Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Zdenki Keran na ukazanoj pomoći, korisnim primjedbama i savjetima u svrhu poboljšanja kvalitete ovog rada.

Ponajviše se zahvaljujem svojim roditeljima, majci Bosiljki, ocu Tihomiru, sestrama Neveni i Nikolini te djevojci Steli za sve što su učinili kako bi mi olakšali studij.

Također, zahvaljujem svima koji su mi na bilo koji način tijekom studija pomogli u ostvarivanju mojih ciljeva.

Tomislav Hrdelja
DIPLOMSKI ZADATAK

Student: TOMISLAV HRDELJA          Mat. br.: 0035194911

Naslov rada na hrvatskom jeziku: Konstrukcija modela vretenaste tarne preše

Naslov rada na engleskom jeziku: Design of friction screw press model

Opis zadatka:

U skupinu deformacijskih strojeva sa neposrednim pogonom spadaju vretenaste tarne preše. Ovi strojevi obično se upotrebjavaju za izradu dijelova manje mase i dimenzija u većim količinama, zanimaju se za postupke istiskivanja, kovanja, prosijecanja, utiskivanja. Zbog jednostavnosti i robustne izvedbe strojevi su dugotrajni, jeklični za održavanje, jednostavnvi za rukovanje i upotrebljavaju se u kovačnicama svih vrsta. Konstrukcija vretenastih tarnih preša sadrži ima vrlo važnu edukativnu ulogu. Njenim upoznavanjem moguće je steknut značajna znanja o mehanizma strojih dijelovu te prijenosu gibanja, energije i sila. S obzirom na veliku dimenzije strojeva koji se koriste u proizvodnji, idealan način upoznavanja rada stroja bio bi korištenjem modela manjih dimenzija.

U radu je potrebno dati pregled deformacijskih strojeva s neposrednim pogonom, a posebnu pozornost posvetiti konstrukciji, načinu rada i upotrebi vretenastih tarnih preša. Također, potrebno je konstruirati edukacijski model vretenaste tarne preše. Prilikom konstrukcije predviđa da se daljnina hoda modela preše od približno 50 mm, a ostale dimenzije skalirati prema stvarnom stroju. Kao pogon potrebno je predvidjeti elektromotor sa smještajem na tijelu preše. Ovime o dimenzijama modela stroja, karakteristikama predviđene tarne obloge te karakteristikama korištenog elektromotora, potrebno je provesti proračun sila oblikovanja i brzine radnog i površinskog hoda maljka. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: 03. svibnja 2018.
Rok predaje rada: 05. srpnja 2018.

Zadatak zadao: doc. dr. sc. Zdenka Keran

12. srpnja 2018.

Predsjednica Povjerenstva: prof. dr. sc. Biserka Runje
<table>
<thead>
<tr>
<th>SADRŽAJ</th>
<th>Page</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>SADRŽAJ</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td>POPIS SLIKA</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>POPIS OZNAKA</td>
<td>4</td>
</tr>
<tr>
<td>SAŽETAK</td>
<td>6</td>
</tr>
<tr>
<td>SUMMARY</td>
<td>7</td>
</tr>
<tr>
<td>1. UVOD</td>
<td>8</td>
</tr>
<tr>
<td>2. OSNOVE OBLIKOVANJA DEFORMIRANJEM</td>
<td>10</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1. Podjela postupaka oblikovanja deformiranjem</td>
<td>10</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2. Elastična i plastična deformacija</td>
<td>13</td>
</tr>
<tr>
<td>2.3. Prednosti procesa oblikovanja metala deformiranjem</td>
<td>18</td>
</tr>
<tr>
<td>3. STROJEVI ZA OBLIKOVANJE METALA DEFORMIRANJEM</td>
<td>20</td>
</tr>
<tr>
<td>3.1. Strojevi sa zagarantiranom energijom deformacije (radom deformacije)</td>
<td>22</td>
</tr>
<tr>
<td>3.2. Strojevi sa zagarantiranom silom</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td>3.3. Strojevi sa zagarantiranim hodom</td>
<td>24</td>
</tr>
<tr>
<td>4. KARAKTERISTIČNE VELIČINE SILA I ENERGIJE</td>
<td>25</td>
</tr>
<tr>
<td>5. VREtenASTE PREšE</td>
<td>27</td>
</tr>
<tr>
<td>5.1. Vretenasta ručna preša</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td>5.2. Vretenaste hidraulične preše</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3. Vretenaste električne preše</td>
<td>31</td>
</tr>
<tr>
<td>5.4. Tarna preša</td>
<td>32</td>
</tr>
<tr>
<td>5.4.1. Vrsta pogona i gibanje</td>
<td>34</td>
</tr>
<tr>
<td>5.4.2. Promjena energije i stupanj iskorištenja</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td>6. EDUKACIJSKI MODEL TARNE VREtenASTE PREšE</td>
<td>37</td>
</tr>
<tr>
<td>6.1. Dimenzioniranje vretena s jednovojnim trapeznim navojem</td>
<td>38</td>
</tr>
<tr>
<td>6.1.1. Kontrola naprezanja</td>
<td>41</td>
</tr>
<tr>
<td>6.1.2. Sigurnost u odnosu prema naprezanju na izvijanje $\sigma_k$</td>
<td>43</td>
</tr>
<tr>
<td>6.2. Kontrola dodirnog pritiska na matici</td>
<td>44</td>
</tr>
<tr>
<td>6.3. Određivanje sila na tarenicama</td>
<td>45</td>
</tr>
<tr>
<td>6.4. Određivanje promjera horizontalnog diska (tarenice)</td>
<td>47</td>
</tr>
<tr>
<td>6.5. Određivanje debljine tarenica</td>
<td>48</td>
</tr>
<tr>
<td>6.6. Kontrola kontaktnog naprezanja</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>6.7. Odabir elektromotora</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>6.7.1. Moment na tarenicama</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>6.7.2. Momenti kod remenskog prijenosa</td>
<td>51</td>
</tr>
<tr>
<td>6.8. Određivanje vremena radnog i povratnog hoda malja</td>
<td>52</td>
</tr>
<tr>
<td>7. ZAKLJUČAK</td>
<td>55</td>
</tr>
<tr>
<td>LITERATURA</td>
<td>56</td>
</tr>
<tr>
<td>PRILOZI</td>
<td>57</td>
</tr>
</tbody>
</table>
POPIS SLIKA

Slika 6. Hookeov dijagram (dijagram razvlačenja) [9] ............................. 14
Slika 7. Kvalitativne razlike između inženjerskog i stvarnog naprezanja s obzirom na stupanj deformacije [9] ........................................ 16
Slika 9. Shema podjele strojeva s pravocrtnim pomicanjem alata .............. 20
Slika 10. Shema podjele strojeva s nepravocrtnim pomicanjem alata .......... 21
Slika 11. Shema podjele posebnih strojeva ........................................... 21
Slika 13. Strojevi sa zagarantiranom silom ........................................... 23
Slika 16. Vrste vretenastih preša ......................................................... 29
Slika 17. Primjer vretenaste ručne preše .............................................. 30
Slika 19. Shema vretenaste električne preše ........................................ 31
Slika 22. Princip rada tarne preše [12] ................................................ 33
Slika 26. Edukacijski model tarne vretenaste preše ................................ 37
Slika 27. Osnovni dijelovi edukacijskog modela fričijske preše ................ 38
Slika 29. Shema navoja .................................................................. 41
Slika 30. Djelovanje aksijalnih sila na pogonskom mehanizmu ................. 45
Slika 31. Prijenos s valjakastom i čeonom tarenicom ................................ 46
Slika 32. Ravnoteža na horizontalnom disku (tarenici) ............................ 47
Slika 33. Prikaz veličina kod tarenica s kontinuiranom ......................... 50
Slika 34. DC elektromotor CHIHAI MOTOR GM25-370 [8] ..................... 51
<table>
<thead>
<tr>
<th>Tekst</th>
<th>Engleska tradicija</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>malj_vret_prese</td>
<td>Malj</td>
</tr>
<tr>
<td>okru_post_vret_prese</td>
<td>Okruglo postolje</td>
</tr>
<tr>
<td>oso_vret_prese</td>
<td>Osovina</td>
</tr>
<tr>
<td>kot_mot_vret_prese</td>
<td>Kotacic motora</td>
</tr>
<tr>
<td>post_vret_prese</td>
<td>Postolje</td>
</tr>
<tr>
<td>rucica_vret_prese</td>
<td>Rucica</td>
</tr>
<tr>
<td>hor_tar_vret_prese</td>
<td>Horizontalna tarenica</td>
</tr>
<tr>
<td>ver_tar_vret_prese</td>
<td>Vertikalna tarenica</td>
</tr>
<tr>
<td>vreteno_vret_prese</td>
<td>Vreteno</td>
</tr>
<tr>
<td>kot_vret_prese</td>
<td>Kotacici</td>
</tr>
<tr>
<td>gran_vret_prese</td>
<td>Granicnici</td>
</tr>
<tr>
<td>pok_mot_vret_prese</td>
<td>Poklopac motora</td>
</tr>
<tr>
<td>pog_kot_vret_prese</td>
<td>Pogonski kotacic</td>
</tr>
</tbody>
</table>
## POPIS OZNAKA

