

GENERALITES

D'une façon générale , **un moule** est un outil de transformation comportant une cavité destinée à recevoir un matériaux liquide , plus ou moins fluide , et à le mettre en forme en vue d'obtenir un objet donc le dessin a été déterminé à l'avance .

L'opération de démoulage peut avoir lieu lorsque , pour les matières thermoplastiques , la pièces fabriquée a acquis par refroidissement le plus souvent , une rigidité suffisante . Dans le cas des matières thermodurcissables, la forme solide est acquise par transformation chimique au cours du moulage .

Les matières thermoplastiques peuvent se mouler

1. **Sans pression** : par simple coulée (polyépoxydes , polyesters , polyamides .) ou en **moulage par rotation** (polyéthylène , polyamides .)
2. En **moyenne pression** pour le traitement à la presse des pré-imprégnés polyesters , l'**extrusion- moulage** de composés polyvinyliques dans l'industrie de la chaussure , l'**intrusion** de thermoplastiques permettant d'obtenir des objets massifs avec des tensions internes limitées , et aussi pour le moulage par **compression** de compounds polyesters sous forme de pâtes .

L'ensemble de ces techniques permet de résoudre un certain nombre de problèmes particuliers, mais la technique la plus universelle de moulage des thermoplastiques fait appel à la **haute pression** dans le procédé dit **d'injection**. On peut ainsi obtenir toute une gamme de pièces de bel aspect, très petite ou très volumineuse, très mince ou assez épaisse (0,4 à 10 mm, en général) avec variation d'épaisseur ou non.

Des formes peuvent être parfois très complexes, le choix des coloris est très étendu et la précision est assez poussée pour supprimer le plus souvent toute opération de reprise ultérieure par usinage (à condition d'en accepter les conséquences en ce qui concerne le prix de l'outillage et de la transformation).

Ces résultats sont obtenus avec des temps de fabrication réduits dès que l'on dispose du moule, et cela sont des conditions très économiques si la série à produire est suffisante (un minimum de plusieurs milliers de pièces et des dizaines de milliers ou plus, en général).

CONCEPTION D'UNE PIÈCE

Le dessin de la pièce doit être établi en accord avec le Transformateur en fonction de la matière, du matériel et des conditions d'utilisation de la pièce. Les règles qui suivent sont forcément générales et peuvent ou doivent être modifiées suivant les conditions particulières du cas concret à étudier.

RETRAIT : Du fait du retrait qui n'est pratiquement jamais nul, la pièce moulée est plus petite que l'empreinte du moule et il faudra donc en tenir compte.

DÉPOUILLES : La dépouille peut être indispensable pour permettre le démoulage de la pièce : en moyenne, l'angle de dépouille est de l'ordre de 1 degré. Il peut être plus faible pour les petites pièces : 0,5 ou même 0,2°. mais devra être augmenté pour les pièces profondes : jusqu'à 2 ou 3°. Des conditions spéciales de moulage, par exemple, cycles plus longs, permettent d'abaisser l'angle de dépouille.

CONTRE DÉPOUILLE : Si la souplesse de la matière ne permet pas le démoulage, il faut que le moule comporte des parties mobiles convenables pour permettre le démoulage, ce qui augmente le coût et le risque d'apparition de traces aux plans de jonction de ces parties mobiles.

ÉPAISSEURS : les épaisseurs sont définies normalement par les propriétés, mécaniques à long terme corrigées d'un facteur de sécurité. Les épaisseurs les plus courantes sont de 0,7 à 3 mm, mais des conditions spéciales de mise en oeuvre permettent d'élargir cette plage de 0,3 mm à 10 mm, Les fortes épaisseurs entraînent .

- A. un prix de matière élevé,
- B. une augmentation des durées de cycle,

C. un retrait important avec risques de retassures, porosités, soufflures. Dans la mesure du possible il est souhaitable de prévoir des nervures de renfort pour ramener les épaisseurs à des valeurs raisonnables.

Les trop faibles épaisseurs provoquent .

A. une solidification trop rapide qui ne permet pas l'écoulement de la matière sur de longs trajets.

B. des risques de fragilité.

Les variations d'épaisseurs dans une même pièce sont à éviter. Toutefois, si elles sont impératives, elles doivent être progressives : zone inclinée de pente 3 pour 1, ou congé de rayon important 5 mm par ex. ou combinaison des deux techniques.

Les nervures permettent de palier aux trop fortes épaisseurs.

Elles doivent être

1. si possible parallèles au sens d'écoulement,
2. de plus faible épaisseur que la paroi à renforcer : par ex. 0,3 à 0,6 fois l'épaisseur de cette paroi.
3. comporter des découpes contre le gauchissement si elles sont de longueur importante.

CONGES : La présence d'angles vifs est une cause importante de rupture des pièces et perturbe l'écoulement de la matière. Des rayons de 0,3 à 0,5 .mm à la place des angles vifs réduisent déjà considérablement les concentrations de contrainte et améliorent notablement la résistance structurelle.

EQUILIBRAGE DES FLUX, SYMETRIE DES PIECES : Ces 2 conditions sont nécessaires pour éviter gauchissements et distorsions.

ELEMENTS DE GRANDE LONGUEUR : Sources de gauchissement, flambage etc ... : dans la mesure du possible, il faut essayer de les morceler par des évidements, encoches

ELEMENTS DE GRANDE SURFACE : Ont tendance à gauchir et si le galbe ne peut être maintenu, il faut prévoir des raidisseurs.

LOCALISATION DES TRACES DE MOULAGE : Il est souhaitable que les traces de lignes de soudure, seuils d'alimentation, éjecteurs, soient localisées dans des endroits peu visibles pour ne pas nuire à l'aspect de la pièce.

INSERTS : Les inserts peuvent être incorporés directement au moulage ou posés ultérieurement dans des logements prévus. La pose au moulage est, en général, évitée surtout avec les plastiques non chargés à cause des différences de coefficient de dilatation métal/plastique. De plus, la pose de l'insert ralentit les cadences. Dans tous les cas, il faudra prendre un certain nombre de précautions pour le dessin du logement.

Les inserts ne doivent pas être placés trop près des bords ni des lignes de soudure, l'épaisseur de matière autour de l'insert doit être suffisante et du même ordre que le reste de la pièce, le moletage doit s'arrêter aussi loin que possible de la surface pour éviter l'effet d'entaille.

Les inserts doivent répondre à un certain nombre d'impératifs:

1. métal compatible avec le plastique : le PA qui absorbe l'humidité entraîne la rouille de l'acier ordinaire, le cuivre est catalyseur d'oxydation des PE et PP, le zinc, l'aluminium et le bronze sont à éviter avec les POM etc ...
2. leur forme doit permettre leur ancrage dans la matière pour s'opposer à l'arrachement : pans, gorges, plats, moletage, crênelage ...
3. Les angles vifs pouvant servir d'amorce de rupture, sont à proscrire.
4. Pour les inserts posés après moulage le diamètre du trou doit être calculé suivant les instructions des Fournisseurs.

TOLERANCES : La précision des pièces dépend de la matière utilisée, de la précision du moule et de tous les facteurs de mise en oeuvre de la matière : traitements thermiques aux diverses étapes, pression d'injection, contraintes de démoulage, déformations au stockage. Il ne faut donc prévoir des tolérances étroites que pour les cotes qui le nécessitent absolument, car le prix de revient augmente rapidement. A titre d'exemple pour une matière et une pièce données, le coût peut passer de 100 pour des tolérances normales à 170 pour des tolérances serrées et à 300 pour des tolérances très serrées.

MOULES D'INJECTION A HAUTE PRESSION POUR THERMOPLASTIQUES

1.1 Définition

La technique d'injection des matières thermoplastiques consiste à remplir la cavité du moule avec une matière en fusion (à l'état généralement pâteux) et sous pression , donnant , après refroidissement des pièces donc le champ d'application est extrêmement vaste et se développe sans cesse .

Les plastiques apportent essentiellement leur légèreté , leur aspect agréable , leur résistance à la corrosion dans de nombreux environnements plus ou moins agressifs , leurs qualités d'isolants thermiques , électriques , voire acoustiques (produits allégés ou expansés) , et des propriétés mécaniques souvent suffisantes si l'on se limite à des contraintes assez réduites appliquées dans des intervalles de température plutôt étroits : -40 à + 80°C pour les plastiques les plus courants , difficilement au-dessous de - 60°C et au-dessus de 100°C , à moins de faire appel à des produits de qualité supérieure , plus coûteux , et généralement plus difficiles à transformer .

Un certain nombre de thermoplastiques de prix très élevé , mais capable de performances exceptionnelles , existe cependant sur le marché (polymères fluorés , polysulfones , ect.) et sont irremplaçables dans des applications particulières : électronique , industrie chimique , industrie aérospatiale .

CONCEPTION DU MOULE

1.2 Généralités . cycle de production

Pour satisfaire aux besoins de la production définis au paragraphe généralités , quatre fonctions essentielles doivent être prévues lors de la conception de l'outillage :

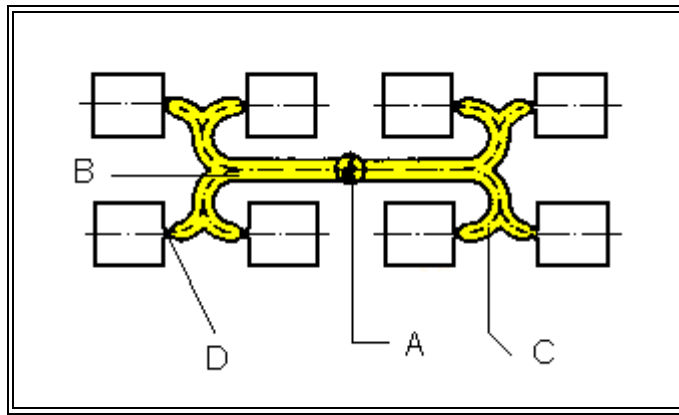
1. Mise en forme de l'objet moulé ,
2. Alimentation des canaux en matière à mouler ,
3. Refroidissement ,
4. Extraction des pièces en cours de fabrication .

L'étude d'un moule consiste à concevoir des formes dessinées en vue de réaliser au mieux ces fonctions , compte tenu des techniques d'exécution possibles , des machines disponibles , des formes de la pièces à produire , de la finition et du fini de surface exigés , de l'efficacité du système de refroidissement , des sécurités à incorporer pour éviter toute détérioration de l'outillage (dans le cas où un corps étranger se trouverait dans le plan de joint au moment de la fermeture) et de la durée de service souhaitée (série à réaliser) .

Un moule d'injection pour thermoplastiques , compte tenu des considérations du paragraphe 1.1 doit au cours d'une opération complète de production (cycle) passer par les phases suivantes :

1. Fermeture
2. Remplissage par F et éventuellement maintien en pression
3. Refroidissement rendant les pièces moulées rigides
4. Temps d'ouverture avant le démarrage du cycle suivant .

1.3 Fonction alimentation .



Généralités : La matière plastique fondue , préparé dans le dispositif de plastification (chargé d'assurer la fusion) de la presse à mouler , doit être transférée vers les cavité du moule au moyen d'un réseau de canaux dans lequel on peut distinguer : le canal de carotte en A , les canaux de répartition ou de distribution en B et C , et l'attaque ou seuil d'alimentation en D .

Canal de carotte : Le canal de carotte , de forme tronconique , conduit le plastique depuis l'orifice d'entrée du moule jusqu'au plan de joint . Sa forme (conicité 5 à 8 °) facilite l'extraction de la matière solidifiée ou carotte , qui le remplit après chaque moulage ; l'arrachage de la carotte T . Il est bon d'arrondir la base du canal de carotte , pour améliorer l'écoulement de la matière en fusion .

Canaux de distribution : Le canal de carotte alimente un réseau de canaux de distribution , principaux et secondaires . Au cours du cheminement de la matière plastique dans les canaux , une pellicule solide se forme au contact des parois relativement froides de l'outillage et agit comme une gaine isolante vis-à-vis de la matière fondue circulant dans la section restante .Les canaux d'alimentation présentent généralement une réduction de section importante au voisinage de la cavité du moule : cela facilite la séparation des déchets et des pièces , tout en laissant sur celles - ci une trace réduite , ne nuisant pas à leur esthétique (détail D .)

Les matières plastiques en fusion sont des fluides dits viscoélastiques n'obéissant pas aux lois des fluides visqueux classiques tels que l'eau ou l'huile . Il n'y a pas d'étude théorique applicable d'une manière simple à la détermination pratique des canaux usinés dans les moules d'injection .

1.4 Attaque ou seuil d'alimentation

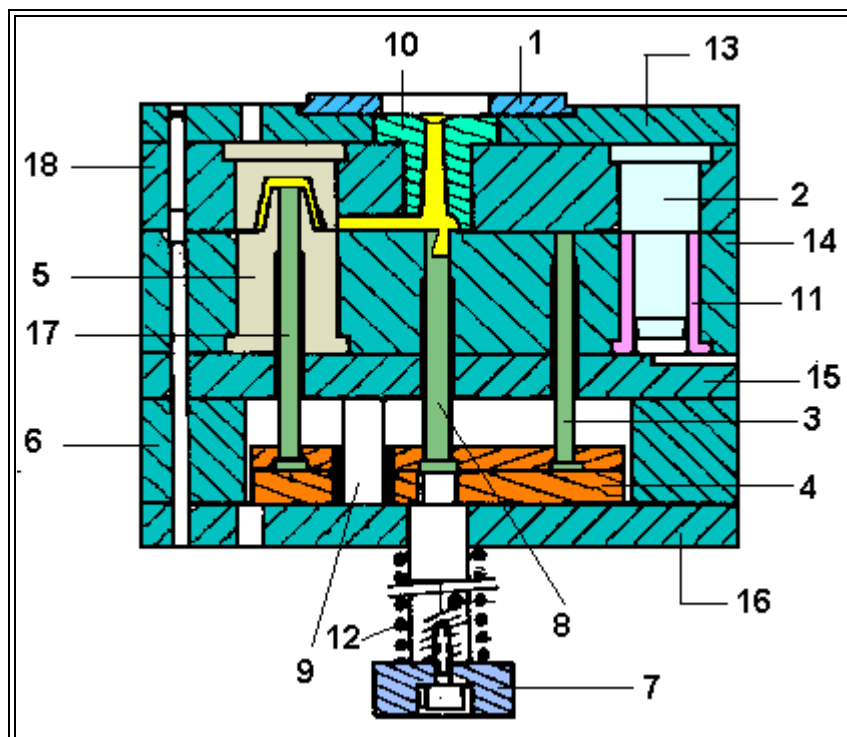
Choix de sa position : Le choix de la zone d'attaque d'une cavité de moule n'est pas indifférent . Si la matière ne rencontre pas d'obstacle lors de son écoulement , les pertes de charges seront réduites et l'on pourra diminuer la pression d'injection ; cela revient à éviter l'alimentation de la cavité face à un obstacle (noyau du moule) . Celui-ci divise en outre le jet de plastique en deux flux se refermant sur la face opposée du noyau , et

rend inévitable la formation d'une soudure nuisible à la résistance mécanique et parfois visible , donc inesthétique . Si les soudures sont inévitables (c'est souvent le cas) , il est indiqué de choisir l'attaque en vue d'orienter leur formation dans une zone de forte section ou une région de la pièce ne supportant pas d'effort important .

Si l'objet moulé comporte des variations d'épaisseur , il est indiqué de placer le point d'alimentation sur les parties massives afin de pouvoir poursuivre le remplissage au moment du retrait de solidification pour compenser en partie celui-ci.

Les pièces complexes de grandes dimensions sont souvent alimentées en plusieurs points , ce qui présente l'inconvénient de multiplier les lignes de soudures , mais celle-ci sont de bonne qualité si la rencontre des flux de matière se fait à une température suffisante .

CONSTRUCTION D'UN MOULE

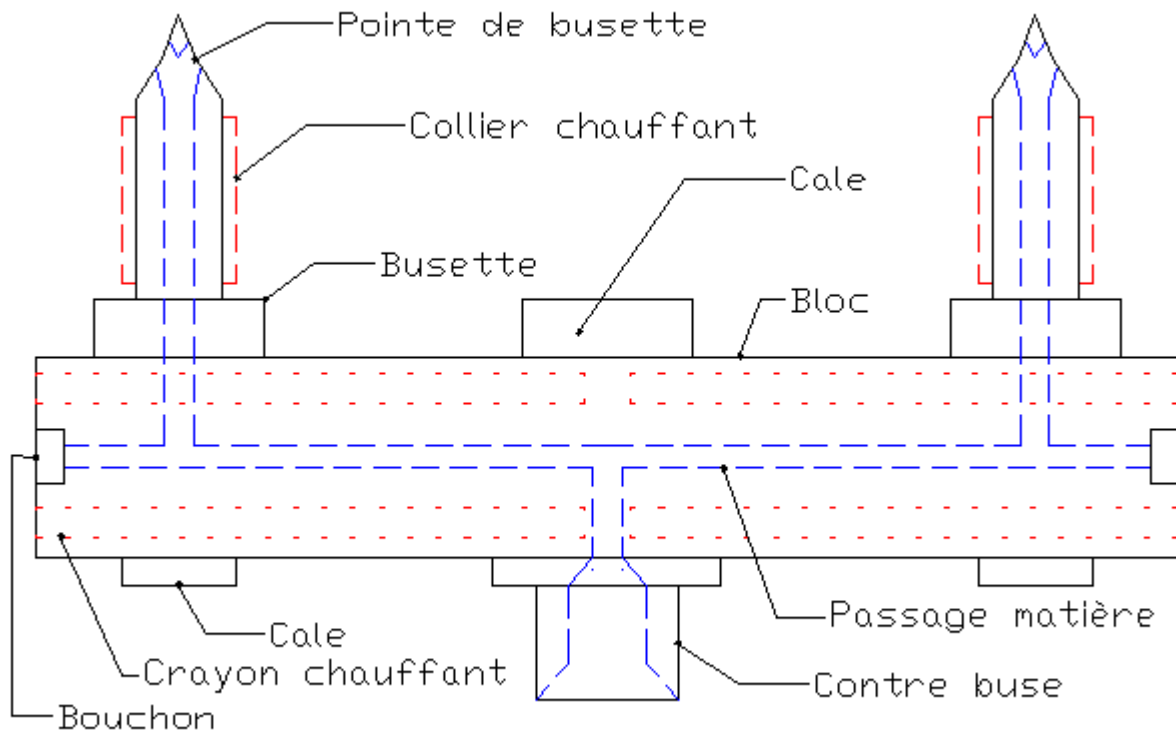


Nomenclature .

