

DK 621.771.001

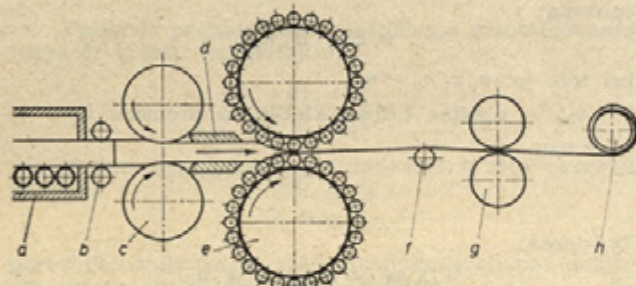
Geometrijska razmerja pri planetnem valjalnem ogrodju

VINKO ČIZMAN

Planetna valjalna ogrodja, ki so po 15-letni razvojni dobi dosegla določeno stopnjo tehnične dovršenosti, so ogrodja, katerih bistvena prednost je, da toplo izvaljajo slab* z debelino 40 do 100 mm v 2 do 6 mm debel trak, v enem prehodu skozi ogrodje.

Valjarne s planetnimi valjalnimi ogrodji sestavljajo:

- tunnelska ogrevalna peč za ogrevanje narezanih slabov,
- planetno valjalno ogrodje s podajnim oz. potisnim valjem, s planetnimi (vmesnimi) ter podporinima valjema, pogonom in sinhronizacijo pogona kletk ter dovodno napravo za slabe,
- napenjalek traku,
- dresirna valja ali ogrodje,
- odvodna valjenica in
- navijalek.



Sl. 1. Shema valjanja s planetnim valjalnim ogrodjem Sendzimir

a — tunnelska ogrevalna peč, b — lomilo ogorine, c — podajna oz. potisna valja, d — dovodna naprava, e — podporni valj z delovnimi valji in kletko, f — napenjalek traku, g — dresirna valja, h — navijalek traku

Planetno ogrodje ima dva podporna valja, okoli katerih so v kletkah ugrajeni delovni valji. Po načinu pogona delovnih valjev razlikujemo:

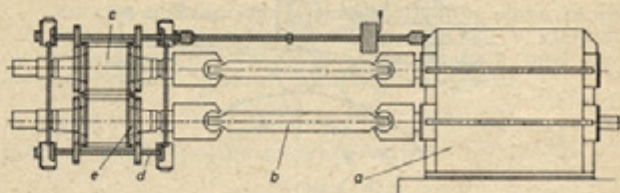
— izvedbo planetnega ogrodja Sendzimir (sl. 2), pri kateri sta gnana oba podporna valja, medtem ko so delovni valji, ugrajeni v kletkah, negnani, kletke pa s čelnimi in stožčastimi zobniškimi prenosi medsebojno sinhronizirane;

— Krupp-Platzerjevo izvedbo (sl. 3), ki ima fiksna podporna valja in gnane ter sinhronizirane kletke z delovnimi valji. Zaradi obeh fiksnih podpornih valjev so med delovnimi in podpornima valjema še vmesni valji.

Valjanje trakov s planetnimi valjalnimi ogrodji (sl. 4) je povsem različno od valjanja z normalnimi valjalnimi ogrodji, zaradi česar so ta način valjanja poimenovali ciklično nekontinuirano, da bi ga razločevali od normalnega načina.

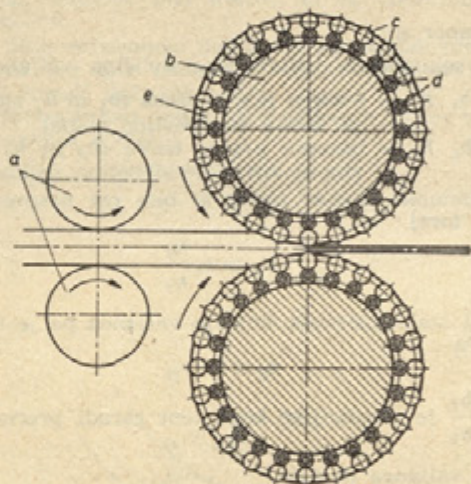
Vsak delovni valj s kotaljenjem prek valjane površine plastično preoblikuje tanko plast valjanca (50...100 parov delovnih valjev na min.), tako da je celotna deformacija slaba pri enkratnem prehodu skozi ogrodje zelo velika (90...95%). Za enako redukcijo bi potrebovali v normalnem reverzibilnem valjalnem ogrodju za toplo valjanje trakov 10 do 15 prehodov ali valjanj.