<table>
<thead>
<tr>
<th>Oznaka</th>
<th>Jedinica</th>
<th>Opis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>A</td>
<td>mm²</td>
<td>trenutna površina čela valjčića</td>
</tr>
<tr>
<td>A₀</td>
<td>mm²</td>
<td>početna površina čela valjčića</td>
</tr>
<tr>
<td>Aᵢ</td>
<td>mm²</td>
<td>presjek jezgre vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>B</td>
<td>mm</td>
<td>širina tarenice</td>
</tr>
<tr>
<td>d</td>
<td>mm</td>
<td>nazivni promjer vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>D</td>
<td>mm</td>
<td>promjer horizontalnog diska</td>
</tr>
<tr>
<td>d₂</td>
<td>mm</td>
<td>srednji promjer vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>d₃</td>
<td>mm</td>
<td>promjer jezgre vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>dᵢ₁</td>
<td>mm</td>
<td>promjer pogonske remenice</td>
</tr>
<tr>
<td>dᵢ₂</td>
<td>mm</td>
<td>promjer gonjene remenice</td>
</tr>
<tr>
<td>F</td>
<td>N</td>
<td>primjenjena sila</td>
</tr>
<tr>
<td>Fₐ</td>
<td>N</td>
<td>aksijalna sila</td>
</tr>
<tr>
<td>Fₙ</td>
<td>N</td>
<td>sila izvijanja</td>
</tr>
<tr>
<td>Fₙᵣ</td>
<td>N</td>
<td>normalna sila</td>
</tr>
<tr>
<td>F₀</td>
<td>N</td>
<td>obodna sila</td>
</tr>
<tr>
<td>Fₛₜ</td>
<td>N</td>
<td>sila malja</td>
</tr>
<tr>
<td>Fᵣ</td>
<td>N</td>
<td>tlačna sila na vretenu</td>
</tr>
<tr>
<td>H₁</td>
<td>mm</td>
<td>nosiva dubina navoja</td>
</tr>
<tr>
<td>h₇₉ₘ₇₉</td>
<td>mm</td>
<td>hod vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>ᵢ</td>
<td></td>
<td>prijenosni omjer kod tarenica</td>
</tr>
<tr>
<td>Iₘᵢₙ</td>
<td>mm⁴</td>
<td>najmanji aksijalni moment tromosti vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>ᵢᵣ</td>
<td></td>
<td>prijenosni omjer kod remenskog prijenosa</td>
</tr>
<tr>
<td>k</td>
<td>MPa</td>
<td>pritisak valjanja</td>
</tr>
<tr>
<td>l</td>
<td>mm</td>
<td>visina vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>l₀ₙ</td>
<td>mm</td>
<td>slobodna duljina izvijanja</td>
</tr>
<tr>
<td>m</td>
<td>mm</td>
<td>nosiva visina matice</td>
</tr>
<tr>
<td>P</td>
<td>mm</td>
<td>korak navoja</td>
</tr>
<tr>
<td>p</td>
<td>MPa</td>
<td>tlak bokova navoja</td>
</tr>
<tr>
<td>pₙ₉ₜ₉ₙ₉</td>
<td>MPa</td>
<td>dopuštena dinamička izdržljivost</td>
</tr>
<tr>
<td>Pₗ₉₇₉₇₉</td>
<td>mm</td>
<td>uspon</td>
</tr>
<tr>
<td>pₙ₉ₜ₉ₙ₉</td>
<td>MPa</td>
<td>dopuštena vrijednost dinamičke izdržljivosti naprezanja</td>
</tr>
<tr>
<td>R</td>
<td>mm</td>
<td>polumjer horizontalnog diska</td>
</tr>
<tr>
<td>rᵣ</td>
<td>mm</td>
<td>najmanje odstupanje točke dodira od osvine tarenice</td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td></td>
<td>sigurnost protiv izvijanja</td>
</tr>
<tr>
<td>Sₙ₉ₙ₉</td>
<td></td>
<td>sigurnost protiv proklizavanja</td>
</tr>
<tr>
<td>T</td>
<td>N m</td>
<td>torzijski moment navoja vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>t</td>
<td>s</td>
<td>vrijeme povratnog i radnog hoda malja</td>
</tr>
<tr>
<td>Simbol</td>
<td>Oznaka</td>
<td>UNESCO oznaka</td>
</tr>
<tr>
<td>---------</td>
<td>---------</td>
<td>----------------</td>
</tr>
<tr>
<td>$T_1$</td>
<td>N m</td>
<td>moment na tarenici $TN_1$</td>
</tr>
<tr>
<td>$T_2$</td>
<td>N m</td>
<td>moment na tarenici $TN_2$</td>
</tr>
<tr>
<td>$v_u$</td>
<td>m/s</td>
<td>obodna brzina horizontalnog diska</td>
</tr>
<tr>
<td>$W_F$</td>
<td>J</td>
<td>opružni rad</td>
</tr>
<tr>
<td>$W_N$</td>
<td>J</td>
<td>korisni rad deformatcije</td>
</tr>
<tr>
<td>$W_p$</td>
<td>J</td>
<td>polarni moment otpora</td>
</tr>
<tr>
<td>$x$</td>
<td>mm</td>
<td>udaljenost tarenice $TN_2$ od osi vrtne tarenice $TN_1$</td>
</tr>
<tr>
<td>$\alpha_1$</td>
<td>°</td>
<td>kut između dodirne plohe i okomice na osi vrtne tarenice $TN_1$</td>
</tr>
<tr>
<td>$\alpha_2$</td>
<td>°</td>
<td>kut između dodirne plohe i okomice na osi vrtne tarenice $TN_2$</td>
</tr>
<tr>
<td>$\gamma$</td>
<td></td>
<td>veličina za vretenaste preše</td>
</tr>
<tr>
<td>$\varepsilon_{el}$</td>
<td>MPa</td>
<td>elastična deformacija</td>
</tr>
<tr>
<td>$\varepsilon_{pl}$</td>
<td>MPa</td>
<td>plastična deformacija</td>
</tr>
<tr>
<td>$\eta$</td>
<td></td>
<td>stupanj iskoristivosti</td>
</tr>
<tr>
<td>$\lambda$</td>
<td></td>
<td>faktor viskoznosti</td>
</tr>
<tr>
<td>$\mu$</td>
<td></td>
<td>faktor trenja</td>
</tr>
<tr>
<td>$\sigma_{di}$</td>
<td>MPa</td>
<td>istosmjerna promjenjiva dinamička čvrstoća</td>
</tr>
<tr>
<td>$\sigma_{dop}$</td>
<td>MPa</td>
<td>dopušteno naprezanje</td>
</tr>
<tr>
<td>$\sigma_e$</td>
<td>MPa</td>
<td>prvidno (inženjersko) naprezanje</td>
</tr>
<tr>
<td>$\sigma_{red}$</td>
<td>MPa</td>
<td>reducirano naprezanje</td>
</tr>
<tr>
<td>$\tau_t$</td>
<td>MPa</td>
<td>torzijski moment navoja vretena</td>
</tr>
<tr>
<td>$\varphi$</td>
<td>°</td>
<td>kut uspona</td>
</tr>
<tr>
<td>$\varphi'$</td>
<td>°</td>
<td>korigirani kut trenja</td>
</tr>
<tr>
<td>$\omega_0$</td>
<td>rad/s</td>
<td>kutna brzina pogonske ploče</td>
</tr>
<tr>
<td>$\omega_1$</td>
<td>rad/s</td>
<td>kutna brzina pogonske remenice</td>
</tr>
<tr>
<td>$\omega_2$</td>
<td>rad/s</td>
<td>kutna brzina gonjene remenice</td>
</tr>
</tbody>
</table>
SAŽETAK

Suvremeno proizvodno strojarstvo zahtijeva znanja iz područja tehnologije, automatizacije i organizacije proizvodnje, te znanja iz područja znanosti o metalima. U tehnologiji proizvodnje, u skupini tehnologija obrade i prerade metala, značajno mjesto pripada obradi i oblikovanju metala deformiranjem. To je zajednički naziv grupe metoda izrade ili prerade proizvoda ili poluproizvoda zasnovanih na plastičnoj deformaciji metala. No, suvremenu se proizvodnju danas ne može zamisliti bez upotrebe strojeva. Kako bi se moglo što kvalitetnije proizvoditi, potrebni su što bolji i kvalitetniji strojevi. Proizvodnja takvih strojeva nužno zahtijeva prethodnu temeljitu studiju, proračun i konstrukciju za svaki specifičan slučaj.

Strojevi za oblikovanje metala deformiranjem imaju veliku važnost u gospodarstvu jer se pomoću njih ekonomično proizvode masivni i teško opterećeni dijelovi različitih strojeva kao i pretežiti dio metalnih dijelova i elemenata robe široke potrošnje male mase.

Razvoj tehnologije i opreme za oblikovanje metala deformiranjem, kako u metalurškim tako i u metaloprerađivačkim poduzećima, zahtijeva šira teoretska istraživanja potvrđena eksperimentalnim rezultatima. Iz toga razloga potrebna je što kvalitetnija edukacija o principu i načinu na koji rade strojevi predviđeni za oblikovanje metala deformiranjem. U radu je konstruiran educacijski model jednog od vrlo široko upotrebljavanih strojeva za oblikovanje deformiranjem – vijčane tarne preše.

Ključne riječi: oblikovanje metala deformiranjem, strojevi za oblikovanje metala deformiranjem, proračun, edukacija
SUMMARY

Modern manufacturing technology requires knowledge of technology, automation and manufacturing organizations, and knowledge in the field of metal science. In manufacturing technology, in the group of metal processing and processing technology, a significant place belongs to the processing and shaping of metal deformations. It is the common name of a group of methods of manufacturing or processing products or semi-products based on plastic deformation of metals. No, today's production can not be imagined without the use of machines. In order to produce better quality, better and better machines are needed. Production of such machines necessarily requires a thorough study, budget and construction for each specific case.

Metal deformation molding machines are of great importance in the economy because they use economically to produce massive and heavily loaded parts of different machines as well as take over part of the metal parts and elements of low-weight clothing.

The development of technology and equipment for the formation of metal deformations, both in metallurgical and metallurgical enterprises, requires wider theoretical research confirmed by experimental results. For this reason, it is necessary to have earlier education about the principle and the way machines are designed to form metal deformation. This graduate thesis presents an educational model of one of the very widely used deformation molding machines – friction screw presses.

Key words: metal deformation design, metal forming machines, deformation, budgeting, education
1. UVOD

Pod oblikovanje deformiranjem ili oblikovanje bez odvajanje čestica, podrazumijevaju se one metode oblikovanja pri kojima se metalu daje željeni oblik plastičnim deformiranjem i odvajanjem. Metode oblikovanja metala deformiranjem su mnogobrojne i one nalaze najširu primjenu u metalnim industrijama (metaloprerađivačkoj, automobilskoj, avionskoj, preciznoj mehanici i sl.).

Dok obrada metala s odvajanjem čestica nalazi svoju primjenu i u pojedinačnoj proizvodnji, za oblikovanje lima deformiranjem može se reći da je gotovo isključivo vezana za serijski tip proizvodnje.

Cilj ovakvog načina prerade je da se s najmanje mogućim gubitkom materijala i s najmanjim brojem radnih operacija dobiju izratci u konačnom obliku, tako da se isti uz minimalnu doradu s odvajanjem čestica ili bez nje, mogu neposredno upotrijebiti ili ugraditi u odgovarajući sklop, kao sastavni elementi istog.