1. Bague de centrage
2. Colonne de guidage
3. Rappel d'éjection
4. Plaque d'éjection
5. Empreinte
6. Tasseaux
7. Queue d'éjection
8. Arrache carotte
9. Plôt de soutien
10. Contre buse
11. Bague de guidage

12. Ressort de rappel
13. Plaque de fixation A.V
14. Plaque porte empreinte Inf
15. Plaque intermédiaire
16. Plaque de fixation A.R
17. Ejecteur
18. Plaque porte empreinte Sup

LE BLOC CHAUD.



FONCTION REFROIDISSEMENT.

Problème du refroidissement.

Le refroidissement des moules est une nécessité technique et économique. Une pièce moulée ne peut être extraite sans dommage de l'outillage qui la produit si elle n'a pas acquis une rigidité suffisante pour résister aux efforts d'éjection, donc si la température du plastique ne s'est pas abaissée au-dessous du point de fusion. Au-delà de la température de transition vitreuse pour les polymères amorphes, un refroidissement, basé sur les seules pertes calorifiques à travers les parois du moule par conduction, puis par rayonnement et convection dans l'atmosphère environnante, met en jeu des temps prohibitifs; c'est pourquoi un refroidissement artificiel accéléré s'impose.

La vitesse de refroidissement influence aussi la structure et, par suite, les propriétés physiques et mécaniques des matières plastiques, en particulier des polymères semi-cristallins. Il faut s'efforcer d'obtenir une vitesse de refroidissement uniforme pour aboutir

à une structure homogène; cela nécessite la création de conditions de refroidissement identiques en toute région du moule, résultat pratiquement inaccessible mais que l'on doit s'efforcer d'approcher.

La permanence des conditions de refroidissement est aussi un facteur important à respecter, dans le but de produire, au cours des cycles successifs de moulage, des pièces sensiblement identiques, respectant les tolérances de dimension et de forme imposées. L'automatisation des cycles de production et l'emploi d'appareils de contrôle de la température des outillages, capables de refroidir le fluide de refroidissement ou de le réchauffer si nécessaire, contribuent largement aujourd'hui à l'amélioration de la qualité des pièces moulées.

Temps de refroidissement des pièces moulées. Le temps de refroidissement, à l'intérieur du moule, d'un objet en matière plastique représente presque toujours la phase la plus longue du cycle de production, en particulier pour les épaisseurs de pièces courantes de 1,5 à 3 mm. Pour une pièce d'épaisseur régulière, située dans les limites indiquées et présentant des surfaces latérales internes et externes importantes, le temps de refroidissement dépend directement du rapport du volume de la pièce moulée à la surface totale de refroidissement (VIS), rapport très voisin de la moitié de l'épaisseur $E/2$ et conduisant à la relation

$$T = \frac{4 PC}{E^2} = Cte \quad \text{pour le type de pièce considéré}$$

avec

- T : temps de refroidissement,
- E : épaisseur,
- P : masse volumique,
- C : capacité thermique massique,
- K : coefficient de conductibilité calorifique.

L'ensemble k/pc est la diffusivité thermique dont la valeur est connue pour des températures voisines de la température ambiante, et même au-delà pour certaines matières.

Ainsi le temps de refroidissement est sensiblement proportionnel au carré de l'épaisseur et ce résultat montre bien le peu d'intérêt de la technique d'injection pour la fabrication de pièces très épaisses, sujettes en outre à des tensions internes exagérées. Ces renseignements sont utiles pour estimer les cadences approximatives de production lors de la préparation des devis.

Refroidissement du moule.

La pièce moulée, en se refroidissant, cède sa chaleur à l'outillage. Celui-ci l'évacue à son tour très partiellement par rayonnement et convection dans l'air environnant, car la plus grande partie de la chaleur à éliminer est absorbée par un fluide réfrigérant

(généralement de l'eau du réseau urbain) rejeté ensuite dans les égouts. Cette solution conduit à un gaspillage de plus en plus difficilement toléré, car les outillages de moulage consomment beaucoup et cela pose des problèmes d'approvisionnement dans les villes où existe une forte concentration de matériel de transformation. Beaucoup d'entreprises ont déjà réalisé des installations d'eau adoucie fonctionnant en circuit fermé malgré les investissements assez lourds nécessaires et cette politique devra vraisemblablement se généraliser dans l'avenir.

Pour des problèmes de fabrication de précision, on fait souvent appel à des régulateurs automatiques de température affectés à un seul outillage et pouvant chauffer ou refroidir. Pour un fonctionnement avec fluide à moins de 80 - 90 ° (cas le plus habituel), l'eau est encore utilisée en circuit fermé mais, au-delà, il faut faire appel à l'huile, car certains moules peuvent être portés à 150 °. Le moulage de pièces minces ou de faible masse met en jeu de faibles capacités calorifiques qui peuvent s'avérer insuffisantes pour maintenir l'outillage à la température souhaitable; il faut alors assurer son réchauffement permanent.

On rencontre dans la pratique industrielle des problèmes d'entartrage des circuits de refroidissement des moules, obligeant à effectuer un traitement périodique avec des détartrants acides ou basiques. Les eaux calcaires sont particulièrement néfastes à ce point de vue.

Un circuit de refroidissement efficace doit bien envelopper les cavités du moule par leur surface extérieure, autrement dit, suivre, dans la mesure du possible, le contour des objets fabriqués. Les noyaux sont également refroidis dès qu'ils atteignent une certaine dimension transversale (à partir de 15 à 20 mm environ) et d'autant plus énergiquement que la pièce moulée est plus épaisse.

L'exécution de ces circuits est particulièrement coûteuse lorsqu'il s'agit d'outillages de grandes dimensions ou à grand nombre de cavités. Dans la mesure du possible, on a intérêt à exécuter les circuits de refroidissement sous forme de trous cylindriques obtenus par forage: c'est la méthode la plus employée pour les circuits enveloppant les cavités. Pour résoudre les problèmes complexes de refroidissement de noyaux ou de cavités, on fait appel à des éléments de moules rapportés et l'étanchéité doit alors être assurée par des joints souples.

EJECTION DES PIECES MOULEES.

Procédés d'éjection classiques.

La fonction éjection des pièces moulées revêt une importance particulière; un mécanisme d'extraction fonctionnant mal conduit à un allongement des cycles et

entraîne une mauvaise exploitation des outillages sur le plan économique. La principale raison de l'adhérence des pièces moulées sur les éléments en relief de l'outillage résulte de la contraction due au retrait de la matière plastique, provoquant un serrage sur les noyaux.

Le dispositif d'éjection doit être adapté à la résistance mécanique, à la plus ou moins grande rigidité du produit moulé (encore chaud), afin d'éviter la distorsion ou même la rupture des objets fabriqués sous l'effet de l'effort d'éjection. Le choix judicieux des zones d'action des éjecteurs, compte tenu de la forme des pièces, facilite souvent la résolution du problème.

La manoeuvre de la plaque d'éjection, sur laquelle sont groupés tous les éjecteurs, est souvent assurée mécaniquement par butée de celle-ci sur une partie fixe de la presse au cours du mouvement d'ouverture du moule, ou encore au moyen de vérins hydrauliques incorporés à la presse. Pour l'extraction de pièces complexes, le dispositif d'éjection ne doit agir que lorsque tous les éléments en contre-dépouille ont été dégagés grâce au déplacement de certaines parties de l'outillage. Dans les cas difficiles, l'opération de démoulage exige un nombre de séquences tel que les dispositifs mécaniques habituels, assurant la manoeuvre des parties mobiles du moule, sont inutilisables. Les mouvements sont alors assurés successivement au moyen de vérins hydrauliques commandés par des électrovannes dont l'action est déclenchée par un circuit électrique incorporé dans celui prévu pour contrôler automatiquement l'ensemble des séquences du cycle de moulage. Des micro contacts déterminent le début et la fin des mouvements successifs des tiges de piston des vérins.

Matériaux de construction utilisés dans les moules d'injection.

Sur le plan du choix des matériaux, on peut considérer séparément les pièces de structure, les parties moulantes et les éléments mobiles. D'une façon générale, les organes constitutifs des outillages d'injection sont en acier, avec des exceptions concernant les moules d'essai ou les moules destinés à l'étude de prototypes.

Les **pièces de structure** ou plaques supportent essentiellement les efforts provenant de la force de fermeture de la presse à mouler et de la pression d'injection, répartis sur des surfaces importantes. Des aciers au carbone de bonne qualité suffisent pour faire face à ces conditions d'utilisation. Pour produire des séries importantes, on peut faire appel, en ce qui concerne les plaques formant le plan de joint de moulage, à des aciers prétraités pour obtenir une résistance à la rupture de 1 000 à 1 200 Mpa .

Les **parties moulantes** subissent la pression de moulage, éventuellement la force de fermeture de la presse (gros moules monoblocs), l'effet d'usure des matières contenant des charges abrasives (fibre de verre, le plus souvent), l'attaque chimique des produits

de décomposition de certains thermoplastiques (polychlorure de vinyle, en particulier), le phénomène d'usure dû au frottement de parties mobiles de l'outillage. En outre, dans les moules utilisés à grande cadence, les variations cycliques des contraintes mécaniques risquent de faire apparaître des phénomènes de fatigue

Selon que ces divers effets sont plus ou moins prononcés, et compte tenu des séries à produire, on emploie souvent des aciers prétraités à 900 - 1 200 MPa évitant les déformations de trempe et traitements thermiques divers effectués parfois après usinage. Pour des cas plus difficiles, des aciers prétraités à 1 400 MPa semblent mieux convenir : si l'attaque chimique est à craindre, on choisit des aciers inoxydables au chrome pour des pièces de dimensions limitées, fortement sollicitées à l'usure, on peut s'orienter vers des aciers qualifiés indéformables traités à 1 800 - 2 000 MPa après usinage, ou vers des aciers au nickelchrome- molybdène , ou encore vers des aciers de nitruration . Certaines zones de cavités sont parfois en cupro-béryllium apportant l'avantage d'une meilleure conductivité thermique que celle de l'acier

Les **pièces d'usure** sont essentiellement représentées par les éjecteurs (en acier au nickel-chrome traité à 1 800 MPa ou même en acier nitruré), les goujons et bagues de guidage, les noyaux mobiles montés sur tiroirs, les tiroirs, toutes pièces exécutées en acier au nickel-chrome ou nickel-chrome-molybdène traités entre 1 500 et 2000 MPa selon les besoins. Les moules d'essai métalliques s'exécutent en acier au carbone peu coûteux, sauf si ils doivent être utilisés pour la production en série, par la suite, au prix de quelques améliorations.

Plan d'étude d'un moule.

Le travail de conception d'un moule, destiné à produire une pièce assez coûteuse et plus ou moins complexe, devra être précédé d'une étude approfondie de celle-ci, et l'on devra se poser des questions telles que

1. la technique envisagée convient-elle bien ?
2. la production à assurer est-elle rentable et possible, compte tenu de la série, des exigences imposées?
3. les formes de la pièce sont-elles bien adaptées à son utilisation et appropriées à la technique d'injection ?

Si le moulage par injection s'impose, il convient ensuite de choisir la presse à mouler dans le parc des machines disponibles, ou en fonction de la série prévue compte tenu du délai de fabrication.

L'étude de l'outillage peut alors être entreprise et conduit à déterminer la position la plus favorable de la pièce dans le plan de joint, en vue de faciliter son extraction et son alimentation. Il faut ensuite envisager les différents plans de joint valables, avec leurs

répercussions sur la complexité de l'outillage en résultant (parties mobiles plus ou moins nombreuses, en particulier) et sur l'aspect de la pièce moulée, de façon à faire apparaître la solution la plus rationnelle, conduisant à une production de qualité, dans des conditions économiques.

La conception de l'outillage sera plus ou moins évoluée, pour aboutir à un prix de revient acceptable compte tenu de la commande. Si celle-ci est particulièrement importante, même un moule coûteux et de haute qualité technique n'a pas une grande influence sur le prix des pièces produites.

BRIDAGE D'UN MOULE

Il existe deux principales façons de brider un moule sur un plateau de presse :

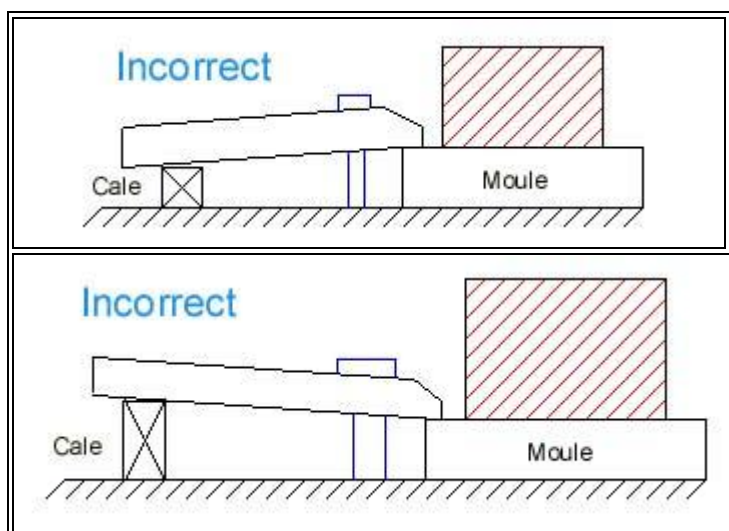
1. Le bridage à travers la plaque du moule

Avantages : Fixation très simple et fiable , il y a pas de besoin de cale (la plaque du moule faisant office de cale). Bonne accessibilité pour le serrage .

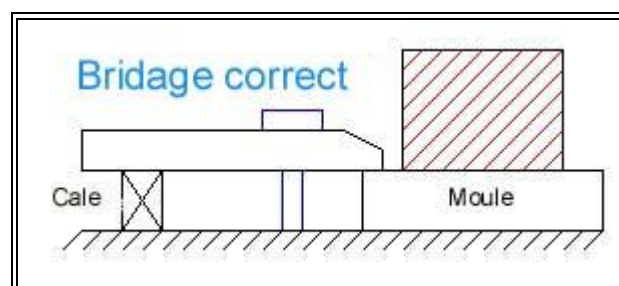
Inconvénients : Les trous taraudés doivent avoir des entraxes indentiques sur tous les plateaux de presses pour permettre l'interchangeabilité des moules .

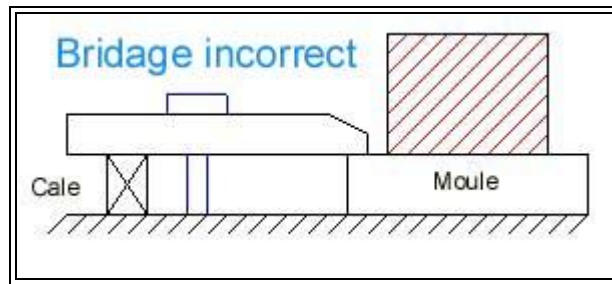
2. Le bridage à l'aide de brides

C'est de loin le procédé le plus répandu . C'est aussi le procédé qui demande le plus de soin et d'attention lors du montage . En effet , il faut que la cale qui sert d'appui pour la bride soit d'hauteur équivalente à la plaque du moule ou très légèrement supérieure . Sinon le bridage n'est pas solide et les vis risquent de se tordre . (Voir schéma 1 et 2)



3. Il faut que la vis qui sert à bloquer la bride soit le plus près possible de l'objet à brider . Sinon , on bloque plus la cale que le moule . (voir schéma 3 et 4)





L' INJECTION

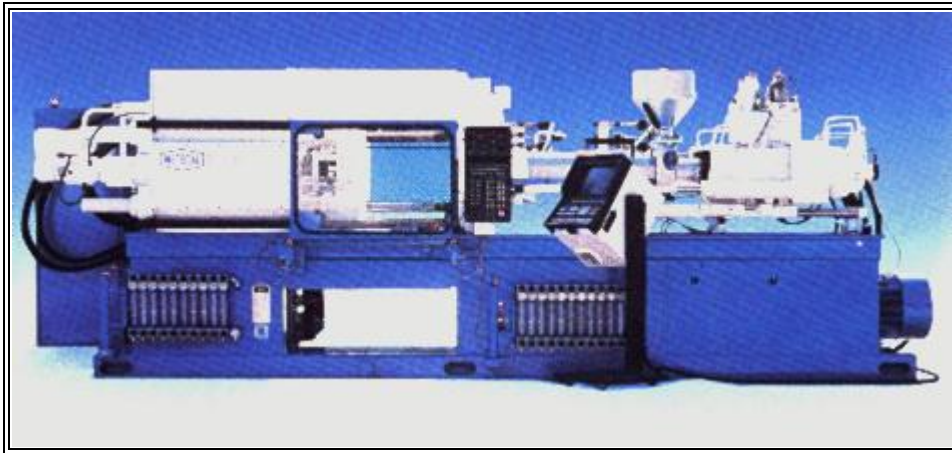


fig 1

Modèle d'une presse à injecter

Description d'une presse à injecter

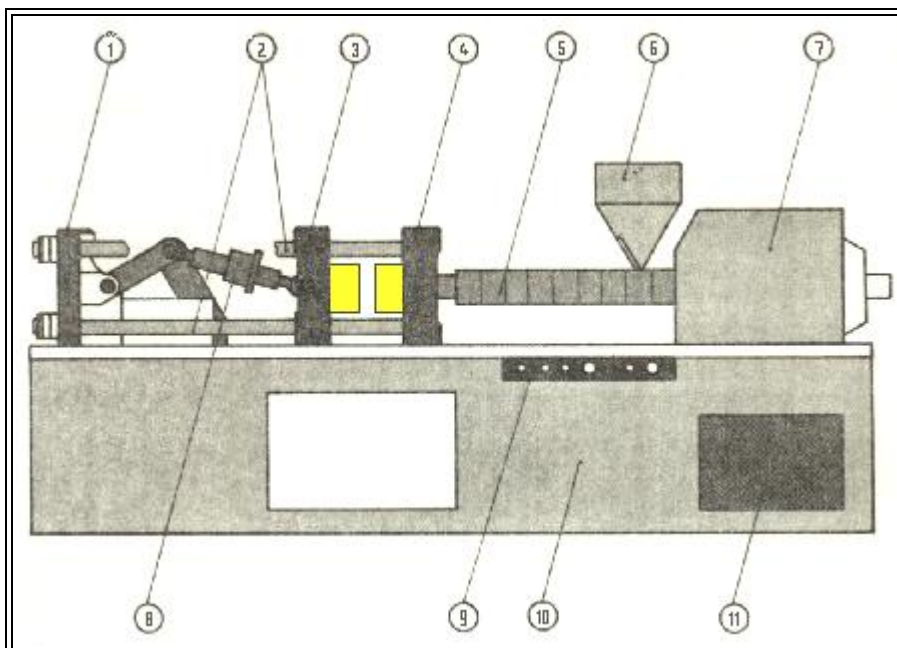


fig 2

1. Plateau arrière fixe
2. Colonnes de guidage
3. Plateau mobile de fermeture
4. Plateau fixe d'injection
5. Cylindre chauffant d'injection
6. Trémie
7. Groupe d'injection
8. Organe de fermeture (genouillère ou vérin)
9. Tableau de commande
- 10.
- 11.

