

Chapitre I : Fonderie

Chapitre I : Fonderie

I. Généralités :

Les organes et pièces constituant les machines et appareils proviennent de sources diverses de fabrication tels que forgeage, usinage, estampage, fonderie etc.

La technique de fonderie est la plus souvent utilisée car elle est non seulement économique mais :

- Elle permet de produire des pièces de formes complexes (difficilement réalisables par usinage ou par d'autres procédés).
- La série des pièces est identique.
- Obtention de pièces massives telles que bâtis, volants etc.

Le moulage ou fonderie est un ensemble de procédés qui permet de réaliser des pièces métalliques brutes. Le moulage proprement dit consiste à réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule en sable ou en métal (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir), le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule (figure.1). Utilisées dans des secteurs variés (aéronautique, automobile, robinetterie, appareils ménagers,.) les techniques dépendent du matériau, des dimensions et des caractéristiques géométriques de la pièce à obtenir, mais également, des quantités à produire.

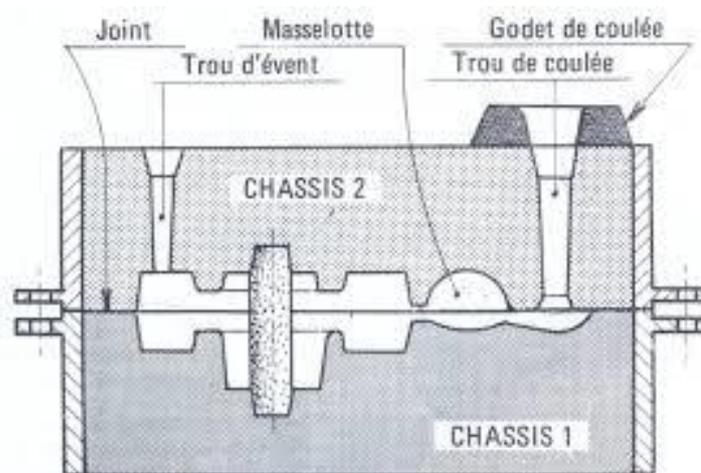


Figure 1. Procédés de mise en forme par moulage

II. Quelques notions de base

Le principe de la fonderie est de couler un alliage dans un moule. La température de coulée dépend du type d'alliage utilisé ; à titre d'exemple les alliages de zinc sont chauffés à 400°C, les alliages d'aluminium à 700°C, les alliages cuivreux à 1250°C et les alliages ferreux à 1550°C. Le refroidissement génère la solidification et l'obtention de la pièce brute ou finie.

Dans un procédé de fonderie, trois classes de problèmes se posent :

- Fabriquer le moule
- Couler la pièce
- Extraire la pièce.

Un procédé de fonderie correspond à la résolution de ces trois problèmes.

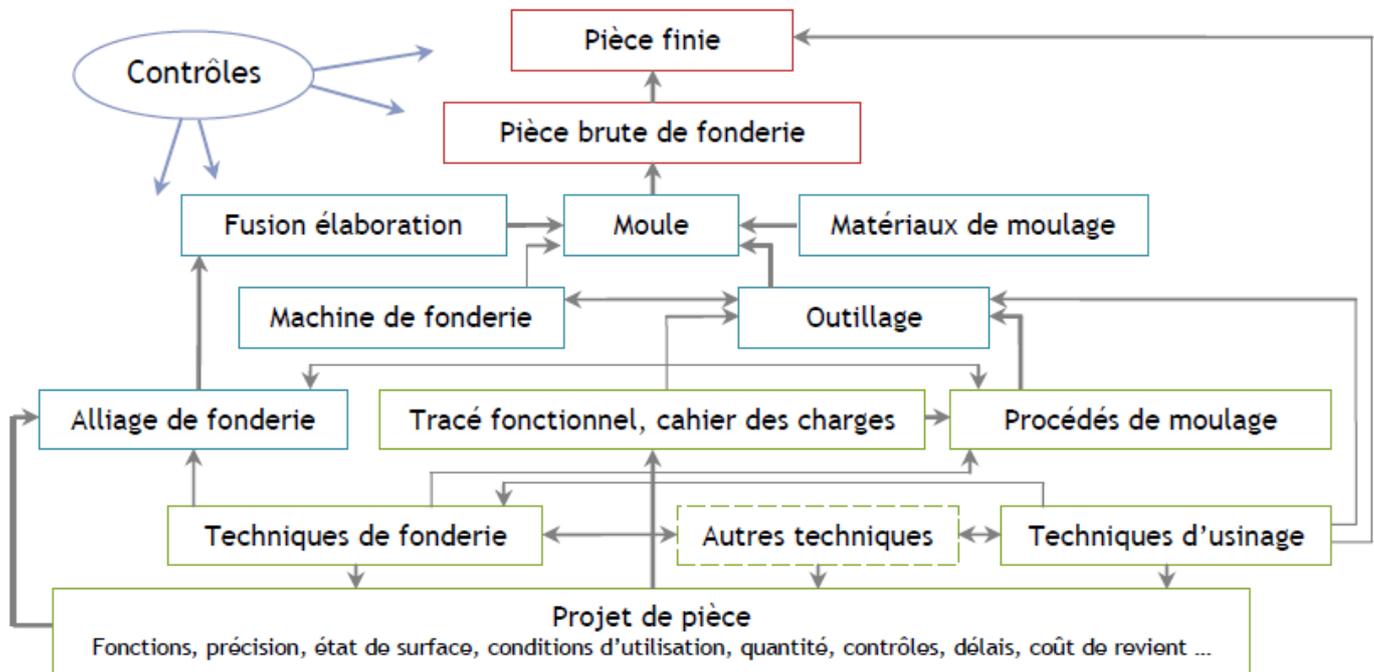


Figure 2. De la conception à la réalisation d'une pièce de fonderie

III. Champs d'application

La fonderie permet d'obtenir des pièces creuses, des pièces complexes avec des cavités (figure 3). La précision des cotes permet de supprimer les reprises de finition, réduisant ainsi les coûts d'usinage comme de matières. Ce procédé permet également de réaliser des pièces dans des matériaux difficiles à usiner, qui ne se prêtent pas au laminage, forgeage ou matriçage comme des pièces à haute teneur en silicium ou en fonte.

Les pièces obtenues font quelques grammes à plusieurs centaines de tonnes (figure 4) de l'unitaire à la grande série et à destination de bien des domaines :

- Automobile, cycles, moto
- Machines agricoles
- Chemin de fer
- Construction navale
- Construction aérospatiale
- Construction électrique
- Appareils ménagers
- Machines de travaux publics
- Machines-outils,
- Serrurerie, quincaillerie
- Robinetterie, raccords, pompes
- Constructions mécaniques divers

Dans la spécialisation de la fonderie, on distingue pratiquement les fonderies suivantes

a) Selon la nature des métaux et alliages

- Fonderie de fonte.
- Fonderie d'acier.
- Fonderie d'aluminium et ses alliages.
- Fonderie de cuivre, bronzes, laitons etc...

b) Selon l'utilisation

- Fonderie d'art.

- Fonderie d'ornement (bijoux).
- Fonderie de mécanique industrielle.

c) Selon le procédé de moulage

- Moulage en sable (moule non permanent).
- Moulage en carapaces.
- Moulage à la cire perdue.
- Moulage en coquilles (moule permanent).

Dans ces procédés le moule peut être permanent ou non permanent (destructible).

