

TPD 2020

Krive tečenja (K – φ krive)

Uslov plastičnog tečenja

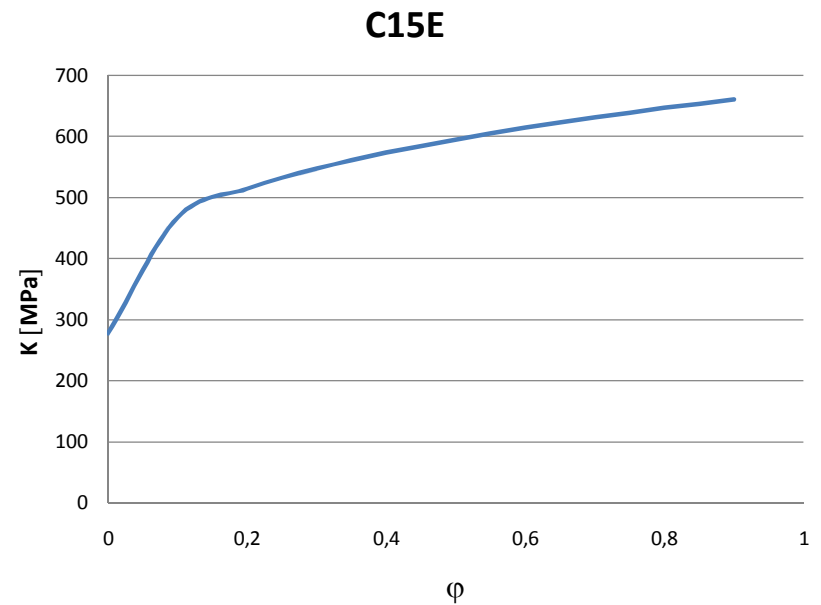
Prilikom projektovanja tehnologije za delove koji se proizvode nekom od metoda plastičnog deformisanja, definisanje parametara procesa (deformacione sile, deformacionog rada, pritiska na alat) predstavlja najvažniji element tog procesa.

Na osnovu vrednosti proračunatih parametara procesa vrši se konstrukcija alata i izbor potrebnih mašina.

Za svaku metodu u literaturi je moguće pronaći više različitih pristupa analizi procesa, koji rezultiraju različitim izrazima za određivanje deformacione sile. Ono što je zajedničko tim izrazima je da su veličine koje imaju najveći uticaj na proces: materijal, dimenzije dela i koeficijent kontaktnog trenja između materijala alata i materijala obratka. U zavisnosti od procesa, mogu se javiti i drugi uticajni parametri.

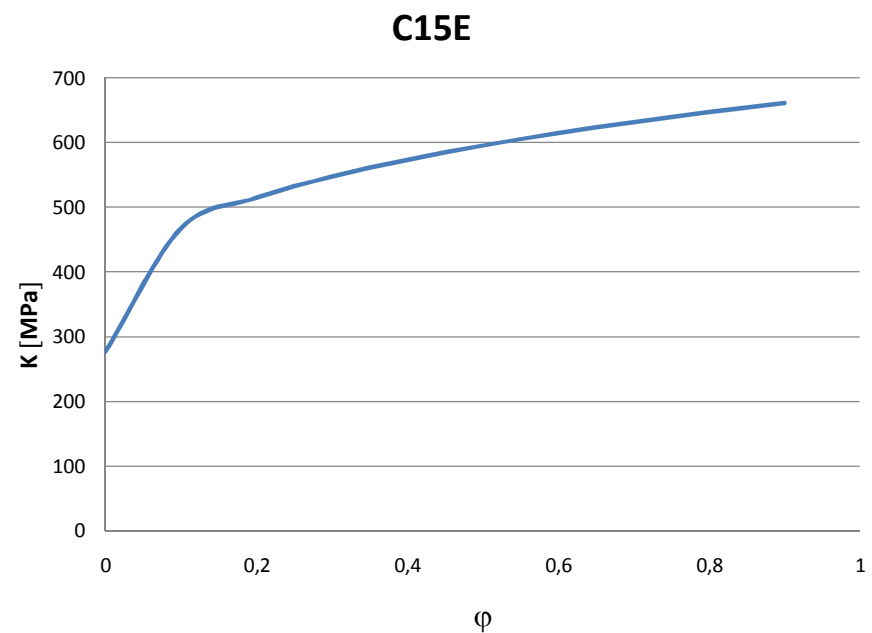
Uticaj materijala se ogleda preko veličine koja se zove napon tečenja ili deformacioni otpor i označava se sa K .