Delovne valje poganja sila trenja med površino podporna in delovnega valja, medtem ko podajna valja potiskata slab med sinhronizirane pare delovnih valjev. Ko se slab pomakne naprej med delovne valje za dolžino l_1 , se pri konstantnem volumnu in ob za-



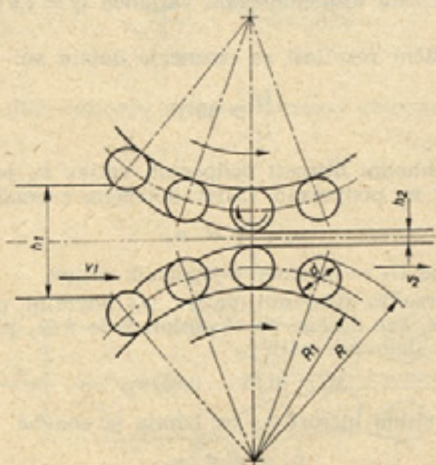
Sl. 2. Shema pogona ogrodja in sinhronizacija kletk pri planetnem ogrodju Sendzimir

a — grebenjak, b — univerzalna vretena, c — podporni valj, d — sinhronizacija kletk, e — kletka



Sl. 3. Shema izvedbe planetnega ogrodja Krupp-Platzer

a — potisni valj, b — podporni valj, c — delovni valj, d — vmesni valj, e — kletka



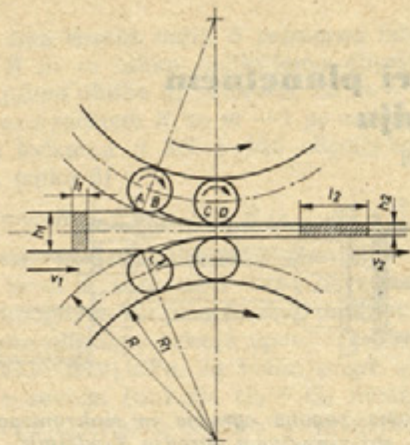
Sl. 4. Shema valjanja v planetnem ogrodju

nemarjenju prečnega širjenja valjanca ta dolžina sklada z dolžino traku l_2 (sl. 5).

Po kontinuitetni enačbi lahko ocenjujemo pri znani hitrosti podajanja slaba v_1 izstopno hitrost traku v_2 :

$$V_s = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

* slab — posebna oblika jeklenega bloka

Sl. 5. Razmerje dolžin l_1 in l_2

pri čemer so:

V_s — sekundarna volumenska količina valjanca,

$A_1 = b_1 \cdot h_1$ — vstopni prerez slaba (b_1 in h_1 sta vstopni širina in debelina slaba).

$A_2 = b_2 \cdot h_2$ — izstopni prerez traku (b_2 in h_2 sta izstopni širina in debelina traku).

Izstopna hitrost traku bi bila pri nespremenjeni širini torej

$$v_{2t} = v_1 \frac{h_1}{h_2}$$

zaradi malenkostnega širjenja valjanca pa je nekoliko manjša

$$v_2 = k \cdot v_{2t}$$

$k = \frac{b_1}{b_2}$ je korekcijski koeficient zaradi prečnega širjenja valjanca ($k < 1$).

Sekundna težna količina traku pri planetnem

ogrodju:

$$G_s = b_2 \cdot h_2 \cdot v_2 \cdot \gamma \quad \text{kp/s}$$

γ — specifična teža materiala valjanca ($\gamma = 7,8 \text{ kp/dm}^3$ za jeklo).

Praktični rezultati za razmerje dolžin so:

$$\frac{l_2}{l_1} > 50$$

Pri obhodni hitrosti podpornih valjev v_p je vrtilna hitrost n_p podpornih valjev določena z enačbo

$$v_d = \pi \cdot d \cdot n_d$$

v kateri je D_I — premer podpornih valjev.

Ob drsenju delovnih valjev po površini podpornega valja, kar dosega po skušnjah 2 do 5 %, je obodna hitrost delovnih valjev

$$v_d = (0,95 \dots 0,98) v_p$$

njihova vrtilna hitrost n_d pa izhaja iz enačbe

$$v_d = \pi \cdot d \cdot n_p$$

v kateri je d — premer delovnih valjev.

