

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : SCIENCES DE L'INGENIORAT

Département : métallurgie

Domaine : métallurgie

Filière : . métallurgie

Spécialité : génie des surfaces métallurgiques

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Moulage d'un pièce par injection métallique au niveau de l'ECMK

Présenté par : *Aghrou sara*

Encadrant : *Zahzouh Moussa*

Grade Professeur

Université: *Badji Mokhter-Annaba*

Jury de Soutenance :

Pr .zahzouh moussa	Professeur	Université	Président
Pr .zahzouh moussa	Professeur	Université	Encadrant
	Professeur	Université	Co-encadrant
Pr .khetache A	Professeur	Université	Examineur
Pr . Baccouche M	Professeur	Université	Deuxième examinateur / Membre invité

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

À Mon dieu, le clément et le Miséricordieux et de fidélité. C'est avec la bénédiction d'ALLAH que j'ai pu compléter ce travail.

À mes chers GRAND parents MAMA ET JADI RABI YRHO, qui m'ont tout donné pour arriver ici. C'est grâce à vous que je suis cette personne-là. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers vous. Que dieu vous garde pour moi, que vous Seriez toujours fiers de moi.

À mes chers parents

À Mes chers frères : « ghani », « atef », « Alou »,

A mes chères sœurs : « hanan », et ma sœur jumelle: « amoura »

La femme de mon frère : « haloum..»

UN GRANDE MRC POUR HACEN DJALLEB

À mes chères amies que j'ai vis avec eux autant des moments inoubliables : « NOUR », « asoum », « amel », « rania », « hiba », « Meriem », «soussou», «chayma », , «afef »,

A ma famille

À tous les personnes que j'ai connues et je n'ai pas cité ici

À tous les étudiants de métallurgie

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu, et avec toute ma gratitude, mon encadreur l'honorable, PR.ZAHZOUH MOUSSA pour son soutien, pour son temps consacré avec moi, et pour son aimable encouragement. C'était un grand plaisir que vous me guidiez durant la réalisation de ce travail.

Je remercie le membre de jury PR.KETTACHE ABDELKADER et PR.BACCOUCHE MOSTEFA

Je remercie mes grand parents leurs soutiens durant nos études.

Finalement merci à toute personne ayant contribué de près ou loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	Page
INTRODUCTION.....	01
Chapitre I : Partie Bibliographie	
I.1 : procédé de Moulage par Injection de Poudre (PIM).....	02.
I.2 : Moulage par injection métallique	02
I.2.1 : Le principe du procédé mim.....	03
I.2.2 :. matériaux transformés.....	05
I.2.3 : Porosité interne.....	05
I.2.4: Les etapes de procede MIM(moulage par injection metallique)	
I.2.4.1: Injection	05
I.2.4.1.1 :Principaux paramètres	06
I.2.4.1.2 : La machine de moulage par injection.....	
I.2.4.1.3 : Types de machines de moulage par injection.....	08
I.2.4.1.5 : Composants de la machine de moulage par injection :	
I.2.4.1.5.1:Unité d'injection	09
I.2.4.1.5.2:Unité de serrage	12
I.2.4.1.5.3:Le moule	13
I.2.4.2 :Le déliantage	14
I.2.4. 3 : Le frittage :.....	16
I.2.5 : Les matières premières	18
I.2.6 : Caractéristiques des pièces obtenues	19
I.3 :Les traitements (thermique & superficiel)	20
I.3 :Traitements thermiques.....	20

SOMMAIRE

I.3.1 :Recuit	20
I.3.1.1 : Procédé	21
I.3.1.2 : Procède technique	21
I.3.2: Trempe	23
I.3.2 Revenu	27
I.4: Bleuissage	30
I.5 Sablage	35

Chapitre II: Matériau d'étude, et techniques de moulage

II.1 Description des matières utilisées :

II.1.1: Matière utilise.....	41
II.1. Matériau étudié	41
II.2 : Dessin de produit	41
II. 3 :Norme de contrôle de formmage	43
II. 4:Norme d'opération de l'ébarbage	45
II.5:Norme d'opération catalytique acide (déliantage) :.....	46
II.6 :Norme d'opération de frittage	47
II.7: Norme de contrôle des pièces frittées.....	49
II.8 :Norme d'opération de redressage.....	50
II.9 :Norme d'opération de traitement thermique	50
II.10:Norme d'opération de sablage	52
II.11 :Norme d'opération de contrôle finale	53
CONCLUSION.....	54
REFERENCES	