10. Bâti
11. Groupe hydraulique

Une presse à injecter comporte trois grands ensembles

- [Le bâti](#)
- [Le bloc de fermeture, verrouillage](#)
- [L'unité de plastification](#)
- [Le groupe d'injection](#)
- [Les buses](#)
- [Le clapet](#)
- [Les vis](#)
- [L'injection](#)
- [Elimination des défauts](#)

Le bâti

C'est ce qui supporte l'ensemble des organes nécessaires au bon fonctionnement de la presse, (moteur électrique, pompe hydraulique, réservoir d'huile, les canalisations, tous les électro-vannes et les distributeurs). Le bâti est de construction mécano-soudée. Il supporte également le bloc de fermeture ainsi que l'unité de plastification. Il existe plusieurs sortes de bâti , soit horizontale, verticale, ou en équerre .

SITUATION DANS LE PLAN HORIZONTALE

Ce type de presse est encore appelé en ligne. L'encombrement au sol est très important, mais cela facilite l'accès à tous les organes. Cela facilite également la mise en place du moule avec un palan. L'éjection des pièces peut-être automatisée. Les cadences de travail sont très élevées.

SITUATION DANS LE PLAN VERTICALE

Cette situation donne à la presse un faible encombrement au sol, mais la hauteur est gênante pour l'alimentation en matière. la stabilité laisse à désirer, du fait de la faible surface au sol. L'automatisation n'est pas aisée, car l'éjection des pièces est généralement manuelle. Elle garde tout son intérêt, dans le moulage de pièces avec insert.

SITUATION DANS LE PLAN D'EQUERRE

Très accessible, vue son architecture, l'injection se fait dans le plan de joint du moule. Les cadences sont très élevées. L'ensemble d'injection est réglable longitudinalement et transversalement.

Le bloc de fermeture, verrouillage

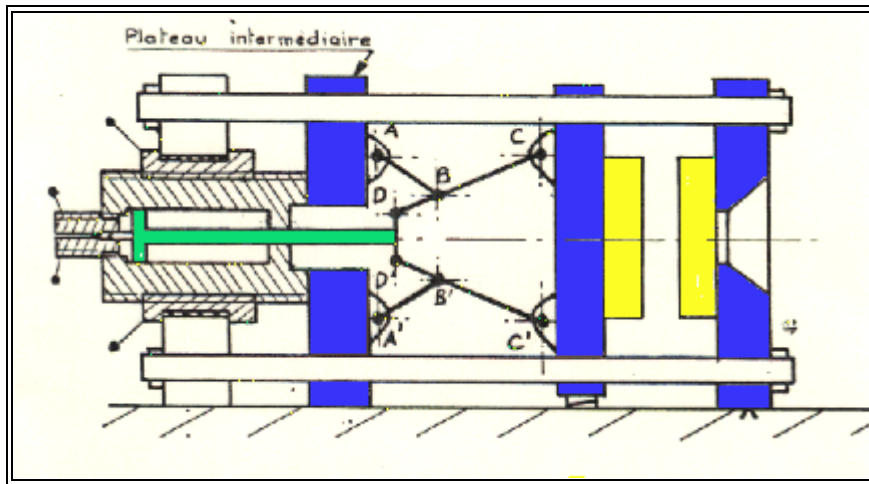


fig 3

GENERALITE

Cet ensemble permet la fermeture et le verrouillage de la partie mobile du moule, sur la partie fixe. Devant résister à la pression d'injection, sa conception est très importante. Son fonctionnement peut-être mécanique, hydraulique, ou mixte.

FERMETURE MECANIQUE

Bien que les mouvements sont assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères (voir fig 1). Sur certaine presse, lorsque le point d'alignement est dépassé, on peut couper la pression dans le vérin et l'ensemble reste stable.

FERMETURE HYDRAULIQUE

Ce type de fermeture ne fait appel à aucun mouvement mécanique. Ceux-ci sont réalisés par des mouvements hydraulique à l'aide d'un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe , et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase final de la fermeture.

FERMETURE MIXTE

Ce procédé est un compromis entre la fermeture hydraulique et la fermeture mécanique. En effet, les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydraulique.

CARACTERISTIQUES PRINCIPALE

FORCE DE FERMETURE

La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir le moule fermé lors de l'injection. Cette force est calculée par rapport à la pression exercée dans le moule pendant l'injection . Elle doit être supérieur à la pression d'injection. Il est obligatoire d'exercer un verrouillages du moule, sinon lors de l'injection, il se produit une ouverture et du toilage sur les pièces.

NOTE :

La pression de verrouillage doit-être de 20 à 25% supérieur à la pression d'injection.

COURSE DE FERMETURE OU D'OUVERTURE

Elle conditionne la profondeur maximale des pièces moulables. La course d'ouverture doit être au moins égale au double de cette profondeur. La course de fermeture peut-être réglable en vue d'obtenir un gain sur le temps d'ouverture lorsque les pièces produites sont peu profondes.

PASSAGE ENTRE COLONNES

Il détermine la largeur maximale du moule exploitable, à moins d'équiper la presse avec une colonne démontable, solution devenue assez courante.

DIMENSIONS DES PLATEAUX

Elles fixent les valeurs extrêmes possibles pour l'une des dimensions transversales du moule.

EPAISSEUR DE MOULE MINIMALE

Il est inutile d'obtenir une fermeture complète des plateaux lorsqu'aucun moule n'est monté dessus. La distance entre plateaux en position moule fermée, représente alors le moule d'épaisseur minimale exploitable.

EPAISSEUR DE MOULE MAXIMALE

si l'on veut conserver, pour la course d'ouverture de la presse , la valeur maximale possible en utilisant un moule plus épais que le moule minimal (cas fréquent), il est nécessaire de prévoir un réglage permettant de reculer le plateau mobile par rapport à la position correspondant à celle du serrage minimal. Ce réglage, ajouté à l'épaisseur du moule minimal, donne l'épaisseur maximale de moule possible dans ces conditions.

SURFACE FRONTALE OU SURFACE PROJETEE

C'est la projection de la matière sur la surface totale des empreintes, y compris la surface des canaux d'alimentation ramenée sur un plan.

L'unité de plastification

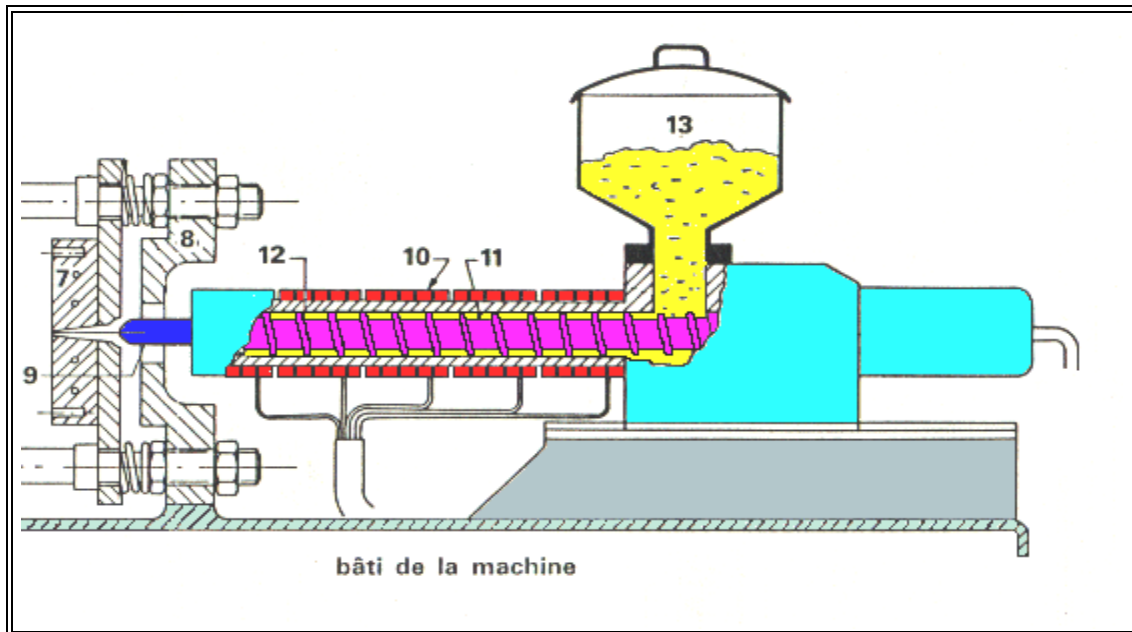


fig 4
Modèle d'un groupe d'injection

7. Partie fixe du moule
8. Plateau fixe
9. Buse d'injection
10. Colliers chauffant du pot d'injection
11. Pot d'injection
12. Vis d'injection
13. Trémie
14. Système d'entraînement de la vis

Sous cette désignation on comprend la partie de l'unité d'injection, qui est en contact direct avec la matière plastique à transformer. L'unité de plastification a comme tâche, de faire fondre la matière plastique, de la homogénéiser, de la doser et de la transporter dans le moule.

L'ALIMENTATION DE MATIERE PLASTIQUE

La matière à transformer est remplie dans la trémie (fig 4.13). Celle-ci est munie d'un dispositif d'arrêt et de vidage. Sous ce dispositif d'arrêt et de vidage se trouve la zone d'alimentation du groupe de plastification. Celle-ci est équipée d'un circuit d'eau, servant à régler la température de cette zone.

VIS ET CYLINDRE DE PLASTIFICATION

Le cylindre à vis électriquement chauffé (fig 4.10) est équipé d'une vis universelle à trois zones. (fig 5)

1. Zone d'alimentation
2. Zone de compression
3. Zone de plastification

Avec ces vis, toutes les matières thermoplastiques normales, à l'exception de P.V.C rigide, téflon, par ex., se laissent très facilement transformer.

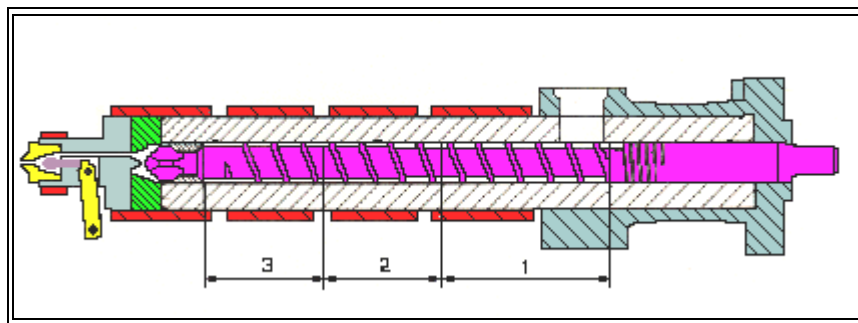


fig 5

L'ENTRAÎNEMENT DE LA VIS

La vis de plastification (fig 4-11) est entraînée directement, c'est à dire sans mécanisme de transmission intermédiaire, à l'aide d'un moteur hydraulique.

Le groupe d'injection (fig 4)

Le groupe d'injection comprend l'unité de plastification, le vérin d'injection, le groupe d'entraînement de la vis et les éléments additionnels, comme dispositif de commande de la buse, vérins d'appui ect..

Toutes ces unités sont montées sur un glissoir. Celui-ci est guidé par des colonnes. Pour les paliers des coussinets demandant peu d'entretien sont utilisés. On obtient ainsi un guidage du groupe d'injection précis, robuste et avec très peu d'entretien. Les colonnes de guidage doivent être légèrement huilées seulement après le nettoyage hebdomadaire.

Le glissoir peut être déplacé axialement à l'aide de deux vérins d'appui hydrauliques latéraux. Ces vérins produisent également la force, avec laquelle la buse est pressée contre le moule

Les buses et les vis

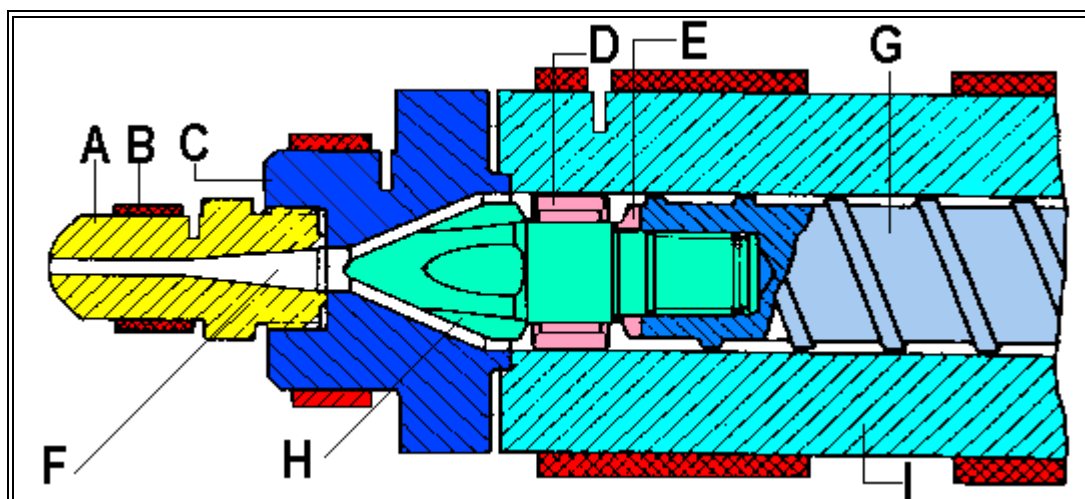


fig 6

- A. Buse ouverte
- B. Résistance de buse
- C. L'avant pot
- D. Clapet
- E. Siège du clapet
- F. Passage de la matière
- G. Vis
- H. Pointe du clapet
- I. Pot d'injection

LE RÔLE DU CLAPET

Principe du clapet

Le dispositif du groupe d'injection (Fourreau) remplit les deux fonctions de plastification et d'injection en un seul mécanisme. Pour la plastification, la vis tourne et plastifie la matière comme dans une extrudeuse. Les granulés sont chauffés, fondus, et homogénéisés pendant leur transport de la trémie vers la buse. Pour stocker la quantité de matière nécessaire à l'injection d'une pièce, le dispositif vis-piston peut reculer dans le fourreau de la machine et doser la quantité voulue de matière plastifiée devant la vis (fig. 7), la vis arrête de tourner et de reculer. Pour injecter, un vérin hydraulique pousse la vis, celle-ci plaque le clapet sur son siège, la matière ne peut plus refluer vers l'arrière (fig. 8). L'ensemble injecte sous pression, dans le moule, la matière dosée. Pendant cette phase, l'hydraulique peut être asservie pour harmoniser le remplissage du moule en fonction de la pièce et de la matière injectée. C'est le système le plus répandu.

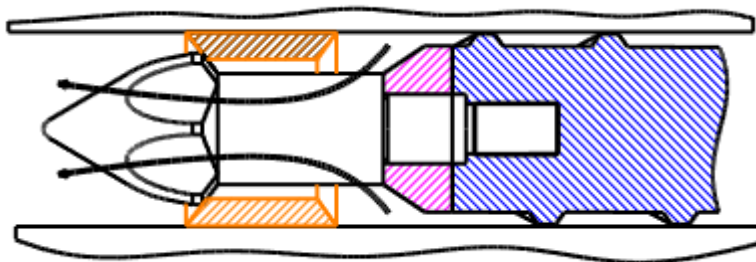


fig 7

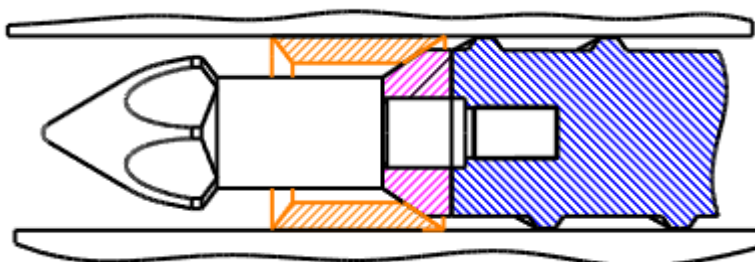


fig 8

LES BUSES DES PRESSES A INJECTER

Une buse de presse doit :

-Assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection, malgré les fortes pressions mises en oeuvre. La force d'appui buse-moule doit être assez élevée et s'exerce sur des portées sphériques ou tronconiques, rarement planes.