Kako bi se materijal mogao preradivati, potrebno ga je dovesti u stanje plastičnog tečenja, što znači da ga treba opteretiti iznad granice elastičnosti. Potrebnu silu i rad (ukupno opterećenje) ostvaruju strojevi za obradu deformiranjem: preše, kovački batovi, strojevi za savijanje, škare, automati, itd. Alat koji se priključuje stroju ima funkciju oblikovanja radnog proizvoda. Sila se sa stroja preko alata prenosi na radni komad. Prema tome, dinamika se oblikovanja metala deformiranjem ostvaruje strojem, a geometriju radnog komada osigurava alat.

Na osnovi ovog slijedi da je za pravilan izbor tehnološkog procesa prerade deformiranjem potrebno izvršiti:

1. analizu procesa plastičnog deformiranja metala,
2. konstrukciju alata,
3. izbor stroja.

Analizom procesa (1.) iz ravnotežnog uvjeta i uvjeta plastičnog tečenja za dotični način prerade proračunavaju se omjeri naprezanja i deformacija, na osnovu kojih se dobivaju potrebne sile i rad za izvršenje deformiranja. Zatim se proračunavaju uvjeti pod kojima se postiže optimalan proces prerade, odnosno najveći stupanj deformiranja i najmanji mogući broj
radnih operacija. Daljnji zadatak ove analize je pronalaženje najprikladnijih dimenzija i konfiguracije početnog materijala i konačno preradenog komada. Pri tome je potrebno ustanoviti funkcionalni utjecaj plastične deformacije na mehanička i ostala fizikalno-kemijska svojstva metala, kojima se osigurava kvaliteta finalnog proizvoda.

Alat po svojoj konstrukciji (2.) mora zadovoljiti zahtjeve ekonomičnosti. To znači da alat po svome obliku treba biti što je moguće jednostavniji i da se sastoji iz maksimalno mogućeg broja standardnih elemanata. Na taj se način postiže niža cijena alata. Međutim, težnja za jednostavnošću ne smije dovesti do pogoršanja funkcionalnosti alata, smanjenja točnosti rada i skraćenja njegovog vijeka trajanja.

Strojevi za oblikovanje (3.) se određuju prema vrsti radne operacije, potrebnoj sili, radu, snazi, hodu i ostalim parametrima dotičnog procesa oblikovanja. Univerzalni strojevi za obradu deformiranjem (koljenaste, tarne, hidraulične preše, parni, padajući bat i sl.) mogu se koristiti ovisno o konstrukciji alata za različite procese oblikovanja deformiranjem. Na primjer, koljenaste preše se mogu koristiti za: prosijecanje, probijanje, savijanje, duboko vučenje, kovanje, itd. ako ih se opremi odgovarajućim alatima. Za posebne radne operacije mogu se koristiti i specijalni strojevi koji služe uglavnom samo za dotičnu operaciju, kao što su: strojevi za savijanje cijevi, strojevi za ispravljanje traka, strojevi za hladno valjanje zavojnica, automati za izradu čavala, itd.
2. OSNOVE OBLIKOVANJA DEFORMIRANJEM

2.1. Podjela postupaka oblikovanja deformiranjem

Podjela postupaka oblikovanja deformiranjem može se provesti s obzirom na nekoliko kriterija (DIN 5852). Kriteriji su vrsta naprezanja, temperatura, sredstvo kojim se vrši deformiranje te oblik proizvoda. Prema vrsti naprezanja koje vanjske sile izazivaju u materijalu razlikuju se postupci sabijanja, rastezanja i sabijanja, rastezanja, savijanja te smika i uvijanja, kao što je to prikazano na slici 1.

Slika 1. Podjela postupaka prema vrsti naprezanja [9]

S obzirom na temperaturu na kojoj se vrši proces deformiranja razlikuju se oblikovanja u toplom i u hladnom stanju. Granica tople i hladne deformacije ovisi o vrsti materijala, odnosno o temperaturi rekristalizacije materijala obratka. Većina postupaka oblikovanja deformiranjem vrši se mehaničkim putem, odnosno izravnim dodirom materijala i alata, no željenu deformaciju moguće je ostvariti djelovanjem različitih medija ili energije. Kao medij za deformaciju lima može se koristiti kruti materijal ili kapljevina gdje djelovanje sile može biti statičko ili dinamičko. Kod deformiranja materijala djelovanjem energije, energija nastaje pomoću eksplozije neke eksplozivne tvari, djelovanjem magnetskog toka ili elektromagnetskog polja.
Prema obliku sirovca, razlikuju se postupci volumenskog oblikovanja i postupci oblikovanja lima (Slika 2.)

Slika 2. Postupci volumenskog oblikovanja i oblikovanja lima [9]

Postupci koji se najčešće koriste za volumensko oblikovanje lima prikazani su na slici 3.

Slika 3. Postupci volumenskog oblikovanja deformiranjem [9]
Međutim, osim postupaka volumenskog oblikovanja i oblikovanja lima, moguće je uvesti novu kategoriju – postupci volumenskog oblikovanja lima. Ova kategorija obuhvaća postupke kod kojih se nad sirovima dobivenim od lima provode volumenske operacije deformiranja (Slika 4.)

![Diagram postupaca volumenskog oblikovanja lima]

Slika 4. Postupci volumenskog oblikovanja lima [9]

Naspram ostalih proizvodnih tehnologija, tehnologija oblikovanja metala deformiranjem odlikuje se određenim prednostima od kojih su najvažnije visoka dimenzijalna točnost i kvaliteta površine uz veliku iskoristivost materijala, te kod postupaka oblikovanja u hladnome stanju i poboljšanje mehaničkih svojstava materijala. Zbog toga oblikovanje deformiranjem danas nalazi široku primjenu u raznim industrijskim granama te postoji opsežno znanje vezano uz parametre procesa i ponašanje materijala tijekom deformiranja. U mnogim industrijskim granama se oblikovanje deformiranjem uzima kao standardni proces kojim je omogućeno postizanje konačne ili približno konačne geometrije kao npr. u automobilskoj industriji gdje se postupcima volumenskog oblikovanja izrađuju dijelovi mjenjača, osovina, okvira, itd.

Kod oblikovanja deformiranjem najčešće je slučaj da željenu geometriju ostvarujemo kroz nekoliko koraka, tj. nekoliko faza. Bilo da se sve faze izvode u jednome zajedničkom ukovnju na jednome stroju ili izvođenjem svake faze zasebno u svom ukovnju na svome stroju. Iz toga je vidljivo da je proces oblikovanja deformiranjem ustvari lančano izvođenje nekoliko
uzastopnih operacija deformiranja, odnosno nekoliko faza. Svaka faza treba biti pomno osmišljena i analizirana s ciljem da daje najbolji mogući krajnji rezultat.

No čak i uz danas dostupne numeričke simulacije i CAD pakete, za uspješan proces nužno je posjedovati opsežno znanje o metalurgiji i tribologiji materijala. Parametri poput naprazanja plastičnog tečenja, očvršćenja materijala, trenja, itd. definiraju graničnu oblikovljivost i tok materijala te utječu na kompleksnost geometrije koju je moguće ostvariti.

2.2. **Elastična i plastična deformacija**

Posljedica djelovanja vanjskih sila na neko tijelo je promjena njegovih dimenzija i njegovog oblika. U ovisnosti o veličini tih sila promjene mogu biti elastične ili plastične. Ukoliko se tijelo nakon prestanka djelovanja vanjskih sila vrati u svoj prvobitni oblik i poprimi prvobitne dimenzije riječ je o elastičnim deformacijama. Ukoliko nakon prestanka djelovanja vanjskih sila tijelo poprimi novi oblik određen veličinom vanjskih sila, riječ je o plastičnim deformacijama.

![Slika 5. Djelovanje vanjskih sila na neko tijelo][9]

Mehanizam elastičnih deformacija sastoji se u pomicanju atoma iz njihovih stabilnih položaja u kojima oni sadrže minimum potencijalne energije. Veličina pomaka atoma određuje porast potencijalne energije tijela koja raste proporcionalno s povećanjem vanjske sile. Udaljavanje
atoma kod elastične deformacije znači uvijek i neku reverzibilnu promjenu volumena, no iznos udaljavanja ne prelazi iznos razmaka između susjednih atoma u kristalnoj rešetci. Ukoliko je udaljavanje atoma veće, riječ je o plastičnoj deformaciji gdje dolazi do prisilnog smještaja atoma u nove stabilne položaje u kristalnoj rešetci.

Područja elastične i plastične deformacije lako je uočiti na poznatim dijagramima rastezanja (Slika 6). Iz dijagrama je vidljivo da postoji relativno usko područje elastičnih deformacija koje su povratne i kod kojih vlada linearna veza između naprezanja \( \sigma \) i deformacije. Ta veza može se izraziti Hookeovim zakonom koji vrijedi za elastično područje deformacija [3],

\[
\sigma_e = E * \varepsilon 
\]

gdje je:
- \( \sigma_e \) prividno (inženjersko) naprezanje [MPa],
- \( E \) modul elastičnosti materijala [MPa],
- \( \varepsilon \) relativno produljenje/skraćenje.

Slika 6. Hookeov dijagram (dijagram razvlačenja) [9]
Kod primjene teorije plastičnosti uobičajeno je naprezanje izraziti pomoću prvidnog ili inženjerskog naprezanja koji se definira kao [3]

\[ \sigma_e = \frac{F}{A_0} \]  

(2.2)

a deformaciju uz pomoć relativnog produljenja/skraćenja epruvete izraženog kao [3]

\[ \varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \]  

(2.3)

gdje je:

- \( \sigma_e \) prividno (inženjersko) naprezanje [MPa],
- \( F \) primjenjena sila [kN],
- \( A_0 \) početna površina čela valjčića [mm\(^2\)],
- \( \varepsilon \) relativno produljenje/skraćenje tijela,
- \( \Delta h \) razlika konačne i početne visine valjčića [mm],
- \( h_0 \) početna visina valjčića [mm].

Budući da se kod teorije elastičnosti radi o malim stupnjevima deformacije i malim pomacima čestica tijela, početna površina tijela se ne razlikuje znatno od stvarne (trenutne) površine zbog čega je korištenje inženjerskog naprezanja kao mjera stvarnog naprezanja u materijalu opravdano.

Međutim, kod procesa obrade metala deformiranjem, redovito dolazi do velikih stupnjeva deformacije materijala zbog čega se početna površina sировca znatno razlikuje u odnosu na stvarnu površinu, a inženjersko naprezanje više ne odražava stvarno stanje naprezanje u materijalu. Zbog toga se kod procesa deformiranja naprezanje izražava pomoću stvarnog (Cauchyevog) naprezanja koje u obzir uzima trenutnu silu i trenutnu površinu [3]

\[ \sigma_s = \frac{F}{A} \]  

(2.4)

gdje je:

- \( \sigma_s \) stvarno (Cauchyevo) naprezanje [MPa],
- \( F \) primjenjena sila [kN],
- \( A \) trenutna površina čela valjčića [mm\(^2\)].
Kvalitne razlike između inženjerskog i stvarnog naprezanja kod statičnog jednoosnog napregnutog vlačnog i tlačnog pokusa prikazane su na slici 7.