Liste des Figures

Chapitre I : Partie bibliographie

Figure. I.1 : :injection de liant et de poudre métallique

Figure. I.2 : Délantage

Figure. I.3 :frittage

Figure. I.4 : Pièce moule par injection métallique

Figure. I.5 : la machine d'injection métallique

Figure. I.6 : différentes parties d'une presse d'injection métallique

Figure. I.7 : : machine de moulage par injection –unité d'injection

Figure. I.8 : machine de moulage par injection –unité de serrage

Figure. I.9 : moule d'injection métallique.

Figure. I.10 : four de delantage

Figure. I.11 : Four de frittage

Figure. I.12 :Acier après un revenu de différents degrés (en fonction de la couleur)

Figure. I.13 : Ravatement de façade à l'aide de sable à haute pression

Figure. I.14 : Ravatement de façade à l'aide de sable à haute pression

Chapitre II: Méthodes expérimentales

Figure II.1: Dessin de produit

Figure II.2: Figure de pose des pièces

Figure II.3 : Figure d'opération(redressage)

Figure II.4 :figure des effets après le sablage

Liste des Tableaux

Chapitre II: Méthodes expérimentales

Tableau II.1 : Composition chimique de la poudre utilise

Tableau II.2 : Spécifications techniques principales

Tableau II.2 :Exigences après le traitement thermique typique :

INTRODUCTION

Introduction :

Le moulage par injection est une technique de fabrication de pièces en grand série, Il concerne avant tout les matière plastiques et élastomères(caoutchoucs) mais aussi divers métaux et alliages à point de fusion relativement bas comme les alliage d'aluminium, de zinc, ou encore laitons 1

Le moulage par injection métallique utilise les mêmes équipements que l'injection plastique. Le feedstock est injecté à chaud sous pression dans l'outillage réalisé spécialement pour vous. Cet outillage peut comporter plusieurs cavités suivant la taille des pièces. La pièce refroidit dans la cavité puis elle est éjectée. A l'issue de cette étape, on obtient une pièce injectée que l'on appelle « pièce verte ».

I.1 : procédé de Moulage par Injection de Poudre (PIM)

Le procédé PIM regroupe deux technologies : le Moulage par Injection de Métal (MIM) et le Moulage par Injection de Céramique (CIM). Ces technologies permettent de mouler des pièces de formes complexes à partir d'un composé riche en métal, ou en céramique. Dans ces technologies, le moulage par injection semblable à celui des matières plastiques, est suivi par des traitements thermiques sur les pièces moulées, aboutissant à de réelles pièces métalliques ou céramiques. Le procédé PIM est en fait un procédé utilisant la technique de moulage par injection des matières plastiques pour fabriquer des pièces en métal ou en céramique. L'intérêt est de combiner les avantages de la mise en oeuvre des matières plastiques : liberté de conception, formes complexes possibles, précision de pièces, mise en oeuvre économique pour les grandes séries, et les avantages de performances de la pièce finie en fonction du matériau choisi :

résistance mécanique du métal, tenue thermique, tenue dans le temps, aspect, etc.

Les valeurs de quelques caractéristiques de traction et de fusion ci-dessous montrent l'écart entre les matériaux métalliques et les matières plastiques techniques. Les comportements thermiques et électriques sont également en contrastes, les polymères étant isolants et les métaux conducteurs.

Le procédé PIM permet de fabriquer des pièces qui seraient techniquement très difficilement réalisables par un procédé classique de fabrication de pièces métalliques ou céramiques, ou qui seraient coûteuses (nécessitant des temps d'usinage importants, ou induisant des pertes de matière non négligeables par production de copeaux).

I.2 : Moulage par injection métallique :

Le MIM consiste à réaliser des composants métalliques plus ou moins complexes par injection d'un mélange de poudre métallique et d'une résine polymère thermoplastique, communément dénommée « Feedstock ». Ce mélange est réduit sous forme de granulés puis injecté.

