Université de Jijel
Faculté des sciences et de la technologie
Département de génie mécanique

Brochure du TP de Moulage au Sable à Vert

Application :
Coussinet d'une roue de brouette

Module
Techniques de fabrication conventionnelles et avancées (TFCA)

Préparé par
Dr. Gueraiche Larbi

Master 1 Construction mécanique
Année universitaire 2026 - 2027

TP : Moulage au Sable à Vert d'un coussinet d'une roue de brouette

1. Objectifs du TP

- Apprendre des connaissances sur la fonderie et le procédé de moulage au sable à vert.
- Réalisation d'une pièce par la technique de moulage au sable à vert (Coussinet d'une roue de brouette).
- Recycler le plomb.

2. Généralités sur la fonderie

2.1. Définition

La fonderie est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour reproduire fidèlement, après refroidissement, une pièce donnée. Cette pratique est techniquement et économiquement intéressante car elle élimine autant que possible les travaux ultérieurs de finition.

2.2. Terminologie de fonderie

Moule : Enveloppe rigide qui va recevoir un métal ou un alliage en fusion.
Châssis : Cadre en métal ou en bois qui va maintenir le sable comprimé autour du modèle.
Plan de joint/ Joint de moule : Zone de séparation entre les châssis. Il faut enduire ce dernier par un agent démoulant comme le talc industriel.
Modèle : Objet en bois, résine ou métal destiné à être reproduit.
Dépouille : Angle de dégagement prévu sur le modèle afin de pouvoir l'extraire du moule sans provoquer l'effritement du sable. Valeur usuelle de la dépouille : 2 à 3 %
Noyau : Réalisé en sable, il permet d'obtenir les formes intérieures. Il est confectionné dans une boite à noyau.
Canaux d'alimentation : Ce sont les conduits de coulée permettant d'amener le métal en fusion dans l'empreinte du moule.
Event : Canal destiné à faciliter l'échappement et le refoulement des gaz et de l'air présent dans le moule au moment de l'arrivée du métal en fusion.
Retassure : Le Principal défaut de fonderie dont la cause est la contraction de l'alliage due au retrait suite au refroidissement de la matière (voir rubrique dilatation thermique).
Retrait : Réduction de dimensions de la pièce due au refroidissement du métal.
Masselotte : Excédent de matière qui permet de déplacer la retassure hors de la pièce.

Décochage : Opération qui consiste à libérer la pièce du moule lorsque le métal est solidifié.
Ebarbage : Opération qui consiste e enlever/ébavurer les différentes parties superflues (canaux d'alimentation, masselottes, évents ...).

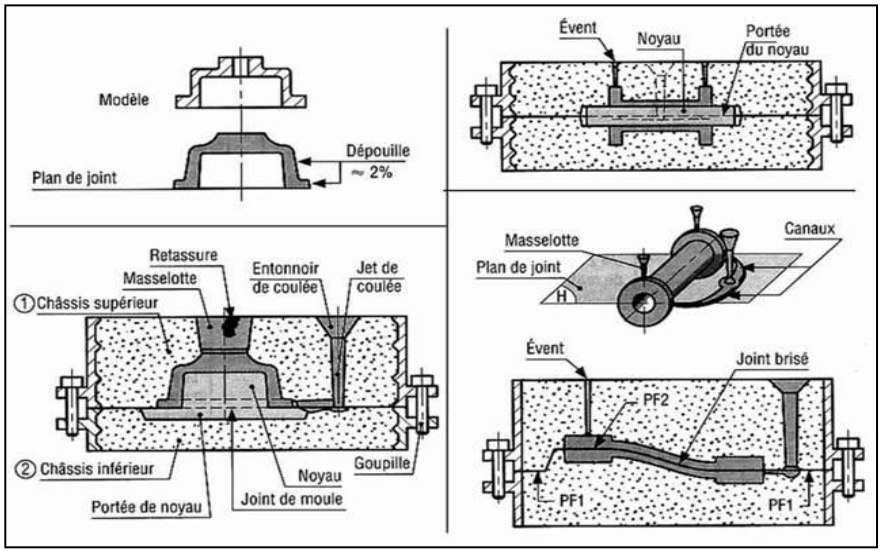


Figure 1: Moulage au sable.