Napon tečenja zavisi od veličine ostvarene deformacije i njegova vrednost se određuje sa krive tečenja, tzv. K - φ krive.



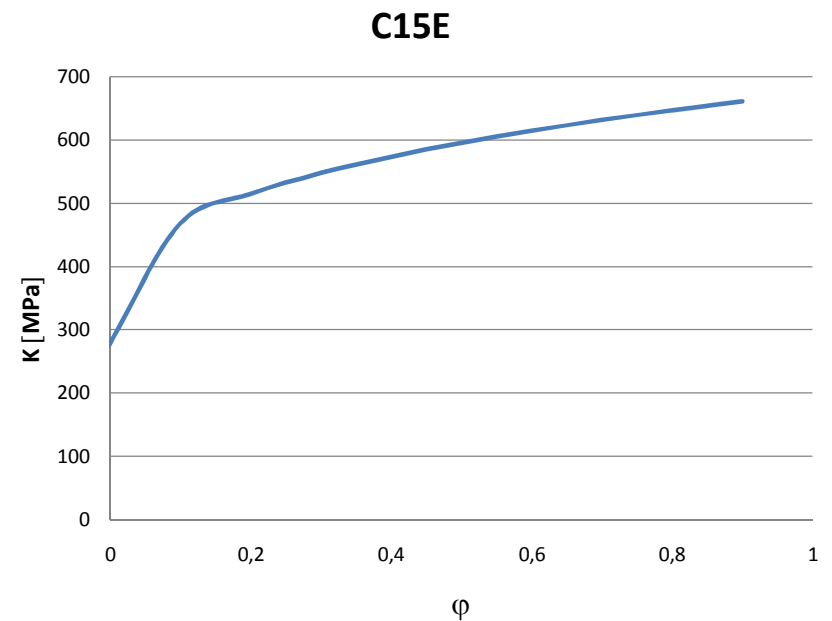
Kriva tečenja predstavlja funkcionalnu zavisnost napona tečenja i efektivne deformacije koja prikazuje kako se napon u materijalu menja sa porastom plastične deformacije.

Kod hladne obrade, gde dolazi do deformacionog ojačavanja, napon tečenja raste sa porastom ostvarene deformacije.



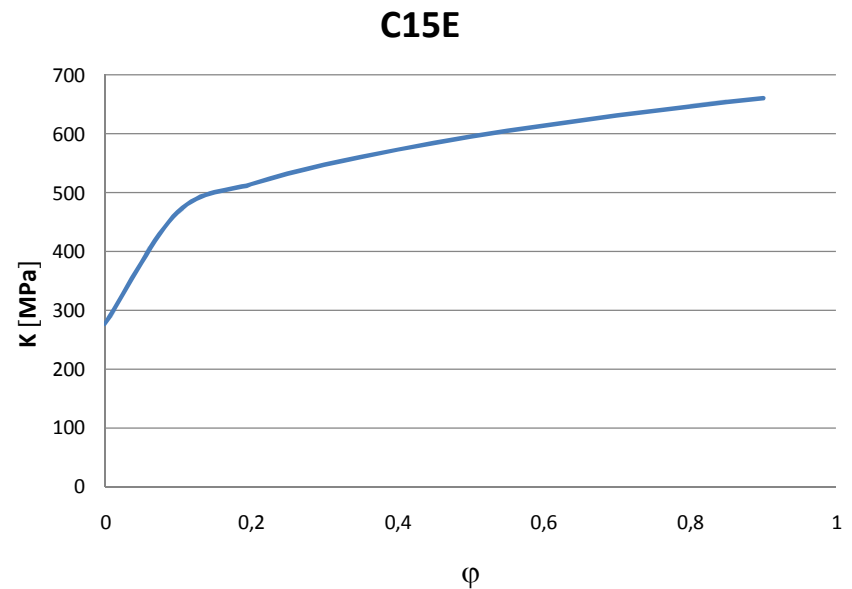
Na x osi ove krive nalazi se efektivna deformacija na osnovu koje se očitava vrednost napona tečenja K sa y ose.

