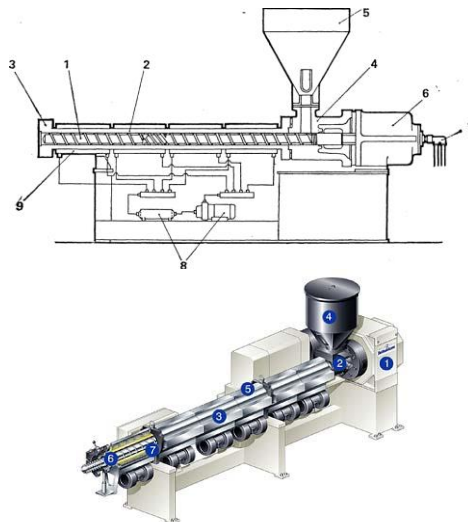


1. EKSTRUZIJA

Ekstrudiranje je kontinualan postupak prerade plastičnih masa. Ovim postupkom plastična masa, kao polazna sirovina, u prahu ili što je najčešće u granulatu raznih oblika ubacuje se putem levka u cilindar mašine u kojoj je smešten jedan ili više puževa koji plastičnu masu transportuju, a pod uticajem dovedene toplote prevode je u tečno stanje. Dejstvom pogona za obrtanje puža kao i savlađivanjem otpora koji nastaju transportovanjem rastopljene plastične mase, kroz otvore između puža i cilindra masa se plastificira, homogenizuje i na kraju u alatu mašine formira se u željeni oblik.

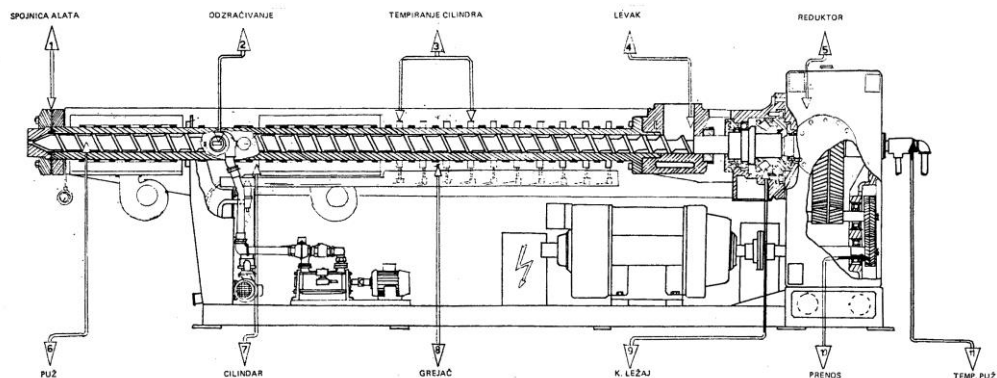
Ova mašina u kojoj se odvija pomenuti proces prerade plastike zove se ekstruder.



Sl. 1 — Skica jednopužnog ekstrudera (Bone). 1) puž, 2) cilindar, 3) spojnica za spajanje sa alatom, 4) vodeno hlađena ulazna zona, 5) Levak za doziranje sirovina, 6) pogon ekstrudera, 7) temperiranje puža, 8) sistem za hlađenje i temperiranje cilindra, 9) grejni elementi za grejanje cilindra

1.1. OSNOVNI ELEMENTI EKSTRUDERA

Danas najčešće se koristi tip jednopužnog ekstrudera u industriji plastike. Na sl. 1 i u prilogu šematski je prikazan jednopužni ekstruder, sa svojim osnovnim elementima. U svom najjednostavnijem obliku ekstruder se sastoji iz levka, otvora za doziranje sirovine (4), cilindra (7) u kom se kreće istopljena masa i u kome je smešten puž (6), koji ima zadatak da transportuje masu duž cilindra do otvora (1) na koji se postavlja alat za dobijanje željenog proizvoda. Za pogon koristi se motor koji preko sistema prenosnika (10) i reduktora (5) vrši obrtanje puža (6). Za grejanje cilindra koriste se električni grejači (8), dok za temperiranje i hlađenje koristi se sistem cirkulacije vode ili vazduh (3). Pri preradi nekih tipova termoplasta koristi se sistem za degazaciju i izvlačenje vlage pomoću vakuuma (2), dok se za ispravan rad puža, naročito dela koji se spaja sa reduktorom, koriste specijalni ležaji (9), radi sprečavanja eventualnih vibracija, a vrši se i temperiranje i hlađenje tog dela puža (11). Kod dvopužnog i ostalih tipova ekstrudera svi navedeni elementi su isti ili s istim funkcijama, razlike su samo u transportu istopljene mase.



Sl. 2 — Cilindar ekstrudera sa grejačima

1.2. CILINDAR EKSTRUDERA

Cilindar i puž ekstrudera čine najvažnije elemente mašine. U najopštijem, puž i cilindar treba da transportuju granulat ili prah polimera, da ga tope i izbacuju pri konstantnom pritisku i temperaturi. Da bi se postiglo topljenje mase, cilindar ekstrudera se zagreva spolja, a ta toplota uvodi se na unutrašnji zid cilindra.

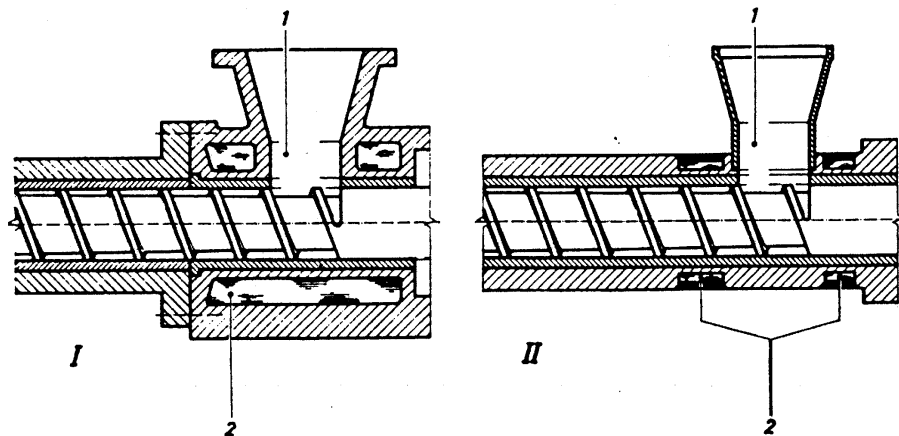


Hoće li cilindar obavljati funkciju transporta čvrstih čestica u tačno potrebnoj količini, zavisi od ravnoteže sila trenja, koje deluju na materijal (vidi teoriju ekstrudiranja).

Temperaturu cilindra od dozera do alata treba regulisati u zavisnosti od toplotnih osobina materijala koji se prerađuje. Svaki materijal ima svoj određeni temperaturni program, koji se reguliše grejanjem- temperaturom cilindra. Takođe i finalni proizvod ima uticaja na temperaturu cilindra.

U cilju bolje regulacije cilindra, od levka za doziranje do mesta izlaska mase cilindar je podeljen u 3—6 zona grejanja. Zagrevanje električnom energijom svakoj zoni odgovara regulator temperature (vidi odeljak regulacija temperature). Pored zagrevanja, cilindar se, istovremeno, hladi vodom ili vazduhom radi odvođenja suviše toplote. (Na sl. 2 vidi se cilindar sa grejačima i levkom za doziranje).

Deo cilindra u kome se nalazi otvor za ubacivanje materijala mora se efikasno hladiti, da bi se sprečilo topljenje materijala na samom ulazu, koje bi izazvalo pad pritiska u cilindru, odnosno slab transport materijala kroz cilindar, kao i sprečavanje prenosa toplote na ležaje. Hlađenje ove zone na ulazu vrši se pomoću vode koja cirkuliše van ostalog sistema hlađenja cilindra. Za nju se gotovo uvek dovodi sveža hladna voda, kako bi ulazna temperatura u ovoj zoni, bila dovoljno niska.



Sl. 3 — Detalj hlađenja ulazne zone ekstrudera: I hlađenje dvostrukim plaštom, II hlađenje cevima vodom, 1) levak za doziranje, 2) komora za hlađenje

Sa druge strane, na samom kraju cilindra, između alata i kraja puža postavlja se perforirana ploča, sa velikim brojem otvora, čiji je prečnik 2—10 mm. Prema centru rupe su manje, a pri krajevima veće kako bi se omogućilo bolje strujanje mase (sl. 6). Na ovu ploču stavljaju se filtri, koji štite proizvod od nečistoće i intenziviraju mešanje mase pre ulaska u kalup.

U zidovima cilindra postoji kretanje toplote i u uzdužnom i u poprečnom pravcu. U uzdužnom pravcu od alata ka dozeru, u poprečnom pravcu od grejnog tela ka materijalu. Iz ovog proizilazi, ukoliko cilindar ima veću debljinu utoliko je manja razlika u temperaturi na pojedinim mestima cilindra. To znači, kod debelih zidova cilindra, bez obzira na temperaturne zone, ne mogu se osigurati veće razlike u odnosu na temperature pojedinih zona. Iz ovog proizilazi da na debljinu zidova cilindra nema uticaj samo faktor čvrstoće, nego utiču i toplotni elementi materijala za ekstrudiranje.

ELEMENTI PUŽA EKSTRUDERA ZA PRERADU TERMOPLASTA (prema slici 7)

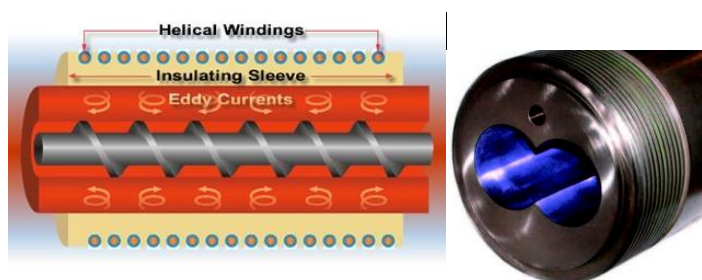
Tabela 1

	D	L	L1	L2	L3		h3	h1	e
1. Poliamid	120	2.300	1.710	110	480	114	3,2	16,5	12,5
2. Polistirol SAN,SB i ABS	120	2.300	685	450	985	114	3,5	15,0	12,5
3. Polikarbonat	90	2.250	630	630	990	114	3,0	17,2	13,1
4. Poliacetoli	120	2.300	-	2.300	-	114	3,2	15,2	12,7
5. Polietilen* (m.g.)	120	2.300	910	450	940	114	3,8	16,5	12,7
6. Polipropilen	120	2.300	840	480	1.080	114	3,7	16,0	12,7
7. Polietilen* (v.g.)	120	2.300	570	1.140	590	114	3,2	15,2	12,5
8. PVC tvrdi	120	2.300	340	1.950	-	114	5,0	15,3	12,5
9. PVC meki	120	2.300	910	870	520	114	3,9	16,5	12,7

* male gustine

** velike gustine

Cilindar je izrađen od specijalnih čelika, a u otvor cilindra ubacuje se košuljica, centrifugiranjem, od Cr Ni Co legure otporne na habanje i koroziju (vidi sl. 4). Kao što se vidi na slici 2 cilindar je, u svom izlaznom delu, napravljen tako da se na njega mogu montirati potrebni alati, koji daju oblik krajnjeg proizvoda.



Sl. 4 — Presek cilindra jednopužnog ekstrudera, presek cilindra dvopužnog ekstrudera

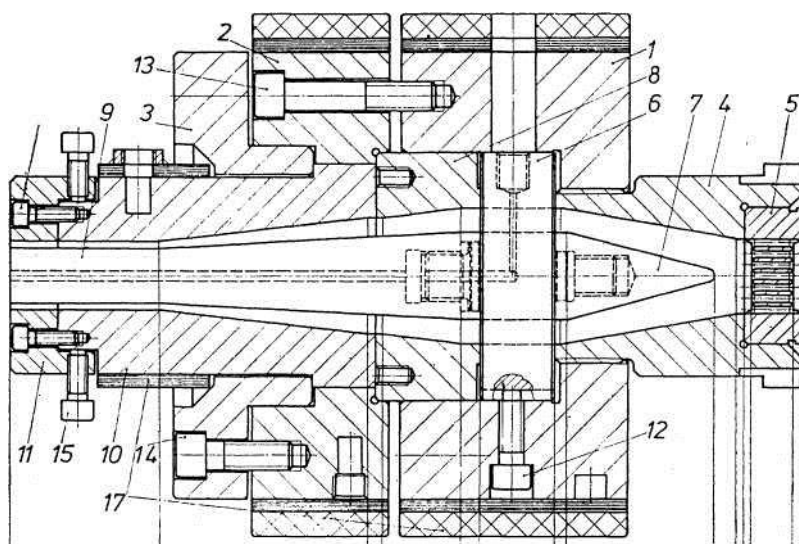
1.3. ALAT EKSTRUDERA

Alat je smešten na samom izlaznom delu ekstrudera (sl. 5) i koncipiran je tako da je osigurano lako montiranje i demontiranje. Alat se greje električnom strujom, a temperatura alata zavisi od vrste materijala i proizvoda i obično je nešto viša od temperature cilindra.



Sl. 5 — Jednopužni ekstruder sa krstastom glavom za oblaganje žice vazdušno hlađen (Troester)

Razlikujemo dve vrste konstrukcije alata, tzv. pravu i poprečnu. U oba slučaja je potrebno osigurati laminarno kretanje materijala između cilindra i alata. Mora se onemogućiti pojava mrtvog prostora, jer materijal, koji ostane u mrtvom prostoru pod uticajem dužeg delovanja toplote počne da se raspada.



Sl. 6— Šema alata za proizvodnju cevi: 1) nosač prednji, 2) centralni deo, 3) prsten za pritezanje, 4) nosač ploče, 5) ploča, 6) nosač trna, 7) usmerivač, 9) trn, 10) prsten otvora cevi, 12—16) imbus vijci, 17) grejači

Materijal od koga je alat napravljen je čelik visoke tvrdoće (Č. 3840, Č. 4150, Č. 4650) ili za korozivne materijale (PVC) čelici otporni na koroziju (Č. 4173, Č. 4771). Osnovni elementi alata dati su na sl. 6. Za konstrukciju alata, u principu, ne postoje neke egzaktne metode. Uglavnom, konstrukcija alata je vezana za krajnji proizvod, ređe za materijal. Takođe, važan faktor je veličina ekstrudera, koji može da daje proizvode samo u određenim granicama (vidi tablicu fleksibilnost opreme). Inače, svi podaci vezani za izradu alata su, uglavnom, empirijske prirode.

Jedna veličina koja se koristi pri izradi alata ekstrudera je odnos dužine vođenja mase u alatu (l) i debljine gotovog proizvoda (f), ($LL = \frac{l}{f}$)

Povećanjem dužine vođice alata povećava se i otpor materijala u alatu. Pošto otpor materijala zavisi od viskoziteta, potrebno je za različite materijale da odnos dužine i presek alata bude različit. Ovaj odnos (LL) kreće se kod mekanog PVC-a 6—8, kod polistirola 16—20, kod polietilena 14—16.

ODNOS DUŽINE I PRESEKA ALATA

Tabela 2

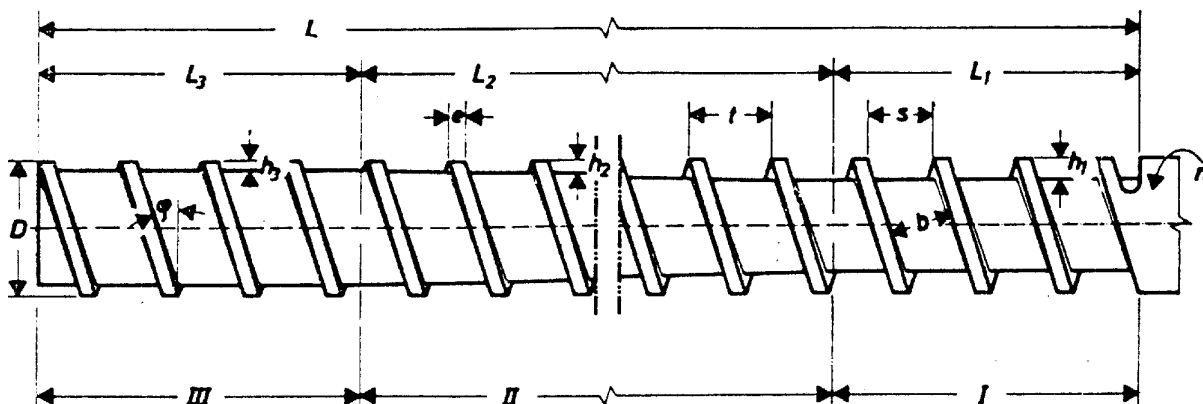
MATERIJAL	LL
ABS	6-10:1
Acetat celulozni	6-8:1
PVC meki	14-16:1
Polistirol (ojačan)	6-8:1
Polietilen (m.g)	14-16:1
Polietilen (v.g)	5-10:1
Polipropilen	6-10:1
Poliamid	5-10:1

Ako se proizvodi traka sa nejednakom debljinom, onda je potrebno osigurati kod različitih preseka jednak otpor. Ovome odgovarajuće, kod debljih preseka, potreban je i duži vod alata, jer će, inače, ekstrudirani materijal izlaziti na širem otvoru sa manjim otporom. Kod proizvodnje predmeta sa četvorouglastim i T preseccima, potrebno je dimenzije alata, u odnosu na debljinu i dužinu, tako praviti da odudaraju od željenog gotovog predmeta. U ovom slučaju, alatu dajemo manje dimenzije u odnosu na debljinu, a veće u odnosu na širinu (u zavisnosti od materijala za ekstrudiranje), nego što su dimenzije gotovog proizvoda. Kod proizvodnje većih cevi treba misliti i na mogućnosti usisavanja vazduha.

O alatima za razne proizvode i materijale detaljno je objašnjeno u tehnološkom delu.

1.4 PUŽ EKSTRUDERA (PUŽNI VIJAK)

Od svih delova ekstrudera, koji u manjoj ili većoj meri imaju uticaj na rad ekstrudera, puž je najznačajniji. Oblik, dimenzije i materijal od koga je izrađen su u funkciji materijala koji se prerađuje, proizvoda, alata itd. Iz ovog proizlazi da nema univerzalnog puža i da svaki materijal koji se prerađuje zavisi od njegove tvrdoće, temperature, tečenja, koeficijenta trenja, viskoziteta, specifične toplote, koeficijenta linearnog širenja, korozivnog dejstva i drugih osobina materijala.

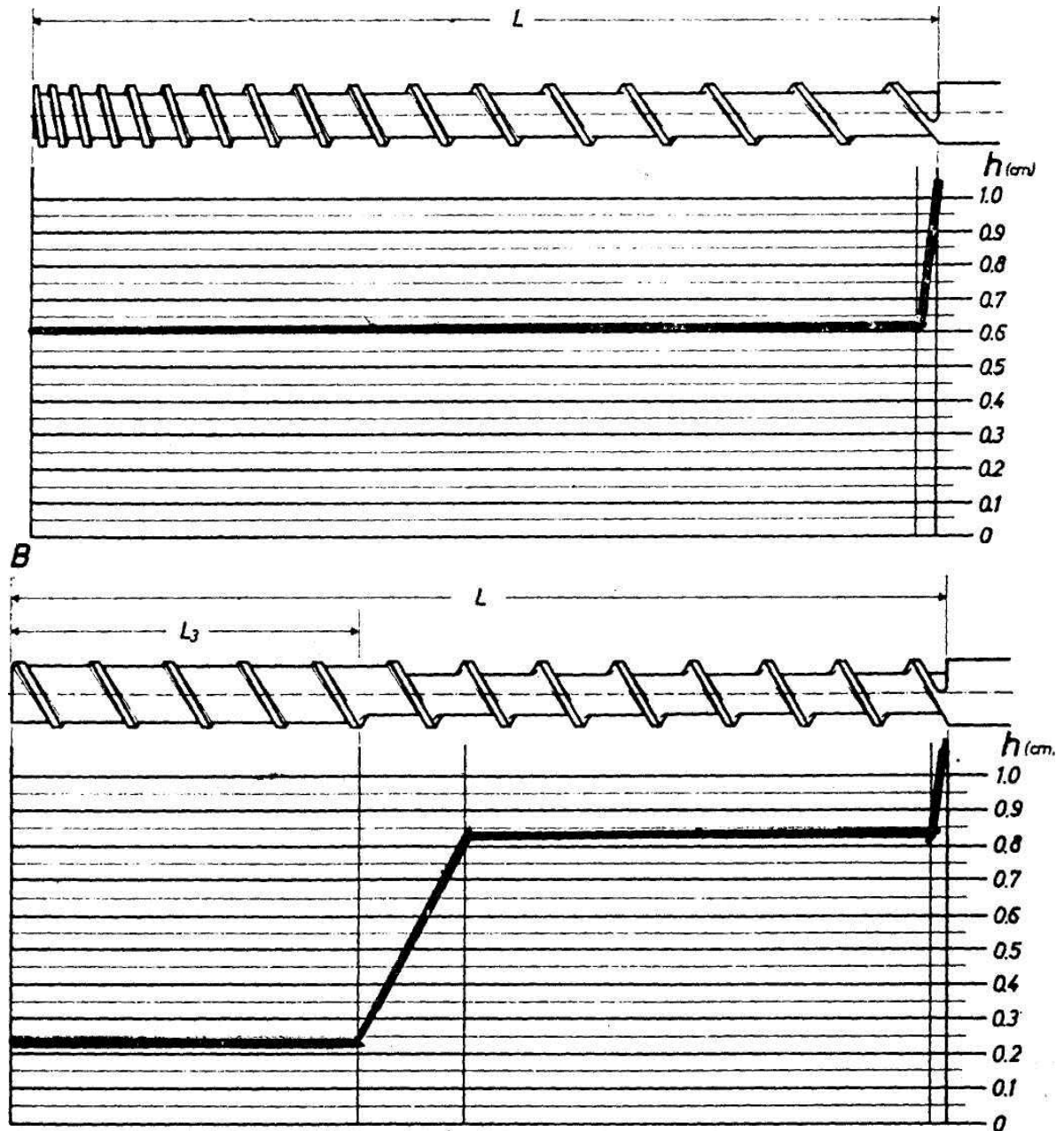


Sl. 7 — Elementi puža ekstrudera: *d*) promer puža, *e*) širina zuba, *h*) dubina hoda, *h*₁, *h*₂ i *h*₃ — dubina hoda u zonama I, II i III; *b*) širina hoda okomito na zub, *s*) širina hoda paralelno sa zubom, *t*) uspon navoja, *φ*) ugao uspona, *n*) broj okretaja puža u minuti; I zona ulazna, II zona topljenja mase (plastifikiranja), III zona istiskivanja

Radi lakšeg razmatranja, na sl. 7, dati su osnovni elementi puža ekstrudera. Najopštija podela puža može se svesti u tri dela, deo I — ulazna zona, deo II — zona plastifikacije, deo III — zona istiskivanja (metering zona).

Ukoliko zona prvenstveno ima ulogu da materijal transportuje do zone plastifikacije, u ulaznoj zoni materijal mora postepeno da se rastopi, kako ne bi došlo do pada pritiska, a zbog toga je ona slabije i grejana od ostalih.

Druga zona je zona plastifikacije, ona ima zadatak da materijal pretvori u viskoznu rastopinu i da je u kompaktnom stanju, bez sadržine vazduha, preda sledećoj zoni. Kod mnogih konstrukcija ova zona ima progresivnu jezgra puža od promera koji odgovara sledećoj zoni, tj. zoni istiskivanja. Na taj način volumen hoda smanjuje se, tj. materijal se komprimira. Ovo komprimiranje omogućuje da se uključeni vazduh, i eventualno isparena para, potisnu i da prelaz toplote na plastičnu masu bude bolji. Kompresioni odnos puža unutar kompresione zone zavisi od volumne težine, odnosno forme materijala koji se prerađuje i od nastalog povratnog pritiska na kraju puža. Kompresija se postiže na taj način što se promer jezgra puža povećava, te na taj način kompresija se postepeno raspodeljuje na duže područje (sl. 8). Kod puževa sa kratkom kompresionom zonom — samo deo puža ima progresivno jezgro. U tom slučaju obično se kompresioni deo nalazi pri kraju puža, što znači da je materijal plastificiran pre nego što je stigao do kompresione zone. Kompresija može da se postigne i promenom ugla uspona uz konstantni promer jezgra puža. Međutim, ovo je najkomplicovaniji način, pa se izbegava.

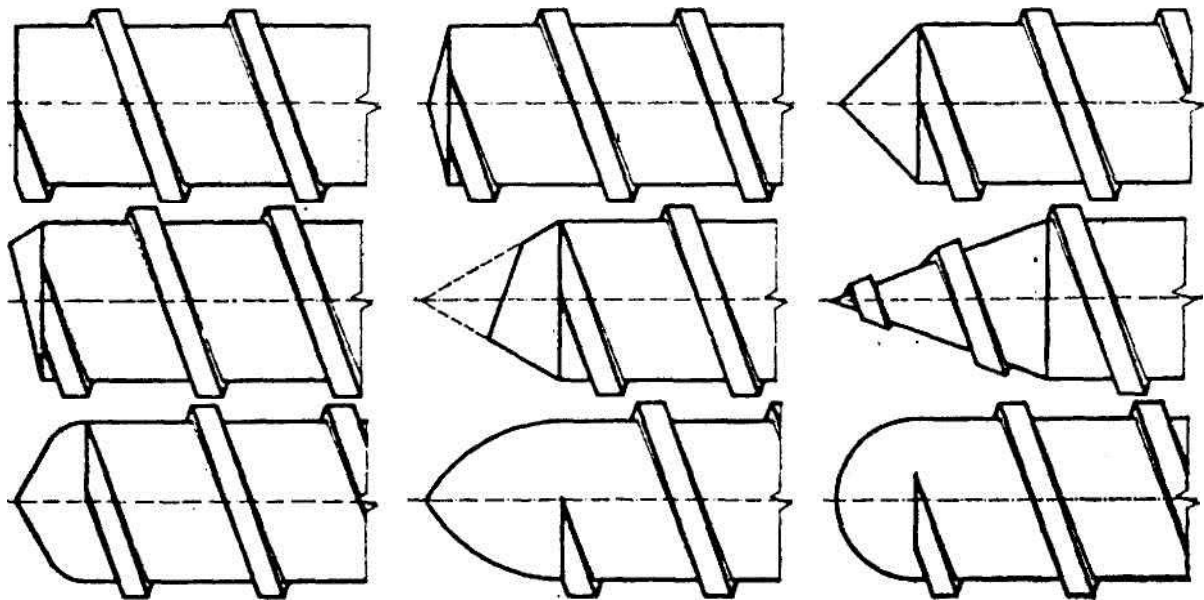


Sl. 8 — Dubine hoda puževa, a) sa konstantnim promerom jezgra, b) sa pužom kratke kompresije

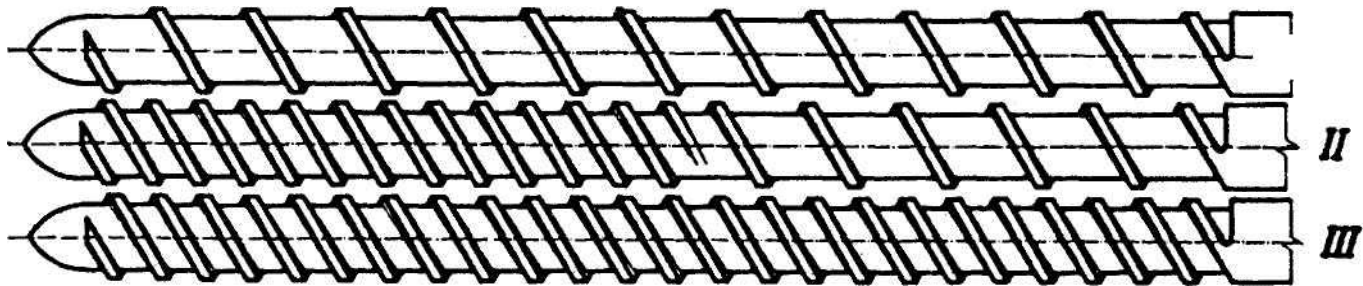
Treća zona puža zove se zona istiskivanja. Ona ima funkciju da rastopinu u konstantno homogenoj struji i uz konstantan pritisak istisne kroz alat. Dužina ove zone varira, naročito po konceptima u novije vreme od 6—12 D. Unutar zone istiskivanja dubina hoda je u funkciji viskoziteta mase koji se prerađuje, pa je, uglavnom, konstantna. U zavisnosti od materijala koji se prerađuje, oblik vrha puža je veoma različit, (sl. 8) i on mnogo utiče na kapacitet mašine. Tupi puževi I, II, IV (sl. 9) stvaraju prazan prostor neposredno pre izlaska mase iz cilindra, pa se njegova upotreba preporučuje za viskoznije mase, ali uz obaveznu upotrebu ploča sa filterima (sitima).

Puž u cilindru je veoma tesno postavljen u zazor koji čine zub puža i unutrašnji zid cilindra, koji iznosi 0,80—0,6 mm zavisno od promera cilindra.

Veći zazor signalizira da je cilindar ili puž istrošen i da ih treba menjati, u protivnom izazvaće pad kapaciteta i porast toplote mase. Prema svojoj konstrukciji, puž može da bude jednorodan, višerodan ili kombinovan (slika 10). Na slici se vidi da višerodni puž ima manji volumen hoda ali razvučeniju površinu dodira sa materijalom. Jednorodan puž najviše se upotrebljava pri preradi praha i granulata.



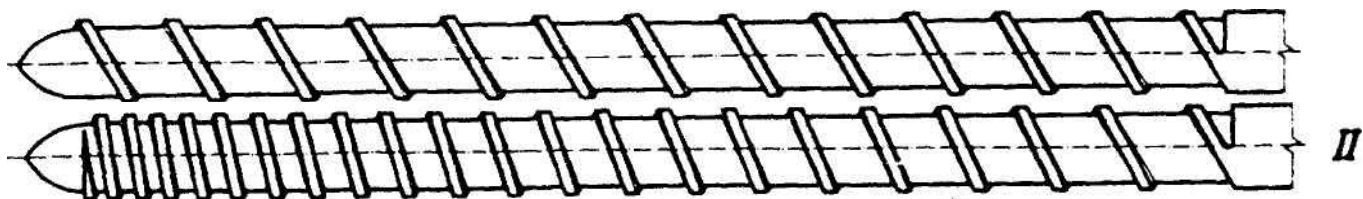
Sl. 9 — Razni oblici vrha puža



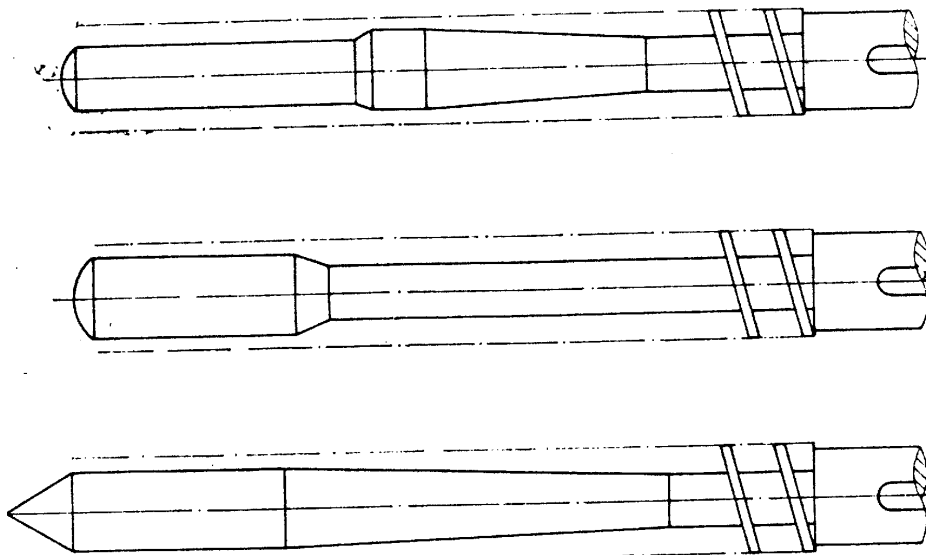
Sl. 10 — Tipovi puževa: I jednorodni, II u ulaznoj zoni jednorodni a zatim dvohodni, III dvohodni

Važna karakteristika puža je ugao uspona. Puževi sa jednakim usponom preko celog puža imaju širinu hoda $0,8$ do $1,8 D$. Kod puževa, usponom koji se smanjuje, može odnos reduciranja širine hoda od $2,1 D$ da siđe na $0,8 D$ ili još niže. Funkcionalno, ovakav puž ima prednost utoliko što se kod njega povećava moć uvlačenja materijala u zoni prvih navoja (sl. 11).