![Diagrama kvalitnih razlika između inženjerskog i stvarnog naprezanja](image)

**Slika 7.** Kvalitativne razlike između inženjerskog i stvarnog naprezanja s obzirom na stupanj deformacije kod a) vlačnog pokusa, b) tlačnog pokusa [9]

Kod oblikovanja deformiranjem ukupna deformacija tijela ($\varepsilon$) sastoji se od dva dijela (Slika 6., Slika 8.), elastične deformacije ($\varepsilon_{el}$) i plastične deformacije ($\varepsilon_{pl}$) te se može izraziti kao [3]

$$\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}.$$  \hspace{1cm} (2.5)

![Diagrama deformacija tijela](image)

**Slika 8.** Deformacija tijela a) ukupna deformacija, b) udio plastične deformacije, c) udio elastične deformacije [10]
Nakon prestanka djelovanja vanjskih sila gubi se elastična deformacija i preostaje samo nepovratna plastična deformacija. Iako je kod većine procesa oblikovanja deformiranjem elastična deformacija znatno manja od plastične i može se zanemariti, kod nekih procesa hladnog oblikovanja to nije slučaj zbog čega elastični povratak materijala ima utjecaj na konačne dimenzije i konačni oblik proizvoda te ga nije moguće zanemariti.

Razlike u odnosu na teoriju elastičnosti vidljive su i kod definiranja deformacije materijala. Kod dimenzioniranja konstrukcija u strojogradnji deformacija tijela izražava se kao relativna deformacija [3]

\[ \varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{h_1 - h_0}{h_0}, \]  

(2.6)
dok je kod oblikovanja deformiranjem uobičajeno deformaciju izraziti pomoću logaritamskog stupnja deformacije kao [11]

\[ \rho = \ln \left( \frac{h_1}{h_0} \right). \]  

(2.7)

Glavna prednost korištenja logaritamskog stupnja deformacije naspram relativnog produljenja ili skraćenja vidljiva je kod određivanja ukupne deformacije nekog tijela. Korištenjem logaritamskog stupnja deformacije ukupnu deformaciju koju je tijelo pretrpjelo moguće je dobiti zbrajanjem prethodno provedeni deformacija, tj.prema izrazu (2.8) se vidi da je logaritamski stupanj deformacije u glavnoj osi jednak zbroju druga dva [11]

\[ \varphi_h = -(\varphi_a + \varphi_b). \]  

(2.8)

Bitno je napomenuti da kod malih iznosa naprezanja i malih stupnjeva deformacije tijela, razlike između inženjerskih i stvarnih naprezanja te razlike između relativnog produljenja i logaritamskog stupnja deformacije gotovo i da ne postoje. No, povišenjem vrijednosti deformacije ove razlike postaju sve više značajne, osobito ulaskom u plastično područje deformiranja.
2.3. **Prednosti procesa oblikovanja metala deformiranjem**

Tehnologija oblikovanja metala deformiranjem je moderni vid preradbe metala koji se primjenjuje u gotovo svim suvremenim pogonima preradbe materijala. Ovaj način prerade u odnosu na ostale ima niz tehničko – ekonomskih prednosti. Zbog toga se danas u svijetu pokazuje stalni zastoj postotnog porasta ovog načina prerade u odnosu na obrađu s odvajanjem čestica i ostale obrade. Neosporo je da je tome pridonio veoma brz razvoj strojeva za oblikovanje metala deformiranjem, metala za preradu, novih materijala za alate, kao i teorijsko eksperimentalni razvoj znanosti na ovom području.

Određeni broj dijelova koji se danas rade metodom obrade s odvajanjem čestica moguće je obrađivati plastičnim deformiranjem u hladnom stanju. Danas se nastoji oblikovanjem deformiranjem postići konačne dimenzije komada. Ukoliko je nakon oblikovanja potrebna još i dorada na strojevima za obradu odvajanjem čestica, onda to ne predstavlja samo poskupljenje proizvodnje zbog dodatnog namještanja i dodatne obrade, nego i prekidanje kontinuiranog toka usmjerenosti strukture znana. Jedan od bitnih razloga zbog kojih dijelovi izrađeni postupkom plastičnog deformiranja imaju bolja mehanička svojstva leži svakako u tome što je kod oblikovanja deformiranjem usmjerenost strukture znana neprekidna. Ukoliko je za obradu nekog komada s odvajanjem čestica potrebno nekoliko stezanja na strojevima, tada je ekonomičnije oblikovanje deformiranjem.

Proizvodno – tehničke prednosti su:

- jednim relativno jednostavnim hodom stroja za oblikovanje deformiranjem proizvode se dijelovi i vrlo kompliciranih oblika, koje bi na drugi način bilo gotovo i nemoguće raditi, ili bi za izradu istih trebalo niz složenih i veoma skupih operacija,
- točnost izrađenih dijelova je velika jer se mogu postići vrlo uske izradne tolerancije,
- dobivaju se proizvodi visokih mehaničkih kvaliteta koji uz to imaju i relativno manju masu.

Ekonomiske prednosti su:

- utrošak materijala je mali, jer je otpadok sveden na minimum,
- s odgovarajućom opremom, alatima i uređajima uz neophodnu automatizaciju tehnološkog postupka može se postići vrlo visoka proizvodnost,
• strojevi za oblikovanje deformiranjem su jednostavni za posluživanje tako da se za samu proizvodnju ne zahtijeva visokokvalificirana radna snaga,
• moguće je proizvodnja velikih količina uz nisku cijenu koštanja i uz dobivanje složenih oblika.

Svoju primjenu oblikovanje metala deformiranjem ima već više stotina godina (kovanje novca, brodski se trup proizvodio plastičnim deformiranjem već u XV. stoljeću). Značajnu primjenu postiže se pojavom prvih hidrauličkih preša u drugoj polovini XX. stoljeća.
## 3. STROJEVI ZA OBLIKOVANJE METALA DEFORMIRANJEM

Kod oblikovanja metala deformiranjem najčešće se radni komad deformira u jednom ili više koraka, gdje se upotrebljavani alat uglavnom sastoje iz dva tijela. Strojevi za oblikovanje metala deformiranjem imaju zadaću da daju potrebne sile, momente ili rad deformacije i da vode alate.

Podjela strojeva za oblikovanje metala deformiranjem ne može se izvršiti prema vrsti oblikovanja metala deformiranjem, jer se na jednom stroju mogu obavljati različiti postupci (savijanje, duboko vučenje, prosijecanje, probijanje, itd.). Zato se ona izvršava ne prema vrstama oblikovanja, nego prema tipovima strojeva. Tu spadaju:

1. valjački stanovi,
2. strojevi sa zagarantiranim energijom (batovi i vretenaste preše),
3. strojevi sa zagarantiranom silom,
4. strojevi sa zagarantiranim putom,
5. strojevi za oblikovanje metala deformiranjem pomoću djelujućeg medija i djelujuće energije.

Prema vrsti pojedinog pomicanja alata ili dijela alata razlikuju se tri grupe strojeva za oblikovanje metala deformiranjem:

1. s pravocrtnim relativnim pomicanjem alata (Slika 9.),
2. s nepravocrtnim relativnim pomicanjem (Slika 10.),
3. posebni strojevi (djelujući medij i djelujuće energije, Slika 11.).

---

Slika 9. Shema podjele strojeva s pravocrtnim pomicanjem alata
Strojevi za oblikovanje metala deformiranjem, kod kojih se oblikovanje ne postiže pomoću alata iz više dijelova, spadaju u grupu posebnih strojeva. To su strojevi za oblikovanje metala deformiranjem pomoću djelujućeg medija i djelujuće energije.
Prema vrsti pogona deformacijski strojevi dijele se na:

- mehanički pogon,
- hidraulični pogon,
- pogona na pregrijanu paru,
- pogon na komprimirani zrak (pneumatski).

3.1. **Strojevi sa zagarantiranom energijom deformacije (radom deformacije)**

Strojevi sa zagarantiranom energijom deformacije raspolažu s određenim iznosom energije deformacije, koja se mora potpuno iskoristiti kod svakog hoda stroja. Stroj se zaustavlja kada se iskoristi sva raspoloživa energija deformacije. Ako je potreban rad deformacije postupka veći od raspoloživog rada deformacije stroja, koji stoji na raspolaganju stroju za jedan hod, tada se može postupak podijeliti na više radnih hodova (udaraca) (Slika 12.)

![Diagram](attachment:image.png)

**Slika 12. Strojevi sa zagarantiranom energijom. Gravitacijski bat (shematski); podjela postupka deformiranja na tri radna hoda (udarca) [3]**
Karakteristična veličina kod ovih strojeva je raspoloživi nazivni rad deformacije $E_N$. U tu vrstu strojeva spadaju jednoradni batovi i vretenaste preše sa zamašnjakom. Vretenaste preše, suprotno od batova, trebaju preuzeti nastupajuće sile kao sile reakcije pogona i postolja preša. Za ove je strojeve zato posebno, pored karakteristične veličine rada deformacije da se pogoni i postolja mogu opteretiti silama u pravcu deformiranja ili u pravcu gibanja malja. Ova sila označava se kao nazivna sila $F_N$.

3.2. **Strojevi sa zagarantiranom silom**

Strojevi sa zagarantiranom silom imaju na raspolaganju silu neovisno o položaju malja, čija se veličina dobiva konstrukcijom stroja i naziva se nazivna sila $F_N$. Kako se nazivna sila $F_N$ ne može prekoračiti kod provođenja postupka, ona predstavlja karakterističnu veličinu stroja.

Glavni predstavnik u skupini strojeva sa zagarantiranom silom su hidraulične preše (Slika 13). Postoje preše s direktnim pogonom (preša s protokom) i preša sa spremnikom tlačnog medija.

Kod preša s protokom potrebnu energiju proizvodi pogonski motor, a kod preša sa akumulatorom energija je vezana s veličinom spremnika pa je time i važna karakteristična veličina strojeva.

