

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention

D'un Diplôme de Master en Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et productique

Thème

**CONCEPTION ET REALISATION
D'UN MOULE ET UNE
MACHINE DE ROTO-MOULAGE**

Réalisé par :

- DRAI NASSIM
- ABELATIF OUSSAMA

Promoteur :

ABADA MOURAD

Co-Promoteur :

MOKHTARI AHCENE

Année Universitaire 2022/2023

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah de nous avoir aidés à atteindre ce stade de notre parcours académique et de nous avoir fourni les bonnes personnes qui nous offrent aide et conseils.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien constant, les conseils et l'assistance de nos superviseurs, le docteur Mourad Abada et le docteur Mokhtari Ahcene, donc une appréciation significative et un grand merci pour eux deux, nous tenons également à remercier l'équipe de l'atelier qui a aidé beaucoup dans notre réalisation et partagé avec nous des conseils utiles.

Sans oublier, tous les trucs universitaires qui nous ont aidés dans notre cheminement, nos incroyables professeurs, nos collègues qui nous soutiennent toujours.

Le meilleur pour la fin, notre famille mérite une gratitude sans fin pour leur amour inconditionnel, leur soutien et leurs encouragements tout au long de notre vie académique et professionnelle, nos amis méritent également une part de notre gratitude pour la joie qu'ils ont offerte dans nos bas et se soucient de nous.

RESUME

Le roto-moulage est un procédé de transformation des matières plastiques qui permet principalement la réalisation de pièces creuses de grandes dimensions, ni lignes de soudure. Ce procédé est connu depuis une cinquantaine d'années, mais son utilisation est restreinte à des pièces peu ou pas techniques : silos, balises, jouets. Les entreprises de roto-moulage sont généralement de petites sociétés, utilisant un savoir-faire empirique, et qui sont peu génératrices d'innovations. Les inconvénients majeurs du roto-moulage sont aujourd'hui le temps de cycle et la non maîtrise du procédé, il est nécessaire d'améliorer l'adéquation entre le procédé de roto-moulage et le matériau.

Mots clés : Roto-moulage – polymères – polythène - moulage

خلاصة

الروتو-مولدينج هو عملية لتحويل المواد البلاستيكية تتيح بشكل رئيسي صنع قطع مجوفة ذات أبعاد كبيرة وبدون خطوط لحام. تعود معرفة هذه العملية إلى حوالي خمسين عامًا، ولكن استخدامها محدود للأجزاء غير التقنية أو ذات التقنية المحدودة، مثل الصوامع والمؤشرات والألعاب. تكون شركات الروتو-مولدينج عادة شركات صغيرة، تعتمد على خبرة تجريبية، وتكون ضعيفة في توليد الابتكارات. وتشمل العيوب الرئيسية لعملية الروتو-مولدينج في الوقت الحالي فترة الدورة الزمنية الطويلة وعدم السيطرة على العملية، ومن الضروري تحسين التوافق بين عملية الروتو-مولدينج والمواد المستخدمة.

كلمات مفتاحية: روتو-مولدينج - بولييمرات - بولييثين - صب

1 Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
<u>CHAPITRE I</u>	<u>3</u>
1 MOULAGE INJECTION PLASTIQUE.....	4
1.1 Introduction	4
1.2 Le procédé injection [4].....	4
1.3 Le cycle d'injection	5
1.4 La presse d'injection.....	5
1.5 VIS SANS FIN	7
1.5.1 Définition	7
1.5.2 Système vis et pignon.....	8
1.5.3 Système vis et trou taraudé.....	8
2 Machine du roto-moulage [2].....	9
2.1 Description des machines du roto-moulage.....	9
2.2 Type de machine de roto-moulage.....	9
2.2.1 Machines « bascule et rotation »	9
2.2.2 Machine à carrousel.....	10
2.2.3 La machine va et vient (type Shunte SRM)	11
2.2.4 Machines de navette	12
2.2.5 Balançoire de moule.....	12
2.2.6 Vitesse du moule	15
2.2.7 FOUR	17
3 Roto-moulage	19
3.1 Définition [3]	19
3.2 Étapes du roto-moulage	20
3.3 Avantages du roto-moulage [5]	21
3.3.1 Avantages techniques	21
3.3.2 Avantages économiques	22
3.3.3 Avantages environnementaux.....	22
3.4 Les inconvénients de roto-moulage	22
3.5 Domaine d'application du roto-moulage.....	23
3.5.1 Agriculture et sous-traitance agricole.....	23

3.5.2	La sous-traitance industrielle.....	23
3.5.3	Le nautisme et l'industrie marine.....	24
3.5.4	Le mobilier urbain.....	24
3.5.5	Le transport	24
3.5.6	Le sport.....	25
3.6	Empreinte dans roto-moulage [3].....	25
3.7	Système de refroidissement	25
3.8	Le retrait plastique	26
3.9	Le moteur utilisé.....	26
3.9.1	Moteur électrique	26
3.9.2	Moteur hydraulique.....	27
4	Le moule.....	28
4.1	Définition [2].....	28
4.1.1	Nomenclature	29
4.2	L'unité de fermeture.....	30
4.2.1	Unité de fermeture mécanique	30
4.2.2	Nomenclature	30
4.2.3	Unité de fermeture mixte.....	31
4.2.4	Nomenclature	31
4.3	Procédés de moulage	32
4.3.1	MOULES NON PERMANENTS	32
4.3.2	LES MOULES PERMANENTS.....	32
4.4	Le moulage sous pression.....	34
4.4.1	Principe.....	34
4.4.2	Machines	34
4.5	Etapes de fabrication d'une pièce moulée :.....	35
4.6	Refroidissement des moules	35
4.6.1	Rôle du refroidissement	36
4.6.2	Principe de refroidissement.....	36
4.6.3	Temps de refroidissement des pièces moulées :.....	36
5	Les polymères [1].....	36
5.1	Définition.....	36

5.2	Structures	37
5.2.1	Thermoplastiques	38
5.2.2	Thermodurcissables.....	40
5.3	Propriétés des polymères	41
5.3.1	Propriétés physiques.....	41
6	Conclusion.....	42
<u>CHAPITRE II</u>		44
1	INTRODUCTION.....	44
2	CONCEPTION DE LA MACHINE	45
3	Moteur électrique [Nema 34 de 8.5nm]	48
3.1	Spécification de moteur :.....	48
3.1.1	Spécifications électriques :.....	48
3.1.2	Spécifications physiques	49
4	Rapport de vitesse des axes	49
4.1	Calcul du rapport de vitesse : (poulie + courroie ronde)	50
4.2	Caractéristiques de la pièce	50
4.3	Calculs de la transmission de courroie	50
4.4	Rapport de vitesse (courroie) :.....	50
4.5	Calcul la longueur de courroie [1].....	50
4.6	Calculer le choix de moteur (asynchrone).....	51
5	CONCEPTION DU MOULE.....	52
5.1	Conception de la ligne de séparation	53
5.2	Plaques de guidage	55
5.3	Serrage	56
6	CALCUL DU POIDS DE LA CHARGE.....	57
7	ORIFICE D'AERATION (VENTILATION).....	57
7.1	FINITION DE SURFACE DU MOULE.....	58
8	DEMOULAGE.....	59
9	La matière utilisée	59
9.1	Principaux avantages du PE	59
9.2	Principaux Inconvénients du PE.....	59
9.3	Utilisations.....	60

9.4	Les avantages de Polyéthylène à base densité.....	60
9.5	Les inconvénients	61
<u>CHAPITRE III.....</u>		64
1	Introduction	63
2	Logiciel CAO	63
3	Conception	64
3.1	Assemblage du moule.....	69
4	Réalisation.....	72
4.1	Les poulies.....	72
4.2	Le moteur.....	73
4.3	La courroie.....	73
4.4	Le roulement.....	73
4.5	La surface guide.....	74
4.6	Les surfaces guide (moule).....	75
4.7	La tôle	76
4.8	Le soudage (surface guide + la tôle).....	76
5	Conclusion.....	78
Conclusion générale		79
<i>REFERENCE</i>		80

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Cycle d'injection	5
Figure 2: Presse d'injection	7
Figure 3: Vis sans fin	7
Figure 4 : Système vis et trou taraudé	8
Figure 5: Machine « bascule et rotation »,	10
Figure 6: Machine à carrousel.....	11
Figure 7: La machine va et vient.....	11
Figure 8 : Machine de roto-moulage de type navette, montrant l'ensemble de moules B dans le four et l'ensemble de moules A dans la zone de refroidissement et de service	12
Figure 9 : Dimensions d'oscillation du moule pour les bras décalés et droits.....	13
Figure 10 : moule cube sur le moule décalé	14
Figure 11: Moule cubique pivotant sur bras droit	15
Figure 12 :cycle du roto-moulage.....	20
Figure 13: étapes du roto-moulage	21
Figure 14: pièce plastique agricole.....	23
Figure 15: cuve de stockage.....	23
Figure 16: pièce dans le domaine maritime	24
Figure 17: outils urbain	24
Figure 18: canaux de kayak.....	25
Figure 19: Moteur électrique.....	27
Figure 20: moteur hydraulique	28
Figure 21: présentation de moule.....	29
Figure 22: Groupe de fermeture à genouillères.....	30
Figure 23: Groupe de fermeture mixte.....	31
Figure 24 : moulage en sable	32
Figure 25: Moulage en coquille	33
Figure 26: Moulage sous pression	34
Figure 27 :Macromolécule linéaire	37
Figure 28 :Homopolymère branché	37
Figure 29:Réseau	38
Figure 30:Polymère Amorphe	38
Figure 31:Polymères semi-cristallins.....	39
Figure 32:Polymère Cristallin	39
Figure 33: Morphologie des thermodurcissables.....	40
Figure 1: Ingénierie assistée par ordinateur dans le roto-moulage	44
Figure 2: Vue latérale d'une machine de moulage par rotation	45
Figure 3: Cadres de la machine.....	47
Figure 4: Machine rotative de roto-moulage	48
Figure 5: Le moteur électrique [Nema 34 de 8.5nm]	49
Figure 6 : Facteurs de conversion Δ pour les courroies classiques	51
Figure 7: Vue latérale du moule	53

Figure 8: Surface de guidage	54
Figure 9: Joint à recouvrement à angle	54
Figure 10: Plaques de guidage	55
Figure 11: assemblage des plaques découpées au plasma	56
Figure 12: Pince à bascule à action inverse	57
Figure 1: le moteur électrique	64
Figure 2:support de moteur	64
Figure 3 :arbre motrice	65
Figure 4: Les cadres	66
Figure 5: Poulie motrice (60mm)	67
Figure 6: Poulie réceptrice (165mm)	67
Figure 7: roulement	68
Figure 8:pied	68
Figure 9: surfaces guides	69
Figure 10: joint du moule	69
Figure 11: plans des surfaces latérale du moule	70

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: Le principe d'injection	6
Tableau 2 : Rapports de vitesse recommandés pour diverses formes de moules	16
Tableau 3 : Coefficients de transfert de chaleur	18
Tableau 4: Avantages et Inconvénients des thermoplastiques	39
Tableau 5: Avantages et Inconvénients des thermodurcissables	40
Tableau 6: Appellation et Symboles des matières plastiques	41
Tableau 1: Polyéthylène a base densité	60

INTRODUCTION GENERALE

Le principe de base du roto-moulage consiste à chauffer le plastique à l'intérieur d'un moule creux en forme de coque, qui est mis en rotation de sorte que le plastique fondu forme un revêtement sur la surface intérieure du moule. Le moule rotatif est ensuite refroidi afin que le plastique se solidifie à la forme souhaitée et la pièce moulée est retirée. Il existe de nombreuses méthodes qui peuvent être utilisées pour atteindre l'essentielle exigence de rotation, de chauffage et de refroidissement du moule.

Il a été estimé qu'environ 40% des machines de roto-moulage utilisées aux États-Unis sont fabriquées à la maison. Le pourcentage de machines fabriquées à la maison est encore plus élevé dans certaines autres parties du monde. En Algérie, cette activité vient de débiter et les personnes commencent à se concentrer sur ce métier afin de survivre sur des marchés très concurrentiels. Les systèmes d'acquisition de données et le contrôle des processus sur les machines commerciales les rendent également attrayantes et se comparent très favorablement à ce qui est disponible dans les technologies concurrentes telles que le moulage par soufflage, le thermoformage et le moulage par injection.

La plupart des personnes ayant des compétences générales en ingénierie ont tendance à considérer qu'une machine de roto-moulage n'est pas un équipement complexe. Alors que peu d'individus ou d'entreprises de moulage envisageraient de construire une machine de moulage ou une machine de moulage par injection, il n'y a pas eu une telle réticence à construire des machines de moulage par rotation. Cela a bien fonctionné pour certaines petites entreprises dans la mesure où cela leur a permis de répondre à des besoins internes et de satisfaire un marché local.

La stratégie construire ou acheter dépend de nombreuses circonstances et est souvent liée à la nature de l'entreprise et du marché local. Le caractère unique de la pièce peut dicter cette décision. Une entreprise peut être dans une entreprise d'ingénierie qui n'est pas directement impliquée dans les plastiques, mais elle achète actuellement des pièces creuses en plastique. Cela peut prendre une décision commerciale de les fabriquer en interne. De par son expertise générale en ingénierie, une telle entreprise peut être tout à fait capable de fabriquer une

machine simple pour faire tourner, chauffer et refroidir un moule pour fabriquer les pièces. La machine sera spécifique au produit mais sera aussi bonne ou meilleure que tout ce que l'entreprise pourrait acheter pour ses besoins, et sera certainement moins chère.

Un autre scénario courant est celui où une entreprise fabrique des produits à partir de plastique renforcé de fibres (FRP) et/ou de plastique thermoformé, mais souhaite élargir sa gamme de produits. Le roto-moulage est une méthode de fabrication étroitement liée et à partir de l'expertise de l'entreprise dans le travail des plastiques, ce n'est pas un grand défi pour elle de fabriquer une machine de roto-moulage pour de nouveaux produits similaires à ses lignes existantes, afin d'élargir sa clientèle. Il existe également de nombreux exemples d'individus ou d'entreprises qui utilisent des réservoirs ou des conteneurs pour distribuer ou stocker des insecticides et des produits chimiques, et ils décident de fabriquer leurs propres conteneurs de stockage parce que ceux-ci sont considérés comme trop chers ou ont une disponibilité limitée. Ou il peut y avoir une confidentialité associée au produit. Si la pièce moulée par rotation nécessite des polymères spéciaux, un traitement spécial ou des conditions de traitement spéciales, la décision commerciale logique peut être de construire une machine spéciale spécifiquement pour cette pièce particulière.

Dans notre expérience nous allons fabriquer un moule avec la machine ce moule est une aile de voiture qui compose d'une matière de Polyéthylène qui se jettent dans le moule qui fait un mouvement rotatif au même temps nous chauffée le moule avec certaine température pour prendre la forme finale

CHAPITRE I : Généralité

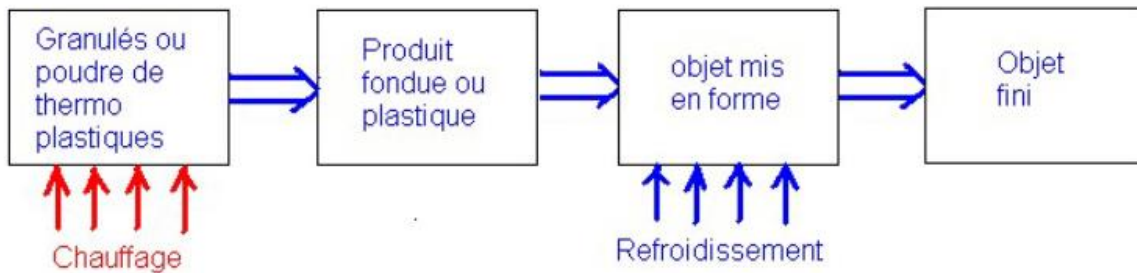
1 MOULAGE INJECTION PLASTIQUE

1.1 Introduction

L'injection plastique est l'une des meilleures méthodes pour produire en série des articles microtechniques. Nous recherchons des composants injectés, développons des instruments d'injection et les utilisons en raison de l'importance de cette technique dans la réalisation de pièces microtechniques. Théorie de fonctionnement Avec cette technique, des pièces avec des géométries complexes et des épaisseurs allant de 0,4 à 6 MM peuvent être créées. Au niveau de la vis de plastification dans le moulage par injection, le matériau thermoplastique (TP) est ramolli (à un état visqueux) avant d'être malaxé. Il est ensuite pompé vigoureusement sous pression. Injection sous haute pression du polymère fondu dans un moule froid à une ou plusieurs cavités. Lorsque la substance entre en contact avec des parois froides, elle prend une forme rigide qui peut être démoulée. [1]

La qualité d'un objet injecté dépend de trois critères :

1. La conception des formes de la pièce.
2. La conception et la qualité de réalisation de l'outillage (le moule).
3. Les conditions et les paramètres de moulage (injection).



1.2 Le procédé injection [4]

Au début du procédé, des pellets de résine (granulés) sont versés dans la trémie, point d'entrée du matériau. Les granulés sont ensuite chauffés et fondus à l'intérieur du cylindre en préparation de l'injection. Le matériau est injecté via la buse de l'unité d'injection et parcourt un passage, appelé carotte, puis remplit le moule via des canaux de coulée. Par la suite, le matériau refroidit et durcit, le moule est ouvert et la pièce moulée est éjectée. Pour terminer la pièce moulée, les sections de la carotte et des canaux sont coupées.

Il est essentiel que le matériau fondu soit uniformément injecté dans la totalité du moule, qui comporte bien souvent plusieurs cavités pour fabriquer simultanément plusieurs produits. Le moule doit être conçu dans cette optique, en l'équipant, par exemple, de canaux de coulée de mêmes dimensions.

L'injection plastique convient parfaitement à la production de masse. Toutefois, il est indispensable de bien connaître les conditions requises pour fabriquer des produits de haute précision : sélection du matériau, conception du moule et température et vitesse d'injection.

1.3 Le cycle d'injection

- 1) Ouvrir et fermer le moule
- 2) Verrouiller le moule
- 3) Injecter la matière fondue dans le moule
- 4) Maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes
- 5) Éjecter les pièces après refroidissement
- 6) Faire fondre la matière.

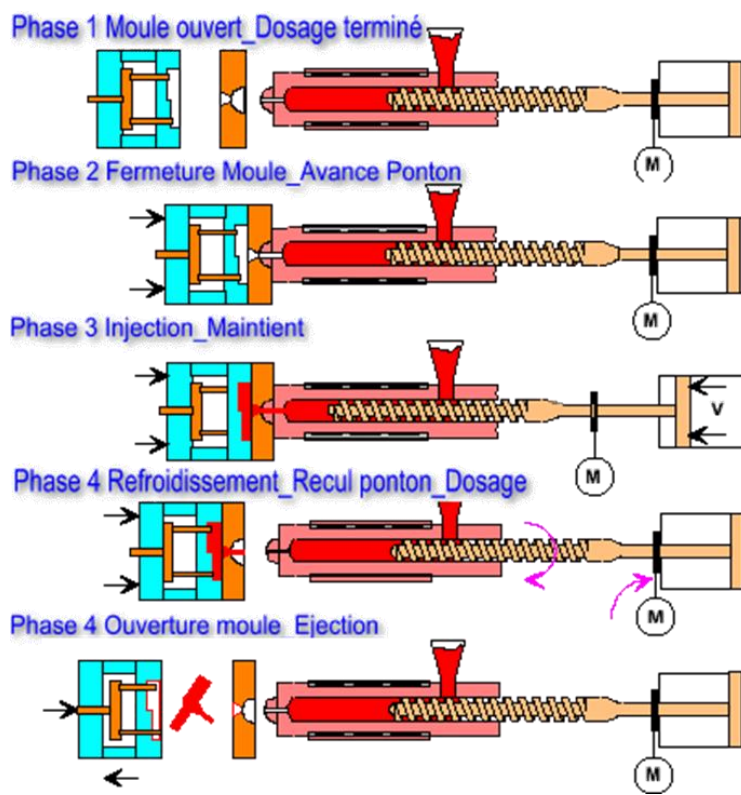
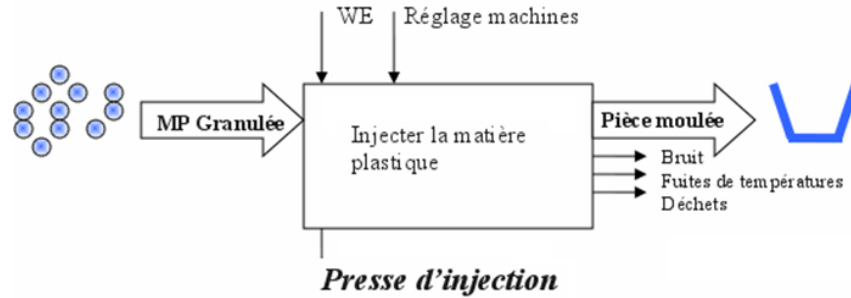


Figure 1 : Cycle d'injection

1.4 La presse d'injection

Un outil utilisé dans le processus de fabrication de pièces en plastique par injection est la machine de moulage par injection. C'est une technique clé pour le traitement des polymères et elle est fréquemment employée dans l'industrie.

Une machine de moulage par injection fonctionne de manière assez simple. Le plastique est chauffé et fondu à partir d'un état de granulés ou de poudre pour créer une substance plastique liquide. La forme et les propriétés du produit fini sont alors déterminées par l'injection de ce matériau dans un moule particulier.



