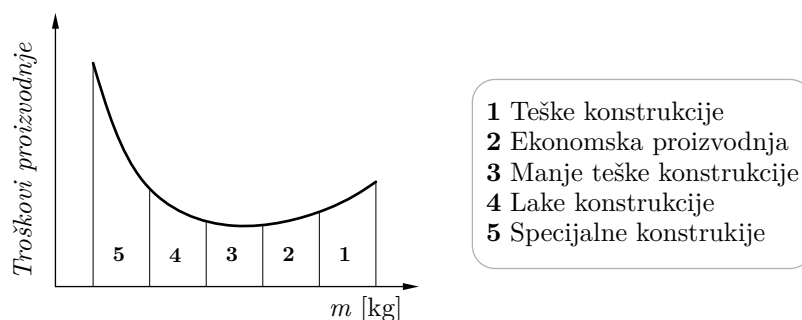


KONSTRUISANJE MAŠINSKIH DELOVA SA ASPEKTA RACIONALNOSTI MASE (LAKE KONSTRUKCIJE)

Kao što iz samog naziva sledi, lake konstrukcije su konstrukcije koje pored opštih konstrukcionih zahteva u pogledu funkcije, čvrstoće, krutosti i dr. zadovoljavaju i zahtev za što manjom masom. Ovaj zahtev postoji kod svih konstrukcija ukoliko smanjenje mase istovremeno znači i smanjenje troškova materijala i proizvodnje, smanjene cene mašine, transportnih troškova i troškova eksploatacije. Poseban je, međutim slučaj kada se zahtev za smanjenjem mase psotavlja u prvi plan: znači smanjenje mase bez obzira na troškove proizvodnje. Ovo se na prvom mestu odnosi na motorna vozila i vazduhoplovstvo jer smanjenje mase povećava korisnu nosivost, brzinu i pokretljivost, ali utiče na troškove proizvodnje.

U principu, velikoj masi odgovaraju veliki troškovi proizvodnje. Sa smanjivanjem mase, smanjuju se i troškovi proizvodnje do određene, minimalne vrednosti, Slika 1. Potom, sa daljim smanjivanjem mase, troškovi proizvodnje naglo rastu. Za neke mašine uslov male mase predstavlja osnovni uslov (vazduhoplovstvo, kosmička i raketna industrija). Masa jedne konstrukcije, odnosno svakog njenog dela zavisi od niza uticajnih faktora. U nastavku će biti izvršena analiza ovih faktora za različite slučajeve naprezanja mašinskih delova čiji se osnovni oblik svodi na štap, gredu i konzolu. Osnovna ideja pri ovoj analizi je u tome da se masa mašinskog dela izrazi u zavisnosti od konstruktivno uslovljenih dužina, opterećenja, karakteristika poprečnih preseka i karakteristika primenjenih materijala i stepena sigurnosti.



Slika 1

Masa jedne mašinske konstrukcije zavisi od mase svakog njenog dela. Smanjenje mase delova mašinske konstrukcije ograničeno je uslovima čvrstoće, krutosti i stabilnosti. Ovi uslovi se moraju ispuniti da bi mašinska konstrukcija ispravno i pouzdano obavljala opštu funkciju. Smanjenje mase mašinskih delova bez narušavanja uslova čvrstoće, krutosti i stabilnosti može se ostvariti:

- izborom pogodnog konstrukcionog rešenja,
- izborom visokokvalitetnih materijala,
- ravnomernim iskoršćenjem čvrstoće mašinskog dela.

Za analizu mase mašinske konstrukcije i njenih delova potrebno je dakle uspostaviti zavisnost između mase i sledećih uticajnih faktora:

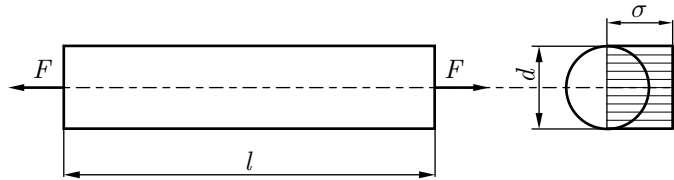
- oblika poprečnog preseka: A , W , W_p ,
- mehaničkih karakteristika materijala: ρ , $[\sigma]_M$, $[\tau]_M$,
- stepena sigurnosti: S ,
- napadnog opterećenja: F , T , M ,
- konstrukcionih uslova: l .

Masa mašinskih delova izloženih aksijalnom naprezanju – zatezanju

Zatezanje je naprezanje koje nastaje dejstvom radnog opterećenja u vidu zatežućih sila čija se napadna linija poklapa sa pravcem podužne ose mašinskog dela. Usled ovih sila, u poprečnom preseku mašinskog dela stvaraju se unutrašnje sile (napon), ravnomerno raspoređene po poprečnom preseku, Slika 2.

