

Chapitre 3. Moule et moulage des polymères

Introduction

D'une façon générale, un moule est un outil de transformation comportant une cavité destinée à recevoir un matériau 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 pièce 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.

3.1. Moules pour thermoplastiques :

Les matières thermoplastiques peuvent se mouler

- Sans pression :

Par simple coulée (poly époxydes, polyesters, polyamides) ou en moulage par rotation (polyéthylène , polyamides)

- **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.

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 produite est suffisante (un minimum de plusieurs milliers de pièces et des dizaines de milliers ou plus, en général).

Moules d'injection à haute pression pour thermoplastiques

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 .

3.1.1. Conception du moule

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

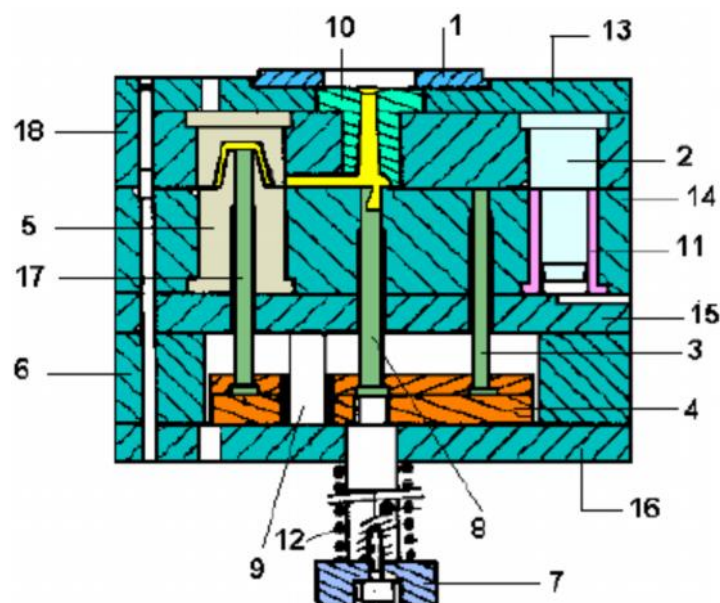
l'outillage (dans le cas où un corps étranger se trouverait dans le plan de joint au moment de la fermeture) et de la durée de service souhaitée (série à réaliser .

Un moule d'injection pour thermoplastiques, compte tenu des considérations précédentes on doit passer au cours d'une opération complète de production (cycle) 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.

3.1.2. Nomenclature des parties d'un moule

Un moule des constitué de deux parties fixe et mobile.



- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <i>1. Bague de centrage</i> | <i>2. Colonne de guidage</i> |
| <i>3. Rappel d'éjection</i> | <i>4. Plaque d'éjection</i> |
| <i>5. Empreinte</i> | <i>6. Tasseaux</i> |
| <i>7. Queue d'éjection</i> | <i>8. Arrache carotte</i> |
| <i>9. Plôt de soutien</i> | <i>10. Contre buse</i> |
| <i>11. Bague de guidage</i> | <i>12. Ressort de rappel</i> |
| <i>13. Plaque de fixation A.V</i> | <i>14. Plaque porte empreinte Inf</i> |
| <i>15. Plaque intermédiaire</i> | <i>16. Plaque de fixation A.R</i> |
| <i>17. Ejecteur</i> | <i>18. Plaque porte empreinte Sup</i> |

3.1.3. Les fonctions d'un Moule

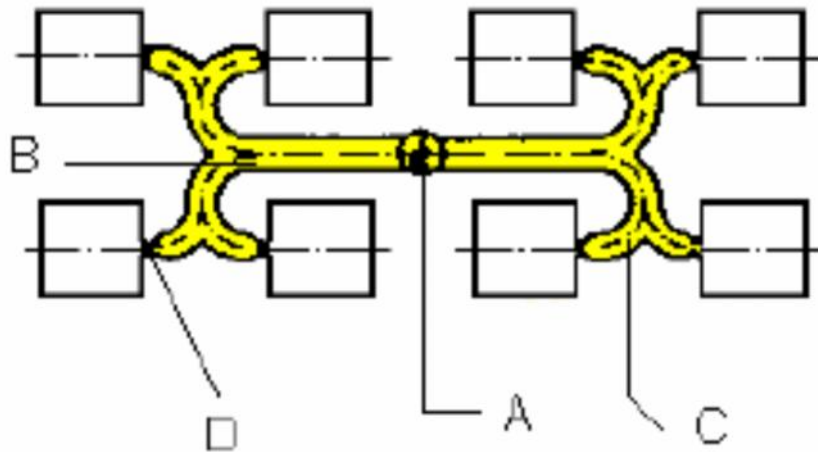
a- La Fonction d'alimentation

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 cavités 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.

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.

b- FONCTION 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

$$\frac{T}{2E} = \frac{4\rho C}{K} = C^{te} \text{ pour le type de pièce considéré}$$

Avec :

T : temps de refroidissement,

E : épaisseur,

ρ : masse volumique,

C : capacité thermique massique,

K : coefficient de conductibilité calorifique.

L'ensemble $k/\rho c$ 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.

b.2. Refroidissement du moule

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°C.

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.

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.

C- Ejection des pièces moulées

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 manœuvre 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 manœuvre 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.