La presse d'injection est composée de plusieurs parties essentielles : voici le tableau suivant

Trémie d'alimentation	C'est là que les granulés de plastique sont stockés et alimentés dans la machine.
Vis d'injection	Le plastique fondu est poussé de la trémie vers l'avant de la machine par une vis d'injection qui tourne.
Cylindre de plastification	Le cylindre stocke le plastique fondu et renferme la vis d'injection. Le plastique est chauffé pour maintenir son état liquide.
Buse d'injection	La buse à l'extrémité de la vis d'injection, connue sous le nom d'orifice d'injection, permet au plastique fondu de s'écouler dans le moule.
Moule	La forme et les spécificités du composant en plastique sont déterminées par le moule. Il est généralement construit en acier et comporte deux parties : une moitié fixe et une moitié mobile qui s'ouvrent et se ferment pour permettre l'injection du plastique fondu.
Système de fermeture	Le moule est maintenu fermé par ce mécanisme au fur et à mesure de l'introduction du plastique fondu. Il applique une pression suffisante pour contrecarrer la force de traction du plastique et conserver la forme de la pièce.
Système de refroidissement	Pour prendre la forme finale de la pièce, le plastique fondu doit être refroidi et durci après avoir été injecté dans le moule. Le système de refroidissement accélère généralement ce processus en utilisant de l'eau ou de l'air.

Tableau 1: Le principe d'injection

Description de la machine

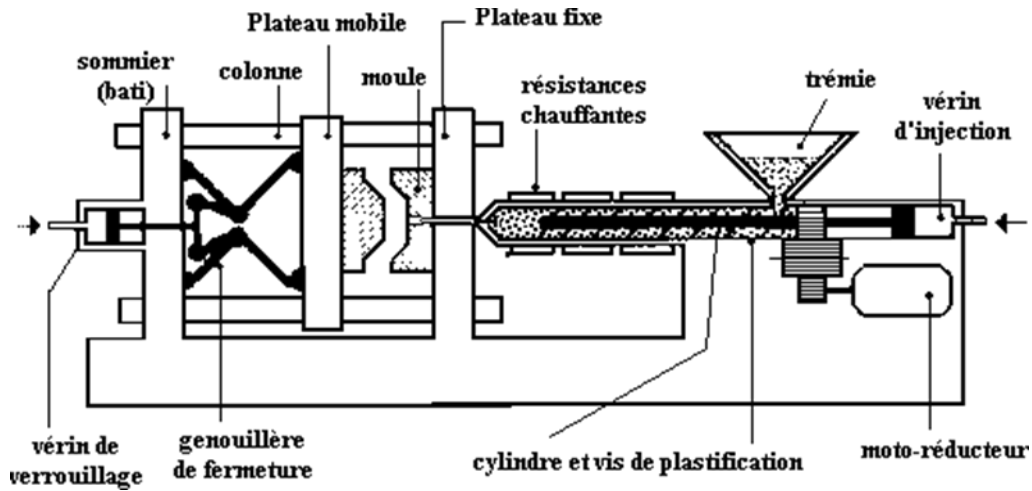


Figure 2: Presse d'injection

1.5 VIS SANS FIN

1.5.1 Définition

Est un cylindre qui a une ou plusieurs cannelures hélicoïdales qui lui donnent l'apparence d'une tige filetée. Il forme un engrenage gauche lorsqu'il est associé à un pignon (les deux axes ne sont pas dans le même plan), agissant comme une roue à une dent (ou plus, selon le nombre de cannelures)

Le vis sans fin est généralement associée à une roue dentée appelée roue à vis sans fin ou pignon à vis sans fin. La roue à vis sans fin possède des dents qui s'engrènent avec les filets de la vis sans fin. Lorsque la vis sans fin est mise en rotation, elle transmet le mouvement à la roue à vis sans fin, ce qui entraîne la rotation de la roue dans un mouvement perpendiculaire à l'axe de la vis.

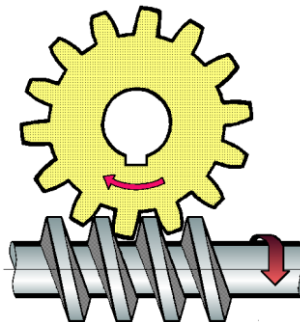


Figure 3: Vis sans fin

1.5.2 Système vis et pignon

Une méthode de transfert de mouvement rotatif entre deux axes est un système à vis et pignon. Il se compose généralement d'une vis filetée et d'un pignon (ou engrenage) qui sont conçus pour fonctionner ensemble afin de convertir un mouvement de rotation en mouvement linéaire ou l'inverse.

De nombreuses applications industrielles et mécaniques, telles que les presses, les machines-outils, les appareils de levage, les vérins, les étaux et la robotique, utilisent fréquemment le système à vis et pignon. En permettant la conversion d'un mouvement circulaire en un mouvement linéaire avec une grande précision et une capacité de charge adéquate.

1.5.3 Système vis et trou taraudé

Une vis et un trou taraudé correspondant sont utilisés dans un système de vis et de trou taraudé pour attacher deux choses ensemble. Le trou taraudé est un trou pré-usiné avec des filetages internes identiques correspondant aux vis.

La vis est insérée dans le trou taraudé et, en la tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, les filets de la vis s'engrènent avec ceux du trou taraudé, créant ainsi une liaison filetée solide entre les deux objets. Ce système permet de maintenir les objets assemblés de manière sécurisée.

Le taraudage peut être réalisé sur différents types de matériaux, tels que le métal, le plastique ou le bois, en utilisant des outils spécifiques appelés tarauds. Les tarauds sont des outils coupants qui permettent de former les filets internes du trou taraudé.

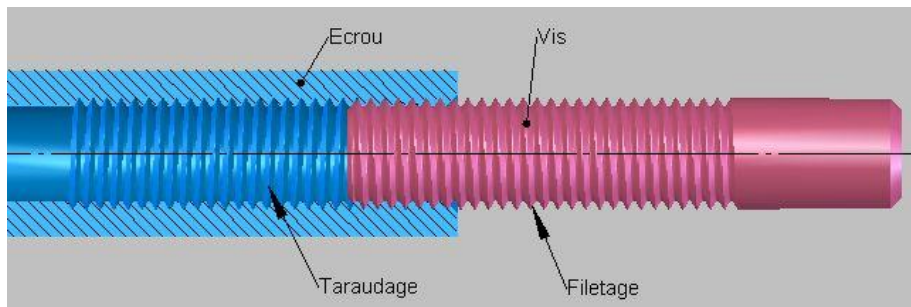


Figure 4 : Système vis et trou taraudé

2 Machine du roto-moulage [2]

2.1 Description des machines du roto-moulage

La machine de roto-moulage est une machine utilisée dans la production de roto-moulage. Un procédé de fabrication qui permet la création d'articles en plastique creux est le roto-moulage. Un moule rempli de poudre plastique est chauffé, mis en rotation et refroidi par une machine de roto-moulage.

Voici comment fonctionne généralement une machine de roto-moulage :

- La machine de roto-moulage est **chargée avec le moule vide**. Le moule peut avoir la forme appropriée pour le produit fini et est généralement composé d'acier ou d'aluminium.
- **La préparation du plastique** consiste à mesurer la bonne quantité de plastique en poudre et à le verser dans le moule. Selon les qualités requises pour le produit fini, la poudre peut être constituée de divers plastiques, dont le polyéthylène, le polypropylène ou le PVC.
- **Chauffage** : La chambre de chauffe de la machine reçoit le moule chargé. Pour faire fondre le plastique en poudre et l'enrober uniformément à l'intérieur du moule, la température est augmentée progressivement. Pour obtenir une dispersion uniforme du plastique fondu au cours de ce processus, le moule est souvent maintenu en rotation
- **Refroidissement** : La chambre de chauffe est refroidie une fois que le plastique a complètement recouvert la surface intérieure du moule. La circulation d'air et la brumisation d'eau peuvent être utilisées pour refroidir les moisissures. Cela permet au plastique de se solidifier et de prendre la forme du moule une fois fondu.
- **Démoulage** : Une fois le plastique solidifié, le moule est retiré de la machine de roto-moulage. Le produit final est démoulé, généralement à l'aide d'air comprimé ou d'autres dispositifs mécaniques.

Une gamme de produits en plastique creux, y compris des réservoirs, des conteneurs, des jouets, des pièces de véhicules, des articles de sport, etc., sont produits à l'aide de la machine de roto-moulage. Il est apprécié pour sa capacité à générer des pièces substantielles, robustes et sans soudure avec une répartition uniforme de l'épaisseur des parois.

2.2 Type de machine de roto-moulage

2.2.1 Machines « bascule et rotation »

Ce concept de conception d'une action de bascule autour d'un axe et d'une rotation complète de 360° autour d'un axe perpendiculaire, a été l'un des premiers utilisés pour le roto-moulage. Ce type de machine est représenté schématiquement à la figure 2.1. Il est généralement admis que les machines capables de fournir une rotation complète de 360° autour de deux axes perpendiculaires ont remplacé le concept « bascule et rotation ». Pendant longtemps, on a pensé que les machines rock-and-roll étaient mieux adaptées aux produits finis qui sont approximativement symétriques autour d'un axe central, tels que les lampadaires, les canoës et les kayaks. Cependant, ces dernières années, il y a eu un regain d'intérêt pour les machines rock-and-roll car elles offrent une

conception simple et ont l'avantage majeur qu'il est plus facile d'obtenir des services vers et depuis le moule. Il a également été constaté que le contrôle de la distribution d'épaisseur de paroi peut être aussi bon que celui obtenu sur une machine à rotation biaxiale, pour la grande majorité des formes de moules.

Dans une machine rock-and-roll, généralement un seul moule est monté dans le cadre du moule, la vitesse de rotation est faible (généralement 4 tr/min) et l'angle de basculement est inférieur à 45°. L'impact direct de gaz est une méthode efficace de chauffage pour les moules en tôle et est souvent utilisé dans les machines rock-and-roll. Si les jets de gaz sont projetés contre la partie inférieure ou inférieure de l'ensemble de moule, une simple enveloppe de tôle sur la partie supérieure de l'ensemble de moule est suffisante pour évacuer les produits de combustion. La proximité des jets de gaz avec le moule métallique est un facteur important dans le chauffage du moule. Les jets de gaz doivent toujours être à une distance fixe de la surface extérieure du moule pour éviter les points chauds. Évidemment, cela est plus facile à réaliser dans des moules cylindriques.

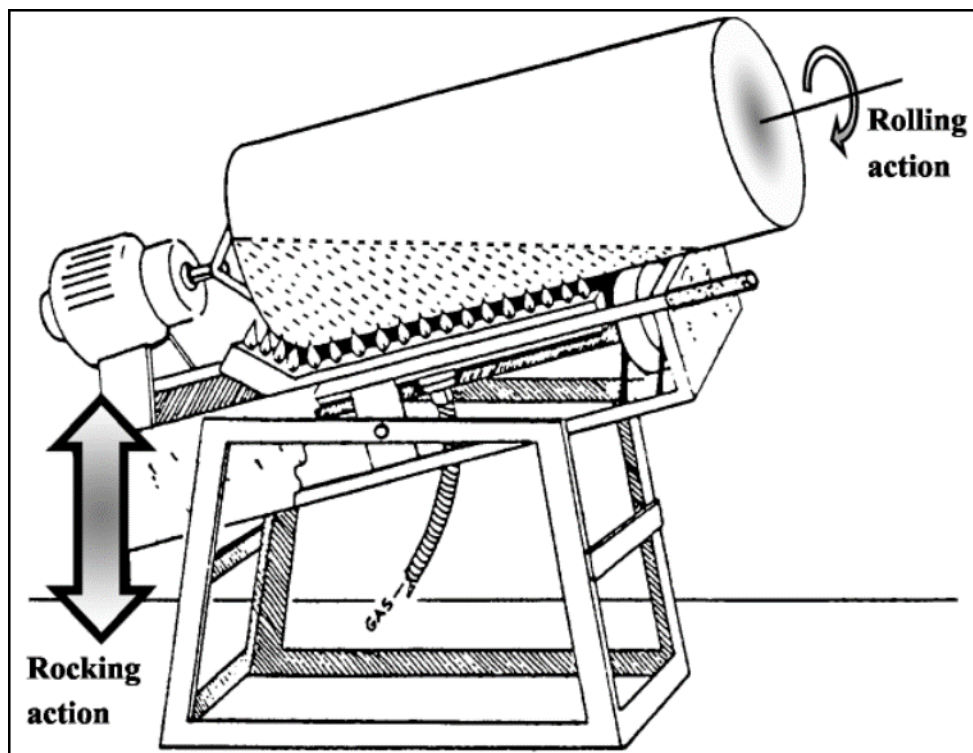


Figure 5: Machine « bascule et rotation »,

2.2.2 Machine à carrousel

Un équipement de production automatisé appelé carrousel déplace les pièces d'un poste de travail à un autre à l'aide d'une plate-forme tournante. Dans le secteur manufacturier, les machines à

carrousel sont fréquemment utilisées pour fabriquer des marchandises en grandes quantités, notamment des bouteilles, des pièces automobiles et des fournitures médicales.

Les machine à carrousel sont souvent conçues avec des stations de travail multiples disposées autour de la plate-forme tournante. Les pièces sont fixées sur des mandrins ou des outillages spécifiques et sont transférées d'une station de travail à l'autre sur la plate-forme tournante.



Figure 6: Machine à carrousel

2.2.3 La machine va et vient (type Shunte SRM)

La machine de roto-moulage de type va et vient est une machine de production de pièces en plastiques creuses qui utilise un processus de moulage par rotation.

La machine SRP est conçue pour produire des pièces en plastique de grande taille, telles que des bacs, des réservoirs, des kayaks, des toboggans, des bouées, etc. cette machine est équipée de deux moules fixes qui sont montés sur une plate-forme mobile, appelée navette.



Figure 7: La machine va et vient

2.2.4 Machines de navette

Les navettes ont été développées pour tenter de conserver l'espace au sol. Il existe de nombreux types de conceptions de navettes. Dans un type de machine, l'assemblage du moule, monté sur un chariot ferroviaire, est transporté du poste d'entretien/refroidissement au poste de four, puis de nouveau au poste d'entretien/refroidissement, comme illustré à la Figure 2.5. L'efficacité de la machine à navette est améliorée en utilisant une conception à double chariot, dans laquelle le four est toujours occupé par le chauffage d'un moule pendant que le moule sur l'autre chariot est refroidi/entretenu. Si le temps de refroidissement/d'entretien du moule est égal au temps de chauffage, alors ce système peut s'approcher de l'optimum en termes de taux de rendement maximum. La clé de la longévité de cette machine est la protection du moteur d'entraînement contre les températures élevées du four et la corrosivité de l'eau de refroidissement. Étant donné que la programmation du temps dans le four est à la discrétion de l'opérateur, la machine à double chariot est plus polyvalente que le carrousel à bras fixe ou la machine rotative discutés ci-dessous.

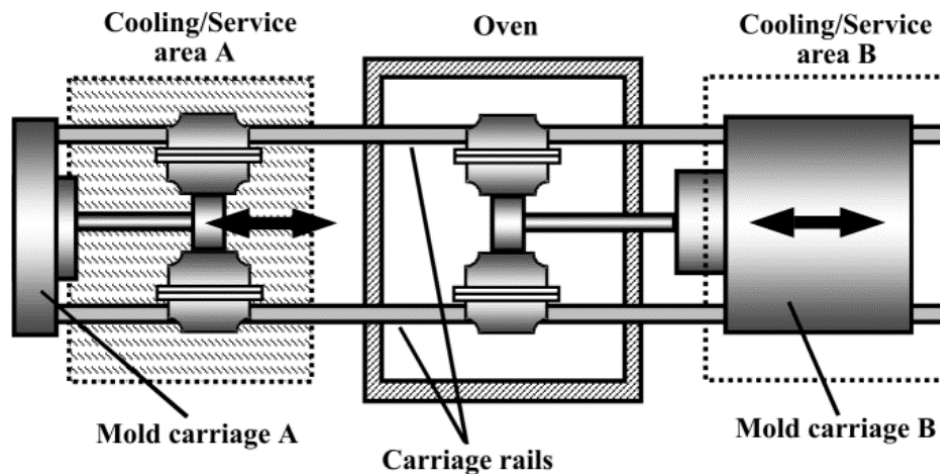


Figure 8 : Machine de roto-moulage de type navette, montrant l'ensemble de moules B dans le four et l'ensemble de moules A dans la zone de refroidissement et de service

2.2.5 Balançoire de moule

La taille ou la capacité d'une machine de roto-moulage commerciale est spécifiée en termes de deux paramètres. Le premier est le poids maximal du ou des moules pouvant être posés sur le bras. L'autre paramètre est l'oscillation du moule. Cela définit effectivement les limites de la taille du moule qui s'adaptera à une machine particulière. Il est lié à la taille et à la forme de l'espace à l'intérieur du four et du refroidisseur. Dans leurs fiches techniques, les constructeurs de machines prévoient une enveloppe à l'intérieur de laquelle le moule doit s'insérer pour s'assurer qu'il n'entre pas en contact avec le four ou le refroidisseur lors de sa rotation. La figure 9. (a) illustre le pivotement du moule pour une machine à bras décalé et la figure 9. (b) illustre les dimensions du pivotement du moule pour une machine à bras droit. Pour évaluer si un moule s'adaptera ou non à une machine particulière, il est nécessaire de vérifier si la hauteur du moule et la dimension

diagonale la plus longue s'adapteront à l'intérieur des lignes pointillées. Ceci est illustré dans l'exemple suivant.

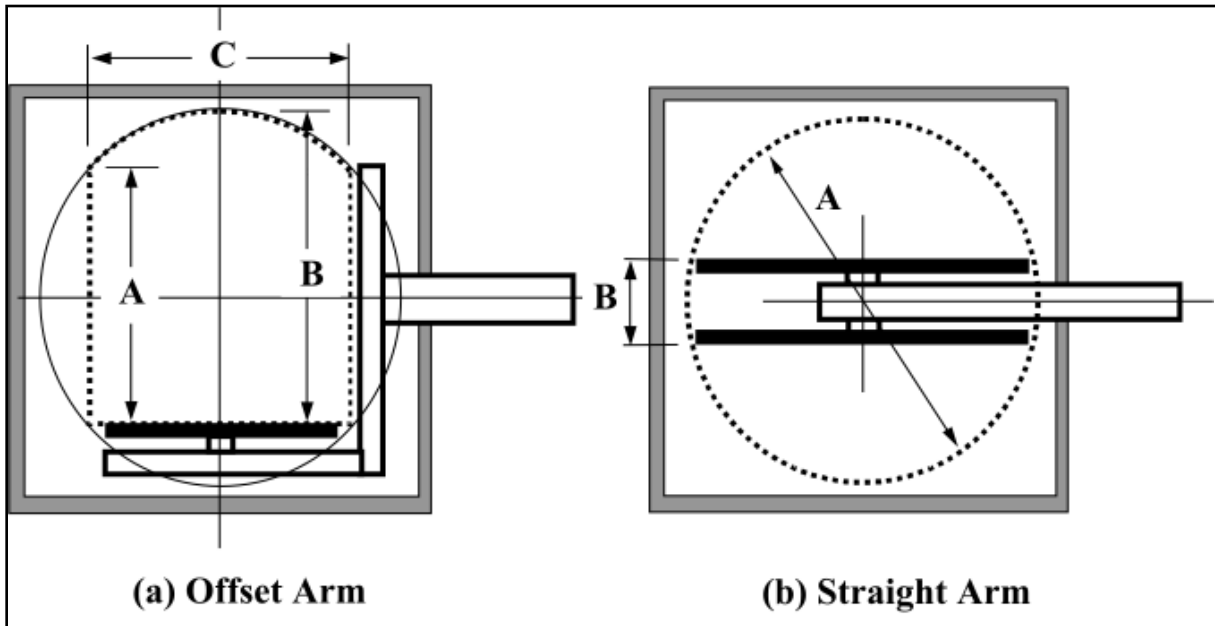


Figure 9 : Dimensions d'oscillation du moule pour les bras décalés et droits

Exemple

Une machine de roto-moulage (a) à la fois des bras décalés et droits. En se référant à la Figure 9, le pivotement du moule pour chacun est le suivant :

(a) bras décalé	(b) Bras droit
A = 1435 mm	A = 2415 mm
B = 1917 mm	B = 280 mm
C = 1930 mm	

Quel est le plus grand moule en forme de cube pouvant tenir sur chaque bras ?