![Slika 13. Strojevi sa zagarantiranom silom (Hidraulična preša – shematski i ograničenje sile)](image_url)
3.3. **Strojevi sa zagarantiranim hodom**

Kod strojeva sa zagarantiranim hodom, hod malja stroja određen je kinematikom glavnog pogona. Sila malja $F_{st}$ ovisna je o položaju malja (Slika 14). Ona može teoretski biti beskonačna, odnosno ograničena je samom konstrukcijom preše. Kako kod tih strojeva pogon i tijelo preše može podnijeti odgovarajuće sile, ne smije se kod tih strojeva prekoračiti nazivna sila $F_N$.

Najvažnije karakteristične veličine su sila malja $F_{st} = F_{st}(h)$ i nazivna sila $F_N$. Strojevi sa zagarantiranim hodom rade sa spremnikom energije (zamašnjakom). Kod radnog hoda na raspologanju je energija (nazivna energija $E_N$), koja se dobiva konstrukcijom spremnika. Radna moć predstavlja time daljnju karakterističnu veličinu strojeva sa zagarantiranim hodom. Prestavnici tih strojeva su preše s pogonom na koljenasti mehanizam (ekscentar preše, koljenaste preše, polužne preše i krivuljne preše).

Slika 14. Strojevi sa zagarantiranim hodom (Koljenasta preša-shematski i ograničenje sile) [3]
4. KARAKTERISTIČNE VELIČINE SILA I ENERGIJE

Kod svakog oblikovanja metala deformiranjem mora djelovati, za određeno vrijeme odnosno za određeni put (hod), određena sila za oblikovanje metala deformiranjem, gdje se pretvara iznos mehaničke energije u rad oblikovanja. Kako je za svaki postupak oblikovanja metala deformiranjem potrebna sila na putu, to su sila i energija karakteristične veličine postupka oblikovanja. Postupak se može obaviti na strojevima za oblikovanje metala deformiranjem, ako u svakom momentu postupka stroj daje potrebnu silu, koje su veće ili jednake sili za deformiranje i ako je osim toga energija stroja veća ili minimalno ista potrebnom radu deformacije postupka. Ako se označi raspoloživa sila stroja \( F_{st} \) i raspoloživa energija stroja \( E_M \), a potrebna sila za postupak s \( F \) i potreban rad deformacije s \( W \), tada treba biti [3]:

\[
F_{st} \geq F, \quad E_M \geq W. \tag{4.1}
\]

Drugim riječima, karakteristične veličine postupka moraju biti manje od karakterističnih veličina stroja.

U karakteristične sile pored sile i energije pripada i opružni rad \( W_F \), koji postoji kod svakog postupka ukoliko se on obavlja na strojevima sa zagarantiranim hodom preše (ekscentar preša), odnosno na strojevima s zagarantiranom energijom (vretenasta preša). Dok za vrijeme oblikovanja djeluje na alat i izrađivanu silu oblikovanja \( F \), deformira se alat i stroj elastično za veličinu \( f \) (opružni put, Slika 15). Potreban (opružni) rad za to iznosi [3]

\[
W = \frac{1}{2} F \cdot f, \tag{4.3}
\]

koji se pohranjuje kao potencijalna energija u sustavu stroj/alat.

Slika 15. Opružni dijagram i opružni rad jedne preše sa zagarantiranim hodom [3]
Ako se omjer sile i oblikovanja i elastičnog opružnog puta označi kao opružni broj (opružna konstanta) \( C \) \[3\]

\[
C = \frac{F}{f},
\]

(4.4)

tada izraz za opružni rad iznosi \[3\]

\[
W = \frac{1}{2} \frac{F^2}{C}.
\]

(4.5)

Kada sila oblikovanja nakon prekoračenja njene najveće veličine počne padati, također se smanjuje elastično oblikovanje stroja i alata.Oslobađeni opružni rad služi za dodatno približavanje dijelova alata i koristi se ponovo u postupku oblikovanja metala deformiranjem. Povrat opružnog rada moguć je samo onda ako je sila oblikovanja ista ili veća od elastične deformacije stroja i alata. Dakle mora biti \( s = \) put oblikovanja \[3\]

\[
\frac{dF}{ds} < \frac{dF}{df},
\]

(4.6)

gdje je \( s \) – put oblikovanja. Ako se u izraz (4.6) stavi (4.3) slijedi \[3\]:

\[
\frac{dF}{ds} < \frac{dF}{df} = C,
\]

(4.7)

\[
C > \frac{dF}{ds}.
\]

(4.8)

Onaj dio opružnog rada preuzet od pogona i postolja preše, koji se ne iskoristi u postupku oblikovanja metala deformiranjem, izaziva vibracije.

Uzimajući u obzir trošak energije, poželjni je što krući sustav strojeva za oblikovanje metala deformiranjem i to iz dva razloga:

1. opružni se rad može dalje koristiti u toku postupka deformiranja,
2. u ostalim slučajevima, povratno dobivanje opružnog rada nije moguće.

Postupak kod kojih sila oblikovanja ne može biti jednaka nuli (kao npr. kovanje u ukovnju, kalibriranje i istiskivanje), minimalni je gubitak energije neiskorišteni opružni rad.
5. VRETENASTE PREŠE

Vretenaste preše su strojevi najčešće na mehanički pogon, a spadaju u skupinu strojeva sa zagarantiranim energijom te je pritom pomicanje malja pravocrtno. U prvom redu služe za proizvodnju raznovrsnih svornjaka, zakovica, vretenastih tijela, zupčkanika, itd. Takvi se predmeti izrađuju sabijanjem šipkastog materijala vertikalno postavljenim u zatvorenim alatima bez kanala za vijenac, često s ugrađenim izbacivačima otkivka iz alata. Služe i za kovanje relativno plitkih otpresaka u otvorenim dvodijelnim alatima kada se oblikovanje može završiti u samo jednom hodu preše.

Vretenaste preše se najčešće izvode s dva stupa (Slika 16.) Tijelo može biti iz jednog dijela (npr. iz čelićnog lijeva) ili iz više dijelova (npr. zavarena izvedba).

Karakteristična je značajka za ove strojeve pogon. Motor pokreće zamašnjak, koji je povezan s vratilom. Vratilo prenosi okretanje preko navoja na pravocrtno glavno kretanje malja stroja. Kod dodira s radnim komadom ukupna se kinetička energija zamašnjaka i malja pretvara u koristan rad i gubitke (opružni gubitak i gubitak trenja). Nakon oblikovanja, djeluje na tijelo i pogon, spremljeni opružni rad povratnog ubrzanja zamašnjaka. Isto vremeno vraća malj u povratnom hodu u polazni položaj.

Vretenaste su preše jednodijelne djelujuće preše. Pomoću hidraulike, pneumatike ili mehaničke naprave mogu se postići potrebna ostala djelovanja (npr. izbacivanje radnog komada).
Slika 16. Vrste vretenastih preša (a- preša s jednim diskom, b- preša s tri diska, c- preša s tri konusna diska, d- preša s četiri diska, e- preša s direktnim elektromotorom) [3]
5.1. Vretenasta ručna preša

Vretenasta ručna preša (Slika 17.) izrađuje se u portalnoj i konzolnoj izvedbi. Zamašnjak preše se ručno zakreće i prenosi se okretni moment na navojno vreteno. Navojno vreteno je spojeno na gornju čeljust preše. Izrazito veliki pritisak ručne preše ne zahtijeva jako temeljenje, nema prijenosa vibracija, jednostavne konstrukcije, jednostavna upotreba i održavanje.

![Slika 17. Primjer vretenaste ručne preše](image)

5.2. Vretenaste hidraulične preše

Kod tarnih preša okretni moment tarenice zamašnjaka se dobiva tarnim prigonom sa pogonskom tarenicom koja je spojena remenom na elektromotor. Kod hidrauličkih vretenastih preša (Slika 18.) okretni moment zamašnjaka dobiva se iz rotacije hidromotora koji okreće zamašnjak tarenicom. Također postoje konstrukcije koje okreću zamašnjak pomoću zubne letve.
5.3. Vretenaste električne preše

Električne vretenaste preše imaju elektromotorni pogon koji direktno tarenicom ili srodno remenom pogoni zamašnjak.

Slika 18. Shema hidraulične vretenaste preše [12]

Slika 19. Shema vretenaste električne preše
5.4. Tarna preša

Od svih izvedbi vretenastih preša, najčešće se upotrebljavaju jednostavna vretenasta tarna preša s tri diska (Slika 20.), koja ima jedan horizontalni disk i dva koaksijalna vertikalna tarna diska.

Slika 20. Shema tarme (friksijske) preše [12]

Horizontalni je disk učvršćen na vrhu višenavojnog vertikalnog vretena (Slika 21.) koje se zajedno s maljem pokreće gore – dolje.

Elektromotor pogoni vertikalne tarne diskove uvijek u istom smjeru vrtnje. Horizontalni disk u dodiru je samo s jednim od dva vertikalna tarna diska. Zbog međusobnog trenja prenosi se vrtnja vertikalnog diska na horizontalni disk, a smjer vrtnje horizontalnog diska ovisi o tome s kojim je od dva vertikalna diska u dodiru. Prebacivanjem dodira s jednog na drugi vertikalni disk mijenja se smjer vrtnje horizontalnog diska, a time i smjer gibanja vretena s maljem. Brzina malja mijenja se s položajem po visini, ovisi o obodnoj brzini na vertikalnom disku s kojim je u kontaktu i najveća je u trenutku sudara. Vretenaste tarne preše grade se za sile od 0,4 – 15 MN, s energijama udaraca 1,3 – 150 kJ. Princip rada tarne preše prikazan je na slici 22.

![Slika 22. Princip rada tarne preše [12]](image)
Na ovakvim se prešama mogu kovati svi otkovci koji se kuju i na batovima, no zbog relativno malog broj udaraca (spuštanje i dizanje malja zahtijeva neko vrijeme) koji se kreće od 20 do 30 u minuti, pogodne su za otkovke koji se kuju samo jednim udarcem. U suprotnom slučaju, postoji opasnost od prevelikog hlađenja obradka i suboptimalne deformiranosti. Preše su vrlo visoke pa zahtijevaju i visoke zgrade što je svakako nedostatak kojeg treba imati u vidu, no zbog već spomenutog udarnog djelovanja vrlo dobro prokivaju obradak.

5.4.1. **Vrsta pogona i gibanje**


Slika 23. Graf obodne brzine, broj okretaja zamašnjaka i pogonskih diskova [3]
Tradicionalna je izvedba tarnih preša da se kretanje s tarnih diskova na zamašnjak prenosi otporom protiv klizanja, radi čega je tani disk koji je naslonjen uz zamašnjak obložen kožnom oblogom. Zamašnjak je vezan uz trapezno vretenon, koje se okreće u odgovarajućoj zavojnici na horizontalnom dijelu nosača.