Le liant est éliminé, déliantage, qui peut être thermique ou catalytique. Cette opération peut demander jusqu'à 24 heures.

Ensuite comme pour la métallurgie des poudres traditionnelle, le frittage, qui peut se faire soit en four continu sous atmosphère protectrice, soit sous vide.

LE MIM est en fait un procédé utilisant la technique du moulage des pièces plastiques par injection avec les mêmes presses d'injection pour fabriquer des pièces métalliques.

Cette technologie est particulièrement adaptée aux pièces de moyennes et grandes séries à la géométrie complexe.

Chez Porite, nous avons débuté la fabrication de pièces MIM à Taiwan en 1996. Deux types de déliantage, thermique et par immersion dans un solvant. Frittage haute température sous vide.

Nos secteurs d'activités sont principalement ; l'outillage électroportatif, l'électronique, l'automobile, et industrie mécanique diverse. Nous injectons différents types de matières, poudres base fer et inox. Nous consulter.

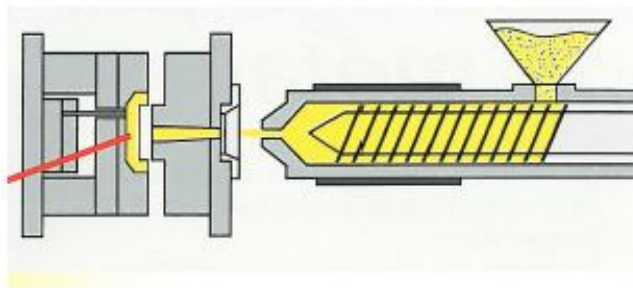


Figure.I.1 :injection de liant et de poudre métallique

I.2.1 : Le principe du procédé MIM

Préparation de la matière (feedstock) >>> Injection >>> Déliantage >>> Frittage >>> Opérations secondaires.

Opérations secondaires : calibrage, traitement thermique, traitement de surface, usinage, ébavurage.

*Le procédé MIM peut se décomposer en 3 grandes étapes :

- L'injection (sur une presse d'injection plastique) dans un moule métallique d'une poudre métallique enrobée d'un liant thermoplastique
- Le déliantage (élimination du liant plastique). La pièce est alors composée uniquement à ce stade de particules métalliques juxtaposées
- Le frittage (à chaud) qui donne à cette structure la cohésion et la densité nécessaires. Le frittage s'accompagne d'un retrait contrôlé [2]

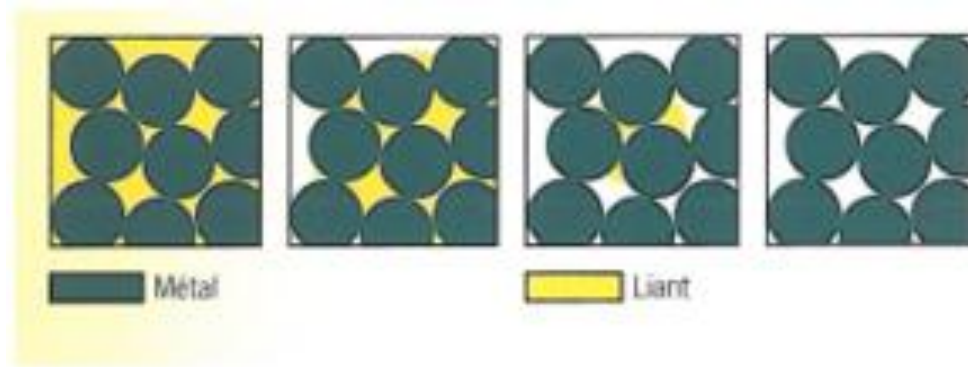


Figure.I.2 : Déliantage

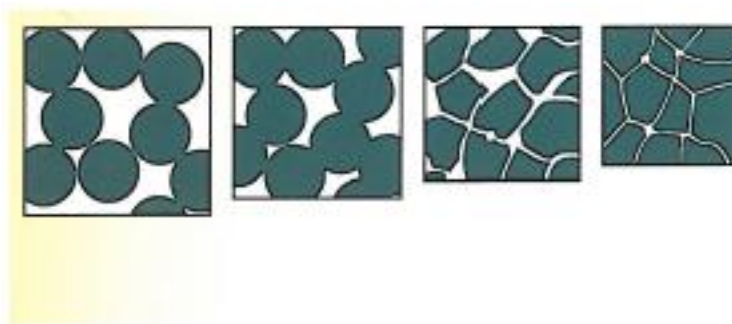


Figure.I. 3 : Frittage



Figure.I.4 : Pièce moule par injection metallique

I.2.2 : matériaux transformés

Les matériaux concernés sont généralement :