Le moule non permanent est utilisé qu'une seule fois, pour extraire la pièce, il faut le détruire, l'empreinte est obtenue par moulage du matériau constitutif autour d'un modèle réalisé en bois ou en métal.

Le moule permanent peut servir un grand nombre de fois, il est réalisé en plusieurs parties pour faciliter l'extraction de la pièce. Il est utilisé surtout lorsque la quantité de pièces à couler est importante.

Le choix des procédés de moulage dépend du métal à couler. En général la température de fusion du métal coulé doit- être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule.

Comme il a été déjà cité, le moulage est généralement très économique, mais les caractéristiques d'un alliage coulé sont plus faibles que celles du même alliage forgé. Les défauts de fonderie, fréquents dans les pièces moulées, diminuent encore leur résistance globale, certains de ces défauts, dus aux gaz occlus ou à la contraction du métal au refroidissement, peuvent être évités par un tracé judicieux des formes.

IV Procédés de moulage

IV.1 Moulage en sable

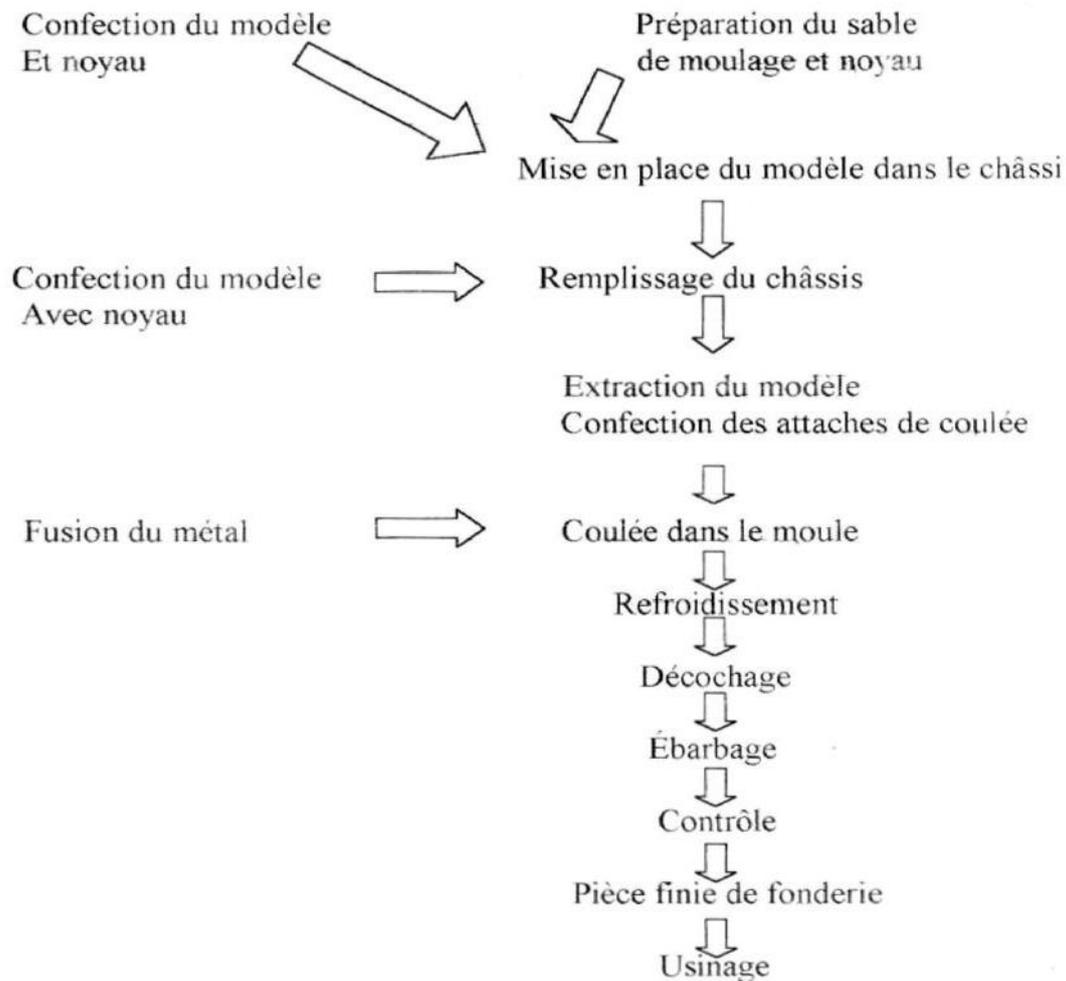
Le moulage en sable consiste à couler le métal en fusion dans l'empreinte du moule en sable, réalisée d'après un modèle ayant la forme de la pièce à obtenir.

Le moulage en sable est le procédé Le plus ancien et convient presque pour tous Les métaux et alliages de moulage. Il s'adapte bien aux petites séries de production et surtout pour les pièces de grandes dimensions.

Un moule simple est constitué de deux parties :

- La partie supérieure.
- Et la partie inférieure.

La fiche descriptive 1 représente un moule en sable avec les différentes parties essentielles. Le métal en fusion est coulé à travers le trou du système de coulée, en traversant les canaux jusqu'à remplissage de l'empreinte. Après refroidissement et solidification, la pièce est sortie pour subir les différentes opérations de finition. L'ensemble des opérations de moulage en sable est donné par le schéma ci-dessous :



Fiche descriptive 1

La fonderie consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule afin de reproduire une pièce dans ses formes intérieures et extérieures, en limitant autant que faire se peut les travaux de finition après refroidissement. Ce procédé de formage des métaux est utilisé dans de nombreux secteurs, les techniques utilisées dépendent du matériau, des dimensions et des caractéristiques géométriques de la pièce à obtenir, et des quantités à produire. Cependant quel que soit le procédé employé, les pièces issues de moulage suivent les mêmes règles de tracé. Cette ressource détaille les différentes phases de réalisation d'une pièce moulée en sable, de la préparation des matériaux au décochage de la pièce en passant par l'élaboration du moule et du noyau et la coulée de l'aluminium.

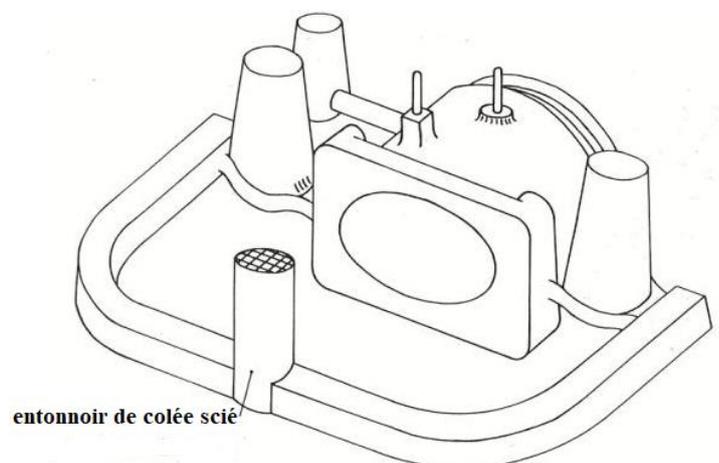


Figure 1. Esquisse de la pièce brute de moulage

1 – Introduction

La pièce à mouler est un boîtier papillon réalisée en alliage d'aluminium dans un moule en sable. L'objet de cette ressource est de montrer les différentes phases du procédé de fonderie.

