböző váll kialakítások, furatok, hornyok stb.).



Az ilyen helyeken a feszültség nagysága és eloszlása jelentősen különbözik azoktól az értékektől, amelyek ott jelentkeznek, ahol semmilyen keresztmetszet változás nincs. Ezt a jelenséget feszültségkoncentrációnak vagy feszültségtorlódásnak nevezzük. Bizonyos helyeken a feszültség értéke nagyobb a névleges értéknél, míg más helyeken annál kisebb. A keresztmetszet felülete mentén összegezett (integrált) feszültség értéke megegyezik azzal az

2-5 ábra. Feszültséggyűjtő hatás

értékkel, amit feszültséggyűjtő hatás nélküli helyen kapunk. Csak a feszültség eloszlása különbözik (2-5 ábra). A számított névleges feszültség σ illetve τ értékéből kiindulva, a keresztmetszetben jelentkező legnagyobb feszültség értéke a névleges feszültség többszöröse is lehet :

$$\sigma_{max} = \alpha_k \cdot \sigma, \quad \text{ill.} \quad \tau_{max} = \alpha_k \cdot \tau$$

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} \quad \text{a feszültségtorlódás alak tényezője}$$

Az alak tényező értéke kizárólag az alkatrész geometriai jellemzőitől függ (a nagyobb és a kisebb keresztmetszet méretviszonya, az átmenet lekerekítési rádiusza, stb.). Minél nagyobb a keresztmetszet hirtelen változása, a feszültségtorlódás annál kifejezettebb. Számszerű értékeit diagramokból vagy táblázatokból kell kiolvasni egy-egy jellemző alakváltozáshoz és igénybevételekhez.

Megállapítható viszont, hogy nem minden anyag egyformán érzékeny a feszültséggyűjtő hatásra és emiatt figyelembe kell venni az anyagminőséget is. A gyakorlatban szilárdsági számításoknál az ún. gátlástényező β_k használatos amely az anyag tulajdonságait is figyelembe veszi. Így a legnagyobb feszültség értéke:

$$\sigma_{max} = \beta_k \cdot \sigma$$

A gátlástényező β_k értéke kisebb mint az α_k értéke és a következő képlettel számítandó:

$$\beta_k = (\alpha_k - 1) \cdot \eta_k + 1$$

ahol : η_k –érzékenységi tényező (anyagfajtától függő)

MÉRETEZÉS NYUGVÓ TERHELÉSRE

Méretezésnél abból indulunk ki, hogy a gépkatrészben keletkező mértékadó feszültség értéke kisebb legyen egy megengedett értéknél:

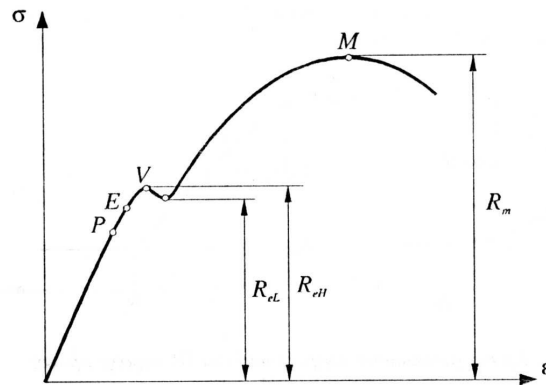
$$\sigma_{red} \leq \sigma_{meg}$$

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{hat}}{S}$$

Ahol: S a biztonsági tényező

R_{hat} a kiválasztott anyag határállapot jellemző értéke:

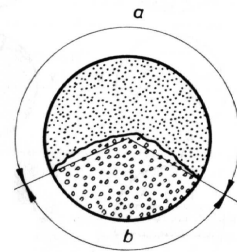
- R_m szakítószilárdság rideg anyagoknál
- R_{eH} folyáshatár szívós anyagoknál (acélok, alumínium, rézötvezetek)
- $R_{p0,2}$ olyan anyagoknál, amelyeknek nincs kifejezett folyáshatára (nagy szilárdságú acélok)



A sztatikus szakítóvizsgálat jellemző feszültségértékei

MÉRETEZÉS VÁLTOZÓ TERHELÉSRE

A gépkatrészek törésének 80% fáradásos törés.