Ubrzanje mora imati linearno povećavanje s polumjerom, kako bi prijenos energije bio baš klizni. Mora se, dakle, također moment okretanja i sila tlačenja preše, raspoređiti proporcionalno na ubrzanje i silu. Praktično, radi prisutnosti klizanja mijenja se i tok brzine. Osim toga klizanje znači gubitak energije i prouzrokuje trošenje obloge.

5.4.2. **Promjena energije i stupanj iskorištenja**

Kada djeluje gornji dio preše (malj) s gornjim alatom na postavljeni materijal na donjem alatu preše, proizvodi se sila oblikovanja koja odgovara otporu radnog komada i elastičnosti tijela preše s elastičnim oblikovanjem svih dijelova preše na koje djeluje sila.


![Slika 24. Idealna pretvorba energije vretenaste preše [3]](image-url)
Na slici 25. radna mogućnost stroja – energija nije iskorištena, a nazivna sila je prekoračena. Vrh sile $F_{\text{max}}$ normalno se postiže, kada se ukupna spremljena energija kod preše iskoristi. $F_{\text{max}}$ ne smije biti veća od nazivne sile preše $F_N$. 

Slika 25. Preopterećenje vretenaste preše [3]
6. EDUKACIJSKI MODEL TARNE VRETENASTE PREŠE

Edukacijski model tarne vretenaste preše je izveden slično kao što je prikazana preša na slici 20., ali sa potrebnim preinakama budući da se radi o puno manjem omjeru sila i naprezanja. Preša je modelirana i konstruirana u softveru Catia V5R20.

Preša se sastoji od dva vertikalna i jednog horizontalnog diska. Vertikalni diskovi dobivaju pogonski moment od DC elektromotora koji je povezan sa pogonskim kotačićem na osovini remenskim spojem. Horizontalna osovina se može ručicom pomicati lijevo-desno i tako mijenjaj kontakt između horizontalnog i vertikalnih diskova. Horizontalni disk je povezan sa vertikalno postavljenim vretenom sa trapeznom navojem pomoću labavog steznog spoja i dodatnim vijkom radi osiguranja proklizavanja i ispadanja vretena iz diska. Za sigurnost da horizontalni disk ne udari u osovinu, pa tako i za bolje vođenje samog vretena, koriste se dva graničnika koji se pritegne na postolje pomoću vijka. Između dijelova na osovini također postoje labavi stezni spojevi te se za dodatan sigurnost svaki dio priteže vijkom.

U nastavku su priloženi crteži koji detaljno objašnjavaju sve potrebno za konstruiranje same preše za edukativne svrhe.
Osnovni dijelovi preše su – vreteno, vodilica vretena (matica), vodilice malja i graničnici, malj, mehanizam za vođenje osovine, osovina, dva vertikalna i jedan horizontalan disk, postolje, kotačić za pogon, metalni držač elektromotora.


Slika 27. Osnovni dijelovi edukacijskog modela frikcijske preše

6.1. Dimenzioniranje vretena s jednovojnim trapeznim navojem

Ulagani podaci koje imamo su:

- tlačna sila na preši: $F = 300 \text{ N}$
- visina: $l = 123 \text{ mm}$ (udaljenost od sredine matice do radnog vrha vretena, slika 28.),
- materijal vretena : S235JRG2,
- ručna sila za pogon lijevo – desno: $F_R = 10 \text{ N}$. 
Potreban promjer jezgre vretena proračunava se prema Euler-u za elastično područje izvijanja prema slici 28. [6]

Za ovaj slučaj opterećenja vrijedi: \( l_0 = 2l \),

\[
F_k = S \cdot F_t = \frac{\pi^2 E \cdot I_{\text{min}}}{l_0^2}, \tag{6.1}
\]

\[
I_{\text{min}} = \frac{d_3^4 \pi}{64}, \tag{6.2}
\]

\[
d_3 = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F \cdot S \cdot l_0^2}{E \cdot \pi^4}}, \tag{6.3}
\]

gdje je:

- \( F_k \) – sila izvijanja [N],
- \( F_t \) – tlačna sila na vreteno [N],
- \( S \) – sigurnost protiv izvijanja (8 do 10),
- \( E = 210000 \) [MPa] – modul elastičnosti (Decker 2006., str. 105, tablica 1.38),
- \( I_{\text{min}} \) – najmanji aksijalni moment tromosti [mm²],
- \( d_3 \) – promjer jezgre vretena.

**Izračunavanje:**

\[ l_0 = 2l = 2 \cdot 113 = 226 \text{ mm}, \]  
\[ (6.5) \]

\[ d_3 = \frac{4 \sqrt[4]{64 \cdot F_t \cdot S \cdot l_0^2}}{E \cdot \pi^3} = \frac{4 \sqrt[4]{64 \cdot 300 \cdot 9 \cdot 226^2}}{210000 \cdot \pi^3} = 6,068 \text{ mm} \]  
\[ (6.6) \]

Prema \( d_3 \) iz Strojarskog priručnika, B. Kraut [1], odabire se najbliži, normalni jednovojni trapezni navoj oblika:

\[ Tr\ d \times P_h (P) , \]

gdje je:

- \( d \) – nazivni promjer vretena [mm],
- \( d_2 \) – srednji promjer vretena [mm],
- \( P_h \) – uspon navoja [mm],
- \( P \) – korak navoja [mm].

Prema tablici normalnim navoja, odabire se \( Tr\ 8 \times 1,5 \). Očitavanjem iz tablice 13 ( [1] Strojarski priručnik, B.Kraut, 2009., str.687.):

\[ P = 1,5 \text{ mm}, \]
\[ d = 8 \text{ mm}, \]
\[ d_2 = 7,25 \text{ mm}, \]
\[ d_3 = 6,2 \text{ mm}, \]
\[ A = 30,2 \text{ mm}^2. \]

Na slici 29. je prikazan shema navoja \( Tr\ 8 \times 1,5 \).
6.1.1. Kontrola naprezanja

Vreteno preše opterećeno je na tlak i torziju pa se računa reducirano naprezanje koje mora biti manje od dopuštenog naprezanja.

Tlačno naprezanje [6]:

$$\sigma = \frac{F_t}{A_j},$$

gdje je:

$\sigma$ – tlačno naprezanje vretena [MPa],
$F_t$ – tlačna sila [N],
$A_j$ – presjek jezgre vretena [mm$^2$].

Izračunavanje:

$$A_j = 30,19 \text{ mm}^2,$$

(6.8)

$$\sigma = \frac{F_t}{A_j} = \frac{300}{30,19} = 9,94 \text{ MPa}.$$  

(6.9)

Torzijsko naprezanje [6]:

$$\tau_t = \frac{T}{W_p},$$

(6.10)

$$T = F_t \cdot \frac{d\pi}{2} \tan(\varphi + \rho'),$$

(6.11)

$$\tan \varphi = \frac{P_k}{d\pi} \Rightarrow \varphi.$$  

(6.12)
\[ \tan \rho' = \frac{\mu}{\cos \beta} \rightarrow \rho', \quad (6.13) \]

\[ W_p = \frac{\pi d_3^3}{16}, \quad (6.14) \]

gdje je:
- \( \tau_t \) – torzijsko naprezanje vretena [MPa],
- \( T \) – torzijski moment navoja vretena [N mm],
- \( W_p \) – polarni moment otpora [mm\(^3\)],
- \( \varphi \) – kut uspona,
- \( \rho' \) – korigirani kut trenja \([\circ]\),
- \( \mu = 0,1 \) – faktor trenja za čelik,
- \( \beta \) – polovina vršnog kuta \([\circ]\).

Treba zaključiti je li navoj samokočan:
- \( \varphi < \rho' \rightarrow \) navoj je samokočan,
- \( \varphi > \rho' \rightarrow \) navoj nije samokočan.

**Izračunavanje:**

\[ \tan \varphi = \frac{P_h}{d_2 \pi} \rightarrow \varphi = \arctan \left( \frac{P_h}{d_2 \pi} \right) = \arctan \left( \frac{1,25}{7,25 \pi} \right) = 3,77^\circ, \quad (6.15) \]

\[ \tan \rho' = \frac{\mu}{\cos \beta} \rightarrow \rho' = \arctan \left( \frac{\mu}{\cos \beta} \right) = \arctan \left( \frac{0,1}{\cos 15^\circ} \right) = 5,91^\circ, \quad (6.16) \]

\( \varphi < \rho' \rightarrow 3,77^\circ < 5,91^\circ \rightarrow \) navoj je samokočan, \( (6.17) \)

\[ T = F_t \cdot \frac{d_2}{2} \tan(\varphi + \rho') = 300 \frac{7,25}{2} \tan(3,77 + 5,91) = 185,5 \text{ N mm}, \quad (6.18) \]

\[ W_p = \frac{\pi d_3^3}{16} = \frac{\pi 6,23^3}{16} = 46,8 \text{ mm}^3. \quad (6.19) \]

\[ \tau_t = \frac{T}{W_p} = \frac{185,5}{46,8} = 3,96 \text{ MPa}. \quad (6.20) \]
Reducirano naprezanje [6]

\[ \sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \tau^2} \leq \sigma_{\text{dop}}, \]  
\[ \sigma_{\text{dop}} = \frac{\sigma_{\text{DI}}}{S_{\text{potr}}} \]  

gdje je:

\( \sigma_{\text{red}} \) – reducirano naprezanje [MPa],
\( \sigma_{\text{dop}} \) – dopušteno naprezanje [MPa],
\( \sigma_{\text{DI}} \) – istosmjerno promjenljiva trajna čvrstoća [MPa],
\( S_{\text{potr}} = 2 \) – potrebna sigurnost.