-Présenter une surface de contact aussi réduite que possible avec le moule pour réduire le refroidissement de la buse de presse, celui-ci pouvant provoquer la formation d'un bouchon de matière solide. Cela exige, pour bénéficier d'une bonne tenue mécanique, une surface de contact buse-moule dure (un acier traité s'impose). Sur une buse courte, l'apport de chaleur par conductibilité, provenant du cylindre de plastification, suffit en général pour maintenir une température de buse satisfaisante. Dans l'éventualité de buses longues il faut prévoir un chauffage d'appoint par résistances électriques (fig 6-B).

-Comporter un canal d'écoulement sans brusque variation de section perturbant le déplacement des couches périphériques de plastique et cause de zone de stagnation pour celui-ci.

-Être facilement démontable pour procéder à son nettoyage ou permettre l'extraction de tout corps étranger freinant ou stoppant l'écoulement.

-Présenter un diamètre de trou de sortie variable selon le volume de matière à débiter lors de chaque injection, et aussi avec la nature de cette matière; plus elle est visqueuse à la température de moulage, plus la pièce moulée est importante, et plus grand doit être l'orifice de buse .

-Lorsque la buse quitte le contact du moule, il ne doit pas y avoir écoulement de matière plastique à l'air libre malgré une certaine détente du volume en fusion non refoulé dans le moule. On élimine de plus en plus ce risque en prévoyant un léger recul de la vis par rapport au cylindre, après suppression du contact buse-moule; l'expansion du plastique se fait alors vers l'intérieur du cylindre, c'est ce que l'on appelle la succion.

LES VIS DE PLASTIFICATION

Pour obtenir un rendement optimal, il serait souhaitable d'étudier la forme de la vis en fonction de chaque matière moulée. Pour des raisons économiques la tendance est à la fabrication de vis plus ou moins universelles, mais des vis spéciales restent indispensables pour le polychlorure de vinyle et l'on en utilise aussi parfois pour d'autres produits tels que le polyméthacrylate méthyle .

Une vis de plastification doit :

Opérer la translation du plastique depuis la trémie jusqu'à l'extrémité du cylindre de plastification, Participer à la plastification et la faciliter , par un malaxage combiné avec une mise sous pression de la matière fondue en bout de cylindre , ceci ayant pour effet de provoquer le recul de la vis au fur et à mesure de l'accumulation de plastique fondu à l'avant du cylindre ; cela entraîne en même temps une bonne évacuation de l'air et des gaz .

La matière plastique arrivant sur la vis possède , une densité apparente de 0,4 à 0,6 mais parvient en bout de vis à la densité normale correspondant à un état compact et fondu . La vis doit donc présenter une section de passage du polymère fondu de plus en plus réduite , au fur et à mesure de la progression de la plastification , afin d'éviter l'apparition de vides au sein de la matière . Le taux de compression est une caractéristique importante d'une vis et correspond au quotient de la section de passage utile en zone d'arrivée des granulés par la section de passage utile en extrémité de vis ;il représente approximativement la variation de volume de la matière moulée . La translation vers l'avant de celle-ci est assurée si son coefficient de frottement au contact du cylindre est supérieur à son coefficient de frottement au contact de la vis . Dans le cas contraire la vis entraînerait le plastique en rotation, par adhérence , sans le transférer vers l'avant . Le résultat est acquis si la température de la vis est assez faible ; cela n'exige cependant pas un refroidissement artificiel de cet organe si on limite sa vitesse de rotation .

La pression nécessaire au cheminement du plastique le long de la vis est obtenue si le taux de compression prévu est adapté à la matière traitée ; la pression en bout de cylindre qui en résulte n'est pas suffisante pour obtenir un moulage correct par transfert direct dans le moule . Cette dernière opération doit être effectuée en faisant fonctionner la vis comme un piston , grâce à un mouvement de translation fourni par un vérin hydraulique , le mouvement de rotation étant alors généralement interrompu . On peut régler la pression hydraulique régnant à l'arrière du piston du vérin durant la période de plastification . Cette pression s'oppose à la pression s'exerçant sur la matière fondue accumulée en bout de cylindre et donne le moyen d'agir sur elle (effet de compression) . Cela permet également de faire varier ainsi l'énergie de frottement dissipée au contact plastique-vis et de modifier sa valeur selon les besoins , en évitant de changer la vitesse de rotation de la vis.

Il existe cependant des possibilités de remplissage d'un moule sans déplacement axial de la vis , pour une injection à pression réduite applicable par exemple au polychlorure de vinyle plastifié (industrie de la chaussure) et éventuellement au polyéthylène basse

densité . Il s'agit dans ces cas particuliers de la production de pièces épaisses , permettant un remplissage facile des cavités des moules.

L'injection

LA PLASTIFICATION

GENERALITE

il s'agit de l'opération consistant à transformer, par apport de chaleur, un produit solide pulvérulent ou, le plus souvent, granulé, en une masse de consistance généralement pâteuse (état plastifié) capable de circuler à travers un réseau de canaux et d'épouser parfaitement les formes de la cavité du moule. Le plastique circule au contact de parois métalliques relativement froides abaissant progressivement sa température. Il y a lieu de lui donner une vitesse de déplacement suffisante pour éviter une solidification prématurée avant la fin du parcours à effectuer ; pour cela il est nécessaire d'associer à la température de moulage une forte pression, celle-ci s'avérant également déterminante pour obtenir une bonne mise en forme et un bon état de surface de l'objet moulé. Dans un but économique, il faut chercher à produire avec la plus basse température de moulage possible (économie de chaleur et de temps de refroidissement), sous une pression modérée. Toutefois le choix final de ces deux caractéristiques est en liaison étroite avec l'épaisseur, la complexité et les dimensions des articles produits, et dépend aussi, dans une assez large mesure, de la nature du plastique mis en oeuvre.

Les plastiques ne peuvent être chauffés sans détérioration, que dans un intervalle de températures parfois assez restreint. La plage de température à l'intérieur de laquelle le moulage est possible, se situe entre la température de fusion (qui n'a de signification qu'avec les polymères [cristallins](#) pour lesquels on peut la définir avec précision) et la température de début de décomposition. Pour les polymères [amorphes](#), la borne inférieure est souvent assez mal connue.

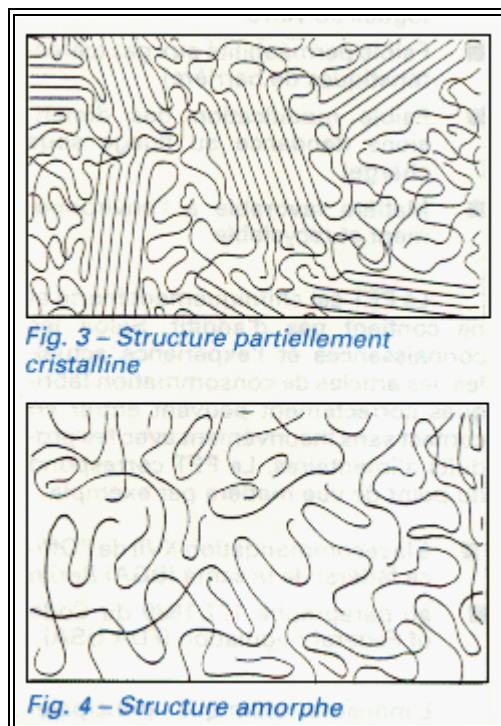
Cette plage de température constitue la plage de moulage . Celle-ci s'étale sensiblement entre 150° et 300°C dans les cas les plus favorables ([polystyrène](#), [polyéthylène](#), ect..), mais peut se réduire à une vingtaine de degrés ou moins avec les produits les plus sensibles à la chaleur ([polychlorure de vinyle](#), [polyamides 6.6](#)). Elle varie de 50 à 100°C pour de bon nombre de plastique.

Elimination des défauts

DÉFAUTS RENCONTRES ↓ SOLUTIONS	BRULURES	BAYURES	RETASSURES	LIGNE DE SOUDURE	PIECE PAS COMPLETE	INFONDUS	PEAU D'ORANGE	BULLES	MARQUES D'EJECTEURS	GIVRAGES	JET LIBRE	POINTS NOIRS	PIECE JAUNE	PIECE DEFORMEE						
	MONTER PRESSION D'INJECTION			X	X	X														
RÉDUIRE PRESSION D'INJECTION		X							X					X						
MONTER VITESSE D'INJECTION				X			X													
RÉDUIRE VITESSE D'INJECTION	X	X	X					X		X	X									
MONTER TEMPÉRATURE MATIÈRE				X	X	X	X				X									
DESCENDRE TEMPÉRATURE MATIÈRE	X	X	X					X		X		X	X	X						
MONTER CONTRE-PRESSION						X														
RÉDUIRE CONTRE-PRESSION																				
MONTER COURSE DE DOSAGE			X		X															
RÉDUIRE COURSE DE DOSAGE		X												X						
PURGER OU NETTOYER LA VIS												X								
MONTER LE TEMPS REFROIDISSEMENT									X					X						
RÉDUIRE LE TEMPS REFROIDISSEMENT																				
MONTER LA FORCE DE FERMETURE		X																		
RÉDUIRE LA FORCE DE FERMETURE	X																			
ÉTUVER LA MATIÈRE										X										
ÉTUVAGE MATIÈRE TROP ÉLEVÉE													X							
MONTER VITESSE D'ÉJECTION																				
RÉDUIRE VITESSE D'ÉJECTION									X											
POINT D'INJECTION MAL SITUE	X			X			X	X			X									
REVOIR LE PLAN DE JOINT		X																		
RÉDUIRE LA TEMPÉRATURE MOULE	X		X						X											
MONTER LA TEMPÉRATURE MOULE				X		X	X	X		X										
REVOIR L'EXCENTRATION DE LA PIÈCE	X	X			X															
POINT D'INJECTION TROP PETIT				X			X			X	X									
MONTER LA PRESSION DE MAINTIEN			X					X												
RÉDUIRE LA PRESSION DE MAINTIEN														X						
MONTER LE TEMPS DE MAINTIEN			X																	
RÉDUIRE LE TEMPS DE MAINTIEN														X						
REVOIR LES EVENTS	X			X				X												
REVOIR LE CIRCUIT REFROIDISSEMENT									X					X						

La matière première se présente le plus souvent sous forme de granulé de divers forme. On la trouve aussi sous forme de poudre, de micro bille, en pâte, ou en résine liquide. Elle peut-être naturelle ou colorée selon la demande. La fluidité de la matière au moulage varie selon son grade, situé généralement entre 0 et 100. Plus le grade est haut, plus la matière est fluide. La matière peut avoir, soit un état *Cristallin* ou *Amorphe*.

- a. Etat *Cristallin* = état ordonné : Sous l'influence de force interne les chaînes moléculaires se rangeront entre elles de façon ordonnées sur de petites longueurs. (Fig 3)
- b. Etat *Amorphe* = état désordonné : Les molécules sont très proche les unes des autres, la réaction se développe de façon anarchique, ce qui donne un polymère très ramifié donc moins cristallin. (Fig 4)



Il existe beaucoup de sorte de matières différentes, le choix de la matière dépend généralement du type de pièce à mouler. Il faut avant tout savoir avec précision l'usage que l'on veut en faire. Ensuite, il faut étudier son comportement dans le temps selon certain critère tel que la résistance mécanique, son exposition au ultra violet (U.V), sa souplesse, si elle résiste face à certains solvants.

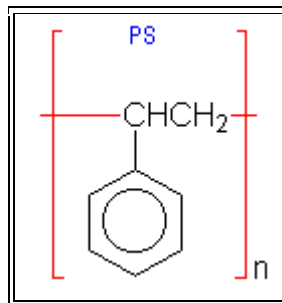
Les matières le plus souvent employées sont :

1. [Polystyrène \(P.S\)](#)

2. [Polypropylène \(P.P\)](#)
3. [polyéthylène \(P.E\)](#)
4. [Polycarbonate \(P.C\)](#)
5. [Polyamide \(P.A\)](#)
6. [Acrylonitrile Butadiène Styrène \(A.B.S\)](#)
7. [Polyoxyméthylène \(P.O.M\)](#)
8. [Polychlorure de Vinyle \(P.V.C\)](#)
9. [Polyméthacrylate de méthyl \(P.M.M.A\)](#)
10. [Styrène Acrylonitrile \(S.A.N\)](#)
11. [Polyoxyphénylène modifié\(P.P.O.m\)](#)
12. [Polytéréphtalate d'éthylène\(P.E.T\)](#)
13. [Caractéristiques des matières](#)

Polystyrène (P.S)

FICHE TECHNIQUE



Découverte entre 1930 et 1931

origine : Gaz naturel ou pétrole = Styrene

Structure : Amorphe

Retrait : 0.2% à 0.6%

Densité : 1.05

Mise en oeuvre : Injection

T° de Moulage : 160° à 280° C

T° du moule : 10° à 60°

Temps d'étuvage : aucun

Avantages particuliers :

- Facilité extrême de mise en oeuvre, cadences rapides
- Excellente transparence cristal
- Bel aspect de surface, possibilités de coloration
- Faible retrait
- Alimentaire, absence d'odeur
- Collage et soudure aisés (Ultrasons)

Précautions limites d'emploi :

- Résistance aux chocs faibles
- Electrostatique
- Mauvaise tenue aux hydrocarbures (huiles, solvant, ...)
- Jaunissement à la lumière (stabilisants)

- Combustible, mauvaise tenue thermique

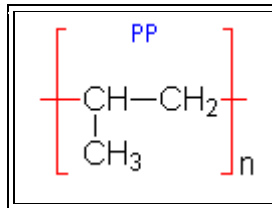
Utilisations les plus courantes :

- Equipement ménager, jouets, luminaires
- Emballage et décorations

Il existe plusieurs sorte de *Polystyrène*, avec des caractéristiques mécanique beaucoup moins fragile (ex: Le *Polystyrène choc*)

Polypropylène (P.P)

FICHE TECHNIQUE



Découverte en 1957

origine : Propylène + éthylène

Structure : Cristalline

Retrait : 1% à 2.8%

Densité : 0.900

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 210° à 300° C

T° du moule : 20° à 90°

Temps d'étuvage : aucun

Avantages particuliers :

- Extraordinaire résistance à la flexion
- Excellente propriétés électriques
- Bonne propriétés mécaniques
- Très bonne résistance aux produits chimiques
- Possibilité fibrillation

Précautions limites d'emploi :

- Inserts en cuivre et manganèse déconseillés
- Fragilité à la basse température (limite 0°)
- Mauvaise tenue au vieillissement (nécessité adjuvants)
- Jaunissement à la lumière (stabilisants)
- Retrait non homogène

Utilisations les plus courantes :

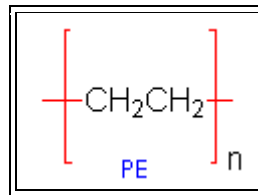
- Pièces industrielles (automobile : bonne résistance à la température et aux produits chimiques)
- Equipement ménager
- Corps creux, bouchage tubes, tuyaux eau chaude
- Bandes de cerclage
- Composants électriques et électroniques
- Emballages alimentaire (Bac, pot, couvercle, seau, ...)

Selon le type de pièces à réaliser, il faut un *Polypropylène* avec des grades différents, ou des additifs comme du P.P chargé de talc. Il existe deux familles de P.P .

1. Les *homopolymères* : le même motif chimique se répète à l'infini (ex : A.A.A.A.A.A)
2. Les *copolymère* : qui est un mélange de deux produits différents (ex : A.B.A.B.A.B)

polyéthylène haute densité (P.E)

FICHE TECHNIQUE



Découverte en 1937 pour le P.E basse densité et en 1957 pour le P.E haute densité

origine : Ethylène

Structure : Cristalline

Retrait : 1.3% à 3.5%

Densité : 0.945 à 0.960

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 160° à 300° C

T° du moule : 20° à 60°

Temps d'étuvage : aucun

Avantages particuliers :

- Caractéristiques améliorées par rapport au P.E basse densité
- Rigidité, brillance de surface
- Résistance à la température (-40° à +125°) vieillissement aux chocs, inertie chimique, résistance à l'eau bouillante
- Anti-adhérence accrue
- Absence de fissuration sous tension

Précautions limites d'emploi :

- retrait différentiel
- Densité plus élevée que le P.E bd

- Nécessité incorporation d'agents antistatiques pour certaines applications

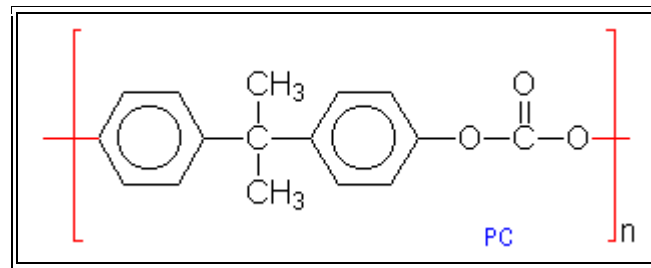
Utilisations les plus courantes :

- Casiers de manutention (bouteilles, poissons, industries)
- Articles ménagers, jouets, sièges, luminaires
- Isolation électrique réservoirs, chaudronnerie anticorrosion
- Mono-multifilaments, fils plats étirés, cordories, sacs

Le P.E basse pression est toujours de haute densité , et le P.E haute pression est toujours de basse densité

Polycarbonate (P.C)

FICHE TECHNIQUE



Découverte en 1957

origine : Bisphenol A , carbonate de biphényle

Structure : Amorphe

Retrait : 0.7%

Densité : 1.20

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 270° à 320° C

T° du moule : 85° à 120°

Temps d'étuvage : de 2 à 6 h

T° d'étuvage : 120°

Avantages particuliers :

- Excellentes propriétés mécaniques (incassables)
- Ténacité, dureté, résistance aux chocs
- Excellentes propriétés électriques
- Conservation des caractéristiques sur un large intervalle de températures
- Stabilité dimensionnelle
- Tenue aux U.V (ultra violet), bonne transparence
- Autoextinguible, imperméabilité à la vapeur d'eau
- Alimentaire

Précautions limites d'emploi :

- Résiste mal aux super-carburants
- Attaqués par les lessives
- Mauvaise tenue aux hydrocarbures (huiles, solvant, ...)
- Jaunissement à l'extérieur (nécessité d'un stabilisants)
- Nécessité d'étuvage avant transformation
- Pressions et températures injection relativement élevées