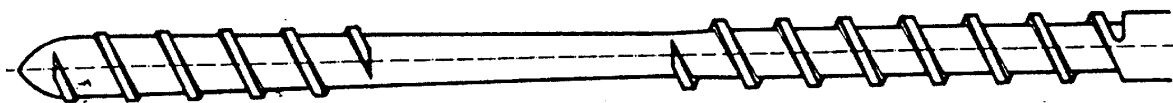
U težnji da se postigne što veći kapacitet, uz manji utrošak energije, mnogi proizvođači opreme se trude da proizvedu što optimalnije tipove puževa, za razne tipove materijala i razne proizvode. Tako (sl.12) prikazan je koncept puževa za foliju iz polietilena, na (sl.13) prikazan puž za poliamid.



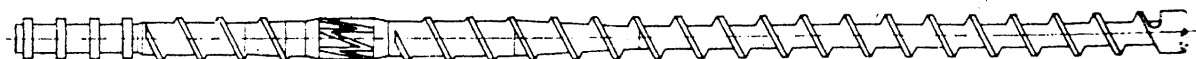
Sl. 11 — Puževi sa raznim usponima: I sa jednakim usponom, II sa usponom koji se smanjuje



Sl. 12 — Skica tri tipa puža za duvanu foliju iz PP i PE (m.g.)



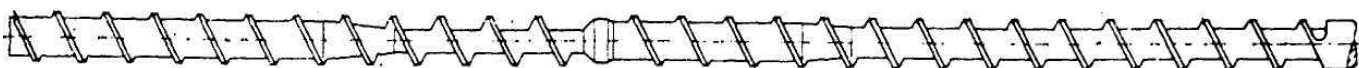
Sl. 13 — Puž za preradu poliamida



Sl. 14 — Trozonski puž za preradu PE (m.g.) i (PP) (Reifenhauser)



Sl. 15 — Trozonski puž za preradu PE (m.g.), PVC mekog, i PS (Reifenhauser)



Sl. 16 — Četvorozonski puž za preradu ABS, SAN, PS, SB (Reifenhauser)

Na sl. 14 prikazan je trozonski puž u novoj koncepciji sa uvlačnom zonom (o tome kasnije više) za PP i Pe, a na sl. 15 i 16 prikazane su, takođe, dve verzije puževa za PS, ABS, meki PVC i polietilen (m.g.).

1.5. ADIJABATSKI EKSTRUDER

Princip rada adijabatskih ekstrudera počiva na direktnom pretvaranju mehaničke pogonske energije u toplotu topljenja mase, energiju homogenizacije, plastifikacije i stvaranje pritiska.

U poređenju sa politropnim ekstruderima adijabatski su kratkih cilindra, odnos $L/D = 10-12$, dubine hoda u izlaznoj zoni su male, dok brojevi obrtaja puža su znatno veći nego kod politropnih mašina.

Termička energija koju stvaraju grejna tela cilindra u toku rada ekstrudera je mala. Pri većem broju obrtaja puža i prilikom istiskivanja polimera cilindar se hladi vazduhom i ekstruder postaje autoterman.

Glavne razlike između jednog adijabatskog ekstrudera i politropnog su sledeće:

- Brzine tečenja polimera u hodu puža su veće zbog većeg broja obrtaja puža i manje dubine hoda.
- Vreme zadržavanja polimera u zoni plastifikacije je veoma kratko.
- Termodinamički koeficijent korisnog dejstva autotermnog ekstrudera je veći.
- Direktno pretvaranje mehaničke energije u toplotu stvara povoljan energetski bilans.
- Obrtni moment kod autotermnih ekstrudera je manji.

Najvažniji element ove mašine je puž, koji radi na principu trozonskog puža. Specifičnosti puža autotermnog ekstrudera su u uvlačnoj zoni koja omogućuje pravilan transport materijala i stvaranje pritiska. Ovako oformljen pritisak odmah na početku puža, uslovljava da protivpritisak vrlo malo ima uticaja na kapacitet protoka mase. Topljenje i predplastifikacija obavljaju se u drugoj zoni.

Novi koncept je i glava za sečenje i mešanje u trećoj zoni, koja utiče zajedno sa gornjim elementima da vreme zadržavanja mase u ekstruderu bude što kraće. Temperiranje cilindra obavlja se pomoću jedne grejne čaure, a za regulaciju cele mašine koristi se samo jedan termoregulator. Obrtni momenat puža je zbog velikog broja obrtaja niži od standardnog, pa zbog toga i ne zahteva snažno ležište osovina.

1.5.1. KAPACITET ADIJABATSKOG EKSTRUDERA

Ovaj koncept ekstrudera je po nekim autorima, u razvoju i ekstruder budućnosti.

Najznačajnije osobine adijabatskog ekstrudera su veliki kapacitet plastifikacije u odnosu na prečnik i dužinu puža. Troškovi investiranja u ovaj ekstruder su neuporedivo niži od troškova politropnog ekstrudera.

Dosadašnji razvoj ovih ekstrudera je razvio ekstrudere prečnika do 65 mm. U donjoj tabeli daćemo pregled uporednih svojstava politropnog i adijabatskog ekstrudera.

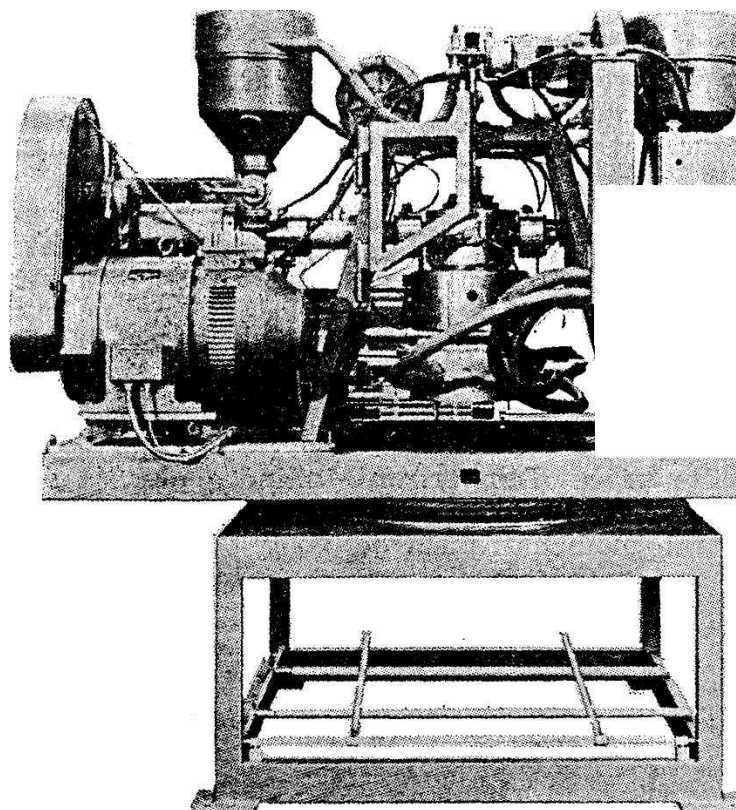
Tabela 3

Osobine	Politropni ekstruder	Autotermni ekstruder
Prečnik (mm)	50	50
L/D	22-25	10-12
Puž min. ⁻¹	6-120	250-600
Pogonska snaga kW	25-30	30
Kapacitet PE (m.g.) (kg/h)	60-80	140-160

1.5.2. PRIMENA

Većina adijabatskih ekstrudera najčešće se koristi za proizvodnju duvanih folija od PE (m.g. i v.g.) PP, PS, PA itd.

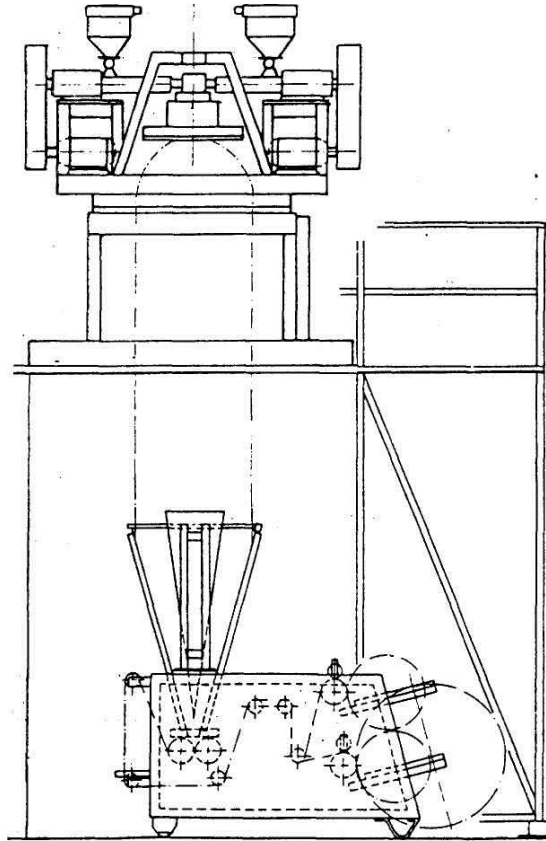
Zbog svojih malih dimenzija i racionalizacije energije i prostora duvane folije, po adijabatskom postupku rade na tzv. obrtnim mašinama.



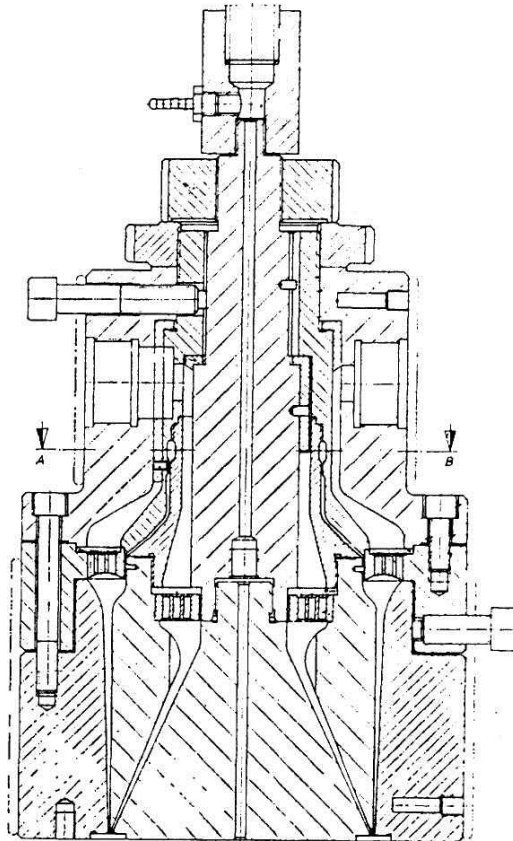
Sl. 17 — Dvojni adijabatski ekstruder za proizvodnju duvane folije s dva ekstrudera i alatom koji se obrće (Kiefel)

Na sl. 17 je prikazan jedan takav obrtni ekstruder. On se sastoji od obrtnog stola koji je montiran na osnovnom ramu i sadrži ekstruder sa pogonskim motorom i levkom za doziranje. Ostali uređaji za vučenje i namotavanje su identični kao i kod proizvodnje standardne folije.

Linije za autotermni ekstruder su našle primenu i u proizvodnji folija koekstruzijom. Koekstruziona linija za duvanu foliju sastoji se od dva autotermna ekstrudera (vidi sl. 18 i 19) i specijalnog alata za formiranje folije. Obično rade u sprezi 2 ekstrudera od po 35 ili 50 mm prečnika puža.



Sl. 18 — Skica dvojnog adijabatskog ekstrudera u procesu proizvodnje folije duvanjem na dole (Kiefel)



Sl. 19 — Skica alata za proizvodnju folije pomoću dvojnog adijabatskog ekstrudera (Kiefel)

Kombinacije polimera su sledeće:

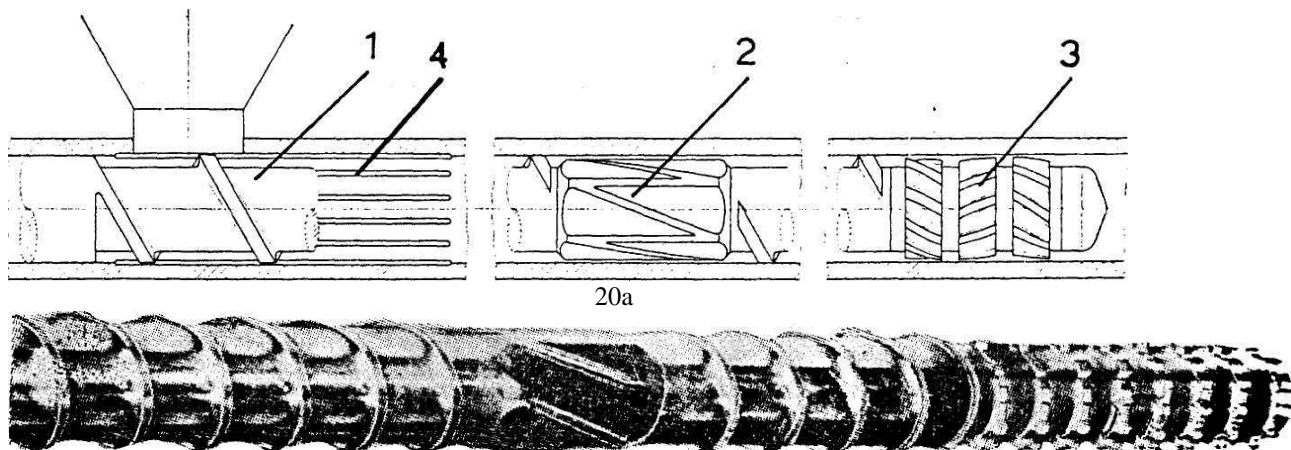
- PE (m.g.) PE (v.g.)
- PE (m.g.) ekspanzirani PE (m.g.)
- PE (m.g.) PP
- PE (m.g.) PA
- Jedna od čestih primena ovih ekstrudera je regeneracija plastičnih otpadaka.

1.6. NOVE KONSTRUKCIJE PUŽEVA EKSTRUDERA

1.6.1. PUŽ EKSTRUDERA S NOVOM KONSTRUKCIJOM ULAZNE ZONE

Firme KAUTEX I BASF, u razvoju nove konstrukcije puža, pošle su od ideje da ulazna zona treba da bude nezavisna od pumpnog delovanja izlazne zone.

Osnova ove konstrukcije sastoji se u dobrom uvlačenju čvrstog materijala, što se postiže uvlačenjem čaure, koja je ožljebljena i vodom hlađena (sl. 20), u cilindar ulazne zone.



Sl. 20 a i b — Višestepeni puž sa uvlačnom zonom koja se hladi: 1) ulazna zona, 2) zona homogenizacije i »rezanja mase«, 3) zona izbacivanja ili izlazna zona, 4) hlađenje ulazne zone cilindra. (Reifenhauser)

Intenzivno hlađenje cilindra sprečava prevremeno plastificiranje materijala. Na taj način sprečava se da materijal rotira, i usmerava se u aksijalnoj struji cilindra, čime se umanjuje značaj protivpritisaka izlazne zone. Ovim se dobija da izlazni kapacitet mašine za oko 70 do 200% bude veći od konvencionalnog. Međutim, zbog povećanog opterećenja ulazne zone, obrtni momenat, sa ovom konstrukcijom je za oko 10—30% veći, a time je veći i utrošak energije. Konstruktori ovo moraju imati u vidu pri projektovanju aksijalnog ležišta. Ipak, računice su pokazale da ova konstrukcija ima veoma mnogo opravdanja za ekstrudere većih prečnika od 90 mm.

Osim kod uvlačne zone, po ovoj konstrukciji, uveden je novi elemenat mešanja i rezanja mase i u zonu plastificiranja. Njime se postiže da materijal u zoni ima veći efekat mešanja mase, pri manjem broju obrtaja puža, nego kod konvencionalnog ekstrudera. Što praktično znači da za isti efekat mešanja klasični puž morao je da zadržava masu duže u cilindru ekstrudera pod uslovom istih brzina.

1.8. SPECIJALNI EKSTRUDERI

1.8.1. TANDEM EKSTRUDERI

Jedan od tipova ekstrudera, koji se zadnjih godina pojavio, je takozvani tandem ekstruder, koji u stvari, sadrži dva odvojena jednopužna ekstrudera i glavu za mešanje, adapter koji se nalazi između prvog i drugog ekstrudera (sl. 23 i 24).



Sl. 24 — Ekstruder u tandem sprezi sa alatima za izradu cevi i ploča(Kaufman)

Svaki od ekstrudera ima odvojen pogon i različitu brzinu puža. Funkcija prvog ekstrudera je da pravilno transportuje ulaznu sirovinu i otopi uz potrebnu temperaturu, a drugi ekstruder preuzima ulogu da plastificira masu i izvlači je kroz alat napolje. Degazacija ili odsisavanje vrši se u drugom ekstruderu, što ima značaja, jer ne dolazi do pada pritiska i remećenja sistema transporta mase, kao kod standardnog jednopužnog ekstrudera.

U poređenju sa standardnim, jednopužnim ekstruderima može se konstatovati sledeće:

a. tandem ekstruder ima izvesnih prednosti u smislu boljeregulacije protoka mase zbog manjeg uticaja degazacije;

b. odvojeni sistem topljenja mase od zone izvlačenja uslovljava dobru homogenizaciju, nezavisnu od temperature, što nije uvek slučaj kod jednopužnog ekstrudera;

c. odvojeni sistem topljenja u prvom ekstruderu sprečava čestu pojavu nekontrolisanog porasta temperature u konvencionalnom ekstruderu, a time sprečava i degradaciju mase.

Po ovom principu danas se proizvode tandem ekstruderi, čiji je promer puževa 50, 65, 90, 120, 150 i 200 mm. Odnos L/D 10 + 14. Kapacitet ovih tipova ekstrudera je na nivou klasičnog ekstrudera, ali utrošci energije po kg su niži.

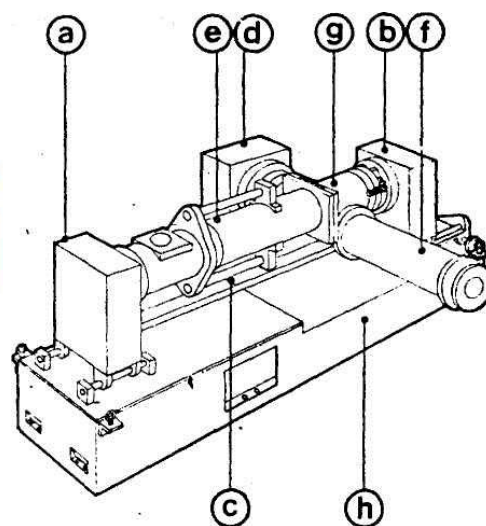
Ovi ekstruderi se koriste, uglavnom, u istoj primeni kao i jednopužni ekstruderi, u nekim zemljama se rade i specijalni tipovi ovih ekstrudera za proizvodnju ekspanziranih materijala.

1.8.2. L EKSTRUDER

Jedna varijanta principa tandem ekstruzije je tzv. L ekstruder koji za razliku od tandem ekstrudera u prvom stupnju ima dvopužni ekstruder čiji odnos L/D iznosi 13, a u idrugom stepenu ima jednopužni ekstruder sa odnosom L/D 10. (Sl. 25). Ostale osobine su im manje više iste.

Uobičajene dimenzije L ekstrudera

90 i 120 mm	I stepen
130 i 150 mm	II stepen

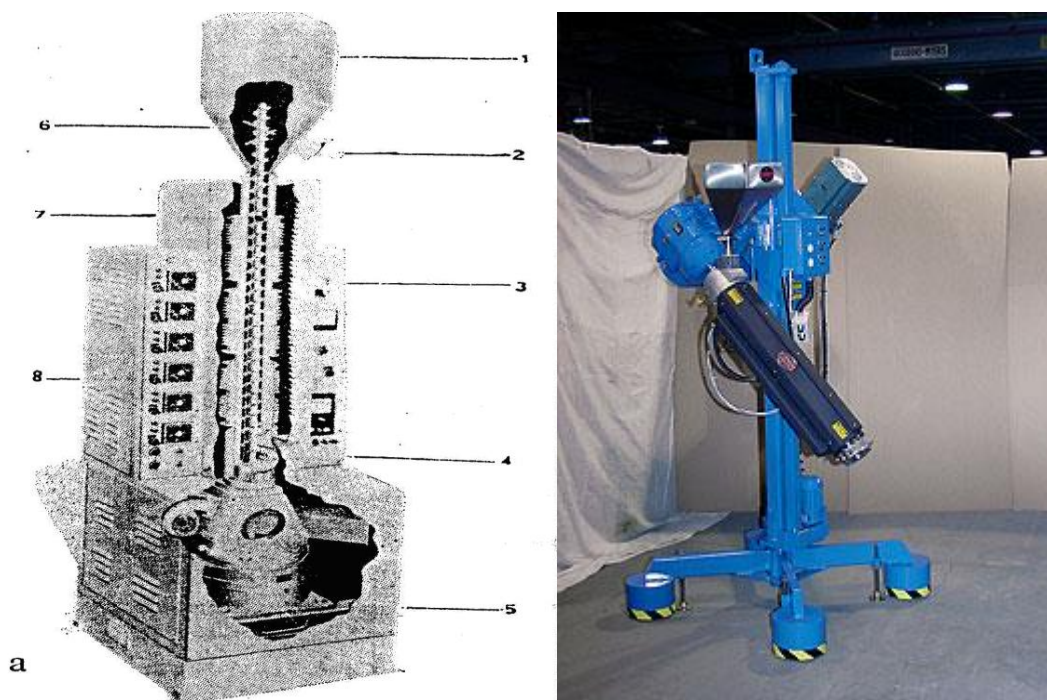


Sl. 25 — »L« ekstruder: a i b) skica L ekstrudera (Andouart) A) pogonski motor, B) temperiranje puža, C) grejači, E i D) adapteri, F) sistem za podmazivanje, G) pogonski motor, a, b) reduktori, c, d) transmisija i reduktor, e) cilindar, prvi stepen, f) cilindar, drugi stepen, g) spojnica, h) osnovna ploča

L ekstruder pogodan je za rad u kablovskoj industriji za oplaštanje žice, ali može se koristiti i za drugu primenu u proizvodnji cevi, ploča itd.

1.8.3. VERTIKALNI EKSTRUDER

U traženju novog koncepta ekstrudera konstruktori su došli na neobičnu ideju da ekstruder postave vertikalno, sa smerom kretanja sirovine odozgo na dole.

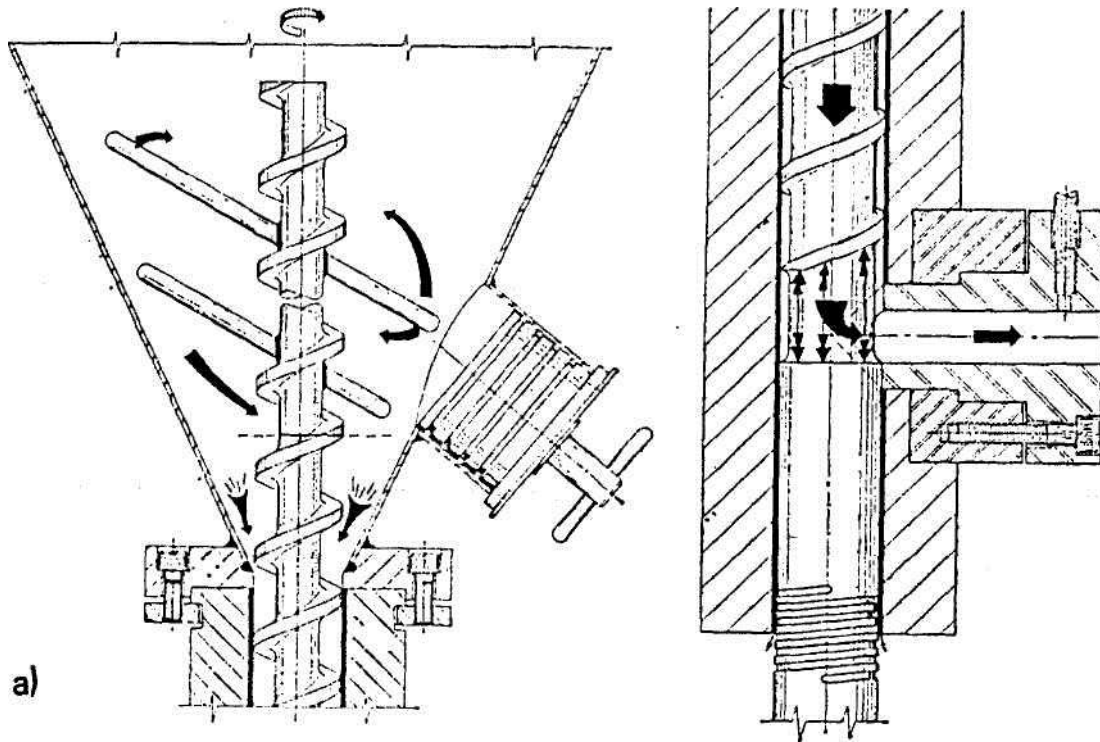


Sl. 26 — Dva tipa vertikalnih ekstrudera: a) vertikalni ekstruder u preseku (Krauss Maffei) 1. levak za sirovinu, 2. otvor za ulaz sirovine, 3. cilindar, 4. otvor za smeštaj alata i izlaz mase, 5. pogon ekstrudera, 6. vođice sirovina na ulaznoj zoni puža, 7. puž, 8. termoregulatori; b) izgled vertikalnog ekstrudera sa alatom za izradu tankih cevi i sa pokretnim postoljem

Tako su cilindar, puž i levak za doziranje smešteni u jednoj okomitoj liniji (sl. 26). Sam ekstruder može biti stabilan (26-a) i pokretan (26-b).

Po ovom sistemu puž može da uđe u levak uz pomoć jednog zamenjivog produžetka (vidi sliku 26). Pošto se dotok materijala dopunski odvija preko celog obima puža, ulazak je vrlo ravnomeran i manje ima uvučenog vazduha nego kod horizontalnih ekstrudera. Ponašanje pri ulasku plastične mase i konstantnost u transportu istog su kvaliteta kao i kod mašina sa duplim puževima. Puž je tako izveden da nema ograničenu dubinu hoda, kao što je to slučaj kod horizontalnih ekstrudera.

To omogućuje veću dubinu prolaza materije preko cele dužine puža, uz održavanje potrebnog kompresivnog odnosa. Iz ovoga rezultira skoro udvostručenje mogućeg istiskivanja, uz neznatnu brzinu kretanja mase u pužnom navoju, a na osnovu toga bolja je kontrola temperature u rashladno-grejnim zonama cilindra, koja je neophodna. Ona se dopunski obezbeđuje putem rebrasto izvedenog i bogato dimenzioniranog grejno-rashladnog dela sa egzaktnim regulatorima (vidi sliku 26). Jedna od specifičnosti je odnos L/D koji je 29 :1. Na kraju izlazne zone otopljeni tečni materijal se bočno izvodi iz cilindra. Na taj način puž ekstrudira masu slobodno, bez povratnog reaktivnog pritiska, te tako otpada ležaj koji bi bio visoko opterećen reaktivnim pritiskom (sl.27-b).



Sl. 27 — a. Princip uvlačenja sirovina u ulaznoj zoni vertikalnog ekstrudera, b. princip izlaska mase iz vertikalnog ekstrudera (Krauss Maffei)

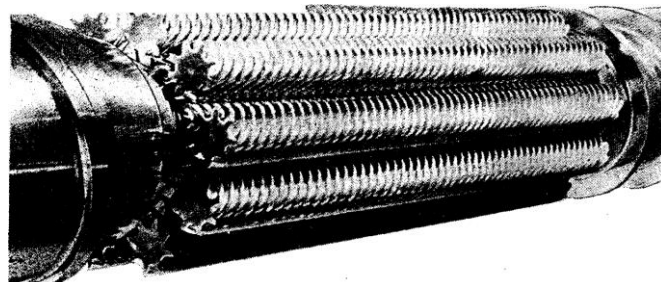
Za izradu specijalnih profila od penastog PVC-a primena vertikalnog ekstrudera za sad je najveća. U donjoj tabeli dati su uporedni podaci za vertikalni i klasični jednpužni ekstruder.

Tabela 4

Karakteristike mašine	Vertikalni ekstruder	Jednpužni ekstruder
Prečnik puža u mm	50	50
Odnos L/D	29:1	20:1
Obrti puža min ⁻¹	0-80	12-120
Obrtni moment m _{kp}	185	100
Snaga motora kW	11	7-15
Snaga grejanja kW	8	6
Grejna zona	4	4
Zona hlađenja	3	4
PVC profil kg/h	30-80	40-70

1.8.4. PLANETNI EKSTRUDER

Planetni ekstruder po svojoj osnovnoj koncepciji odgovara jednpužnom ekstruderu. Njegove prednosti su veoma veliki obrtni momenat i nešto veći kapacitet. Puževi planetnog ekstrudera su urađeni po sistemu agregatnih sklopova (sl. 28) i temperiraju se pomoću tečnosti koja struji. Cilindar ekstrudera se greje električnom strujom ili uljem.



Sl. 28 — Puž planetnog ekstrudera (Eickhoff-Kleinewefers)

Zahvaljujući veoma velikoj površini puža u zoni topljenja, stepen korisnog dejstva je visok, a utrošak energije relativno mali. Tok kretanja sistema sa planetarnim valjcima pruža, pored dobre plastifikacije mase, i optimalan učinak disperzije, što ima značaja za bojenje materijala.

Primena ovog sistema je najčešća u izradi granulata PVC, mada se uspešno koristi i u druge svrhe. U donjoj tabeli date su uporedne karakteristike ovog sistema i klasičnog jednopužnog ekstrudera.

UPOREDNE KARAKTERISTIKE EKSTRUDERA

Tabela 5

Karakteristike	Planetni ekstruder	Jednopužni ekstruder
Prečnik puža (mm)	120	120
Obrtni momenat (kpm)	12750	2400
Obrtaji puža (min.^{-1})	1.5-80	10-100
Odnos L/D	6-22	20-33
Utrošak struje za pogon (kW)	40-60	16-160
Grejanje (kW)	47-50	43-45

1.9. DVOPUŽNI EKSTRUDER

Ekstruderi sa dva puža u međusobnoj sprezi nazivaju se dvopužni ekstruderi (sl. 32).



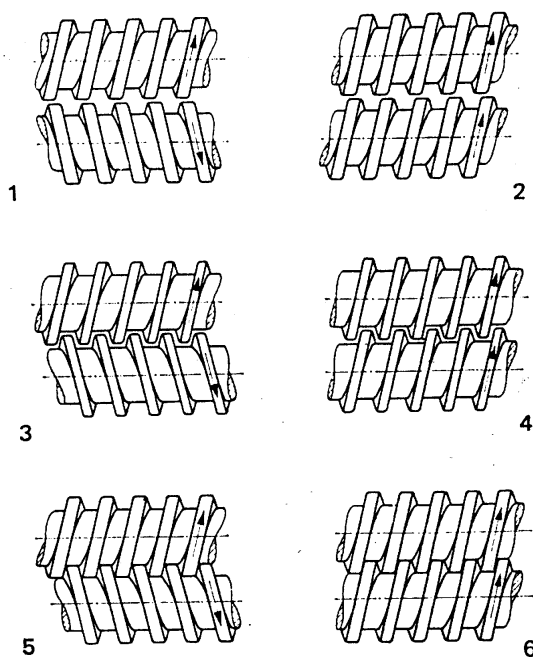
Sl. 32 — Dvopužni ekstruder

Glavna razlika u principu rada između jednopužnog i dvopužnog ekstrudera je u načinu transportovanja materijala u mašinu. Jednopužni ekstruder koristi trenje između materijala i cilindra za transport materijala, dok kod dvopužnog ekstrudera sirovina u ulaznoj zoni transportuje se prinudno.

Tako, transport plastičnog materijala nije zavisao od koeficijenta trenja između zida cilindra, materijala i puža, a time ni od oblika i vrste sirovine. Stoga se dobro uvlače i transportuju praškasti materijali, viskozniiji sa lošim umrežavanjem, ili materijali koji su suviše lepljivi. Proces plastifikacije se, takođe, razlikuje od procesa jednopužnih ekstrudera.