2.3. Technique de moulage au sable à vert

2.3.1. Principe

En technique de moulage à sable vert, les deux parties principales du moule, le fond et le dessus, sont maintenues en sable vert par deux châssis, généralement en bois, qui comportent des douilles pour goupilles/goujons de centrage afin d'assurer le bon positionnement des deux demi-moules, Figure 2 .

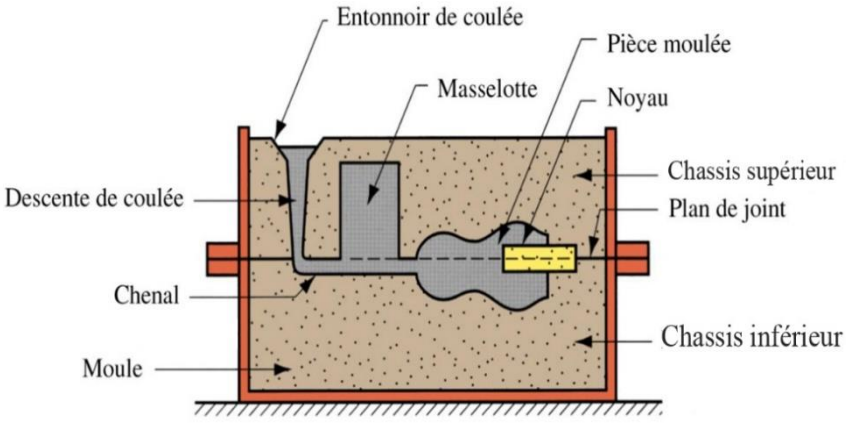


Figure 2 : Principe du moulage au sable vert.

Les éventuels noyaux sont réalisés en sable. Lors du décochage, il est important d'éliminer ces noyaux et de ne pas mélanger le sable (siliceux ; $T_f = 1710°C$) dont ils sont composés au sable noir qui sera réutilisé.

Aujourd'hui, cette méthode est principalement utilisée pour des pièces de formes simples et pour laquelle les épaisseurs de toiles (parties minces de la pièce) sont relativement importantes.

L'état de surface de la peau de la pièce est caractéristique de la fonderie traditionnelle, même si l'on prend soin d'y ajouter des agents de surface.

2.3.2. Composition du sable à vert

Le sable à vert est principalement composé de silice cristallisée sous forme de quartz et d'argile sous la forme de bentonite. Avant utilisation du sable à vert, il faut mesurer le taux d'humidité et le ramener à 6%. Il est utilisable après avoir été convenablement humidifié, aéré et tamisé. L'argile humidifiée « bentonite » sert de liant entre les grains de silice de granulométrie bien précise, par enrobage de ces grains. Le sable à vert est de couleur brune-jaune lorsqu'il est neuf, mais il se colore très rapidement en noir au contact avec le métal chaud, d'où l'appellation de sable noir. Il est réutilisable à l'infini une fois remis en condition : tamisé, aéré et humidifié.

2.3.2.1. Sable

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique (coquilles, squelettes de coraux…) dont la dimension est comprise entre 0,063 mm (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires.



Figure 3 : Sable.



Figure 4 : Bentonite.

2.3.2.2. Bentonite

C'est une argile colloïdale connue sous le terme de terre à foulon, elle peut être considérée comme une smectite, étant essentiellement constituée de montmorillonite $(Na, Ca)_{0.33}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2(H_2O)_n$ (80 %) qui est une argile ce qui explique sa capacité de rétention d'eau car la montmorillonite est un type de smectite particulièrement gonflant. On

trouve également d'autres minéraux comme le quartz, le mica, le feldspath, la pyrite ou la calcite.