Ker je kletka gnana, in sicer tako, da rotira z delovnimi valji okoli podpornega valja s približno polovično obodno hitrostjo podpornih valjev, je obodna hitrost kletke

$$v_k \approx \frac{v_p}{2} = \frac{\pi \cdot D_I \cdot n_p}{2}$$

kotna hitrost kletke glede na skupno os pa

$$\omega_k = \frac{v_k}{R_I + r}$$

kjer sta: $R_I = \frac{D_I}{2}$ — polmer podpornih valjev, $r =$

$= \frac{d}{2}$ — polmer delovnih valjev.

Vrtilna hitrost delovne kletke znaša

$$n_k = \frac{n_p}{2} \cdot \frac{D_I}{D_I + d} = \frac{v_p}{2 \pi (D_I + d)}$$

Vrtilno hitrost delovnih valjev okoli lastne osi lahko izračunamo iz razlike obodnih hitrosti podpornega valja in obodne hitrosti kletke na istem premeru D_I .

Razliko vzamemo zato, ker se podporni valj in kletka vrtita v isti smeri.

Če zanemarimo drsenje delovnega valja po površini podpornega valja velja:

$$v_d = v_r$$

oziroma:

$$v_r = \pi \cdot d \cdot n_d$$

pri tem je: $v_r = v_p - v_{kI}$

v_{kI} — obodna hitrost kletke na premeru D_I

in iz tega:

$$n_d = \frac{v_r}{\pi \cdot d}$$

Iz odnosa:

$$\pi D_I (n_p - n_k) = \pi \cdot d \cdot n_d$$

dobimo tudi:

$$n_d = \frac{\pi D_I (n_p - n_k)}{\pi \cdot d} = (n_p - n_k) \cdot \frac{D_I}{d}$$

ki pokaže, da je vrtilna hitrost delovnih valjev odvisna od razmerja $\frac{D_I}{d}$.

Pri spodrsavanju delovnih valjev, ki imajo po dotikalni dolžini z valjancem različne obodne hitrosti, je dejanska obodna hitrost kletke

$$v'_k = v_k (1 - x) = \frac{v_p}{2} (1 - x)$$

pri čemer je:

x — koeficient izgube zaradi spodrsavanja delovnih valjev, ki je po proizvodnih izkušnjah:

$$x = 0,020 \dots 0,05$$

Dejanska vrtilna hitrost kletke je zato:

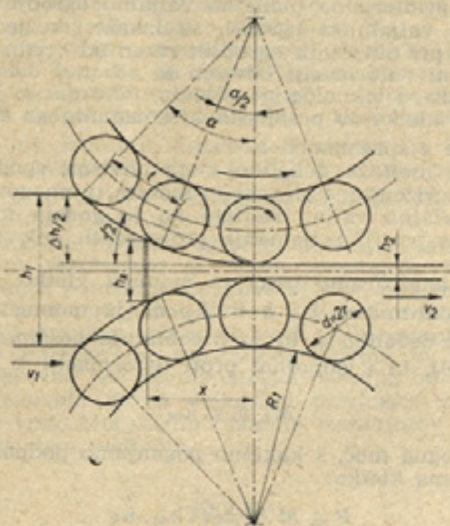
$$n'_k = \frac{v'_k}{\pi (D_I + d)} = \frac{n_p}{2} \cdot \frac{D_I}{D_I + d} \cdot (1 - x)$$

Čas, v katerem kletka opravi en vrtilaj okoli podpornega valja, določimo z upoštevanjem izgube hitrosti zaradi drsenja

$$t_k = \frac{\pi (D_I + d)}{v'_k} = \frac{2 (D_I + d) \pi}{v_p (1 - x)}$$

Število parov delovnih valjev, ki v časovni enoti prihaja v dotik z valjancem pri številu delovnih valjev z , ki so vgrajeni v kletki, je:

$$z_s = n'_k \cdot z = \frac{z}{t_k}$$

Sl. 6. Redukcija slaba Δh

Valjanec prehaja cono plastičnega preoblikovanja (slika 6) v času (po Geleji-u)

$$t_v = \frac{(R_I + d) \cdot a}{v_I \cdot h_I} \cdot \left(h_2 + \frac{\Delta h}{3} \right)$$