Udeo procesa smicanja i trenja kod dvopužnog ekstrudera je znatno manji zbog relativnog kretanja mase između puža i cilindra, jer kod njega masa podleže efektu gnječenja. Naprezanje dvopužnog ekstrudera pri smicanju je manje i on ima, uglavnom, veće dubine hoda od jednopužnog, a niže brojeve obrtaja, odnosno niže obodne brzine. (Za jednopužni ekstruder uobičajena obodna brzina je 0,1— 0,8 m/sec, a za dvopužni samo 0,03—0,2 m/sec).

Prilikom transporta materijala puževi dvopužnog ekstrudera ne zahvataju masu ukupnim volumenskim navojem, već samo jednim delom na zahvatnom mestu, pa istiskivanje mase nije po celoj površini cilindra.



Sl. 33 — Smerovi jednahodnih dvopužnih sistema 1, 3, 5 suprotnosmerni 2, 4, 6 istosmerni

Zbog nejednakog istiskivanja mase iz ekstrudera dolazi do pulzacije pritiska, zavisno od broja obrtaja, što ima štetne posledice za rad cele mašine.

1.9.2. PRIMENA DVOPUŽNIH EKSTRUDERA

Primena dvopužnog ekstrudera nema nekih određenih specifičnosti u odnosu na jednopužni. Najčešće se koristi za preradu PVC tvrdog materijala iz praha ili granula, za proizvodnju cevi velikog prečnika iz PVC, PP, PE itd.

Takođe, koristi se za primene gde je potreban efekat komprimiranja i gnječenja, kao, na primer, pri izradi cevi i profila direktno iz praha itd.

2. TEORIJSKO RAZMATRANJE RADA EKSTRUDERA

2.1. KVALITATIVNA ANALIZA RADA EKSTRUDERA

U običnom ekstruderu za proizvodnju plastičnih proizvoda polimer prolazi kroz tri stanja: u početku to je čvrsti materijal, zatim smeša rastopljenog i čvrstog materijala i, na kraju, rastopljeni materijal. Najjednostavnije se može analizirati zona istiskivanja, pošto se na ovu zonu mogu u potpunosti primeniti zakoni hidrodinamike viskoznih tečnosti. Zona istiskivanja igra veliku ulogu u ekstruderu, pošto, uglavnom, ona određuje protočni kapacitet. U zoni istiskivanja učestvuju tri osnovna protoka. Prinudni protok (direktan protok) predstavlja tečenje rastopine, koje je posledica relativnog kretanja puža i cilindra. Protok, koji se može smatrati kao tečenje rastopine plastične mase u suprotnom smeru, nastaje pod uticajem gradijenta pritiska koji je usmeren od alata mašine ka njenom ulazu. Treća komponenta protoka je curenje kroz zazore na zubima puža. Pad pritiska, koji nastaje kao posledica gradijenta pritiska, a deluje između dve bočne površine zidova navoja u pužu, izaziva ovo curenje kroz zazore. Obično je curenje zanemarljivo u odnosu na druge komponente tečenja po veličini ali ne i značaju. Protočni kapacitet zone za doziranje jednak je, prema tome, razlici prinudnog toka i protivtoka.

2.1.1. PRINUDNI TOK

Prinudni tok predstavlja tečenje svedeno na aksijalno, koje nastaje usled relativnog kretanja puža i cilindra i ako se zamisli ekstruder bez hidrauličnih otpora u alatu, onda kao i da nema sita i alata. Kod ovakve mašine pritisak u alatu jednak je nuli.

Materijal koji se nalazi u prstenastom prostoru između spoljašnje obrtne površine puža i unutrašnje površine cilindra, podvrgnut je deformaciji na smicanje, koja se delovanjem zidova spiralnog navoja pretvara u translatorno kretanje materijala po navoju, tj. u prinudni tok materijala. Osnovni parametri koji određuju zapreminski protok prinudnog tečenja su: dubina navoja, širina navoja, prečnik puža i njegova brzina obrtanja.

Protivtok nastaje usled gradijenta pritiska koji deluje sa strane alata ekstrudera. Da bi sebi očiglednije predstavili ovu pojavu, pretpostavimo da je puž nepokretan, a da se u glavi ekstrudera razvija dodatni pritisak. U ovako zamišljenim uslovima spiralni navoj puža može se smatrati kao dugačka kapilara pravouglog poprečnog preseka.

Usled pritiska u glavi, rastopina će da teče duž navoja u suprotnom smeru. Protivtok, zapravo, predstavlja svojevrsno ograničenje prinudnog toka, koje nastaje kao rezultat povećanja pritiska. Praktično, u navoju puža fizički nikad ne dolazi do kretanja materije u suprotnom smeru. Na veličinu protivtoka, uglavnom, deluju sledeći faktori: dubina navoja, prečnik puža, dužina zone pritiska, viskoznost rastopine i veličina pritiska u alatu.

2.1.3. SNAGA UTROŠENA U EKSTRUZIJI I RAZVIJENA TOPLOTA

U prethodnom poglavlju razmatran je isključivo zapreminski tok ekstrudiranog materijala. U njemu se nismo osvrtni na veličinu potrebne snage za ekstruziju ni na promenu temperature u procesu ekstruzije.

Kod ekstruzije, u svim uslovima procesa, relativno kretanje puža i zidova cilindra izaziva deformaciju smicanja materijala kojim je popunjen ekstruder. Energija koja se troši na deformaciju polimera pri tome pretvara se u toplotu i izaziva povećanje temperature polimera. Količina toplote koja se oslobađa iz plastičnog materijala raste sa smanjenjem dubine navoja ili sa uvećanjem dužine puža i sa povećanjem brzine obrtanja puža.

Faktori koji bitno utiču na količinu toplote, nastale usled deformacije polimera, su reološke osobine plastičnog materijala. Visoka viskoznost vodi ka povećanju potrebne snage i porastu oslobođene količine toplote u plastičnom materijalu podvrgnutom ekstruziji. Ova količina toplote mnogo zavisi od hidrauličnih otpora u otvoru alata. Smanjenje poprečnog preseka otvora alata dovodi do porasta protivpritiska u alatu, koji smanjujući volumni protok po jednom obrtaju puža, podvrgava rastopljeni materijal dugotrajnijem smicanju. Pri tome količina oslobođene toplote u polimeru raste.

Veza između veličine hidrauličnog otpora alata i količine oslobođene toplote omogućava da se shvati zbog čega je nužno regulisati temperaturu rastopljene mase i stepen njenog mešanja, što se postiže ubacivanjem raznih dodatnih otpora na kraju puža, kao paketa rešetki, mrežica ili prigušnica. Ovo je potrebnije kod puževa sa dubokim navojima, kod kojih bez ovakvih dopunskih elemenata rad utrošen na mešanje nije dovoljan i kod kojih neznatno povećanje protivpritiska izaziva značajno smanjenje protočnog kapaciteta.

Ranije je izvršena kvalitativna analiza osnovnih međuzavisnosti koje određuju radnu tačku u procesu ekstruzije. Potrebno je, međutim, ovu analizu izvršiti i kvantitativno, da bi se mogao proceniti uticaj svakog od faktora.

Ako je protočni kapacitet prethodnih zona puža nedovoljan da obezbedi zoni istiskivanja potrebni materijal, kako bi ova bila potpuno napunjena, zona istiskivanja će kod većeg broja obrtaja raditi sa nedovoljnim napajanjem. Protočni kapacitet zone plastificiranja u nizu slučajeva zavisi samo od koeficijenta prelaza toplote sa cilindra na polimer. Tako povećan broj obrtaja neće dati bitno povećanje protočnog kapaciteta ove zone,

istovremeno protočni kapacitet zone istiskivanja raste direktno proporcionalno sa brzinom obrtanja puža. Prema tome, protočni kapacitet čitavog ekstrudera biva ograničen mogućnostima prethodnih zona. U ovakvim uslovima rad ekstrudera je, po pravilu, praćen pulsacijama pritiska i oscilacijama protočnog kapaciteta. Izračunati protočni kapacitet dozirajuće zone treba uporediti sa protočnim kapacitetom prethodnih zona.

2.2. PROTOČNI KAPACITET EKSTRUDERA

Protočni kapacitet ekstrudera zavisi od mnogo veoma složenih faktora. Oni se grubo mogu podeliti na dve grupe: faktore koji zavise od oblika i dimenzija mašine, posebno oblika i dimenzija puža i alata za profilisanje proizvoda, i faktore koji zavise od konkretnih uslova ekstruzije — fizičkih osobina obrađivanog materijala, dovedene količine stvorene i odvedene toplote, agregatnog stanja polimera, stepena ispunjenosti pužnog navoja i momenta ili broja obrtaja pogonske mašine.

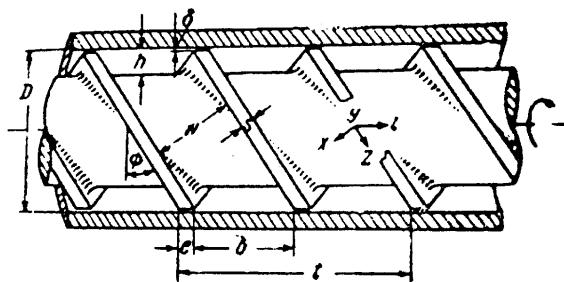
Posebne teškoće u proračunu protočnog kapaciteta ekstrudera izaziva fizička priroda većine polimera koji u rastopljenom stanju predstavljaju tzv. nenjutnovske strukturno-viskozne tečnosti. Viskoznost ne zavisi samo od temperature i delimično pritiska, nego i od lokalne brzine deformacije materijala, odnosno lokalne brzine tečenja. U praktičnim proračunima, međutim, nema nikakve potrebe da se sve ove složene zavisnosti uzmu u obzir, tečenje rastopljenog polimera u pužnom navoju posmatra se kao laminarno tečenje viskozno fluida, što u velikom broju slučajeva predstavlja zadovoljavajuću aproksimaciju.

2.2.1. GEOMETRIJA PUŽA I PUŽNOG NAVOJA

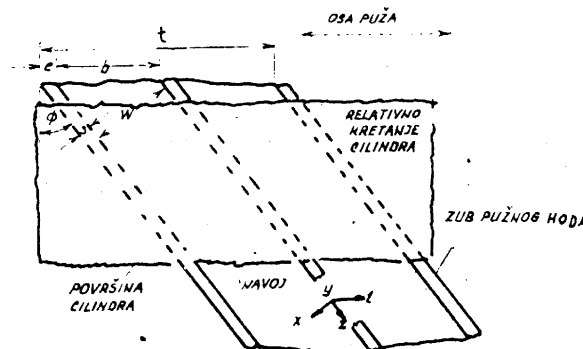
Na sl. 39 šematski je predstavljen segment cilindra ekstrudera sa pužom. Ukoliko je konstrukcija puža takva da ima više navoja, tečenje u svakom od njih se može posmatrati odvojeno kao deo totalnog paralelnog protoka.

Za analizu rada ekstrudera pogodno je zamisliti da se relativno kretanje puža i cilindra odvija tako da se cilindar mašine obrće oko nepokretnog puža. Mehanizam transporta materijala kroz ekstruder očigledno se ne menja ovakvim razmatranjem. Na slici 39 je naznačen položaj koordinatnog sistema, osama x , y , z i pomoćnom osom l . Osa z je paralelna osi helikoloidnog navoja puža, a osa l paralelna je osi vretena puža. Dalje pojednostavljenje geometrijske predstave pužnog navoja može se dobiti »razvijanjem« puža na ravan i posmatranjem ovako razvijene projekcije navoja, kako je to prikazano na sl. 40. Ugao koji obrazuju osa navoja i osa puža je određen usponom pužnog navoja t i prečnikom puža D kao

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi D}$$



Sl. 39-Segment cilindra ekstrudera

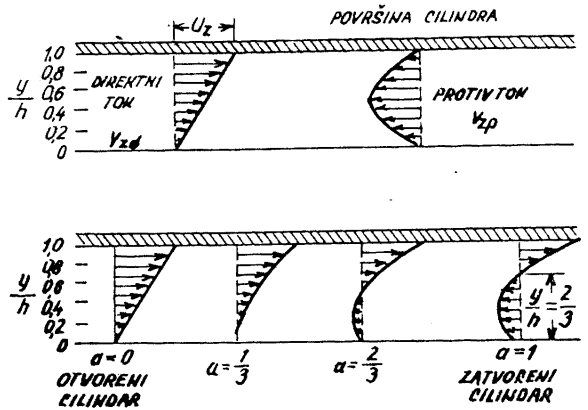


Sl.40-Projekcija navoja puža

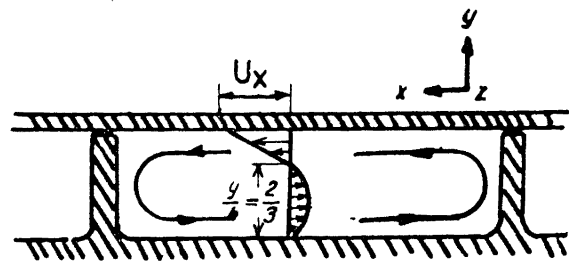
Relativna ugaona brzina cilindra mašine u odnosu na puž U_c može se razložiti u dve međusobno okomite komponente U_z i U_x usmerene duž ose pužnog navoja i normalno na nju. Analogno ovome, brzina rastopljene mase u proizvoljnom poprečnom preseku pužnog navoja ima dve međusobne normalne komponente V_z i V_x . Prisustvo komponente V_x uz istovremeno zadovoljenje hidraulične jednačine kontinuiteta vodi nastanku i treće, radijalne komponente tečenja sa brzinom V_y . Ova komponenta tečenja materijala je od značaja naročito u blizini širine zuba pužnog navoja, gde dolazi do lokalne promene smera tečenja. Polje brzina u poprečnom preseku pužnog navoja ima, dakle, složenu sliku. Da bi se stekao uvid u nju korisno je posmatrati dva granična slučaja tečenja materijala u ekstruderu: transport materijala kroz ekstruder sa otvorenim krajem i mešanje materijala u ekstruderu sa zatvorenim krajem. Polja brzina u ova dva granična slučaja ilustrovana su na sl. 41 i sl. 42.

Tečenje u realnim uslovima, kod ekstrudera koji se završava otvorom alata, predstavlja kombinaciju ova dva idealizovana granična slučaja. Teorijska pretpostavka ovoga može biti sledeća. Kretanje rastopljene

plastične mase u ekstruderu odvija se od ulaznog dela puža ka izlazu cilindra, uz istovremeno povećanje lokalnog pritiska koji dostiže maksimalnu vrednost neposredno ispred otvora alata. To znači da se, za razliku od pasivnih delova, nekog hidrauličkog trakta, tečenje mase u ekstruderu kreće nasuprot gradijentu pritiska, što je moguće zahvaljujući dovedenoj snazi od pogonske mašine. Ovo tečenje može se smatrati da je sastavljeno od dve komponente: direktnog toka u smeru od ulaza ka izlazu mašine i protivtoka u obrnutom smeru. Direktni tok je posledica relativnog kretanja puža u odnosu na cilindar, što predstavlja osnovni princip transporta materijala pužnim mehanizmom; protivtok je izazvan gradijentom pritiska, koji je sa svoje strane, takođe, posledica relativnog kretanja puža u odnosu na cilindar, u uslovima delimično zatvorenog kraja mašine. Za otvoreni cilindar gradijent pritiska, pa prema tome i protivtok, jednaki su nuli. Obrnuto, za cilindar sa potpuno zatvorenim krajem direktni tok, zbog nestišljivosti rastopljene mase jednak nuli, gradijent pritiska je značajan i postoji samo protivtok. Poprečna i radijalna komponenta brzine tečenja V_x i V_y povećavaju unutrašnje trenje, pa, prema tome, i količina generisane toplote u ekstruderu. One, međutim, nemaju direktan uticaj ni na direktni tok ni na protivtok, izuzev preko promene viskoznosti rastopljene plastične mase. Stoga je za određivanje protočnog kapaciteta ekstrudera u prvoj aproksimaciji dovoljno posmatrati samo komponentu brzine V_z paralelnu osi pužnog navoja.



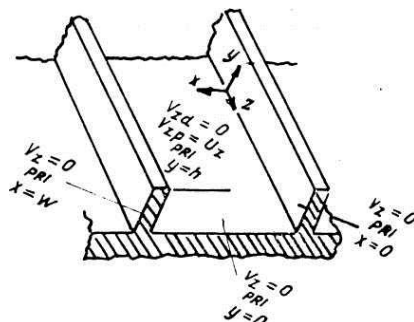
Sl.41-Polje brzine graničnog sloja



Sl.42-Polje brzine grančnog sloja puža

2.2.3. DIREKTNI TOK

Direktni tok u elementu pužnog kanala (sl. 43) je prikazana posledica adhezije rastopljenog materijala na graničnim površinama puža i cilindra.



Sl. 43 — Direktni tok u elementu pužnog kanala

Direktni protok određen je sledećom relacijom:

$$q_d = n \int_0^w \int_0^h V_z dx dy \quad (6)$$

gde je n broj paralelnih navoja puža. Indeks d označava da se radi o direktnom toku. Za praksu najpogodniji oblik rezultata integrala formule (6) glasi:

$$q_d = \frac{nU_z wh}{2} F_d \quad (7)$$

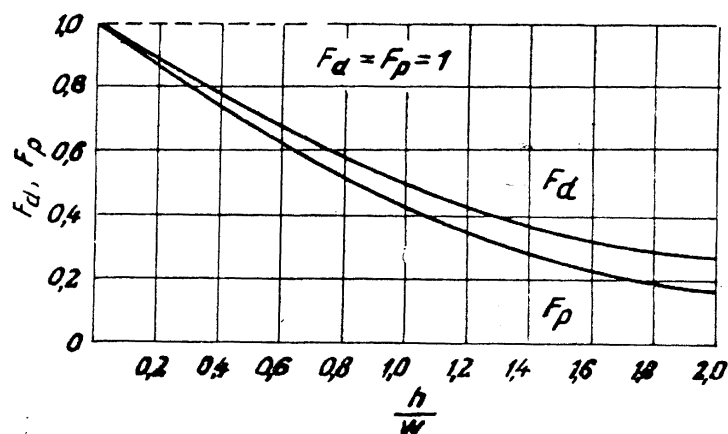
gde je F_d koeficijent popravke koji je dat grafički u funkciji odnosa $\frac{h}{w}$ na sl. 44. Ovaj koeficijent kako vidimo zavisi samo od parametara geometrije pužnog navoja. Njegove proračunske vrednosti odlično se slažu sa eksperimentalnim rezultatima.

2.2.4. PROTIVTOK

Protivtok u pužnom kanalu je posledica postojanja gradijenta pritiska. Slično kao i kod direktnog toka, zapreminski protok ove komponente toka kroz posmatrani poprečni presek pužnog navoja jednak je odgovarajućem površinskom integralu. Najpogodniji oblik integralnog rezultata u ovom slučaju dat je

$$q_p = -\frac{nwh^3}{12\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) F_p \quad (9)$$

gde indeks p označava protivtok, a F_p koeficijent popravke koji je u funkciji odnosa $\frac{h}{w}$ dat odgovarajućom krivom na sl. 44



Sl. 44 — Grafikon koeficijenta popravke u funkciji h/w

Rezultantni protok q kroz posmatrani poprečni presek pužnog navoja jednak je algebarskoj sumi direktnog toka i protivtoka

$$q = q_d + q_p$$

odnosno

$$q = \frac{nU_z wh}{2} F_d - \frac{nwh^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial z} F_p \quad (10)$$

Ako se uzmu u obzir prilično očigledne geometrijske i kinematičke relacije:

$$U_z = U_c \cos \varphi = \pi DN \cos \varphi$$

$$w = b \cos \varphi = \left(\frac{t}{n} - e \right) \cos \varphi = \frac{\pi D \left(l \frac{ne}{t} \right) \sin \varphi}{n} \quad (11)$$

$$z = l / \sin \varphi \quad t = \pi D \operatorname{tg} \varphi$$

gde je N broj obrtaja puža u jedinici vremena, ima se

$$q = F_d \alpha N - F_p \frac{\beta}{\mu} \frac{\partial p}{\partial l} \quad (12)$$

U poslednjoj formuli kratkoće rada su sa α i β obeležene veličine

$$\alpha = \frac{\pi^2 D^2 h \left(1 - \frac{ne}{t}\right) \sin \varphi \cos \varphi}{2} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\pi D h^3 \left(1 - \frac{ne}{t}\right) \sin^2 \varphi}{12}$$

koje očigledno zavise samo od dimenzija i oblika puža, odnosno pužnog navoja.

Formula (12) dozvoljava da se izvedu neki kvalitativni zaključci u pogledu protočnog kapaciteta ekstrudera. Prvo, iz formule (12) proističe da, ako je viskoznost rastopljene mase konstantna u posmatranom poprečnom preseku, direktna komponenta toka ne zavisi od viskoznosti i ima istu vrednost kako za njutnovski tako i za nenjutnovski fluid. Drugo, ako se zanemare male promene višeg reda u funkciji Fd i izraza $\left(1 - \frac{ne}{t}\right)$

direktna komponenta toka je proporcionalna kvadratu prečnika puža i dubini pužnog navoja (pod uslovom da je ugao ose navoja puža konstantan). Treće, direktna komponenta toka je proporcionalna broju obrtaja puža N .

Za razliku od direktnog toka, protivtok zavisi od koeficijenta viskoznosti rastopljene mase i obrnuto mu je proporcionalan. Sa svoje strane koeficijent viskoznosti se menja duž pužnog navoja sa lokalnom temperaturom, delimično pritiskom i lokalnom brzinom deformacije, odnosno tečenja. Složena funkcionalna zavisnost koeficijenta viskoznosti od pomenutih veličina razlikuje se za svaki konkretni materijal i predstavlja empirijski podatak, koji proizvođač polufabrikata najčešće daje u obliku odgovarajućih dijagrama. Osim od viskoznosti, veličina protivtoka mnogo zavisi i od dubine pužnog navoja, pošto se koeficijent menja proporcionalno trećem stepenu dubine navoja. Interesantno je još primetiti da protivtok ne raste tako brzo sa prečnikom puža kao direktni tok; on, naime, linearno zavisi od prečnika, i da protivtok direktno uopšte ne zavisi od brzine obrtaja puža.

Jedini mogući mehanizam uticaja brzine obrtaja puža na veličinu protivtoka ostvaruje se preko temperaturne zavisnosti koeficijenta viskoznosti. Pri većem broju obrtaja raste, zapravo, količina trenjem stvorene toplote, usled čega raste temperatura rastopljene mase, opada (najčešće) koeficijent viskoznosti i raste veličina protivtoka.

Fizički smisao koeficijenta F i F_p sastoji se u sledećem: ovi koeficijenti određuju odnos stvarnih protoka (direktnog i protivtoka) i teorijskih vrednosti ovih protoka, kad se zanemare efekti krajeva zidova pužnog navoja. Bočni zidovi navoja deformišu, zapravo, polje brzina u svojoj blizini. Ova deformacija smanjuje zapreminski protok i jedne i druge komponente protoka. Kako opada količnik $\frac{h}{w}$ vrednost koeficijenta F i F_p se približavaju jedinici, pa formula (12) jednostavno postaje

$$q = \alpha N - \frac{\beta}{\mu} \frac{\partial p}{\partial l} \quad (14)$$

sa slobodnim, otvorenim krajem $\alpha = 0$, a za ekstruder sa zatvorenim krajem $\alpha = 1$.

Raspored pritiska duž pužnog navoja, pa, prema tome, i lokalni gradijent pritiska nije moguće odrediti samo na osnovu posmatranja protoka u datom poprečnom preseku. Za određivanje pritiska, u krajnjoj tački, neposredno ispred otvora alata, gde pritisak ima maksimalnu vrednost, potrebno je poznavati geometriju i lokalni pasivni hidraulični otpor otvora alata. Sasvim grubo uzevši, protok rastopljene mase kroz otvor alata direktno je proporcionalan novom maksimalnom pritisku i obrnuto proporcionalan koeficijentu viskoznosti mase na izlazu.

$$q = k \frac{P_{\max}}{\mu} \quad (21)$$

Faktor proporcionalnosti k sadrži lokalne hidraulične otpore koji zavise od geometrije otvora alata.

Viskoznost (μ) na izlazu iz ekstrudera zavisi kako od temperaturnog režima tečenja (izotermni, adijabatski, politropski) tako i od lokalne brzine deformacije. S obzirom da materijal, prolazeći kroz otvor alata, trpi znatne deformacije uticaj režima tečenja u alatu sa svoje strane mnogo povratno utiče na vrednost maksimalnog pritiska. Za izračunavanje maksimalne vrednosti pritiska nužno je uzeti u obzir reološke osobine konkretnog materijala na izlazu, za šta, obično ne postoje dovoljno detaljni empirijski podaci, a to mnogo otežava proračun. Kad se na neki način, ipak, izračuna vrednost maksimalnog pritiska, još uvek ostaje problem određivanja profila pritiska duž pužnog navoja. Grubi rezultati mogu se dobiti linearnom interpolacijom unazad do vrednosti ulaznog pritiska. Ovo, često, predstavlja samo prvu interakciju za tačniji proračun, koji zbog svoje složenosti zahteva upotrebu digitalnih računara. U izvođenju formula za protok mase kroz pužni navoj nije bilo uzeto u obzir isticanje materijala preko rubova zidova pužnog navoja u zazor između puža i cilindra. Ovo isticanje još više smanjuje teorijski izračunat protok ekstrudera i povećava gubitke. Ne upuštajući se u metodiku proračuna ovih gubitaka navešćemo samo da se u većini orijentacionih proračuna ovi gubici mogu zanemariti.

Za praktičnu upotrebu može se koristiti sledeći izraz za protočni kapacitet ekstrudera:

$$q = \frac{1}{2} \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot h \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta - \left(\frac{\pi \cdot D \cdot h^3 \cdot P \cdot \sin^2 \theta}{12 \cdot \eta \cdot L} \right)$$

Gde je

D- prečnik puža, N- broj obrtaja puža, h-dubina zavojnice puža, θ -ugao zavojnice, L-dužina puža, P- pritisak na vrhu puža, η -viskoznost polimer

2.2.5. SNAGA UTROŠENA NA EKSTRUZIJU

Za procenu snage utrošene na ekstruziju, pa prema tome, i za dimenzioniranje pogonske mašine ekstrudera moguće je postupiti na dva načina.

1. Poznavajući viskoznost rastopljene mase i određivši veličinu gradijenta brzine na unutrašnjoj površini cilindra (diferenciranjem jednačine 18), moguće je izračunati veličinu tangencijalnog napona na unutrašnjoj površini cilindra

$$\tau = \mu \left(\frac{dv}{dy} \right)_{y=D} \quad (22)$$

Snaga potrebna za pogon ekstrudera može se sad grubo dobiti kao proizvod ugaoone brzine puža i integrala dobijenog tangencijalnog napona po čitavoj unutrašnjoj površini cilindra.

2. Snaga utrošena na ekstruziju može se odrediti kao sumarna snaga u obliku trenjem stvorene toplote u čitavom volumenu mašine, plus snaga utrošena na povećanje potencijalne energije toka mase, koja se manifestuje u obliku povećanja pritiska.

Drugi metod procene utrošene snage je, svakako, egzaktniji. Sumarna snaga utrošena na ekstruziju u elementarnom volumenu rastopljene mase u pužnom navoju iznosi

$$dW = dW_s + dW_p + dW_L = \psi_s dV_s + dW_p + \psi_L dV_L \quad (23)$$

gde su:

$\psi_s dV_s$ = snaga utrošena na rad sila viskoznog trenja u elementarnom volumenu. Ova snaga odlazi direktno na povećanje toplotnog sadržaja rastopljene mase,

dW_p = snaga utrošena na povećanje pritiska rastopljene mase u elementarnom volumenu,

$\psi_L dV_L$ = snaga utrošena na trenje u zazoru između puža i cilindra,

Ψ = funkcija dispacije za rad sila unutrašnjeg trenja,

dV_s, dV_L = elementarni volumen rastopljene mase u pužnom navoju i u zazoru respektivno.

Komponente snage utrošene na rad sila trenja ulaze u jednačine toplotnog bilansa ekstrudera, određujući temperaturu rastopljene mase i posredno koeficijent viskoznosti, koji, kako smo videli, povratno deluje na protočni kapacitet. Usled povezanosti svih pomenutih faktora kompletan proračun protočnog kapaciteta ekstrudera je izvanredno složen.

3. TIPOVI PLASTIČNIH MASA U PROCESU EKSTRUDIRANJA

Nedavno publikovani podaci za Veliku Britaniju pokazuju da je prosečno 50% glavnih termoplastičnih materijala u upotrebi (poliolefini, PVC i polistireni) bilo podvrgnuto ekstruziji. U ovim podacima nije uzeta u obzir vrlo važna primena ekstruzivnih mašina u proizvodnji polimera, gde se ekstruderi koriste kao reaktori, mašine za mešanje. Velika većina svih termoplastičnih materijala koji se sad proizvode podvrgnuti su ekstruziji u nekoj fazi proizvodnje. Treba imati u vidu da i ostali procesi u plastici, koji obično nisu vezani sa ekstruzijom, upotrebljavaju ekstrudere za pomoćne funkcije. Na primer, ekstruderi se koriste i pri oblikovanju duvanjem i pri oblikovanju ubrizgavanjem plastičnih masa.

Za proces ekstruzije danas se isključivo koriste termoplastične mase, odnosno plastične mase, koje mogu pod uticajem temperature da pretrpe permanentnu deformaciju, a da se pritom njihova fizička i hemijska struktura znatno ne promeni. Ova permanentna sposobnost deformisanja oblika, pod uticajem toplote, i vraćanja u prvobitno stanje je osnovna osobina termoplastičnih masa.

6. PROCESI EKSTRUZIJE U PROIZVODNJI FINALNIH PROIZVODA

Procesi ekstruzije u proizvodnji finalnih proizvoda mogu biti na razne načine podeljeni u grupe. Jedna ovakva podela bi bila: film, ploča, cev, profil, oplemenjena žica, ekspandirani proizvodi, proizvodi na bazi koekstruzije i dr. Tačnu definiciju ovih proizvoda je nemoguće dati. Na primer, za deblji film se kaže traka i nema jasne granice u debljini među ovim filmovima. Uopšte, plastični film ispod 0,3 mm naziva se filmom, a preko ove debljine pločom. Ponekad se upotrebljava i naziv folija da se ukaže da je ploča tanka, recimo 0,25—1 mm. Cev je ime za proizvode sa kružnim poprečnim presekom. Tubularni film se ponekad naziva položena spljoštena cev. Monolitna vlakna su niti plastičnog materijala od oko 0,13—1,6 mm/dijametra. Profil je proizvod koji ne spada ni u jednu od pomenutih grupa, a uključuje proizvode, kao: šine za zavese, zaptivače za vrata frižidera, delove okvira prozora itd.

Pod oplastjenjem žice podrazumeva se nanošenje zaštitnog omotača, najčešće od termoplastične mase, a može i od gume, na bakarnu ili neku drugu vrstu žice. Ekspandiranje materijala je proces prevođenja plastičnih masa u penasto stanje, a proces koekstruzije predstavlja jedan viši stepen klasičnog ekstrudiranja.