Solution

(a) Pour le bras décalé, la première étape consiste à vérifier si la diagonale maximale du cube peut être de 1930 mm (cote C). D'après le théorème de Pythagore, le côté du cube sera donné par

$$côté = \sqrt{0.5x(diagonal)^2} = \sqrt{0.5x(1930)^2} = 1365mm$$

Comme cela est inférieur à la hauteur de cube disponible (1435 mm), il s'agit d'une taille acceptable pour le cube. La disposition du cube est illustrée à la figure 9

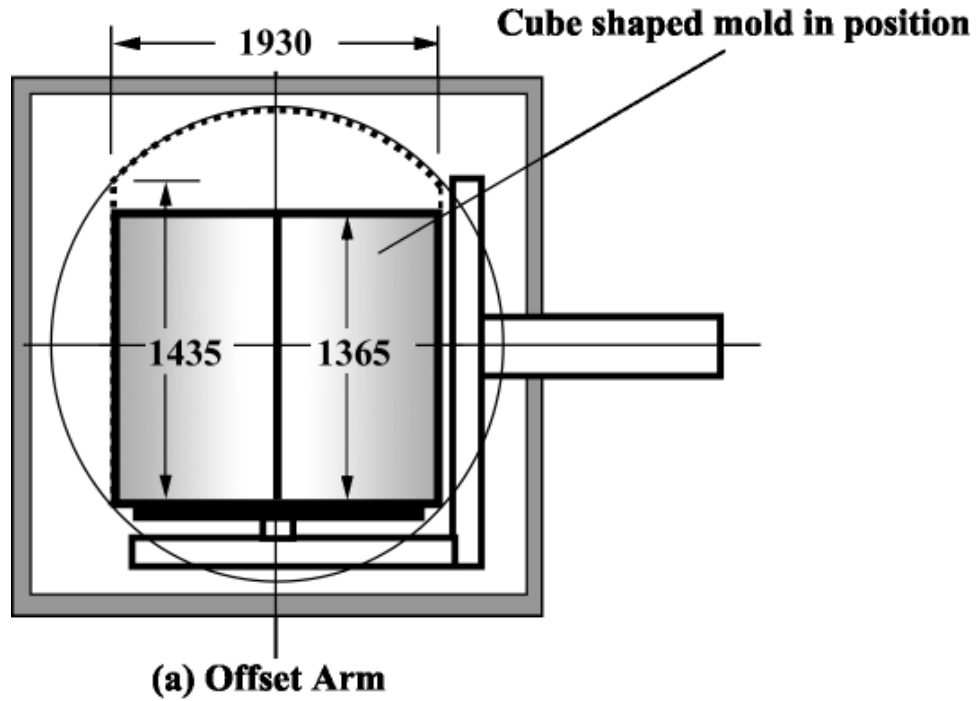


Figure 10 : moule cube sur le moule décalé

(b) Pour le bras droit, le plus grand cube pouvant être posé sur la plaque sera disposé comme indiqué sur la figure 11 et la diagonale sera donnée par

$$diagonal = \sqrt{2 * (s)^2}$$

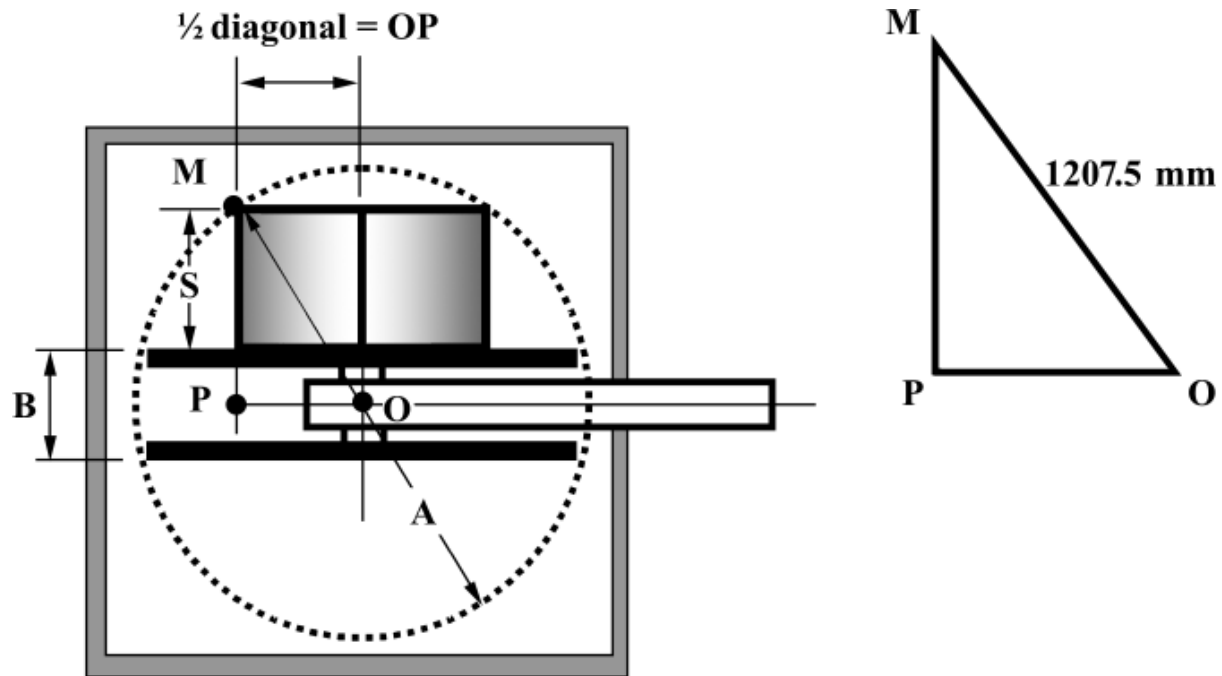
Où s est le côté du cube. Cela correspondra à OP sur le triangle OPM, et la hauteur MP est donnée par

$$MP=s+(B/2)$$

ainsi,

$$1207.5^2 = [s + (B/2)]^2 + (0.5\sqrt{2} \times s^2)^2$$

La substitution de B donne le côté du cube, s = 890 mm.



(b) Straight Arm

Figure 11: Moule cubique pivotant sur bras droit

2.2.6 Vitesse du moule

La rotation du moule est généralement constante tout au long du processus de roto-moulage, du chargement au déchargement, et est surveillée à l'aide de tachymètres. Alors que les vitesses de rotation mineure (plaque/équatoriale) et majeure (bras/polaire) sont généralement programmées par l'opérateur, il faut veiller à ce que les vitesses soient constantes sur l'ensemble des trajectoires de 360° suivies par le moule. Des araignées de moule mal équilibrées ou contrebalancées peuvent provoquer une rotation non constante pendant le cycle de rotation. Les premières machines avaient un rapport de taux de rotation majeur-mineur fixe de 4 :1. La plupart des machines modernes ont des bras qui permettent des changements indépendants des taux de rotation majeurs et mineurs. Cette indépendance augmente la polyvalence dans le moulage de pièces de forme irrégulière ou d'assemblages de croisillons complexes.

II.3.a Rapport de vitesse

Lors du roto-moulage, les vitesses de rotation sont lentes et le plastique réside effectivement dans le fond du moule. L'épaisseur du revêtement du plastique sur la paroi du moule dépend de la fréquence à laquelle chaque point de la surface du moule plonge dans le bain de poudre. La vitesse de rotation et, dans une machine à rotation bi axiale, le rapport des vitesses autour des

deux axes ont une influence majeure sur la répartition en épaisseur de la matière plastique sur le moule.

Il convient de noter que les vitesses réelles du bras et de la plaque, et leur rapport, sont les plus importants. Comme l'arbre d'entraînement du petit axe est souvent à l'intérieur de l'arbre d'entraînement du grand axe, la lecture de la vitesse du petit axe sur la machine de moulage peut être supérieure à la vitesse du grand (bras). La vitesse réelle (relative) de l'axe mineur est inférieure à la vitesse majeure (bras) car elle est donnée par la différence entre les lectures de la machine pour les axes mineur et majeur. Le rapport de vitesse (bras/plaque) est donc souvent défini comme

$$\text{Rapport de vitesse} = \frac{\text{Major Axis (tr/min)}}{\text{Minor Axis (tr/min)} - \text{Major Axis (tr/min)}} \quad (2.1)$$

Ainsi, si la lecture de la vitesse de l'axe mineur sur la machine est de 15 tr/min et la vitesse de l'axe principal est de 12 tr/min, alors le rapport de vitesse (vitesses bras/plaque) est de 4 :1, ce qui est un rapport courant.

Le tableau 2 donne les valeurs typiques des rapports de vitesse (bras/plaque) recommandées pour différentes formes de moules.

Speed Ratio	Shapes
8 :1	Oblongs (rectangle avec parois), tubes droits (montés horizontalement)
5 :1	Ducts (coude)
4 :1	Cubes, boules, boîtes rectangulaires, la plupart des formes 3D régulières
2 :1	Bagues, pneus, formes plates
1 :2	Pièces qui s'amincissent lorsqu'elles sont exécutées à 2:1
1 :3	Rectangles plats, formes de valise
1 :4	Conduits incurvés, angles de tuyau, pièces qui présentent un amincissement à 4:1
1:5	Vérins montés verticalement

Tableau 2 : Rapports de vitesse recommandés pour diverses formes de moules

Il ressort de ce qui précède que la définition d'un rapport de vitesse approprié pour un produit particulier n'est pas une science précise. Cela peut dépendre de facteurs autres que le rapport de

vitesse. Celles-ci incluent la position du moule par rapport aux axes majeur et mineur, et la mesure dans laquelle la source de chaleur a accès à toutes les surfaces du moule. Les programmes de simulation modernes tentent de tenir compte de tous ces facteurs et ceux-ci seront décrits plus en détail dans les chapitres suivants.

2.2.7 FOUR

L'objectif de la première étape du roto-moulage est d'élever le polymère à des températures où les particules de poudre se collent, fusionnent ou se frittent, puis se densifient en une couche liquide monolithique adhérant à la paroi du moule. Pour presque tous les processus commerciaux, la poudre à température ambiante est introduite dans le moule métallique creux qui est également essentiellement à température ambiante.

Cette structure est ensuite immergée dans un milieu fluide dont la température est suffisamment élevée pour permettre au moule métallique et à la poudre de monter en température jusqu'à la plage de température de frittage-densification.

Il existe trois modes de transfert de chaleur entre le moule/polymère froid et le milieu chaud : conduction, convection et rayonnement.

Conduction : Ce mode de transfert de chaleur implique un contact solide-solide. C'est une manière par laquelle l'énergie est transmise de la surface interne du moule, à travers le moule, à la poudre en rotation et dans le bain de frittage résidant sur la surface du moule. Cependant, ce n'est pas un moyen de chauffer la masse de moule/poudre à la température de moulage.

Radiation : Il s'agit d'un échange d'énergie électromagnétique entre une source chaude et un puits froid. Il n'y a pas de contact physique entre la source et le puits. En conséquence, les surfaces doivent se voir pour réaliser un échange d'énergie rayonnante. Les plaques et les fils sont des méthodes courantes de production d'énergie rayonnante. Bien que la transmission d'énergie radiante soit la manière courante de chauffer une feuille de plastique dans le thermoformage, le rayonnement n'a pas été largement utilisé dans le roto-moulage. La principale raison en est que les formes complexes des moules et des appareils de montage ne se prêtent pas à un échange d'énergie uniforme.

Convection : Cela implique un contact fluide-solide et c'est la méthode courante de chauffage (et de refroidissement) pour le roto-moulage. Les fluides chauffés peuvent être facilement dirigés sur toutes les surfaces des moules. Certains des fluides utilisés dans le roto-moulage sont l'air, les produits de gaz de combustion, la vapeur, l'eau chaude, l'huile et les sels fondus. Les liquides tels que l'eau, l'huile et les sels fondus, ainsi que la vapeur sont généralement confinés dans des canaux ou des tuyaux encastrés ou fixés contre la surface du moule. Pour les gaz atmosphériques tels que l'air, les produits de gaz de combustion et parfois la vapeur, les moules sont immergés dans le flux de gaz. Le taux d'ajout de chaleur au système moule/polymère est défini par le flux de chaleur, q :

$$q = h_{\text{convection}}(T_{\text{heating}} - T_{\text{mold}})$$

On peut en déduire que la force motrice thermique est la différence de température entre le milieu chauffant et le système moule/polymère. L'efficacité de la force motrice thermique est mesurée par le coefficient de transfert de chaleur par convection, $h_{\text{convection}}$. Les valeurs en unités britanniques vont d'environ 1 pour l'air stagnant à 10 000 ou plus pour la vapeur à condensation, comme le montre le tableau 3

Fluide	Coefficient de transfert de chaleur par convection, $h_{\text{convection}}$	
	$\times 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$	Btu/ft ² hr $^\circ\text{F}$
Air au repos	0.5 - 1	0.8 - 2
Air déplacé avec des ventilateurs	1 - 3	2 - 5
Air déplacé avec des soufflantes	3 - 10	5 - 20
Impact direct des gaz de combustion	6 - 10	10 - 20
Brouillard d'air et d'eau	30 - 60	50 - 100
Ilard	30 - 60	50 - 100
Pulvérisateur d'eau	30 - 90	50 - 150
Huile dans les tuyaux	30 - 180	50 - 300
L'eau dans les tuyaux	60 - 600	100 - 1,000
Vapeur dans les tuyaux, condensation	600 - 3,000	1,000 - 15,000

Tableau 3 : Coefficients de transfert de chaleur

Notez que l'efficacité énergétique augmente à mesure que le flux d'air devient plus agressif. Le transfert d'énergie du fluide de convection au système moule/polymère n'est qu'une des nombreuses étapes de transfert d'énergie dans le chauffage du polymère à sa température de moulage finale. Plus la valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection est élevée, moins cet aspect de la résistance globale au transfert de chaleur.

Bien que la vapeur à condensation soit un moyen de transfert de chaleur extrêmement efficace, la vapeur vive n'est généralement pas utilisée en raison de sa nature dangereuse et de sa température relativement basse de 100°C ou moins. Si un contrôle très précis de la température est requis, par exemple pour des polymères thermosensibles tels que le PVC ou des polymères réactifs tels que le nylon, des moules spéciaux à double paroi sont utilisés, comme décrit précédemment. De l'huile chaude ou des gaz de combustion circulent dans la cavité du moule. La complexité des accouplements tournants augmente le coût de cette option et limite son utilisation à des applications très spécialisées.

La combustion d'un mélange de gaz naturel et d'air donne des produits de combustion ayant des températures de 700°C à peut-être 800°C. L'impact direct de la flamme peut être utilisé si le

moule est en acier au carbone à paroi épaisse ou en acier inoxydable de haute qualité et s'il n'y a aucun risque de surchauffe ou de dégradation thermique du polymère. Lorsque des moules en aluminium sont utilisés et/ou lorsque le polymère est thermosensible pour quelque raison que ce soit, les produits de combustion sont utilisés pour chauffer l'air indirectement, qui à son tour est soufflé contre les surfaces du moule et du cadre. La convection forcée ou la circulation à grande vitesse et la recirculation de l'air du four constituent le mode de transfert de chaleur de l'air le plus efficace. Les vitesses de l'air sur les surfaces du moule doivent être d'au moins 1,5 m/s afin d'obtenir un transfert de chaleur adéquat. Néanmoins, les valeurs du coefficient de transfert de chaleur par convection à air forcé sont généralement inférieures à celles des autres modes de transfert de chaleur par convection. Le dispositif de chauffage traditionnel est un four isolé en tôle ayant des portes isolées, une zone de combustion de gaz et des soufflantes ou ventilateurs à grande vitesse pour faire recirculer l'air à l'intérieur du four.

3 Roto-moulage

3.1 Définition [3]

Le roto-moulage est un procédé de transformation des matières plastiques qui permet principalement la réalisation des pièces creuses de grandes dimensions, sans reprise, ni lignes de soudure. Ce procédé est connu depuis une cinquantaine d'années, mais son utilisation est restreinte à des pièces peu ou pas technique : silos, balises, jouets, ... les entreprises de roto-moulage sont généralement des petites sociétés, utilisant un savoir-faire empirique, et qui sont peu génératrices d'innovation. Les inconvénients majeurs du roto-moulage sont aujourd'hui le temps de cycle et la non maîtrise du procédé. Or de nouveaux marchés, notamment l'automobile, ayant des exigences de productivité, de rendement et de qualité se profilent. Afin de saisir l'opportunité offerte par ces nouveaux marchés, il est nécessaire d'améliorer l'adéquation entre le procédé de roto-moulage et le matériau.

Ce procédé de mise en forme la matière plastiques très utilisé pour fabriquer des articles de sport nautiques. La matière première (en général du polyéthylène) sous forme de poudre ou du granulé, est chargée dans un moule, ensuite chauffé jusqu'à la température de fusion du polymère. L'ensemble qui est animé par une rotation, aide la matière à prendre la forme des parois du moule de façon uniforme, après une certaine période, le procédé entre dans une phase de refroidissement ou bien appelé cristallisation, la matière est progressivement amenée à son état solide tout en conservant la rotation. Au finale le moule est ouvert et la pièce finie est démouler.

Certaine pièce et amenée à un atelier de finition avant qu'elle soit utilisable ou bien pour avoir les exigences de finition imposée par le client.

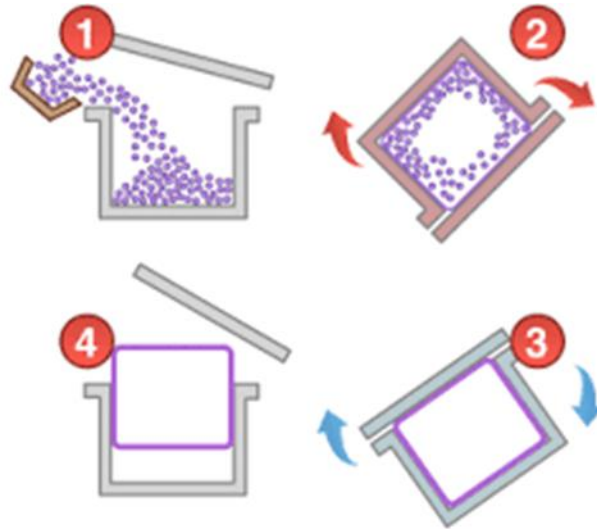


Figure 12 :cycle du roto-moulage

Le tout premier brevet de machine de roto-moulage date de 1935 mais la première trace de l'utilisation des machine bi-axial remonte au 19^{ème} siècle. Cette machine sert alors à fabriquer des munitions d'artillerie. Ce procédé est ensuite utilisé de plus en plus, aux états unis qui servira à mouler des objets en cire, d'autres pour fabriquer des œufs en chocolat ...

Ce procédé présente de nombreux avantages par rapport aux autres procédés de fabrication tel que l'usinage, assemblage, ...ect.), comme notamment le coût de fabrication des pièces. Il est aujourd'hui utilisé dans de nombreux domaines d'application, et anime encore activement la recherche.

3.2 Étapes du roto-moulage

- **Remplissage du moule** : dans cette phase, nous avons un moule métallique dans laquelle on déverse une poudre polymère ainsi que son colorant. Ensuite, toutes les parties du moule font l'objet d'un assemblage.
- **Phase de rotation** : dans cette étape du processus, le moule subit une rotation lente entre les deux axes puis inséré dans un four pour la cuisson.
- **Phase de fusion du polymère** : dans cette étape, le plastique occupe la surface du moule grâce notamment à l'effet de rotation des axes c'est l'augmentation de la température qui assure l'homogénéisation de la matière qui permet l'élimination des bulles internes.
- **Phase de solidification** : dans cette étape, le moule est placé dans une cellule assurant le refroidissement encore appelé cristallisation c'est à ce moment-là que le polymère amorce sa phase de solidification.
- **Phase de démoulage** : à cette étape, la pièce est désormais entièrement solidifiée et se détache facilement du moule à ce moment-là l'outillage bénéficie d'un déverrouillage conduisant à l'extraction de la pièce

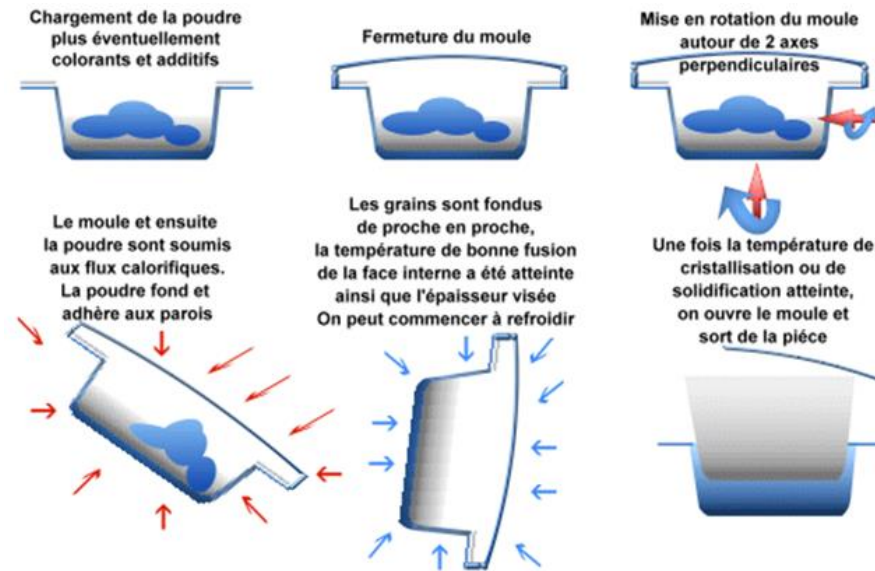


Figure 13: étapes du roto-moulage

3.3 Avantages du roto-moulage [5]

Le procédé du roto-moulage compte beaucoup d'avantage par rapport à des technique plus traditionnelles de transformation des matières plastique. Les autres techniques de transformation comme le soufflage, l'injection, ou le thermoformage peuvent s'avérer plus coûteuses et plus contraignantes.

3.3.1 Avantages techniques

On compte plusieurs avantages à utiliser la technique du roto-moulage pour la réalisation de pièces plastiques :

- Pièces robustes, sans aucune soudure et étanches
- Production de pièces techniques complexes de différentes formes et de différentes couleurs
- Matière plastique résistante au choc, à la déformation et aux grandes variations de températures
- Traitement UV – Haute Tenue Couleur
- Surmoulage d'inserts métalliques
- Conception de moules simples
- Matière 100% recyclable
- Épaisseur de 0,5 à plus de 30 mm

3.3.2 Avantages économiques

Ce procédé est très rentable pour la fabrication de petites et moyennes séries. Grâce à sa rapidité de mise en œuvre, la technologie est souvent appréciée pour les prototypes ou les lancements de produits.

- Faible coût de l'outillage
- Prix très concurrentiels
- Produits durables
- Compétitif pour les petites et les moyennes séries

3.3.3 Avantages environnementaux

L'un des grands avantages de ce procédé, c'est qu'il y a aucune perte de matière, les excès de matière et 100% recyclable.

La matière utilisée, le polyéthylène est imputrescible et résiste parfaitement aux contraintes naturelles même les plus extrêmes (température extrême, rayon UV, milieu acide, milieu marin, brouillard salin, ...). Aucun risque que la pièce ne se dégrade dans la nature.