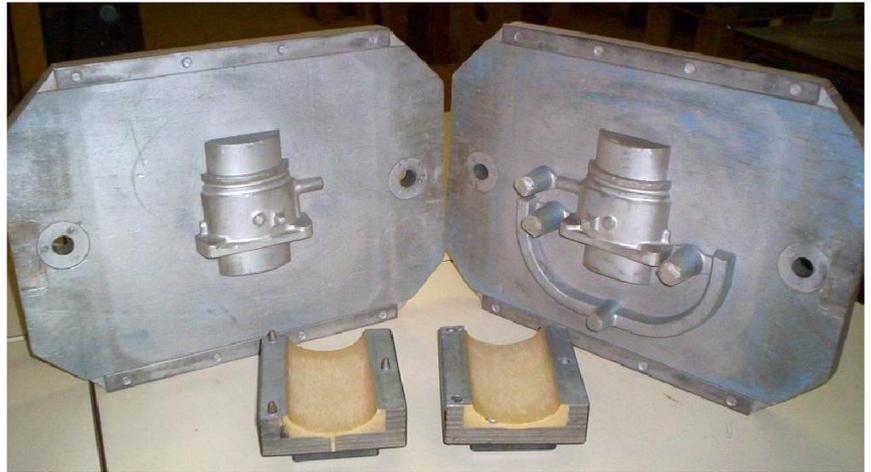


Figure 2. Les plaques modèles et la boîte à noyau

2 – Réalisation du noyau

Le noyau, de forme simple pour cette pièce, est réalisé à l'aide d'une boîte à noyau (figure 2) et avec du sable aggloméré, mélange de silice et de silicate de soude (3% en masse). La boîte à noyau montée est remplie du mélange, tassé de façon homogène. Le mélange est ensuite piqué à l'aide d'une aiguille afin de laisser circuler le durcisseur injecté (Co₂). Lorsque le noyau est durci, la boîte est démontée, le noyau délicatement sorti et ébavuré (figure 3).



Figure 3. Le noyau sorti de sa boîte

3 – Réalisation du moule

3.1 - Préparation du sable à vert

Le sable utilisé est composé de silice et d'argile, il est de couleur brune/oranger, et noircit au contact du métal chaud. Il est cependant réutilisable à l'infini une fois remis en condition : tamisé, aéré et humidifié. L'argile humidifiée est le liant des grains de silice. Avant utilisation du sable à vert, il faut mesurer le taux d'humidité et le ramener à 6%.

3.2 – Elaboration d'un demi-moule

Les deux plaques modèles (figure 4) sont fixées successivement sur la machine à mouler. Une de deux plaques comporte le canal d'alimentation et les masselottes. Un châssis positionné sur la plaque à l'aide de deux goujons de centrage (figure 5) comporte à sa base deux barres qui reposent sur les chandelles de la machine.

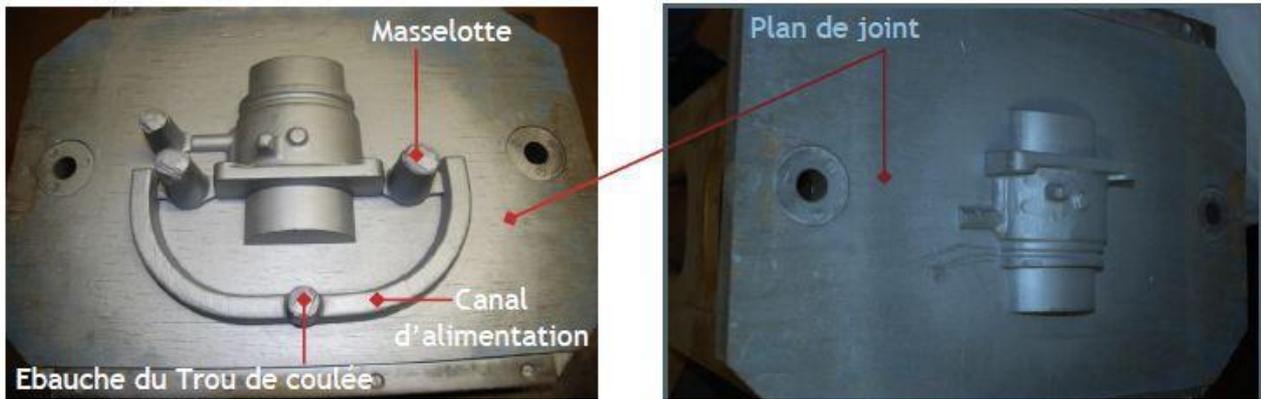


Figure 4. Plaques modèle avec canaux d'alimentation, masselottes et trou de coulée

Les plaques modèle doivent être nettoyées des précédentes utilisations et en parfait état, tout défaut sur la surface utile du moulage sera reproduit sur la surface de la future pièce. Il faut donc veiller à maintenir les plaques modèles en déposant du talc ou de l'agent démoulant pour éviter l'adhérence du sable sur la plaque modèle.



Figure 5. Plaques modèle fixée sur la machine et le châssis positionné

Le châssis est rempli de sable tamisé pour la partie en contact avec la forme de la pièce ; de la granulométrie du sable en contact avec le modèle dépendra la qualité de l'état de surface de la pièce. Le sable doit être réparti correctement particulièrement aux endroits sensibles, il est progressivement tassé à la main, puis à l'aide de fouloirs lorsque la hauteur est suffisante pour ne pas endommager le modèle (figure 6). Le niveau du sable doit dépasser le bord supérieur du châssis, la machine terminant le travail (figure 7).



Figure 6. Remplissage du châssis avec le sable à vert



Figure 7. Tassement mécanique du sable à vert dans le châssis

Le sable est arasé à hauteur de châssis afin d'obtenir une surface plane (figure 8), cette surface sert d'appui pour un des demi-moules lors de la phase de coulée. Puis par vibrations de la machine, le sable est décollé de la plaque modèle. Enfin le châssis est soulevé par les chandelles, la plaque modèle est libérée verticalement (figure 9) afin de ne pas abîmer l'empreinte déposée dans chaque demi-moule (figure 10).



Figure 8. Arasement du sable



Figure 9. Montée du châssis, libération des plaques modèle



Figure 10. Empreintes dans les châssis, la couleur argentée est un résidu de l'agent démoulant

3.3 – Réalisation des événements et du trou de coulée

Les évents facilitent l'évacuation des gaz lors de la coulée, ils sont réalisés à l'aide d'aiguille (figure 11). Le trou de coulée a été ébauché par la plaque modèle, il s'agit maintenant de le rendre débouchant (figure 12).



Figure 11. Réalisation des évents à l'aiguille



Figure 12. Prolongation du trou de coulée

Le châssis est ensuite retourné, puis l'ouverture du trou coulée est agrandie. La forme pyramidale du trou de coulée (figure 13) facilite la visée lors du remplissage et évite la création de vortex, ce qui pourrait entraîner grains de sable et bulles d'air dans le métal et donc des défauts dans la pièce.



Figure 13. Finition du trou de coulée

3.4 – Assemblage du moule

Le noyau préalablement réalisé est positionné délicatement dans l'empreinte du châssis inférieur (celui qui ne comporte pas le trou de coulée) figure 14. Puis les deux châssis sont superposés en veillant à leur bonne orientation l'un par rapport à l'autre. Les goujons assurent le bon positionnement et le maintien des deux châssis (figure 15).



Figure 14. Positionnement du noyau



Figure 15. Assemblage des deux châssis

4 – Coulée

Le moule est posé à proximité du four contenant l'alliage liquide. La température (environ 700°C) nécessite un équipement de protection : casque avec masque, tablier, guêtres et moufles (figure 16). La coulée doit être faite rapidement en un seul geste (figure 17), il est nécessaire de prélever la bonne quantité à l'aide de la louche préalablement poteyée.