2.3.2.3. Mélange Sable-Bentonite

Les mélanges sable/bentonite sont fréquemment utilisés comme barrière de confinement dans la construction de centres d'enfouissement techniques, particulièrement en l'absence de sols naturels imperméables. La complémentarité des propriétés des deux matériaux, la bentonite et le sable, les rend très appropriés pour la réalisation des fonds étanches de ces centres. La présence du sable constitue le squelette qui donne au mélange sa résistance et sa stabilité. La bentonite remplit les vides entre les particules de sable et assure ainsi au mélange sa faible conductivité hydraulique qui repose largement sur les propriétés de la bentonite et en particulier sa capacité de gonflement, permettant la création d'un milieu continu. Pour l'obtention d'une conductivité hydraulique faible, il est essentiel d'obtenir une répartition uniforme de la bentonite à travers tous les pores du mélange. En outre la densité de la bentonite dans les pores doit être la plus élevée possible. Ceci peut être obtenu par un compactage optimal du mélange (Sable/Bentonite).

Généralement, plus on augmente la proportion de bentonite dans le mélange, plus la conductivité hydraulique de ce dernier diminue. Mais en raison du coût de la bentonite, l'ajout doit être maintenu dans des proportions qui garantissent un bon fonctionnement de la barrière étanche conformément à l'état de l'art. En pratique, le pourcentage de bentonite dans un mélange sable/bentonite utilisé pour la réalisation d'une barrière étanche varie entre 4 et 12 %

2.4. Etapes de moulage au sable à vert

Le moulage au sable à vert se déroule suivant les étapes (a-i) de la Figure 5.

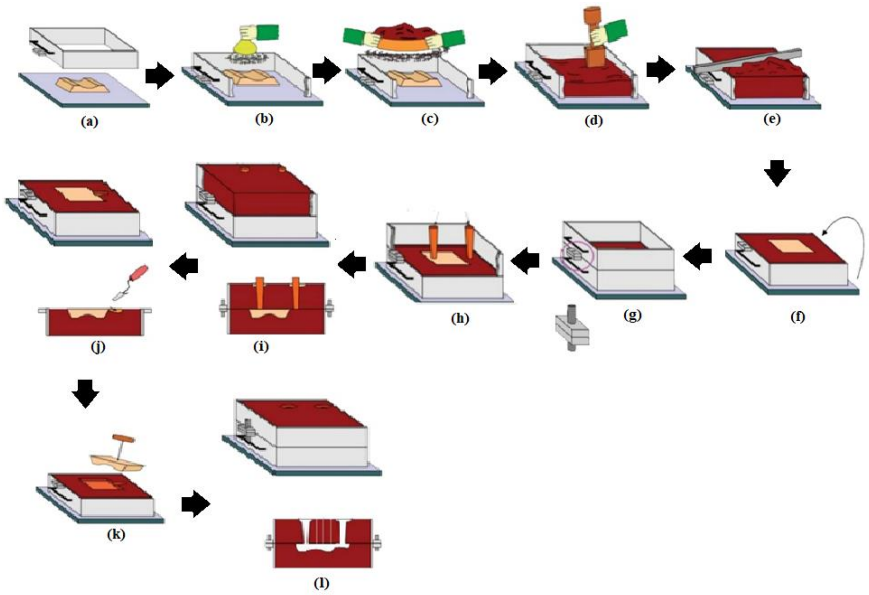


Figure 5: Etapes de moulage au sable à vert.

a) Mise du châssis inferieur sur la table déjà bien nettoyée et enduite du talc localement. Ensuite, la pose du modèle au centre du châssis.
b) Pulvérisation du talc ou de l'agent démoulant sur ce dernier.
c) Recouvrement du châssis avec du sable à vert déjà préparé.
d) Compactage du sable à vert.
e) Enlèvement d'excès du sable en dessus de châssis avec une truelle.
f) Retournement du châssis sur la face où il y a la pièce.
g) Positionnement du châssis supérieur sur le châssis inférieur à l'aide de deux goujons de centrage.
h) Emplacement des deux mandrins pour créer les trous de l'entonnoir de coulée et de l'évent. L'évent sert à dégager les gaz pondant l'injection de métal.
i) Remplissage du châssis supérieur avec du sable vert et enlèvement d'excès du sable du dessus de châssis avec la truelle de la même façon qu'en étape (e).
j) Enlèvement du châssis supérieur et création d'un un canal d'alimentation pour que le métal fondu puisse arriver à l'empreinte.
k) Enlèvement du modèle et soufflage pour nettoyer la cavité.
l) Fermeture du le moule (Le châssis supérieur sur le châssis inférieur) en utilisant les deux goujons de centrage.
m) Finalement, le moule est prêt à être utiliser.