6.1. PROIZVODNJA FOLIJA POSTUPKOM EKSTRUDIRANJA

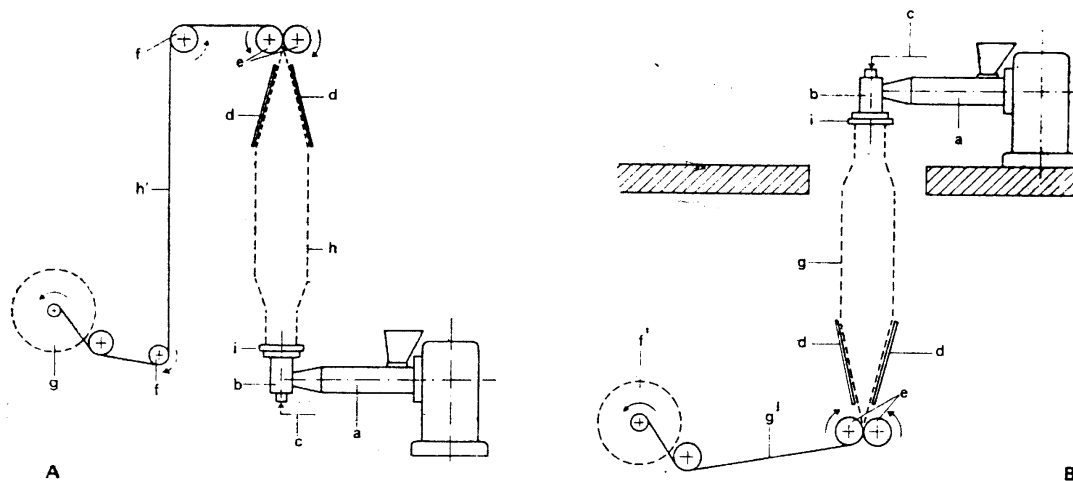
Većina plastičnih folija proizvodi se danas pomoću dva procesa ekstrudiranja folija i to:

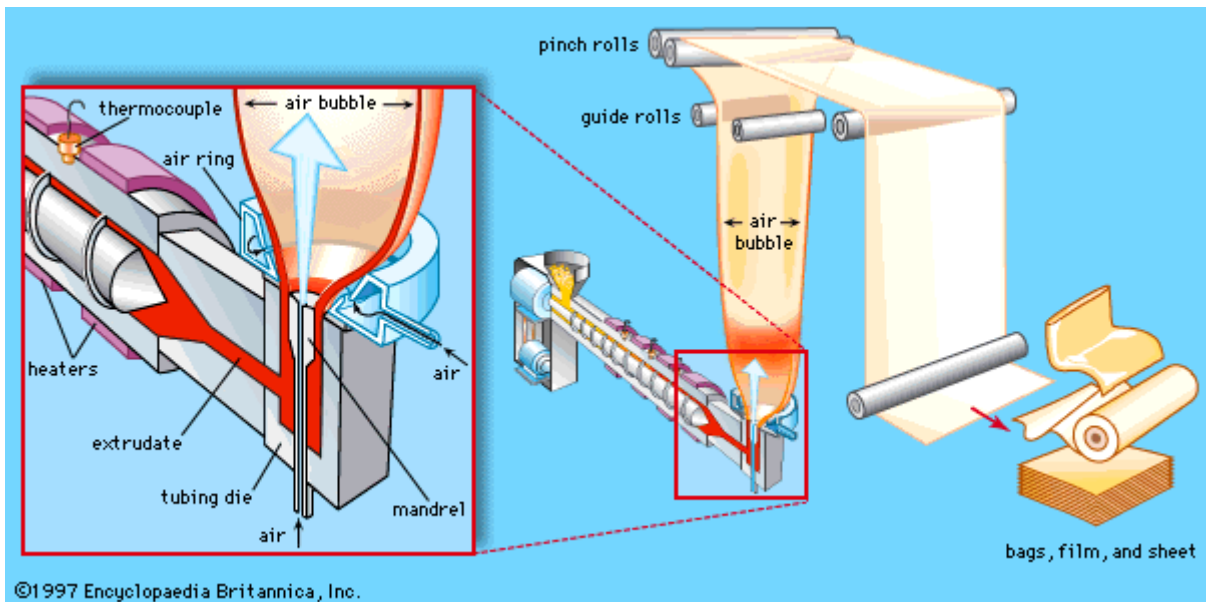
- 1) proces ekstrudiranja folija duvanjem vazduha,
- 2) proces ekstrudiranja folija livenjem pomoću alata sa širokim otvorom.

Postupak kojim se folija ekstrudira direktno u vodu više se ne primenjuje.

6.1.1. PROIZVODNJA FOLIJE DUVANJEM

Ekstrudiranje duvanih folija prikazano je na slici 72. Ovim postupkom rastopljena plastična masa ekstrudira se kroz prstenasti alat i formira crevo određenog prečnika i određene debljine zida.





Sl. 72 — Skica dva načina ekstrudiranja duvanih folija: A. Vertikalna ekstruzija prema gore, a) ekstruder, b) alat, c) ulaz vazduha, d) letva za usmeravanje, e) valjci za presovanje, f) valjci za zatezanje, g) namotač, h) duvana folija, i) prsten za hlađenje. B. Vertikalna ekstruzija prema dole, f) i g) duvana folija

Obično, najpogodnija je vertikalna ekstruzija, prema gore (sl. 72-a). Međutim, u nekim slučajevima ekstrudira se prema dole ili horizontalno (sl. 72-b). Vazduh za duvanje dovodi se kroz alat. Regulisanjem trna alata mogu se istim alatom dobiti folije različite širine. Folija se odvodi pomoću para pritisnih valjaka, tako da vazduh ostaje u crevu između dizne i valjaka. Prečnik creva, a time i širina folije može se podešavati količinom duvanog vazduha. Debljina folije zavisi od istisnute mase, odnosa duvanja (prečnik naduvanog creva prema prečniku dizne) i brzine odvođenja. Na taj način mogu se, pomoću iste dizne menjanjem odnosa duvanja i brzine odvođenja, dobiti razne širine i debljine folije. Posle prolaza između pritisnih valjaka folija se namotava, pri konstantnom zatezanju. Ako je foliju potrebno štampati, površina folije mora se specijalno obraditi, kako bi mogla da primi štamparsku boju. Uređaj za štampanje nalazi se neposredno uz valjke za namotavanje. Najčešće se uređaj za štampanje ugrađuje zajedno s uređajem za odvođenje folije. Važni elementi procesa koji određuju kvalitet folije su: konstantnost temperature rastopine, raspodela protoka plastične mase u dizni alata i konstrukcija rashladnog prstena. Rashladni prsten reguliše intenzitet hlađenja, utiče na debljinu folije i raspodelu debljine folije.

Intenzitet hlađenja folije, veoma bitno utiče na kapacitet postrojenja za duvanu foliju. Da bi se to postiglo ovim postupkom folija se po izlasku iz alata intenzivno hladi pomoću vazdušnog prstena, u koji se dovodi vazduh iz kompresora (sl. 73).

Jačina zatezanja kotura za namotavanje, takođe, utiče na kvalitet i kapacitet postrojenja za proizvodnju folije. Najbolje je za proces da jačina zatezanja, s povećanjem prečnika namotane folije na koturu, blago opada, ovo je poželjno da bi se eliminisalo preterano zatezanje namotanih slojeva folije.

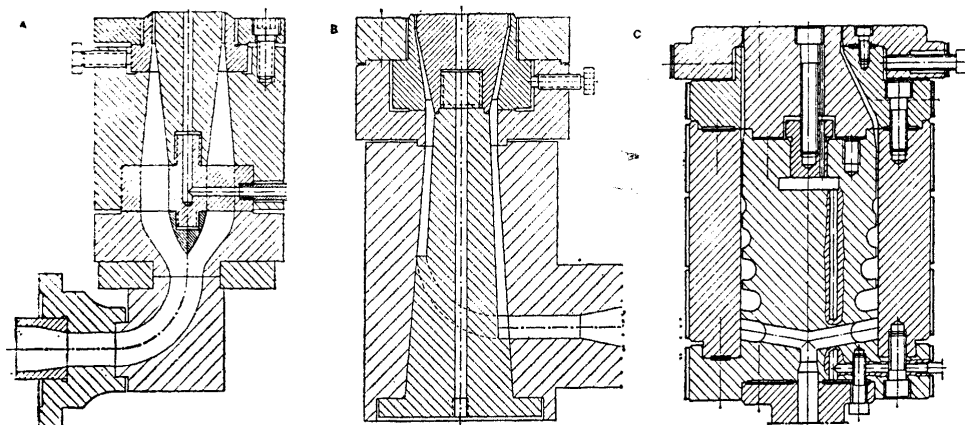


Sl. 73 — Ekstruder za proizvodnju duvane folije

Za proizvodnju duvanih folija koriste se, uobičajeno, jednupužni ekstruderi veličine od 45 do 250 mm i više. Od prečnika creva koji želimo da proizvodimo zavisi veličina ekstrudera (sl. 73). Dužina puža L/D iznosi 25—28, kompresija puža 3,2—4,5 :1 i zavisi od materijala koji se prerađuje.

Da bi se postigla dovoljno mala tolerancija debljine folije, obično je potrebno da se alat podesi pri svakoj promeni broja okretaja puža. Pošto broj okretaja puža određuje količinu istiskivanja mase potrebno je izmeniti broj okretaja u svim slučajevima kada se menja širina duvane folije ili njena debljina pri ekstrudiranju jednim određenim alatom.

Alat u koji se materijal dovodi odozdo ne mora da se podešava pri svakoj promeni istiskivanja. Kroz diznu alata masa se simetrično izgoni prema kraju alata. To nastaje zbog deljenja i ponovnog spajanja mase koja struji između elemenata za pričvršćivanje trna (sl. 74) i na taj način postiže se ravnomerniji pritisak rastopljene mase na trn alata i sprečava stvaranje folije s nejednakim zidovima po izlasku iz alata.



Sl. 74 — Alati za duvanu foliju: a) centralno napajanje, b) napajanje preko koničnih kanala, c) napajanje spiralnim kanalima

Danas za proizvodnju duvanih folija sve više se koristi alat koji rotira i uloga mu je da eventualne neravnomernosti na foliji raspoređi duž valjaka za namotavanje. Konstrukcije ovih postrojenja s rotirajućim alatima su takve, da zajedno s alatom često rotira i prsten za hlađenje, a kod manjih postrojenja i ekstruder (sl. 75). Inače, postrojenje s alatom za rotiranje nema štetnih uticaja na proces proizvodnje folije.

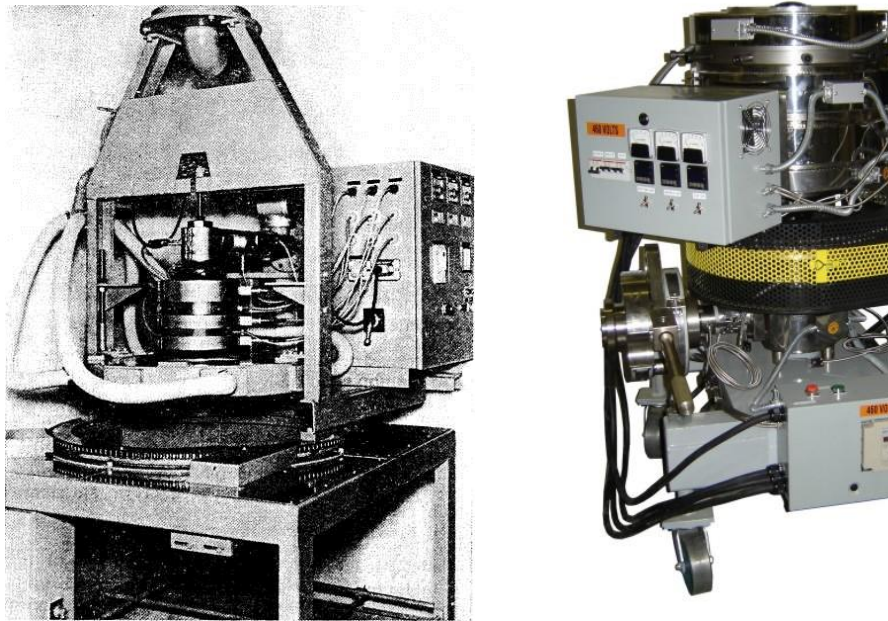
6.1.1.3. Uređaj za duvanje

Za duvanje creva koristi se vazduh pod pritiskom od $0,1\text{--}0,3\text{ kg/cm}^2$. Odnos duvanja (odnos između prečnika naduvanog creva i prečnika alata) iznosi 2:1 do 2,9 :1 kako bi se dobila dovoljno gipka folija. Međutim, kod odnosa duvanja 3:1 ili više, može da dođe do i vičnog izvijanja i gužvanja naduvanog creva, što stvara probleme pri namotavanju folije.

6.1.1.4. Rashladni uređaj

Da bi se postiglo dovoljno istiskivanje i stabilan i simetričan oblik duvanog creva, kao i da bi se sprečilo neželjeno lepljenje zida namotane folije, važno je osigurati pravilno hlađenje naduvanog creva. U praksi hlađenje creva izvodi se na razne načine. Do sad su patentirani mnogi rashladni uređaji.

Jednostavan i efikasan metod je hlađenje creva vazduhom. Tako se postiže dobra folija uz optimalan kapacitet. Ovo hlađenje sastoji se u tome da se crevo folije vodi kroz vazдушnu struju. Vazduh struji iz rashladnog prstena pogodne konstrukcije, koji se mora postaviti u blizini dizne da bi efikasno delovao. Rashladni prsten mora biti tako konstruisan da iz njega vazduh ravnomerno struji oko creva, što se najbolje postiže postavljanjem limova za orijentisanje vazdušne struje unutar prstena. Komprimirani vazduh uzima se iz instalacije za komprimirani vazduh, a preko rezervoara komprimiranog vazduha. Preko razvodnika vazduh dolazi u rashladni prsten. Ako nema na raspolaganju komprimiranog vazduha, umesto njega može se koristiti ventilator. Međutim, tada je potrebno proširiti otvor između limova i kućišta prstena, da bi se osigurala dovoljno jaka vazдушna struja.



Sl. 75 — Alat i ekstruder za proizvodnju duvane folije pomoću postupka rotacije (Troester)

Ako strujanje hladnog vazduha po površini creva nije ravnomerno, masa se različito hladi, što izaziva kolebanje debljine folije. To se manifestuje u namotavanju, gde se opažaju grebeni i udubljenja, što vrlo nepovoljno utiče na dalju preradu folije.

Neravnomerno izvlačenje može da izazove stvaranje nabora prilikom prolaza folije između pritisnih valjaka. Važno je da crevo ostane stalno jednako i da se kreće po istoj površini pritisnih valjaka.

6.1.1.5. Uredaji za formiranje folije

Naduvano crevo dovodi se do pritisnih valjaka nakon što je presovano u ravnu foliju. Ravno presovanje izvodi se vođenjem creva između letvi, ili perforiranih metalnih limova koji su međusobno postavljeni pod odgovarajućim uglom. Kod letvi, koje se međusobno postavljene pod nekim uglom, pokazalo se, međutim, da ako dodirna površina između letvi i folije prekorači određenu meru dolazi do prevelikog trenja i eventualnog lepljenja, što opet izaziva stvaranje nabora. To se naročito ogleda ako je folija suviše vruća. Ova pojava se može sprečiti primenom letvi sa poliranom površinom. U svakom slučaju, treba paziti da površina letvi ne bude hrapava, što bi moglo dovesti do grebanja folije. Stvaranje bora je veliki problem ekstrudiranja širokih ravnih folija. U takvim slučajevima preporučivo je da se letve presvuku svilom ili sličnim materijalom.

6.1.1.6. Pritisni valjci ili valjci pod pritiskom

To je par valjaka koji se obično sastoje iz po jednog čeličnog valjka, preko koga se folija kreće i koga pokreće gumeni valjak svojim dodirrom. Pritisak između ta dva valjka mora biti ravnomeran po čitavoj njihovoj dužini i mora biti toliki da se osigura stalna i jednolična brzina odvođenja folije, a da se spreči istiskivanje vazduha iz naduvanog creva.

6.1.1.7. Uredaj za namotavanje

Folija se namotava u hladnom stanju da ne bi došlo do naknadnog skupljanja folije (si. 76).



Sl. 76 — Detalj uređaja za namotavanje folija (Reifenhäuser)

Pritisak na valjku sa namotanom folijom u tom slučaju nikada neće dovesti do međusobnog lepljenja listova duvane folije. Veoma važan faktor, za dobijanje kvalitetne folije je ispravno namotavanje. Labavo namotavanje, naročito kada je ugrađeno u foliju sredstvo za klizanje, može da izazove klizanje folije u podužnom pravcu. Kod previše zategnutog namotavanja zapažaju se promene debljine folije. Rolna tada ima zadebljanja i često se pri odmotavanju pokazuje da se folija na uzdignutim mestima izdužila na hladno, što dovodi do neprekidnih talasa u podužnom pravcu.

6.1.1.8. Sprečavanje nepoželjnog lepljenja

Pod nepoželjnim lepljenjem ili blokiranjem podrazumeva se sklonost folije da se međusobno zalepi i time oteža razdvajanje. U proizvodnji duvanih folija lepljenje je jedan od glavnih razloga za ograničenje kapaciteta proizvodnje folije. Povećanjem temperature ekstruzije dobija se folija koja ima glatkiju površinu, i ima višu temperaturu pri prolasku između pritisnih valjaka, pa povećava nepoželjno lepljenje. Da bi se to sprečilo mora se smanjiti brzina izvlačenja folije ili temperatura ekstrudiranja. Međutim, snižavanjem temperature ekstruzije moguće je postizati veće brzine izvlačenja folije, a time i povećavanje kapaciteta postrojenja, ali time se smanjuju optička i mehanička svojstva.

6.1.1.9. Opšte tehnološke napomene procesa duvanja folije

Kod ekstrudera koji proizvodi duvane folije potrebno je da ekstrudirana masa očvrstne pomoću hladnog vazduha da bi mogla nositi vlastitu težinu kad se dovodi između pritisnih valjaka. Osim toga, korisno je da se već u ovom delu procesa duvani vazduh uvodi u unutrašnjost mase, što će smanjiti debljinu mase, koja se hladi, i doprineti bržem stvrdnjavanju. Korisno je da se masa vodi pri nešto nižim temperaturama. Kada folija dođe do pritisnih valjaka predviđenom brzinom, sledi podešavanje veličine naduvanog creva i brzine odvođenja, kao i podešavanje valjaka za centriranje, kako bi se folija proizvodila ravnomerno željene širin i debljine.

6.1.1.10. Zavisnost svojstava folije od uslova ekstruzije (mehanička svojstva)

Temperatura ekstruzije, brzina hlađenja i odnos duvanja važni su faktori koji utiču na čvrstoću proizvedene folije. Brzina hlađenja uslovljava kristalizaciju. Tako, na primer, kod određenih vrsta polietilena brže hlađenje uslovljava stvaranje manjih kristala, a time i dobijanje žilavije folije. Orijeisanje molekula koje se pojavljuje za vreme rasprostiranja meke plastične mase »zamrzava« se u toku hlađenja folije. Ako, međutim, postoji takvo orijentisanje, bilo u podužnom ili u poprečnom pravcu, folija će pokazati lošu otpornost na udar. Orijeisanje molekula može se najjednostavnije izbeći povišenjem temperature ekstruzije. Međutim, to ima svoje granice zbog hlađenja, koje je potrebno radi neželjenog lepljenja. Svako povišenje temperature ekstrudirane mase zahteva veći dovod hladnog vazduha ili manju brzinu rada ekstrudera. Zadovoljavajući odnos orijentisanja molekula u uzdužnom i poprečnom pravcu postiže se visokim odnosom duvanja. Za proizvodnju folija uobičajene čvrstoće na udar preporučuju se odnosi duvanja veći od 2:1. Odnosi duvanja iznad 3 :1 nisu preporučljivi, zbog teškoća podešavanja naduvanog creva.

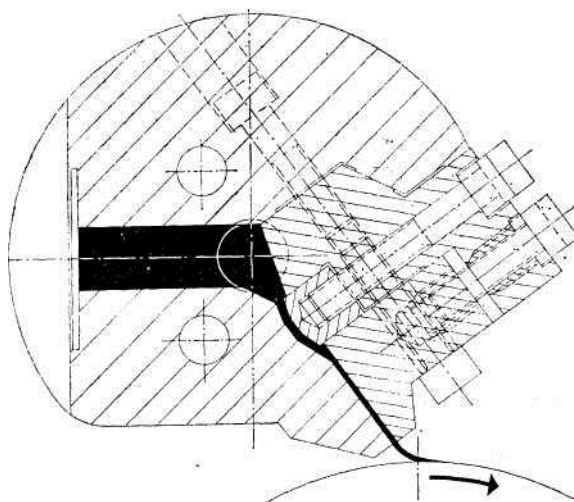


Sl. 77 — Postrojenje za proizvodnju folija iz polietilena velike gustine, postupkom duvanja (Amut)

6.1.2. PROIZVODNJA FOLIJA LIVENJEM

Za proizvodnju folija livenjem upotrebljavaju se, prvenstveno, termoplasti sa malim viskozitetom rastopine, kao, na primer, polietilen male gustine, polipropilen, poliamid, celulozni acetat. U praksi najviše se upotrebljava za proizvodnju folije, debljine do 0,1 mm, širine do 2000 mm i brzine izvlačenja do 150 metara u minuti.

Glavni elementi ovog uređaja su jednopužni ekstruder sa ili bez otvora za otplinjavanje gasova, širokousna mlaznica (vidi sl. 80) i uređaji za izvlačenje i namotavanje (sl. 81 i 82). Na slici 83 prikazan je modifikovan postupak izrade folije livenjem.



Sl. 80 — Šematski prikaz alata sa širokom mlaznicom za proizvodnju folija postupkom livenja



Sl. 81 — Postrojenje za proizvodnju folija livenjem (Amut) 1) ekstruder, 2) valjci za hlađenje, 3) uređaji za namotavanje, 4) izmenjivač toplote za temperiranje valjaka, 5) elektro ormarić za upravljanje



Sl. 82 — Detalj livenja mase, postupkom proizvodnje folija livenjem. (Reifenhauser)



Sl. 83 — Deo modifikovanog postrojenja za proizvodnju folija postupkom livenja (Amut)

Po ovom postupku folija se hladi na taj način što se vodi preko dva rashladna valjka. Temperatura valjka reguliše se vodom ili uljem. I unutrašnji oblik valjka treba da bude dobro oblikovan, da se postigne ujednačena i odgovarajuća temperatura. Veličina i broj valjaka zavisi od željene širine folije i maksimalne brzine ekstruzije za koju je uređaj konstruisan. Obično se koriste dva valjka. Površina rashladnih valjaka mora biti dobro izbrušena i obično se brusi do visokog sjaja, kako bi se osiguralo dobro prijanjanje folije. Na taj način bi se dobijala folija sa ujednačenim optičkim i mehaničkim osobinama.

6.1.2.1. Mehaničke osobine

Mehaničke osobine folije zavise kako od orijentacije molekula koja dolazi u procesu istezanja, tako i od obrazovanja kristalne strukture folije. Jako orijentisanje molekula dovodi do opadanja čvrstoće folije, posebno u vertikalnom smeru na pravac ekstruzije. Visoko učešće kristala, može biti posledica velike gustine sirovine ili predugog hlađenja, pa daje foliju sa relativno slabom čvrstoćom na udar i malom čvrstoćom na kidanje.

6.1.2.2. Temperature ekstruzije

Odgovarajuća temperatura za dati materijal, u toku procesa ekstruzije, omogućuje da se plastična masa isteže do željene debljine i da se u daljem procesu hlađenja, pomoću vodenog kupatila ili rashladnih valjaka, formira u foliju sa dobrim mehaničkim i optičkim svojstvima.

Kao opšte pravilo važi da izabrana temperatura ekstruzije mora biti takva da se osigura potrebno optičko svojstvo gotove folije. Za polietilen male gustine temperatura ekstruzije je između 200 i 250°C, a za polietilene veće gustine potrebne su više temperature: oko 250—300°C. Brzo hlađenje je potrebno za materijal veće gustine, da se spreči zamućivanje zbog kristalizacije.

6.1.2.3. Odstojanje između alata i rashladnog uređaja

Polietileni imaju tu osobinu da se skupljaju posle napuštanja alata i da tako smanjuju širinu folije. Koliko će biti to skupljanje, a time i širina ivičnog zadebljanja koje treba da bude odsečeno, to zavisi od temperature ekstruzije, brzine izrade i odstojanja između alata i rashladnog uređaja. Da bi se to skupljanje ograničilo potrebno je da se radi sa što manjim odstojanjem između alata i valjaka (sl. 82).

Obično, najbolji rezultati kod postupka livenjem folije postižu se odstojanjem između alata i rashladnih valjaka od 25—50 mm. Nije preporučljivo da se ta udaljenost smanji na taj način što bi se folija još u mekom stanju, pod ostrim uglom, vukla iz usana alata na rashladne valjke pa može dovesti do nagomilavanja mase na prednjoj strani alata, a što izaziva pregorevanja i raspadanja materijala folije.

Valjci za hlađenje pod normalnim okolnostima treba da imaju temperaturu između 50 i 70°C. Važno je da temperatura duž valjka bude svuda jednaka. Svaka promena temperature dovodi do različitih brzina hlađenja, a to uslovljava stvaranje nabora.

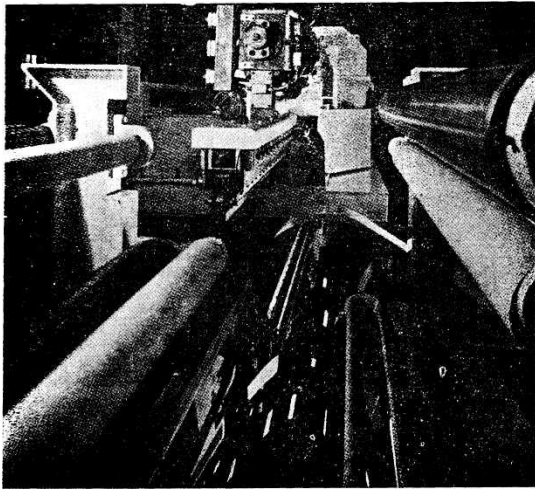
Neujednačeno hlađenje mase može biti prouzrokovano neravnomernom debljinom folije koja se može smanjiti podešavanjem usana alata. Međutim, te promene debljine mogu biti prouzrokovane i promenljivim dospevanjem folije na valjke za hlađenje, što se može objasniti elastičnošću mase. Elastičnost mase izaziva skupljanje folije, pa se na rubovima stvaraju zadebljanja. Tako nastaju sile koje lako mogu da izazovu stvaranje rebara u masi, što dovodi do neujednačenog hlađenja folije. Ova pojava najlakše se otklanja na taj način što se na foliju upravi ograničena vazдушna struja iznad zone hlađenja, čime se masa pritiskuje uz valjak za hlađenje.

6.1.4. EKSTRUZIVNO OSLOJAVANJE FOLIJA

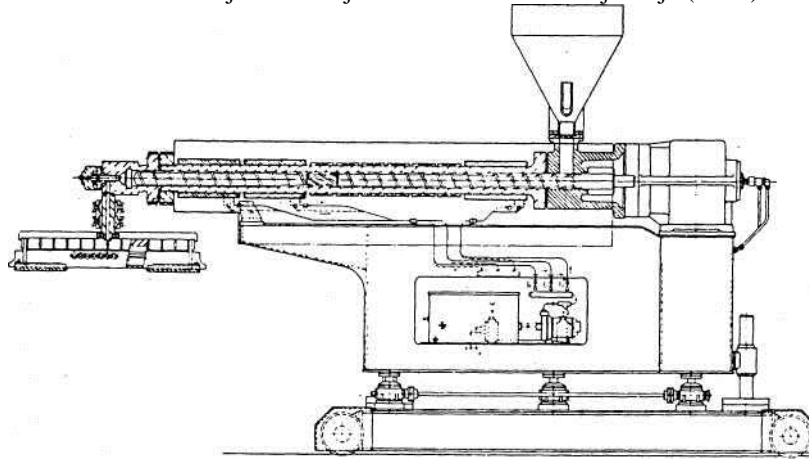
Svrha ekstruzionog oslojavanja je oplemenjivanje raznih podloga najčešće hartije, u cilju poboljšanja njihovih osobina i postizanja novih osobina kao: elastičnosti, otpornosti prema habanju, otpornosti na vodu, masti, ulja, hemikalije, a u posebnim slučajevima i postizanje nepropustljivosti za gasove i mirise, kao i postizanje estetskog izgleda. Sve ove osobine ne mogu se postići oblaganjem samo jedne vrste materije. Zato se, zavisno od upotrebe, izabere vrsta plastične mase i postupak rada. Najrašireniji i najmasovniji postupak je ekstruzivno oblaganje hartije i kartona polietilenom. Specijalne zahteve može da zadovolji upotreba tzv. spojenih, tj. laminiranih folija.

Osim oslojavanja hartije i kartona vrši se oslojavanje i drugih vrsta podloga, aluminijum folija, bakarna i sl. (slika 84).

Postupak se sastoji u ekstruziji pomoću širokog alata. Pri tome tečna masa polimera, u formi tankog filma, kroz kratko vazdušno odstojanje, ulazi u razmak između valjka koji pritiska i hladnog valjka i pada na podlogu (papir, karton i slično). Topli, film ne sme prvo da dotakne hladni valjak, nego prvo dolazi na podlogu. Debljina nanosa zavisi od brzine ekstrudiranja i brzine kretanja trake na koju se nanosi. Moderna postrojenja na ovom principu rade s ekstruderom prečnika puža do 250 mm i automatizovanim odmotavanjem i oblažu brzinom od 200 do 500 metara u minutu. Šematski prikaz ekstrudera dat je na slici 85.



Sl. 84 — Detalj alata i valjaka za ekstruzivno oslojavanje (Bone)



Sl. 85 — Ekstruder sa alatom za ekstruzivno oslojavanje (Bone)

Za oslojavanje najviše se upotrebljava polietilen gustine 0,925 do 0,93 ali se sve više upotrebljava i polietilen veće gustine kao i polipropilen. Poliamidi su vrlo pogodni u pogledu otpornosti na masnoću, ali su skupi. S obzirom na visoku temperaturu prerade (280 do 330°C) mogu se upotrebiti samo polimeri s velikom termičkom stabilnošću i polimeri koji nemaju miris. Povećanjem gustine polimera poboljšava se otpornost prema uljima i mastima i nepropustljivost za gasove i pare.

6.1.5. PROIZVODNJA ORIJENTISANIH FOLIJA

Viši stupanj proizvodnje folija su orijentisane folije. One se proizvode postupkom istezanja, usled čega dobijaju znatno bolje mehaničke osobine folije. Ovim istezanjem postiže se povećanje čvrstoće kidanja i istezanja, kao i povećanje širine folije, kod poprečnog istezanja. Paralelno sa ovim osobinama istezanjem se debija veća transparentnost folije, glatkoća i dobija se folija tanjih zidova, nego što je to slučaj sa ostalim postupcima za dobijanje folija. Ova folija ima veću nepropustljivost za gasove i vodenu paru.

Danas za proizvodnju biaksijalno istegnutih folija koriste se najviše poliestri, polipropilen, ređe PVC i polistirol.

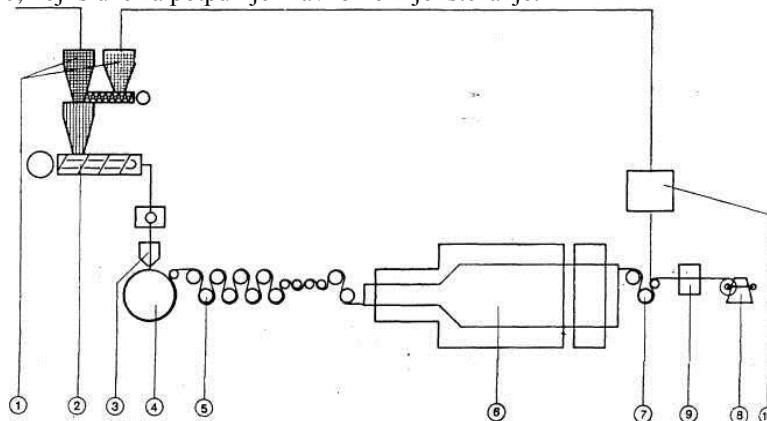
Proces proizvodnje folije počinje sušenjem granulata u kontinualnim sušnicama gde se izdvaja vlaga do ispod 0,01%.

Sledeća faza je ekstrudiranje i proizvodnja folije. Ekstruzija se izvodi u ekstruderu čiji je odnos L/D 25, klasične konstrukcije, izuzev kod konstrukcije puža koji je posebno oblikovan i najčešće dvostepen. Kompresioni odnos je 2,5:1 do 2,2:1. Iz ekstrudera masa ide u alat (širokousni) specifično konstruisan, sa diferencijalnim zavrtnjima za podešavanje širine usana.

Masa se lije na (sl. 86) valjak, čija temperatura iznosi od 60—90°C i brzina 0,5—20 m/minuti, a sa njega već oblikovana folija dolazi na grupu valjaka za uzdužno istezanje.

Ova mašina sastoji se od 10—14 valjaka, prečnika do 200 mm i 6—8 valjaka za predgrevanje folije. Temperature se kreću od 60—200°C. Valjci su uljno grejani.

Odnos istezanja je od 1:1 do 5:1. Pored ovih osnovnih valjaka ovaj deo stroja ima niz valjaka pod pritiskom, oko 6—10, koji služe za potpunije i ravnomernije istezanje.