Figure 16. Prélèvement de l'alliage liquide



Figure 17. Coulée et remplissage du moule

5 – Obtention de la pièce La pièce se solidifie mais se refroidit que très peu, il est important de réaliser le démoulage avec précaution. La pièce est solidaire du châssis supérieur séparé en le soulevant du châssis inférieur, qui garde la trace de la pièce moulée, l'empreinte est noircie (figure 18).

Le noyau est inclus dans la pièce (figure 19), il est préférable de ne pas mélanger les deux sables ; il faut donc extraire dans un premier temps la pièce et son noyau (figure 20), puis éliminer ensuite le noyau (figure 21).



Figure 18. Séparation des deux châssis. Les différentes couleurs du sable après extraction de la pièce : 1- partie brûlée, 2- partie chauffée jusqu'à environ 100°C, 3- partie non affectée thermiquement (importante isolation du moule en sable, le châssis reste à température ambiante)



Figure 19. La pièce et son noyau dans le châssis supérieur



Figure 20. Destruction du moule pour extraire la pièce brute de moulage et son noyau inclus



Figure 21. La pièce brute de démoulage

La pièce brute de démoulage porte le canal d'alimentation et les masselottes qu'il faut par la suite éliminer. On remarque aussi la trace du plan de joint entre les deux châssis du moule.

Fin de la Fiche

VI.2 Moulage en coquille par gravité

Le moulage en coquille est un procédé qui permet de couler par gravité le métal en fusion directement dans un moule métallique en acier réfractaire appelé coquille. Ce type de moulage est destiné pour la réalisation de pièces compliquées en métaux et alliages ferreux (fonte grise) et alliages non ferreux à point de fusion relativement bas, bronzes (10 -13%Zinc), Al-Si possédant de bonnes propriétés de fonderie, Al-Si-Cu et Al-Cu(4-12%Cu). Le moule est constitué de deux ou plusieurs parties appelées chapes, formant l'empreinte, de trou de coulée et les évents (figure.5), les chapes sont solidement assemblées pendant la coulée du métal afin d'éviter leur séparation.

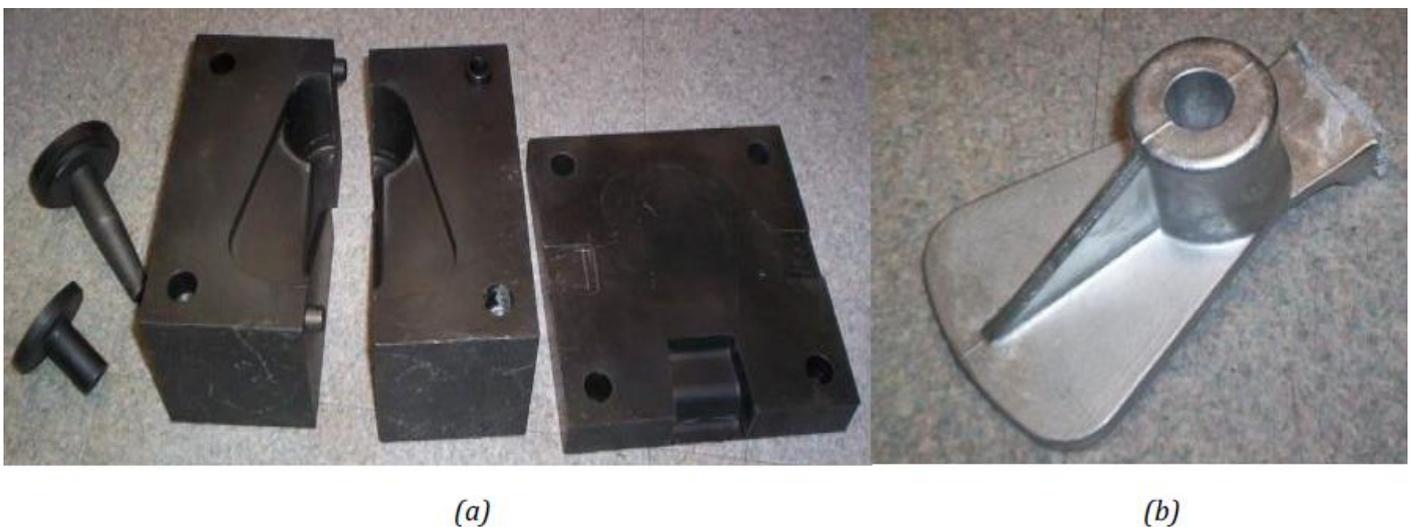


Figure 5. (a) Coquille éclatée avec ses broches, (b) pièce obtenue en alliage d'aluminium (Al Si9 Cu3 Mg)

Le métal liquide remplit les cavités du moule sous l'effet de son propre poids (par gravité). Les masselottes, le trou de coulée doivent être situés dans le plan de joint avec des formes permettant le démoulage. Les joints ont généralement des surfaces finement striées ce qui permet l'évacuation des gaz lors de la coulée du métal. Dans certains cas les évents sont réalisés dans les noyaux. Les coquilles résistent de quelques centaines de coulées et pour élever la ténacité de leurs surfaces intérieures qui entrent en contact avec le métal en fusion sont protégées par un film d'enduit appelé poteyage. La nature de ce dernier permet ainsi d'agir sur l'intensité des échanges thermiques entre pièce et moule. L'enduit est porté sur la surface par pulvérisateur ou un pinceau. Avant chaque moulage les coquilles sont chauffées jusqu'à une température de 200 à 350°C (Tout dépend de la température de coulée du métal), afin d'éviter le refroidissement trop rapide du métal, dans certains cas le chauffage doit être poursuivi pendant la coulée.

C'est lorsque le métal est suffisamment solidifié, qu'on procède au démoulage de la pièce. Donc les opérations à effectuer pour chaque coulée sont :

- Poteyage du moule.
- Fermeture du moule et mise en place de la broche.
- Coulée du métal.
- Quand le métal est solidifié, extraction de la broche et ouverture du moule.
- Démoulage de la pièce.

Les avantages du moulage en coquille sont :

- Précision dimensionnelle.
- Bon état de surface.
- Réduction des surépaisseurs d'usinage.
- Rendement assez élevé.
- Réduction du rebut.
- Texture plus fine et caractéristiques mécaniques élevées.

Le seul inconvénient réside dans le prix de revient des coquilles qui est très cher.

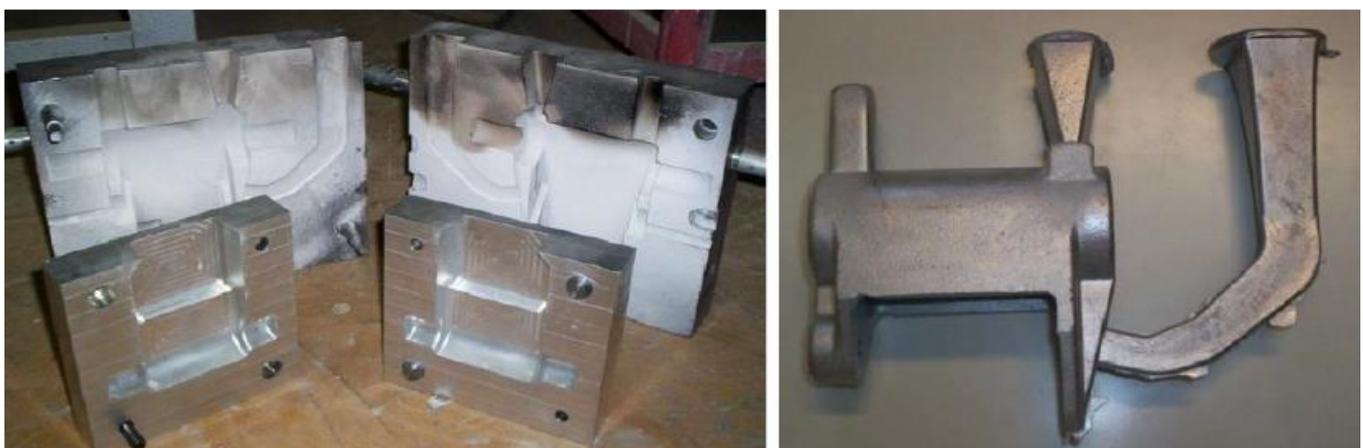


Figure 6. Moule en coquille et boîte à noyau ouverts, et la pièce obtenue brute de moulage.