Fáradásos (dinamikus) törés. a –repedés-terjedési zóna; b –sztatikus törési zóna

Fárasztóvizsgálatok

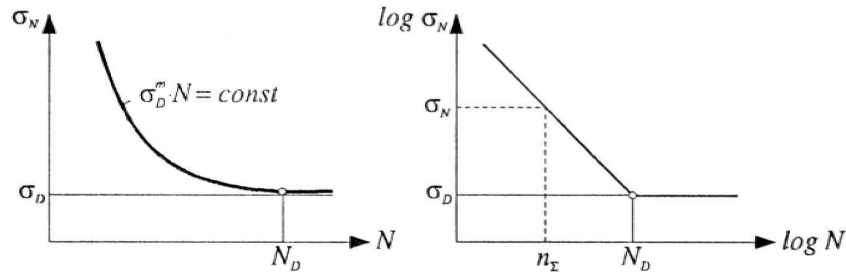
A kifáradásra való méretezés alapja a fárasztóvizsgálatok segítségével megállapított Wöhler görbe (kifáradási görbe). Állandó feszültségváltozási szinten törésig, ill. első repedésig fárasztják a próbatestet.

Azt a feszültséget, amely N váltakozás után a gépelem (vagy próbatest) töréséhez vezet a dinamikus határfeszültség σ_N . Ez rendszerint kisebb, mint az anyag folyáshatára σ_T . Kisebb

számú feszültségváltakozásnak N nagyobb határfeszültségek σ_N felelnek meg. Kísérletek útján ekszponenciális összefüggést állapítottak meg a határfeszültség σ_N és a törést előidéző feszültségváltakozás száma N között. Ezt az összefüggést elsőnek Wöhler állapította meg.

$$\sigma_N^m \cdot N = \text{const}$$

Ezt az összefüggést logaritmikus koordináta-rendszerben egy tört vonallal lehet ábrázolni (2-6 ábra).



2-6 ábra. Kifáradási görbe vagy Wöhler görbe.

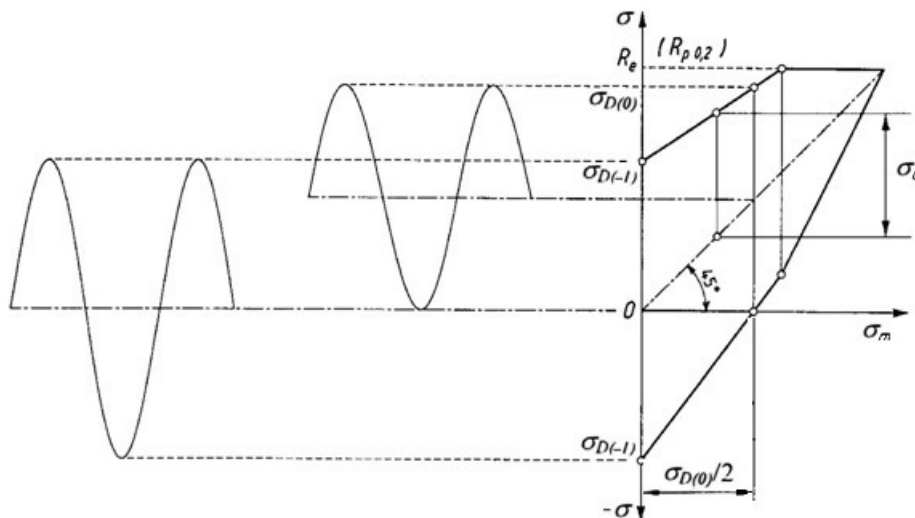
A töréspont koordinátái σ_D és N_D , ahol a σ_D – kifáradási határfeszültség (dinamikus szilárdság), az N_D pedig az ismétlődési határszám. Az m kitevő Wöhler görbe meredekségét határozza meg.

A dinamikus szilárdság σ_D (τ_D) az a legnagyobb feszültség amelyet az alkatrész vagy próbatest végtelen nagy számú feszültség váltakozás esetén is károsodás nélkül kibír.

Az ismétlődési határszám N_D az a szám amely felett a dinamikus szilárdság értéke nem függ a változások számától N , illetve a szilárdság már tartós.