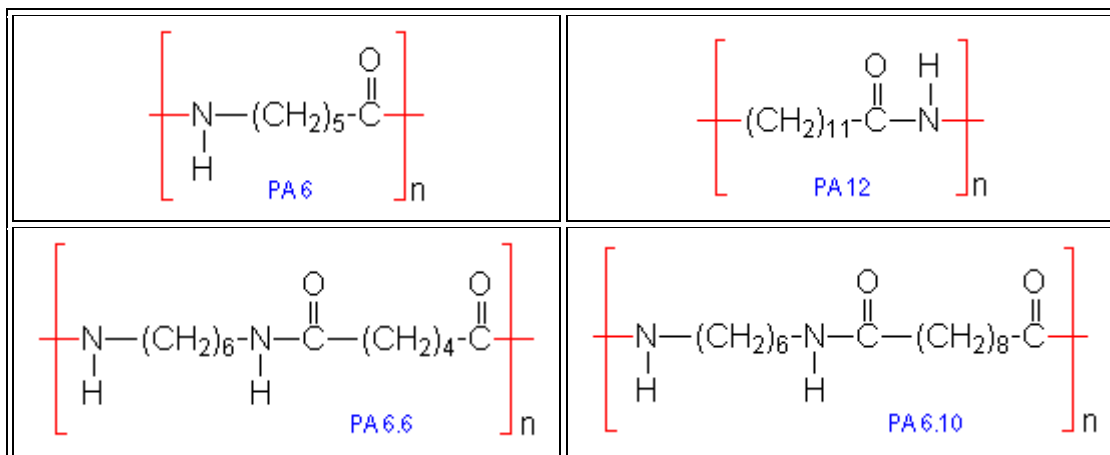
Utilisations les plus courantes :

- Appareillage électrique et électronique
- Luminaires, signaux lumineux, lentilles optiques
- Cartes de protection, guichets
- Matériel stérilisable (bacs chirurgicaux, biberon)

En cas d'arrêt prolongé de la presse , il faut baisser les chauffes entre 160°et 180° C ,Parce que c'est une matière qui se dégrade vite et qui risque de faire des points noirs sur les pièces au redémarrage

Polyamide (P.A)

FICHE TECHNIQUE



Découverte en 1946

origine : Caprolactame(préparé à partir du phénol)

Structure : Critalline

Retrait : 1% à 2.3%

Densité : 1.13

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 230°à 260° C

T° du moule : 50°à 95°

Temps d'étuvage : 4 h

T° d'étuvage : 90°

Avantages particuliers :

- Excellentes propriétés mécaniques (incassables)
- Plage de température de fusion plus large
- Résistance aux solvants usuels
- Bonne tenue au feu
- Bonnes caractéristiques électriques

Inconvénients :

- Hydroscopicité supérieure (pouvoir de reprendre l'eau)
- Variation des caractéristiques en fonction des températures et de l'humidité
- Dissous par les phénols et acide formique
- Aspect de surface moyen
- Nécessité d'étuvage avant transformation

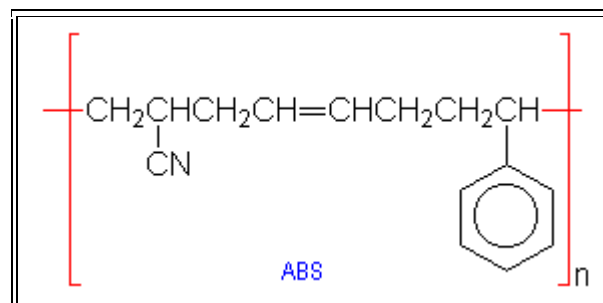
Utilisations les plus courantes :

- Appareillage électrique et électronique (Programmateurs, connecteurs, douilles lampes, carters, fiches)
- L'automobile (turbines, poignées, flotteurs, compteurs, pare-choc, enjoliveurs)
- Electro-ménager (carters, turbines, poulies, éléments de robots, fouet, pieds de mixers)
- Divers (briquets, téléphone, valves aérosol, seringues, casques)

On distingue plusieurs sortes de P.A : (6 - 6.6 - 6.6 chargé à 30% de fibre de verre - 6.10 - 11 - 12 et même du polyamide transparent Chaque numéro correspond à des critères bien particulier, et influence les propriétés mécaniques des pièces moulées

Acrylonitrile Butadiène Styène (A.B.S)

FICHE TECHNIQUE



Découverte entre 1946 et 1947

origine : Acrylonitrile butadiène styrène

Structure : Amorphe

Retrait : 0.4% à 0.7%

Densité : 1.05

Mise en oeuvre : Injection

T° de Moulage : 210° à 270° C

T° du moule : 30° à 80°

Temps d'étuvage : de 2 à 4 h

T° d'étuvage : 90°

Avantages particuliers :

- Rigidité
- Aspect agréable (surfaces dures et brillantes)
- Stabilité dimensionnelle
- Bonne résistance aux chocs et aux rayures
- Assez bonne tenue à la chaleur et à l'humidité
- Alimentaire
- Moulage et formage aisés, décoration et impression facile

Précautions limites d'emploi :

- Opacité
- Très électrostatique (nécessité d'agents antistatiques)
- Tenue chimique assez faible
- Jaunissement à l'extérieur (nécessité d'un stabilisant)
- Transparence laiteuse

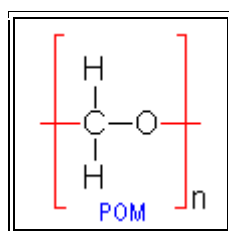
Utilisations les plus courantes :

- Industrie automobile (calandre, tableau de bord)
- Electro-ménager (capotage, carter, cuve réfrigérateur)
- Radio, T.V, photo, appareil téléphonique
- Ameublement

Par son aspect et son état de surface d'une excellente qualité, les pièces moulées peuvent être décorées. Elles supportent facilement *l'impression*, ou la *métallisation*

Polyoxyméthylène (P.O.M)

FICHE TECHNIQUE



origine :

Structure : Amorphe

Retrait : 0.5% à 0.7%

Densité : 1.06 à 1.10

Mise en oeuvre : Injection

T° de Moulage : 180° à 250° C

T° du moule : 30° à 80°

Temps d'étuvage : de 2 à 4 h

T° d'étuvage : 90°

Avantages particuliers :

- Elasticité
- Résistance au fluage
- Endurance au fatigue mécanique
- Faible reprise d'humidité
- Bonne qualité de frottement
- Tenue aux produits pétroliers et solvants courants
- Excellente propriété mécanique

Précautions limites d'emploi :

- Retrait élevé dû à la forte cristallinité
- Sensibilité à la lumière
- Opaque
- Inflammabilité
- Sensibilité aux acides faibles et bases
- Pressions et températures injection relativement élevées

Utilisations les plus courantes :

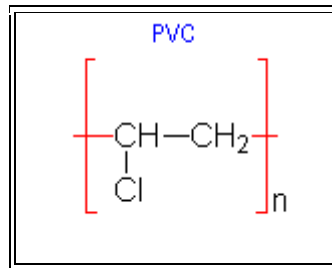
- Appareillage électrique et électronique
- Pièces d'horlogerie
- Déflecteurs de T.V
- Pièces automobiles (pour sa tenue en température)

Modes de transformation

- Injection
 - Injection soufflage
 - Extrusion
 - Thermoformage
 - Usinage
-

Polychlorure de Vinyle (P.V.C)

FICHE TECHNIQUE



origine :

Structure : Amorphe

Retrait : 0.2% à 0.4%

Densité : 1.40

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 170° à 205° C

T° du moule : 40° à 70°

Temps d'étuvage : 4 h

T° d'étuvage : 80°

Avantages particuliers :

- Rigidité, stabilité dimensionnelle des pièces moulées
- Résistance à l'abrasion excellente
- Autoextinguibilité, incombustible
- Bonnes propriétés électriques
- Bon comportement aux agents chimiques
- Extrusion, formage usinage soudage aisés

Précautions limites d'emploi :

- Fragile à basse température
- Brunissement aux U.V (ultra violet)
- Précaution à prendre en injection (moulage possible dans un faible écart de température)
- Dégagement de vapeurs chlorées en cas de décomposition
- Nécessité additifs pour améliorer la résistance aux chocs

Utilisations les plus courantes :

A: pour le P.V.C rigide

- Tubes (adduction eau, assainissement, irrigation, drainage, gaine pour cables)
- Profilés (sous plafonds, toitures, volets)
- Pièces industrielles

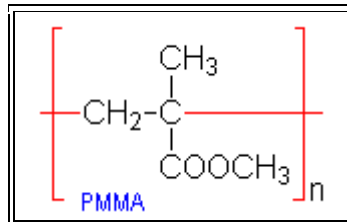
B: pour le P.V.C souple

- Revêtements de sols, tissus enduits (simili cuir)
- Cablerie électrique, profilés souples, joints
- Nappes, rideaux, Objets gonflables, compte-gouttes

Les PVC peuvent être utilisés non plastifiés : *PVC RIGIDES* ou plastifiés : *PVC SOUPLE*. Les propriétés mécaniques sont très différentes. Les caractéristiques chimiques des *PVC SOUPLE* sont plus ou moins affectées.

Polyméthacrylate de méthyle (P.M.M.A)

FICHE TECHNIQUE



Découverte en 1927

origine : Méthacrylate de méthyle

Structure : Amorphe

Retrait : 0.2% à 0.8%

Densité : 1.18

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 200° à 270° C

T° du moule : 40° à 70°

Temps d'étuvage : 4 h

T° d'étuvage : 80°

Avantages particuliers :

- Transparence optique (supérieure au verre ordinaire)
- Facilité de coloration, décoration, métallisation
- Formage, usinage, collage faciles
- Excellente tenue au vieillissement, tenue aux U.V (ultra violet)
- Rigidité, surface dure

Précautions limites d'emploi :

- Combustibilité
- Fragilité relative
- Nécessité d'un recuit pour éviter le fendillement
- Faible tenue aux températures
- Résistance chimique faible (sensible aux super carburants)

Utilisations les plus courantes :

- Luminaires, globes, enseignes, agencement magasin
- Industrie automobile (feux arrières, position, plafonnier, cadrans)
- Radio, T.V, téléphone (cadrans)
- Equipement sanitaire

Grades spéciaux :

Haute transparence, spécial pour horlogerie, alimentaire, stabilisé chaleur, haut poids moléculaire, meilleure résistance à la fissuration, plastifié

Styrène Acrylonitrile (S.A.N)

FICHE TECHNIQUE

origine : Copolymérisation du styrène et de l'acrylonitrile

Structure : Amorphe

Retrait : +ou- 0,5%

Densité : 1.06

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 200° à 260° C

T° du moule : 30° à 80°

Temps d'étuvage : 2 h à 90°

Parfois inutile

Avantages particuliers :

- Transparent
- Bonne résistance chimique - surface brillante et dure
- Excellente rigidité
- Bonne tenue température
- Alimentaire
- Bonne transformation

Précautions limites d'emploi :

- Résistance au choc faible
- Risque de casse au démoulage

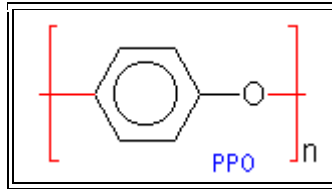
Utilisations les plus courantes :

- Articles ménagers,(vaisselles)-Articles de bureau
- Electro-ménager(réservoirs)
- Automobile (tableaux de bord)

Le S.A N se travaille généralement avec un moule chaud , entre 30 et 80° pour obtenir un aspect brillant .

Polyoxyphénylène modifié (P.P.O.m)

FICHE TECHNIQUE



Structure : Amorphe

Retrait : 0.5% à 0.7%

Densité : 1.06 à 1.10

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 250° à 300° C

T° du moule : 75° à 95°

Temps d'étuvage : 2 à 4 h

T° D'étuvage : 100°

Avantages particuliers :

- Bonne tenue aux chocs
- Bonnes propriétés électriques
- Excellente absorption d'eau
- Stabilité dimensionnelle
- Tenue en température

Précautions limites d'emploi :

- Soluble ou attaqué par les hydrocarbures
- Coefficient de frottement élevé -- grippage

Utilisations les plus courantes :

Du fait de bon comportement à l'eau chaude

- Robinetterie , élément de pompe
- Compteur d'eau chaude
- Pièces pour machines à laver le linge ou la vaisselle
- Pièces automobiles (tenue en T°)

Du fait de la stabilité dimensionnelle

- Dèflecteurs de T.V.
- Pièces d'horlogerie

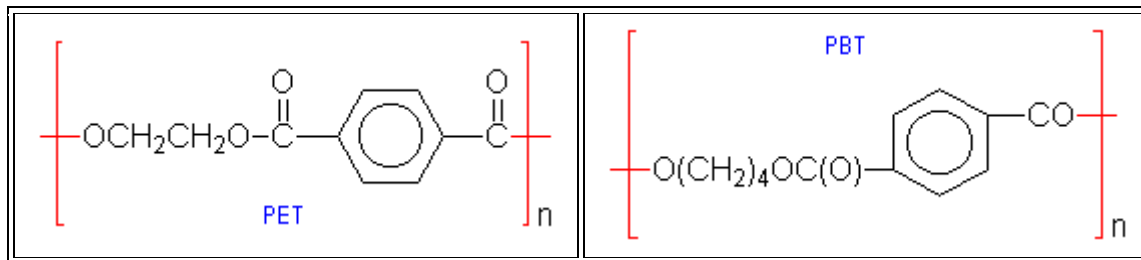
Caracteristiques mécaniques :

- T° d'utilisation : -50° à 130°C
 - T° de ramollissement : 150°
 - allongement à la rupture : 60%
-

Il y a plusieurs sortes de *P.P.O* qui varient selon son utilisation , le P.P.O non chargé , et le P.P.O chargé à 30% de fibre de verre. Le chargé à 30% a des caractéristique mécanique nettement meilleure que le P.P.O.m , son retrait est de l'ordre de 0.1 à 0.3 %.

Polytéréphtalate d'éthylène(P.E.T)

FICHE TECHNIQUE



origine : Ethylène glycol , diméthyltéréphtalate

Structure : Cristalline ou Amorphe

Retrait : 1,5% à 3%

Densité : 1,37

Mise en oeuvre : Injection T° de Moulage : 250° à 290° C

T° du moule : 130° à 160°

Temps d'étuvage : Pas nécessaire (sous vide)

Avantages particuliers :

- Excellentes propriétés mécaniques
- Rigidité , résistance à l'abrasion , pliure non cassante
- Faible reprise d'humidité
- Bonne résistance aux produits chimiques
- Surface des pièces très brillantes , métallisation facile
- Conserve ses propriétés sur un large intervalle de température
- Structure amorphe si le moule est à 40°-->transparence

Précautions limites d'emploi :

- Thermoformage difficile
- Reprise d'humidité presque nulle 0,1% , mais très rapide-->2H
- Impossibilité de mouler , après reprise d'humidité 0,05%
- Utilisation des rebroyés à 10% 15% mais immédiatement après moulage

Utilisations les plus courantes :

- Ruban magnétique , ruban support marquage
- Isolation moteur électrique

- Pièces de serrurerie , engrenage (stabilité dimensionnelle)
- Connecteurs , commutateurs , bobines ,boîtes à fusibles
- Barquettes , plats , moules allant au four même au micro-ondes
- Bouteilles (préforme)

Grades spéciaux :

- Alimentaire
- Haute tenue au choc , amorphe ou cristallin
- Renforcé : fibre de verre (30%) , bille de verre

On distingue :

- Polytéraphthalate d'éthylène PET ou PETP
- Polytéraphthalate de buthylène PBT ou PBTP encore appelé parfois
- Polytéraphthalate de tétraméthylène PTMT.

Les propriétés sont relativement voisines,mais différent notamment sur le plan de la cristallinité : le PBTP cristallisant plus facilement avec les conséquences habituelles : meilleurs rigidité mais à chaud ,résistance légèrement accrue aux produits chimiques , retrait plus élevé .

CARACTÉRISTIQUES DES MATIÈRES

MATIERE	DIF . THER	T° INJ	T° MOULE	T° FIG	T° DEM	DENSITE
ABS	0.084	240	50	140	85	1.05
PA 6	0.065	240	60	190	100	1.13
PA 6.6	0.065	280	80	220	120	1.14
PA 6.6 FV	0.065	290	80	220	140	1.37
PBT	0.08	260	80	200	100	1.29
PETP	0.09	280	60	200	90	1.34
PC	0.09	300	100	190	130	1.18
PE bd	0.09	230	25	120	70	0.93
PE hd	0.077	250	50	120	80	0.95
PMMA	0.06	240	80	130	100	1.18
POM	0.0533	205	90	165	120	1.42
PPO	0.08	285	80	200	100	1.08
PP	0.065	240	35	110	80	0.9
PS	0.083	230	40	120	80	1.03
PVC sou	0.05	170	40	120	60	1.3

PVC rig	0.05	185	50	120	80	1.4
SAM	0.085	230	40	120	75	1.08



1. Généralité
2. Extrudeuse Monovis
3. Extrudeuse Multivis
4. Structure des Extrudeuses

GENERALITE

L'**extrusion** est la transformation d'un matériau approprié, le plus souvent thermoplastique, en un produit continu, de section transversale spécifique, généralement constante. Cette section spécifique est obtenue par forçage du matériau à travers un outillage de mise en forme continue : la filière.

Le processus technologique part d'un matériau en vrac pouvant se présenter sous des formes diverses (poudres, flocons, granulés, pâtes plus ou moins visqueuses, bandes et morceaux irréguliers, etc.). Il doit permettre d'obtenir une masse visqueuse homogène, susceptible de s'écouler à débit constant à travers la filière, sous l'effet d'une pression motrice.

Les diverses fonctions: transport, malaxage, pompage, sont généralement accomplies dans une seule machine: l'extrudeuse ou presse à extruder, dont la sortie constitue le support de filière.

Dans la majorité des extrudeuses, les fonctions de transport, malaxage et pompage sont accomplies, en continu, par une vis ou un groupe de vis tournant à l'intérieur d'un fourreau chauffé par un moyen approprié permettant d'établir et de maintenir un profil de température constant en fonction du matériau mis en oeuvre et du profilé extrudé. La matière en vrac est admise à une extrémité du fourreau, l'autre extrémité supportant la filière de sortie du profilé.

