

## 1 Barre rotonde

L'aumento di diametro non interessa se l'estruso viene usato per produrre pellet, ma deve essere corretto in estrusioni strutturali.

La barra viene passata attraverso una matrice di calibrazione mentre è raffreddata con acqua (talvolta aria), poi viene prodotta una trazione sulla superficie della barra con uno strumento apposito, come cinghie gemelle o supporti cingolati.

I materiali pseudoplastici (in gamma punto/tau sono descritti da una curva ad asintoto orizzontale), come il PVC, si lavorano più facilmente perché sviluppano una resistenza sufficiente all'uscita dalla matrice; altri potrebbero piegarsi se non raffreddati e tirati abbastanza.

La barra poi viene tagliata a misura o, se possibile, avvolta.

## 2 Altre sezioni

Gli angoli di un quadro sono soggetti a maggiore resistenza, riducendo il flusso e provocando angoli arrotondati (figura a sinistra).

Per ottenere angoli netti, deve essere fornito materiale in aggiunta cambiando la geometria della matrice, oppure si riduce la resistenza riducendo il tratto rettilineo agli angoli. Analogamente bisogna procedere nell'estrusione di sezioni con spessore non uniforme.

Analogamente ai metalli, le parti più spesse vengono rallentate aumentando la lunghezza di contatto nella zona rettilinea; nelle matrici sagomate correttamente, se la geometria è complicata questo risultato si raggiunge con l'elettroerosione.

## 3 Tubi

I componenti cavi si producono con matrici a raggiera.

Il massimo della pressione si raggiunge subito prima del tratto rettilineo che favorisce la riunificazione dei flussi separati per avere un buon prodotto.

Una matrice conica con un lungo tratto rettilineo a valle minimizza le linee di saldatura.

L'isolamento di fili e cavi elettrici è applicato alimentando il filo attraverso una matrice trasversale (figura in basso).

## 4 Fogli e film

Una peculiarità dell'estrusione dei polimeri è la non esigenza di mantenere l'estrusione entro il diametro del cilindro.

Se il fuso è distribuito correttamente, si possono produrre fogli molto più larghi del cilindro.

La distribuzione in larghezza è ottenuta con un collettore, ma la pressione si abbassa allontanandosi dal centro e i bordi non sarebbero alimentati.

Bisogna rallentare il flusso al centro allungando la zona piana; la configurazione risultante è detta ad appendino.

5 In alternativa (o in aggiunta), il flusso viene regolato localmente con barre di strozzatura regolabili o con viti di regolazione che chiudono *le labbra della matrice* al centro (figura a destra).

Il foglio viene di solito condotto attorno a 2 o 3 cilindri lucidati, raffreddati internamente, per essere contemporaneamente lucidato e raffreddato.

I film sottili, spessi meno di 0,1 mm, sono estrusi allo stesso modo e condotti attorno a un cilindro prima di ulteriori trattamenti (operazione di colata di film).

L'applicazione di una trazione provoca allungamento e allineamento unidirezionale delle molecole; un contemporaneo stiramento laterale mediante uncini determina orientamento biassiale.

Questa deformazione avviene in regime viscoelastico e sarà discusso in seguito.

## 6 Fibre

Nel melt spinning (filatura del fuso) il fuso termoplastico viene estruso da una *filiera* (una matrice con molti fori, fino a decine di migliaia, aventi diametro di circa 0.1 mm), tipicamente a 230-315°C in una struttura simile a quelle usate nella produzione della fibra di vetro, con la differenza che l'aria è usata per raffreddare le fibre uscenti e viene imposto un rapporto di riduzione dell'area dell'estruso dalla matrice alla dimensione finale compreso tra 2 e 8. Con questa tecnica sono realizzate le fibre di nylon, poliestere e polipropilene. Questa tecnica è mostrata nella figura superiore della slide.