- les aciers austénitiques de type AISI 316L
- le titane non allié de type T60 (ASTM grade 4)
- l'acier de traitement thermique de type AFNOR 100 C6

I.2.3 : Porosité interne

Typiquement, sur un acier, les porosités internes en MIM sont de l'ordre de :

- 50 μm avant frittage
- 5 μm après frittage

I.24: Les etapes de procede MIM(moulage par injection metallique):**I.24.1: Injection :**

Une fois le feedstock développé, mis sous forme de granulés, des pièces avec des degrés de complexité différents sont mises en forme par moulage par injection grâce à des presses à injecter, semblables à celles de l'industrie plastique.

Le cycle d'injection se déroule alors de la manière suivante : la matière placée dans la trémie de la presse à injecter arrive dans le fourreau, elle est convoyée par une vis sans fin et chauffée par apport thermique. La vis s'arrête alors de tourner, le remplissage du moule est alors réalisé sous pression. Le mélange est ensuite compacté dans l'empreinte durant le maintien en pression (permettant de fournir la quantité de matière nécessaire pour compenser la réduction de volume). La pièce est ensuite éjectée lorsque le mélange est suffisamment refroidit (rigidité suffisante). A ce stade du procédé, la pièce injectée est appelé « cru d'injection » ou elle est dite « verte ».

Comme pour l'injection plastique, une attention particulière doit être portée à l'emplacement des points d'injection, aux éjecteurs, aux plans de joints. De même, une certaine expérience de l'injection permet de régler certains problèmes tels que les bavures ou les défauts de moulage. Comparés aux systèmes d'injection plastique, dans le cas du procédé PIM, vis et fourreau subissent parfois un traitement de surface pour augmenter la résistance à l'abrasion et/ou à l'érosion chimique. Remarquons

aussi simplement que le diamètre de la vis doit être adapté au volume de la pièce à injecter afin de limiter au maximum le temps de séjour de la matière dans le fourreau. Plus celui-ci est long et plus le risque de dégrader la matière dans le fourreau sera important. De même, dans le cas de feedstock, lors de l'étape du dosage pour amener la matière en tête de vis, des vitesses de rotation faible seront privilégiées afin de ne pas séparer la charge du liant. Au niveau du moule, il est important de remarquer, que dans le cas du procédé PIM, les dimensions des empreintes sont surdimensionnées vis-à-vis de la taille finale des pièces. Les pièces vertes ne présentent pas les mêmes dimensions que les pièces finales du au phénomène important de retrait qui intervient lors de l'étape de frittage. Ce retrait doit donc être pris en compte dès la conception du moule. Ce surdimensionnement est alors déterminé avec précision pour respecter les tolérances imposées sur la pièce finale.

I.2.4.1.1 :Principaux paramètres

Afin de réaliser une pièce verte sans défauts tels que des gradients de densité, fissures ou porosités, différents paramètres doivent être parfaitement contrôlés en tenant compte des caractéristiques du feedstock (viscosité, conductivité thermique...). Ainsi, les principaux paramètres de moulage sont les suivants : température matière, température moule, pression d'injection et vitesse d'injection.

La température matière influe principalement sur la viscosité du feedstock qui diminue quand la température augmente. Plus la matière est chaude, plus on favorise un bon remplissage du moule, mais une température trop importante peut aussi dégrader le feedstock. Généralement, il faut augmenter la température lorsque la matière a du mal à rentrer dans le moule. On augmente ainsi la fluidité ou la plage de temps pendant laquelle la matière est fluide mais le paramètre de température matière se travaille en parallèle du paramètre température moule qui lui est intimement lié. En effet, tout comme la température matière, la température du moule conditionne l'écoulement du feedstock.