Sl. 86 — Šema postrojenja za biaksijalno istezanje folija (Bruckner): 1) sistem za doziranje, 2) ekstruder, 3) alat širokog proreza, 4) valjak za livenje, 5) uređaji za uzdužnu orijentaciju, 6) uređaj za poprečnu orijentaciju, 7) uređaj za vučenje folije, 8) namotač, 9) uređaji za lakiranje, 10) odvajanje otpatka

Iz ove mašine folija ide u uređaj za poprečno istezanje. Ovaj uređaj je komornog tipa i podeljen je u više zona:

- | | |
|---------------------|----------------|
| — predgrejana zona | dužine do 10 m |
| — zona istezanja | dužine do 8m |
| — međuzona | dužine do 3m |
| — zona temperiranja | dužine do 15m |
| — rashladna zona | dužine do 3m |

Ovaj uređaj poseduje veoma složen sistem hvatača folije lančanicima za poprečno istezanje, kao i sistem za transport folije. On je snabdeven sa uređajima za duvanje vazduha brzinom od 15—30 m/sec.

Iz ovog uređaja folija ide na uređaje za vučenje, uobičajenim sistemom od 2 valjka, a zatim na 4 uređaja za namotavanje i sečenje, iz koga se vakuumom odvaja otpadni materijal i vraća ponovo u silos za doziranje mase.

6.1.5.2. Primena poliestar folije

S obzirom na dobra svojstva, poliestar folija ima veliku primenu, ali s obzirom na njenu relativno visoku cenu, ona se sad, uglavnom, koristi za one svrhe gde druge vrste plastičnih masa nije moguće primeniti.

Radi preglednosti daje se primena u više grupa:

(A) Primena u elektroindustriji

- dielektrični materijal za izradu kondenzatora,
- kao izolacioni materijal u sendviču: (PETP) prešpan, (PETP) staklena tkanina itd.,
- izolacija motora i generatora (međufazna izolacija, obavijanje vodova),
- izolacija vodova od rđe i vode,
- izolacija transformatora i generatora (veće i manje snage),
- izolacija za kaleme i releje,
- savitljiva podloga za štampana elektronska kola,
- izrada grejača za auto-stakla, kamione, kipere, dizalice i sl.
- izrada specijalnih grejača za zidove, podove i si.

(B) Primena u građevinarstvu i opšta primena

- oslojavanje hartije za specijalno pakovanje,
- oslojavanje hartije i aluminijske folije,
- podloga za samolepljive trake,
- u bitumenskoj industriji kao zamena za klasičan uložak (voal ili hartiju) ili zamena klasičnog posipa za bitumen traku,
- za razna pakovanja (bakarnih kablova, žica itd.),
- podloga za nanošenje poliestar smole za krovne izolacije.

(C) Specijalna primena

- Audio magnetoskopske trake za snimanje tona i slike, za fotografiju, rendgen film, kompjuterske trake itd.

Pored poliestara na istoj opremi, sa izvesnim izmenama, biaksijalno isteže se polipropilenska folija, koja zadnjih godina ozbiljno potiskuje poliestar, zbog niže cene i dobrih osobina.

Tehnološke razlike u preradi ove dve plastične mase su temperatura sušenja granulata, temperatura predgrevanja pri poprečnom i uzdužnom istezanju, temperature prerade u ekstruderu. Svi pomenuti temperaturni parametri su za 10—15% niži kod polipropilenske folije.

Pored pomenutih uslova prerade, u slučaju korištenja obe plastične mase neophodna je izmena cilindra ekstrudera i puža za svaku plastičnu masu.

6.1.6. TERMOSKUPLJAJUĆE FOLIJE

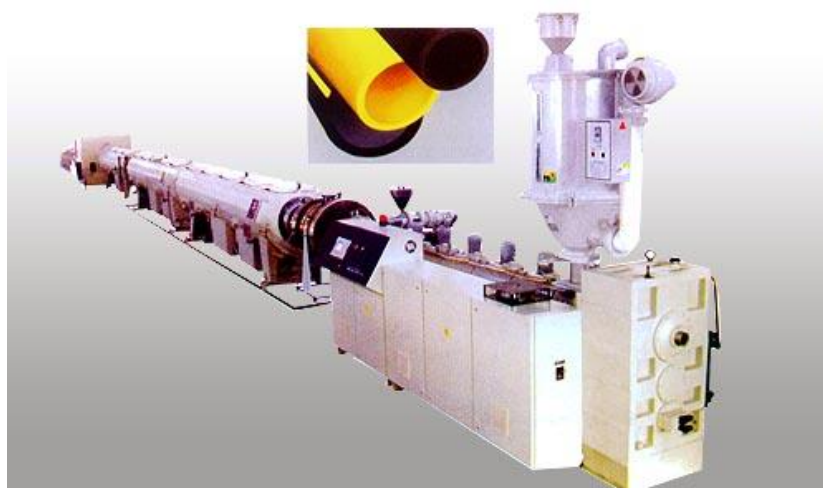
Sličnim postupkom biaksijalnog istezanja dobijaju se i takozvane stegnute folije (ili termoskupljajuće folije).

One imaju osobinu da se pod dejstvom toplote skupljaju. Dobijaju se tako što se u još toplom stanju istežu uzdužno ili poprečno u području elastične deformacije, i u tako istegnutom stanju hlade. Ove folije se rade iz polietilena (m.g.) i polipropilena. Istezanje se vrši u uzdužnom prerezu u odnosu 1:1 do 1:10, a u poprečnom do 1:9. Pre istezanja mogu imati debljinu najviše 2,5 mm, a na izlasku najmanje 4—10 mikrona.

6.2. EKSTRUDIRANJE CEVI I PROFILA

Za proizvodnju cevi i profila najčešće se koriste materijali od PVC-a, polietilena male i velike gustine, polipropilen, ređe poliamid PMMA, PC i dr.

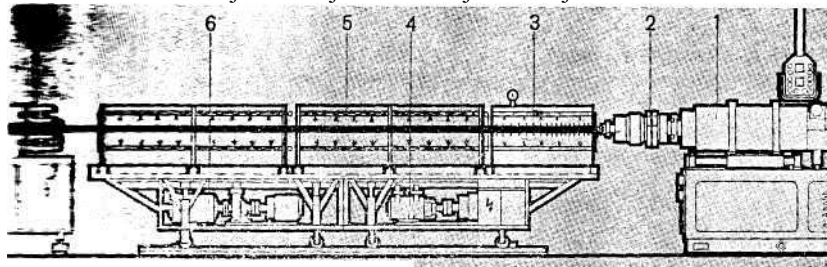
Kod proizvodnje cevi iz PVC-a, u prahu najčešće se koristi dvopužni ekstruder, a za proizvodnju cevi iz poliolefina i ostalih termoplasta, koristi se jednopužni ekstruder (sl. 88).



Sl. 88 — Ekstruder za proizvodnju cevi velikog promera (Thyssen) (gore) jednopužni ekstruder, (dole) dvopužni ekstruder

6.2.1. OPIS POSTUPKA (slika 89)

Istopljena masa ulazi u prstenasti alat, a iz njega u uređaj za kalibrisanje, gde dobija predviđenu dimenziju, a zatim u komoru za hlađenje i uređaj za izvlačenje i sečenje.



Sl.89 — Skica postrojenja za proizvodnju cevi (Thyssen): 1) dvopužni ekstruder, 2) alat, 3) kalibrator, 4) vakuum pumpa, 5) komora za hlađenje cevi vodom, 6) vakuum pumpa za potrebe hlađenja cevi, 7) uređaj za vučenje cevi

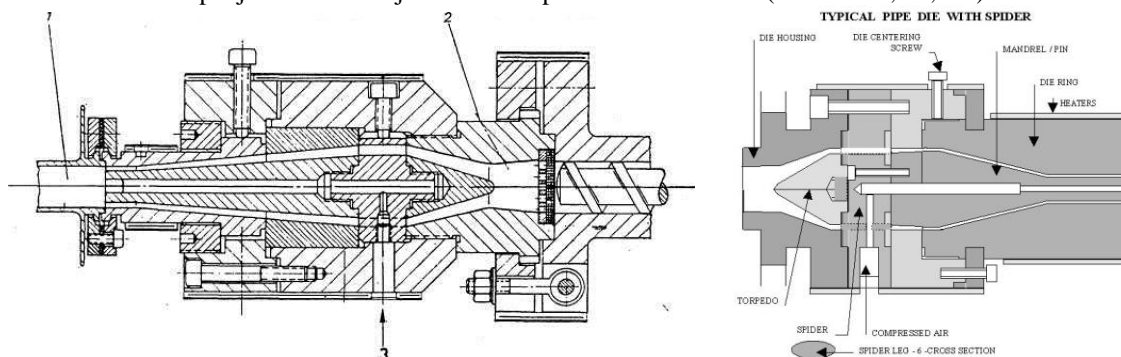


6.2.2. POTREBNA OPREMA

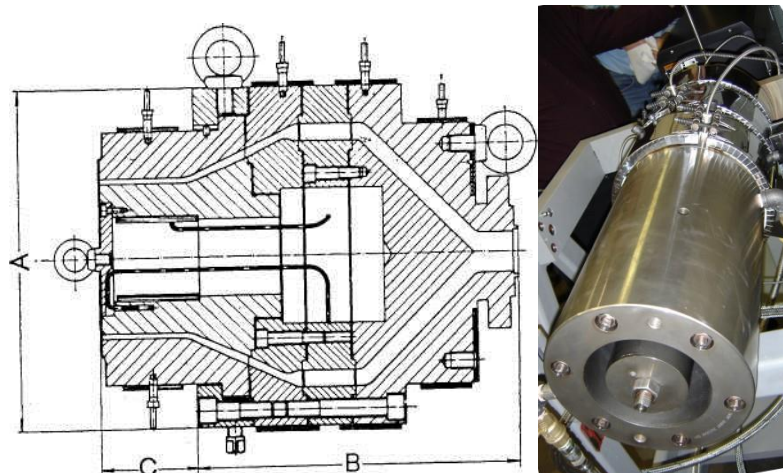
Pri proizvodnji cevi koriste se ekstruderi uobičajene konstrukcije kod kojih se odnos dužine i prečnika kreće za jednopužne ekstrudere do 30 D, a za dvopužne taj odnos kreće se do 22 D. Izvesne posebne zahteve postavlja proizvodnja cevi direktno iz PVC praha jer je tada potrebna ugradnja pužnog dozera u levak za doziranje, kako bi se sprečilo nekontrolisano priticanje praha u ekstruder. Ovaj problem u novije vreme rešava se ugradnjom automatskog dozera. Kompresioni odnos zavisi od materijala koji se prerađuje i kreće se od 2,1—4,2. Ovaj parametar ekstruzije se reguliše promenom puža ekstrudera.

6.2.3. ALAT ZA IZVLAČENJE CEVI

Za proizvodnju cevi, uglavnom se koriste namenski alati za svaki materijal posebno, mada u principu nema bitnih odstupanja u konstrukcijama alata za poliolefine ili PVC. (sl. alata 90, 91, 92).



Sl. 90 — Skica alata za proizvodnju cevi iz polietilena (v.g.) 1) plastična cev, 2) nosač ploče, 3) dovod vazduha



Sl. 91 - Skica alata za proizvodnju cevi većeg prečnika (Thyssen)

Alat mora biti tako oblikovan da je obezbeđen ravnomeran protok rastopa, i da nigde ne dolazi do zastoja plastičnog materijala. Držač trna mora imati gladak, simetričan profil.

Presečna površina između nosača trna mora da bude najmanje tri puta veća od površine poprečnog preseka prstenastog alata. Kanal kroz koji materijal struji mora se sužavati, da bi se plastični materijal zgušnjavao.

Paralelno vođenje mase mora biti dovoljno dugo da bi se proizveo povratni pritisak i time sprečilo stvaranje rubova. Kod malih cevi dužina paralelnog vođenja mora da iznosi 20 do 25 puta više od debljine zida cevi, a 30 puta kod cevi čiji je prečnik veći od 50 mm. Ako se primeni manje paralelno vođenje i ne uvede se povećanje pritiska radi izravnjanja, s unutrašnje strane cevi mogu se zapaziti linije šavova. Njihov broj odgovara broju nosača trna. Takve cevi ne pokazuju zadovoljavajuću čvrstoću na pritisak.

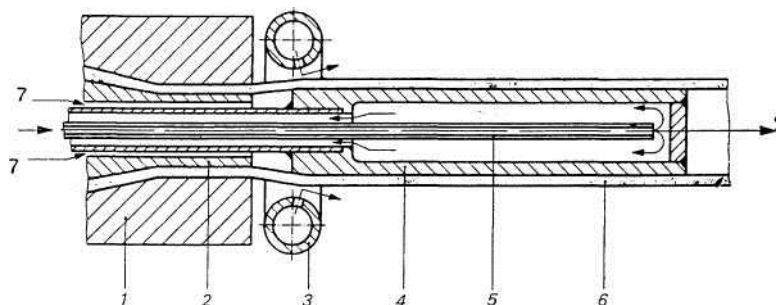
Šiljak trna i prednja strana mlaznice mora da leže u jednoj ravni.

Ako je trn pomeren gore, na unutrašnjoj strani cevi mogu ostati tragovi.

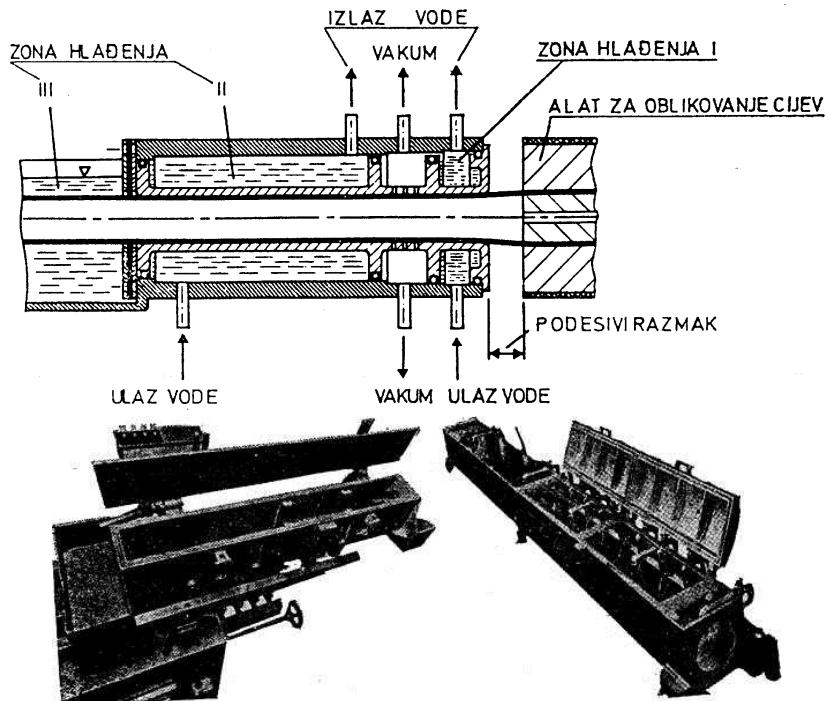
6.2.5. UREĐAJ ZA KALIBRISANJE

Ekstrudirana cev, nema tačan presek izlaznog otvora alata. Odmah nakon izlaska plastičnog materijala iz mlaznice dolazi do širenja materijala. Širenje materijala je naročito veliko pri radu s niskim temperaturama prerade i velikim brzinama. Moguća je i suprotna pojava, tj. da se presek pri izlasku iz mlaznice smanjuje. Do toga dolazi kad je brzina izvlačenja veća od brzine ekstruzije materijala iz alata. Pri ekstruziji cevi i drugih šupljih profila moguće je ostvariti proširenje unutrašnjeg preseka mehaničkim putem. Pri ovakvom proširivanju unutrašnjeg preseka ili se kroz kanal u držaču trna uduvava vazduh u cev, koja se na zadnjem kraju zatvori čepom, ili se još na spoljnu stranu plastične cevi deluje vakuumom u kalibratoru. U oba slučaja dobija se cev s povećanim promerom i smanjenom debljinom zida. Pri tome je važno da uređaj za kalibriranje bude u tačno koaksijalnom položaju sa glavom za brizganje.

Kao alat za kalibrisanje spolja služe metalne cevi vodom hlađene, a za kalibrisanje iznutra služe kratka cilindrična produženja trna ili kružne ploče. Alat za kalibrisanje izrađuje se iz nerđajućeg čelika ili bronz, ili se hromira odnosno nikluje se. U praksi se najviše upotrebljavaju uređaji za kalibrisanje cevi prema šemama 93 i 94

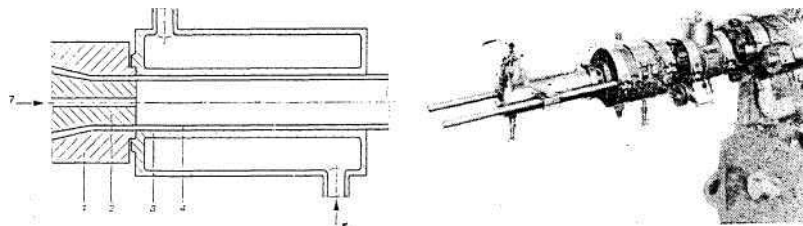


Sl. 93 — Princip vazdušnog kalibrisanja: 1) alat, 2) ploče, 3) vazdušna mlaznica, 4) kalibrator, 5) dovod vode, 6) plastična cev, 7) dovod vazduha, 8) cev za hlađenje, 9) vodeno kupatilo

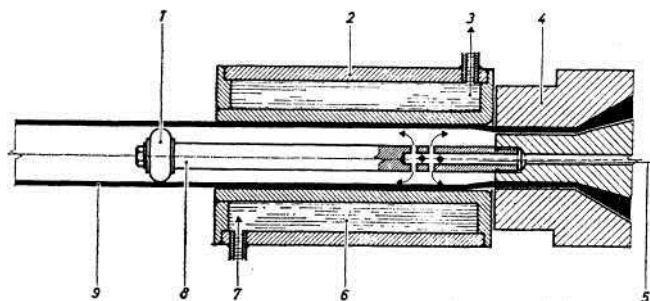


Sl. 94 — Kalibriranje cevi vakuum postupkom: 1) skica vakuum kalibratora, 2) vakuum kalibrator, 3) komora za hlađenje u tri stepena (Amut)

Kod rada sa vakuumom kalibrisanjem koristi se razlika pritiska od 0,05, 0,03 kg/cm². U novije vreme sve više se rade kalibratori na vakuum. Za cevi manjeg prečnika, kao i one gde se ne traže posebno tačne dimenzije koristi se kalibrator sa vodom (sl. 95) dok za cevi za više pritiska može da se koristi kalibrator sa klipom (slika 96).



Sl. 95 — Kalibrator za cevi niskog pritiska: skica, 1) alat, 2) ploča, 3) čaura, 4) plastična cev, 5) ulaz vode, 6) izlaz vode, 7) ulaz vazduha; izgled alata kalibratora za proizvodnju cevi niskog pritiska (Troester)



Sl. 96 — Skica kalibratora s klipom: 1) klip, 2) kalibrator, 3) izlaz vode, 4) alat, 5) ulaz vazduha, 6) komora s vodom, 7) ulaz vode, 8) osovina klipa, 9) plastična cev

Ekstrudirana cev tek posle uređaja za hlađenje dobija svoju pravu dimenziju. Zato je važno da se alat i kalibrator pravilno dimenzioniraju.

Ispitivanjima je ustanovljeno da unutrašnji prečnik kalibratora za poliolefine treba da bude 2—4%, a za PVC 1—1,5% veći od zadnjeg spoljašnjeg prečnika ohlađene cevi.

6.2.6. UREĐAJ ZA HLAĐENJE

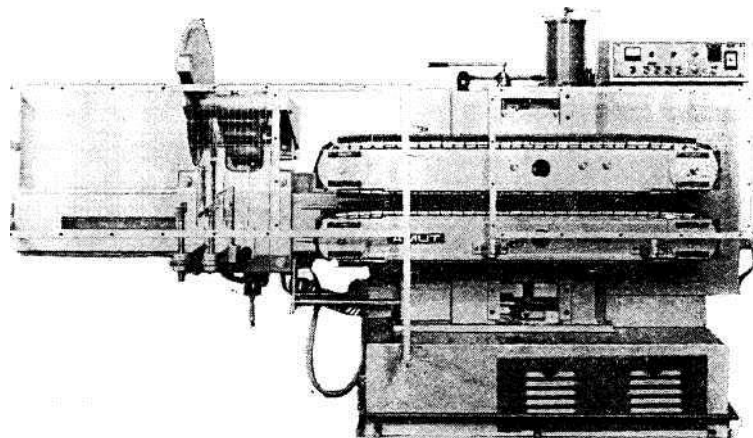
Služi da ohladi ekstrudiranu cev na temperaturi od 25—30°C. Udaljenost komore za hlađenje, je 25—100 mm, i zavisi od vrste materijala i proizvoda. Empirijski je ustanovljeno da dužina hlađenja iznosi 0,3—1 m/20 kg ekstrudiranog materijala.

Za izvlačenje kalibrisanih cevi upotrebljavaju se posebni uređaji, na principu beskonačne trake, koji se sastoje od sistema konkavnih valjčiča koji omogućuju obuhvatanje veće površine cevi i sprečavanje lokalne deformacije. Ovakvi uređaji mogu obuhvatiti razne dimenzije cevi, (sl. 97). Brzina izvlačenja izračunava se prema formuli:

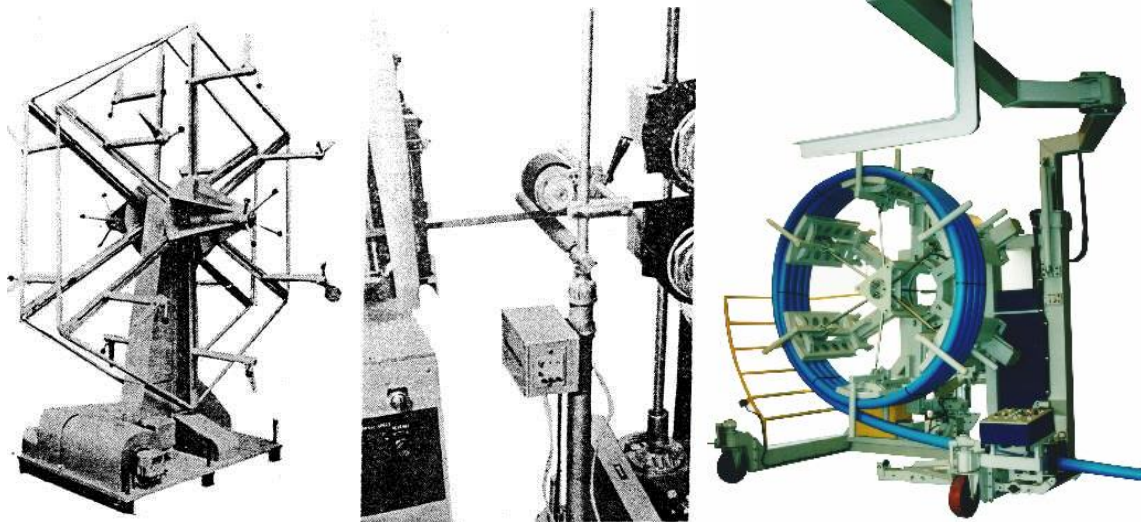
$$W(m/min) = \frac{Q}{6\pi\psi(d-s)s} \quad (40)$$

Q = kapacitet ekstrudera u kg/h,
ψ = specifična težina termoplasta
d = promer cevi u cm,
s = debljina zida cevi u cm.

Za male promere cevi upotrebljava se uređaj za izvlačenje, sa mogućnošću regulacije brzine izvlačenja (vučenja cevi) u intervalu od 4—40 m/min, a za veće promere cevi brzina izvlačenja iznosi 0,3—3 m/min. Vrlo je važno da uređaj za izvlačenje cevi radi kontinualno i bez zastoja.



Sl. 97 — Vučni uređaj za cevi i profile, zajedno sa testerom za automatsko sečenje (Amut)

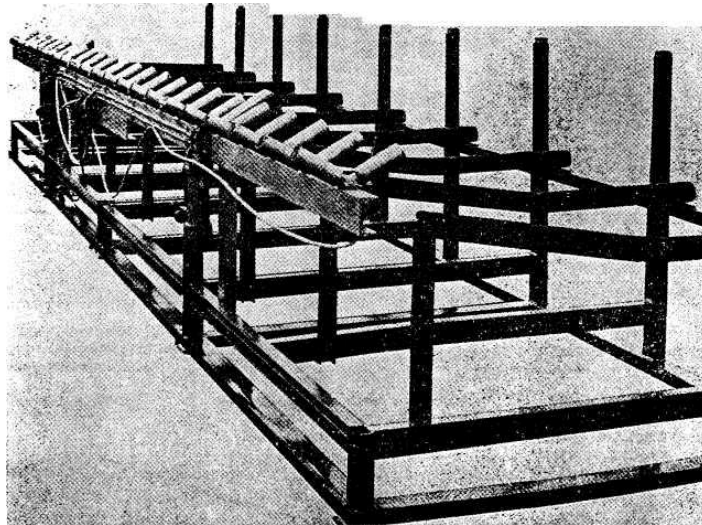


Sl. 98 — Uređaj za namotavanje savitljivih cevi (Mil)

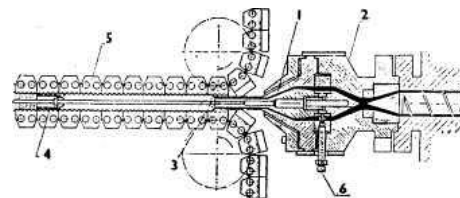
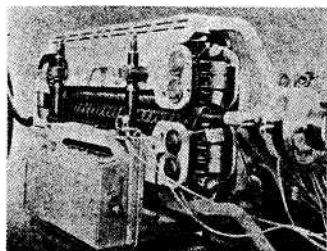
Sl. 99 — Uređaj za merenje dužine cevi ili profila sa automatskim uređajem za uključivanje testere za sečenje (Mil)



Osim pomenutih uređaja postoje i drugi pomoćni uređaji, kao što su uređaj za namotavanje savitljivih cevi (slika 98), uređaj za merenje dužine cevi sa mogućnošću automatskog uključivanja uređaja za sečenje (sl. 99), uređaja za kontrolu debljine i drugi. Kao pomoćni uređaji su uređaji za odlaganje cevi (sl. 100). Na slici 101 prikazana je proizvodnja talasastih cevi, čiju specifičnost predstavlja alat za oblikovanje.

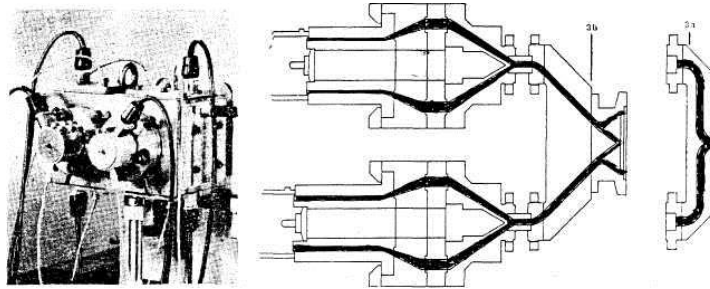


Sl. 100 — Uređaj za odlaganje cevi (Krauss Maffei)



Sl. 101-a. Uređaj za izradu talasastih cevi sa uređajem za namotavanje. (Reifenhauser), b. skica alata za formiranje valovitih cevi: 1) alat, 2) ploča, 3) izlaz vazduha, 4) izlaz čepa, 5) lanac za oblikovanje, 6) ulaz vazduha pod pritiskom

U novije proizvode spada i istovremena proizvodnja više cevi, gde se iz jednog ekstrudera izvlače 2 ili više cevi (sl.102).



Sl. 102-a. Dvostruki alat za proizvodnju cevi; b. skica dvostrukog alata (Krauss Maffei)

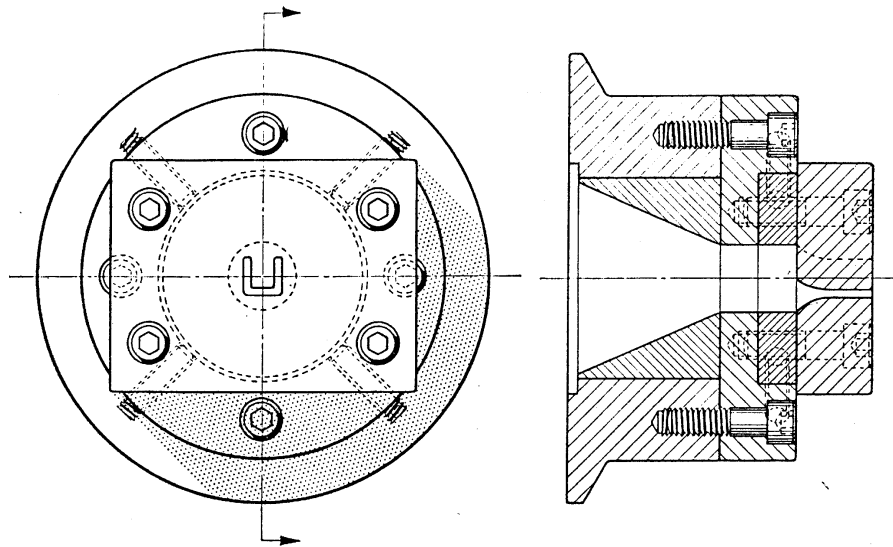
Postoji i poseban uređaj za biaksialno orijentisanje cevi iz polietilena velike gustine i polipropilena. Prvo se ekstrudira i kalibriše cev manjeg prečnika, a veće debljine zida. Takva cev ohlađena do izvesne temperature ponovo se, uz kontrolu, zagreva u zatvorenom višestepenom izmenjivaču toplote do temperature koja najbolje odgovara za orijentisanje. Na toj temperaturi, delovanjem vazduha pod pritiskom, cev se proširuje, a istovremeno, pomoću uređaja za izvlačenje, tzv. guseničara, isteže se, a zatim ponovo kalibriše. Cevi koje se koriste za više pritiske, ojačavaju se pomoću poliamidnih niti, a nakon toga oblažu ponovo plastičnom masom. U tu svrhu koriste se dva ili više ekstrudera i uređaj za upletanje cevi (sl.103).

6.3. PROIZVODNJA PROFILA EKSTRUDIRANJEM

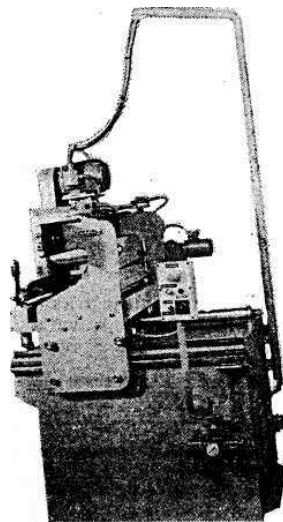
Proizvodnja profila, u principu, izvodi se na identičnoj opremi kao i proizvodnja cevi. (sl.104) Kod proizvodnje profila izrada alata i kalibratora je dosta složena i ne zasniva se ni na kakvim proračunima već je čista empirija. Skica alata za proizvodnju profila data je na sl. 105.