Svaka metoda ima drugačiji način definisanja deformacionog stanja po obratku. Prilikom određivanja deformacione sile za određenu metodu potrebno je poznavati izraz za određivanje ostvarenog stepena deformacije φ kako bi sa krive mogla da se očita vrednost napona tečenja K .



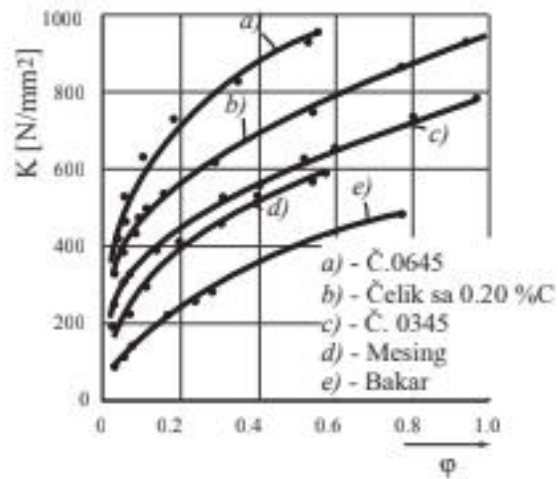
Za vrednost deformacije $\varphi = 0$, vrednost napona jednaka je naponu na granici plastičnog tečenja R_v .

To znači da se napon K određuje na osnovu veličine trajno ostvarene plastične deformacije, odnosno da se elastične deformacije ne uzimaju u obzir.

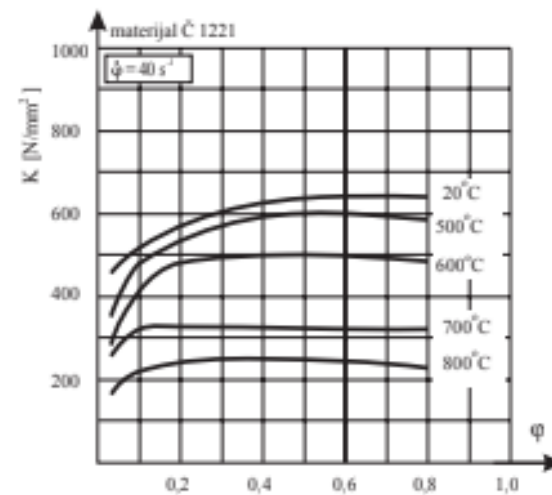


Napon tečenja K , kao i kriva tečenja zavise od:

- Vrste materijala,
- Polazne strukture,
- Temperature obrade,
- Brzine deformacije.



Krive tečenja za različite materijale



Uticaj temperature na krivu tečenja

Kriva tečenja se koristi uz pretpostavku da je kriva jedinstvena bez obzira na naponsko stanje pomoću koga se ostvaruje stepen deformacije. To znači da ako se isti materijal deformiše različitim metodama u kojima se ostvaruje različito naponsko stanje, koristiće se kriva tečenja. Zbog toga se kriva tečenja definiše i kao odnos efektivnog napona i efektivne deformacije.