V tem času preteče po dotikalni krožni površini valjanca

$$z_v = z_s \cdot t_v$$

parov delovnih valjev tako, da posamezen par delovnih valjev zvalja naslednjo debelino

$$\Delta h_I = \frac{\Delta h}{z_v}$$

pri tem je:

$$\Delta h = h_1 - h_2 \text{ celotna redukcija valjanca}$$

Silo valjanja pri enem delovnem valju, če kljub različnim razmeram vzamemo izraz, ki velja za valjanje z navadnimi ogrodji, dobimo:

$$F = k_{wm} \cdot A_{dI} = k_{wm} \cdot b_I \cdot l_{dI}$$

A_{dI} — valjana površina z enim delovnim valjem

$$A_{dI} = b_I \cdot l_{dI}$$

Dolžino valjane površine izražamo lahko z zadostno natančnostjo z:

$$l_{dI} \approx \sqrt{r \cdot \Delta h_I}$$

k_{wm} — srednja vrednost odpora proti deformaciji.

Tako je sila valjanja enega delovnega valja

$$F_I = k_{wm} \cdot b_I \cdot \sqrt{r \cdot \Delta h_I}$$

Pri planetnih ogrodjih je treba drugače kakor pri navadnih valjanih ogrodjih razlikovati dve dotikalni valjani površini oz. dolžini na valjancu, in sicer večjo, označeno na sl. 6 pod kotom α , in manjšo, označeno na sl. 7 pod kotom α_1 ter označbo l_{dI} .

Drugače kakor pri valjanju z navadnim ogrodjem se spreminja dolžina l_{dI} za posamezen delovni valj nad večjo dolžino pod kotom α . Prav tako tudi vrednost odpora proti deformaciji k_w ni konstantna po dolžini l_{dI} , zato računamo s srednjo vrednostjo odpora proti deformaciji k_{wm} . Tretja spremenljivka, ki

pa je pri valjanju ploščatih profilov minimalna, je širina b . Produkt teh treh variabilnih količin daje silo valjanja za posamezen delovni valj planetnega ogrodja. Izvedena planetna ogrodja (Sendzimir) izkazujejo razmerje delovnih valjev in podpornih v mejah:

$$D_I = (8 \dots 10) d$$

Kot preoblikovalne cone $\alpha = 15 \dots 25^\circ$.

Zaradi enakomernosti preoblikovanja slaba mora biti število delovnih valjev, ki so vgrajeni v kletkah okoli podpornega valja, čim večje. Razmik med delovnimi valji je nasproti njihovu premeru

$$\delta = (0,4 \dots 0,8) r$$

tako da znaša število delovnih valjev

$$z = \frac{2(R_I + r)\pi}{d + \delta}$$

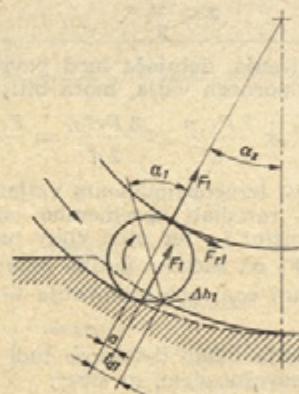
Števila delovnih valjev po obodu podpornega valja so: $z = 24 \dots 30$.

Sila valjanja pri posameznem delovnem valju deluje na valjanec pod kotom, ki se spreminja od $\alpha_{max} > \alpha_x > 0$.

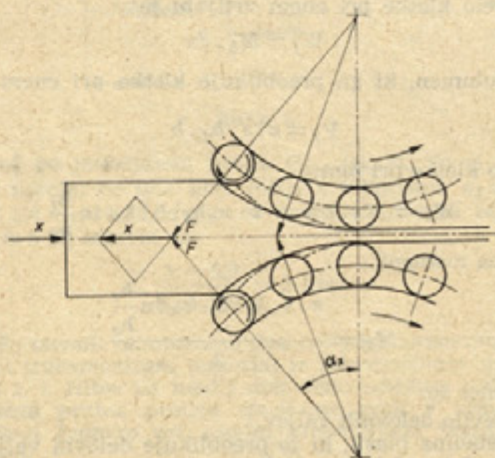
Ob sinhroniziranem delovanju parov delovnih valjev mora biti sila podajnih valjev večja od rezultante sil zaradi delovnih valjev. (Sl. 8)