Izračunavanje:

\[ \sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \tau^2} = \sqrt{9.94^2 + 3 \cdot 3.96^2} = 12.07 \text{ MPa}, \]  
\[ \sigma_{\text{dop}} = \frac{\sigma_{\text{DI}}}{S_{\text{potr}}} = \frac{125}{2} = 62.5 \text{ MPa}, \]  
\[ \sigma_{\text{red}} < \sigma_{\text{dop}} \rightarrow 12.07 < 62.5 \rightarrow \text{uvjet zadovoljen.} \]

6.1.2. Sigurnost u odnosu prema naprezanju na izvijanje \( \sigma_k \)

Faktor vitkosti vretena [6]

\[ \lambda = \frac{l_0}{i} , \quad i = \frac{l_{\text{min}}}{A_j} , \quad l_{\text{min}} = \frac{d_1^2 \pi}{64} , \quad A_j = \frac{d_2^2 \pi}{4} \]  

(6.26), (6.27), (6.28), (6.29)

Nakon uvrštavanja i sređivanja: \( \lambda = \frac{4l_0}{d_2^3} \)  

(6.30)

gdje je:

\( \lambda \) – faktor vitkosti
\( l_0 \) – slobodna duljina izvijanja [mm],
\( i \) – polumjer tromosti [mm],
\( l_{\text{min}} \) – najmanji aksijalni moment tromosti vretena [mm$^4$].
$A_1$ – presjek jezgre vretena [mm$^2$],

$d_3$ – promjer jezgre vretena [mm].

**Izračunavanje:**

$$\lambda = \frac{4\lambda_0}{d_3} = \frac{4 \times 226}{6.2} = 145.8 \text{ ,}$$  \hspace{1cm} (6.31)

Za R St 37-2 $\rightarrow \lambda_0 = 90 \text{ ,}$ \hspace{1cm} (6.32)

$\lambda > \lambda_0 \rightarrow 145.8 > 90 \rightarrow$ Naprezanje na izvijanje računa se prema EULER-u

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 210000}{145.8^2} = 97.5 \text{ MPa} \text{ .}$$  \hspace{1cm} (6.33)

**Sigurnost protiv izvijanja**

$$S = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red}} = \frac{97.5}{12.07} = 8 \text{ .}$$  \hspace{1cm} (6.34)

6.2. **Kontrola dodirnog pritiska na matici**

Radi dobrog vođenja vretena u matici za konzolne vijčane preše, visina matici treba iznositi: $m \approx 2.5d$ [6]

$$p = \frac{F \cdot P}{m \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot \pi} \leq p_{dop} \text{ ,}$$  \hspace{1cm} (6.35)

gdje je:

$p$ – pritisak bokova navoja [MPa],

$F$ – tlačna sila [N],

$P$ – korak navoja [mm],

$m$ – nosiva visina matici [mm],

$d_2$ – srednji promjer navoja [mm],

$H_1 = 0.75$ [mm] – nosiva dubina navoja ( [1] Strojarski priručnik, B. Kraut, 2009., str. 686.)

Izračunavanje:

\[ m \approx 2,5d = 2,5 \cdot 8 = 20 \text{ mm} \, \text{,} \]
\[ p = \frac{F_c p}{m d^2 H_1 \pi} = \frac{300 \cdot 1,5}{20 \cdot 7,25 \cdot 0,75 \pi} = 2,11 \text{ MPa} < 7 \text{ MPa} \, \text{Uvjet je zadovoljen!} \]

6.3. Određivanje sila na tarenicama

Preša se pogoni pritiskom ručice ručnom silom \( F = 10 \text{ N} \) na mehanizam kotačića za pogon. Pošto u aksijalnom smjeru ne djeluje više niti jedna sila, suma sila u aksijalnom smjeru je jednaka (slika 30.):

\[ F_A - F_R = 0 \, . \]

Slika 30. Djelovanje aksijalnih sila na pogonskom mehanizmu

Izračunavanje:

\[ F_A - F_R = 0, \]
\[ F_A = F_R = 10 \text{ N}. \]
Prijenos s valjkastom i čeonom tarenicom prikazan je na slici 31,

Slika 31. Prijenos s valjkastom i čeonom tarenicom

gdje je:

\( d_1 \) – srednji promjer tarenice TN\(_1\) [mm],

\( d_2 \) – srednji promjer tarenice TN\(_2\) [mm],

\( \alpha_1 \) – kut između dodirne (tarne) plohe i okomice na os vrtnje tarenice TN\(_1\) \([^\circ]\),

\( \alpha_2 \) – kut između dodirne (tarne) plohe i okomice na os vrtnje tarenice TN\(_2\) \([^\circ]\).

Potrebnu normalnu silu \( F_N \) za prijenos poznate obodne sile \( F_O \) određujemo iz osnovnog uvjeta tarnog prijenosa [5],

\[
F_N \cdot \mu > F_O , 
\]

\[
F_N \cdot \mu = F_O \cdot S_k , 
\]

\[
F_N = \frac{F_O \cdot S_k}{\mu} ,
\]
gdje je:

\[ F_N - \text{normalna sila [N]}, \]
\[ F_o - \text{obodna sila [N]}, \]
\[ S_k - \text{sigurnost protiv proklizavanja (S=1.5)}, \]
\[ \mu - \text{faktor trenja (za guma/čelik } \mu=0.8). \]

**Izračunavanje:**

\[ F_o = \frac{F_N \mu}{S_k} = \frac{10 \cdot 0.8}{1.5} = 5.33 \text{ N.} \]  \hspace{1cm} (6.44)

6.4. **Određivanje promjera horizontalnog diska (tarenice)**

Ravnoteža na horizontalnom disku prikazana je na slici 32.

![Slika 32. Ravnoteža na horizontalnom disku (tarenici)](image)

**Ravnoteža na tarenici:**

\[ F_o \cdot \frac{D}{2} = T \rightarrow D, \]  \hspace{1cm} (6.45)

\[ D = \frac{2T}{F_o}, \]  \hspace{1cm} (6.46)

gdje je:

\[ F_o - \text{obodna sila [N]}, \]
\[ D - \text{promjer horizontalne tarenice [mm]}, \]
\[ T - \text{torzijski moment navoja vretena [N mm]}. \]
Izračunavanje:

\[
D = \frac{2T}{F_0} = \frac{2 \cdot 185.5}{5.33} = 69.6 \text{ mm}.
\]  
(6.47)

Za promjer horizontalnog diska (tarenice) odabrano je \( D = 70 \text{ mm} \). Što se tiče stupnja iskoristivosti kod tarenica, uzima se da je \( \eta = 1 \) pošto nisu u pitanju velike brzine i momenti opterećenja same preše.

6.5. Određivanje debljine tarenica

Potrebna širina tarenice \( B \) određuje se iz izraza (6.49) [5]

\[
B = \frac{F_N}{2\varphi k},
\]  
(6.48)

gdje je:
- \( B \) – minimalna potrebna širina tarenice [mm],
- \( F_N \) – normalna sila [N],
- \( \varphi \) – ekvivalentni polumjer zakrivljenosti tarenica \( (\varphi = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}) \),
- \( k \) – pritisak valjanja [MPa], za tarenice guma/čelik \( k_{gr} = 0.2 \text{ MPa} \).

Izračunavanje:

\[
\varphi = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = \frac{53 \cdot 35}{53 + 35} = 21.08 ,
\]  
(6.49)

\[
B = \frac{F_N}{2\varphi k} = \frac{10}{2 \cdot 21.08 \cdot 0.2} = 1.2 \text{ mm}.
\]  
(6.50)

Uzimajući faktor sigurnosti, odabrana je širina tarenica \( B = 4 \text{ mm} \).
6.6. Kontrola kontaktnog naprezanja

Prekoračenjem kontaktne čvrstoće nastaje pojava rupičavosti (pitting). Kontaktno naprezanje računa se po Hertzovoj jednadžbi [5]:

\[ p_H = 0,418 \sqrt{\frac{F_N E}{B \cdot \varphi}} \leq p_{H_{dop}}, \quad (6.51) \]

gdje je:
- \( F_N \) – normalna sila [N],
- \( E \) – ekvivalentni modul elastičnosti [MPa], za tarenice guma/čelik \( E = 40 \) MPa [2],
- \( B \) – širina tarenice [mm],
- \( \varphi \) – ekvivalentni polumjer zakrivljenosti tarenica,
- \( p_{H_{dop}} \) – dopuštena vrijednost dinamičke izdržljivosti kontaktnih naprezanja za razne kombinacije materijala tarenica [MPa], za tarenice guma/čelik \( p_{H_{dop}} = 1,2 \) MPa.

Izračunavanje:

\[ p_H = 0,418 \sqrt{\frac{F_N E}{B \cdot \varphi}} = 0,418 \sqrt{\frac{10 \cdot 40}{4 \cdot 21,08}} = 0,91 \leq 1,2 \text{ MPa}. \quad (6.52) \]

Uvjet je zadovoljen!

6.7. Odabir elektromotora

6.7.1. Moment na tarenicama

Pri maksimalnom prijenosnom omjeru \( i \) ostvaruje se maksimalni okretni moment \( T_2 \) koji u našem slučaju odgovara torzijskom momentu navoja vretena \( T \). Okretni moment \( T_1 \) dobije se iz jednadžbe [5]:

\[ T_1 = \frac{T_2 r_2}{\eta x}, \quad (6.53) \]
gdje je:

\[ T_2 \text{- okretni moment na tarenici TN}_2 [\text{N mm}], \text{odgovara torzijskom momentu navoja vretena } T \]

\[ T_1 \text{- okretni moment na tarenici TN}_1 [\text{N mm}] \]

\[ r_2 \text{- polumjer tarenice TN}_2 [\text{mm}] \]

\[ x \text{ – udaljenost tarenice TN}_2 \text{od osi vrtne tarenice TN}_1 [\text{mm}], \ x = 9 \text{ mm} \]

\[ \eta \text{ – stupanj iskoristivosti, } \eta = 1 \]

Gore navedene veličine prikazane su na slici 33.

**Slika 33. Prikaz veličina kod tarenica s kontinuiranom promjenom prijenosnog omjera**

**Izračunavanje:**

\[
T_1 = \frac{T_2 r_2}{\eta x} = \frac{185.5 \cdot 35}{1 \cdot 9} = 721.39 \text{ N mm.} \tag{6.54}
\]
6.7.2. Momenti kod remenskog prijenosa

Prijenosni omjer kod remenskog prijenosa se izračunava po jednadžbi [5]

\[ i = \frac{d_{r2}}{d_{r1}} \]  

(6.55)

gdje je:

\(d_{r1}\) - promjer pogonske remenice [mm],

\(d_{r2}\) - promjer gonjene remenice [mm].