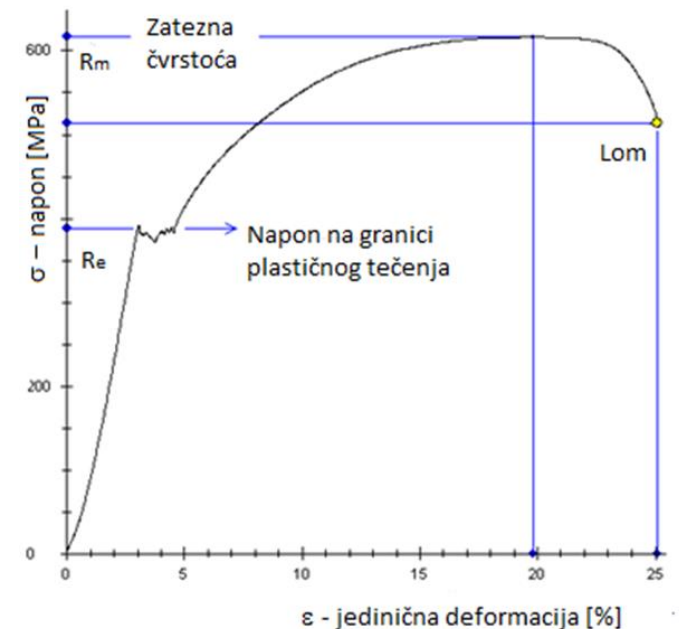
Ove krive se određuju eksperimentalnim putem. Postoji više metoda za određivanje krivih tečenja, najjednostavnije su one u kojima se ostvaruje jednoosno naponsko stanje – zatezno i pritisno.

Određivanje krive tečenja jedoosnim zatezanjem

Test jednoosnog zatezanja epruvete je standardni test za ispitivanje materijala. U tom testu određuje se napon na granici plastičnog tečenja, zatezna čvrstoća materijala, kao i dijagram promene nominalnog napona σ u zavisnosti od jedinične deformacije ε .

Nominalni napon $\sigma = \frac{F}{A_0}$

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

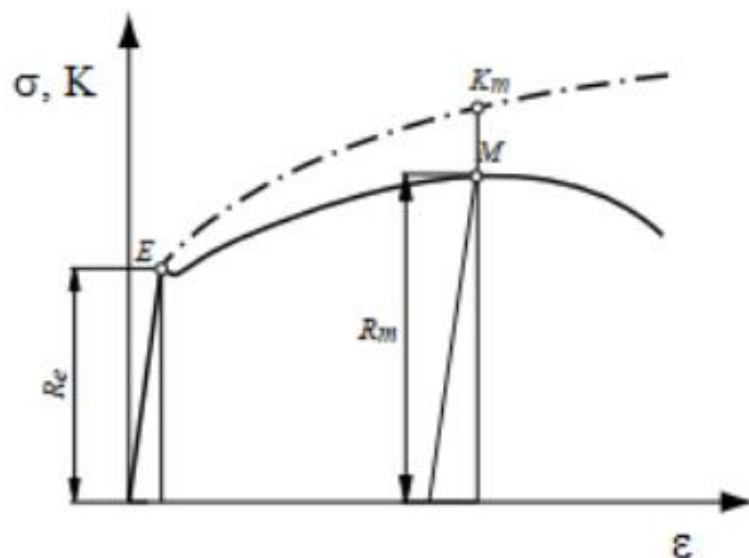


Vrednost nominalnog napona se određuje kada se trenutna vrednost sile zatezanja podeli sa početnom vrednošću poprečnog preseka.

Tokom procesa zatezanja, kada počne plastična deformacija epruvete, veličina poprečnog preseka epruvete se smanjuje, tako da će stvarna vrednost napona K biti veća od nominalnog napona σ za istu vrednost sile.

Nominalni napon $\sigma = \frac{F}{A_0}$

Stvarni napon $K = \frac{F}{A}$



Na osnovu poznatih veličina σ i ε koje se dobijaju iz eksperimenta jednoosnog zatezanja epruvete, potrebno je odrediti vrednost napona tečenja K i logaritamske deformacije φ kako bi se definisala kriva tečenja.