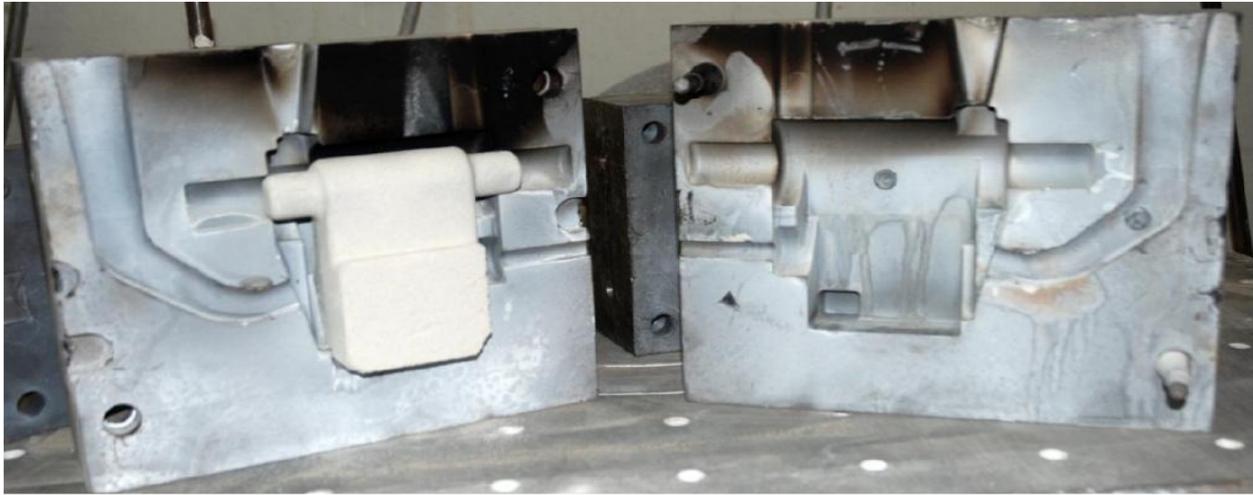


Figure 7. Moule en coquille avec noyau positionné

VI.3 Moulage sous pression

Dans ce procédé le métal liquide est injecté dans le moule de la machine à mouler à grande vitesse (40 à 50 m/s) et sous pression (30-100MPa). Ce procédé permet d'obtenir des pièces en alliages non ferreux, ayant une configuration très compliquée avec des dimensions très précises, ce qui permet de supprimer partiellement ou totalement l'opération d'usinage. A cause des coûts très élevés des moules, le moulage sous pression est rentable seulement pour des productions en série.

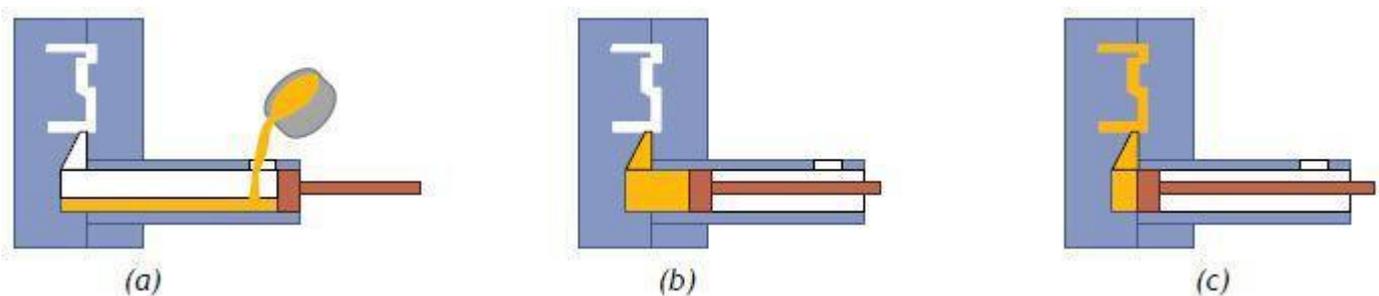


Figure 8. Les phases du moulage en coquille sous pression à l'aide d'une machine chambre froide, (a) versement de l'alliage, (b) injection à grande vitesse, (c) solidification sous pression

Donc les machines à mouler sous pression permettent de réaliser de très grandes séries et avec des cadences de production extrêmement rapides (1000 pièces de faible volume/heure) et sont destinés surtout pour les alliages à base de Plomb, Zinc, Aluminium, Magnésium, Cuivre etc.. Les machines quel que soit le type comprennent toujours un dispositif de fermeture et d'ouverture du moule avec serrage énergétique au moment de l'injection du métal sous pression. Le moule comprend deux blocs (chape), l'un fixé sur le bâti de la machine et sur lequel l'empreinte doit être minimum et l'autre est monté sur le chariot mobile de la machine à mouler et comportant la majeure partie de l'empreinte, ainsi que les éjecteurs qui éjectent la pièce moulée (figure.9).