Sl. 104 — Proizvodna linija za profile (Troester) (elektro ormarić, ekstruder, alat, kalibrator, hlađenje, sečenje i odlaganje)



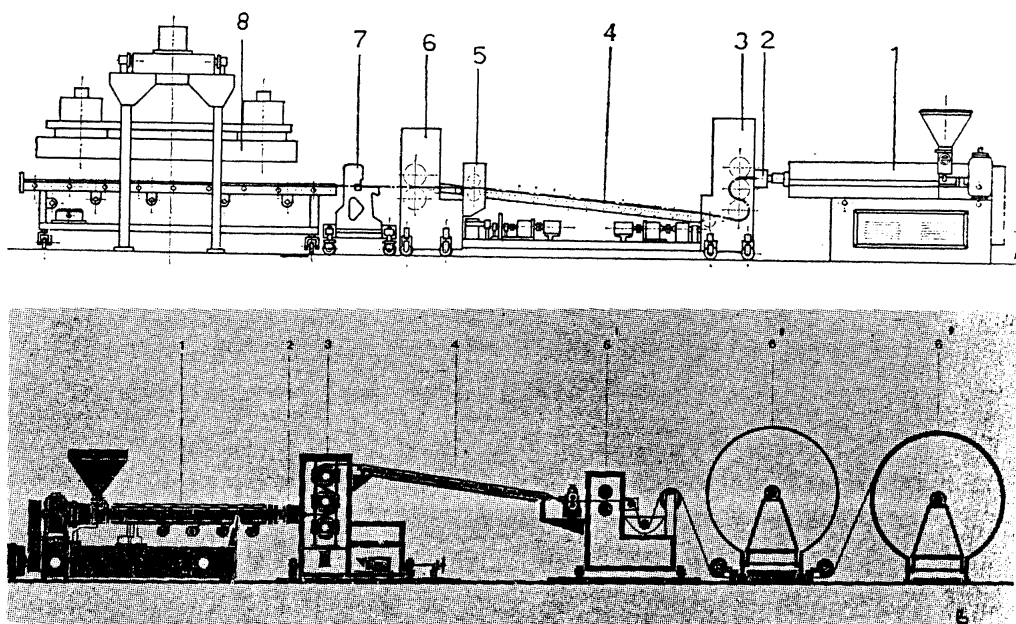
Sl. 105 — Skica alata za proizvodnju profila



Sl. 107 — Uređaj za poprečno sečenje ploča i profila pomoću kružne testere (Amut)

6.4. PROIZVODNJA TRAKA I PLOČA EKSTRUDIRANJEM

Pod pojmom trake podrazumeva se »fleksibilna ploča« debljine do 2,5 mm, i u principu njena proizvodnja je identična sa proizvodnjom ploča, izuzev što se trake namotavaju na kaleme, a ploče odlažu na sto za odlaganje.



Sl. 108 — Skice postrojenja za proizvodnju ploča (A) i traka (B); A. 1) ekstruder, 2) alat sa širokim prorezom, 3) trovaljak kalander, 4) transportni valjci, 5) uređaj za uzdužno sečenje, 6) vučni valjak, 7) uređaj za poprečno sečenje, 8) uređaj za odlaganje; B. 5) vučni valjak, 6) dupli stroj za namotavanje traka. Svi ostali elementi postrojenja za trake su identični sa onima za ploče iz skice (A)

Kako se vidi na sl. 108 proizvodnja traka i ploča obuhvata sledeću opremu: ekstruder, širokousnu glavu, trovaljak kalander, transportne i vučne valjke, uređaj za sečenje i namotavanje.

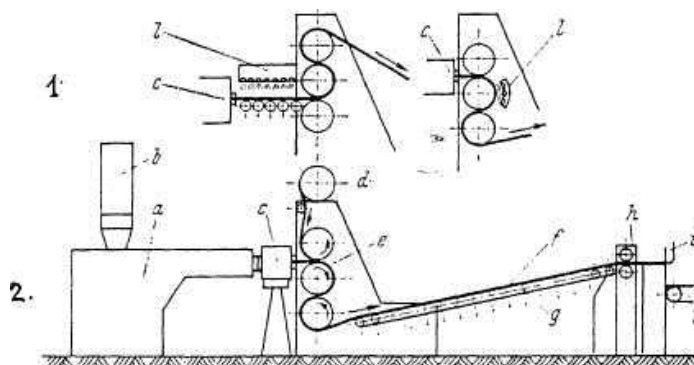
Plastični materijali koji se prerađuju u trake ili ploče su: meki i tvrdi PVC, polietilen male i velike gustine, polipropilen, polimetilmetakrilat (PMMA), polikarbonat, ABS, polistiren, etivinil acetat (EVA) i dr.

Većina navedenih plastičnih materijala koji se prerađuju u ploče ili trake, mogu se prerađivati na istom postrojenju ali se moraju menjati temperaturni uslovi, a kod izvesnih materijala, (tabela 37 i 38) menjaju se i puževi, uvodi odsisavanje vakuumom i sl. Jedino prerada tvrdog PVC, zahteva sasvim druge uslove prerade i, mada je oprema u principu ista, ipak se konstrukcijski razlikuje.

I pored mogućnosti da ista mašina prerađuje više materijala ni u kom slučaju se to ne preporučuje, tu mogućnost treba izbegavati kad god je moguće, jer česta izmena tehnoloških parametara oštećuje mašinu, a i kapaciteti prerade za pojedine plastične mase su ispod optimalnih. Ipak, to ne znači da jedna skupa linija za izradu cevi ili ploča, treba da prerađuje samo jedan plastični materijal, već treba da prerađuje samo srodne materijale, kao: ABS, PS SAN, i SB, ili PP, PE (m.g.), PE (v.g.) itd.

6.4.1. DOBIJANJE GLATKIH POVRŠINA PLOČA

Vrlo često se zahteva da ploče od nekih plastičnih materijala kao što su: PS, SAN, ABS i druge, budu izuzetno sjajne i glatke, a što nije uvek moguće postići na klasičnoj opremi za ploče, pa zbog toga se primenjuje oplaštanje ploča sa kristalnim biaksijalno istegnutim folijama srodnih materijala ili korišćenje tzv. plamenog glačanja (sl. 109). Oba postupka su u upotrebi ali prednost treba dati oplaštanju, pošto kod plamenog glačanja topao vazduh može preći kritičnu granicu prodiranja u ploču i da izazove nepoželjnu depolimerizaciju i oštećenje ploče.



Sl. 109 — Šematski prikaz dva postupka davanja sjaja ploči: 1. postupak davanja sjaja ploči pomoću plamenog glačanja: a) uređaj za zračenje, b) alat sa širokim prorezom; 2. davanja sjaja ploči oslojavanjem kristalnom folijom: a) ekstruder, b) levak za doziranje, d) bobina na koju se postavlja folija za laminiranje, e) trovaljak, f) ploča (traka), g) transportni valjci, h) vučni valjci, i) nož za sečenje ploča ili traka, k) transporter za odlaganje

6.5. POSTROJENJE ZA OPLAŠTANJE ŽICE I KABLOVA

6.5.1. KARAKTERISTIKE OPLAŠTENE ŽICE PLASTIKOM

Oplaštanje žice spada u novije procese ekstrudiranja. Daskora, a i danas u manjem obimu, za oplaštanje provodnika koristio se prirodni i sintetički kaučuk, a posle drugog svetskog rata, primena kaučuka opada i počinje da se koristi u prvo vreme meki PVC, nešto kasnije polietilen, polipropilen i poliamid. U novije vreme koriste se penaste varijante (PP i PE).

U odnosu na sintetički kaučuk za izolaciju vodova prednosti termoplasta su u sledećem:

1. Otpada faza vulkanizacije kaučuka.
2. Brzina prerade koja iznosi do 800 metara/min, i kod manjih dimenzija može se povećati.
3. Otpada potreba za pocinkovanjem žice.
4. Velika otpornost na habanje i starenje.
5. Izvanredna izolaciona svojstva u primeni kod kablova za visoki napon.
6. Nesagorivost, nezapaljivost
7. Dobre mogućnosti bojenja.

Proces oplaštanja se primenjuje na bakarne ili druge vrste žice, čiji su prečnici 0,1 do 20 mm pa analogno tome koriste se ekstruderi, jedan ili više u kombinaciji, čiji su prečnici puža 20—250 mm. Kapaciteti mašina za oplaštanje zavise od karakteristika žice i debljine izolacije i kreću se i do 800 kg/h.

Za izolaciju metalnih provodnika između naprave za usmeravanje žice i alata, postavlja se aparat za predgrevanje žice, koji preuzima zadatak da predgreje žicu koju treba oprastati na oko 150—200 stepeni, da bi se poboljšalo prijanjanje izolacionog materijala na površini žice.

Ovakvi aparati rade sa otvorenim gasnim plamenom, pri čemu se istovremeno mogu isparavati vlaga, odnosno ulje ili ostaci kliznih sredstava, ili, pak, sa otpornim grejnim elementima, odnosno visokofrekventnim indukcionim elementima.

Ekstruzivno hlađenje oplaštenih provodnika vrši se, uglavnom, sa vodom u kadama čija dužina mora da bude dimenzionirana prema brzini izvlačenja i prema temperaturi predgrevanja metalnih provodnika dovedenih u krstastu glavu (alat) za oplaštanje.

Između alata za oplaštanje i rashladne linije je odstojanje od oko 200 do 500 mm.

Ovo odstojanje treba da bude tako dimenzionirano da unutar oplaštanja ne dođe ni do kakve promene preseka ili naprezanja usled efekta hlađenja rashladnom vodom.

Rashladne staze, unete u proizvodne linije za oplaštanje kablova sa poliolefinima mogu na osnovu karakteristike hlađenja ovih materijala da dostignu znatnu dužinu (do 100 m i više). Radi smanjenja prostora ovakve rashladne staze se postavljaju u obliku U, ili u različitim etažima.

Za umereno hlađenje kablova oplaštenih slojevima poliolefina istakle su se u praksi stepenaste rashladne staze.

Kod ovih postrojenja je rashladna staza podeljena na više odvojenih koritastih sektora, čija temperatura vode progresivno opada.

Tako, korišćenjem polietilena za izoiloavanje kablova prečnika 15—100 mm koriste se stepenaste kade za hlađenje čije temperature se kreću:

I kada	90°C
II kada	70°C
III kada	45°C
IV kada	(15-20) °C

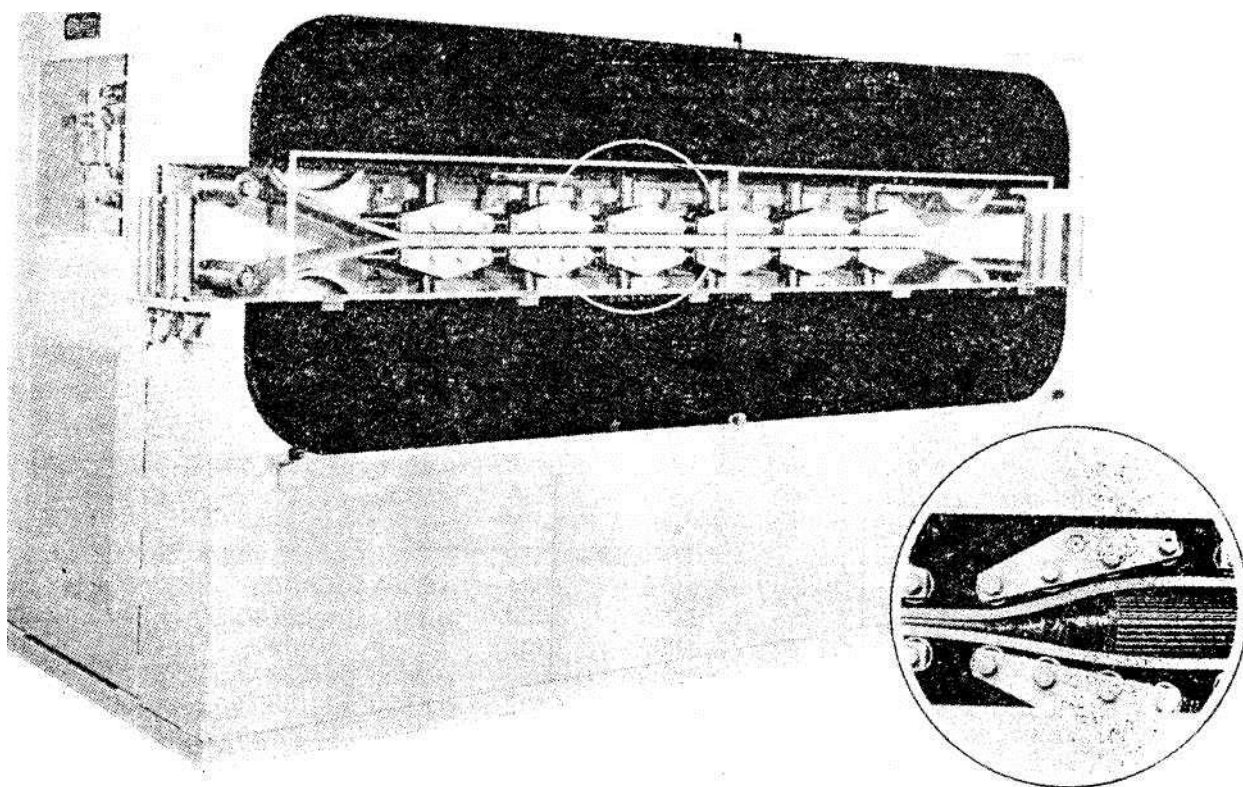
Tolerancija debljine ekstrudiranih oplaštanja može se kontrolisati i njome upravljati mernim i regulacionim uređajima, koji su neposredno iza rashladne staze uneti u proizvodnu liniju.

Ovi uređaji rade, po pravilu, s jednom regulacionom mernom glavom, koja se podešava na zadati prečnik oplatanja i koja odstupanja u dimenziji pretvara u električne impulse, a koji se koriste za upravljanje odvodne brzine.

Pored aparata za ispitivanje prečnika za potrebe kablovske industrije izvedeni su merni i kontrolni uređaji za ispitivanje razlika u debljini zida plašta plastične mase, zatim uređaj za merenje odstupanja izolacionog sloja od središta žice, jer u protivnom dolazi do nejednakih slojeva oko provodnika i postoji mogućnost električnog probijanja kabla u eksploataciji.

Uređaj za vučenje kablova (izolovane žice) je najčešće u guseničarskoj konstrukciji, sa dve beskonačne pokretne trake, koje vrše vučenje kabla i gusenice koje pneumatskim putem i brzinom vučenja regulišu potrebnu debljinu sloja plastičnog materijala (sl.120).

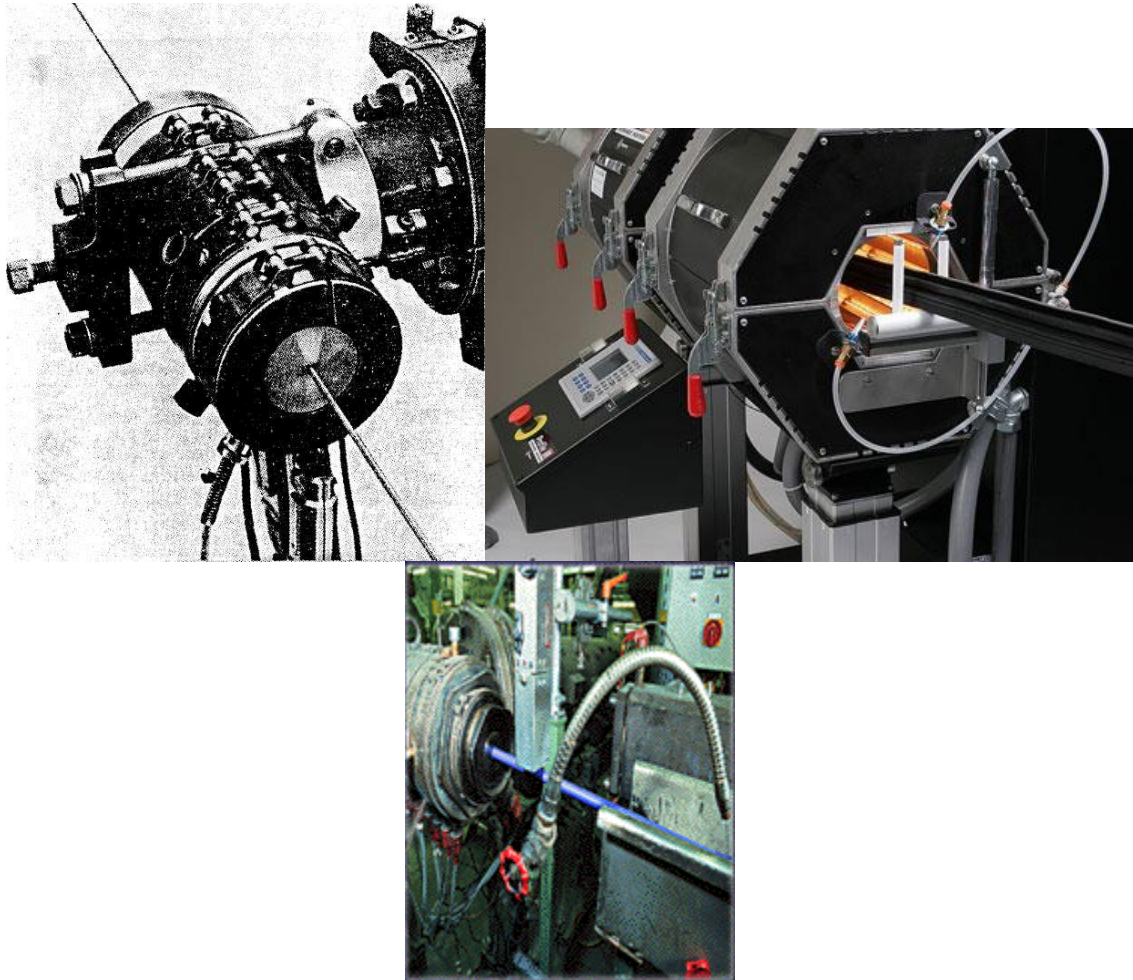
U tabeli 44 dati su potrebni pritisci za razne brzine vučenja kablova. Često u sinhronizaciji sa uređajem za vučenje kod kablova za srednje i visoko naponske kablove koristi se kolutni pritiski valjak za vučenje (sl. 121).



Sl. 120 — Uređaj za vučenje i dimenzioniranje oplastene žice (Andeuart)

5.5.2. EKSTRUZIVNO NANOŠENJE PLASTIČNIH MASA

Za ekstruzivno nanošenje sloja plastične mase koristi se ekstruderi (jednopusni) standardne konstrukcije, odnos $L/D = 20$ i 25 . U nekim slučajevima za oplatanje žice, posebno PVC i PE, koristi se dvopusni ekstruder odnos L/D do 16 , kao i tandem ekstruder tip »L«. Za izolaciju (oplatanje) vodova koristi se tzv. krstasta glava (sl. 122), gde žica (provodnik) prolazi kroz bušenu košuljicu alata u kojoj topli materijal (termoplast) obuhvata cev alata i izolira žicu koja se nalazi u alatu. Pošto rastopljena masa struji vertikalno na žicu, postoji mogućnost stvaranja mrtvog prostora pa zato alat mora biti pravilno konstruisan sa besprekorno glatkom površinom.

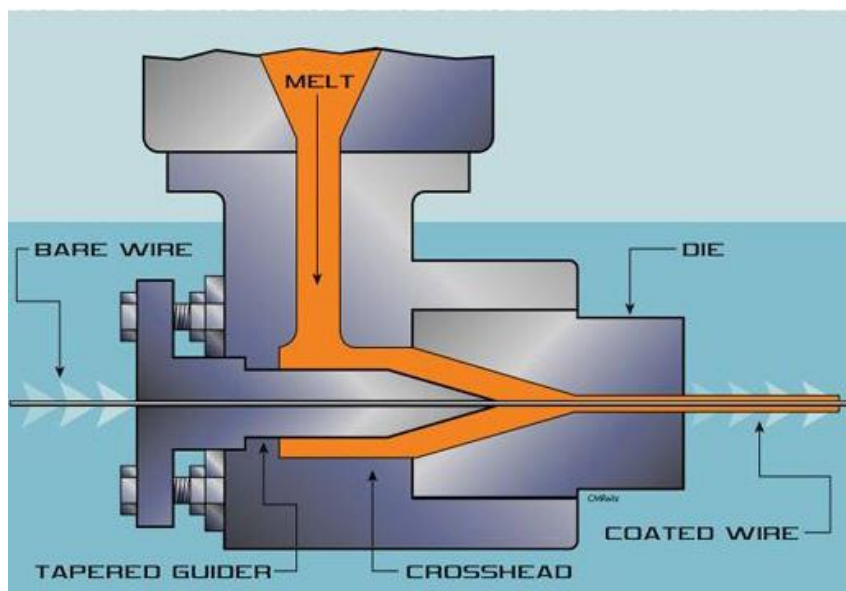


Sl. 122 — Krstasti alat (glave) za oblaganje žice (Reifenhauser)

Debljina sloja koji treba naneti na provodnik utiče na radnu brzinu. Pri korišćenju manjih i srednjih ekstrudera prosečna radna brzina leži između 70 i 300 m/min.

Smanjenjem prečnika žice povećava se radna brzina, ona može kod izolacije tankih provodnika slabe struje da dostigne do preko 1000 m/min.

U novije vreme tendencija je da se i kod oplaštenja malih preseka žice upotrebljavaju veće jedinice ekstrudera. Time je, doduše, moguće da se alat za oplaštenje na ulaznoj strani (dovodnoj strani) snabde potrebnom količinom plastičnog materijala koji odgovara brzini protoka, a sama brzina proizvodnje se jako ograničava i zavisi od kapaciteta dodatnih uređaja u proizvodnoj liniji, uglavnom, kapacitivne sposobnosti rashladnih staza. Ovo se uočava naročito kod poliolefina, čije odvođenje toplote kod većih preseka oplaštenja može biti problematično i često primorava postavljanje izduženih rashladnih staza.



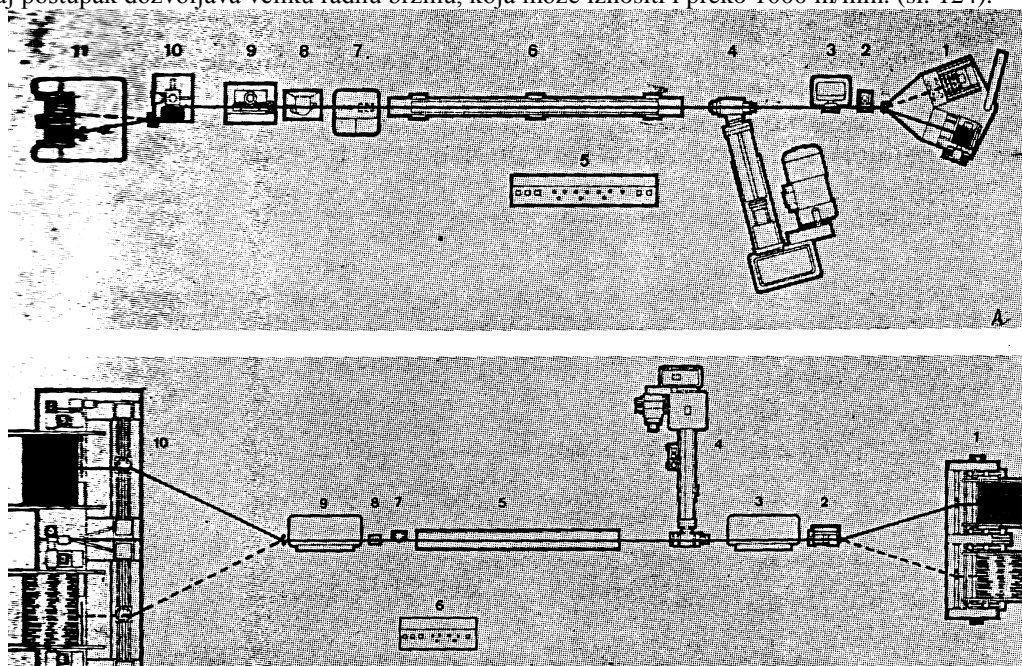
Slika 122b) – Presek alata za oplaštanje žice

6.5.3. POSTROJENJE ZA OPLAŠTANJE ŽICE

Princip postupka za ekstruzivno oplatanje žice, odnosno kablova vidi se (sl. 123) na primeru jednog postrojenja za oplatanje za manje preseke (prikaz A) i veće preseke (prikaz B).

Termoplastični materijal se, kroz alat za oplatanje, ekstrudira na površini prolazećeg provodnika. Proizvodna linija počinje sa uređajem za odvijanje. Kod isključivog oplatanja jednožilnih tankih provodnika upotrebljava se, uglavnom, uređaj, za odvijanje sa odmotavanjem preko glave (sl.123). Ovaj uređaj radi stacionarno, žica se odmotava sa stojećeg doboša pomoću jednog rukavca koji rotira oko ose doboša.

Ovaj postupak dozvoljava veliku radnu brzinu, koja može iznositi i preko 1000 m/min. (sl. 124).



Sl. 123 — Skica dva tipa postrojenja za oplatanje žice (Thyssen): A. Postrojenja za oplatanje tanje žice: 1) bubnjevi za odmotavanje žice, 2) usmerivač žice, 3) predgrevanje žice, 4) ekstruder, 5) elektro ormarić, 6) komore za hlađenje, 7) kontrolni uređaj za merenje debljine sloja izolacije, 8) kontrola električne probojnosti, 9) vučni uređaj, 10) akumulator, 11) namotač oplastenog kablova. B. Postrojenje za oplatanje deblje žice: 1) stroj za odmotavanje, 2) istežanje, 3) vučni uređaj, 4) ekstruder, 5) komore za hlađenje, 6) elektro ormarić, 7) merenje debljine sloja izolacije, 8) kontrola električne probojnosti, 9) vučni uređaj, 10) uređaj za namotavanje vlastitim pogonom

Pri upotrebi ovog uređaja provodnici su izloženi samo neznatnim vučnim opterećenjima, a to je jedna od karakteristika uređaja za prerađu tankih žica osetljivih na izvlačenje.

Neizbežno uvijanje žice koje je uslovljeno odmotavanjem preko glave, čini ovaj način odmotavanja podesnim samo za izolaciju jednostrukih provodnika.

Prilikom oplatanja uvijenih provodnih žila, uvijanje bi izazvalo smetnje i skraćivanje, pa se uvijanje tada vrši pomoću odgovarajućeg broja rotirajućih doboša.

Uređaj za odmotavanje žice ili kablova, za manje preseke i veće brzine konstruiše se u izvedbi sa dva kalema. Ovakve konstrukcije dozvoljavaju bez teškoća neprekidni tok proizvodnje.

Žice i kablovi se, po pravilu, namotavaju pomoću naprava za namotavanje koje po svojoj konstrukciji potpuno odgovaraju napred pomenutim uređajima za odvijanje, (sl. 125). Kod visokih brzina preporučuje se upotreba duplih sistema, da bi se izbegli prekidi u proizvodnji. Namotači u obliku bureta ili tzv. lončasti namotači po svojoj funkciji odgovaraju, otprilike, napred pomenutom sistemu odmotavanja preko glave; oni žicu, koju treba namotati u slobodnim navojima polažu u cilindrične posude, odakle se može vršiti kasnije namotavanje na normalne kaleme.

Veličina namotača upravlja se, u prvom redu, prema veličini kalema.



Sl.124 — Detalj roizvodnje kablova. Na njemu se vidi ekstruder sa krstastom glavom, usmerivač žice, kada za hlađenje i elektro ormarić za upravljanje.(Thyssen)

6.5.4. UREĐAJI ZA OPLAŠTANJE DEBLJIH KABLOVA

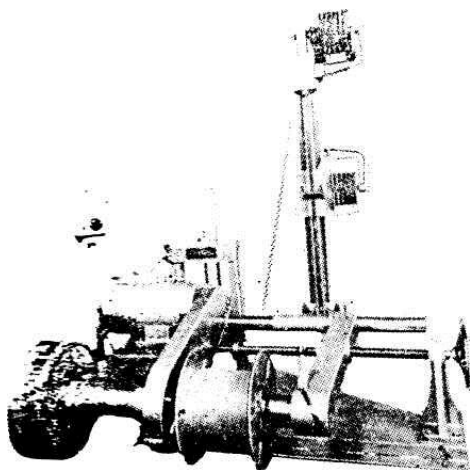
Kod oplatanja debljih kablova sa velikim presecima brzine odvijanja su niže u poređenju sa tanjim kablovima.

Za ovakve slučajeve koriste se isključivo robusne naprave većih dimenzija za odvijanje sa rotirajućim kalemom, kako u jednostrukom, tako i u duplom sistemu (sl. 126).

Da bi se žica koja se odmotava održavala potrebnom vučnom silom, potrebno je da se kalem koji se odmotava koči.

Kod oplatanja vrlo velikih preseka (pomorski kablovi itd), neophodan je sopstveni pogon uređaja za odmotavanje.

Dok kod duplih sistema uređaja za odmotavanje i namotavanje žice i kablova, proces oplatanja je kontinualan, dok kod jednostrukih namotača proces mora biti diskontinualan, zbog prekida u proizvodnji prilikom izmene koluta sa gotovom oplatenom žicom ili kablom.



Sl. 125 — Uređaj za namotavanje tanje žice sa uređajem za akumulaciju žice.
(Andouart)



Sl. 126 — Uređaj za namotavanje debljih kablova, sa vlastitim motornim pogonom.
(Andouart)

Kao što se vidi na sl. 123, žica koja dolazi sa uređaja za odmotavanje vodi se na uređaj za usmeravanje, koji je usmerava tačno u centar krstaste glave alata, i tako se sprečavaju eventualna izvijanja i gužvanja.

Dok se uređaji za odmotavanje i namotavanje za manja postrojenja odnosno tanje žice za oplatanje, gotovo isključivo koriste sa dva prihvatna kalema koji rade naizmenično, i koji kod velikih radnih brzina (između 150 i 300 m/min) omogućuju kontinualnu proizvodnju, dok kod većih postrojenja najčešće je dovoljan jedan uređaj za namotavanje koji poseduje samo jedan kalem, zbog male brzine rada.

Da bi se u potpunosti postigao kontinualan rad kod oplatanja tanje žice, potrebno je uvesti tzv. akumulacije (sl.125), koje će akumulirati izvesnu količinu žice i kod prekida zbog pucanja žice ili izmene kalema, postrojenje za oplatanje će i dalje normalno da radi. Često je dovoljno samo jedan kalem za namotavanje ili odmotavanje, ukoliko postoji uređaj za akumulaciju, pa postrojenje za oplatanje kablova i žice radi kontinualno.

Na kraju, treba spomenuti da za oplatanje žice ekstruzijom u više boja koriste se dva, tri ili više ekstrudera, u kojim su isti ili srodni materijali u različitim bojama, ali koji napajaju zajedničku krstastu glavu, specijalne konstrukcije.

6.6.1. PROIZVODNJA FOLIO-NITI

Prvo postrojenje za proizvodnju istegnutih folio-niti pušteno je u rad 1963. godine, i od tada počinje nagli razvoj ovog postupka, tako da je danas u radu oko 1.000 linija. Postrojenje za ekstrudiranje ovih traka sastoji se od ekstrudera sa alatom širokog proreza, ili od ekstrudera sa alatom za duvanje folija kao i uređaja za hlađenje i izvlačenje folija, zatim uređaja za uzdužno rezanje folija, uređaja za istezanje i namotavanje.

Trake se proizvode u dužinama koje odgovaraju daljoj preradi, odnosno tkanju ili upređanju u užad.

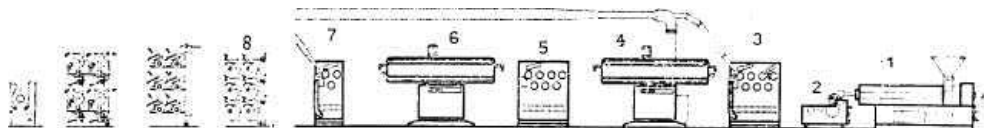
Debljine folije su obično iznad 5 g/deniju. (Deni-jedinica koja definiše finoću vlakna). Ona definiše težinu jednog vlakna ili niti sa dužinom od 9.000 mm koja je izražena u gramima. Na primer, traka od 5 g/deniju sa dužinom 9.000 mm, teška je 5 gr.