Logaritamska deformacija φ može se odrediti na osnovu izraza koji daje vezu između jedinične i logaritamske deformacije.

$$\varphi = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l - l_0 + l_0}{l_0} = \ln \left(\frac{l - l_0}{l_0} + 1 \right) = \ln(\varepsilon + 1)$$

Veza između nominalnog napona σ i stvarnog napona K (napona tečenja) ima sledeći oblik

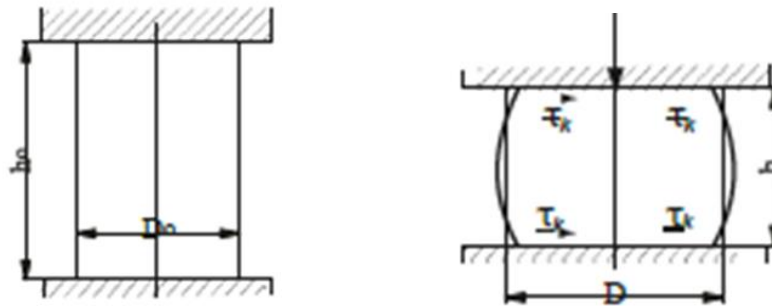
$$K = \frac{F}{A} \cdot \frac{A_0}{A_0} = \frac{F}{A_0} \cdot \frac{A_0}{A} = \sigma \cdot \frac{l}{l_0} = \sigma \cdot (1 + \varepsilon)$$

Prednost ove metode je što se bazira na rezultatima standardnog testa za ispitivanje materijala, odnosno relativno je lako doći do podataka potrebnih za određivanje krive tečenja.

Glavni nedostatak je u tome što se kriva tečenja može odrediti samo do dostizanja maksimalne ravnomerne deformacije, a ta vrednost je najčešće između 0,25 i 0,3, što predstavlja mali interval deformacija (krive tečenja se obično određuju za maksimalnu vrednost deformacije 1).

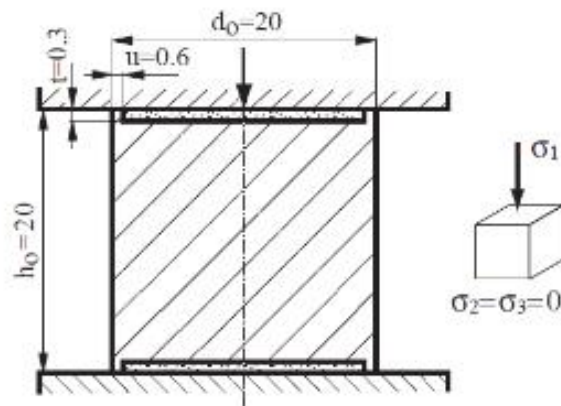
Određivanje krive tečenja jedoosnim sabijanjem

Kod metode slobodnog sabijanja valjka (cilindra) zbog prisustva trenja na kontaktnim površinama između obratka i alata naponsko stanje u obratku je troosno. Nakon sabijanja ne dobija se pravilan cilindar.



Kako bi se ostvarilo jednoosno sabijanje potrebno je eliminisati uticaj trenja na kontaktnim površinama.

Kod slobodnog sabijanja valjaka po metodi Rastegajeva eliminacija trenja na kontaktnim površinama se postiže primenom cilindričnog pripremk sa čeonim udubljenjima u koje se stavlja čvrsto sredstvo za podmazivanje, stearinska kiselina ili kraće, stearin.



Napon tečenja $K = \frac{F}{A}$

Deformacija $\varphi_e = \ln \frac{h_0}{h}$

Pored ovih metoda za određivanje krivih tečenja, postoje metode koje se zasnivaju na torziji (uvijanju) i dvoosnom zatezanju.

Metode koje se zasnivaju na dvoosnom zatezanju najčešće se koriste za određivanje krivih tečenja kod lima.