La pression d'injection est aussi un paramètre déterminant qui influe sur les tensions internes, sur le retrait et sur la stabilité dimensionnelle. Plus la pression sera appliquée longtemps et de manière homogène et plus la pièce sera stable dans le temps. Pour que la pression d'injection et de maintien soit donc appliquée de manière optimale, il

faut en préalable que l'outillage autorise cette application et donc que les seuils d'injection soient assez gros. Typiquement les pressions d'injection peuvent atteindre 1500-2000 bars.

La vitesse d'injection agit directement sur la viscosité du polymère puisque cette dernière est fonction du cisaillement de la matière et de la température. Ce paramètre intervient sur les déformations (retassures), sur la structure et les orientations de la matière, les propriétés mécaniques et sur l'état de surface de la pièce. Plus la vitesse est élevée, plus la matière reste chaude et meilleurs sont les états de surface. Cependant, une vitesse trop importante peut avoir des effets néfastes sur la pièce (brûlures, ségrégation poudre/liant).

I.2.4.1.2 : La machine de moulage par injection :

Une presse à injecter, également connue sous le nom de presse à injecter, est une machine permettant de fabriquer des produits en plastique selon le procédé de moulage par injection. Il est composé de deux parties principales, une unité d'injection et une unité de serrage.

Le moulage par injection est un processus de fabrication permettant de produire des pièces volumineuses. Normalement, il est utilisé dans les processus de production de masse, où la même pièce est créée des milliers, voire des millions de fois consécutives.

Les moules de la machine de moulage par injection peuvent être maintenus horizontalement ou verticalement. La plupart des machines sont orientées horizontalement, mais des machines verticales sont utilisées dans certaines applications de niche telles que le moulage par insertion, ce qui permet à la machine de tirer parti de la gravité. Certaines machines verticales n'exigent pas non plus que le moule soit attaché. Il existe de nombreuses façons de fixer les outils aux plaques, la plus courante étant les pinces manuelles (les deux moitiés sont vissées aux plaques); cependant, des pinces hydrauliques (des cales sont utilisées pour maintenir l'outil en place) et des pinces magnétiques sont également utilisées. Les pinces magnétiques et hydrauliques sont utilisées lorsque des changements d'outils rapides sont nécessaires.

La personne qui conçoit le moule choisit si le moule utilise un système de canaux froids ou un système de canaux chauds pour transporter le plastique et les obturations de l'unité d'injection aux cavités. Un canal froid est un simple canal creusé dans le moule. Le plastique qui remplit le canal froid se refroidit au fur et à mesure que la pièce refroidit, puis est éjecté avec la pièce comme fontaine d'eau potable. Un système à canaux chauds est plus compliqué, utilisant souvent des cartouches chauffantes pour maintenir le plastique dans les guides au chaud pendant le refroidissement de la pièce. Une fois la pièce éjectée, le plastique laissé dans un canal chaud est injecté dans la pièce suivante.

I.2.4.1.3 : Types de machines de moulage par injection

Les machines sont principalement classées selon le type de systèmes d'exploitation qu'elles utilisent: hydraulique, mécanique, électrique ou hybride.

Machines de moulage par injection hydraulique

Historiquement, les presses hydrauliques étaient la seule option disponible pour les mouleurs jusqu'à ce que Nissei Plastic Industrial Co., LTD lance la première machine de moulage par injection entièrement électrique en 1983. Les machines hydrauliques, bien que moins précises, sont le type prédominant dans la plupart des pays. À l'exception du Japon.

Machines de moulage par injection mécanique

Les machines de type mécanique utilisent le système de levier pour accumuler le tonnage sur le côté de la pince de la machine. Le tonnage est requis sur toutes les machines afin que le côté pince de la machine ne s'ouvre pas (c'est-à-dire que la moitié de l'outil soit montée sur la platine) en raison de la pression d'injection. Si la moitié de l'outil s'ouvre, cela créera un flash dans le produit en plastique.

Machines à injecter électriques

La presse électrique, également appelée technologie EMT (Electric Machine Technology), réduit les coûts d'exploitation en réduisant la consommation d'énergie et répond également à certaines des préoccupations environnementales liées à la

presse hydraulique. Les presses électriques se sont avérées plus silencieuses, plus rapides et plus précises, mais les machines sont plus chères.