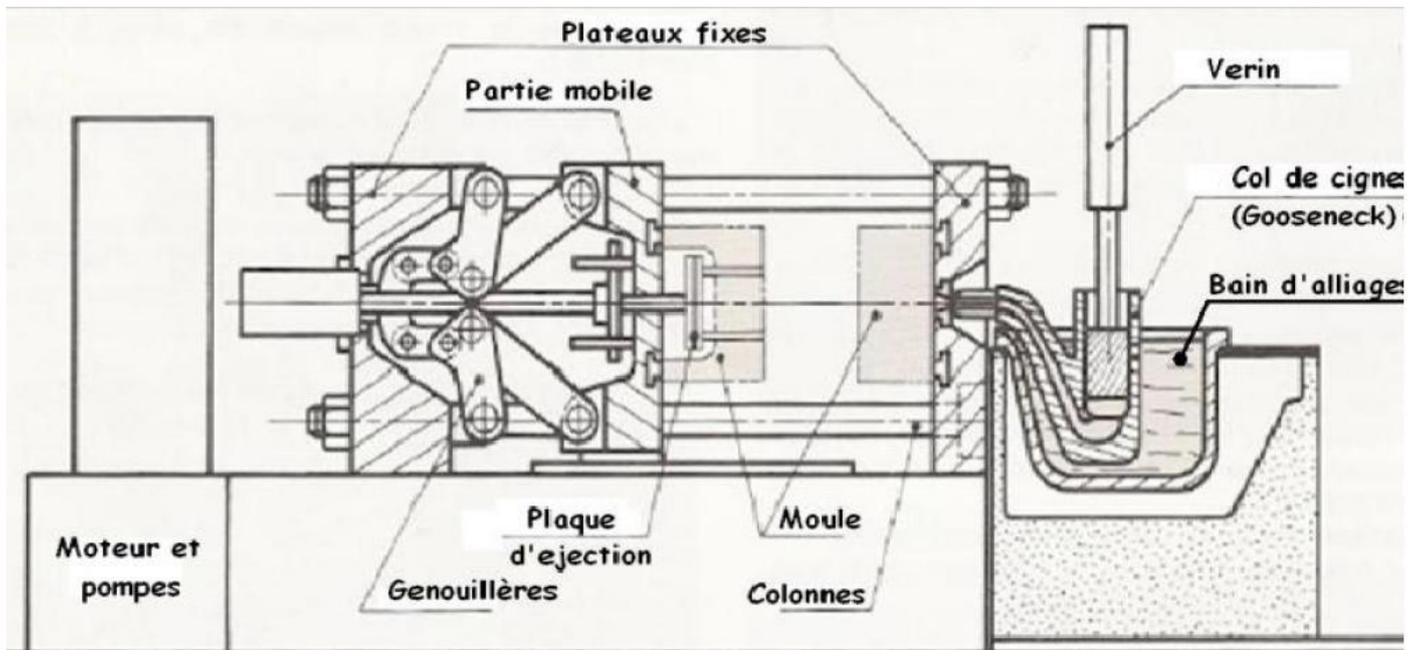


Figure 9. Principe du moulage en coquille sous pression de machines à chambre chaude

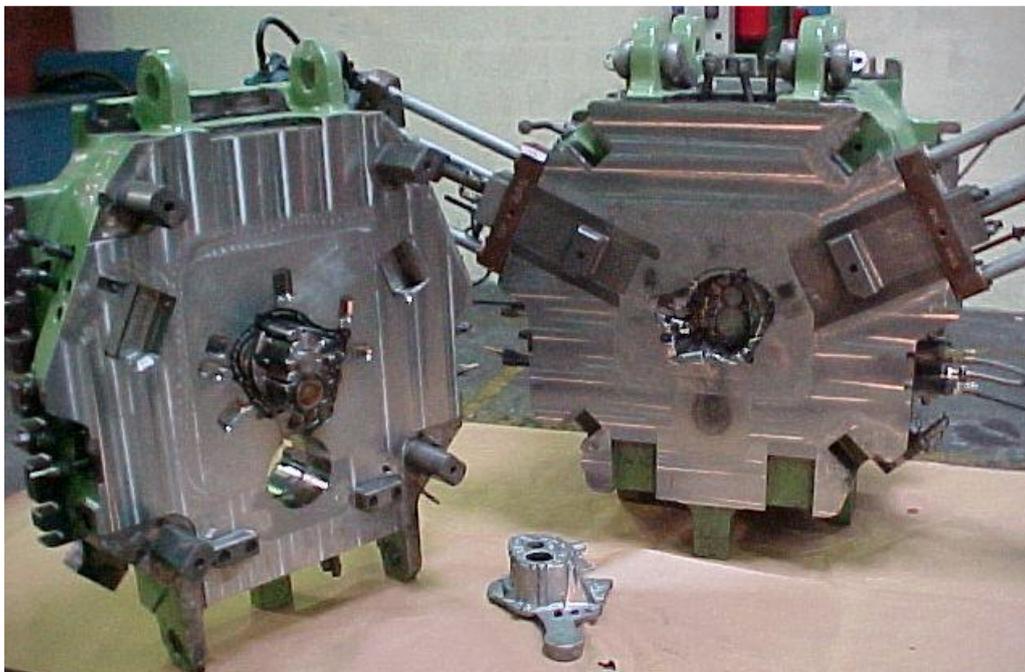


Figure 10. Moule en coquille sous pression

Le poteyage de l'empreinte du moule est nécessaire afin d'éviter le collage des pièces et faciliter le démoulage. L'application du produit de poteyage est effectuée sur les parties de l'empreinte là où il y a risque d'étamage (broche, points chauds etc..) on évitera ainsi le dépôt de poteyage qui serait dû à une application massive et ponctuelle. La composition du produit de poteyage est variable peut être d'un mélange de plomb, d'eau, silicate de soude etc.

- Principe de fonctionnement

La chape solidaire du bâti de la machine est la chape fixée sur le chariot mobile assurant la fermeture et l'ouverture du moule forment principalement le moule de coulée. Après la mise en place du noyau s'il y a lieu et lorsque le moule est fermé, le métal liquide est versé manuellement à l'aide d'une louche ou

automatiquement dans l'orifice de coulée. Ensuite commence le mouvement d'injection qui se compose de 3 phases réglables et dépendantes l'une de l'autre.

1^{ère} Phase : Approche lente du piston de conduite du métal vers l'empreinte du moule.

2^{ème} Phase : Mouvement à grande vitesse du deuxième piston pour injection, ou remplissage du moule.

3^{ème} Phase : Pression de maintien (après remplissage du moule, elle agit sur le métal encore liquide en donnant une densité plus élevée à la pièce coulée.

Après refroidissement le piston revient dans sa position initiale et suivi par l'ouverture du moule, qui s'effectue par déplacement du chariot avec la chape mobile, ce dernier entraînera avec la pièce refroidit hors du moule fixe et le détachement de la pièce s'effectuera par éjection. Tout le cycle de l'opération s'effectue automatiquement. Les paramètres essentiels pouvant exercer une influence sur la qualité des pièces coulées sous pression sont :

- Température de coulée du métal liquide.
- Température du moule.
- Volume du dosage.
- Pression d'injection.
- Durée du cycle d'injection.
- Réglage de la machine.

IV.4 Moulage par centrifugation

La densité d'un métal coulé dépend essentiellement de la pression P avec laquelle le métal liquide se trouve durant le processus de refroidissement. Pour la coulée normale (par gravitation), la pression P est déterminée à partir de la hauteur de coulée du métal liquide dans le moule et de sa densité.

Une pression importante peut être obtenue grâce à une rotation rapide du métal liquide dans le moule.

Suite à la rotation du métal liquide coulé, les particules sont soumises à une force centrifuge :

$$F_c = mr.w^2 [N]$$

Où : F_c : force centrifuge, m : la masse du métal, r : le rayon du moule cylindrique, w : vitesse angulaire

La force centrifuge peut être augmentée, par augmentation du nombre de tours (vitesse angulaire) et ce qui conduit à l'augmentation de l'action de la force de pesanteur. Cette augmentation répartit toute la masse du métal liquide uniformément sur toute la longueur du moule cylindrique.

La figure.11 représente comment les particules du métal liquide sont réparties suivant les différents vitesses.