3.4 Les inconvénients de roto-moulage

Bien que le roto-moulage présente un certain nombre d'avantages, ce procédé de production de pièces en plastique présente également des inconvénients. Les principaux inconvénients du roto-moulage sont :

- **Restrictions de taille** : étant donné que la taille de la machine de roto-moulage est généralement limitée, le roto-moulage est limité dans la taille des articles qu'elle peut fabriquer.
- **Temps de cycle** : le temps de cycle de production pour le roto-moulage peut être quelque peu long, ce qui peut le rendre moins approprié pour les grandes demandes de production.
- **Coûts de production** : Bien que le coût des outillages soit généralement peu onéreux, pour des volumes de production importants, le coût de production unitaire peut être supérieur à celui des autres techniques de fabrication.
- **Les finitions produites** par roto-moulage peuvent être moins précises et moins esthétiques que celles produites par d'autres techniques de production.
- **Le moulage par rotation** peut être moins adaptable pour la fabrication d'une variété de pièces en raison de l'exigence de moules individuels pour chaque pièce à produire.

3.5 Domaine d'application du roto-moulage

3.5.1 Agriculture et sous-traitance agricole

L'agriculture est un des secteurs d'activités les plus concernés par les produits roto-moulés. Des cuves de récupération d'eau aux bacs de pâturage en passant par les silos à aliment, les applications sont nombreuses dans ce domaine d'activité.

Exemple de produits roto-moulés dans le domaine agricole : citernes, bacs à graisse, système d'épuration, cuves de stockage, tonne à eau, auge pour ensilage, brouette, garde roue, déversoir à lisier, ...



Figure 14: pièce plastique agricole

3.5.2 La sous-traitance industrielle

L'industrie n'est pas en reste et profite également des fabrications issues du roto-moulage.

Exemple de produits roto-moulés dans le domaine industriel :

Conteneurs, cuves de stockage pour carburants, acides ou tout autre produit chimique, pièces pour l'assainissement et traitement des eaux usées, ...



Figure 15: cuve de stockage

3.5.3 Le nautisme et l'industrie marine

De par leur étanchéité, leur solidité et leur légèreté, les produits roto-moulés conviennent aux exigences du monde nautique.

Exemple de pièces roto-moulées : sièges, tables, coffres de rangement, réservoirs embarqués ou encore bouées marines sont très demandés. Il faut aussi y ajouter toutes les coques de barques et de bateaux, les flotteurs, les pontons, ...



Figure 16: pièce dans le domaine maritime

3.5.4 Le mobilier urbain

Le plastique est présent partout dans les réalisations de mobilier urbain et le roto-moulage permet la conception de produits durables, solides, à la fois légers et résistants et recyclables.

Voici quelques exemples de pièces : poubelles, chaises, outils de jardinage, ...



Figure 17: outils urbain

3.5.5 Le transport

On retrouve des pièces roto-moulées dans l'ensemble de l'industrie des transports.

Exemple : réservoir de carburant ou d'autres produits chimiques, pare-chocs, ailes de roues, accoudeur, ...

3.5.6 Le sport

Les innovations dans le sport ne cessent jamais et le roto-moulage y a clairement contribué depuis quelques années en rendant les matériaux plus résistant aux chocs et aux conditions extrêmes d'utilisation.

Voici quelques exemples : coques de bateaux, barques, coques de catamarans ou trimaran, ...



Figure 18: canaux de kayak

3.6 Empreinte dans roto-moulage [3]

Dans le contexte du roto-moulage, une "empreinte" peut faire référence à deux concepts différents : l'empreinte du moule et l'empreinte de la pièce.

L'empreinte du moule : fait référence à la cavité à l'intérieur du moule où le plastique fondu est déposé pour former la pièce. L'empreinte est la surface interne du moule qui définit la forme et les détails de la pièce finale. L'empreinte doit être soigneusement conçue pour garantir la reproduction précise de la géométrie souhaitée. Les dimensions, les détails et les caractéristiques de l'empreinte déterminent l'apparence et les propriétés de la pièce finie.

L'empreinte de la pièce : quant à elle, se réfère à l'empreinte ou à l'empreinte négative laissée par une autre pièce ou un objet sur la surface d'une pièce moulée en roto-moulage. Par exemple, si une pièce en roto-moulage est placée sur une surface rugueuse ou texturée lorsqu'elle est encore chaude et malléable, l'empreinte de cette surface peut être transférée à la surface de la pièce. Cela peut créer une texture ou un motif sur la surface de la pièce moulée.

3.7 Système de refroidissement

Dans ce processus, le système de refroidissement joue un rôle crucial pour solidifier le plastique fondu à l'intérieur du moule et pour faciliter l'étape de démoulage. Voici comment fonctionne généralement le système de refroidissement dans le roto-moulage :

- **Circulation de l'eau** : les parois du moule comprennent des canaux qui permettent à l'eau de s'écouler à travers eux, intégrés directement dans la conception. Ces passages permettent la circulation d'eau froide ou d'eau à température prédéterminée lors de la procédure de roto-moulage. Pour dissiper la chaleur et refroidir le plastique fondu, l'eau est généralement pompée à travers les canaux du moule à l'aide d'un dispositif de refroidissement externe, tel qu'un refroidisseur d'eau.
- **Régulation de la température** : Le système de refroidissement est équipé de capteurs de température positionnés dans tout le moule en différents points. Ces capteurs sont utilisés pour surveiller et réguler la température du moule pendant son refroidissement. Afin de contrôler le débit d'eau et de maintenir la température du moule constante et uniforme, des outils de régulation tels que des vannes ou des régulateurs de débit d'eau sont utilisés.
- **Temps de refroidissement** : Le temps de refroidissement est influencé par un certain nombre de variables, notamment l'épaisseur de paroi de la pièce en plastique, le type de plastique utilisé et les spécifications particulières de la pièce. Pour éviter une distorsion et une tension excessive dans la coulée, un refroidissement suffisant est nécessaire. Le moule est arrêté et la pièce est démoulée une fois que la pièce a suffisamment refroidi et pris.

3.8 Le retrait plastique

Le roto-moulage entraîne fréquemment un rétrécissement du plastique au cours du processus. Le retrait résulte de la contraction volumétrique, qui se produit lorsque le plastique fondu est refroidi dans un moule de filage. Le type de plastique utilisé, la conception du moule et les conditions de refroidissement peuvent tous affecter ce retrait.

Le retrait plastique peut entraîner des défauts dans la pièce finie, tels que des déformations, des tensions internes ou des épaisseurs inégales. Il est donc important de prendre en compte ce retrait lors de la conception de la pièce et du moule.

3.9 Le moteur utilisé

Le moteur de roto-moulage est un élément crucial de l'appareil de ce procédé, car il fait tourner le moule en permanence tout au long du processus de production. Les moteurs de roto-moulage sont disponibles dans une variété de modèles, y compris les moteurs électriques et hydrauliques.

3.9.1 Moteur électrique

Le type de moteur le plus populaire, les moteurs électriques transforment l'énergie électrique en mouvement rotatif. Comparés aux moteurs hydrauliques, ils sont généralement plus compacts et plus simples à entretenir.



Figure 19: Moteur électrique

3.9.1.1 Paramètres

Tension nominale : La tension nominale d'un moteur électrique indique la tension d'alimentation pour laquelle il est conçu pour fonctionner de manière optimale. Elle est généralement exprimée en volts (V). Il est important de s'assurer que la tension d'alimentation correspond à la tension nominale du moteur électrique pour un fonctionnement correct.

Puissance nominale : La puissance nominale d'un moteur électrique représente la puissance électrique maximale qu'il peut produire en fonctionnement continu. Elle est généralement mesurée en watts (W) ou en kilowatts (kW). La puissance nominale est un indicateur de la capacité du moteur à effectuer un travail spécifié.

Courant nominal : Le courant nominal d'un moteur électrique correspond au courant électrique maximal que le moteur peut supporter en fonctionnement continu. Il est généralement exprimé en ampères (A). Le courant nominal dépend de la tension d'alimentation et de la puissance nominale du moteur.

Vitesse nominale : La vitesse nominale d'un moteur électrique indique la vitesse de rotation à laquelle il est conçu pour fonctionner de manière optimale. Elle est généralement mesurée en tours par minute (rpm). La vitesse nominale dépend de la conception et du type de moteur électrique.

3.9.2 Moteur hydraulique

Un moteur hydraulique est un dispositif qui utilise la puissance d'un fluide hydraulique sous pression pour générer un mouvement rotatif. Il est largement utilisé dans de nombreux domaines, tels que l'industrie, l'agriculture, la construction et les applications mobiles.



Figure 20: moteur hydraulique

3.9.2.1 Paramètres

Déplacement : Le déplacement d'un moteur hydraulique représente le volume de fluide hydraulique déplacé par le moteur à chaque tour complet. Il est généralement exprimé en centimètres cubes (cm^3) ou en pouces cubes (in^3). Le déplacement est une caractéristique clé qui détermine la capacité du moteur à produire de la puissance.

Pression de travail : La pression de travail maximale est la pression maximale que le moteur hydraulique peut supporter en fonctionnement. Elle est généralement exprimée en bars (ou psi). Il est essentiel de choisir un moteur hydraulique capable de résister à la pression de travail requise par le système hydraulique dans lequel il sera utilisé.

Vitesse de rotation : La vitesse de rotation d'un moteur hydraulique indique le nombre de tours par minute (rpm) qu'il peut atteindre. La vitesse de rotation est également influencée par la pression et le débit du fluide hydraulique.

Efficacité : L'efficacité d'un moteur hydraulique mesure la capacité du moteur à convertir

L'énergie hydraulique en énergie mécanique. Elle est généralement exprimée en pourcentage et peut varier en fonction du type de moteur et des conditions de fonctionnement.

4 Le moule

4.1 Définition [2]

Le moule est l'outil utilisé en injection des matières plastiques, qui remplit plusieurs

Fonctions et il a pour but de donner à la matière une forme finale nommée pièce ou article.

Un moule est constitué principalement de composants illustrés par les figures suivantes :

Le Corps et la cavité du moule sont chacun montés et partagés sur deux parties du moule mobile et fixe.

Les matériaux utilisés pour la fabrication des moules d'injection de thermoplastiques sont principalement des aciers choisis selon le procédé de fabrication retenu pour le moule et les conditions d'utilisation (solllicitations, interactions avec les polymères...)

La conductivité thermiques des aciers dépend de la composition et de la charge en éléments d'alliages [F] et varie environ entre 15 et 40W.m⁻¹.K⁻¹. Le choix des aciers pour moules d'injection ne doit cependant pas dépendre uniquement des propriétés thermiques mais aussi de la résistance mécanique et à la corrosion. L'augmentation des propriétés mécaniques se traduit par l'ajout d'éléments d'alliage qui peuvent être nuisibles aux propriétés thermiques (par exemple le chrome utilisé pour la résistance à la corrosion a tendance à faire diminuer la conductivité thermique).

A la fin de l'injection du polymère fondu dans la cavité du moule, on obtient la pièce sous sa forme complète. Pour l'éjecter, on doit actionner l'arbre d'éjection qui porte le plateau, cette dernière porte la pièce vers l'arrière en retrouvant sa position initiale.

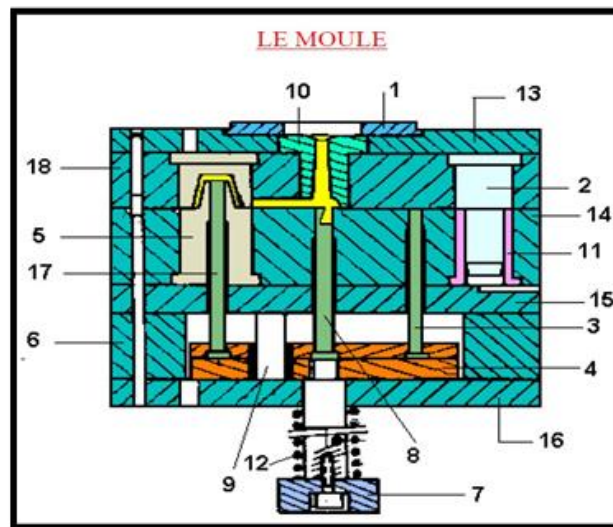


Figure 21: présentation de moule

4.1.1 Nomenclature

- | | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| 1. Bague de centrage | 10. Contre buse |
| 2. Colonne de guidage | 11. Bague de guidage |
| 3. Rappel d'éjection | 12. Ressort de rappel |
| 4. Plaque d'éjection | 13. Plaque de fixation |
| 5. Empreinte | 14. Plaque porte empreinte |
| 6. Tasseaux | 15. Plaque intermédiaire |
| 7. Queue d'éjection | 16. Plaque de fixation |
| 8. Arrache carotte | 17. Ejecteur |
| 9. Plot de soutien | 18. Plaque porte empreinte (support) |

4.2 L'unité de fermeture

Cet ensemble permet la (fermeture, l'ouverture) et le verrouillage de la partie mobile de moule, sur la partie fixe. C'est un organe très important qui doit s'opposer à l'effort d'injection. Elle supporte le système d'éjection. Ainsi, cette unité peut être manœuvrée de plusieurs manières.

4.2.1 Unité de fermeture mécanique

Bien que les mouvements soient assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères (arc-boutement).

Comme le montre la figure, le sommier est relié au plateau fixe par quatre colonnes sur lesquelles le plateau mobile se déplace.

Nous verrons plus loin que ce sont elles qui va assurer la force de fermeture. La (Fig. 2) montre comment les genouillères développent la force de fermeture.

Les éléments de genouillère G sont représentés dans la position où les plans de joint du moule se rencontrent. Dans cet état, le plateau mobile ne peut plus avancer et les éléments de genouillère en mouvement occupent. On peut se rendre compte que les genouillères remplissent parfaitement le rôle d'un levier qui multiplie les forces. En effet le vérin continue à pousser. Ce qui va provoquer un faible allongement des quatre colonnes. Pour les contraintes et déformations exercées, le comportement mécanique des colonnes sera élastique et ces dernières interviendront comme des ressorts pour exercer la force de fermeture du moule.

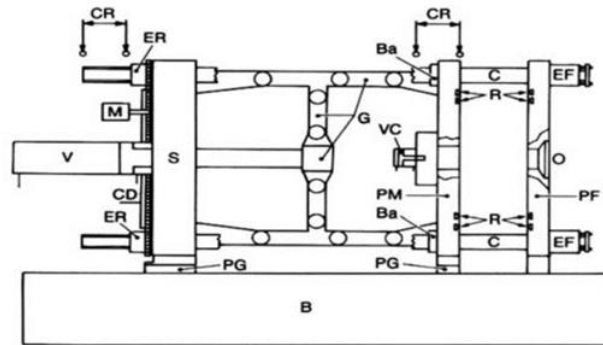


Figure 22: Groupe de fermeture à genouillères

4.2.2 Nomenclature

B : bâti

O : ouverture dans le plateau permettant de mettre en contact le nez du pot d'injection avec la buse d'entrée du moule

Ba : bague

C : colonnes

CD : couronne dentée centrale

CR : course de réglage d'épaisseur

EF : écrou de fixation de la colonne

ER : écrou de réglage d'épaisseur de moule

G : genouillère

M : moteur électrique

PF : plateau fixe

PG : patin d glissière

PM : plateau mobile

R : rainure de bridage

S : sommier

V : vérin hydraulique

VC : vérin hydraulique pour commander l'éjection des pièces du moule

4.2.3 Unité de fermeture mixte

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

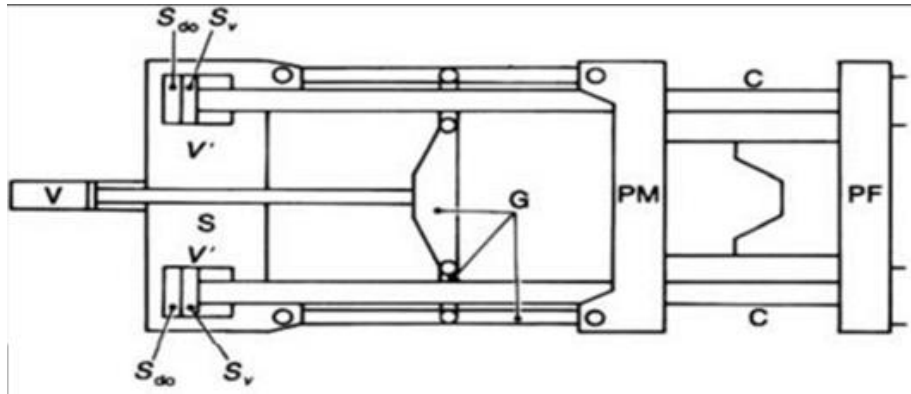


Figure 23: Groupe de fermeture mixte

4.2.4 Nomunclature

C : colonnes

G : genouillère

PF : plateau fixe

PM : plateau mobile

S : sommier

Sdo : surface de début d'ouverture

Sv : surface de verrouillage

V : vérin pour les grands déplacements du plateau mobile

V' : vérin de verrouillage

4.3 Procédés de moulage

Les procédés de moulage sont classés en deux grandes catégories. On distingue principalement la fonderie effectuée avec :

a- des moules non permanents, ou "moules perdus", généralement en sable

b- des moules permanents en métal, qu'on appelle aussi "coquilles"

4.3.1 MOULES NON PERMANENTS

4.3.1.1 Moulage au sable : (Principe) :

Un moule non permanent est un moule réalisé en "sable" qui ne sert qu'une seule fois pour réaliser une pièce. Le moule est détruit pour extraire la pièce brute.

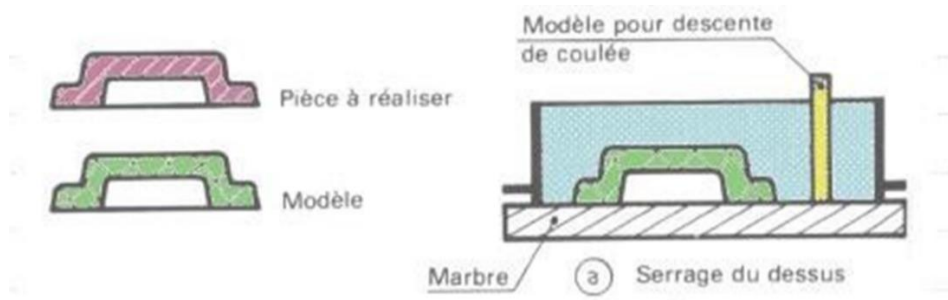


Figure 24 : moulage en sable

4.3.2 LES MOULES PERMANENTS

Les moules étant métalliques (en fonte ou en aciers réfractaires spécifiques), plusieurs pièces peuvent être coulées en une seule fois. Les procédures suivantes se distinguent :

- Le moulage en coquille par gravité
- Le moulage sous pression

4.3.2.1 Le moulage en coquille par gravité

Principe : La pièce est obtenue à partir d'un moule métallique appelé coquille. L'introduction de l'alliage dans la coquille est assurée par la seule action de la pesanteur, ce qui lui fait donner le nom de moulage en coquille par gravité à ce procédé.

Outillages :

Le moule comprend :

- L'empreinte, les noyaux et les broches qui permettent d'évider la pièce
- Le système d'alimentation, coulée, masselottes, évents...
- Les organes de manutention, de fermeture, d'éjection...

Mode opératoire

Chaque élément doit permettre l'enchaînement logique des opérations qui constituent un cycle de fabrication :

- Mise en place des noyaux destructibles
- Fermeture du moule
- Avancés des broches et des tiroirs
- Remplissage
- Refroidissement
- Extraction des broches et des tiroirs
- Ouverture du moule
- Éjection de la pièce

Exemple d'application : Moulage en coquille

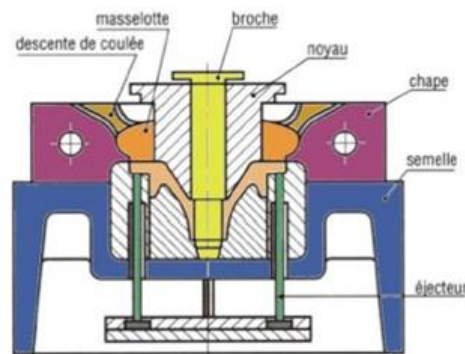


Figure 25: Moulage en coquille

4.4 Le moulage sous pression

4.4.1 Principe

Le métal liquide est injecté sous forte pression peut aller jusqu'à 1200 bar et à grande vitesse d'injection dans un moule (jusqu'à 50 m/s) fixé sur les plateaux de la machine



Figure 26: Moulage sous pression

4.4.2 Machines

Elles sont de deux types :

a-Machine à chambre froide

L'alliage liquide est maintenu liquide dans un four indépendant de la machine. A chaque injection, l'alliage est versé dans le conteneur au moyen d'une louche ou d'un dispositif mécanisé.

Une presse d'injection sous pression à chambre froide :

- Sa force de fermeture varie 500 à 40000 KN soit 50 à 4000 tonnes.
- Ces machines permettent de couler :
- Les alliages légers,
- Les alliages cuivreux à base de magnésium

b-Machine à chambre chaude

Dans ce type de machine la chambre de pression est immergée dans l'alliage liquide du creuset (d'où le nom de chambre chaude).

Une presse d'injection sous pression à chambre chaude :

Sa force de fermeture varie 50 à 3000 KN soit 5 à 30 tonnes.

4.4.2.1 Outillages

Le moule comprend :

- L’empreinte souvent rapportée, ce qui facilite le remplacement et la remise à l’état
- Les noyaux sont métalliques et les broches permettent d’obtenir des formes intérieures
- Le système d’alimentation, coulée, masselottes, événements...
- Un système de circulation d’eau placé dans le moule permet de réguler la température.