Les presses à injecter hybrides (parfois appelées «servohydraulique») sont conçues pour tirer parti des meilleures caractéristiques des systèmes hydrauliques et électriques. Aujourd'hui, elles utilisent presque la même quantité d'électricité pour fonctionner comme une mouleuse à injection électrique, en fonction du fabricant. .

Un bras robotique est souvent utilisé pour retirer les composants moulés. soit par l'entrée latérale, soit par l'entrée supérieure, mais il est plus fréquent que des pièces tombent du moule, par une rampe d'accès et dans un conteneur.

I.2.4.1.5 : Composants de la machine de moulage par injection :

I.2.4.1.5.1:Unité d'injection :

Il se compose de trois composants principaux

- Entraînement par moteur à vis
- Vis et canon alternatifs
- Réchauffeurs, thermocouple, piston annulaire

Unité de serrage

Il se compose de trois composants principaux

- Moule
- Moteur de serrage
- Barres de liaison, l'expéditeur est attaché au bord d'une table de travail

Il est important de disposer de machines de haute qualité pour optimiser les processus.



Figure.I.5 : la machine d'injection métallique

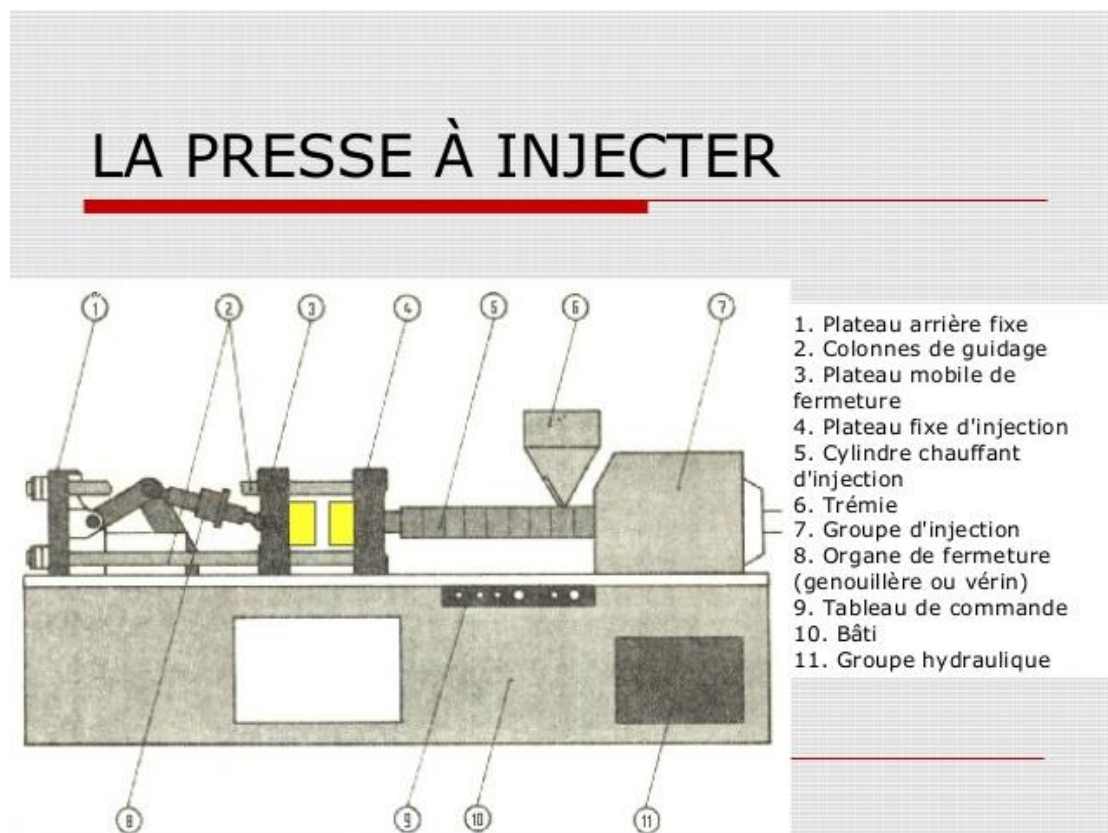


Figure.I.6 : différentes parties d'une presse d'injection métallique

Unité d'injection :