Ulazni podaci neophodni za proračun:

- geometrijske veličine: l i d ,
- napadno opterećenje: F ,
- materijal: ρ , $[\sigma]_M$
- stepen sigurnosti: S .



Slika 2

Masa mašinskog dela može se u opštem slučaju izraziti proizvodom zapremine i gustine, odnosno proizvodom površine poprečnog preseka, dužine i gustine:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot l. \quad (1)$$

Uslov zapreminske čvrstoće mašinskog dela:

$$\sigma \leq \sigma_{doz}, \quad (2)$$

gde se nominalni napon pri aksijalnom naprezanju u vidu zatezanja silom F računa prema izrazu:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (3)$$

a dozvoljeni napon se dobija na osnovu kritičnog napona mašinskog dela i zahtevanog stepena sigurnosti:

$$\sigma_{doz} = \frac{[\sigma]_M}{S}. \quad (4)$$

Smenom (3) i (4) u (2) sledi:

$$A \geq \frac{F \cdot S}{[\sigma]_M} \quad (5)$$

Smenom (5) u (1) sledi tražena zavisnost:

$$m = 1 \cdot \frac{\rho}{[\sigma]_M} \cdot S \cdot F \cdot l. \quad (6)$$

Na osnovu ove zavisnosti može se konstatovati sledeće:

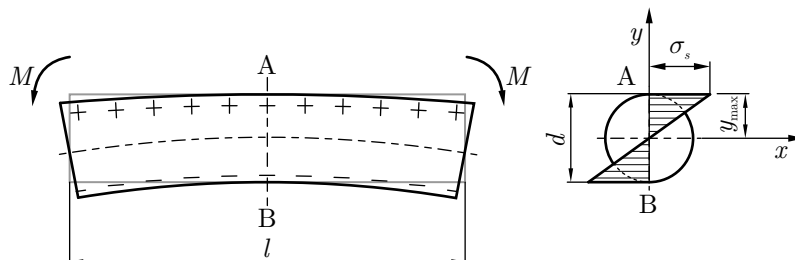
- a) oblik poprečnog preseka mašinskog dela ne utiče na njegovu masu, pa u izrazu (6) ovaj uticaj obuhvaćen je brojem 1 kod aksijalnog naprezanja (zatezanje i pritiskivanje). Čvrstoća mašinskog dela je ravnomerno iskorišćena zato što svaka tačka poprečnog preseka pruža otpor istog intenziteta u vidu napona σ kao odgovor na dejstvo napadnog opterećenja u vidu sile F (Slika 2),
- b) kod lakih konstrukcija od materijala mašinskih delova se zahteva ne samo mala gustina već i velike mehaničke karakteristike tj. kritični naponi. Materijali koji imaju najmanji odnos gustine i odgovarajućeg kritičnog napona su najpovoljniji sa aspekta mase. Kod visokokvalitetnih čelika ovaj odnos je povoljan. Stiropor, zbog male čvrstoće ima veoma nepovoljan odnos gustine i kritičnog napona. Saglasno ovome, mašinski deo, aksijalno napregnut, imao bi veću masu ako bi se izradio od stiropora nego od čelika.
- c) Stepenn sigurnosti, napadno opterećenje i dužina mašinskog dela linearno utiču na masu.

Masa mašinskih delova napregnutih na savijanje

Savijanje je naprezanje koje nastaje delovanjem radnog opterećenja u vidu sila i spregova sila koji leže u ravnima koje prolaze kroz podužnu osu mašinskog dela. Usled ovih opterećenja u poprečnom preseku mašinskog dela stvaraju se unutrašnje sile koje su normalne na površinu poprečnog preseka – normalni naponi, a deformacije se javljaju u vidu skraćenja i izduženja uzdužnih vlakana, Slika 3.

Ulazni podaci neophodni za proračun:

- geometrijske veličine: l i d ,
- napadno opterećenje: M ,
- materijal: ρ , $[\sigma]_M$
- stepen sigurnosti: S .



Slika 3

Unutrašnje sile nisu ravnomerno raspoređene po poprečnom preseku, Slika 3. Najveći intenzitet unutrašnjih sila – napona je u tačkama A i B poprečnog preseka, koje su najudaljenije od težišne ose x i leže u ravni delovanja radnog opterećenja. Tačke poprečnog preseka koje leže u težišnoj ravni ne pružaju otpor. Napon u ovim tačkama je jednak nuli. U ostalim tačkama poprečnog preseka napon je proporcionalan njihovom rastojanju od težišne ravni.