Mode opératoire

- Fermeture du moule
- Injection du liquide (Remplissage)
- Refroidissement
- Ouverture du moule
- Éjection de la pièce

4.5 Etapes de fabrication d’une pièce moulée :

- **Réaliser un moule.** Ce dernier est composé de deux parties, une partie fixe et une partie mobile. La conception du moule doit permettre une éjection facile des pièces.
- **Installer le moule sur une machine spécifique :** la presse à injection. Les deux parties du moule sont pressées fortement l’une contre l’autre. Le matériau (sous forme de granulés) est versé dans une vis de plastification (ou vis sans fin) qui est chauffée. La rotation de la vis allié à la température va ramollir les granulés, qui se transforment en matière plastique fondue. La matière fondue et déformable est stockée à l’avant de la vis, avant l’injection.
- **Injecter sous haute pression les matières** plastiques ramollies sous l’effet de la chaleur dans le moule. Dans cette phase, il faut s’assurer que le moule soit complètement rempli avant que le matériau ne se solidifie. Voilà pourquoi on continue à envoyer de la matière sous–pression, afin de pallier au retrait qui s’exerce lorsque la matière refroidit.
- **Refroidir le tout**, par le biais de circuits de refroidissement à l’intérieur du moule. Suite à cette opération l’objet est éjecté du moule.
- Ejecter la pièce.
- Recommencer avec la prochaine pièce.

4.6 Refroidissement des moules

Au fur et à mesure que le composant moulé refroidit, l’outillage reçoit la chaleur. Du fait que la majeure partie de la chaleur à dissiper est absorbée par un fluide caloporteur (souvent de l’eau), ce dernier ne l’évacue à son tour que très partiellement par rayonnement et convection dans l’air ambiant. L’élément le plus long du cycle de moulage dans la fabrication de pièces injectées est typiquement la période de refroidissement ; par conséquent, des gains de productivité importants peuvent encore être obtenus en optimisant les conditions de refroidissement des pièces moulées. Les circuits de refroidissement du moule sont contrôlés par un simple réglage manuel du débit d’eau.

4.6.1 Rôle du refroidissement

Le refroidissement des moules est une nécessité technique et économique, une pièce moulée ne peut être extraite sans dommage l'outillage qui la produit si elle n'a pas acquis une rigidité suffisante pour résister aux efforts d'éjection.

4.6.2 Principe de refroidissement

A l'équilibre, deux corps en contact thermique (qui en toutes possibilités d'échange de chaleur) atteignent une même température. L'énergie existant sous forme de chaleur, s'exprime en joule (J)

La température $\ll T \gg$ s'exprime soit :

En degrés Celsius C° , l'origine étant $0 C^\circ$ température de la glace fondante.

En Kelvin $\ll K \gg$, l'origine étant $0 K$ absolu avec la relation $T = \Theta + 273 \dots\dots\dots$

Θ étant la température en degrés Celsius C° .

4.6.3 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 de cycle de production, en particulier pour épaisseurs de pièces courantes, de 1.5 à 3 mm.

Avec :

t : Temps de refroidissement (réf 1)

k : Coefficient de conductibilité calorifique.

5 Les polymères [1]

Les polymères sont les constituants de base des plastiques, qui leur confèrent l'essentiel de leurs propriétés physicochimiques

5.1 Définition

Un polymère (étymologie : du grec pollus, plusieurs, et meros, partie) est un système formé par un ensemble de macromolécules de même nature chimique. Les termes « polymère » et « macromolécule » sont fréquemment confondus.

Un polymère est organique (le plus souvent) ou inorganique.

Il est issu de l'enchaînement covalent d'un grand nombre de motifs monomères identiques ou différents.

Un polymère peut être naturel (exemples : polysaccharides, ADN) ; artificiel, obtenu par modification chimique d'un polymère naturel (exemples : acétate de cellulose, méthyl cellulose,

galalithe) ; ou synthétique, préparé par polymérisation de molécules monomères (exemples : polystyrène, poly isoprène synthétique).

Les polymères sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets de la vie courante, dans lesquels ils ont souvent remplacé les substances naturelles. Ils sont présents dans de nombreux domaines industriels.

Exemple :

Pneus : Les pneus polymères font référence aux pneus fabriqués à partir de matériaux polymères. Les pneus conventionnels sont généralement fabriqués en utilisant du caoutchouc naturel ou synthétique, tandis que les pneus polymères sont principalement composés de polymères, tels que le caoutchouc synthétique ou les élastomères.

Plastique : Le plastique polymère est un matériau synthétique constitué de macromolécules organiques, appelées polymères, qui sont formées par la répétition de petites unités de monomères. Les polymères sont des chaînes moléculaires longues et peuvent varier en termes de structure, de propriétés et d'applications.

5.2 Structures

Les longues chaînes moléculaires de base qui sont jointes pour produire la substance sont représentées par la structure du polymère. L'arrangement des chaînes entre elles et la densité des sites de connexion vont modifier significativement les propriétés macroscopiques du polymère

Un polymère peut adopter trois structures moléculaires,

- Linéaire : La macromolécule se présente sous la forme d'une longue chaîne ;
- Branchée : Une longue chaîne sur laquelle viennent s'embrancher des chaînes de longueur variable, en général plus petites ;
- En réseau : Les chaînes sont reliées entre elles en plusieurs points formant un réseau



Figure 27 :Macromolécule linéaire



Figure 28 :Homopolymère branché



Figure 29:Réseau

Ces différentes structures vont permettre de classer les polymères en deux grandes catégories : Les thermoplastiques et les thermodurcissables

5.2.1 Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des solides généralement souples, formés de chaînes distinctes bien compactées et plus ou moins linéaires.

Ils présentent la particularité de s'écouler à la chaleur, ce qui facilite leur mise en forme. Ils sont repartis en trois grandes familles : les amorphes, cristallins et les semi-cristallins. Cette morphologie a une influence importante sur les propriétés des polymères thermoplastiques

5.2.1.1 Polymères amorphes

Les polymères amorphes sont des polymères dépourvus de structure cristalline moléculairement organisée. Les polymères amorphes, contrairement aux polymères semi-cristallins, ont une structure moléculaire désorganisée qui manque de régularité géométrique. Contrairement aux polymères cristallins, les polymères amorphes ont des chaînes moléculaires ordonnées de manière aléatoire, ce qui leur confère diverses propriétés.

5.2.1.2 Polymères cristallins

Un polymère purement cristallin, quant à lui, présente des chaînes qui s'arrangent de façon ordonnée. Contrairement aux amorphes, les cristallins possèdent une température de fusion notée T_m . Cependant, un polymère totalement cristallin n'existe pas en réalité. Il reste toujours des défauts ou bien l'extrémité des chaînes qui ne peuvent adopter une structure cristalline

5.2.1.3 Polymères semi-cristallins

Les polymères semi-cristallins sont ceux qui, au niveau moléculaire, présentent à la fois une structure cristalline et une structure amorphe. Ils se distinguent par la présence de sections cristallines amorphes chaotiques et ordonnées dans leur structure.



Figure 30:Polymère Amorphe

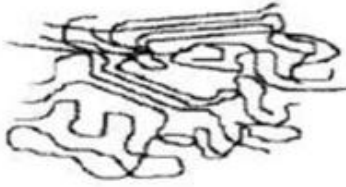


Figure 31: Polymères semi-cristallins



Figure 32: Polymère Cristallin

5.2.1.3.1 Avantages et désavantages des thermoplastiques

Le tableau (I.2) montre les avantages et les inconvénients des thermoplastiques

Avantages		Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Stabilité dans le temps (pas de polymérisation au cours du temps) • Recyclable (on peut les liquéfier à nouveau) • Facile à réparer (par soudure ou collage) • Post-formable 		<ul style="list-style-type: none"> • Forte viscosité du fondu • Fluage
Amorphe	Cristallin	
<ul style="list-style-type: none"> • -Bonne résistance aux impacts • -module plus élevé 	<ul style="list-style-type: none"> • Moindre retrait au refroidissement • plus grande dureté 	

Tableau 4: Avantages et Inconvénients des thermoplastiques

5.2.2 Thermodurcissables

Les thermodurcissables ou thermo durcis ont une structure en réseau tridimensionnel, ce qui rend leur fusion impossible. La rigidité ainsi que la stabilité thermique du polymère sont liée au taux de réticulation, c'est à dire à la densité de points de liaison entre les chaînes macromoléculaires.

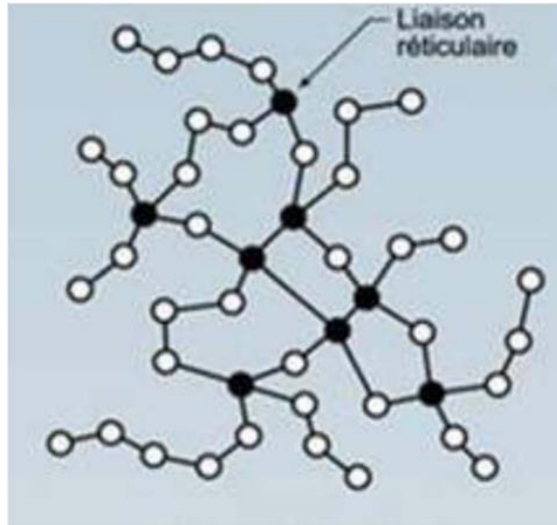


Figure 33: Morphologie des thermodurcissables

5.2.2.1 Avantages et désavantages des thermodurcissables :

Le tableau (I.3) montre les avantages et les inconvénients des thermodurcissables

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• -Faibles viscosité de la résine• -Bon mouillage des fibres• -Bon stabilité thermique après polymérisation• -Résistance aux agressions chimiques• -Peu sensible au fluage	<ul style="list-style-type: none">• -Cassant• -Non recyclable par techniques standard• -Non pas formable

Tableau 5: Avantages et Inconvénients des thermodurcissables

Appellation et Symboles

La chimie des matières plastiques ainsi que sa technologie ont fait apparaître une série d'appellation spécifique dont l'utilisation orale n'est pas facile

Ces appellations sont souvent remplacées par des symboles utilisés par l'ensemble des ouilleurs et des plasturgistes.

Symboles	Appellation	Symboles	Appellation
ABS	Acrylonitrile butadiène styrène	PP	Poly Propylène
APV	Alcool Polyvinylique	PPO	Poly oxyde de phényle
CA	Acétate de Cellulose	PS	Polystyrène
EP	Epoxyde	PSC	Polystyrène choc
EPF	Polyéthylène propylène fluoré	PU	Polyuréthane
PA	Polyamide	PVC	Polychlorure de vinyle
PEE	Polyéthylène Exposé	RIM	Réaction injection molding
PF	Phénol – Formol	SI	Silicone
PFE	Poly fluoré éthylène	TD	Thermodurcissable
PI	Poly imide	TP	Thermoplastique

Tableau 6: Appellation et Symboles des matières plastiques

5.3 Propriétés des polymères

Les polymères sont des macromolécules constituées de répétitions d'unités structurales appelées monomères. Ils possèdent plusieurs propriétés intéressantes qui les rendent utiles dans de nombreux domaines. Voici quelques-unes des propriétés des polymères :

5.3.1 Propriétés physiques

La résistance à la traction du polymère s'améliore avec la longueur de la chaîne et la réticulation.

Les polymères passent d'un état cristallin à un état semi-cristallin sans fondre.

Voici quelques caractéristiques physiques cruciales des polymères :

Les polymères ont souvent une grande **masse moléculaire**, ce qui indique qu'ils sont composés de nombreuses unités répétitives. La viscosité, la résistance à la traction et la stabilité thermique ne sont que quelques-unes des caractéristiques affectées par la masse moléculaire.

Densité : Les densités des polymères peuvent varier considérablement. Alors que certains polymères peuvent flotter en raison de leur densité inférieure à celle de l'eau, d'autres peuvent être plus lourds que l'eau.

Points de fusion et de solidification : Selon leur composition moléculaire et les forces qui interagissent avec eux, les polymères peuvent exister sous forme solide, liquide ou semi-cristalline. Le point de solidification est la température à laquelle un polymère liquide se solidifie ; le point de fusion est la température à laquelle un polymère solide se transforme en un état liquide

Rigidité : Certains polymères résistent à la déformation en raison de leurs structures moléculaires rigides. Certains polymères peuvent se plier et se déformer sans se casser car ils sont plus élastiques et flexibles.

Facilité de transformation : Les polymères sont souvent faciles à transformer grâce à des techniques telles que l'injection, l'extrusion et le moulage par compression, ce qui permet de les fabriquer sous différentes formes et tailles.

Flexibilité et élasticité : Les polymères peuvent être très flexibles et élastiques, ce qui les rend adaptés à des applications nécessitant une déformation réversible, comme les matériaux d'emballage et les joints d'étanchéité.

6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait des recherches sur le roto-moulage et les machines de roto-moulage avec la connaissance sur les polymères

Le but de ce chapitre est de faire des étapes sur le travail que nous avons préparé sur le roto-moulage

Chapitre II : Conception de la machine

1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre 2, nous présentons la conception d'un moule et la réalisation d'un rotatif pour le moule. Dans ce nouveau type de conception de machine. Un seul moule est monté à l'intérieur d'un cadre, la vitesse de rotation est faible (4 tr/min) et le moule bascule autour d'un axe et fait une rotation complète de 360°. Cette forme de la machine permet une distribution uniforme de la matière à la paroi du moule.

Comme pour tous les processus et produits techniques d'aujourd'hui, les ordinateurs sont largement utilisés dans le roto-moulage. La figure 1 illustre certains des domaines où les ordinateurs sont utilisés, en commençant par la modélisation solide des concepts du concepteur, en passant par la conception de moules assistée par ordinateur, le contrôle des processus, la conception mécanique et la prédiction des performances, et se terminant par le contrôle de la qualité.

Certains de ces domaines sont examinés ci-dessous.

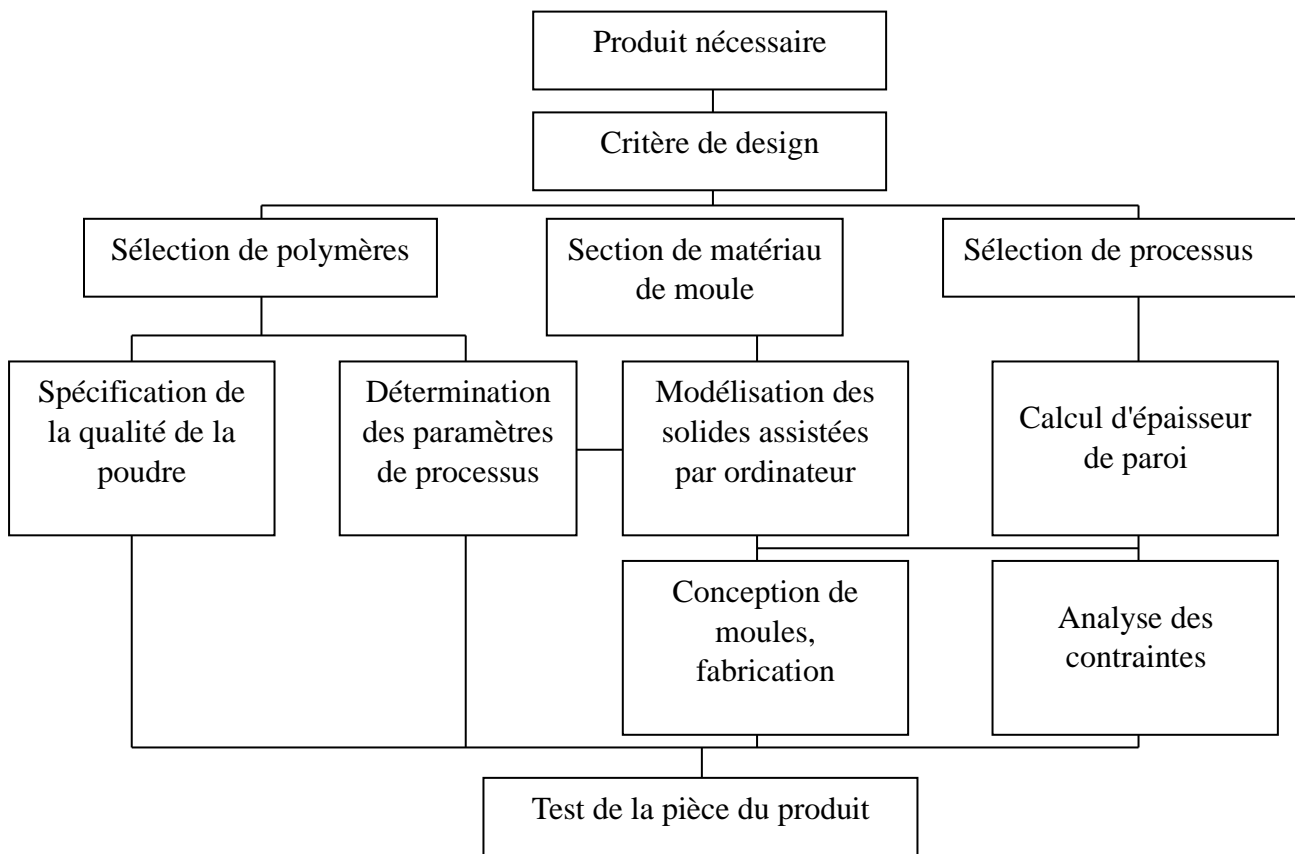


Figure 34: Ingénierie assistée par ordinateur dans le roto-moulage

2 CONCEPTION DE LA MACHINE

Dans cette conception de la machine, illustrée à la figure 2, assure une rotation biaxiale complète de 360° et l'alimentation électrique des éléments chauffants se fait au moyen de bagues collectrices dans les joints tournants. Le refroidissement est assuré en soufflant de l'air à aide des deux ventilateurs. Ce concept de machine présente l'avantage d'un chauffage direct du moule et est donc très économe en énergie. On prétend que jusqu'à 80 % de l'énergie fournie au système est utilisée pour faire fondre le plastique.

Comme la machine électrique n'utilise pas de four, elle facilite également l'accès facile au moule pour l'instrumentation, les charges supplémentaires de matière, etc. Les inconvénients sont que les moules ne peuvent pas être facilement modifiés et que les temps de cycle sont longs car le chauffage, le refroidissement et l'entretien se déroulent séquentiellement plutôt qu'en parallèle.

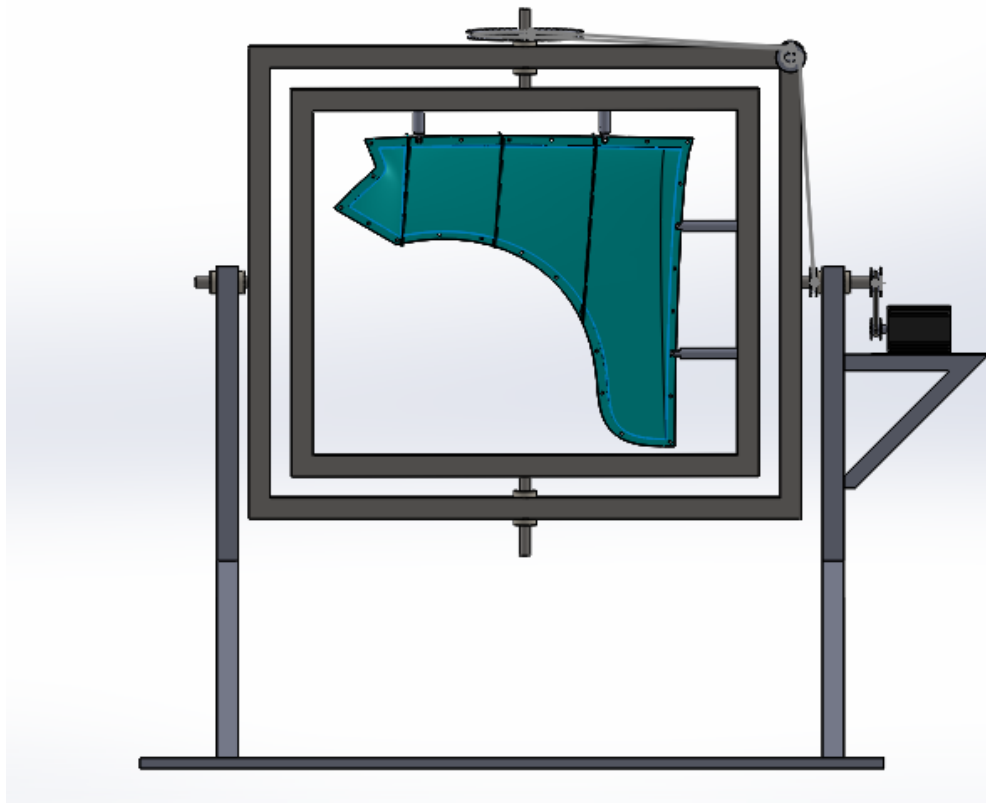


Figure 35: Vue latérale d'une machine de moulage par rotation

Lorsque l'on considère les moyens d'améliorer la conception des machines et, en particulier, de réduire les coûts de fabrication, il est important de réaliser que les matériaux, les moules et les machines de moulage ont tous un rôle à jouer dans de tels développements. De ce fait, le polyéthylène, dans toutes ses déclinaisons et de par sa nature normalement thermiquement stable,

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

est devenu le polymère de choix. Bien que les processus de transfert de chaleur soient intrinsèquement lents dans les fours à air chaud, comme indiqué ci-dessus, un facteur majeur contribuant aux longs temps de cycle est l'épaisseur de la pièce moulée et le fait qu'elle est chauffée/refroidie d'un seul côté.

Le fait que la plupart des pièces moulées par rotation soient en polyéthylène signifie que la forme doit être utilisée très efficacement pour compenser le faible module élastique de ce plastique. Comme nous le verrons plus loin, dans la mesure du possible, des sections ondulées, des points de séparation et d'autres caractéristiques géométriques sont utilisés.

Pour conférer de la rigidité au produit final. Et bien sûr, l'épaisseur de la pièce est un facteur majeur à cet égard. La rigidité transversale ou en flexion d'un matériau est proportionnelle au cube de l'épaisseur. Le doublement de l'épaisseur donne un gain de rigidité d'un facteur 8. Il n'est donc pas surprenant que la plupart des pièces moulées par rotation soient beaucoup plus épaisses que les produits moulés par injection équivalents.