Z upoštevanjem enega para delovnih valjev v coni preoblikovanja dobimo:

$$X \geq 2F_I \cdot \sin \alpha_x$$



Sl. 7. Sila valjanja pri posameznem delovnem valju



Sl. 8. Sila potisnih valjev

Pri večjih začetnih debelinah slabov sta lahko v coni preoblikovanja hkrati po dva para delovnih valjev, tako da je:

$$X \geq 2F_I \sin \alpha'_x + 2F''_I \sin \alpha''_x$$

Moment valjanja pri delovnem valju je:

$$M_I = F_I \cdot a$$

Ročica a je splošno podana z:

$$a = c \sqrt{r \cdot \Delta h_I} = c \cdot l_{dI}$$

pri čemer je

c — koeficient, odvisen od profila valjanca, ki se giblje po podatkih Underwooda:

$$0,39 < c < 0,7$$

In sicer za tanke ploščate profile najnižje vrednosti, za valjance, ki se valjajo v zaprtih kalibrih, pa najvišje.

Pri tankih ploščatih profilih, kakršni so trakovi, pri katerih lahko širjenje valjanca zanemarjamo, določamo ročico pri znani stopnji redukcije

$$\gamma = \frac{h_1}{h_2}$$

$$z: a = \frac{l_{dI}}{2} \cdot \frac{\gamma}{1-\gamma} \cdot \ln \frac{1}{\gamma}$$

Raziskave in merjenja so pokazala, da je ročica pri valjanju tankih ploščevinskih profilov vedno manjša oziroma enaka (razen pri hladnem valjanju z vlekom).

$$a < \frac{l_{dI}}{2}$$

Obodna sila trenja, delujoča med površino delovnega valja in podpornega valja, mora biti:

$$F_{rI} = \frac{2M_I}{d} = \frac{2F_I \cdot a}{d} = \frac{2F_I l_{dI}}{2d} = \frac{F_I \cdot l_{dI}}{d}$$

Za natančnejši izračun momenta valjanja in moči bi bilo potrebno raziskati spremembo odpora proti deformaciji na dolžini l_{dI} ter njen vpliv na spremembo sile valjanja F_I od začetka dotika delovnega valja s slabom po celotni coni preoblikovanja — od dimenzije h_I na h_2 .

Moment valjanja lahko določimo tudi iz znanega izraza za preoblikovalno delo, in sicer:

$$W = V \cdot k_w \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Delo kletke pri enem vrtilaju je:

$$W_I = M_k \cdot 2\pi$$

Volumen, ki ga preoblikuje kletka pri enem vrtilaju:

$$V_I = z \cdot s \cdot h_I \cdot b$$

in delo kletke pri tem:

$$W_I = M_k \cdot 2\pi = z \cdot s \cdot h_I \cdot b \cdot k_w \ln \frac{h_1}{h_2}$$

oziroma moment:

$$M_k = \frac{z \cdot s \cdot h_I \cdot b \cdot k_w \ln \frac{h_1}{h_2}}{2}$$

pri čemer so:

z — število delovnih valjev,
 s — debelina plasti, ki jo preoblikuje delovni valj,
 h_I — začetna debelina slaba,
 b — širina slaba, $b \approx b_{tr}$, b_{tr} — širina traku.

Če primerjamo planetno valjalno ogrodje z normalnimi valjalnimi ogradjami, se izkaže, da je vrtilni moment pri planetnih ogradjah razen od vrednosti odpora proti deformaciji odvisen še od mej debeline s , ki jih odreja tehnologija valjanja, tako da se moment valjanja kletke ob predpostavki konstantnega k_w spreminja še s spremembo s .

Obe meji za debelino s sta odvisni: spodnja od močne horizontalne sile, ki jo morata premagovati potisna podajna valja, medtem ko je gornja meja (s) podana s pogoji prijetanja posameznih delovnih valjev.