6.6.2. OSOBINE MODERNIH POSTROJENJA ZA FOLIO-NITI

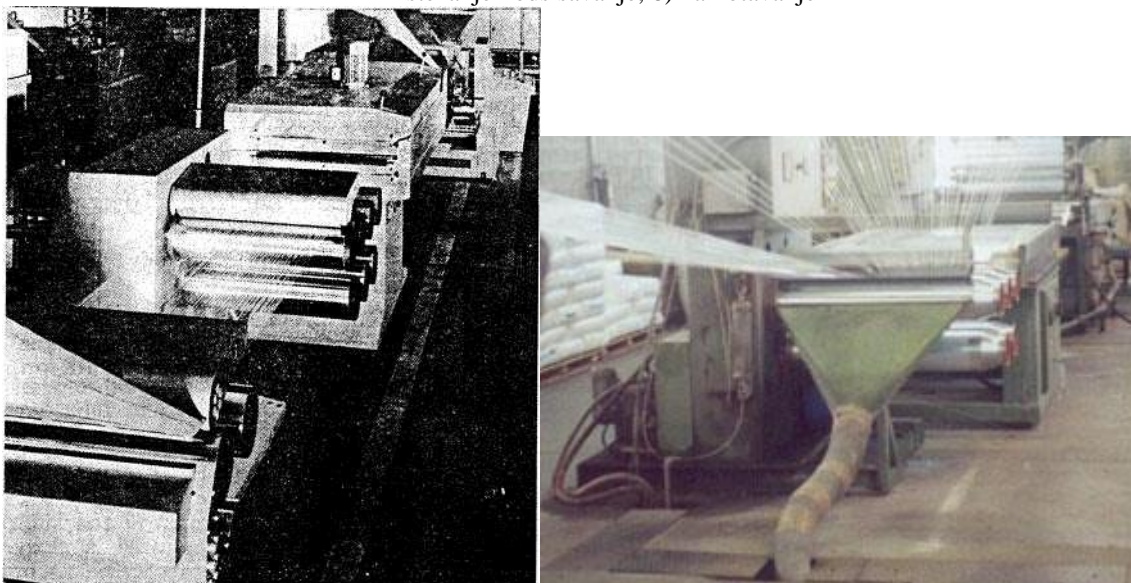
Postrojenja za folio-niti su tako konstruisana da prilikom istezanja i pri najvećim brzinama istiskivanja mase iz ekstrudera ne sme doći do unutrašnjih naprezanja. Kod izbora opreme za proizvodnju niti treba da se zadovolje sledeći tehnološki uslovi:

- Da postrojenje omogućuje izradu niti ujednačenih kvaliteta i istih mehaničkih osobina. Da bi se to postiglo postrojenje za izradu niti mora da radi u uslovima ujednačenih temperatura i drugih parametara.
- Postrojenje mora da proizvodi niti, čija minimalna čvrstoća pri istezanju za nit iz PP ne sme biti manja od 4,5 grama po deniju.
- Postrojenje mora da radi bez pulzacija i šumova, što se u novije vreme postiže upotrebom istosmernih motora na ekstruderu, uređajima za namotavanje, istezanje i upravljanjem tiristorima.

Na sl. 127 prikazano je moderno postrojenje za dobijanje niti, koje se sastoji iz ekstrudera, filtra, alata, kupatila sa vrelim vazduhom, mehanizmom za istezanje II i III, uređajem za namotavanje i odsisavanje. Sl. 128 prikazuje detalj postrojenja za istezanje.



Sl.127 — Šema modernog postrojenja za folio-niti pomoću alata sa širokim prorezom (BARMAG): 1) ekstruder, 2) kupatilo, 3) uzdužno sečenje, 4) temperiranje, 5) istežanje — I stepen, 6) temperiranje, 7) istežanje i odsisavanje, 8) namotavanje



Sl. 128 — Detalj postrojenja za istežanje niti i vlakana (Barmag)

6.6.3 POSTROJENJE ZA IZRADU FOLIO-NITI

1. Ekstruder za izradu folio-niti

Glavni zadatak ekstrudera za izradu folio-niti je da ulazak mase bude bez gasova, da topljenje bude ravnomerno, da mešanje i homogenizacija budu intenzivni, a istiskivanje mase da bude bez pulzacija. Kao što je na tabeli 47 navedeno, kao plastične mase dolaze u obzir prvenstveno PP, PE (v.g.) i PETP, koje dolaze na preradu u obliku granulata. Osobine ekstrudera su identične ekstruderima za monofilament. U ovim ekstruderima koristi se LTM-puž (Low Temperature Mixing), koji se odlikuje specijalnim rasporedom zona i specijalnim uređajem za mešanje mase, i omogućuje dobru ujednačenost temperature i dobru raspodelu boje, u preseku navoja iza vrha puža, a da se temperatura rastopa bitno ne povećava usled trenja.

Raspored dubine navoja puža onemogućuje uvlačenje vazduha u rastop, pa se tako dobija rastop bez mehurića. Puž je na izlazu rukavca opremljen gasnim zaptivačem da bi se kod hidroskopskih plastičnih masa sprečilo vezivanje vode. Najviše se koriste puževi sa prečnikom 90 ili 120 mm, i sa odnosom dužine L/D od 24 i 30.

2. Filtar za masu

Da bi se plastična masa za izradu niti ekstrudirala bez nečistoća, rastop mase mora se filtrirati posebnim filtrima, koji se postavljaju između ekstrudera i radnog mehanizma alata. Da bi se izbegli duži prekidi u proizvodnji radi zamene filtra, on je izveden kao posebna tehnološka jedinica.

Osim toga, u njemu su postavljeni filter ulošci, koji mogu da se menjaju u toku rada postrojenja bez zastoja. Za potpuno neprekidan rad u većim postrojenjima ugrađuju se dupli filtri, kad jedan radi, drugi stoji kao rezerva. Jedan moderan filter za rastopinu prikazan je na sl. 129.

3. Alat za formiranje folio-niti

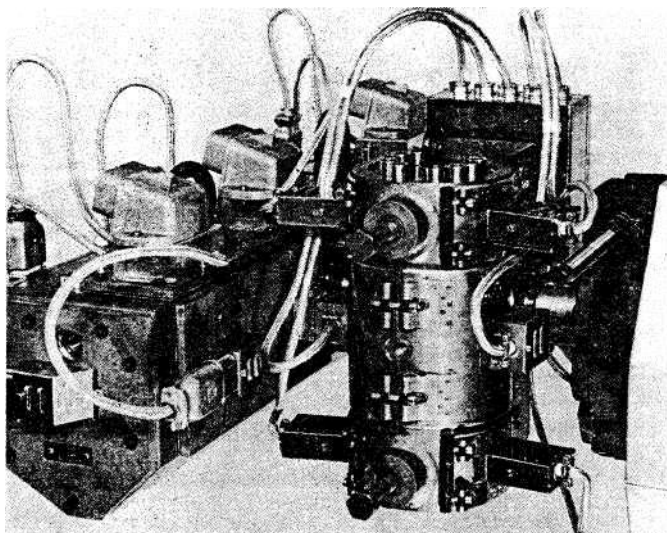
Alat za formiranje folio-niti je sličan alatu za izradu normalne folije, s tim što mora biti preciznije rađen, jer odstupanja u dimenzijama moraju biti manja od $\pm 0,5\%$.

4. Uredaji za rasecanje

Za rasecanje folija koriste se tanki oštri noževi, slični briaćim nožićima. Rastojanje između noža definiše širinu trake. Izmena noža i oštrenje vrši se na modernim mašinama automatski. U izvesnim slučajevima, za deblje folije koriste se rotirajući noževi.

5. Uredaji za istežanje

Trake se zagrevaju i istežu u jednoj liniji koja je uključena iza uređaja za sečenje. Pri tom, zavisno od debljine folija i vrste sirovine, istežanje leži između 5:1 do 10:1.



Sl. 129 — Filter sa alatom za dobijanje folio-niti (Barmag)



Sl. 130 — Deo postrojenja za izradu niti, u prvom planu su uređaji za istezanje (Barmag)

U drugom delu linije za istezanje vrši se uzdužno istezanje. Istezanje se vrši pomoću uređaja (sl. 130). Temperature pri istezanju leže između 135 i 160°C (kod polipropilena) a zavise od jačine i širine traka kao i od stepena istezanja.

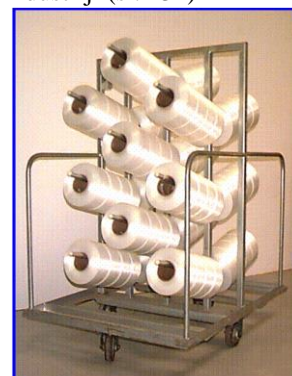
Proces istezanja se vrši u više etapa. Kako se to vidi na sl. 128 i 130, parovi posebno konstruisanih valjaka — galeta ograničavaju stepene istezanja. Površina galeta je hrapava, kako bi se sprečilo da, za vreme istezanja, ekstrudirane niti proklizavaju. Svaki par galeta se okreće tačno jednakom brzinom, u smeru istezanja. U većini slučajeva dovoljna su 2 stepena istezanja, a može ih biti i više. Viši stepeni istezanja niti imaju 5—10% višu temperaturu.

6. Uređaj za namotavanje

Iza linije za istezanje uključen je uređaj za namotavanje. Razmeštaj kalema može da bude vrlo različit. Uređaji koji se za ovo koriste su isti kao oni koji se primenjuju u tekstilnoj industriji (sl. 131)

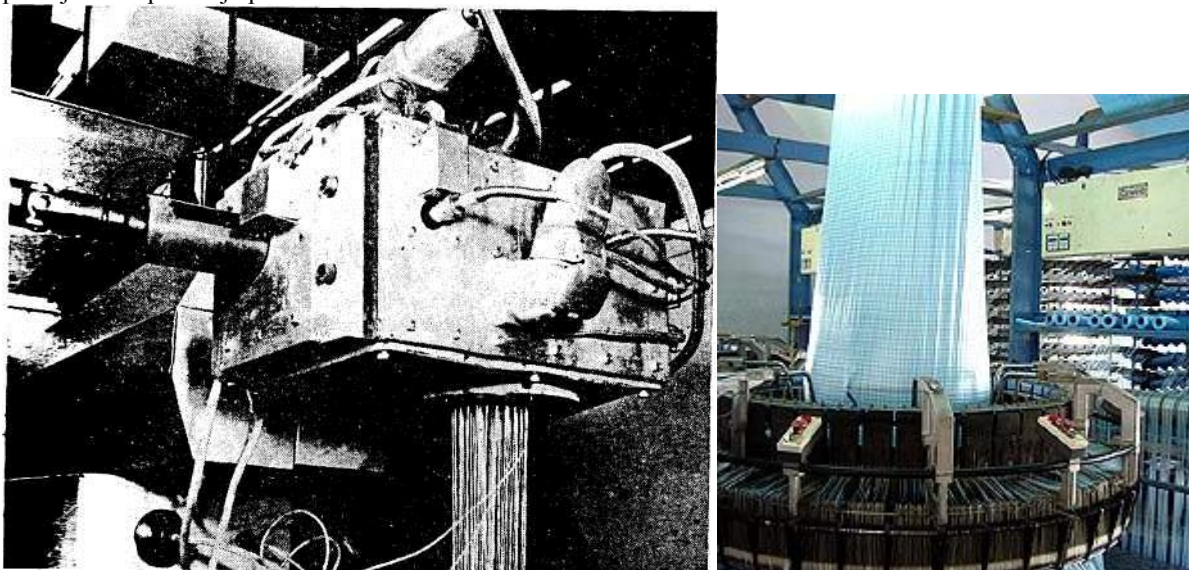


Sl. 131 — Deo uređaja za namotavanje vlakana i niti (Barmag)



Sl. 132 Polipropilenske folio-niti

Pored namotavanja niti se obično i končaju, odlažu u kaleme za predivo ili namotavaju u rolne. Vrsta konfencioniranja zavisi dalje od tehnologije prerade istezanih traka do finalnog produkta. Prethodno pomenuta tehnika uplitanja niti dovela je do potpuno novih vrsta vlakana za pređenje, koja takvim proizvodima stalno pružaju nova područja primene.



Sl. 134 — Alat za proizvodnju vlakana, sa perforiranim kružnim prstenom (Barmag)

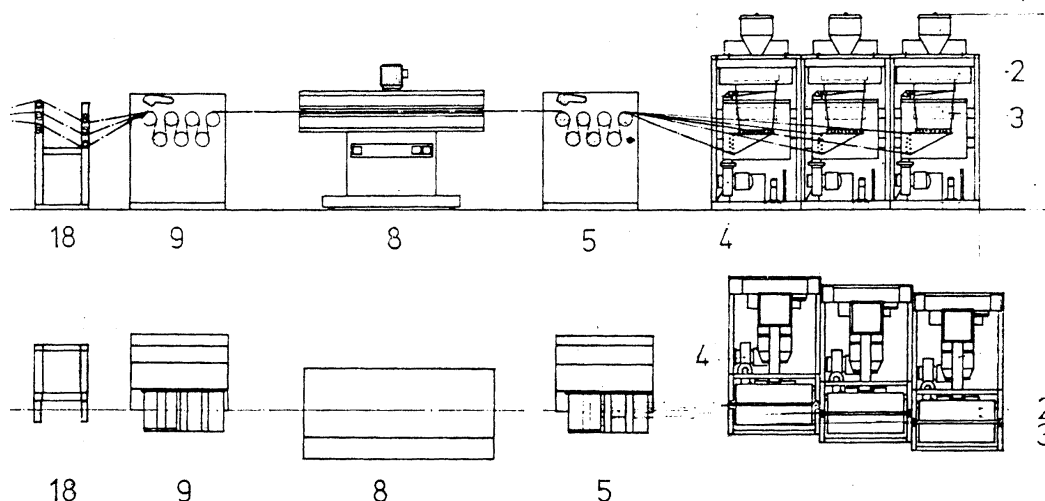
6.7. POSTROJENJE ZA IZRADU VLAKANA

Za izradu sintetičkih vlakana najčešće se koristi: poliamid, polipropilen, poliestar i druge vrste plastičnih masa.

Pri izradi niti upotrebljavaju se, uglavnom mali i srednji ekstruderi sa prečnikom puža od 40-100 mm, a kapaciteti su im od 10-80 kg/h.

Alati za izvlačenje su, uglavnom, perforiranih kružnih otvora sa obrtnim mehanizmom (sl. 134).

Na sl. 135 prikazana je šema jednog postrojenja za dobijanje istegnutih sintetičkih vlakana.



Sl.135-Šema modernog postrojenja za proizvodnju sintetičkih vlakana (Barmag): 1)levak za doziranje, 2)ekstruderi, 3)alat za izvlačenje niti, 4)temperiranje, 5)uzdužno istezanje, 8)temperiranje, 9)istezanje-II stepen, 18)uređaj za namotavanje

Na sl.136 je prikazan detalj izvlačenja niti sa prvim stepenom istezanja.

Proizvodnja sintetičkih vlakana predstavlja veoma široko područje mogućnosti primene termoplasta u procesu ekstrudiranja. Međutim, postupci su veoma složeni i njihovo razmatranje zahteva posebnu obradu.

6.8. PROCES KOEKSTRUZIJE

Pod pojmom koekstruzije podrazumevaju se procesi kod kojih se unutar jednog ekstruzionog uređaja sa

više ekstrudera proizvode proizvodi iz istorodnih ili raznorodnih plastičnih materijala. Poslednjih godina razvijene su tehnologije za proizvodnju ekstruda velikih površina (folija, ploča i sl.). U ovom poglavlju izložiće se neki od najčešće korišćenih procesa koekstruzije u preradi plastičnih masa. Od mnogobrojnih mogućnosti i praktične primene izdvojiće se i obraditi sledeće oblasti: koekstruzija višeslojnih ploča i folija sa alatima širokih proreza, i koekstruzija višeslojnih duvanih folija.

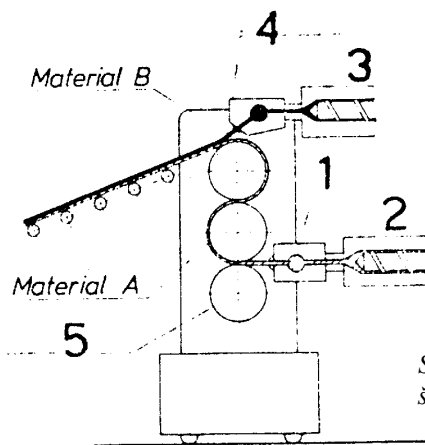
6.8.1. KOEKSTRUZIONI PROCESI SA ALATOM ŠIROKOG PROREZA

Na polju koekstruzije sa alatima širokih proreza u poslednje vreme zapaža se ubrzan razvoj. U praksi se primenjuju različiti postupci, koji imaju svoje prednosti i nedostatke. Oni se, pre svega, razlikuju u kvalitetu proizvedenih proizvoda i potrebnim investicijama.

6.3.1.1. Ekstruzija folija ili ploča od dve komponente sa dva ekstrudera i dva alata širokih proreza

Ovaj sistem najčešće se primenjuje pri proizvodnji polistirenske folije za duboko izvlačenje, kaširane tankim slojem od standardnog polistirena, koji može biti i antistatičan. Za proizvodnju po ovom sistemu koekstruzije potrebna su dva ekstrudera i dva alata širokih proreza. Veći ekstruder proizvodi osnovnu foliju ili ploču, iz butadijenstirola, a manji ekstruder nanosi dopunski sloj polistirena neposredno pre izlaska folije iz kalandra. (sl. 137).

Ostala oprema procesa koekstruzije je identična sa opremom za proizvodnju folija ili ploča.

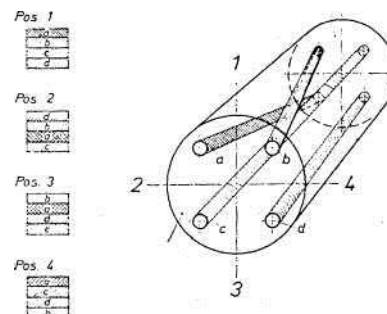
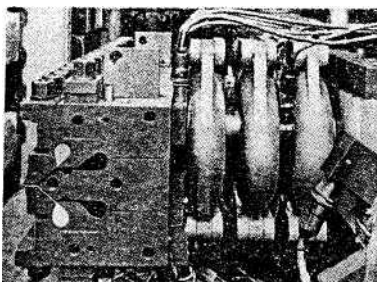


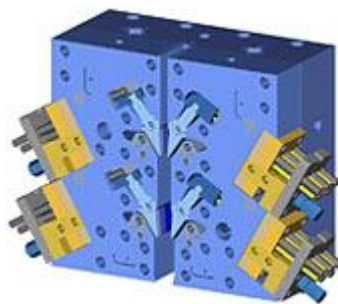
Sl. 137 — Princip koekstruzije po postupku sa dva alata širokog proreza. 1 i 3) alati, 2 i 4) ekstruderi, 5) trovaljak

6.8.1.2. Proizvodnja sa dva do četiri ekstrudera za višeslojnu proizvodnju folija

Postupak za proizvodnju višeslojnih folija odlikuje se time što se pojedine komponente odvojeno vode do pred sam izlazak iz alata za višeslojnu proizvodnju. Ovde će biti razmatrana koekstruzija sa alatima širokog proreza kad koga se slojevi plastične mase spajaju neposredno pre izlaska iz alata.

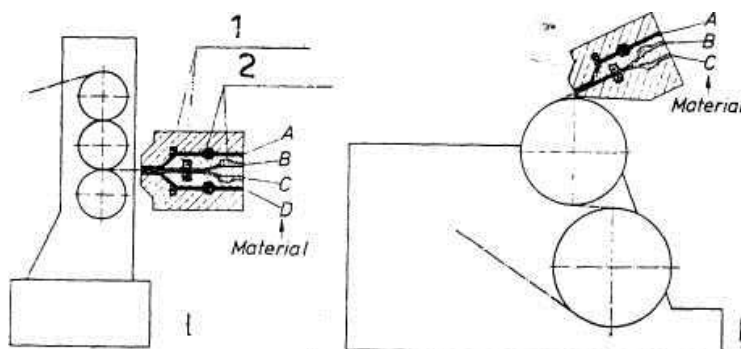
Princip rada postrojenja sličan je principu normalnog postrojenja za proizvodnju ploča, pri čemu je alat za višeslojnu proizvodnju, zavisno od broja i vrste slojeva, napajan od više ekstrudera (sl. 137). Prema debljini slojeva, ekstruderi se postavljaju po veličinama, od kojih je svaki podešen za rad sa različitim materijalima. Ekstruderi su postavljeni na pokretna postolja, da bi se lako mogla da izvedu čišćenja i montažni radovi, kao i da bi se omogućilo pokretanje u zagrejanom stanju. Ekstruderi su postavljeni na jedan zbirni blok na kojem je pričvršćen ispod razdelnog adaptera alata za višeslojnu proizvodnju. Okretanjem ovog adaptera može se menjati redosled slojeva gotovog proizvoda. Tok kanala u razdelniku određuje broj mogućih izmena (sl. 138). Prednost ovog opisanog koekstruzionog postupka sastoji se u tome, što su debljine pojedinog sloja tačno podešene, a raspodela debljine slojeva može





Sl. 138 — a) Razdelnik alata za koekstruziju sa više ekstrudera b) šematski prikaz mogućih kombinacija u razdelniku alata (Reifenhauser)

da bude korigovana prema potrebi, a u zavisnosti od toga koja se tačnost mora postići. Po izlasku iz alata slojevi materija jedan za drugim ulaze u kalendar (si. 139).



Sl.139 - Skica koekstruzivnog procesa sa više ekstrudera i jednim alatom širokog proreza: I. koekstruzija sa 4 ekstrudera i trovaljkom, gde su: 1) zaustavna greda, 2) razdelni kanal alata; II. koekstruzija sa tri ekstrudera i livenje na dvovaljku

Prema opisanom postupku mogu da se ekstrudiraju samo oni plastični materijali čije temperature izrade leže u određenim granicama. Za slojeve čija se temperatura obrade jako razlikuje kao, na primer, kod slojeva sa penastim jezgrima potrebni su alati kod kojih su pojedini kanali termički odvojeni jedan od drugog da bi mogli da se održe na različitim temperaturama. Proces koekstrudiranja počinje sa najdebljim slojem i ovaj se centrira, pri čemu se debljina registruje pomoću aparata za izotopsko merenje debljine. Zatim se dodaje drugi sloj, koji se, takođe, centrira itd. Ravnajuća ploča između valjaka-kalandra, postavlja se na određenu meru. Sa uređajem za merenje debljine može se kontrolisati celokupna debljina proizvoda. Raspodela debljine po slojevima konačno se ispituje pod mikroskopom.

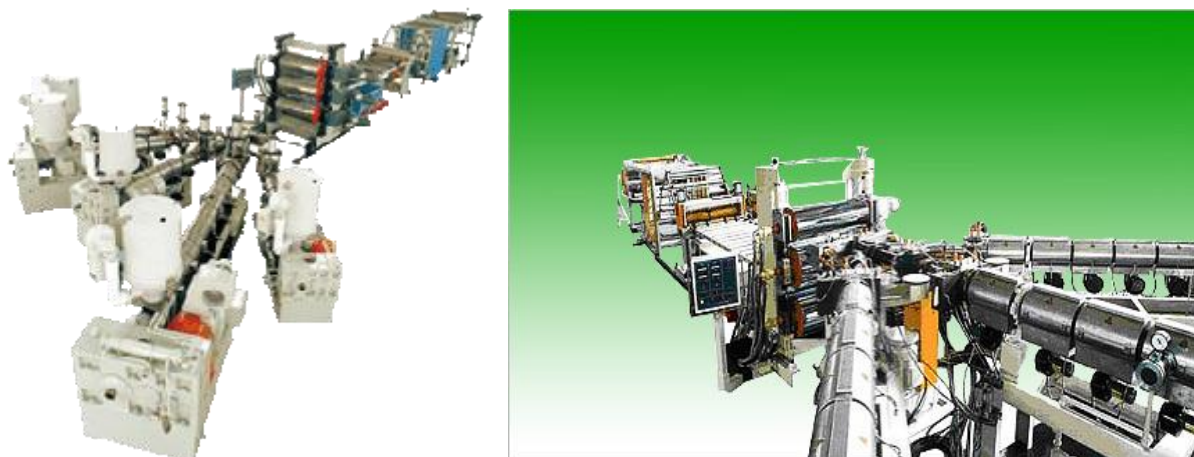
U tabeli 48 je prikazana međusobna adhezivnost pojedinih materijala. Oznakom 6 označava se dobra adhezivnost, oznakom 1 slaba, a 0 označava se nemogućnost veze.

Tabela 41

Materijal, tipovi sa komercijalnim nazivima	PE 1800 H	PP 1320 HX	PS 143 E	SB 466 J	ASA 776 S	ABS 877 T
PE lupolen 1800 H	-	1	0	6	6	6
PP novolen 1320 HX	1	-	6	6	6	6
PS polistirol 143 E	6	6	-	1	6	6
SB polistirol 466 J	6	6	1	-	6	6
ASA luran S 776 S	6	6	6	0	-	1
ABS terluran 877 T	6	6	6	6	1	-

Ako se analiziraju priložene slike 137, 140 i 141, koje predstavljaju postrojenja za koekstruziju, uočava se da izuzev posebno konstruisanih alata, ostala oprema je standardna kao i kod normalne proizvodnje ploča i folija. Izvesne specifičnosti u opremi su prikazane na slici 141, odnosno kod proizvodnje folija od 0,2—2 mm i

gde, pored standardne opreme, nalazi se još posebno konstruisana kada za ubrzano hlađenje folije i što nema klasičnog trovaljka, već sistem od dva valjka većeg prečnika i jednog malog. Ova izmena u konstrukciji postupka je napravljena kako bi se omogućilo intenzivnije hlađenje gotovih folija, odnosno kako bi se postigao viši kapacitet postrojenja.



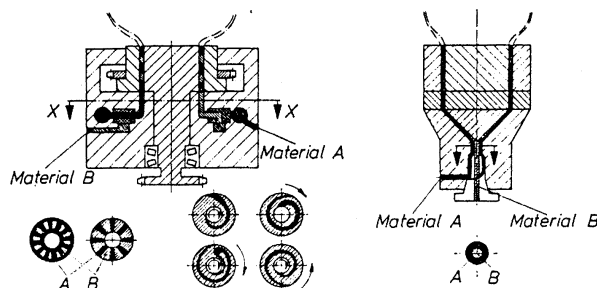
Sl. 140 — Proizvodnja ploča procesom koekstruzije sa četiri ekstrudera i alatom sa širokim prorezom (Reifenhauser)

6.8.2. PROIZVODNJA DUVANIH TUBULARNIH FOLIJA KOEKSTRUZIJOM

Proizvodnja folija postupkom koekstruzije je, uglavnom, vezana za proizvodnju tzv. mekih plastičnih masa PVC meki, polipropilen i polietilen. Postupak proizvodnje je veoma sličan standardnom, izuzev što se napajanje mase vrši putem dva ili više ekstrudera u posebno konstruisanom alatu, koji može biti fiksiran ili pokretan. Poznato je više procesa za koekstruziju kod tubularnog livenja folije po duvanom postupku, a ovde će biti prikazani samo neki najkarakterističniji.

6.8.2.1. Proizvodnja folija u dva ili četiri sloja sa fiksiranim ili pokretnim alatom

Postupak je sličan postupku koekstruzije sa širokim alatom, samo što je kružnog oblika kao i za proizvodnju crevaste folije. Sto znači da se materijal raspoređuje po slojevima u adapteru pre ulaska u alat.



Sl. 142 — Skica alata za proizvodnju folija pomoću dva ekstrudera sa i bez rotacije trna alata

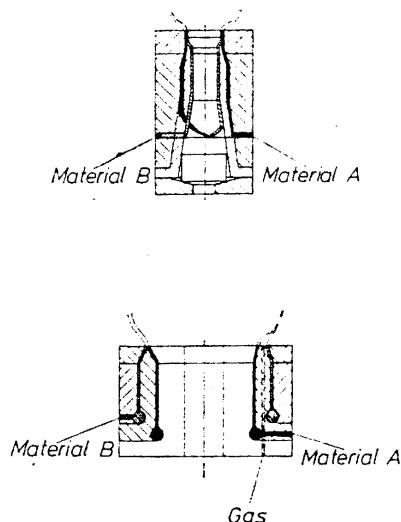
Postupak proizvodnje sastoji se u tome da se materijal A i B (sl.142) dovode do adaptera u kome se simetrično raspodeljuju i uvode u alat, a zatim dalje preko trna napuštaju ekstruder. Alat je sličan klasičnom alatu za proizvodnju tubularnih folija, sa razlikom što se trn mora izvesti na poseban način, kako ne bi došlo do radialnog mešanja komponenata.

Ovaj sistem duvane folije u poslednje vreme koristi i pokretni alat (si. 142) sličan alatu kod normalno duvane folije.

6.8.2.2. Proizvodnja dvoslojne folije sa spajanjem izvan ekstrudera

Postupak proizvodnje dvoslojne folije sa spajanjem izvan ekstrudera je jedan od najstarijih procesa koekstruzije. Za proizvodnju folija po ovom postupku najčešće se koristi kombinacija između poliamida i polietilena (m.g.) a dobijena folija koristi se za ambalažiranje namirnica.

Po ovom postupku za koekstruziju folija koriste se dva ekstrudera istih dimenzija, u kojima se nalaze različiti plastični materijali, i na čijim izlazima se postavlja posebno konstruisan alat. Alat je tako konstruisan da oformljuje dve odvojene prstenaste folije, koje se tek po izlasku iz njega spajaju (sl.143).



Sl. 143 — Skica dva tipa alata za proizvodnju folije koekstruzijom, pomoću spajanja folije po izlasku iz alata

Na rubovima alata su napravljeni otvori kroz koje izlazi topao vazduh izmešan sa produktima razlaganja plastičnih masa u procesu oformljenja folije, i koji služe za spajanje folija koje izlaze iz alata. Koekstruzija kao postupak je relativno mlada, i putevi njezina razvoja su veoma široki. Pored pomenutih procesa ona se koristi u proizvodnji vlakana, oplatanju žice, izradi specijalnih cevi itd.

7. PROIZVODNJA EKSPANDIRANIH MATERIJALA METODOM EKSTRUZIJE

Tokom poslednjih godina zabeležen je u celom svetu nagli razvoj proizvodnje ekspaniranih materijala na bazi veštačkih masa. Ovaj razvoj su pospešile široke mogućnosti primene ovih materijala u raznim granama privrede, tako da se danas na tržištu nalazi čitav niz proizvoda dobijenih iz ekspaniranih termoplasta, duroplasta i elastomera.

Ovi relativno novi materijali međusobno se razlikuju s obzirom na osobine fizičkih svojstava kao što su: specifična težina, tvrdoća, fleksibilnost, propustljivost gasova i para, upijanje vode, postojanost prema raznim hemijskim agensima, termoizolaciona i izolaciona svojstva zvuka itd. o kojima, praktično, u najvećoj meri zavisi širina područja primene spomenutih materijala u praksi.

Većina postupaka za proizvodnju penastih materijala zaštićena je patentima među kojima su pojedini vrlo jednostavni i iziskuju relativno jeftinu opremu, dok drugi obrađuju vrlo složene postupke jako osetljivim postrojenjima i u posebnim uslovima vođenog procesa.

U ovoj knjizi biće obrađeni samo neki postupci proizvodnje ekspaniranih materijala ekstrudiranjem. PVC, polietilen i polistirolo su materijali koji se najčešće danas prevode u penasta stanja ekstruzijom, pa zbog toga će biti obrađeni postupci proizvodnje ova tri polimera.

7.1. PROIZVODNJA PENASTOG POLIVINILHLORIDA (PVC)

Polivinilhlorid je među prvim polimerima preveden u penasto stanje. Razvoj ovog polimera u pravcu ekspaniranja išao je nešto sporije zbog konkurentskih uticaja ekspaniranog polistirena i kasnije ekspaniranog polietilena.

Ekspanirani tvrdi PVC najviše se koristi za izradu profila i cevi, a ređe za ploče.

Najvažnije osobine tvrdih PVC ekspaniranih profila i cevi su:

- a. pri proizvodnji nema otpadaka,
- b. niske su specifične težine, a time i niske cene,
- c. gotovi proizvodi se mogu lako obrađivati i variti,
- d. površina profila ili cevi može biti hrapava ili glatka prema zahtevu,

Čvrstoće penastih materijala su kod istih preseka niže nego kod kompaktnih materijala.

Uzimajući u obzir ove karakteristike, primena tvrde PVC pene može se koristiti u sledećim područjima: u građevinskoj stolariji, dekoraciji, za izradu nameštaja, za gradnju prikolica, za proizvodnju cevi za odvod i kanalizaciju, drenažnih cevi itd.

7.1.1. OSOBINE UREĐAJA ZA PROIZVODNJU PENASTOG MATERIJALA IZ TVRDOG PVC

Proces proizvodnje penastog materijala iz tvrdog PVC se, uglavnom, izvodi kao i kod normalnog PVC, a specifičnosti procesa i opreme su vezane za deo procesa u izlaznoj zoni cilindra ekstrudera i alata formiranje gotovog penastog proizvoda.

Unapred pripremljena mesavina PVC i ostalih dodataka se ubacuje u cilindar ekstrudera, nešto brže

nego kao kod prerade normalnog PVC, kako ne bi došlo do pojave tzv. gasnog zaptivača na ulasku u ekstruder, a time do nedovoljnog pritiska.

Temperature u ulaznoj zoni su, takođe, niže od uobičajenih da ne bi masa prerano prešla u tečno stanje i time izazvala pad pritiska i omogućila dejstvo sredstava penjenja pre nego što je to potrebno.