3.1.4. 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 nickel-chrome-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 s'ils doivent être utilisés pour la production en série, par la suite, au prix de quelques améliorations.

3.2. Les thermodurcissables

Dans la technique d'injection des matières thermodurcissable, le plastique préchauffé séjournant entre chaque cycle dans le canal de buse de la presse ne polémise 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.

3.2.1. 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.

3.2.2. Conception du groupe de préchauffage

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.

3.2.2. Cycle de moulage

Il se déroule de la façon suivante :

1. **Fermeture du moule,**
2. **Avance du groupe de plastification et injection,**
3. **Dégazage et suppression de la pression de la vis piston,**
4. **Fermeture finale et complément d'injection, éventuellement,**
5. **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

3.2.3. 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

3.2.4. 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.

3.2.5. Caractéristiques courantes des presses

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

Presses à injecter universelles

La technique d'injection s'applique aux thermoplastiques, aux thermodurcissables et aux élastomères. Toutefois, pour chacune de ces familles de matériaux, en raison de leur comportement différent lors des opérations de transformation, les détails des modes de mise en œuvre diffèrent 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 interchangeables.

3.2.6. Méthodes de moulage

3.2.6.1. 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 œuvre.

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

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

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.

3.2.6.2. 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 transfert).

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.**

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.

3.2.6.3. 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.

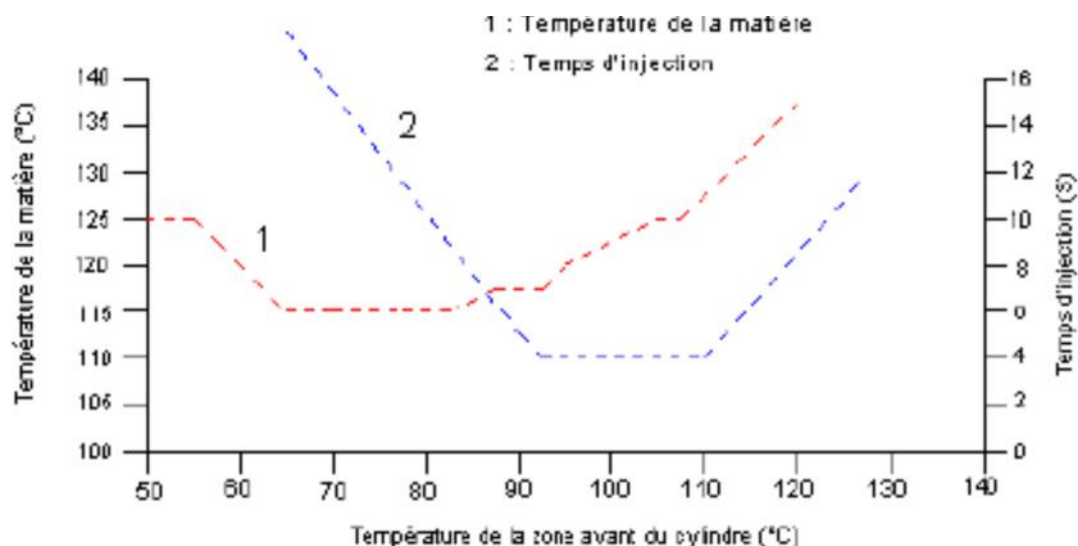


FIG 1 : Influence de la température du cylindre sur la température de la matière et sur le temps d'injection . (cas des phénoplastes)

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.

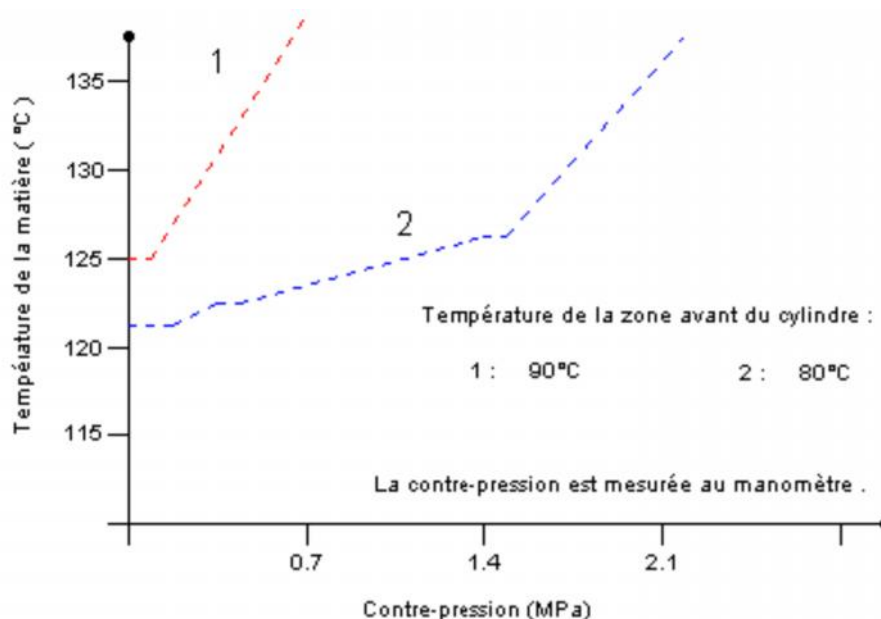


FIG 2 : Influence de la contre-pression sur la température de la matière (cas des phénoplastes)

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.