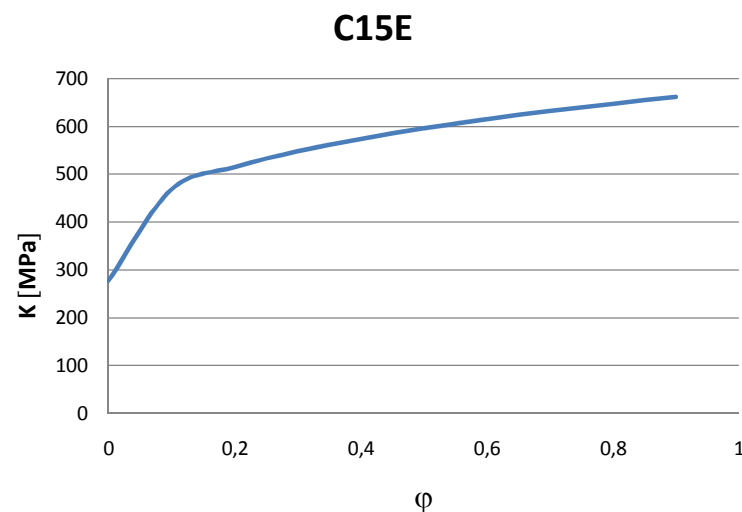
Osim grafičkog prikazivanja krive, često se koristi i njen analitički oblik. Postoje više različitih funkcija koje opisuju krivu tečenja.

Kriva tečenja se može predstaviti funkcijom:

$$K = K_0 + C_1 \varphi^{n_1}$$

Često se koristi i sledeći oblik:

$$K = C \cdot \varphi^n$$



Uslov plastičnog tečenja

U procesima tehnologije plastičnog deformisanja pomoću alata i mašine se u pripremu (početnom materijalu), stvara naponsko stanje koje dovodi do plastičnih deformacija, odnosno trajne promene njegovog oblika i dimenzija.

Postavlja se pitanje koje uslove to naponsko stanje treba da ispuni da bi se ostvarila plastična deformacija.

Postoji više hipoteza na kojima se zasnivaju kriterijumi za prelazak u stanje plastičnosti. Najčešće se koriste dve:

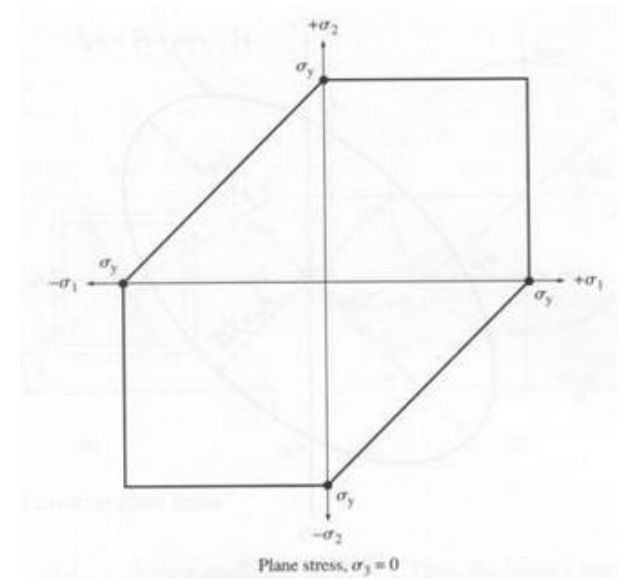
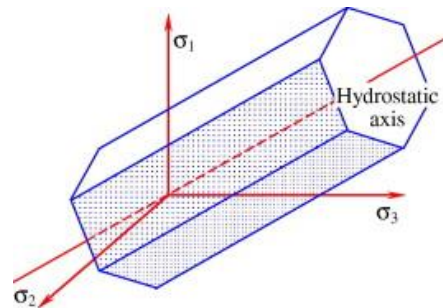
- Hipoteza maksimalnog tangencijalnog napona – Treskina hipoteza
- Energetska hipoteza – Misesova hipoteza

Treskina hipoteza

Prema ovoj hipotezi do plastičnog tečenja materijala dolazi kada maksimalni tangencijalni napon dostigne vrednost napona tečenja.