Masa mašinskog dela:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot l. \quad (7)$$

Uslov zapreminske čvrstoće mašinskog dela:

$$\sigma_s \leq \sigma_{doz}, \quad (8)$$

gde je radni napon pri savijanju:

$$\sigma_s = \frac{M}{W}, \quad (9)$$

a dozvoljeni napon se dobija na osnovu kritičnog napona mašinskog dela i zahtevanog stepena sigurnosti:

$$\sigma_{doz} = \frac{[\sigma]_M}{S}. \quad (10)$$

Smenom (9) i (10) u (8) sledi izraz za minimalnu veličinu otpornog momenta poprečnog preseka mašinskog dela iz uslova čvrstoće protiv zapreminskog razaranja:

$$W \geq \frac{M \cdot S}{[\sigma]_M} \quad (11)$$

Da bi se uspostavila zavisnost između izraza (8) i (11) potrebno je prethodno formirati zavisnost između površine poprečnog preseka i otpornog momenta:

$$A = K \cdot W^{2/3}. \quad (12)$$

Smenom (12) u (7) sledi izraz:

$$m = \rho \cdot l \cdot K \cdot W^{2/3}. \quad (13)$$

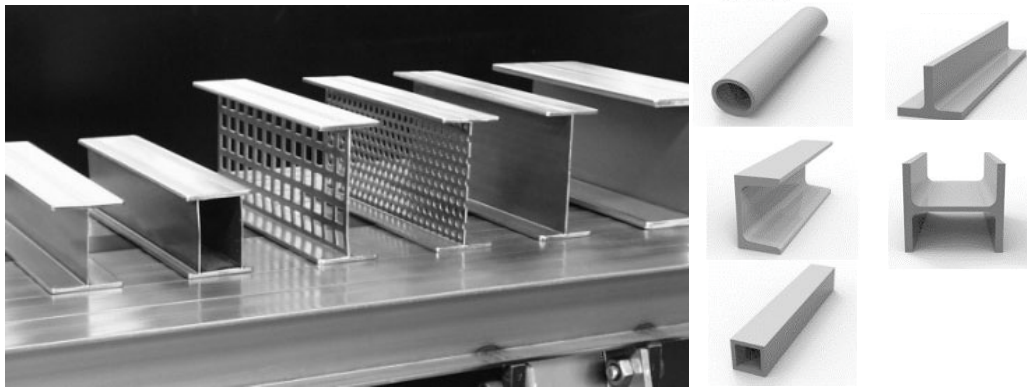
Smenom (11) u (13) sledi:

$$m = \rho \cdot l \cdot K \left(\frac{M \cdot S}{[\sigma]_M} \right)^{2/3}. \quad (14)$$

Na osnovu (12) i (14) sledi traženi izraz za masu mašinskog dela:

$$m = \frac{A}{W^{2/3}} \cdot \frac{\rho}{[\sigma]_M^{2/3}} \cdot S^{2/3} \cdot M^{2/3} \cdot l. \quad (15)$$

Kod savijanja čvrstoća mašinskog dela nije ravnomerno iskorišćena, zato što svaka tačka poprečnog preseka ne pruža otpor istog intenziteta, odnosno σ_s kao odgovor na dejstvo napadnog opterećenja u vidu momenta savijanja M . Smanjenje mase postiže se smanjivanjem površine poprečnog preseka, a povećavanjem otpornog momenta. Ovo se ostvaruje smanjivanjem površine u okolini težišne ose (zona malih napona), a povećavanjem površine na što većem udaljenju od težišne ose (zona velikih napona), sa ciljem da neravnomernost raspodele napona bude što manja, čime se postiže bolje iskorišćenje materijala, Slika 4.



Slika 4 Oblici lakih profila

Ovako formirani oblici poprečnog preseka nazivaju se laki profili. Kod ovih profila ispunjeno je:

$$\frac{A}{W^{2/3}} \rightarrow 1, 0. \quad (16)$$

Kvantitativni uticaj oblika poprečnog preseka na masu mašinskog dela prikazan je u narednoj tabeli.

Oblik poprečnog preseka			Oblik poprečnog preseka			
d_u / d_s	0	0,5	b / h	1	0,5	2
$A / W^{2/3}$	3,7	2,9	$A / W^{2/3}$	3,3	2,6	4,2

Masa mašinskih delova napregnutih na uvijanje

Saglasno prikazanom postupku za formiranje izraza za masu mašinskih delova napregnutih na savijanje, izvedite izraz za masu mašinskih delova napregnutih na uvijanje:

$$m = \frac{A}{W_p^{2/3}} \cdot \frac{\rho}{[\tau]_M^{2/3}} \cdot S^{2/3} \cdot T^{2/3} \cdot l. \quad (17)$$