Il y a donc un cercle vicieux dans la mesure où le mouleur utilise du polyéthylène et donc les épaisseurs de paroi doivent être importantes pour obtenir des propriétés raisonnables dans le moulage. Il en résulte de longs temps de cycle et cela signifie à son tour que le processus est limité au polyéthylène. Si le processus de moulage par rotation avait accès à des matériaux à module plus élevé, les parois pourraient être plus minces, ce qui signifie que les temps de cycle pourraient être plus courts et que la sensibilité thermique deviendrait ainsi moins problématique.

Au cours de la dernière décennie, de nombreuses informations techniques ont été accumulées sur le processus de roto-moulage. Au cours de la prochaine décennie, il sera essentiel que l'industrie applique ces connaissances pour apporter des améliorations majeures à la performance de l'équipement de moulage. Les temps de cycle doivent être réduits à une fraction de ce qu'ils sont aujourd'hui afin que le roto-moulage puisse rester compétitif par rapport au moulage par soufflage industriel et aux technologies émergentes telles que le thermoformage à deux feuilles et le moulage par injection assisté par gaz.

L'utilisation du chauffage/refroidissement direct du moule doit être perfectionnée, l'utilisation du chauffage et du refroidissement internes doit être intégrée dans les machines commerciales et les avantages de la pressurisation du moule doivent être réalisés. Cela nécessitera un effort concerté de la part des fournisseurs de matériaux, des fabricants de moules et des constructeurs de machine.

Voici notre machine du procédé de roto-moulage, c'est une machine qui est constitué de plusieurs éléments assemblés pour faire en sorte que la matière soit bien répartie dans le moule.

Voici la partie mécanique de cette machine :

Cadres de la machine

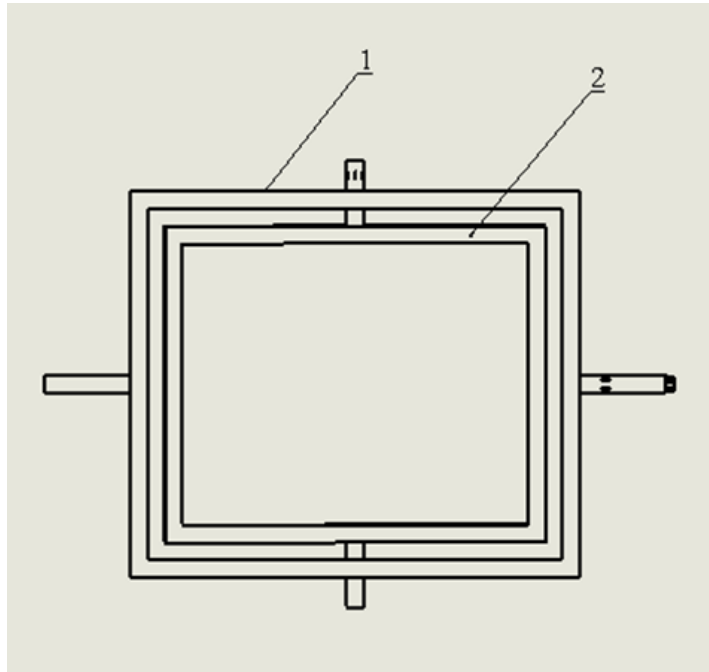


Figure 36: Cadres de la machine

C'est principalement deux arceaux qui sont monté de façon de faire des rotations sur deux axes perpendiculaires, ces deux arceaux serrent monter sur des supports et ensuite sur le bâti.

Ajoutant un système d'engrenage, chaine et poulie ; qui permet de transmettre le mouvement et d'avoir une vitesse de rotation différente sur les deux axes.

Le rapport de vitesse de rotation entre les deux axes serra de 4 :1 (pour 4 tours sur le premier axe, le deuxième axe fera 1 tour)

Tout ce système sera entraîné par un moteur électrique [Nema 34 de 8.5nm]

La vitesse de rotation sera assez basse pour éviter les forces centrifuges et de bien répartir la matière sur les parois du moule.

Assemblage finale est illustré sur la figure 4

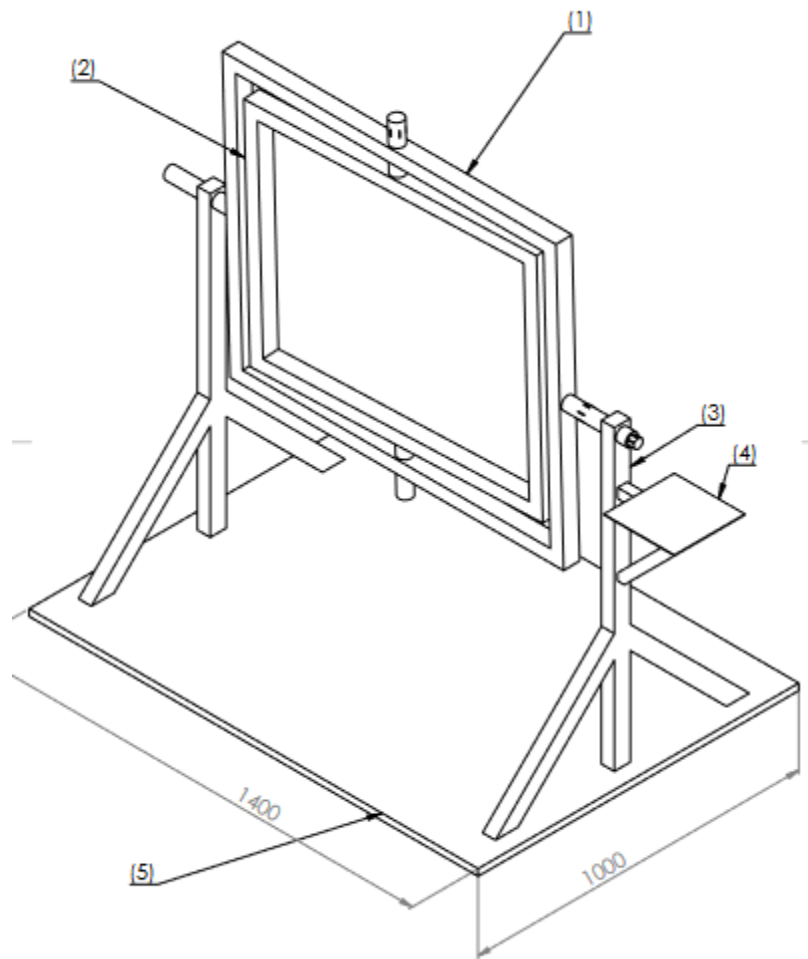


Figure 37: Machine rotative de roto-moulage

Enfin, le moule est fixé sur le deuxième arceau, pour que ce dernier entre en rotation.

3 Moteur électrique [Nema 34 de 8.5nm]

Le moteur pas à pas NEMA 34 est un type de moteur utilisé dans les systèmes de commande numérique par ordinateur (CNC) pour le contrôle précis du mouvement. Il est souvent utilisé dans les applications nécessitant une puissance et un couple plus élevés, par rapport aux moteurs pas à pas plus petits comme le NEMA 17 ou le NEMA 23.

3.1 Spécification de moteur :

3.1.1 Spécifications électriques :

- Numéro de pièce du fabricant : 34HS46-5004D

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

- Type de moteur : Pas à pas bipolaire
- Angle de pas : 1.8 deg
- Couple de maintien : 8.5Nm(1204oz.in)
- Courant nominal/phase : 5.0A
- Résistance de phase : 1.0ohms
- Inductance : 11mH \pm 20% (1KHz)

3.1.2 Spécifications physiques

- Taille du cadre : 86 x 86mm
- Longueur du corps : 114mm
- Diamètre de l'arbre : Φ 14mm
- Longueur de l'arbre avant : 37mm
- Longueur de l'arbre arrière : 34mm
- Longueur de la coupe en D : 25mm
- Nombre de fils : 4
- Longueur du fil : 300 mm
- Poids : 3.6kg



Figure 38: Le moteur électrique [Nema 34 de 8.5nm]

4 Rapport de vitesse des axes

Le rapport de vitesse des deux axes ou le "ration" sera de 1 :4, pour éviter les forces centrifuge et que la matière sera uniformément répartie.

Alors pour cela on aura besoin de deux engrenages de taille différente, la taille de l'engrenage moteur sera de petite taille par rapport à l'engrenage mené.

Les engrenages seront de taille standard et normalisé.

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

4.1 Calcul du rapport de vitesse : (poulie + courroie ronde)

- Temps de cycle (20mn)

4.2 Caractéristiques de la pièce

- ✓ Volume d'aile = diamètre x 2 = 302891 x 2 = **605782 mm³**
- ✓ Volume de la pièce (aile gauche + droite) = 605782 x 2 = **1211.2 cm³**
- ✓ Densité de la pièce = **0.925 g/cm³**
- ✓ Masse de la pièce = (volume de la pièce x densité)
- ✓ Masse de la pièce = 1211.2 x 0.925 = **1120.36 g**
- ✓ Densité = **0.925g/cm³**
- ✓ V(aile) : **605782 cm³**

4.3 Calculs de la transmission de courroie

N1 : vitesse de moteur (1) = 20 (Tr/mn)

N2 : vitesse d'arbre secondaire = 7.27 (Tr/mn)

D1 : diamètre de la poulie moteur = 60 mm

D2 : diamètre de la poulie arbre secondaire = 160 mm

$$\frac{N2}{N1} = \frac{D1}{D2} \implies N2 = \frac{N1 \times D1}{D2}$$
$$= \frac{20 \times 60}{160} = 7.27 \text{ (Tr/mn)}$$

4.4 Rapport de vitesse (courroie) :

$$Rv = \frac{N1}{N2} \approx 2.66$$

[C] : Entraxe : c'est la distance entre les axes de rotation des poulies = 925 mm (calculer par SolidWorks)

L'angle $\alpha = 90^\circ$ (d'après la conception de la machine)

4.5 Calcul la longueur de courroie [1]

$$\alpha = \pi - 2\beta$$

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

$$\beta = \left[\sin \right]^{-1} \frac{d_2 - d_1}{2c} =$$

$$\beta = \left[\sin \right]^{-1} \times \frac{165 - 60}{2 \times 165} = \mathbf{18.55}$$

$$\alpha = 90 - 2(18.55) =$$

$$\alpha = \mathbf{52.88^\circ}$$

Equation

$$L = L_p = 2 \times C + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4c}$$

$$L = 2 \times 160 + \frac{\pi}{2}(60 + 160) + \frac{(160 - 60)^2}{4 \times 160}$$

$$L = \mathbf{700.12 \text{ Po}}$$

Pour déterminer la longueur la plus proche on utilise l'équation suivants : (cours Mr meghraoui)

$$LS = LP - \Delta$$

$$LS = 700.12 - 5.5$$

$$LS = \mathbf{694.62 \text{ Po}}$$

Désignation	Longueur (po)	Facteur de conversion Δ (po)
A	26 à 128	1,3
B	35 à 240	1,8
B	240 et plus	2,1
C	51 à 210	2,9
C	210 et plus	3,8
D	120 à 210	3,3
D	210 et plus	4,1
E	180 à 240	4,5
E	240 et plus	5,5

* D'après la norme ANSI/RMA-IP-20-1977. Utilisation autorisée par la RMA.

Figure 39 : Facteurs de conversion Δ pour les courroies classiques

4.6 Calculer le choix de moteur (asynchrone)

Pour le choix de moteur, on détermine la puissance équivalente selon le régime de fonctionnement.

On a l'équation suivante :

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

$$N_e = (M_e \times n \times 3.1418) / 30 \times 10^{-3} \text{ kw}$$

M_e : moment équivalent sur l'arbre du moteur

$M_e = \text{le bras} \times \text{la force}$

$$M_e = 10 \times 30$$

n : nombre de tour de l'arbre de moteur tr/mn

Application numérique :

$$N_e = (30 \times 10 \times 20 \times 3.1418) / 30$$

$$N_e = 0.628 \text{ kw}$$

Conclusion

Un moteur considéré (nema 34 de 8.5 mm) de $P = 0.630 \text{ kw}$

Car la puissance de moteur asynchrone : $p = 0.8 \text{ kw}$

5 CONCEPTION DU MOULE

Dans l'industrie du roto-moulage, la grande majorité des moules sont en métal. Les moules en fibre de verre ou d'autres types de composites sont utilisés pour certaines applications spécialisées, mais la plupart des moules commerciaux sont en tôle d'acier, en nickel ou en fonte d'aluminium. Les moules sont des structures en forme de coque relativement minces car, contrairement au moulage par injection ou par soufflage, les forces sur le moule sont faibles et la chaleur doit être transférée rapidement vers et depuis le moule.

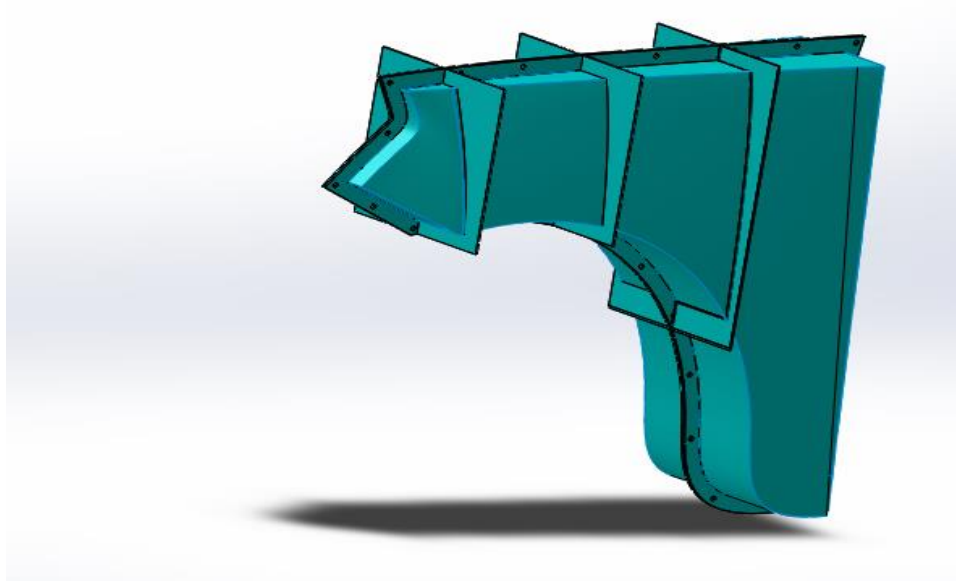


Figure 40: Vue latérale du moule

Dans la plupart des cas, la complexité et la taille de la pièce dictent le type de métal et la méthode de fabrication utilisée pour le moule. Pour les grandes pièces aux formes simples, telles que les réservoirs, les moules sont mieux fabriqués à partir de tôle laminée, soit en acier au carbone, soit en acier inoxydable. Pour les pièces très détaillées, telles que les têtes de poupées, et lorsque du vinyle liquide est utilisé pour produire la pièce, le nickel électro formé est recommandé. Dans notre cas, une tôle noir est utilisée pour la fabrication du moule.

L'acier à faible teneur en carbone est généralement considéré comme satisfaisant pour la plupart des applications à faible volume, bien que l'acier galvanisé soit utilisé dans certains cas où la rouille peut être un problème.

L'acier inoxydable, en particulier la série 300 d'aciers inoxydables soudables, est utilisé lorsqu'une attaque chimique due à la décomposition du polymère ou au dégagement gazeux est prévue, ou lorsque la corrosion du moule pose un problème en raison du type de refroidissement utilisé, ou parce que les moules doivent être stockés à l'extérieur.

Il convient de rappeler que l'acier inoxydable est beaucoup plus doux que l'acier au carbone et a une conductivité thermique beaucoup plus faible que l'acier au carbone. Habituellement, les moules en acier n'ont pas de texture ou sont sablés grossièrement pour obtenir une finition mate.

5.1 Conception de la ligne de séparation

Le moule est composé de deux pièces et s'ouvre à la manière d'un clapet pour l'entretien. Les moules en trois et quatre pièces sont utilisés lorsque la pièce est extrêmement complexe ou présente des contre-dépouilles importantes. L'interface entre les sections du moule s'appelle la

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

ligne de séparation. Pour les pièces simples comme dans notre cas, la ligne de séparation est généralement plane.

Les sections de moule doivent rester accouplées sans se déplacer dans le plan ou verticalement pendant le cycle de chauffage et de refroidissement. Même des quantités infimes de décalage différentiel peuvent provoquer des soufflures dans la pièce le long de la ligne de séparation.



Figure 41: Surface de guidage



Figure 42: Joint à recouvrement à angle

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

La figure 8 montre le joint à recouvrement à angle droit courant. Cette ligne de séparation est obtenue en usinant les bords d'accouplement appropriés dans le corps de moule soudé.

5.2 Plaques de guidage

Les demi-moules sont montés dans des plaques de guidages, comme le montre la figure 9. Cela garantit que toutes les forces sont placées contre les cadres, et non contre la coque du moule, lors de l'assemblage des moules après remplissage et lors du démontage après refroidissement. Cependant, il doit y avoir un compromis dans la fixation du moule aux plaques de guidages.

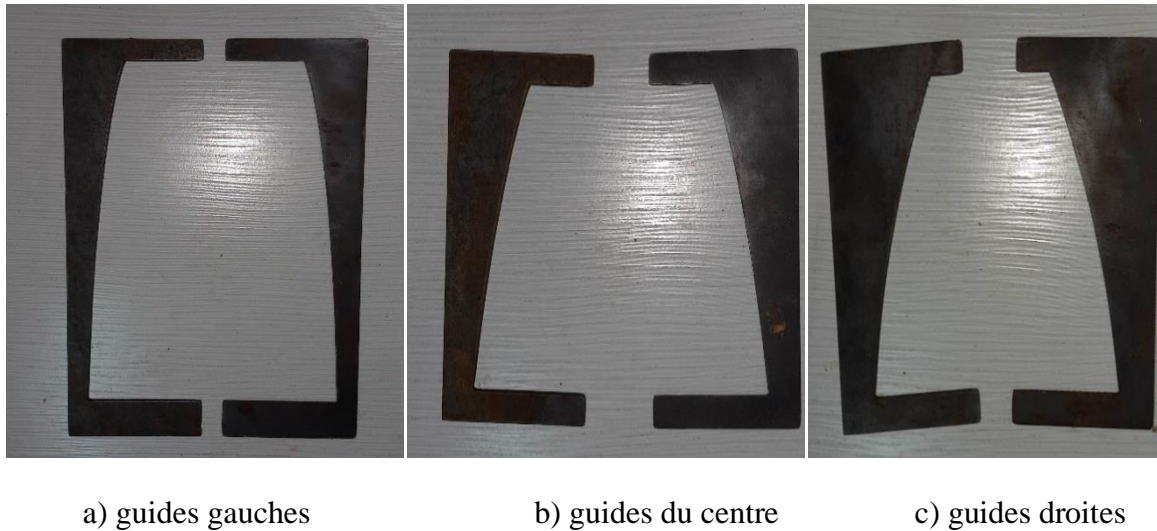


Figure 43: Plaques de guidage

Ces plaques ont été découpées par découpage plasma.

Il est évident que le moule est maintenu plus solidement aux plaques de guidages avec de nombreux points de fixation sur le moule. Malheureusement, chaque point de fixation représente un dissipateur thermique lors du chauffage de l'assemblage du moule et un point chaud lors du refroidissement.

Un compromis consiste à fournir de nombreux points de fixation avec des dimensions aussi petites que possible, en particulier là où les fixations entrent en contact avec la surface du moule.

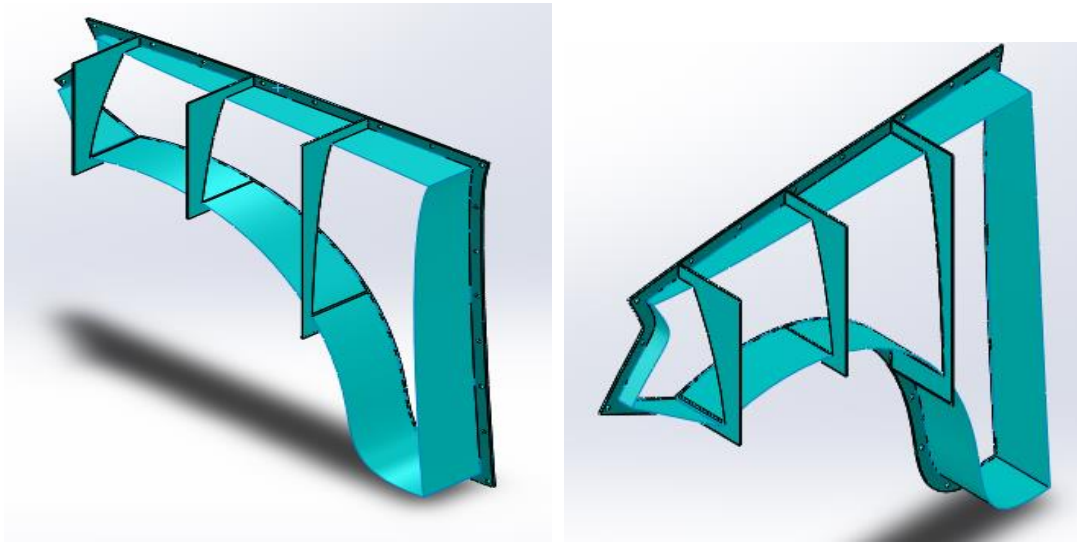


Figure 44: assemblage des plaques découpées au plasma

5.3 Serrage

Les moitiés de moule doivent être serrées pour minimiser le décalage différentiel à la dilatation thermique. Afin de minimiser les dommages au plan de joint pouvant survenir lorsque les boulons de serrage sont serrés de manière agressive, les moules sont généralement montés sur ressort sur le cadre du moule, la compression du ressort étant ajustée avec un boulon fileté soudé dans une section non critique du corps du moule.