1. Coquille
2. Arbre de transmission
3. Moteur
4. Carcasse

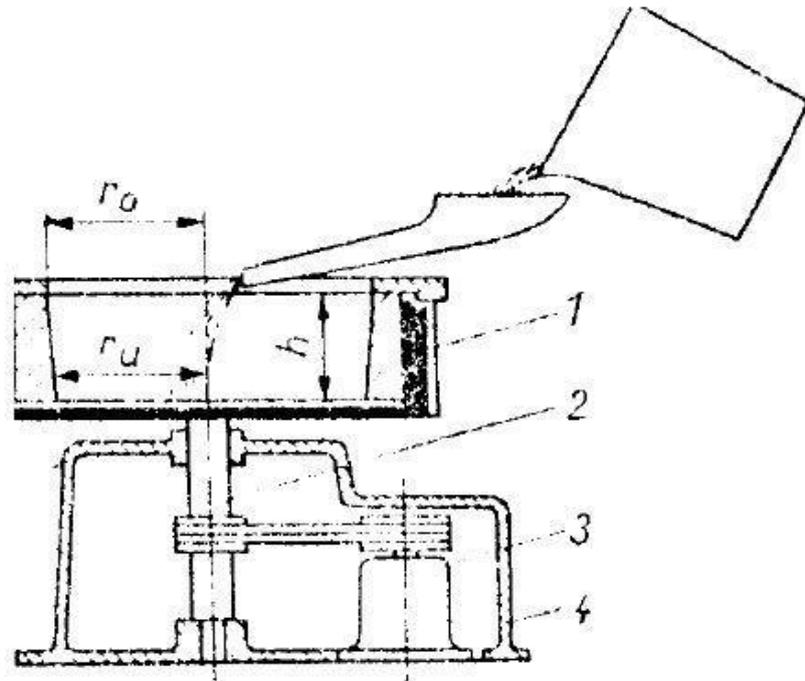


Figure 11

La coulée par centrifugation s'est beaucoup développée en raison des avantages qu'elle présente. Ce procédé est utilisé surtout pour les pièces de révolutions telles que tubes, couronnes etc....

En général le moule est métallique, mais il peut être garni intérieurement d'un revêtement réfractaire. Le métal liquide est coulé à partir d'une poche à travers une gouttière, le volume du métal coulé est déterminé à l'avance. Le remplissage du moule se fait soit par la rotation du moule, soit par rotation de la gouttière.

Le moulage par centrifugation peut être vertical figure.11 ou horizontal figure.12. Le moulage horizontal est utilisé lorsque la longueur du cylindre à mouler est très supérieure à son diamètre.

Les avantages que présente ce procédé sont :

- Aucune perte de métal.
- Propriétés mécaniques élevées du produit coulé.
- Structure à grains fins.
- Possibilité d'obtenir des pièces bimétalliques.
- Rendement élevé.

L'inconvénient réside dans le coût élevé des équipements et installations.

1. Couronne de déversement
2. Coquille
3. Entonnoir de coulée
4. Tube coulé
5. Galet

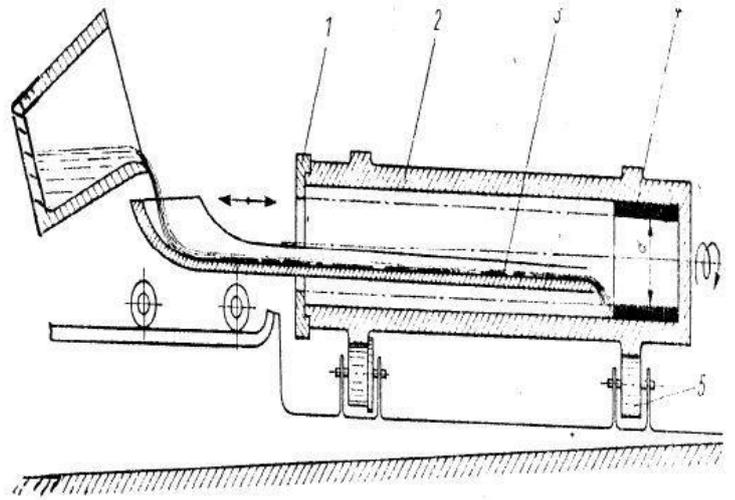


Figure 12

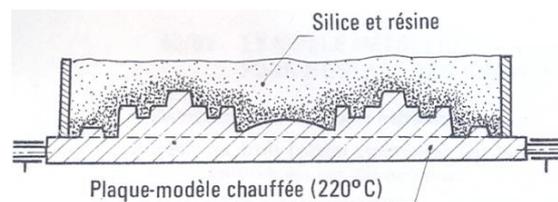
IV.5 Moulage en carapace (Procédé Croning)

Le métal en fusion, est coulé dans un moule composé de deux coquilles appelées carapaces ou masques. Le procédé est nommé moulage en carapace ou procédé croning: il s'agit d'un moulage à modèle permanent.

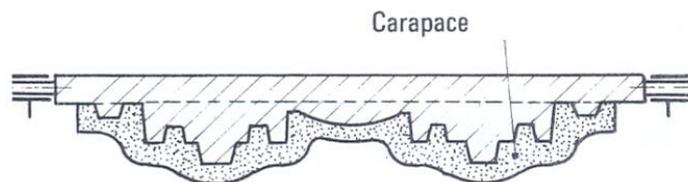
Principe du procédé

Etape 1: Exécution des carapaces

- fabriquer une plaque (modèle métallique en bronze, en aluminium, en acier ou en fonte).
- chauffer la plaque modèle à environ 200 à 300°C.
- verser sur la plaque modèle chauffée un mélange de grains de silice (sable) et 5 à 10% de résine thermodurcissable (indéformable à la chaleur après solidification): une partie de ce mélange fond au contact de la plaque modèle et forme ainsi en 15 secondes une carapace de 4 à 8mm d'épaisseur.

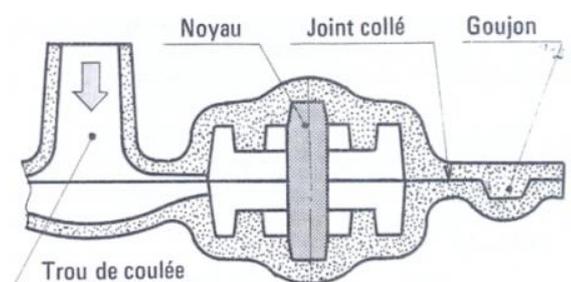


- retourner la plaque modèle et mettre la carapace dans une étuve pendant 1 à 2 minutes à une température de 300°C: la carapace devient très dure et rigide. La surface intérieure en contact avec la plaque modèle est parfaitement lisse, ce qui va donner à la pièce moulée un état de surface meilleure que celui du moulage en sable.



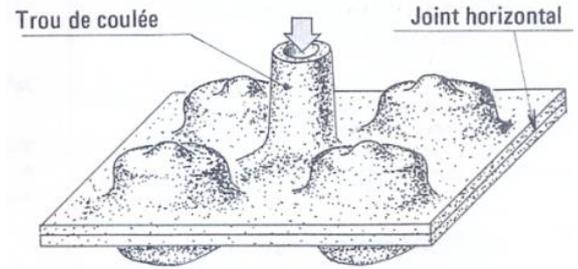
Etape 2: Exécution du moule

Les carapaces doivent être assemblées avec des noyaux et collées.

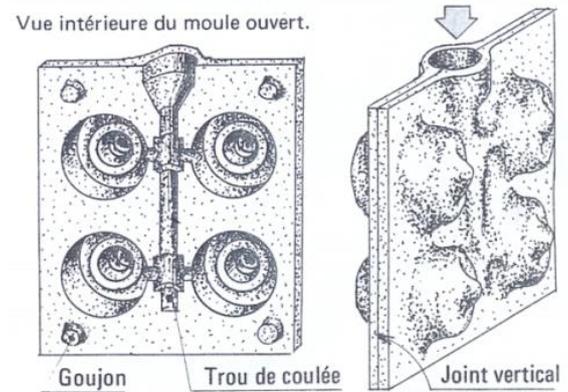


Note:

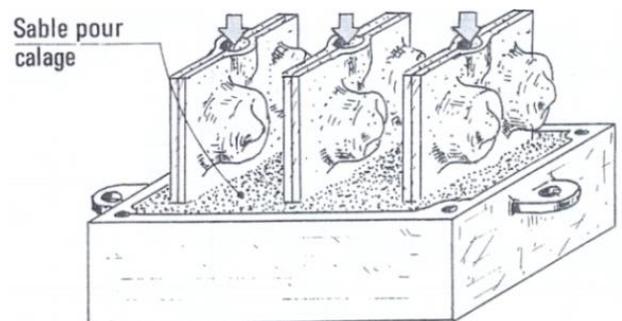
- Si vous choisissez de faire un moule à joint horizontal, le résultat est le suivant:



- Si vous choisissez de faire un moule à joint vertical, le résultat est le suivant:



et les moules doivent être placés dans un châssis plein de sable ou de grenailles de fonte afin d'éviter l'ouverture des carapaces.