La géométrie des vis et des fourreaux, les systèmes de contrôle de température, les dispositifs mécaniques d'entraînement des vis sont adaptés aux matériaux mis en oeuvre, en conjugaison avec la filière, pour obtenir, dans les meilleures conditions, le profilé envisagé.

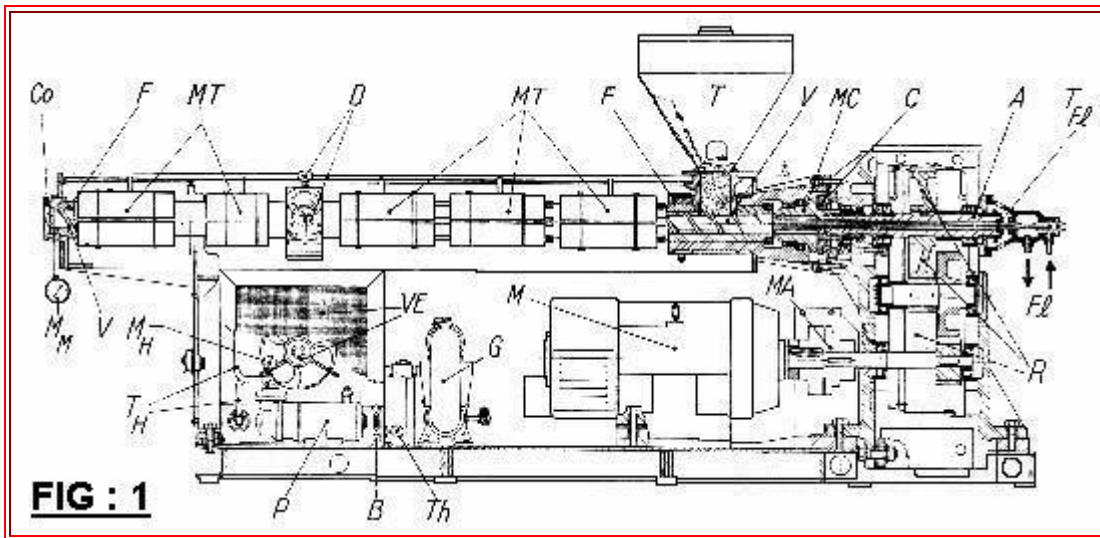


FIG : 1

1. A : arbre de commande de la vis
2. MH : manomètre de pression d'huile
3. B : bac à huile: niveau
4. Mm : manomètre de pression de la matière
5. C : cage de la butée
6. MT : manchons thermiques
7. Co : collet de raccordement tête-fourreau
8. P : pompe de refroidissement du fourreau
9. D : dispositif de dégazage avec indicateur de vide
10. R : réducteurs de vitesse à engrenages
11. F : fourreau d'extrusion
12. T : trémie d'alimentation
13. Fl : fluide de régulation de température de la vis: arrivée et départ
14. TF₁ : tubes de circulation du fluide de régulation de la vis
15. G : groupe moto-pompe de dégazage
16. TH : tuyauteries de circulation d'huile
17. M : moteur à vitesse variable
18. Th : thermomètre de température d'huile
19. MA : manchons d'accouplement
20. V : vis d'extrusion
21. MC : moyeu cannelé d'entraînement de la vis
22. VE : ventilateur et échangeur pour refroidissement d'huile

EXTRUDEUSE MONOVIS

Principe , Description

Une **extrudeuse monovis** se compose principalement d'une vis à profil spécial tournant à l'intérieur d'un fourreau cylindrique lisse muni de dispositifs de régulation de température.

La figure 1 présente la coupe d'une extrudeuse classique. Un moteur électrique **M** fournit le mouvement d'entraînement en rotation de la vis **V**. Ce mouvement est transmis

à la vis par l'intermédiaire d'un ensemble variateur et réducteur de vitesse **R**. La machine est alimentée en matière pulvérulente par une trémie **T**. La partie du fourreau située au niveau de la trémie est généralement refroidie par circulation d'eau, afin de faciliter l'écoulement de la matière à travers l'orifice d'alimentation de la vis. Le fourreau est généralement muni de colliers chauffants électriques reliés à un ensemble de régulateurs qui assurent le maintien correct des températures désirées le long du fourreau. Un ventilateur **VE** permet de refroidir, par circulation d'air, les zones du fourreau qui le requièrent.

La vis d'extrusion

La vis est l'organe de la machine qu'il convient d'adapter au travail à réaliser. Elle est donc conçue pour être interchangeable et le profil spécial doit être adapté aux conditions opératoires. La plupart des vis sont à un filet dont les flancs déterminent un canal de section rectangulaire. Bien que de nombreux profils soient utilisés, la vis la plus couramment répandue est une vis à pas constant dont le profil présente trois zones distinctes. La figure 2 décrit ce type de vis.

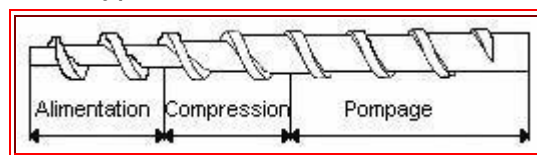


FIG : 2

Une première zone à noyau de diamètre constant, porte le nom de **zone d'alimentation** ; la deuxième zone présente un noyau conique de sorte que le volume d'un élément du canal de la vis à la sortie de cette zone soit inférieur au volume d'un élément de même longueur à l'entrée de cette zone. Cela explique le nom de **zone de compression**, donné à cette partie de la vis. La troisième zone, à noyau de diamètre constant, porte le nom de **zone de pompage**.

On explique ce profil, obtenu à travers une évolution empirique partant des vis des boudineuses pour caoutchouc, par la nécessité d'adapter les volumes des filets de la vis aux changements de densité apparente au cours de la plastification. La poudre a, en effet, une densité apparente inférieure à celle du matériau fondu. On applique donc une compression pour évacuer l'air emprisonné entre les particules de matière, qui alimentent la machine.

Les vis sont généralement caractérisées par leur longueur exprimée en rapport L / D où L est la longueur et D le diamètre nominal de la vis et par leur taux de compression égal au rapport des volumes d'une même longueur de filet dans la zone d'alimentation et dans la zone de pompage.

La longueur utile de la vis L est comprise entre l'aplomb de la face aval de l'ouverture de chargement dans le cylindre et l'extrémité de la vis.

Fonctions de la vis.

Le but de la plastification à vis est de fournir, à la sortie de la vis, un produit plastifié et sous pression. La plastification remplit ce rôle suivant un mécanisme qui commence à être bien connu.

La figure 3 montre les principales étapes de la plastification. Il y a lieu de distinguer les **zones géométriques** définies pour la vis, des **zones fonctionnelles** liées au processus de plastification lui-même.

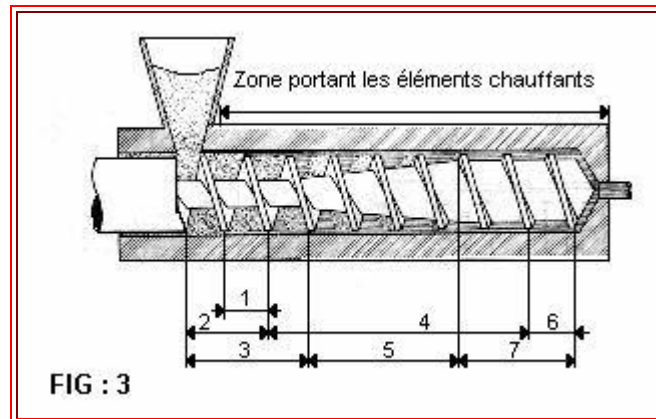


FIG : 3

1. Retard de fusion
2. Transport solide
3. Alimentation
4. Fusion
5. Compression
6. Transport fondu
7. Pompage

La vis est alimentée en matière pulvérulente au niveau de la trémie.

Les coefficients de frottement entre la matière et la vis d'une part, entre la matière et le fourreau d'autre part, sont différents à cause des différences de traitements de surface et des températures. Cette différence donne naissance à une force qui assure le transport de la matière pulvérulente. La zone où se produit ce phénomène est connue sous le nom de **zone de transport solide**.

Dès que le produit est en contact avec le fourreau chaud, il se plastifie et forme un mince film fondu. La zone où ce film a une épaisseur inférieure au jeu entre la vis et le fourreau est appelée **zone de retard à la fusion**.

Dès que le film fondu atteint une épaisseur suffisante, il est raclé par le flanc arrière du filet et s'accumule ainsi à l'arrière du filet. Cette zone est appelée **zone de fusion**. La

dernière zone est la **zone de transport fondu** et là, le filet est entièrement rempli de matière fondue.

Le processus décrit ci-dessus est, semble-t-il, le cas général. Il peut se produire dans certaines conditions de température et pour certains produits, une accumulation du produit fondu à l'avant du filet.

EXTRUDEUSES MULTIVIS

Généralités

Il a été vu que l'avancement de la matière dans une extrudeuse monovis reposait (principalement dans les zones de transport solide et de fusion) sur la différence des coefficients de frottement du matériau, d'une part sur le fond et les flancs des filets de la vis, et d'autre part sur le cylindre. La solution idéale pourrait se comparer à un écrou immobilisé en rotation, mais non en translation.

Les coefficients de frottement matière-métal sont très différents suivant les matériaux et ils varient rapidement en fonction de la température. Ces différences de comportement exigent donc des vis particulières pour chaque type de matériau et des dispositifs précis pour établir et maintenir avec précision les profils de température du fourreau. De plus, le principe vis-écrou limite la fonction de malaxage d'une vis et exige des dispositifs annexes.

La recherche d'un système plus universel a fait proposer vers 1930, en Italie, des machines à deux vis permettant d'obtenir un effet de pompage plus positif (moins dépendant des températures) et dont les modes de réalisation proposés ont entraîné le dépôt de nombreux brevets. Le développement de ce type de machines a été plus lent que celui des extrudeuses monovis dont la conception mécanique est plus simple.

Toutefois, depuis une dizaine d'années, les extrudeuses double-vis connaissent une grande extension pour la mise en oeuvre de matériaux, à viscosité élevée à l'état fondu, travaillés sous forme de mélanges en poudre sans gélification préalable, tels que le PVC rigide.

Les diverses **dispositions de vis** dans les extrudeuses double-vis peuvent être rangées en trois catégories

- A. vis sans interpénétration de filets,
- B. vis avec interpénétration de filets tournant en sens contraire,
- C. vis avec interpénétration de filets tournant dans le même sens.

Pour des considérations d'augmentation de débit, il a également été construit des extrudeuses à trois et quatre vis.

Comme pour les extrudeuses monovis, il a fallu introduire dans les extrudeuses multivis des dispositions permettant de compenser la diminution de volume du matériau au cours de son avance dans la machine, et à son passage de l'état de matériau solide divisé à celui d'une masse fondue homogène.

Cette **variation du volume offert** (volume du canal) peut être obtenue de diverses façons :

- A. zones successives de pas et diamètres différents (vis co-rotatives),
- B. modification du jeu entre les flancs des filets s'engrenant (vis contra-rotatives),
- C. variation de la pente du filet.

Vis tangentes.

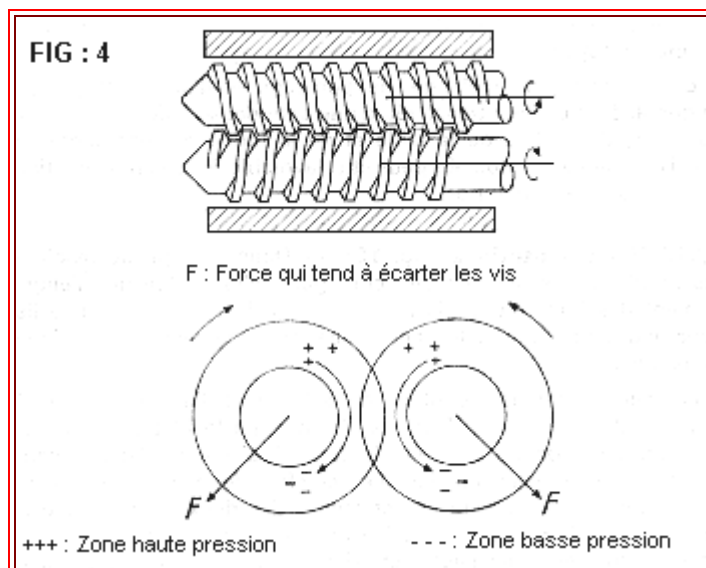
Les vis sans interpénétration de filets sont simplement tangentes par leurs sommets de filets et leur interaction est très limitée. L'action de pompage est faible et la seule différence avec les monovis est qu'il peut y avoir mélange entre les courants de chaque vis, le long de la génératrice de contact. En fait, il conviendrait de parler d'extrudeuses doubles plutôt que d'extrudeuses à double vis.

Vis à filets interpénétrants.

Dans les vis à filets interpénétrants, la distance entre les centres des vis est inférieure au diamètre extérieur et le filet d'une vis pénètre dans le canal de l'autre.

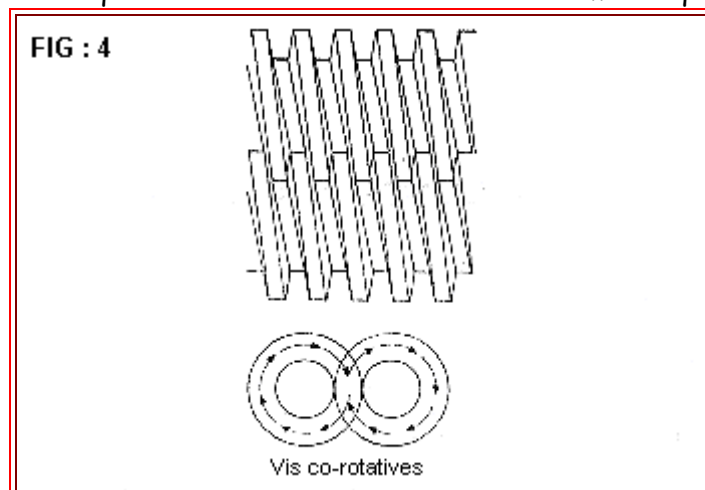
Vis contra-rotatives (fig. 4).

Les vis tournant en sens inverses font se conjuguer, au point de rencontre, les deux flots de matériau, créant un bouchon dont l'avance est très positive, mais l'accumulation de matériau crée des zones de haute pression sur le côté de convergence et de basse pression sur le côté de divergence. Aux points de rencontre, le matériau repoussé du canal par le filet opposé ne peut avancer et se trouve continuellement malaxé, sauf si un jeu est prévu entre les vis pour permettre le passage du côté haute pression vers le côté basse pression.

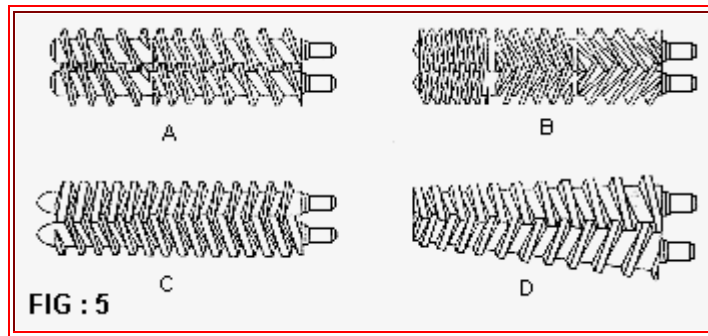


L'énergie dissipée en forçant un fluide à travers une ouverture est proportionnelle au carré de sa vitesse. La vitesse à débit constant étant inversement proportionnelle aux dimensions du passage, l'échauffement du matériau est d'autant plus grand que le jeu est faible. Par ailleurs, un jeu important limite la capacité propulsive du système et rend la machine plus sensible aux variations de pression, en tête par suite de la communication entre les zones haute et basse pressions. La capacité de mélangeage est déterminée par l'importance du jeu, un bon mélange pouvant être obtenu par un taux de cisaillement élevé. L'existence d'un jeu entre les vis ne permet pas au filet d'une vis de nettoyer complètement le canal de l'autre, ce qui peut donner de moins bonnes caractéristiques d'auto-nettoyage. Les capacités de mélange, de pompage et d'auto-nettoyage, et la quantité de chaleur transférée d'une extrudeuse à deux vis contrerotatives, dépendent de la taille et de la forme des passages entre vis. Une géométrie donnée peut être favorable à certaines fonctions et défavorable à d'autres.

Vis co-rotatives (fig. 4). - Dans ce type de machine, les profils de vis peuvent être conjugués, c'est-à-dire que l'engrènement des filets d'une vis avec le canal de l'autre vis est réalisé sans jeu autre que celui nécessaire aux tolérances mécaniques .



Lorsque le matériau, contenu dans le canal d'une vis, atteint le point d'intersection des deux vis, il rencontre le filet de l'autre vis qui, agissant comme un coin, le force à s'écouler dans le canal adjacent de la deuxième vis. Le transfert de matériau d'une vis dans l'autre crée un mouvement autour des deux vis en forme de huit. Chaque fois que le matériau atteint un point d'intersection, il passe d'une vis dans l'autre et, simultanément, se déplace axialement d'un demi-pas correspondant au décalage des filets d'une vis par rapport à l'autre. Il n'y a donc pas accumulation de matériau en un point quelconque et la pression est identique tout autour des vis ; de ce fait, les vis ne tendent pas à s'écarter, et le matériau, lui-même maintient les vis centrées dans le cylindre, ce qui permet d'obtenir des tolérances serrées entre vis et fourreau et entre les vis elles-mêmes qui sont ainsi parfaitement autonettoyantes.



- A. Vis co-rotatives
- B. Vis contra-rotatives
- C. Autre vis contra-rotatives
- D. Vis coniques contra-rotatives

STRUCTURE DES EXTRUDEUSES

Vis

La figure 1 donne le plan général d'une extrudeuse monovis dans laquelle nous retrouverons les éléments qui vont être décrits.