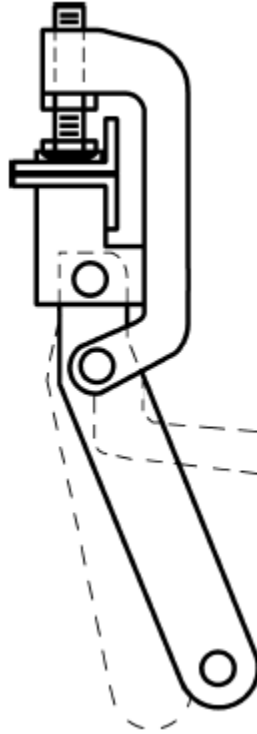


Figure 45: Pince à bascule à action inverse

La pince à bascule applique une force de serrage en raccourcissant la distance entre les deux moitiés de moule grâce à une liaison excentrique. Plus souvent qu'autrement, la force de serrage

6 CALCUL DU POIDS DE LA CHARGE

Une partie importante de la fabrication d'un moule consiste à relier l'épaisseur de la paroi de la pièce au poids de la charge. Dans certains cas, le poids sera fixé pour rendre le produit final économiquement viable. L'épaisseur de la paroi peut alors devoir être calculée afin de faire une analyse de contrainte rapide (ou approfondie) pour s'assurer que le produit final remplira sa fonction. Dans d'autres cas, l'épaisseur de paroi souhaitée sera connue à partir d'une analyse par éléments finis.

Le poids de charge approprié est estimé pour fournir cette épaisseur. La surface de la pièce sera connue. A partir de là, l'épaisseur de la paroi de la pièce peut être obtenue et, par conséquent, un poids de charge précis déterminé.

7 ORIFICE D'AERATION (VENTILATION)

Il est normal sur un moule rotatif d'avoir un orifice d'aération pour permettre à l'air de quitter le moule pendant l'étape de chauffage et d'entrer dans le moule pendant l'étape de refroidissement. En effet, la pression dans la cavité du moule doit être contrôlée tout au long du processus de chauffage et de refroidissement. Si le moule était complètement scellé, le gaz emprisonné dans le

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

moule voudrait se dilater lorsqu'il est chauffé. Cependant, cela ne serait pas possible en raison des contraintes du moule, et ainsi une pression se créerait à l'intérieur du moule. Si cela se produit pendant le moulage, il est possible que le plastique fondu soit expulsé au niveau de la ligne de séparation, provoquant une soufflure dans la pièce ou, dans les cas graves, le moule peut se déformer.

Il est possible de calculer la montée en pression comme suit. La loi des gaz parfaits peut être utilisée pour déterminer l'effet sur la pression d'une température croissante lorsque le moule n'est pas ventilé :

D'après la loi des gaz parfaits, nous savons que

$$P V = n R T$$

Où n et R sont des constantes. Si V est traité comme une constante, la pression est proportionnelle à T . En considérant l'état du gaz avant et après le changement de température, on obtient :

$$P_1 V = n R T_1$$

$$P_2 V = n R T_2$$

$$\frac{P_1}{T_1} = n \frac{R}{V}$$

$$\frac{P_2}{T_2} = n \frac{R}{V}$$

Puisque P_1/T_1 et P_2/T_2 sont égaux à nR/V , par la propriété transitive, ils doivent être égaux entre eux :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Ainsi la pression finale à température élevée est donnée par la loi de Gay-Lussac :

$$P_2 = \left(\frac{P_1}{T_1}\right) T_2$$

7.1 FINITION DE SURFACE DU MOULE

La sur-spécification de la finition de surface est un problème courant dans le roto-moulage. Étant donné que le moulage par rotation est un processus de poudre à pression nulle, les moules hautement polis ne sont généralement pas souhaités. La poudre rotative n'adhérera pas temporairement à un moule hautement poli. Le polymère fondu ne peut pas reproduire de manière adéquate la surface d'un moule hautement poli.

Le moule est fini par sablage ou grenailage, en utilisant des particules de 100 à 200 mesh. De cette façon, une finition mate est appliquée à la surface du moule.

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

Les finitions de surface uniformes sont difficiles dans les cavités profondes. Tous les angles de dépouille doivent être augmentés à mesure que la profondeur de la texture augmente. Une règle empirique est que tous les angles de dépouille doivent être augmentés d'un degré pour chaque 0,25 mm de profondeur de texture. Il convient de noter que toutes les finitions de surface nécessitent beaucoup de main-d'œuvre et peuvent donc être très coûteuses.

8 DEMOULAGE

Le roto-moulage est un processus à pression quasi nulle, où, pour la plupart, le polymère liquide recouvre l'intérieur de la surface du moule. Lorsque le polymère refroidit et se solidifie, il se retire de la surface du moule. Des conceptions relativement simples peuvent avoir des angles de dépouille nuls ou même négatifs et les pièces se dégageront proprement du moule.

L'objet du démoulage est d'interférer d'une manière ou d'une autre avec l'adhérence du polymère avec la surface du moule.

9 La matière utilisée

La matière utilisée c'est (**le Polyéthylène**) : est un plastique standard à faible cout. Il existe plusieurs types : PEHD (Polyéthylène haute densité), PEBD (Polyéthylène basse densité) et des copolymères tel que LLDPE. En Roto-moulage, il est l'une des matières les plus utilisées. Cette matière offre des caractéristiques intéressantes (légèreté, facilité de transformation, résistance chimique) notamment pour la fabrication de produits divers : conteneurs, cuves de stockage, mobilier urbain, mobilier design, bouées de balisage...

9.1 Principaux avantages du PE

- Résistance au choc même à froid
- Résistance à l'abrasion
- Faible coefficient de frottement
- Qualité du souple au Rigide
- Inertie Chimique
- Qualité contact alimentaire
- Isolation électrique

9.2 Principaux Inconvénients du PE

- Collage difficile
- Températures maximums d'utilisation de 50 à 80°C suivant les qualités
- Retrait Important

Dans notre étude on utilise **le Polyéthylène a base densité** (PE-LD : 2.5 %) Le polyéthylène à base densité (PEBD) est un type de plastique couramment utilisé dans une grande variété

CHAPITRE II CONCEPTION DE LA MACHINE

d'applications, notamment dans les sacs en plastique, les films d'emballage, les bouteilles, les récipients, les tuyaux et les câbles.

Le PEBD est caractérisé par sa densité, qui se situe généralement entre 0,910 et 0,940 g/cm³. Cette densité relativement faible est due à la structure moléculaire de la matière plastique, qui se compose de longues chaînes de polyéthylène linéaire. [4]

9.3 Utilisations

- Bouchons
- Couvercles
- Canaux

Famille	Polyoléfines
Densité	0.92
Retrait	2.5%
Température	80°C maximum
T° d'injection	150 à 260 °C
T° outillage	4 à 60 °C
T ° veille	240°C maximum
T ° démoulage	60 à 95 °C

Tableau 7: Polyéthylène a base densité

9.4 Les avantages de Polyéthylène à base densité

Le LDPE est réputé pour sa forte résistance à la déchirure, aux chocs et à l'usure. Par conséquent, il peut être appliqué dans des situations où la ténacité et la durabilité sont nécessaires.

Flexibilité : Parce que le LDPE est un matériau très flexible, il peut être utilisé dans des situations où la flexibilité est requise. Il est facilement moulable, pliable et soudable si nécessaire

Isolation électrique : le LDPE possède des qualités d'isolation électrique efficaces, ce qui le rend pratique pour une utilisation dans les câbles et les fils électriques, entre autres utilisations.

Faible coût : par rapport aux autres plastiques, le LDPE est relativement bon marché. En conséquence, il est fréquemment utilisé dans des situations où le coût est un facteur décisif.

Recyclabilité : Parce que le LDPE est recyclable, il contribue à la réduction des déchets plastiques et à l'avancement de la durabilité environnementale.

9.5 Les inconvénients

Bien que le polyéthylène à base de densité (PEBD) présente de nombreux avantages, il présente également quelques inconvénients potentiels, notamment :

Rigidité limitée : le LDPE est moins rigide que les autres formes de polyéthylène. Par conséquent, il pourrait ne pas convenir aux applications nécessitant un niveau élevé de rigidité structurelle.

Sensibilité à la chaleur : le LDPE est sensible à la chaleur et peut devenir cassant dans des environnements chauds. Cela pourrait l'empêcher d'être utilisé dans des endroits où les températures sont élevées ou où la résistance à la chaleur est essentielle.

Faible résistance à la traction : Comparé à d'autres plastiques, le LDPE a une résistance à la traction relativement faible. Par conséquent, il pourrait ne pas convenir aux applications nécessitant une résistance mécanique importante.

Le LDPE peut être difficile à coller avec certains adhésifs en raison de sa nature chimique. Cela peut réduire les possibilités d'assemblage d'une application.

Chapitre III : la Réalisation

1 Introduction

Après être passé par la conception mécanique, est venu le tour de la conception et de la réalisation, et dans cette étape, nous avons dû réfléchir aux solutions les plus adaptées à notre projet en fonction de notre besoin et de la réalité du marché, dans cette partie nous sommes allés à travers de nombreux processus à partir de l'esquisse, de la conception CAO, de la production et de l'assemblage, nous avons rencontré des obstacles qui nous amènent parfois à rechercher d'autres solutions.

En fin de compte, nous avons utilisé des équipements de fabrication et une variété de matériaux pour compléter la machine de roto-moulage + le moule. Dans ce chapitre, nous essaierons de vous donner un aperçu approximatif de l'ensemble du projet.

2 Logiciel CAO

Le programme utilisé est Solidworks, un leader du marché des logiciels de CAO (conception assistée par ordinateur) et de CAE (ingénierie assistée par ordinateur) qui est utilisé par des millions de concepteurs et d'ingénieurs dans d'innombrables entreprises. Il fait partie des programmes de conception et d'ingénierie les plus largement utilisés. SOLIDWORKS est utilisé par de nombreuses professions et entreprises du monde entier en raison de sa large gamme de fonctionnalités et de ses excellentes fonctionnalités. L'utilisation de la conception paramétrique dans SOLIDWORKS en fait un outil puissant pour les concepteurs et les ingénieurs. De ce fait, le concepteur peut prédire l'impact des modifications sur les composants voisins ou même sur l'ensemble du système.

3 Conception

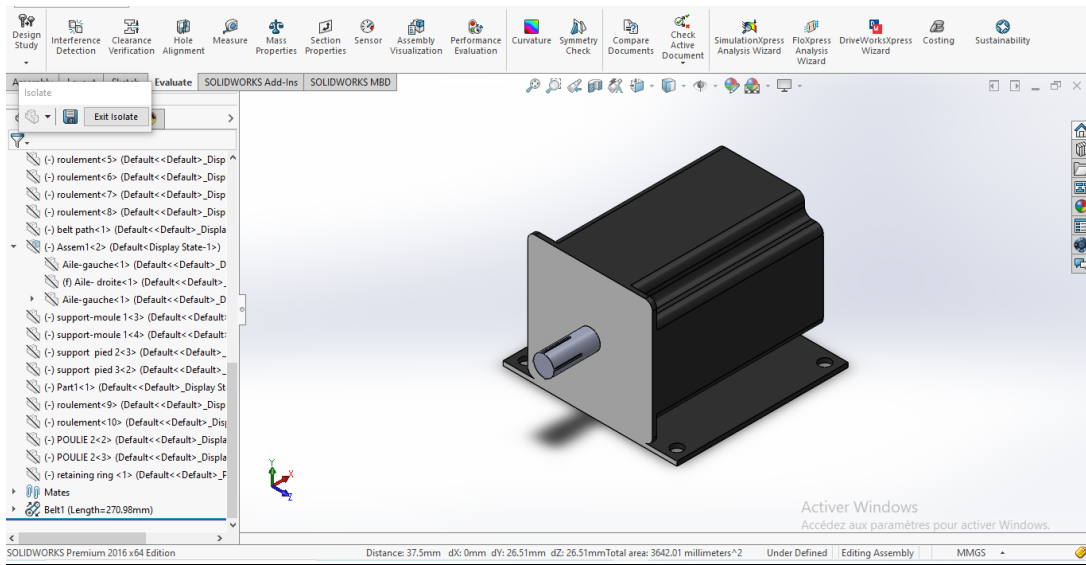


Figure 46: le moteur électrique

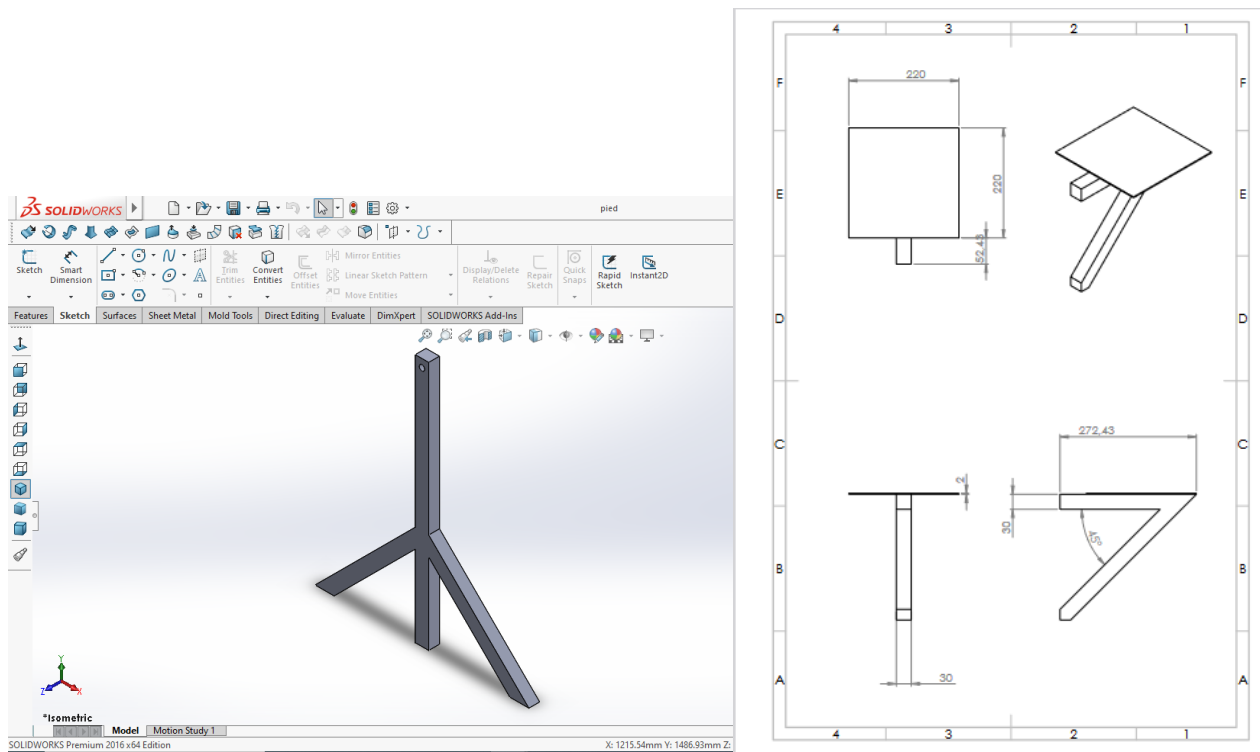


Figure 47: support de moteur

CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

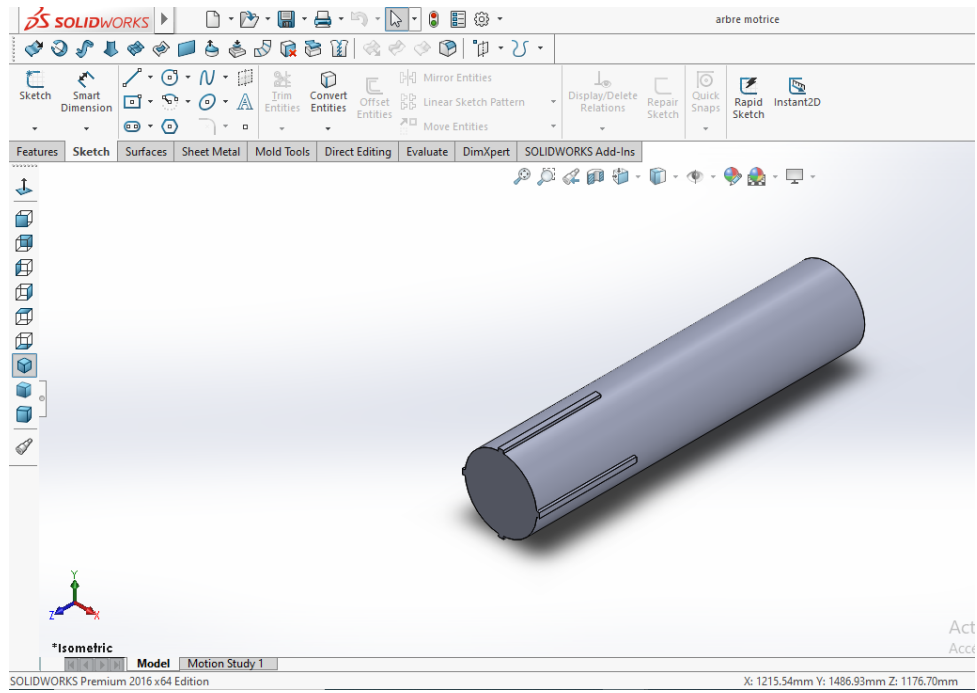


Figure 48 :arbre motrice

CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

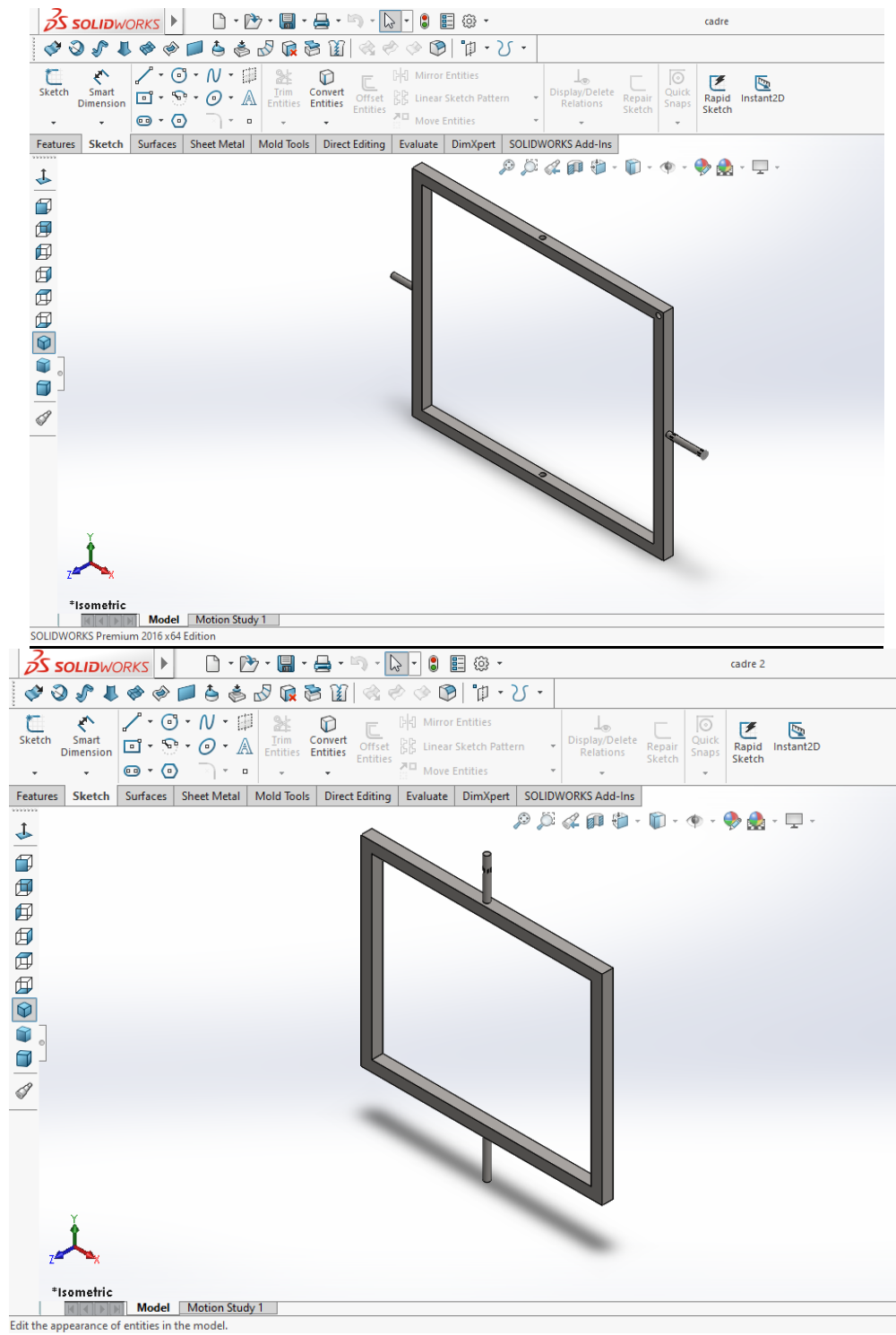


Figure 49: Les cadres

CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

Dans ce cas nous avons faire un perçage sur le cadre pour les poulies et le roulement et aussi pour le palier et le circlips