Nel *wet spinning* una soluzione del polimero viene estrusa in un bagno chimico nel quale si forma la fibra. Il processo è mostrato nella figura inferiore. L'espressione wet spinning è già stata usata parlando delle tecniche di colata, la differenza è che in quel caso era sufficiente una pompa per spingere la miscela polimero più solvente a passare attraverso la filiera, qui usiamo un estrusore.

Nella filatura per reazione si estrude un prepolimero in un mezzo reattivo fluido per produrre una fibra diversa, per esempio reticolata.

I diametri delle fibre sono piccoli, di solito tra 2 e 4 micron.

## 7 Coestrusione

Unendo 2 o più flussi di plastiche fuse diverse, si realizza la coestrusione di fogli, film, profili e tubi.

Per esempio, nei prodotti per il confezionamento di alimenti uno strato serve come barriera a olio e acqua e l'altro è del tipo che può venire a contatto con gli alimenti. La situazione è mostrata nella figura in basso a destra.

Gli isolanti per fili elettrici sono estrusi con traccianti colorati, come mostrato a destra in alto.

## 8 Estrusione Reattiva

In questo processo, le reazioni chimiche vengono indotte intenzionalmente durante l'estrusione.

Prima utilizzato per la lavorazione della gomma, è stato esteso a termoindurenti e termoplastici a catena lunga.

Possono essere raggiunti diversi scopi: produzione di un polimero ad alto peso molecolare da monomeri o monomeri e prepolimeri; reazione tra polimeri per formare copolimeri; realizzare legami tra catene polimeriche; provocare il degrado controllato (cracking) dei polimeri per modificare la loro reologia.

Il processo è spesso più economico rispetto alla lavorazione in soluzione perché non esiste solvente da eliminare.

## 9 Calandratura

Come nella colata di strisce metalliche, il fuso termoplastico è alimentato dall'estrusore direttamente in una calandra a più rulli.

La prima gabbia funge da alimentatore e distribuisce la plastica in larghezza; la seconda calibra la larghezza e la terza fissa lo spessore del polimero che si sta raffreddando e che viene avvolto, con allungamento controllato su un tamburo. Il processo è simile alla laminazione a caldo dei metalli.

Come nella laminazione, deve essere mantenuto il parallelismo delle gabbie; la distribuzione di temperatura è controllata in modo accurato e la campanatura dei rulli è controllata o piegando i rulli o modificando la geometria del rullo centrale in modo da differenziare la separazione tra i rulli al centro e ai bordi.

**10** È un processo ad alta produttività (tipicamente, 100 m/min), in grado di produrre fogli e film con larghezze fino a 3 m. Induce meno taglio dell'estrusione diretta ed è usato soprattutto col PVC flessibile (compreso il rivestimento di carta e tessuto, per nastri, tappezzeria, impermeabili, tende da doccia, ecc) e PVC rigido (vassoi, carte di credito, lamine). Si usa anche con l'ABS.

La calandratura, assieme all'estrusione diretta, è il metodo principale per realizzare prodotti elastici che devono essere ulteriormente trasformati con altri metodi, come cinghie e pneumatici.

Rulli o 2 cingoli gemelli possono essere usati per gofrare (=stampare in rilievo), formare sottovuoto, ondulare ed eseguire altre formature sull'estruso.

## **11** Controllo del processo

Anche se l'estrusione delle plastiche è meno rigida di quella dei metalli, ci possono essere problemi.

Una compressione eccessiva nella zona di compressione provoca variazioni irregolari (una netta diminuzione della pressione), di solito quando il processo è a massimo output.

Pompe ad ingranaggi disposte tra la fine della vite e la matrice stabilizzano l'estrusione e possono aumentare le velocità di produzione.

L'attrito sulla matrice rallenta gli strati superficiali; all'uscita dalla matrice, il recupero elastico crea tensioni di trazione sulla superficie che può portare a un aumento irregolare della rugosità (effetto pelle di squalo).

Nei casi estremi, lo stick-slip porta ad aperture periodiche circonferenziali della superficie e l'estruso assomiglia a un germoglio di bambù. La foto in basso mostra germogli di bambù.