Les diverses fonctions de la ou des vis ont été décrites dans les chapitres précédents .

La gamme des matériaux susceptibles d'être mis en oeuvre par extrusion comprend pratiquement tous les matériaux thermoplastiques, et les contraintes exercées sur les vis pour leur transformation nécessitent l'emploi d'aciers de caractéristiques diverses susceptibles généralement de recevoir un traitement thermique: aciers de nitruration, aciers inoxydables, aciers alliés .Dans un grand nombre de vis modernes, les filets sont rapportés par soudage d'un alliage à haute résistance à l'usure du type stellite, sur un corps en acier allié nickel-chrome, traité à 900 ou 1 000 M Pa.

Toutes les surfaces au contact du polymère sont soigneusement polies pour limiter l'adhérence du matériau, certaines vis sont chromées dur.

Le dessin de la partie de la vis servant à son entraînement par le mécanisme de l'extrudeuse est évidemment fonction du dessin général de l'extrudeuse. Toutefois, et d'une manière aujourd'hui assez générale, les vis comportent un talon d'entraînement de diamètre inférieur au diamètre de la vis, réservant ainsi un épaulement qui transmet la poussée axiale de la vis sur l'arbre d'entraînement et le système de butée qui supporte celui-ci. Le talon vient se placer dans un logement prévu dans l'arbre d'entraînement. L'accouplement du talon de la vis et de l'arbre est fait par clavette ou par cannelures. La conduite extérieure de fluide de refroidissement de vis vient généralement se visser en bout du talon en traversant l'arbre creux du réducteur.

Fourreau

Le fourreau de l'extrudeuse est l'enceinte cylindrique à l'intérieur de laquelle tournent la ou les vis. La partie arrière du fourreau comporte une ouverture de chargement par

laquelle la matière solide, sous forme de poudre ou granulés, pénètre dans le canal de la vis. La partie avant est équipée pour permettre la fixation de la tête porte-filière et de la filière à travers laquelle s'écoule le matériau que la rotation de la ou des vis à l'intérieur du cylindre a transformé en une masse pâteuse homogène.

Construction

Les contraintes que peut subir le cylindre sont liées, d'une part à la pression développée (qui peut dépasser

1 000 bar dans certaines machines), d'autre part à l'usure, par frottement du matériau ou des sommets de filets des vis, qui peut se compliquer, avec certains matériaux, d'un phénomène de corrosion.

Dans la solution la plus ancienne, un corps en acier Martin ou en fonte sphéroïdale comporte un chemisage intérieur en acier allié nickel-chrome trempé ou en acier nitruré. Les tolérances d'usinage doivent être serrées, l'échange thermique pouvant être perturbé par un contact défectueux entre les surfaces.

Aujourd'hui, le système du corps monobloc est à peu près universel. On utilise soit un acier de nitruration traité de 1 000 à 1100 HV (dureté Vickers), soit un acier allié de construction nickel-chrome revêtu, par centrifugation, d'un alliage à haute résistance à l'usure et dont la dureté superficielle est de l'ordre de 60 à 64 HRC (dureté Rockwell C). Dans tous les cas, les surfaces intérieures du cylindre sont rectifiées, polies et glacées. Les corps monoblocs assurent une meilleure transmission de la chaleur et permettent de positionner les sondes de prise de température dans le métal au plus près de la paroi intérieure et donc de l'interface métal-matériau.

CHAUFFAGE. REFROIDISSEMENT. RÉGULATION DE TEMPÉRATURE

Une extrudeuse pour thermoplastique doit être en mesure de contrôler la température du matériau à un niveau déterminé. Ce contrôle peut se faire par apport ou extraction de chaleur au travers des parois du cylindre.

Le fourreau de l'extrudeuse comporte donc des dispositifs qui permettent de chauffer le métal ou de le refroidir. Sur la longueur du cylindre, ces dispositifs sont répartis en plusieurs zones contrôlables séparément et permettant d'établir le profil de température le plus approprié au matériau traité et à la géométrie de la vis.

Chauffage.

Chauffage par fluide. Le fourreau de l'extrudeuse est entouré de chambres annulaires dans lesquelles circule le fluide chauffant.

La vapeur et l'eau chaude ou surchauffée restent utilisées dans l'extrusion du caoutchouc, mais ont été pratiquement abandonnées pour les extrudeuses à matières plastiques.

L'huile permet un chauffage uniforme, et il est possible d'obtenir une bonne précision de température à la valeur choisie pour chaque zone, si celle-ci est équipée d'un régulateur-mélangeur. Ce dernier agit en réglant la proportion du fluide provenant de deux circuits: l'un maintenu à une température T supérieure à la température de la zone la plus chaude, l'autre à la température t inférieure à la température de la zone la plus froide. Bien que ces circuits à huile soient généralement réservés au chauffage des corps d'extrudeuse, il existe des colliers chauffants mobiles raccordés à des canalisations flexibles.

Il est possible d'alimenter un groupe d'extrudeuses à partir d'une chaufferie centrale fournissant les fluides aux températures T et t .

Chauffage électrique par résistance. C'est, de loin, le système le plus utilisé et les dispositions des résistances sont diverses :

1. **résistances plates** sous gaine métallique formant collier,
2. **cordon chauffant** enroulé en spirales jointives,
3. **résistances tubulaires blindées** disposées, soit annulairement, soit longitudinalement, dans les rainures creusées dans le cylindre,

résistances blindées incorporées à des blocs en alliage léger, usinés avec précision pour s'adapter sur le corps de l'extrudeuse en deux demi-colliers. Ce type de résistance est de plus en plus utilisé sur les machines modernes car il permet de jumeler les fonctions chauffage et refroidissement par des canaux de circulation de fluide, réservés dans les colliers.

Chauffage électrique par induction. - Le courant électrique, à fréquence industrielle, parcourt les spires de fil conducteur qui entourent le fourreau et constituent une bobine d'induction. Le cylindre métallique de l'extrudeuse joue le rôle de noyau de la bobine dans lequel s'établit un flux magnétique. La résistance opposée aux courants de Foucault (par le métal du cylindre) provoque directement l'échauffement de celui-ci. Il s'agit donc d'un chauffage *in situ* prenant directement naissance au sein de la masse métallique, ce qui donne une plus grande homogénéité de température avec un faible gradient thermique. La température peut être réglée avec une précision convenable par un simple dispositif de tout ou rien. Par ailleurs, le contact n'étant pas nécessaire entre bobine et cylindre, on peut disposer plus facilement les circuits de refroidissement. Le prix élevé de ce type de matériel en a limité la diffusion.

Chauffage par dissipation d'énergie mécanique. Le cisaillement visqueux du matériau entraîne une élévation de sa température qui peut devenir supérieure à la température affichée de la zone de chauffe correspondante. Celle-ci devient alors une zone de refroidissement naturel ou forcé.

REFROIDISSEMENT

Refroidissement naturel du fourreau. L'évacuation de la chaleur fournie en excès par la dégradation de l'énergie mécanique de la vis peut se faire simplement par la circulation de l'air ambiant sur la surface de la zone intéressée.

Refroidissement forcé du fourreau par air. - A chaque zone de chauffe correspond un système permettant de faire circuler de l'air autour du cylindre, cet air étant fourni soit par un ventilateur individuel, soit à partir d'un ventilateur unique, qui par un jeu de vannes, permet de souffler sur l'une ou l'autre, ou plusieurs des zones considérées. La mise en route du ventilateur ou l'ouverture des vannes peut être manuelle ou commandée par le régulateur de la zone. Dans les systèmes à blocs coulés, l'air est soufflé dans les canaux de refroidissement réservés dans ces blocs.

Refroidissement forcé du fourreau par liquide. Chaque zone comporte un tube disposé dans une rainure en spirale creusée dans le cylindre et à l'intérieur duquel on peut faire circuler soit de l'eau, soit un fluide inoxydable (utilisable à température élevée) mis en circulation par une pompe. Le passage du fluide dans le serpentin est commandé par une vanne manuelle ou automatique.

Dans les machines plus récentes, le fluide circule dans les canaux réservés dans les blocs coulés comportant les résistances. Ce fluide qui tourne en circuit fermé est lui-même refroidi soit par un échangeur refroidi par eau, soit par passage dans un radiateur refroidi par air.

La zone d'entrée du cylindre autour de l'ouverture de la trémie comporte généralement un chemisage étanche à l'intérieur duquel on fait circuler de l'eau froide, pour éviter qu'il y ait fusion de matière et obturation de la trémie dans cette zone.

Refroidissement de la vis. La plupart des vis des machines monovis sont forées sur toute leur longueur et un tube peut être introduit dans ce forage permettant d'envoyer un liquide jusqu'en bout de vis, le retour de ce liquide se faisant entre la paroi extérieure du tube et l'alésage de la vis qui se trouve ainsi refroidie.

L'eau en circuit ouvert utilisée autrefois provoquait souvent un refroidissement trop important limitant le débit de la vis et risquait en outre, si elle était trop calcaire, d'entartrer les circuits. Aujourd'hui, on utilise plutôt des systèmes en circuit fermé contenant de l'eau et de l'huile et dont on peut maintenir la température à un niveau déterminé par un système d'échangeur pouvant chauffer ou refroidir selon les besoins.

ALIMENTATION EN MATIÈRE

La régularité de l'introduction de matière dans l'extrudeuse constitue un élément important pour l'établissement d'un régime d'écoulement stable pour la progression le long du cylindre.

Les dispositifs d'alimentation diffèrent selon la présentation du matériau à l'entrée et le type d'extrudeuse.

Les matériaux peuvent se présenter sous forme d'une **poudre humide** ou **sèche** avec des dimensions de particules qui peuvent être de quelques microns ou atteindre 250 à 300 μm . Les spectres de répartition des dimensions des particules peuvent être larges ou étroits, ce qui entraîne des comportements d'écoulement très différents. Les formes des particules peuvent être sphériques ou très irrégulières ;

de **granulés** qui peuvent être des parallélépipèdes ou des cubes de 3 à 5 mm d'arête, mais aussi des lentilles ou des quasi-sphères,

de **matériaux rebroyés** dont la taille et la forme peuvent varier à l'infini depuis celle des granulés jusqu'à celle des lanières provenant du broyage des films;

de **mélanges**, poudres et granulés, poudres et déchets broyés, granulés et déchets broyés;

de **bande à l'état semi-fondu** provenant d'un mélangeur à cylindre.

Cette diversité a entraîné de nombreuses solutions pour l'introduction de ces matériaux dans les vis et nous décrirons sommairement les principales.



PRINCIPE

Consiste à plaquer une feuille de thermoplastique ramollie par la chaleur sur les parois d'un moule pour lui en faire prendre la forme. Le formage peut être réalisé par l'action directe du moule sur la feuille de thermoplastique (emboutissage) ou plus souvent par action combinée avec une aspiration ou un gonflage facilitant la mise en forme. Après refroidissement partiel ou total, on procède au démoulage et découpage des bords.

CONCEPTION DES PIÈCES :

Choix des matières : grades spéciaux de PS, ABS, PMMA, PVC, CA, PE, PP, POM, PC, PA, PPO, PSU.

Forme générale de la pièce : Eviter les objets trop compliqués et vérifier qu'ils sont démoulables. Bossages, nervures pleines, inserts, rayons de courbure trop faibles, trous et évidements, emboutis trop profonds, ne sont pas réalisables.

Le thermoformage augmentant la surface de la feuille de départ entraîne un amincissement des parois d'autant plus important que l'étirage est localement élevé : la profondeur des parties embouties est limitée par l'amincissement supportable pour la fabrication et pour l'utilisation.

AVANTAGES:

1. Moules peu coûteux.
2. Convient du prototype à la grande série.
3. Permet la fabrication de grandes pièces.
4. Matériel relativement simple.

INCONVENIENTS:

1. Les épaisseurs ne sont pas maîtrisées.
2. Restrictions dans la conception des pièces : dessin et nature du thermoplastique.
3. Tolérances larges.
4. Feuilles chères et chutes de découpe importantes.

EXEMPLES D'UTILISATION:

Carrosseries de voiture, moto, pompe, tondeuse, bureautique, portes de réfrigérateur, coques de bateau, planches à voile, cockpits d'avion, luminaires, enseignes, dames,

articles publicitaires, emballages alimentaires, pots à yaourt, plateaux repas, pièces industrielles.



PRINCIPE

Fabrication de corps creux en 2 étapes, sans utilisation de noyau

1. Réalisation d'une paraison par injection ou extrusion.
2. Transfert dans un moule et soufflage d'air comprimé à l'intérieur de la paraison pour la plaquer sur les parois du moule et l'obliger à en prendre la forme.

L'injection soufflage permet d'obtenir des cols ou bagues parfaitement définis avec des pas de vis précis et est, en général, utilisée jusqu'à des contenances de 30 litres. Le choix des matières transformables est très vaste.

L'extrusion soufflage ne permet pas une définition précise des cols ou bagues et est utilisée pour des contenants de quelques centimètres cubes jusqu'à 10 m³ en PVC, PE, PP et PET le plus couramment.

Vu l'orientation de la matière pendant le soufflage, les propriétés mécaniques sont améliorées dans le sens perpendiculaire à l'axe de l'objet. Pour obtenir une amélioration également dans l'axe du récipient, on pratique le soufflage biorienté qui comporte 3 étapes.

1. Réalisation de la paraison.
2. Etirage dans l'axe de l'objet par un piston et soufflage suffisamment léger pour ne pas entraîner d'expansion radiale. Cet étirement assure l'amélioration des caractéristiques dans le sens de l'axe, ce qui n'est pas le cas dans le soufflage simple.
3. Soufflage final pour entraîner l'expansion radiale et l'application de la matière sur les parois du moule.

Exemples d'utilisation

Bouteilles, flacons, réservoirs à liquide de frein ou carburant, soufflets, fosses septiques, luminaires, bornes, balises, jouets, valises, caisses, citernes, réservoirs, arrosoirs, petit mobilier, cuves de chauffe-eau, socles de parasol.



1. Généralité
2. Groupe de fermeture
3. Conception du groupe de préchauffage
4. Cycle de moulage
5. Vis de plastification
6. Conditions de moulage
7. Presses à injecter universelle
8. Moulage par compression
9. Moulage par transfert
10. Moulage par injection

GENERALITES

Dans la technique d'injection des matières thermodurcissable , le plastique préchauffé séjournant entre chaque cycle dans le canal de buse de la presse ne polymise pas . On peut arrêter la production pendant plusieurs heures et laisser refroidir le plastique , puis le réchauffer à nouveau . L'injection des thermodurcissables assure une production automatique avec des cycles plus longs que dans l'injection des thermoplastiques , lors de la production des pièces d'épaisseur courante ; mais , les cycles peuvent devenir plus courts pour les épaisseurs de 5 mm ou plus , car le temps de refroidissement des thermoplastiques est sensiblement proportionnel au carré de leur épaisseur , alors que le temps de polymérisation varie assez faiblement en fonction de celle-ci .

GROUPE DE FERMETURE

Le groupe de fermeture ne diffère pas de celui utilisé dans les presses à injecter les thermoplastiques .

La fermeture à genouillères avec blocage hydraulique , déjà étudiée pour les thermoplastiques est bien adaptée au moulage des thermodurcissables , car elle absorbe facilement les dilatations dues aux variations de température du moule et des plateaux de la machine .

Le moulage peut aussi être effectué sous la forme dite : injection-compression . Dans cette éventualité , le moule étant légèrement entrouvert et ne supportant donc pas d'effort de verrouillage , on procède à l'injection . Cette opération étant terminée , on verrouille le moule et la matière plastifiée se déplace pour épouser les formes de la cavité du moule . Ce cycle supprime la phase de dégazage et permet d'opérer avec une pression d'injection plus faible supprimant l'orientation de la matière .

CONCEPTION DU GROUPE DE PRECHAUFFAGE

Le groupe de préchauffage des thermodurcissables se substitue ici au groupe de plastification des thermoplastiques . La température de préchauffage ne peut dépasser 100 à 110 °C pour éviter tout risque de polymérisation prématurée . Il faut une grande vitesse d'injection pour aboutir à un réchauffage final suffisant du plastique , au court de son écoulement . Le système vis-piston déjà étudié pour les thermoplastiques convient encore pour les thermodurcissables à condition de lui faire subir une certaine adaptation .

Diverses dispositions du système de préchauffage ont vu le jour et varient surtout par la façon dont est apportée la chaleur . Un procédé consiste à chauffer , par résistances électriques placées en bout de cylindre , la quantité de poudre juste nécessaire à un moulage ; une enveloppe à circulation d'eau froide empêche la transmission de la chaleur vers la zone arrière du cylindre . Il y a lieu d'assurer un contrôle précis de la température . La vis est aussi susceptible d'apporter de la chaleur , et elle est dotée parfois d'un circuit de refroidissement .

Le préchauffage par un circuit de fluide chauffé est aussi une solution intéressante , avec refroidissement de la vis et éventuellement de la buse , et possibilité de refroidir également le cylindre . La méthode la plus simple est basée sur le seul emploi de résistances électriques , comme dans les presses de thermoplastiques , sans refroidissement de la vis ; c'est la solution la plus répandue à l'heure actuelle en France .

CYCLE DE MOULAGE

Il se déroule de la façon suivante :

- Fermeture du moule ,
- Avance du groupe de plastification et injection ,
- Dégazage et suppression de la pression de la vis piston ,
- Fermeture finale et complément d'injection , éventuellement ,
- Maintien en pression ,

Recul du groupe en plastification et mise en rotation de la vis pour le préchauffage de la dose suivante . Durant cette phase , le moule s'ouvre et la pièce fabriquée est éjectée .

Exemple de cycle :

Pour une résine phénol-formol P 31 avec moule à 170 °C on a opéré dans les conditions suivantes :

1. temps de préchauffage30 s
2. temps d'injection3 s
3. temps de maintien en pression7 s

- 4. temps de cuisson15 s
- 5. temps du cycle41 s

VIS DE PLASTIFICATION

Pour le moulage des thermodurcissables , le rôle de la vis consiste essentiellement à brasser et transporter la matière .L'existence d'un taux de compression aurait pour effet d'engendrer une pression , cause d'échauffement par frottement du plastique ; la chaleur apportée par la vis serait difficile à contrôler et la régularité du préchauffage s'en trouverait perturbée .En conséquence , on utilise des vis à filets peu profonds et un taux de compression peu différent de 1 , soit par excès soit par défaut .