2.5. Retrait

C'est un phénomène physique de contraction du métal (ou alliage) lors de sa solidification (recristallisation). Son existence oblige le modeleur à prévoir sur le modèle des dimensions supérieures à celles de la pièce.

3. Défauts de moulage

3.1. Retassures

Ce sont des cavités ouvertes (vides) ou fermées à contours rugueux, localisées dans les dernières portions de métal solidifié. Elle se produit à cause de la contraction de volume subie par le métal liquide au cours de sa solidification. Pour l'éviter on la comble par l'alliage liquide au fur et à mesure de sa formation soit :

- Prévoir un excès de matière appelé masselotte auquel on les localise.
- Diriger la solidification.

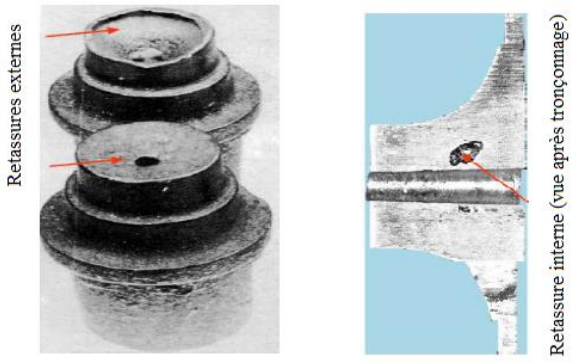


Figure 6: Retassures internes et externes.

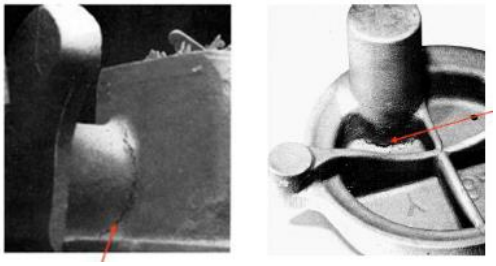


Figure 7: Criques.

3.2. Criques

Les tensions internes à la pièce dues aux différentes phases du matériau ainsi qu'au glissement de l'alliage dans le moule conduisent à l'apparition de criques. Ce sont des ruptures partielles (déchirures) qui ont lieu à de hautes températures en présence de petite quantité d'alliage encore liquide, sous l'effet d'efforts internes résultants de l'inégalité de retrait ; Figure **7**.

Les causes des criques se subdivisent en deux catégories :

- Tracé défectueux : différences d'épaisseur importantes, moulage trop ramifié.
- État du moule : rigidité, déformation, rugosité.

3.3. Soufflures

Il s'agit de cavités à parois lisses crées et occupées par les gaz.

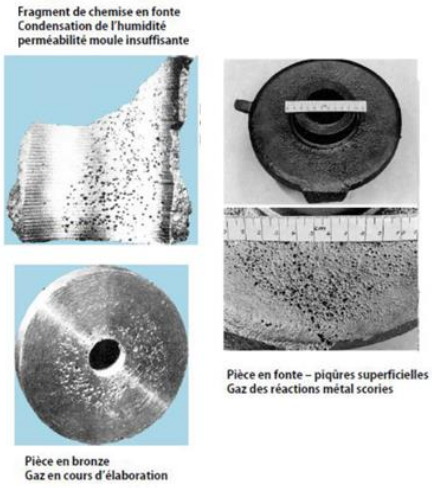


Figure 8: Soufflures.