Če analiziramo izraz za moment kletke, dobimo pri konstantnih z , h_I , b in h_2 , da je moment sorazmeren z debelino s , ki jo preoblikuje posamezen delovni valj, in z odporom proti deformaciji k_w , torej:

$$M_k \triangleq s \cdot k_w$$

ter analogna moč, s kakršno poganjamo podporne valje oziroma kletko:

$$P \triangleq M \cdot n \triangleq s \cdot k_w \cdot n_k$$

Kletka z delovnimi valji pri planetnih ogradjah prevaja tolikšno količino valjanca, kolikršno podajata potisna valja; zato obstaja sorazmerna odvisnost tudi med vrtilno hitrostjo potisnih valjev in kletke ter debelino s , in sicer:

$$s \triangleq \frac{n_w}{n_k}$$

pri čemer sta:

n_w — vrtilna hitrost potisnih, podajnih valjev

n_k — vrtilna hitrost sinhroniziranih kletk

Pri tej sorazmernosti lahko ugotovimo tudi, da je moč pogonskega motorja proporcionalna vrtilni hitrosti podajnih valjev in odporu materiala valjanca z deformacijo.

$$P \triangleq n_w \cdot k_w$$

Iz podanih geometričnih odnosov in odvisnosti ter glede na tehnološke možnosti valjanja slabov v planetnih valjalnih ogradjah se je produkt debeline s in odpora nasproti deformaciji k_w uveljavil kot tehnološko konstruktivni in ocenitveni faktor ogrodka.

$$f_{Ik} = s \cdot k_w = \frac{2 \cdot M_k \pi}{h_I \cdot b \cdot z \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}}$$

Z upoštevanjem izkoristka pogona η_p ogrodka ter prestavnega razmerja vrtilne hitrosti v kletke in vrtilne hitrosti podpornih valjev je omenjeni faktor podan z:

$$f_{Ik} = \frac{2 \cdot M \cdot \eta_p \pi}{h_I \cdot b \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \cdot z \cdot i_{kp} \cdot i}$$

pri čemer so:

M — nazivni moment motorja za pogon podpornih valjev

η_p — izkoristek pogona. Za izvedbo Sendzimir $\eta_p = 0,5$, za Krupp-Platzerjevo izvedbo $\eta_p = 0,6$.

i_{kp} — prestavno razmerje med n_k in n_p ; $i_{kp} =$

$$= \frac{n_k}{n_p} = 2(D_I + d)$$

i — prestavno razmerje reduktorja, vključenega v pogon.

Tehnološko konstruktivni in ocenitveni faktor planetnega ogrodja lahko uporabimo, da:

— pri znani vrednosti tega faktorja in znani geometriji oziroma na obstoječem planetnem ogrodju cenimo sposobnost valjanja ogrodja za posamezne dimenzije in posamezne materiale slabov (znan je k_w),

— pri izbranih dimenzijah slabov in izbranem materialu valjanca (znan je k_w) določamo posamezne geometrične veličine planetnega ogrodja oziroma poglobitve dimenzije ogrodja.

Planetna valjalna ogrodja, ki vzlic doslej precej uspešnim rezultatom še vedno prestajajo šele razvojno dobo, pomenijo zanimivo rešitev, posebno v zvezi s kontinuirnim litjem slabov. Zamisel valjanja slaba, ki je bil pravkar ulit v napravi za kontinuirno litje, za tem narezan na ustrezajoče dolžine in prenesen skozi ogrevno peč do planetnega ogrodja, bo nedvomno narekovala površ dejanskih preskusov s postopkom še vrsto teoretičnih raziskav metalurgov in strojnikov na tem področju.

SKLEP

Vse dosedanje raziskave z valjanjem jeklenih trakov v planetnih valjalnih ogrodjih so bile večinoma praktičnega poskusnega pomena z zgrajenimi

DK 621.867.8

Ločilniki v pnevmatičnem transportu

LENKA SRŠEN

1. Uvod

Material, ki ga hočemo pnevmatično transportirati, mora biti suh, lahko tekoč, v koščkih ali pa prašnat. Transportni medij je povečini zrak, redkeje kak drug plin. Transport trdnih delcev po cevovodu omogoča energija pretoka pod vplivom aerodinamičnih sil, ki izhajajo iz medsebojnega delovanja delcev in obdajajočega jih pretoka. Na koncu transportne proge, ki jo lahko po potrebi z zaokrožitvami izvedemo kot prostorsko transportno progo, je treba material, ki ga prenašamo, ločiti od medija, ki ga prenaša. Naprave, ki ločijo transportirani material iz transportirajočega medija, imenujemo ločilnike ali separatorje.