La forme de l'extrémité de vis doit éviter la stagnation de matière préchauffée (bout de vis très effilé) .Le rapport longueur/diamètre varie de 10 à 14 .Tout clapet en bout de vis est inutile , ainsi que les buses à obturation . Les vitesses de rotation , s'échelonnent de 50 à 100 rpm (révolution par minutes) .

Les charges grossières peuvent être la cause de difficultés d'alimentation de la vis (charges à base de fibre ou de tissu) . Il faut alors équiper la trémie d'alimentation avec un dispositif brassant la matière . Dans le cas du moulage de pâtes en compounds polyester , il faut préformer celles-ci en lanières que l'on dévide dans l'orifice d'alimentation de la vis .

Caractéristiques courantes des presses.				
caractéristiques	force de fermeture			
.....	85	200	450	700

CONDITIONS DE MOULAGE

Pour le phénol-formol P 21 à charge farine de bois (matière facile à mouler et de loin la plus courante) la pression d'injection peut varier de 80 à 150 Mpa . Elle se transmet mieux à l'intérieur du moule que dans le cas du moulage des thermoplastiques durant la phase de grande fluidité du thermodurcissable ; c'est pourquoi il y a lieu de la diminuer , au cours du maintien en pression .

La température de moulage est la même que celle pratiquée avec les techniques de compression et de transfert .

CARACTERISTIQUES COURANTES DES PRESSES

Elles sont données dans le tableau (ci-dessus) .

PRESSES A INJECTER UNIVERSELLES

La technique d'injection s'applique aux thermoplastiques , aux thermodurcissables et aux élastomères . Toutefois , pour chacune de ces familles de matériaux , en raisons de leur comportement différent lors des opérations de transformation , les détails des modes de mise en oeuvre différent et il faut concevoir des groupes d'injection adaptés pour chacune des techniques . Certains constructeurs livrent des presses sur lesquelles ces trois éléments de moulage sont interchangeable .

METHODES DE MOULAGE

MOULAGE PAR COMPRESSION

Principe: Dans cette technique, la matière à mouler dosée, soit en volume, soit par pesée, est placée dans un moule chaud ouvert. Le moule est fermé à l'aide d'une presse hydraulique. Sous l'action de la chaleur et de la pression la matière se fluidifie et prend la forme du moule. Il est nécessaire de laisser la matière sous presse le temps de la réaction chimique. Ce temps est le temps de cuisson. Il impose des immobilisations importantes du matériel.

Cycle de moulage.

1. Chargement manuel: en poudre pesée, en pastilles ou à l'aide d'un chargeur: en poudre (chargeur volumétrique), en pastilles.
2. Fermeture: approche rapide, suivie d'une fermeture lente pour permettre aux gaz de s'échapper.
3. Dégazage: il consiste à rouvrir légèrement le moule en fin de fermeture pour l'évacuation des gaz. Cette opération n'est pas nécessaire dans certains cas. Elle peut conduire à des traces de recollement de matière.
4. Cuisson.
5. Ouverture, lente pour ne pas détériorer les pièces.
6. Éjection.
7. Évacuation des pièces.
8. Nettoyage du moule, à l'air comprimé pour enlever les bavures.
9. Préparation de la moulée' suivante, mise en place d'inserts, etc. Nouveau cycle.

Conditions de moulage.

Masse de matière mise en oeuvre.

Masse de matière = (volume de l'objet x masse volumique de la matière) + perte.

La perte doit être déterminée expérimentalement pour chaque moule et pour chaque matière.

Pression de moulage.

Pression de moulage = $\frac{\text{force totale appliquée sur le moule}}{\text{surface totale de moulage}}$

Surface totale de moulage = surface de 1 empreinte x nombre d'empreintes.

Force totale = pression d'huile sur le piston x surface de la tête du piston.

Dans le cas de vérin double effet, la tête de piston n'a pas la même section que la partie visible.

Amélioration du procédé.

Il est possible de diminuer le temps de cycle soit **en réduisant le temps de cuisson** par apport de chaleur à la matière avant son introduction dans le moule, soit en **automatisant** les opérations de manutention, soit en combinant les deux solutions.

MOULAGE PAR TRANSFERT

Principe : Le moulage par transfert consiste à faire passer la matière à mouler d'une cavité pot de transfert à un moule chaud, maintenu énergiquement fermé. Pour que le cheminement de la matière puisse se faire normalement, il faut que la viscosité soit faible. Il est nécessaire de se placer par préchauffage vers le minimum de la courbe de viscosité. La méthode de préchauffage la plus utilisée est le préchauffage HF.

Le transfert est assuré par des canaux de distribution usinés dans le moule. Au cours du passage dans les canaux, la matière continue de s'échauffer par conduction et par friction. Si la section des canaux est trop petite et si la pression de transfert est trop élevée, la chaleur de friction est grande et le moulage peut devenir impossible.

La force de transfert est appliquée sur la matière soit à l'aide d'un piston fixe monté sur le sommier d'une presse de compression, soit par un piston auxiliaire. Certains auteurs de langue anglaise désignent le moulage par transfert avec une presse de compression sous le nom de vrai transfert ou de transfert par pot (True or pot type transfer). En France, on le désigne au contraire par faux transfert. Ce faux transfert qui limite la surface moulée tend à disparaître.

Il existe sur le marché de nombreuses presses de transfert à deux vérins. Dans le cas d'un vérin de transfert supérieur, le chargement du pot se fait moule fermé. La disposition du vérin à la partie inférieure oblige à charger le pot alors que le moule est ouvert. Le chargement est plus facile, mais le temps qui s'écoule entre la fin du préchauffage et le transfert est plus long. La matière doit être préchauffée à plus basse température. Il y a risque de dépôt de matière sur le plan de joint du moule au moment du chargement.

Cycle de moulage.

(Les deux premières opérations sont inversées dans le cas de transfert avec piston auxiliaire inférieur).

1. Fermeture du moule.
2. Mise en place de la matière préchauffée dans le pot de transfert. Le préchauffage peut être fait au cours du cycle précédent. La commande du préchauffeur peut être asservie à la presse.
3. Application de la pression de transfert.
4. Cuisson.
5. Ouverture du moule.
6. Évacuation des pièces.
7. Nettoyage du moule.
8. Préparation de la moulée suivante.

Conditions de moulage.

Pression de transfert : Au moment de son transfert la matière convenablement préchauffée est pratiquement comparable à un fluide et on doit lui appliquer le principe de Pascal sur la transmission des pressions .

Certains auteurs, pensent que les pertes de charge qui se produisent dans les canaux d'alimentation abaissent la pression dans les empreintes à 1/3 de la pression de transfert. Partant de cette donnée il est possible de prévoir plus d'empreintes dans le moule mais cela conduit toujours à des bavures.

MOULAGE PAR INJECTION

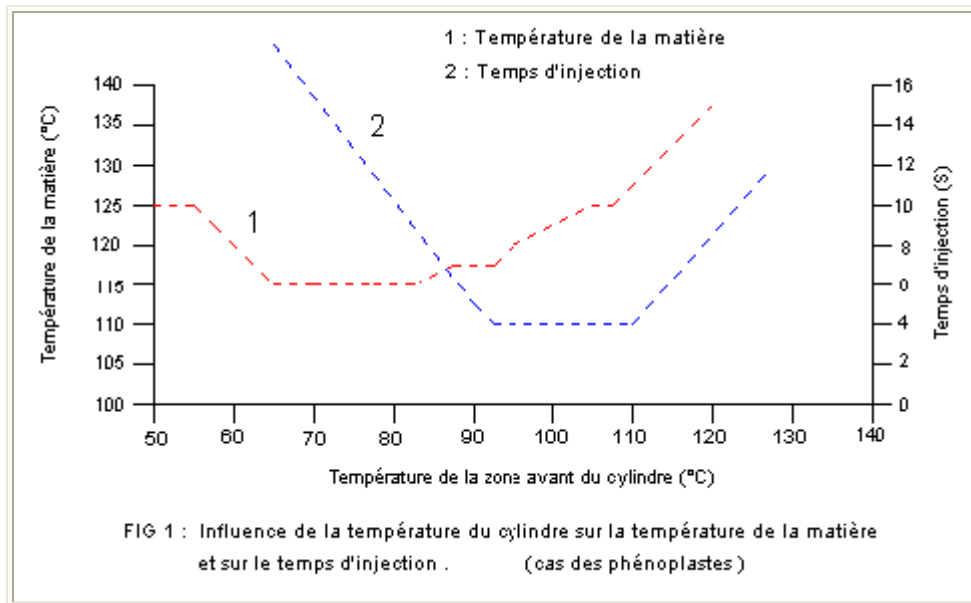
Principe : Le procédé de moulage par injection des matières thermodurcissables est très voisin de celui utilisé pour les matières thermoplastiques (se reporter à l'article Injection). Les différences sont dues au caractère thermodurcissable des matières examinées dans le présent texte : le procédé n'a été utilisable qu'après apparition des presses à vis; les moules sont chauffés; le phénomène de friction dans le cylindre de plastification est important.

Le cycle de moulage comporte très souvent une opération de dégazage. Tout ce qui a été écrit plus haut concernant le cheminement de la matière dans les canaux, concernant la pression de transfert et l'application du principe de Pascal, concernant la surface totale moulable avec piston auxiliaire est applicable au moulage par injection.

Conditions de moulage.

Température du cylindre de plastification : Lors de la plastification dans un système vis-fourreau, l'élévation de la température est due à la somme des quantités de chaleur reçues par conduction et par friction.

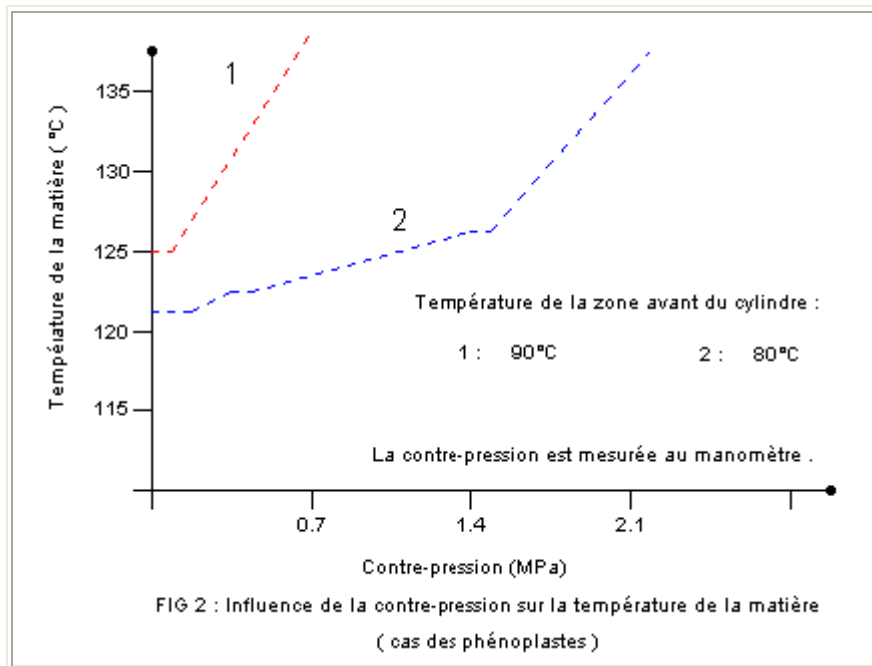
La figure 1 représente la variation de la température de la matière et du temps d'injection en fonction de la température du fourreau.



Lorsque la température du fourreau est trop faible, la chaleur gagnée par conduction est peu importante, la matière reste pulvérulente, la friction est très faible, le moulage est impossible. Si l'on élève la température du fourreau, un point est atteint où la matière, malgré son ramollissement, est peu fluide, ce qui entraîne une friction importante. La température de la masse peut alors s'élever très rapidement, amorçant le processus chimique et rendant le moulage impossible. A ce point, contrairement à une croyance encore répandue, tout abaissement de la température du cylindre aura un effet négatif. Si l'on continue à élever la température, il est possible de trouver un réglage permettant une injection facile. A partir de ce réglage, toute nouvelle élévation de température du fourreau conduit à une importante élévation, par conduction, de la température de la masse, interdisant le moulage.

L'équilibre entre la chaleur de conduction et la chaleur de friction varie d'une matière à l'autre en fonction de l'indice de fluidité et de la réactivité de la matière. La réactivité à la température de plastification conditionne la fiabilité d'une matière. Une basse fluidité ou une trop grande réactivité conduisent à un durcissement prématuré dans la buse du cylindre de plastification.

Contre-pression : La contre-pression est la pression qui freine le recul de la vis pendant la phase de plastification et dosage. Une augmentation de la contre-pression correspond à un temps de recul de la vis plus grand. La chaleur de friction est plus grande. La figure 2 montre l'effet de la contre-pression sur la température de la matière. L'augmentation de la contre-pression permet, en général, un dosage plus régulier.



Vitesse de rotation de la vis : - Une augmentation de la vitesse de rotation de la vis accroît le travail de friction mais diminue le temps de dosage. Le temps de contact de la matière avec la paroi chaude du fourreau est diminué d'autant. Le gain de chaleur par friction correspond à un plus faible gain de chaleur par conduction. L'élévation de température de la matière est faible (environ 2 à 5 °C entre 80 et 120 tr/min pour une vis de 35 mm de diamètre).

Lorsqu'une matière présente une friction importante - cas des matières à charges minérales - elle ne glisse pas sur la vis et se trouve très rapidement transportée à l'avant du cylindre. Le temps de contact avec le fourreau est court. L'élévation de température est faible. La matière est mal plastifiée. Le même défaut est constaté si la quantité de matière à doser est petite par rapport à la capacité de la machine. Dans ces deux cas une diminution de la vitesse de rotation assure un temps de contact avec le fourreau plus long et conduit à une plus grande élévation de température de la matière, permettant une bonne injection.

Dans certains cas il peut être nécessaire d'augmenter la vitesse de rotation de façon à pouvoir inscrire le temps de plastification dans le temps de cuisson. Le dosage est plus régulier d'un cycle sur l'autre avec une basse vitesse de rotation.

Pression et vitesse d'injection : - Une pression élevée permet un remplissage facile et rapide. La chaleur de friction engendrée lors du passage à grande vitesse dans le dispositif de distribution (buse, canaux, seuils) est élevée. Remplissage rapide et température de matière élevée conduisent à un cycle court. Une pression trop élevée provoque des bavures importantes.

Si une matière remplit trop rapidement une empreinte, elle emprisonne de l'air et des gaz qui s'opposent à l'avance du flux dans l'empreinte et peuvent provoquer des traces

de brûlures sur les pièces. En règle générale, le temps d'injection ne doit pas descendre en dessous de 5 s. Lorsque la section des seuils et des canaux est trop faible, l'injection peut devenir impossible.

Dégazage : - L'opération de dégazage est souvent indispensable à l'obtention de pièces saines sans défaut d'aspect (traces de gaz, cloques).

Retard de plastification : - Le retard de plastification est le temps qui s'écoule entre la fin du remplissage des empreintes et le début de préparation de la matière pour un nouveau cycle. Il ne faut pas perdre de vue que, lorsqu'une matière thermodurcissable est correctement plastifiée, tout délai s'écoulant entre la fin de plastification et le début d'injection contribue à amorcer le processus de la réaction chimique. Le retard de plastification doit être réglé de façon que la rotation de la vis se termine au moment de l'ouverture du moule.

Temps de contact de la buse du cylindre contre la buse du moule : - La température de la buse du cylindre s'élève au contact du moule. Pour éviter une trop forte élévation de la température de la buse il est souhaitable que le temps de contact entre les deux buses soit aussi court que possible.

Mais si la buse du fourreau n'est pas en contact avec le moule, sous l'effet de la contre-pression la matière peut s'échapper du cylindre pendant la plastification. Dans un cycle normal, la buse du cylindre est décollée de la buse du moule au moment de l'ouverture du moule.

Une parfaite régulation, par circulation de fluide, de la température des buses côté cylindre et côté moule permet de porter la matière à température élevée en évitant une polymérisation prématurée de la matière dans la buse du cylindre. Il en résulte un abaissement du temps de cycle.

Temps de maintien en pression : - Le temps de maintien en pression est le temps pendant lequel la pression d'injection continue d'être appliquée après le remplissage des empreintes. Si le temps de maintien est trop court, la carotte n'est pas cuite. Sous l'action de la contre-pression, lors de la plastification suivante, la matière risque de pénétrer dans le moule. Les bavures peuvent alors être importantes et le temps de cuisson augmenté.

Amélioration du procédé.

Modulation de la contre-pression : - Par suite de la différence des temps de contact de la matière avec le fourreau, la température de la masse injectée est plus élevée au début qu'à la fin de l'injection. Sur certaines presses il est possible, en modulant la contre-pression pendant la plastification, d'obtenir une température plus uniforme de la

masse. Le temps de cycle est plus court et la qualité des objets améliorée (Presses Billion).

Modulation du dosage : - La quantité de matière injectée peut varier dans le temps. Elle est fonction du bon équilibre des conditions de plastification, ainsi que des caractéristiques de la matière (granulométrie, masse volumique apparente).

Il est possible, à partir d'une mesure de pression, d'agir sur la course de la vis pour modifier le dosage. Ce système présente l'inconvénient de n'agir que sur la moulée suivante.

Canaux froids : - A cause du caractère irréversible de la réaction de polycondensation à chaque moulée, la matière remplissant la buse et les canaux ne peut être récupérée. La perte de matière s'élève à environ 10 % du poids mis en œuvre .

L'utilisation de moules dit à canaux froids permet une réduction du taux de déchets de l'ordre de 60 %. Dans le cas des phénoplastes, la température de la zone des canaux doit être maintenue entre 100 et 110°C.