Istopljena masa duž cilindra ekstrudera treba da se transportu je pod visokim pritiskom. Oslobođanje pritiska treba da nastupi tek po izlasku mase iz alata, u kome se ona oblikuje i ekspandira istovremeno. Da bi se to postiglo puž i cilindar ekstrudera su posebno konstruisani.

Puž ekstrudera za preradu penastog PVC mora imati minimalni kompresioni odnos 2,5:1, kako bi se dobio potreban pritisak mase i kako bi masa na vreme bila plastificirana. Izlazna zona ne sme biti duga (najviše do 4 D), kako bi se sprečilo prerano dejstvo sredstva penjanja.

Za ovu svrhu najčešće se koriste puževi sa dve i tri zone i progresivnim jezgrom, a čiji su odnosi L/D 20—25 kod jednopužnih ekstrudera, 15—18 kod dvopužnih i 29 kod vertikalnih ekstrudera.

Prostor između vrha puža i alata ne sme biti veliki jer u tako stvorenom mrtvom prostoru dolazi do taloženja mase što izaziva pad pritiska u tom delu cilindra i mogućnost da materijal ekspandira pre izlaska iz alata.

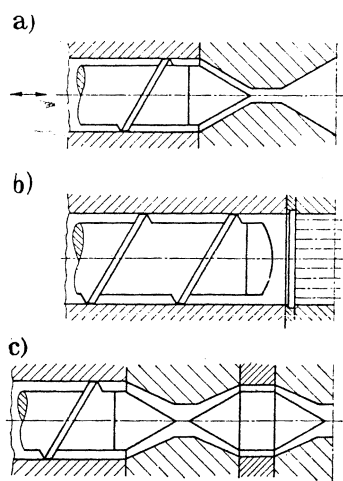
Da bi se smanjio štetni mrtvi prostor između cilindra i alata potrebno je da vrh puža bude tup i da se puž nalazi neposredno uz perforiranu ploču, ili da se ekstruder tako konstruiše da može da vrši aksijalno pomeranje puža (sl. 144).

Za dobijanje potrebnog otpora u cilindru i alatu, postavljaju se perforirane ploče. Ploče trebaju biti posebno konstruisane kako bi obezbedile pravilan tok mase i omogućile dovoljan pritisak.

Sto se tiče tipa ekstrudera, proizvodnja penastog PVC ne postavlja posebne zahteve, ukoliko se pripreme potrebni tehnološki uslovi. U dosadašnjoj praksi najčešće se koristio dvopužni ekstruder, mada se u poslednje vreme dosta koriste jednopužni i vertikalni ekstruderi.

Alati za formiranje penastog proizvoda su najosetljiviji i najvažniji deo postrojenja. Oni moraju masu pravilno oblikovati, i ne dozvoliti preran pad pritiska i pojavu prerane ekspanzije. Moraju imati takve držače trna koji neće stvarati mrtve prostore, niti spečavati ravnomeran tok mase.

Zato su i svi patenti za dobijanje ove proizvodnje vezani, uglavnom, za detalj izrade alata.



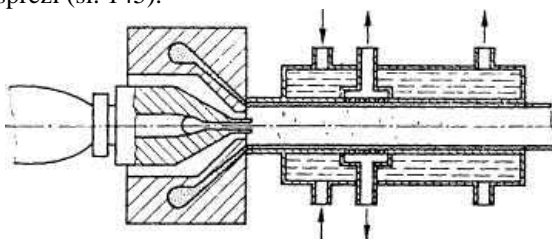
Sl. 144 — Izgled vrhova puževa ekstrudera za proizvodnju penastog PVC: a) oštar vrh sa levkastim krajem cilindra, b) tupi vrh puža, c) oštri vrh puža sa umetkom na kraju cilindra

7.2. PATENTI ZA PROIZVODNJU PENASTOG PVC-a

U svetu postoji više patenata za proizvodnju penastog PVC. Oni su uglavnom, vezani za tehnološko rešenje alata ekstrudera. Ovde ćemo spomenuti neke najvažnije:

1. Reifenhauser je još 1961. god. zaštitio svoj postupak proizvodnje penastog PVC.

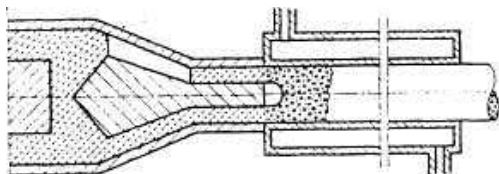
U pomenutom postupku proizvodnje penastog tvrdog PVC materijala, koriste se dva ekstrudera u koekstruzionoj sprezi (sl. 145).



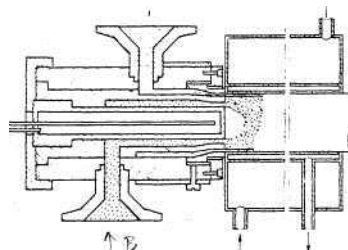
Sl.145- Alat za proizvodnju penastog PVC (Reifenhauser 1961)

Ovim postupkom penasti materijal ispunjava šupljinu profila ili cevi naknadnim brizganjem, ali zajedničkim alatom. Površina cevi je normalnog tvrdog PVC. Stepen tvrdoće se reguliše recepturom mase

2. Ugine Kulman je 1966. god. patentirao postupak, u kome je trn (sl. 146) alata specijalno konstruisan i reguliše ravnomerno protok penaste mase te ne stvara otpor kretanju. Zahvaljujući trnu alata penasta masa se ravnomerno raspoređuje prema šupljini profila ili cevi. Ista firma proizvela je 1969. novi koncept alata primenom trna kao kočnice tečenja (sl.147).

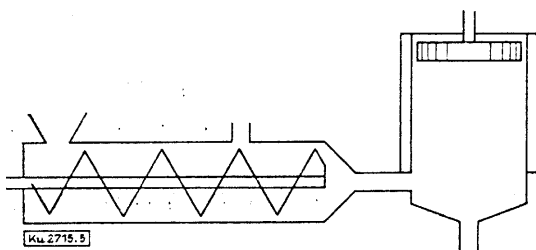


Sl.146-Alat za proizvodnju penastog PVC (Ugine Kuhlman 1966)

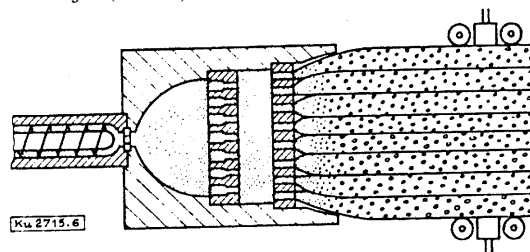


Sl.146-Alat za proizvodnju penastog PVC (Ugine Kuhlman 1969)

3. Basf je 1970. god. patentirao postupak pomoću naknadnog pritiska u prostoru alata, gde se masa hladi na optimalnoj temperaturi, a onda klipom istiskuje (sl.148).



Sl.146-Alat za proizvodnju penastog PVC (BASF 1970)

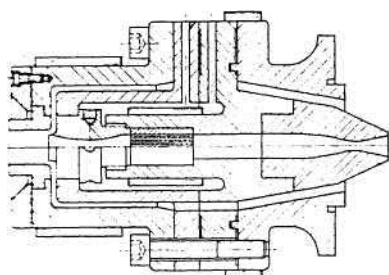


Sl.149-Alat za proizvodnju PVC (Seikisui Kogyo 1970)

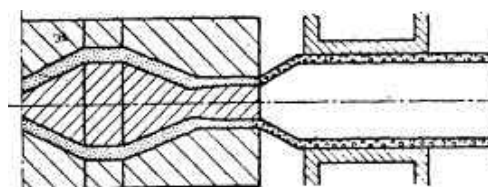
4. Seikisui Kogyo 1970. god. patentirao je postupak (sl.149) pomoću šupljih ploča koje imaju zadatak da obezbede izlazak mase iz ekstrudera. Po izlasku iz šuplje ploče ekstrudera dolazi do ekspanzije mase, međusobno se skupljaju niti i na taj način se formiraju u kompaktnu celinu.

5. Scherer Trier (sl.150) patentirao je 1971.god.postupak pomoću ubacivanja pogonskog sredstva direktno u alat i na taj način se dobijaju glatke površine bez para.

6. Armosig — patentirao 1971. god. postupak (sl.151) sa specijalnom koncepcijom alata, pomoću koga se obezbeđuju dovoljni pritisci u ravnomerno tečenje mase.



Sl.150-Alat za proizvodnju penastog PVC (Scherer & Trier 1971)



Sl.151-Alat za proizvodnju penastog PVC (Armosig 1971)

7.3. PROIZVODNJA EKSPANDIRANE POLISTIREN FOLIJE (EPS)

Penasta folija polistirena ima takva fizičko-mehanička svojstva, koja imaju presudan značaj za sve šire područje primene. Glavna područja primene penaste folije polistirena jesu: ambalažiranje namirnica, voća, povrća, mesa, jaja itd.

U građevinarstvu penasta folija polistirena se koristi kao termoizolacija, zahvaljujući niskoj toplotnoj provodljivosti i otpornosti na vlagu.

Zadnjih godina primena penastih folija polistirena se proširila i koristi se za kaširanje sa raznim vrstama hartije, plastičnih i metalnih folija, i to tako što je ispunjena ili jezgro od pene polistirena a strane od sredstava za kaširanje. Ovako kaširane folije služe kao zamena valovitoj lepenici za izradu kutija, kao dekoracija, za izradu tapeta i dr.

Pored grupisanja na osnovu primene, moguća je i druga podela, prema prividnoj gustini pri pojedinim slučajevima primene.

To uslovljava da se već u toku procesa izrade folije mora voditi računa o njenoj krajnjoj primeni.

7.3.1. POSTUPAK IZRADE

Za izradu penaste folije polistirena postoje dve principijalne mogućnosti:

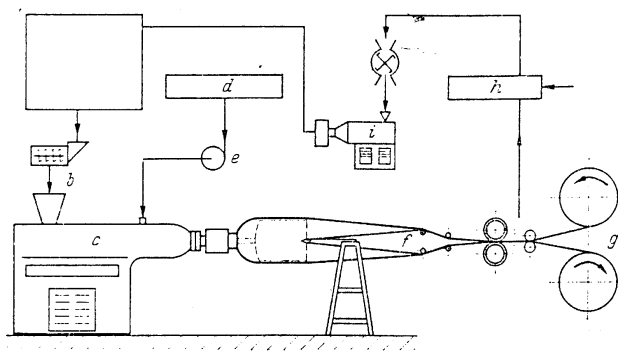
1. Ako se koristi polistiren u obliku granulata, koji sadrži sredstvo za penjenje, prerađuje se na ekstruderu klasične konstrukcije u penastu foliju.
2. Ako se polazi od normalnog polistirena, a kao sredstvo za penjenje u toku procesa ekstruzije uvodi se u cilindar ekstrudera gas kao uzgonsko sredstvo ili sredstvo penjenja tada se koriste posebne konstrukcije ekstrudera.

Ovaj postupak, sa uvođenjem gasa u proces, naziva se postupak ekstrudiranja sa direktnim ubrizgavanjem gasa.

Drugi postupak, zbog niza svojih prednosti, o kojima će biti više reci kasnije, je najopravdaniji za proizvodnju ekspandiranog polistirena, pa sva dalja razmatranja proizvodnje ekspandiranog polistirena biće vezana za njega.

7.3.2. POSTUPAK DIREKTNOG UBRIZGAVANJA GASA

U postupku direktnog ubrizgavanja gasa, polazi se od standardnog polistirena. Regranulirani otpaci folije iz plastične pene mogu biti pridodati. Pre ekstruzivnog postupka ubacuje se u granulata PS sredstvo za vezivanje tzv. nukleidno sredstvo ili tvorac para, ali proces ekspandiranja nastaje prvenstveno zbog ubrizgavanja tečnog, fluorisanog hlorovodougljenika u ekstruder (sl.152) ili uzgonskog sredstva.



Sl. 152 — Tehnološka šema toka proizvodnje ekspandiranog polistirena: a) silos s polistirenom i ostalim komponentama, b) pužni dozator, c) ekstruder posebne koncepcije, d) stovarište pogonskog sredstva, e) višestepena pumpa za ubacivanje freona u cilindar ekstrudera, f) sečenje creva ekspandiranog polistirena, g) namotavanje, h) odvod otpadnog EPS i mlevenje, i) ekstruder za granuliranje otpadnog EPS

Svojstva postupka sa direktnim ubrizgavanjem gasa su sledeća:

- a. promenom sastava sirovine daju se proizvesti razne osobine pene,
- b. promenom količine nukleidnih sredstava (stvaralaca para), utiče se na strukturu pene,
- c. vrstom i sastavom uzgonskog sredstva može se uticati na kvalitet krajnjeg proizvoda,
- d. količinom uzgonskog sredstva u polistirenu određuje se gustina pene,
- e. upotrebom fluorohlorougļjovodonika ne postoji nikakva opasnost od eksplozije pri proizvodnji i uskladištenju folije iz polistirenske pene.

U daljem tekstu daće se pregled tipova sirovina, tvoraca para, sredstava za vezivanje kao i uzgonskih sredstava.

7.3.4. TVORAC PORA I SREDSTVO ZA VEZIVANJE

Tvorci pora su sredstva koja utiču na strukturu i gustinu folije iz EPS. U zavisnosti od količine i tipa sredstva koje služi za stvaranje pora zavisi veličina ćelija ekspaniranog polistirena. U ovu svrhu kao sredstvo za stvaranje pora, najčešće se koristi natrijumkarbonat i limunska kiselina u odnosu 1,33:1. Ovaj odnos ova dva sredstva određuje se stehiometrijski.

Količina sredstva za stvaranje pora u smeši s polistirenom kreće se od 0,3 do 0,8%.

Natrijumkarbonat i limunska kiselina reaguju pod uticajem pritiska i temperature u ekstruderu i cepaju se na ugljendioksid i vodu. Na nastale mehurove taloži se uzgonsko sredstvo. Pri reakciji nastaje i natrijumcitrat, koji, takođe, deluje na obrazovanje ćelija.

Kao sredstvo za vezivanje koristi se parafin, a zadatak mu je da spreči razdvajanje granulata u levku ekstrudera. Procenat parafina u smeši s polistirenom kreće se ispod 0,5. Nešto veće količine parafina koriste se onda kada je upotreba otpadnog polistirena viša od dozvoljene.

7.3.5. IZBOR I UPOTREBA UZGONSKOG SREDSTVA

Penjenje polistirena vrši se pomoću tzv. fizičkog uzgonskog sredstva i hlorfluorugljenovodonika. Ovde se radi o supstancama koje imaju nisku tačku ključanja, koje imaju određenu podnošljivost, odnosno sposobnost mešanja s polistirenom i koje isparavaju pri postojećoj temperaturi, te pri tome naduvavaju plastificirani materijal.

Za penaste folije koje se dalje prerađuju za pakovanje životnih namirnica, moraju uzgonska sredstva biti fiziološki besprekorno čista.

Kao uzgonsko sredstvo danas se isključivo u modernim postrojenjima za proizvodnju ekspaniranog polistirena koriste fluorisani hlorugljenovodonici. Od svih tipova koji se nalaze na tržištu najbolje rezultate kao uzgonsko sredstvo su dali freon 11 i freon 12 u odnosu 1:1. Ovo sredstvo je potpuno bezbedno u pogledu eksplozivnosti, a fiziološki je dovoljno čisto. U smeši s polistirenom dodaje se u toku procesa u istopljenu masu freon, u količini od 3—7%.

8. POMOĆNE OPERACIJE PRERADE EKSTRUDIRANJEM

8.1. IZRADA GRANULATA

Izrada granulata je pomoćna operacija pripreme plastičnih materija za dalju preradu i to prvenstveno ekstruzijom. Deo termoplasta koji se dobija u obliku praha nepogodan je za preradu i transport jer u tom obliku ima veću zapreminu, a kako često sadrži dodatke, kao što su stabilizatori, klizna sredstva i druge pomoćne komponente, postoji opasnost odvajanja. Osim toga, prilikom prerade praha dolazi do prašenja. Proizvodni kapaciteti ekstrudera, ako se radi sa prahom, znatno su niži od onih s granulatom, a kvalitet proizvoda često je lošiji. Iz navedenih razloga prišlo se proizvodnji granulata.

Za izradu granulata danas se najviše koriste sledeći postupci:

- a. izrada granulata od niti
- b. izrada granulata od trake
- c. izrada granulata iz tople mase odsecanjem, i
- d. izrada granulata pod vodom.

8.2. IZRADA GRANULATA OD NITI

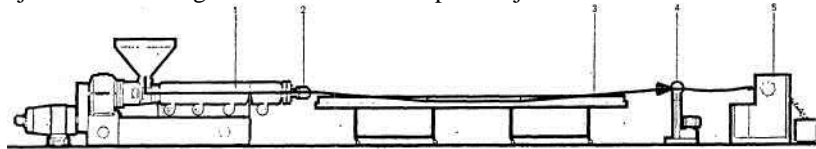
U izradi granulata ovom metodom najčešće se koristi jednopužni ekstruder, ali uspešno se koriste i drugi tipovi ekstrudera. Masa u obliku niti ili žila izlazi iz alata (sl. 158), zatim se hladi u vodenom kupatilu, suši i dovodi do uređaja za rezanje. Šema izrade granulata prikazana je na sl.159. Izmenom brzine izvlačenja niti može da se promeni veličina granulata, a takođe i dužina.

Rotor granulatora je nazubljen kao glodalica. Kvalitet rezanja, a time i izgled granulata zavisi od kvaliteta zuba glodalice i brzine rotora. Broj zuba (noževa) na granulatoru zavisi od broja niti i kreće se od 4—12 komada.

Uobičajene brzine izvlačenja niti (žila) iznose od 25—65 m/min. Broj niti kreće se od 40—60. Što se tiče alata za proizvodnju niti, on se proizvodi u dve konstrukcione forme: okrugli alat u koji masa kružno dotiče, i koja se koristi rede, i ravni alat kao na sl. 158, u kome masa dotiče po širokoj površini, a izlazi u kupatilo pod uglom od 30°.



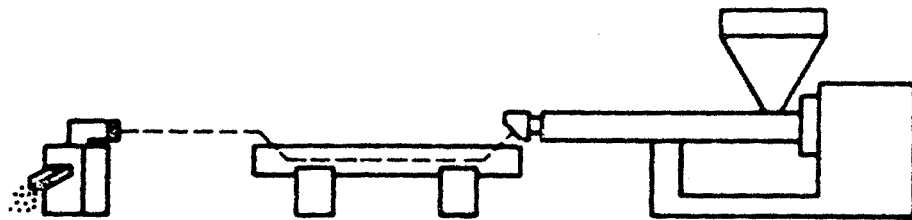
Sl. 158 — Detalj alata za izradu granulata iz niti. Slika prikazuje ulazak niti u kadu za hlađenje (Troester)



Sl. 159 — Šema proizvodnje granulata iz niti (Thyssen): 1) ekstruder, 2) alat za formiranje niti, 3) kada za hlađenje niti, 4) uređaj za sušenje niti, 5) granulator za formiranje

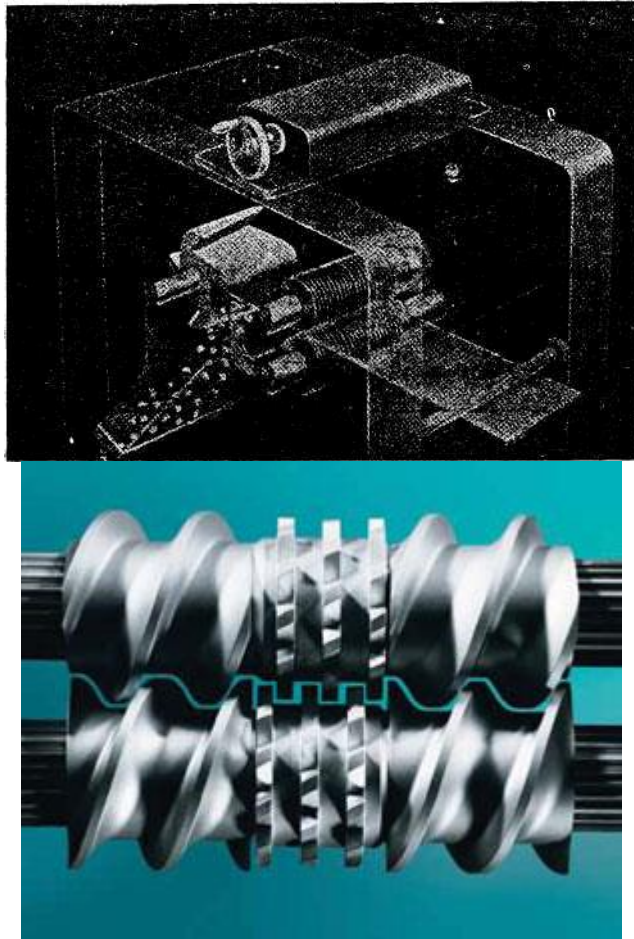
8.3. IZRADA GRANULATA OD TRAKA

Za materijale koji imaju mali viskozitet mase, zbog čega može da dođe do međusobnog slepljivanja niti (žila), kao i do kidanja niti, praktičnije je da se granulat proizvodi iz traka (sl. 160). Za razliku od proizvodnje granulata od niti, pri ovom postupku iz alata ne izlaze niti, već jedna traka dimenzije od 3x60 mm do 4x200 mm zavisno od kapaciteta mašine.



Sl. 160 — Šema postrojenja za izradu granulata iz traka

Pri ovom postupku proces rezanja u granulatoru vrši se u dva stepena, tako što se ispred poprečnog rezača pomoću specijalnih noža, traka seče uzdužno u više tankih traka, dok se u drugom stepenu poprečno seče (sl.161).

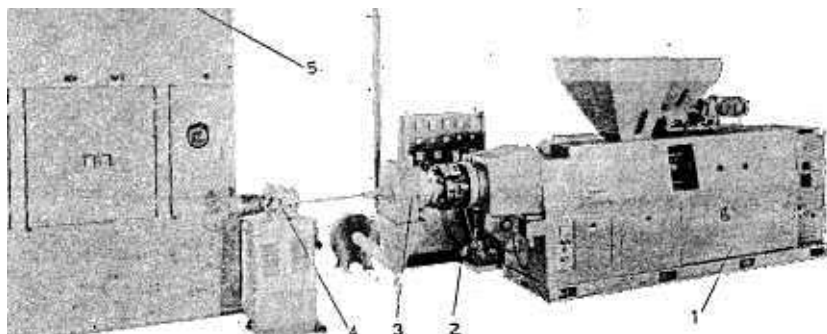


Sl.161 — Detalj granulatora za izradu granulata iz traka

Ako se uporede troškovi održavanja uređaja za izradu granulata iz niti (žila) i troškovi izrade granulata iz traka, onda prednost treba dati prvom postupku. Linija za izradu granulata iz traka posebno je nepodesna za manje kapacitete ekstrudera, kao i za ekstrudere sa nižim obrtnim momentom zbog smanjenog dejstva brizganja.

8.4. IZRADA GRANULATA IZ TOPLE MASE ODSECANJEM

Ova metoda koristi se već dosta dugo u praksi za izradu granulata iz tvrdog i mekog PVC. Način funkcionisanja uređaja prikazan je na sl.162. Na pljosnatom ili kružnom alatu izlazi termoplastična masa i nju odseca jedan nož koji je tu smešten paralelno sa osovinom (sl.163 i 164). Zavisno od obimne brzine reznog uređaja, dobiće se kraće ili duže zrnavlje granulata. Posle odsecanja, još vruće i meko zrnavlje granulata pada u komoru, a odatle se otprema preko transportne duvaljke, a češće i s odsisivačem, u rashladni spiralni transporter ili u jedan površinski hladnjak. Tu se pri vazдушnom strujanju hladi materijal na krajnjoj temperaturi od oko 35 do 40°C.



Sl.162 — Postrojenje za toplo granuliranje (Amut: 1) 1) dvopužni ekstruder, 2) alat za izradu niti granulata, 3) granulator za dobijanje granulata, 4) pogon granulatora, 5) komora za sušenje granulata

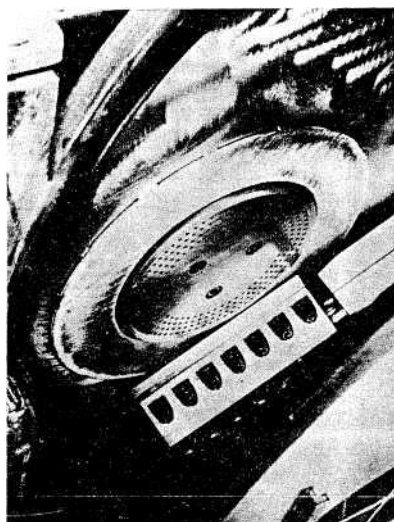
Za razliku od ostala dva postupka, pri ovom postupku sa toplim granuliranjem prvenstveno se koristi

dvopužni ekstruder, zbog mogućnosti visokog stepena mešanja.

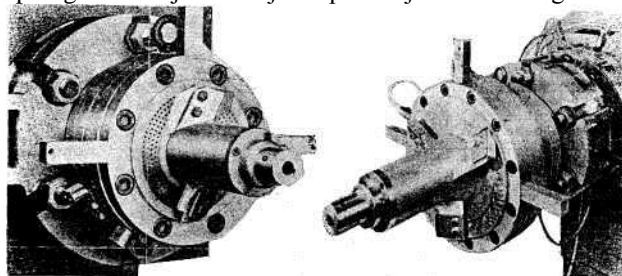
Tipična svojstva jednog dvopužnog ekstruderskog postrojenja za granuliranje PVC i PE (m.g.) prikazani su na tabeli 45.

Tabela 45

Osobine mašine	Veličine ekstruderskog postrojenja				
Prečnik puža	65	80	110	135	170
Broj puževa	2	2	2	2	2
Odnos L/D	19	20	20	20	20
Broj obrtaja (min. ⁻¹)	4-110	4-100	4-100	4-100	4-100
Nominalni obrtni moment (kpm)	2500	6500	12000	20000	27000
Snaga motora (kW)	20	30-70	40-100	70-200	100-200
Kapacitet:					
PVC	80	200-230	350-500	600-700	800-1000
PE	100	150-200	300-400	600-750	1200-1300



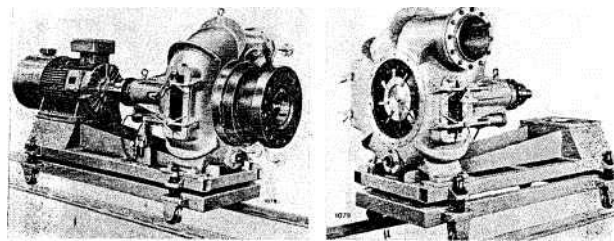
Sl. 163 — Alat za toplo granuliranje sa radialno postavljenim nožem granulatora (Reifenhauser)



Sl. 164 — Dva tipa granulatora za dobijanje granulata iz tople mase. Postavljeni su centralno na alat ekstrudera, obrtanje se vrši posebnim pogonom van ekstrudera (Amut)

8.5. IZRADA GRANULATA POD VODOM

Postupak izrade granulata pod vodom koristi se, uglavnom, za izradu granulata od PE (m.g.) i polipropilena za veće proizvodne kapacitete. U ovom postupku se upotrebljavaju ekstruderi veoma velikog odnosa L/D, radi potpunijeg homogeniziranja mase. Alat i rotacioni noževi nalaze se u kadi sa temperiranom vodom (sl. 165). Na taj način voda služi za transport i za hlađenje granulata. Posle uklanjanja vode, granule se suše pomoću ventilatora.



Sl. 165 — Alat i granulator za granuliranje pod vodom (Berstorff): I — ugrađenim alatom, II — bez alata sa prikazom noževa za sečenje niti

Na ovaj način povećava se iskorišćenje ekstrudera, a utrošak energije se smanjuje (0,2 kW/kg/h).

Tipični podaci za izradu granulata pod vodom, dati su u tabeli 46.

Tabela 46

Kapacitet tona/sat	Puž(mm) x L/D	Broj obrtaja puža (min. ⁻¹)	Utrošak energije	
			kW	HP
2.0 to 2.5	250 x 40	150	600	800
4.0 to 4.5	300 x 40	120	1000	1350
6.0 to 6.5	350 x 40	100	1500	2000
9.0 to 10	400 x 40	90	2000	2750

8.6. REGENERACIJA I PRERADA OTPATKA

Korišćenje tehnološkog otpatka i regeneracija je proces ponovnog iskorišćenja upotrebljenog plastičnog materijala.

Ovaj postupak ima značaja zbog pojeftinjenja proizvoda iz plastike, a i zbog smanjenja zagađenja okoline, koje stvara plastični otpad.

U principu, koristi se više postupaka za preradu tehnološkog otpada iz termoplasta.

3.6.1. POSTUPAK PRERADE OTPATKA IZ TERMOPLASTA UPOTREBOM DROBILICE (MLINA ILI GRANULATORA)

Ovaj postupak se sastoji u mlevenju plastičnih otpadaka pomoću granulatora (sl.166) sa zupčastim noževima ili pomoću granulatora čekićara. Ove mašine se obično nalaze neposredno uz ekstruder i lako se opslužuju. Najčešće se koriste za mlevenje otpadaka iz polietilena male i velike gustine, polipropilena, polistirena, ABS itd. U nekim slučajevima granulator može biti predfaza regenerisanju, kao što je to slučaj pri preradi penastih materijala.



Sl.166 — Tri tipa mlina (granulatora) za mlevenje otpadaka plastike (Con-dux)

8.6.2. DRUGI POSTUPAK PRERADE OTPADAKA

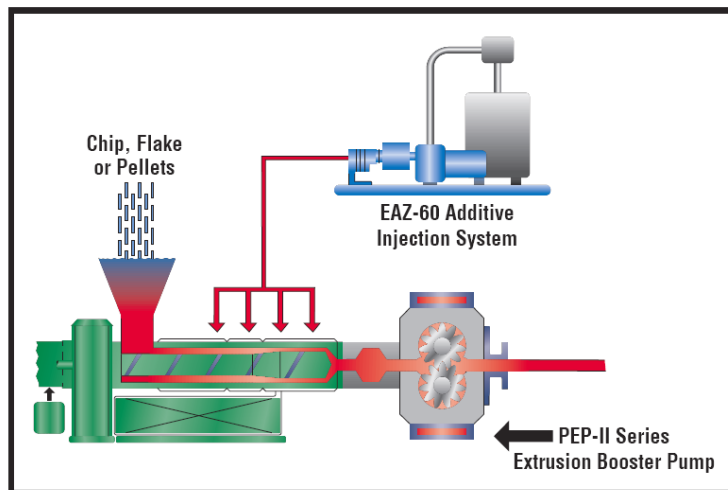
U ovom postupku prerade otpatka iz plastičnih masa koristi se tzv. fluidna mešalica. Sastoji se iz

vertikalne turbomešalice, na čijem dnu se nalazi mešač specijalne konstrukcije i koji se obrće brzinom od (600—2000) obrtaja u minuti. Ovi uređaji se koriste, uglavnom, za preradu folija debljine do 50 mikrona. Materijal u mešaču u takvom obliku je da se može odmah koristiti za preradu u ekstruderu.

8.6.3. POSTUPAK EKSTRUZIJOM

Ovaj postupak prerade regenerata koristi se u slučaju korišćenja plastičnih otpadaka u obliku niti, folija u ekspaniranom obliku, ukoliko se želi izmena boje i upotreba nekih dodataka, zatim poseban ujednačen oblik granulata i dobijanje visoke čistoće regenerisanog granulata. Međutim, pri regenerisanju PMMA, PC, PTF, PA i drugih tvrdih termoplasta ovaj oblik regeneracije je isključiv. Materijal koji se prerađuje ovim postupkom regeneracije mora biti prethodno samleven u ranije pomenutim mlinovima, sortiran po veličini i očišćen od svih nečistoća. Proizvodi se na postrojenjima identičnim za granuliranje iz niti (vidi izradu granulata), uz napomenu da je neophodno ugraditi u ekstruder filtere sa sitima za sakupljanje eventualnih nečistoća, i da je poželjno da levak za doziranje ima pužni uvlačni sistem kako bi se omogućilo pravilno uvođenje mlevenog otpada u ekstruder, jer neminovno dolazi do smanjenja nasipne težine u otpadnom materijalu.

Zenith Pumps And The Extrusion Process



Zenith Pumps can handle all your extrusion pumping applications including additive injection for on-line compounding of tackifiers, colorants, stabilizers, etc.