L'origine de ces gaz revient :

- À l'air entrainé pendant le remplissage et non évacué (perméabilité moule),
- Réaction métal liquide - moule,
- Gaz formés lors des réactions d'élaboration,

- Gaz provenant du moule (humidité, agglomérats, additifs, ...etc.),
- Dissolution des gaz,
- Forte solubilité des gaz dans le liquide.

Pour remédier à ce phénomène on doit :

- Supprimer les sources des gaz
    - Dégazage avant solidification,
    - Poteyages non réactifs. Poteyage est l'application d'une substance protectrice sur les parois intérieures d'un moule ou d'un creuset,
- Améliorer l'évacuation des gaz
    - Évents,
    - Tirage d'air,
    - Perméabilité moule,
    - Contrôler l'humidité des sables,
    - Améliorer le tracé des conduites de remplissage.

3.4. Ségrégations

Leur origine revient à l'hétérogénéité chimique liée aux conditions de refroidissement ou bien à l'hétérogénéité chimique liée à la gravitation. Il existe deux types de ségrégation : ségrégation majeure directe et ségrégation mineure (micro-ségrégation).

Remède à suivre :

- Traitement d'homogénéisation à haute température,
- Traitement thermomécanique (alliages de corroyage),

4. Manipulation

4.1. Matières de la manipulation

- Le sable
- La bentonite
- Argile
- Plomb

4.2. Equipements et outillages de la manipulation

- Four à creuset
- Creuset en acier
- Bouteille de butane
- Bruleur d'étanchéité
- Thermocouple et chaine de mesure de température

- Le talc
- Deux châssis en bois
- Pied à coulisse
- Truelle
- 2 clous
- La colle rapide : SOMA fix S663 ou ABC sealants.
- Une scie
- Un pinceau
- Outil pour damer

4.3. Sécurité

- Les moufles
- Les lunettes
- La louche

4/ Déroulement du moulage au sable à vert

Pour mouler en sable à vert le coussinet de la roue d'une brouette de la figure 9, on suit les étapes ci-après :

- D'abord, il faut bien penser à la direction d'ouverture du moule et au plan de joint.
- Préparation du sable à vert : Préparer un mélange homogène de (9/10) de sable partiellement humidifie (6%) avec (1/10) de bentonite.
- Préparation du moule en sable.
- Préparation du noyau en sable en utilisant la boite à noyau en PLA imprimée en 3D.
- Préparation de la fusion : On met le plomb à recycler dans le creuset et on le place à l'intérieur du four à creuset. L'échauffement se fait par un bruleur d'étanchéité à gaz de butane. On chauffe jusqu'à la formation du laitier (T= 327°C). Si possible, mesurer la variation de la température en fonction du temps jusqu'à la fusion totale du plomb.
- Moulage du coussinet en suivant les étapes de la Figure 5.
- La coulée du métal : On place le moule sur le sol pour des raisons de sécurité et on enlève les scories qui flotte sur le laitier dans le creuset. Ensuite, on échauffe les parties du moule au chalumeau pour les durcir. Puis, on coule le plomb dans l'empreinte à travers l'entonnoir **conique** jusqu' à ce qu'il sorte de l'évent.
- Destruction du moule en sable à vert et décochage de la pièce.
- Ebarbage et finition de la pièce.



Figure 9: Coussinet de la roue d'une brouette.

5. Compte-rendu

1. Introduction
2. Décrire les différentes étapes de moulage au sable vert du coussinet réalisé.
3. Expliquer comment on a mesuré la température du laitier en plomb.
4. Donner le temps de fusion du plomb compté au cours de la manipulation.
5. Quel est le coefficient de retrait du plomb ?
6. Mesurer les dimensions du modèle au cours de la manipulation et rapporter son dessin de définition au compte-rendu.
7. En utilisant les outils de moulage de SolidWorks, extraire les parties du moule métallique correspondant et donner son assemblage 3D.
8. Quelles sont les difficultés majeures rencontrées au cours du moulage du coussinet ?
9. Est-ce qu'il y'a des défauts de fonderie. Si oui, quels sont leurs remèdes ?
10. Donner une conclusion à votre manipulation.