Zrak ima v primerjavi z materialom, ki ga transportiramo, manjšo gostoto (700- do 800-krat manjšo kakor lesni ostrižki, 2500-krat manjšo kakor cement). Spričo tega je najpreprostejša gravitacijska separacija, ki temelji na tem, da trdni delci zaradi sile teže padajo iz transportirajočega zraka (sl. 1). Seveda je tak način uporaben le za lovljenje večjih trdnih delcev. Za delce v obliki prahu je treba uporabiti bolj zapletene naprave, ki izkoriščajo tudi druge fizikalne procese.

Glede na način odstranjevanja materiala iz transportirajočega zraka lahko delimo ločilnike v pet skupin (sl. 2).

Kadar izbiramo lovilno napravo za prah, moramo upoštevati količino in stanje očiščenega plina (temperaturo, vlažnost), vrsto prahu (predvsem razsipanost), začetno in preostalo zapašenost in tehnično-ekonomsko razmere. Higijenskega pomena je predvsem preostala zapašenost. Zaradi tega ločilnikov ne izbiramo po izkoristku η , ki je enak razmerju med težo ulovljenega prahu in težo prahu, ki vstopa v ločilnik,

$$\eta = \frac{G_{ul}}{G_{vst}} = \frac{G_{vst} - G_{ost}}{G_{vst}} = 1 - \frac{G_{ost}}{G_{vst}}$$

G_{vst} ... teža prahu, ki vstopa v ločilnik

G_{ul} ... teža ulovljenega prahu v ločilniku

G_{ost} ... teža preostalega prahu, ki izstopa iz ločilnika,

ogrodji, dobljeni rezultati preskusov in geometrija ogrodja pa naj bi pomagali priti do ocen, ki so prvenstveno tehnološke narave. Skorajšnja narava teh ogrodij in njihovo izpopolnjevanje, da bodo lahko z uspehom konkurirala modernim avtomatičnim kontinuirnim progam za toplo valjanje jeklenih trakov, pa bo morala sloneti na temeljitejših teoretičnih raziskavah predvsem glede plastičnega preoblikovanja materiala.

LITERATURA:

C. Baker: The planetary Mill Role in the Steel Industry Iron and Steel Engineer. Nov. 1965.

C. W. Starling: Theory and practice of flat rolling. Sheet metal industries. Apr. 1961.

R. Girard: Le laminoir planétaire Sendzimir. La technique moderne. Février 1962.

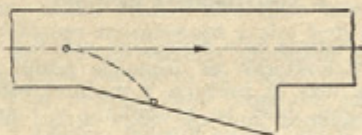
T. Sendzimir: Rolling. Light metals and Metal industry. January 1965.

A. Geleji: Walzwerks- und Schmiedemaschinen. VEB Verlag Technik. Berlin 1961.

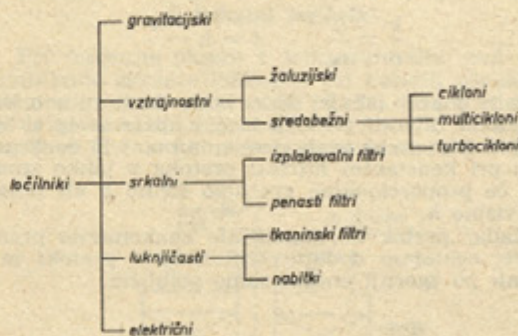
Aggermann - Bellenberg: Beurteilung von Planetenwalzwerken.

Stahl und Eisen: Nr. 21 Okt. 1966.

Avtor: dipl. ing. Vinko Čizman, viš. predavatelj na montanističnem oddelku FNT Univerze v Ljubljani



Slika 1



Slika 2

temveč po preostalem prahu G_{ost} (sl. 3). To si pojasnimo takole: če ima prvi ločilnik izkoristek $\eta_1 = 0,90$, drugi pa $\eta_2 = 0,95$, drugi ni boljši od prvega za $95 - 90 = 5\%$, temveč za

$$\frac{1 - 0,9}{1 - 0,95} = 2\text{-krat}$$

Po navadi nameščamo dva ločilnika zapovrstjo. Prvi loči transportirani material iz transportnega medija, drugi t. i. filter pa medij dokončno očiščuje tudi najfinejšega prahu, preden spuščamo zrak v atmosfero oz. skozi črpalko pri sesalni pnevmatični transportni napravi.

Poljuben ločilnik je lahko montiran v sesalni ali tlačni smeri transportne proge; pri tem je treba paziti,