- Les trous d'évent ne sont pas indispensables car les carapaces sont perméables (lors de la coulée la résine brûle en contact avec le métal en fusion en provoquant une excellente porosité).

Étape 3: Coulée + ouverture du moule + décochage + ébarbage.

L'opération d'ouverture du moule se produit en brisant les carapaces.

Avantages et inconvénients du procédé

- Le procédé crouching favorise l'obtention des pièces brutes avec des tolérances dimensionnelles et de forme beaucoup plus faibles qu'avec le moulage en sable. Les frais d'usinage sont alors diminués.
- Le coût de fabrication élevé de la plaque modèle et le prix non négligeable de la résine font que ce procédé n'est utilisé que pour mouler des pièces petites ou moyennes en grande série (plus de 500 pièces).
- Les plaques modèles en fonte sont meilleures que celles en aluminium vue l'usure et la dilatation thermique (imprécision dimensionnelle) de ces dernières, ce qui fait que l'aluminium est généralement recouvert d'une couche de chrome pour augmenter sa résistance à l'usure.
- Ce procédé favorise l'obtention des engrenages coniques.

IV.6 Moulage à la cire perdue

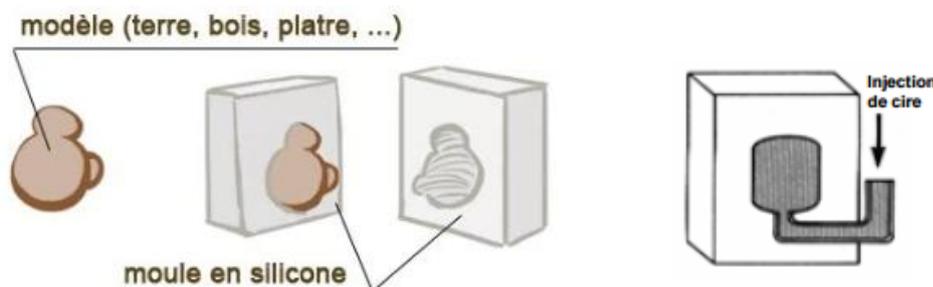
Ce procédé de moulage, s'applique à tous types de pièces mécaniques, des petites aux grandes dimensions, de quelques grammes à des pièces allant jusqu'à 25 Kg, de formes simples à des formes compliquées, de tolérances larges (JS 12) à des tolérances plus réduites et de rugosité Ra de 1,6 à 0,8µm. Ce procédé s'applique à la fonderie des matériaux à haut point de fusion impossible dans des moules métalliques. Le moule, en matériau réfractaire (céramique), est composé d'une seule pièce.

- Principe du procédé

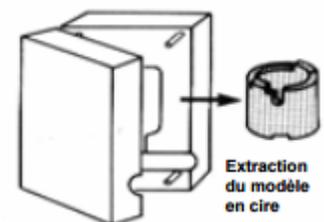
Soit à produire la pièce suivante par moulage à la cire perdue:



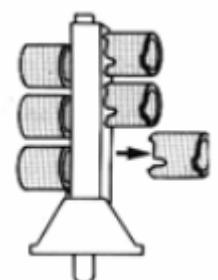
Etape 1: Elaboration d'un moule (qui peut être métallique: en aluminium, en bronze ou en laiton usiné avec une grande précision et parfaitement polis, ou en silicone où le modèle est en bois, en argile ou autre) comportant l'empreinte de la pièce. Ses dimensions sont déterminées en tenant compte de retraits de la cire, du métal coulé et de la dilatation du revêtement réfractaire du moule.



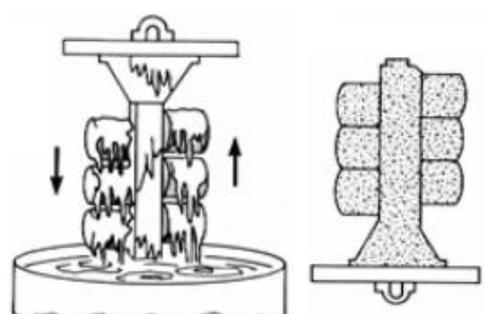
Etape 2: Elaboration des modèles en cire: injection de la cire sous forte pression



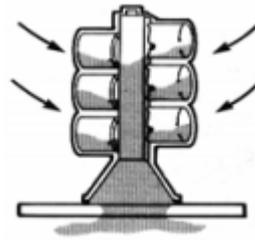
Etape 3: Elaboration de la grappe: réunion des modèles en cire selon la masse de la pièce.



Etape 4: Saupoudrage: immersion de la grappe dans un matériau réfractaire afin d'obtenir une épaisseur suffisante pour résister aux différentes manutentions et au poids de l'alliage après coulée.

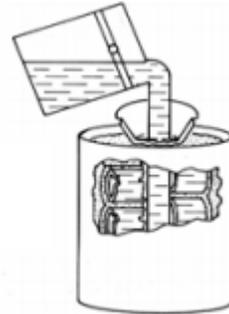


Etape 5: Chauffage: élimination de la cire

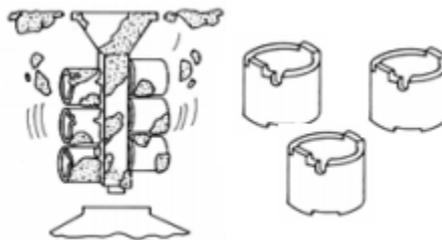


Etape 6: Séchage puis cuisson à l'autoclave de la barbotine pour durcir la céramique

Etape 7: Coulée de l'alliage dans le moule en céramique sous lequel on fait le vide



Etape 8: Destruction de la carapace pour libérer les pièces par jet d'eau sous pression ou décochage + tronçonnage des pièces de la grappe + ébavurage à la meule + polissage au jet de sable



Note:

- Dans plusieurs cas, on procède à des tests de radiographie pour s'assurer de l'intégralité des pièces.
- Ce procédé est utilisé pour fabriquer des pièces de grande précision pour l'industrie aérospatiale, de l'équipement médical (les prothèses dentaires), des pompes à gaz, des soupapes, des caméras, des cames, des objets d'art, des bijoux, des porte-outils de coupe, etc.
- Ce procédé est utilisé pour façonner des matériaux difficiles à mouler et difficiles à usiner tel que les aciers inoxydables, les alliages de nickel et les alliages de cuivre.

Avantages et inconvénients du procédé Le moulage à la cire perdue:

- permet une production en grande série de pièces complexes qui seraient difficiles ou impossibles à obtenir avec d'autres procédés de moulage ou par usinage.
- permet de reproduire des détails compliqués avec une grande précision et une rugosité faible.
- est utilisable pour des métaux disposant d'une très haute température de fusion.
- ne permet pas d'avoir des pièces massives.
- induit un coût d'outillage élevé pour des pièces de masses supérieures à 12 Kg.