A Wöhler görbe alatti tartomány két részre osztható. Az ismétlődési határszámig N_D terjedő rész a véges, ún. időtartam-szilárdság σ_N (a görbe ferde része), az N_D utáni rész pedig végtelen élettartamú (tartós) dinamikus szilárdság σ_D (a görbe vízszintes része).

Egy-egy kifáradási görbe csak adott feszültségváltkozás esetnek felel meg. Általános érvényű ún. Smith diagram szerkeszthető ha ismert a következő három adat: (1) $\sigma_{D(-1)}$ a kifáradási határfeszültség szimmetrikus lengő terhelés esetére ($R = -1$), (2) $\sigma_{D(0)}$ a kifáradási határfeszültség tiszta lüktető terhelés esetére ($R = 0$), (3) R_e az anyag folyáshatára.



Smith-diagram (általános érvényű)

Méretezésnél ill. a megengedett feszültség meghatározásához a terhelés típusának megfelelően választjuk a határfeszültséget ($\sigma_{D(-1)}$, $\sigma_{D(0)}$, σ_a):

$$\sigma_{meg} = \frac{R_{hat}}{S}$$

A gépelem határfeszültsége (σ_{DG})

A Smith diagram segítségével adott dinamikus szilárdságértékeket különböző anyagokra kísérletekkel kapták, sima, polírozott felületű, 10 mm átmérőjű próbatestek vizsgálatával. Tudjuk viszont, hogy a gépelemek nagymértékben különböznek alakban, méretben és felületi érdességben (megmunkálás) a vizsgált próbatestektől. A dinamikus szilárdság meghatározásánál ezt a mérettényező $\xi_1 < 1$ (értékei a segédletben található), a megmunkálási tényező $\xi_2 < 1$ (értékei a segédletben található), a felületi rétegállapot tényező ξ_3 ($\xi_3 > 1$ abban az esetben ha alkalmazva lett valamilyen a felületi réteget javító kezelés, $\xi_3 = 1$, ha ilyen kezelés nem történt) és a gátlástényező β_k alkalmazásával vesszük figyelembe.

$$\sigma_{DG} = \sigma_{Dhat} \cdot \frac{\xi_1 \xi_2 \xi_3}{\beta_k}$$

Ahol: σ_{Dhat} a terhelésnek megfelelő dinamikus határfeszültség

ELLENŐRZŐ SZÁMÍTÁS

A kvázi véglegesen kialakított szerkezet illetve alkatrész adott méretei, adott terhelés és anyagjellemzők ismeretében ellenőrizni kell, hogy elviseli-e és mekkora biztonsággal a terhelést.

BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ

A biztonsági tényező a határfeszültség (kritikus feszültség) σ_{hat} és a működő feszültség σ hányadosa.

$$S = \frac{\sigma_{hat}}{\sigma}, \text{ normálfeszültségre, illetve } S = \frac{\tau_{hat}}{\tau} \text{ tangenciális feszültségre.}$$

Egy alkatrész hibátlan működésének az a feltétele, hogy a működő feszültség a határfeszültségnél kisebb legyen. A nagyobb biztonsági tényező a működés nagyobb biztonságát jelenti, de hangsúlyozni kell, hogy az ilyen alkatrészek túlméretezettek, ami több okból sem kívánatos.

A sztatikus biztonsági tényezőt akkor ellenőrizzük, ha a terhelési ciklusok száma a gép élettartama alatt kicsi. Acélszerkezeteknél ez a szám néhány ezer.

A sztatikus biztonsági tényező számítása: $S_T = \frac{R_e}{\sigma}$.

Mivel a feszültség egy bizonyos mértékig mindig változó, és ha egy általános biztonságot veszünk, a sztatikus biztonsági tényező értéke 2...3-nál nagyobb kell, hogy legyen.

Dinamikus biztonsági tényezőt úgy definiáljuk, mint a gépelem dinamikus határfeszültségének

(szilárdság) és a legnagyobb feszültség hányadosát: $S_D = \frac{\sigma_{DG}}{\sigma_{max}}$.

Értéke 1,25 –nél nagyobb kell hogy legyen. Ha valószínűsíthető bizonyos eltérés a terhelés névleges értékétől vagy az anyagjellemzők eltérése, akkor 1,25 ... 2,5 –nél nagyobb legyen.