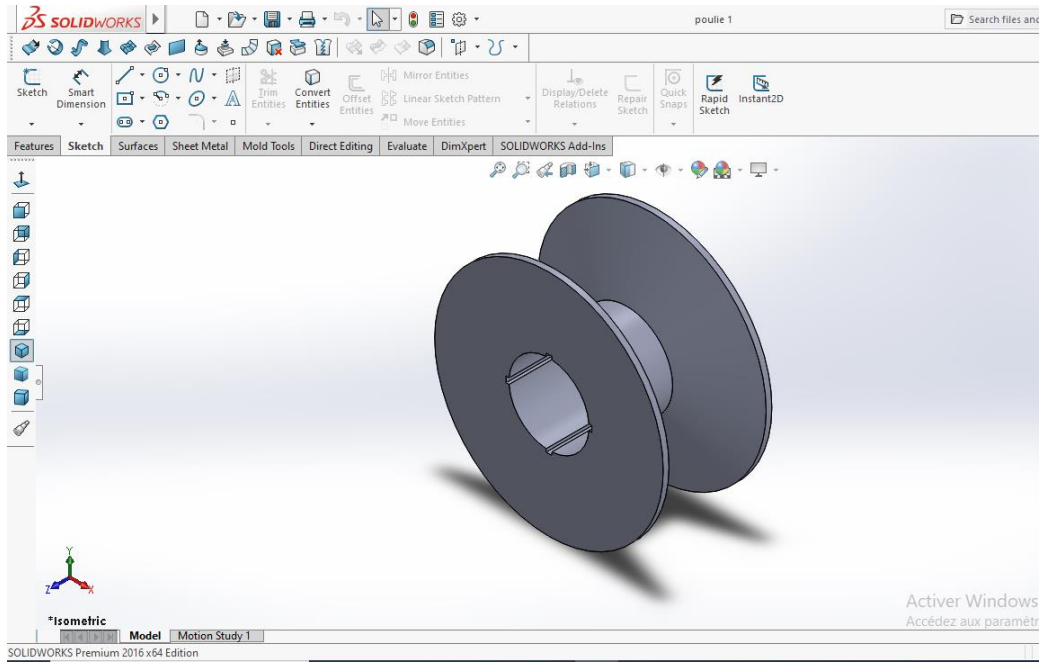


Figure 50: Poulie motrice (60mm)

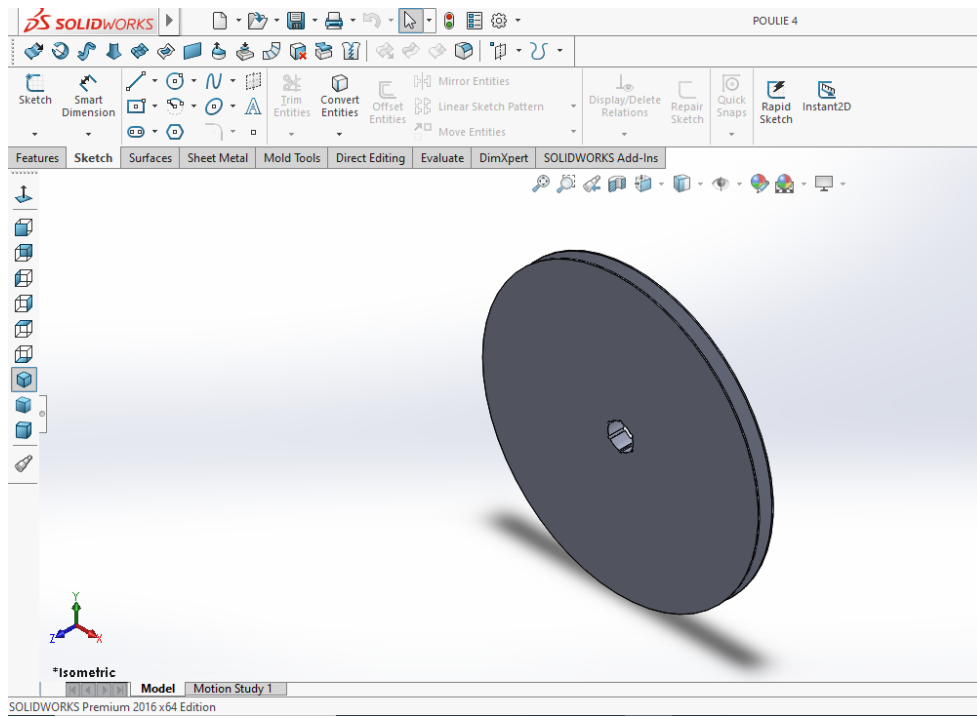


Figure 51: Poulie réceptrice (165mm)

CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

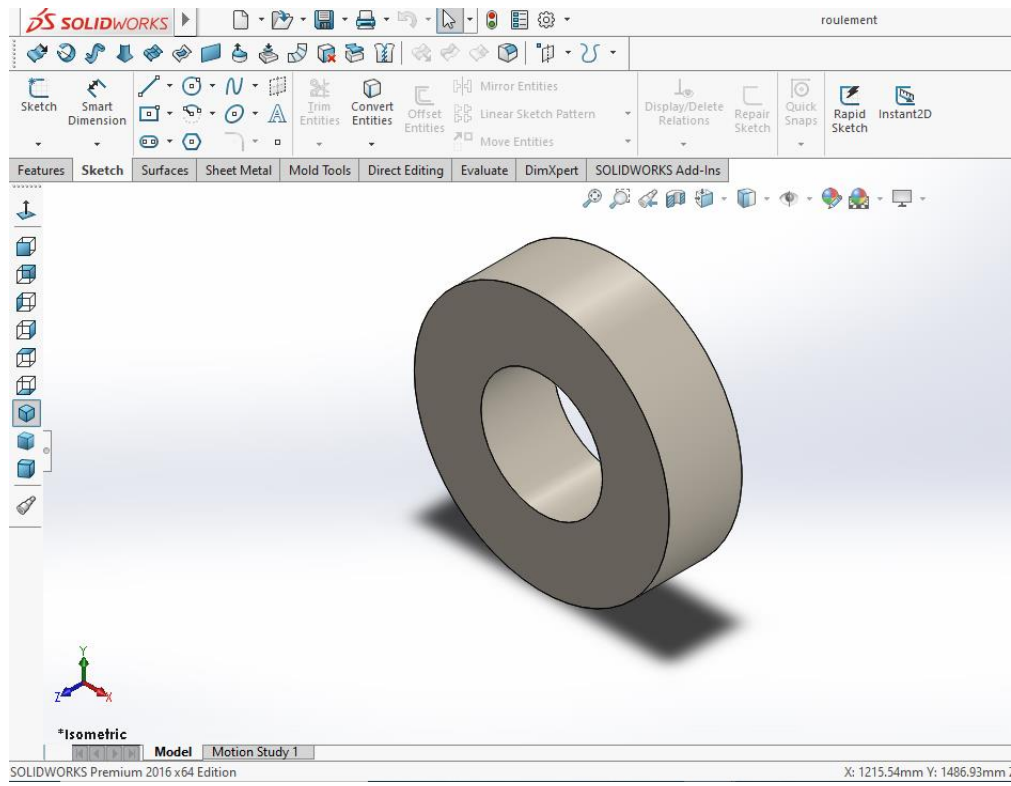


Figure 52: roulement

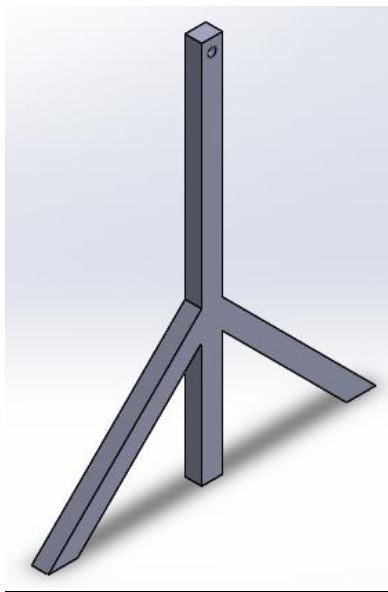


Figure 53:pied

CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

3.1 Assemblage du moule

Soudage des surfaces guide sur le joint ;



Figure 54: surfaces guides

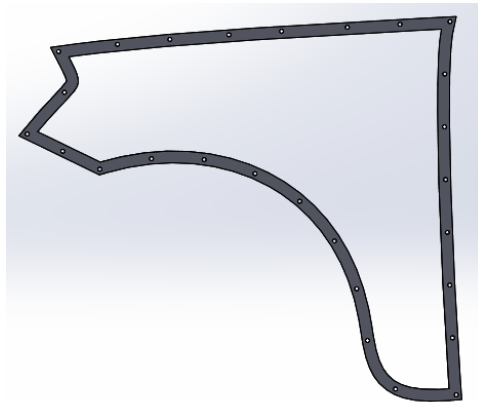
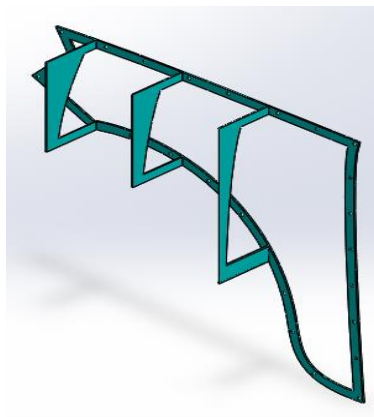


Figure 55: joint du moule

L'assemblage des pièces nous donnent :



CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

A l'aide du logiciel SOLIDWORKS (plus précisément la fonction 'surface flatten'), j'obtiens les plans des surfaces latérales du moule :

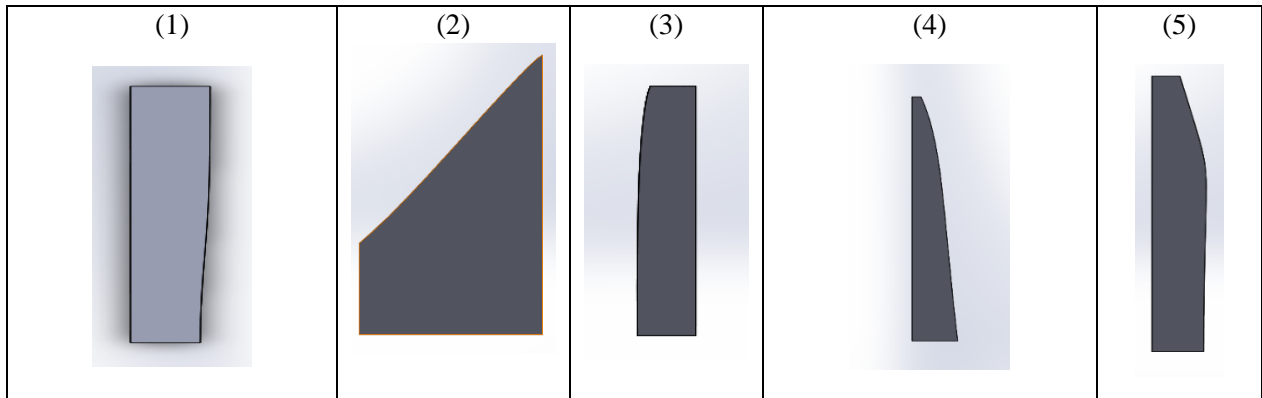


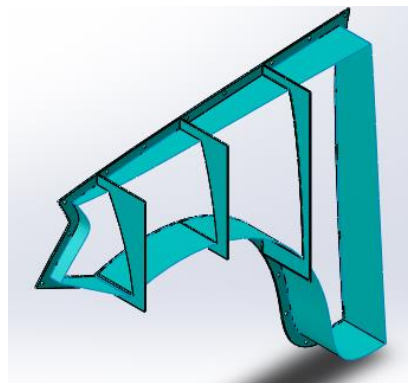
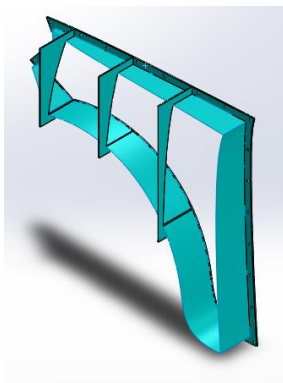
Figure 56: plans des surfaces latérale du moule

Ces plans précédents seront imprimés à l'échelle réelle sur des tôles ensuite découpés par découpage plasma.

Les surfaces précédentes seront amenées aux procédures de mise en œuvre.

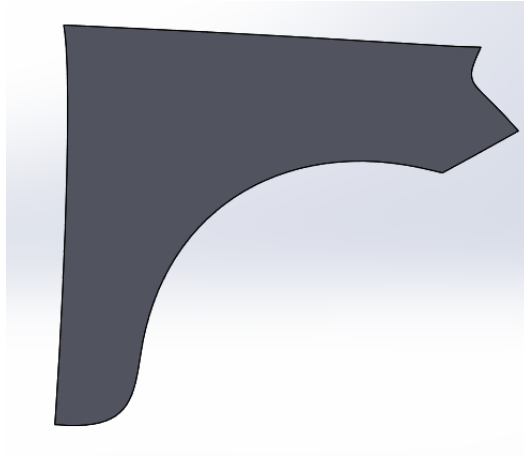
- Les tôles (1), (3), (4), (5), passeront par une cintreuse afin d'avoir la même forme du joint.
- La tôle (2), passera par une plieuse.
- Après tous ces procédures, les tôles seront soudées sur le joint du moule.

Le résultat obtenu :



La toute dernière pièces est obtenue de la même façon (même fonction sur SOLIDWORKS, et découpage plasma)

CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE



Cette pièce sera pliée afin d'être en contact avec toutes les pièces latérales du moule, ensuite elle sera soudée avec ces pièces.

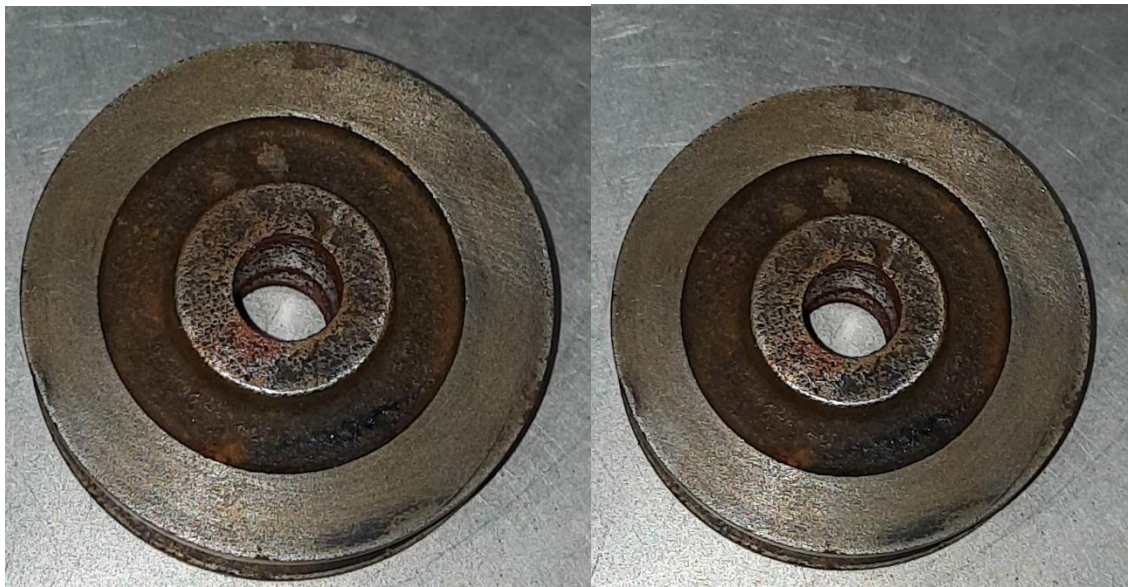
4 Réalisation

4.1 Les poulies

Les poulies ont également été achetées, la plus petite est la poulie motrice avec un diamètre de 60 mm la plus grande est la poulie entraînée avec un diamètre de 165 mm. Les deux sont en aluminium

Nous devons ajouter un circlips pour retenir des composant sur un arbre ou un alésage

Le rôle principal de circlips est sécurise les poulies



CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

4.2 Le moteur

Dans cette réalisation le moteur asynchrone que nous avons acheté est un moteur électrique type [Nema 34 de 8.5mm] avec une vitesse de 20 tr/min

Le moteur jouera un rôle de transformer la vitesse de polie (1) sur la polie (2)

4.3 La courroie

Dans ce cas-là le type de courroie est une courroie ronde de diamètre 8mm et de longueur 694 mm (**calculs chapitre II**) ce type de courroie nous aide à la transmission avec les polies

La cause de notre choix sur la courroie ronde est pour éviter les frottements avec les polies et éviter le découpage de courroie sur une certaine vitesse de rotation

4.4 Le roulement

Les roulements sont fixés sur les cadres de la machine. Ils ont pour rôle de support pour transformer le mouvement de courroie selon l'axe de (Y) à l'axe de (X)

Dans ce cas-là on ajoutera un palier pour assurer un support solide et une rotation fluide.



CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

4.5 La surface guide

La matière utilisée sur la tôle est l'acier (aile de voiture) nous avons découpé la tôle avec le plasma



4.6 Les surfaces guide (moule)



CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE

4.7 La tôle

La tôle est d'épaisseur de 2mm (1x1) m le découpage que nous avons fait c'est avec le plasma pour obtenir le moule final



4.8 Le soudage (surface guide + la tôle)

Lorsque on souder la tôle avec les surface guide on doit pliont les tôles

CHAPITRE III LA REALISATION DE MOULE



5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous sommes confrontés à des situations difficiles, du début de la réalisation jusqu'à la fin. Il nous faut beaucoup de temps pour atteindre notre objectif.

Pour la conception nous avons eu quelques problèmes pour effectuer le concept final de la machine et la tôle, cela a été fait avec l'aide de logiciel SOLIDWORKS pour concevoir les pièces.

Et pour la réalisation, Malheureusement la réalisation de moule n'a pas été effectué car les étapes de l'assemblage de moule est plus difficiles

Conclusion générale

La plupart des personnes ayant des compétences générales en ingénierie peuvent réaliser leurs propres machines de roto-moulage, cela a bien fonctionné pour certaines petites entreprises dans la mesure où cela leur a permis de répondre à des besoins internes et de satisfaire un marché local. Les machines fabriquées localement, n'ont pas beaucoup d'investissement.

Ce travail nous a permis de découvrir très profondément le fonctionnement des moules et des machines de roto-moulage avec tous les détails techniques et de commande ...etc. On a appris exactement comment réaliser une machine de roto-moulage avec tous ses organes principaux et auxiliaires et aussi de le paramétrer selon nos besoins.

Ce travail nous a permis de constater que :

- La finition de surface est un problème courant dans le roto-moulage. Étant donné que le moulage par rotation est un processus de poudre à pression nulle, les moules hautement polis ne sont généralement pas souhaités. La poudre rotative n'adhérera pas temporairement à un moule hautement poli. Le polymère fondu ne peut pas reproduire de manière adéquate la surface d'un moule hautement poli.
- Les finitions de surface uniformes sont difficiles dans les cavités profondes. Tous les angles de dépouille doivent être augmentés à mesure que la profondeur de la texture augmente. Une règle empirique est que tous les angles de dépouille doivent être augmentés d'un degré pour chaque 0,25 mm de profondeur de texture. Il convient de noter que toutes les finitions de surface nécessitent beaucoup de main-d'œuvre et peuvent donc être très coûteuses.
- Il est normal sur un moule rotatif d'avoir un orifice d'aération pour permettre à l'air de quitter le moule pendant l'étape de chauffage et d'entrer dans le moule pendant l'étape de refroidissement. En effet, la pression dans la cavité du moule doit être contrôlée tout au long du processus de chauffage et de refroidissement. Si le moule était complètement scellé, le gaz emprisonné dans le moule voudrait se dilater lorsqu'il est chauffé. Cependant, cela ne serait pas possible en raison des contraintes du moule, et ainsi une pression se créerait à l'intérieur du moule. Si cela se produit pendant le moulage, il est possible que le plastique fondu soit expulsé au niveau de la ligne de séparation, provoquant une soufflure dans la pièce ou, dans les cas graves, le moule peut se déformer.

Le coût total du projet est relativement faible, comparé à l'investissement qui serait nécessaire pour acquérir des équipements avec des caractéristiques similaires à celles fabriqués à notre niveau. Ce concept de machine offre une utilisation simple et flexible de la machine tout en respectant les normes actuelles et machine présente l'avantage d'un chauffage direct du moule et est donc très économe en énergie, il facilite également l'accès facile au moule pour l'instrumentation, les charges supplémentaires de matière.

REFERENCE

[1] (STEPPERONLINE. 2005 ~ 2023.)

[1] (DURA PLAS)

[1] (Future-sciences)

[1] (direct industrie)

[2] (cours Mr.maghraoui)[transmission par courroie]

[2] (CONCEPTION DE MOULE)

[3] (jean François pichon. (Injection des matières plastique))

[3] (DURA PLAS)

[4] (Tuyaux en polyéthylène type PE LD)

[6] (conception des pièces plastiques injectées par jean-tuc chavorlin)

1. G.L. Beall, Rotational Molding — Design, Materials, Tooling and Processing, Hanser/Gardner Publications, Munich/Cincinnati, 1998.

2. R.J. Crawford, Ed., Rotational Moulding of Plastics, 2nd ed., Research Studies Press, London, 1996, p. 260.

3. P.F. Bruins, Ed., Basic Principles of Rotational Molding, Gordon and Breach, New York, 1971.

4. B. Carter, “Lest We Forget — Trials and Tribulations of the Early Rotational Molders,” paper presented at ARM Fall Meeting, Dallas, 1998.

5. A. Wytkin, “A New Rotational Moulding System — Composite Mould Technology,” Rotation, 6:3 (1997), pp. 30-32.

6. A. Wytkin, “Composite Mold Upgrades Rotomolding Process Control, Mod. Plastics, 75:1 (Jan. 1998), pp. 2-3.

7. M.J. Wright and R.J. Crawford, “A Comparison Between Forced Air Convection Heating and Direct Electrical Heating of Moulds in Rotational Moulding,” SPE ANTEC Tech. Papers, 45:1 (1999), pp. 1452-1456.