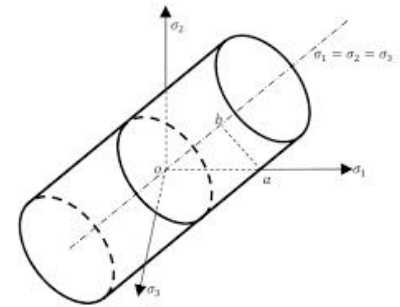
$$\sigma_1 - \sigma_3 = K$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_e$$



Misesova hipoteza

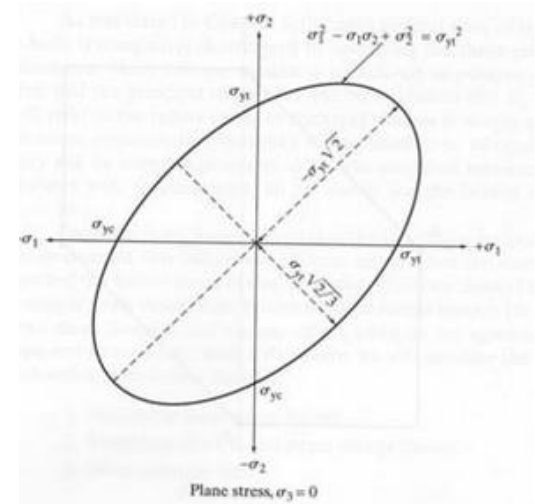
Prema ovoj hipotezi, plastična deformacija nastaje kada energija promene oblika složenog naponskog stanja dostigne energiju promene oblika jednoosnog naponskog stanja.

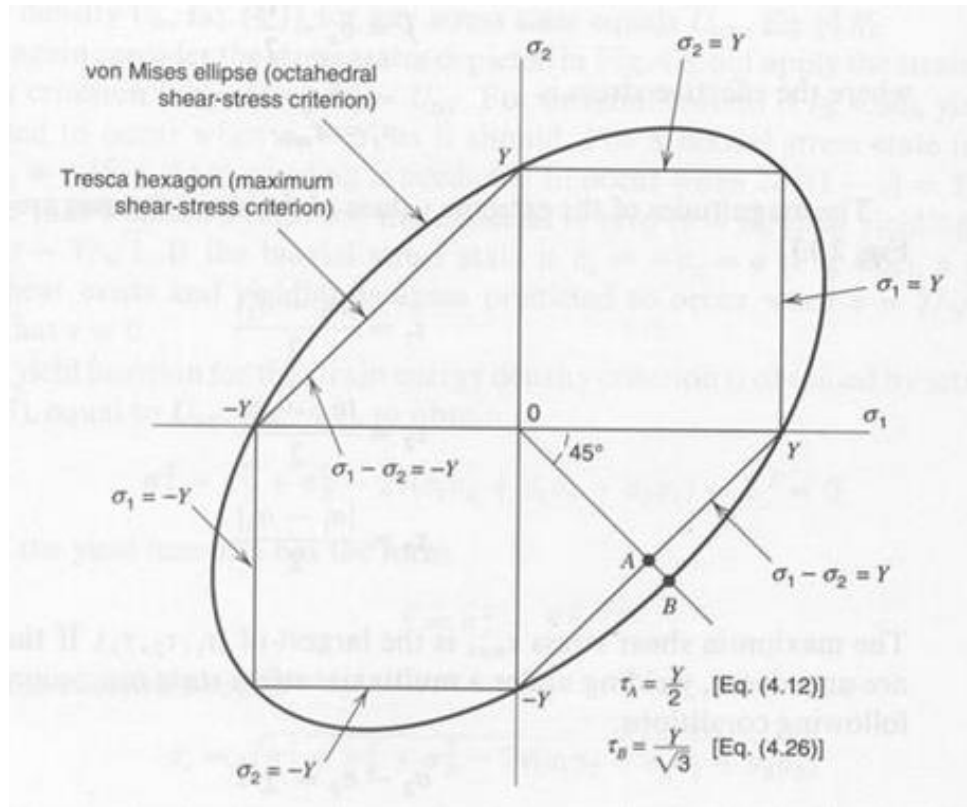


Matematička interpretacija ovog uslova ima sledeći oblik:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_e^2 = 2K^2$$

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$





$$\beta = \frac{2}{\sqrt{3}}$$