Okretni moment na gonjenoj remenici jednak je onoj na pogonskoj tarenici \(T_{N1}\) pa se iz jednadžbe (6.57) može dobiti moment koji treba imati elektromotor za pogon cijele preše:

\[ i = \frac{T_2}{T_{1\eta}} \]  

(6.56)

Izračunavanje:

\[ i = \frac{d_{r2}}{d_{r1}} = \frac{30}{8} = 3,75 \]  

(6.57)

\[ i = \frac{T_2}{T_{1\eta}} \rightarrow T_1 = \frac{T_2}{i \eta} = \frac{721,39}{3,75 \cdot 1} = 192,37 \text{ N mm} \]  

(6.58)

Prema dobivenom momentu izabran je DC elektromotor marke CHIHAI MOTOR GM25-370 (slika 34). Razlog zbog kojeg je izabran je taj što ima dovoljni okretni moment koji je potreban za pogon preše, a u isto vrijeme nema preveliki broj okretaja što pogođuje vretenastoj preši koja je namjenjena za edukacijske svrhe.

Slika 34. DC elektromotor CHIHAI MOTOR GM25-370 [8]
Elektromotor ima sljedeće specifikacije:

- Nominalni napon: 6 V,
- Broj okretaja: 210 min\(^{-1}\),
- Okretni moment: 0,5099458 N m.

6.8. Određivanje vremena radnog i povratnog hoda malja

Horizontalni disk vezan je za trapezno vreteno, koje se okreće u odgovarajućoj zavojnici na horizontalnom dijelu nosača. Prema jednadžbi (6.60) dobije se kutna brzina pogonske ploče [5]:

\[ i_r = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \quad (6.59) \]

gdje je:

- \( i_r \) – prijenosni omjer kod remenskog prijenosa,
- \( \omega_1 \) - kutna brzina pogonske remenice [rad/s],
- \( \omega_2 \)- kutna brzina gonićne remenice [rad/s].

Zatim se iz jednadžbe (6.61) koja predstavlja logaritamsku zavojnicu, odredi vrijeme trajanja pogonskog i povratnog rada malja:

\[ r = r_1 \cdot e^{tan_{\gamma} \omega_0 t}, \quad (6.60) \]

gdje je:

- \( r \) – odstupanje točke dodira od osovine pogonske tarenice [mm],
- \( r_1 \) – najmanje odstupanje točke dodira od osovine pogonske tarenice [mm],
- \( tan_{\gamma} \) – karakteristična veličina za vretenaste preše [rad] (izračunava se po \( tan_{\gamma} = \frac{h_{GEW}}{2\pi R} \),
gdje je \( h_{GEW} \) hod vretena, a \( R \) poluminjer horizontalne tarenice),
- \( \omega_0 \) – kutna brzina pogonske tarenice [rad/s],
- \( t \) – vrijeme potrebno za radni/povratni hod malja [s].
Obodna brzina horizontalnom diska dobije se iz jednadžbe (6.62):
\[ v_u = r_i \cdot \omega_0 \cdot e^{\tan \gamma \cdot \omega_0 \cdot t}, \]  
(6.61)

dok ubrzanje u obodnom smjeru iz jednadžbe (5.63):
\[ a_u = r_i \cdot \omega_0^2 \cdot \tan \gamma \cdot e^{\tan \gamma \cdot \omega_0 \cdot t}. \]  
(6.62)

**Izračunavanje:**

\[ i_r = \frac{\omega_1}{\omega_2} \rightarrow \omega_2 = \frac{\omega_1}{i} = \frac{2\pi \cdot 210}{60 \cdot 3,75} = 5,86 \frac{\text{rad}}{s} = \omega_0, \]  
(6.63)

\[ \tan \gamma = \frac{h_{GEW}}{2\pi \cdot R} = 0,2 \text{ rad}, \]  
(6.64)

\[ r = r_i \cdot e^{\tan \gamma \cdot \omega_0 \cdot t} \rightarrow t = \frac{\ln \left( \frac{r}{r_i} \right)}{\tan \gamma \cdot \omega_0} = \frac{\ln \left( \frac{44}{9} \right)}{0,2 \cdot 5,86} = 1,35 \text{ s}. \]  
(6.65)

\[ v_u = r_i \cdot \omega_0 \cdot e^{\tan \gamma \cdot \omega_0 \cdot t} = 0,009 \cdot 5,86 \cdot e^{0,2 \cdot 5,86 \cdot 1,35} = 0,256 \frac{\text{m}}{s}, \]  
(6.66)

\[ a_u = r_i \cdot \omega_0^2 \cdot \tan \gamma \cdot e^{\tan \gamma \cdot \omega_0 \cdot t} = 0,009 \cdot 5,86^2 \cdot 0,2 \cdot e^{0,2 \cdot 5,86 \cdot 1,35} = 0,3 \text{ m/s}. \]  
(6.67)
Prema provedenom proračunu karakteristike edukacijskog stroja su sljedeće:

- radna moć: 300 N,
- visina radnog hoda: 44 mm,
- tarna obloga: guma na horizontalnoj tarenici,
- vanjske dimenzije stroja: 272.5 x 185 x 120 mm,
- ručna sila na pogonskoj ručici: 10 N,
- pogonski elektromotor:
  - Nominalni napon: 6 V,
  - Broj okretaja: 210 min⁻¹,
  - Okretni moment: 0,5099458 N m,
- vrijeme trajanja radnog/povratnog hoda malja: 1,35 s.
7. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovoga diplomskog rada je konstruiranje edukacijskog modela vretenaste tarne preše kako bi se studenti što detaljnije i kvalitetnije upoznali s principom i načinom rada iste.

Budući je najčešće korišteni tip tarnih preša upravo onaj sa tri diska, na istom principu konstruirana je i edukacijska vretenasta preša. Edukacijska preša pogoni se elektromotorom, a radni i povratni hod ostvaruje se djelovanjem ručne sile na ručicu koja pomoću mehanizama kotačića pomiče osovinu lijevo – desno. Osovina se okreće brzinom koju određuje DC elektromotor koji je odabran nakon detaljnog proračuna momenata i sila na cijeli sustav. Na horizontalnu tarenicu stavlja se sloj gume, dok vertikalna ostaje u potpunosti čelična sa kvalitetom obrade $Ra = 0,8$ kako bi se postigao što veći faktor trenja među njima. Tako uparivane gume i čelična površina imaju visok faktor trenja pa sila međusobnog tlačenja tarenica može biti mala, što u potpunosti odgovara u slučaju edukacijske preše.

Nizom raznih proračuna dobiveno je da radni i povratni hod traju kratko, tj. 1,35 s, što uveliko pridonosi shvaćanju načina rada same preše. Iako je edukacijska vretenasta preša umanjeni model stvarne preše, ne smije se shvatiti neozbiljno jer iznos sile deformiranja koji se dobije na kraju puta tlačenja iznosi 300 N.
LITERATURA

[6] Proračun vijčane preše, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
[12] Seminarski rad, Univerzitet u Tuzli, poveznica: https://dlscrib.com/queue/hidraulicnepresa-seminarsk_rad_58b6d3ad6454a7f379b1e90d_pdf?queue_id=599c5488dc0d60126353a1fe
PRILOZI

I. CD-R disc
II. Tehnička dokumentacija
NAPOMENA: svi nekotirani radijusi zaobljenja su R =1mm

<table>
<thead>
<tr>
<th>Datum</th>
<th>Ime i prezime</th>
<th>Potpis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>04.06.2019.</td>
<td>Tomislav Hrdelja</td>
<td>Hrdelja</td>
</tr>
<tr>
<td>Razradio</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Crtao</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pregledao</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

Objekt:          Objekt broj:          R. N. broj:          

Napomena:          Kopija:          

Materijal: 90MnCrV8 Masa: 0,118 kg

Naziv: EDUKACIJSKA TARNYA PREŠA

Pozija: 1

Format: A4

Listova: 1

List: 1

Crtež broj: malj_vret_prese
<table>
<thead>
<tr>
<th>Datum</th>
<th>Ime i prezime</th>
<th>Potpis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>04.06.2019</td>
<td>Tomislav Hrdelja</td>
<td>Hrdelja</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**Objekt:**

**Objekt broj:**

**R. N. broj:**

**Napomena:**

**Materijal:** S235JRG2  **Masa:** 0,546kg

**Naziv:** EDUKACIJSKA TARNA PREŠA

**Pozicija:** 2  **Format:** A4

**List:** 1

**Crtež broj:** okrug_post_vret_prese
<table>
<thead>
<tr>
<th>Broj naziva - code</th>
<th>Datum</th>
<th>Ime i prezime</th>
<th>Potpis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>04.06.2016</td>
<td>Tomislav Hrdelja</td>
<td>Hrdelja</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FSB Zagreb</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>ISO - tolerancije</th>
<th>Objekt:</th>
<th>Objekt broj:</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Ø4 h6</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Napomena:</th>
<th>R. N. broj:</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Materijal: S235JRG2</th>
<th>Masa: 0,018 kg</th>
</tr>
</thead>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Mjerilo originaла</th>
<th>Naziv: EUKACIJSKA</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>M 1:1</td>
<td>Tarna preša</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Crtež broj:</th>
<th>Format: A4</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>oso_vret_prese</td>
<td>List: 1</td>
</tr>
</tbody>
</table>
NAPOMENA: svi nekotirani radijusi zaobljenja su R=0,5 mm

<table>
<thead>
<tr>
<th>Datum</th>
<th>Ime i prezime</th>
<th>Potpis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>04.06.2019</td>
<td>Tomislav Hrdelja</td>
<td>Hrdelja</td>
</tr>
</tbody>
</table>

FSB Zagreb

Objekt: Objekt broj: R. N. broj:

Napomena:

Materijal: S235JRG2 Masa: 0,003kg

Mjerilo origina M 5:1

Naziv: EDUKACIJSKA Tarna preša

Pozicija: Format: A4 List: 1

Crtež broj: kot_mot_vret_prese
NAPOMENA:
svi nekotirani radijusi zaobljdenja su R=1mm
NAPOMENA: 
-svi nekotirani radijusi 
zaobljenja su R= 0, 5 mm
<table>
<thead>
<tr>
<th>Datum</th>
<th>Ime i prezime</th>
<th>Potpis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>06.06.2018.</td>
<td>Tomislav Hrdelja</td>
<td>Hrdelja</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**Razradio**

**Crtao**

**Pregledao**

**Objekt:**

**Objekt broj:**

**R. N. broj:**

**Napomena:**

**Materijal:** S235JRG2  **Masa:** 0,051 kg

**Naziv:** EDUKACIJSKA TARNI PREŠA

**Mjerilo orgina:** M 1:1

**Crtež broj:** vreteno_vret_prese

**Format:** A4  **List:** 1

**Pozicija:** 9  **Listova:** 1

**Kopija**
NAPOMENA:
Svi nekotirani rubovi su polumjera zakrivljenosti R=0,5 mm