L'unité d'injection est responsable de l'échauffement et de la matière poudre dans le moule. La première partie de cette unité est appelée trémie elle est construite de façon à contenir une grande quantité de granulés du polymère pour le fonctionnement de la trémie on entame un premier processus de l'opération et qui consiste à alimenter la machine en matière première ; une fois le mécanisme de ce système entraîne on chauffe la matière première ; une fois le mécanisme de ce système entraîne on chauffe la matière jusqu'à liquéfaction du poudre, on assure ensuite l'injection du poudre. La poussée de la matière est réalisée par un arbre filtre appelé vis avec des gradations de diamètre pour chaque longueur importante ce dernier aide l'augmentation de la force de poussée de la matière jusqu'au seuil d'injection d'injection .

Le refroidissement de cette partie du moule se fait souvent par l'eau tandis que la vis de la machine se déplace alternativement selon deux modes : rotation et avancement (ou translation axial) pour augmenter la poussée de la matière plastique avec une grande pression le tout étant alimentés par un circuit hydraulique la matière arrive jusqu'au seuil d'injection du moule à l'état fondu. sous l'effet du frottement se crée une autre forme d'énergie appelée « source de dissipation » (fig I.7). [3]

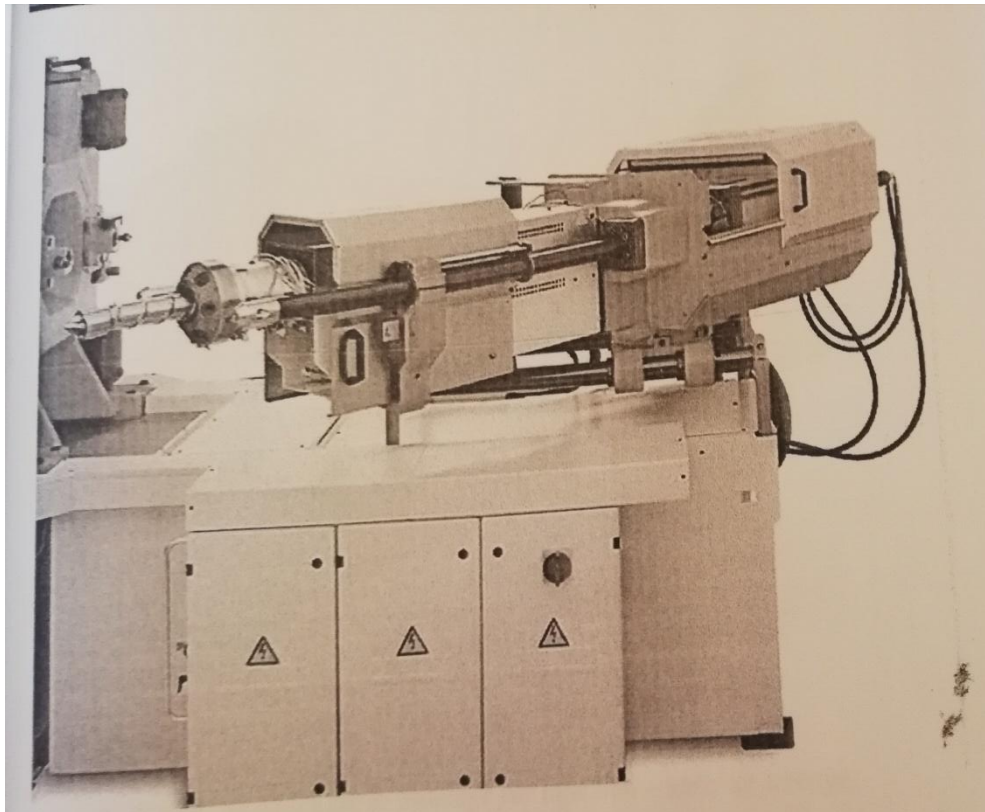


Figure I. 7: machine de moulage par injection –unité d'injection

I.2.4.1.5.2:Unité de serrage :

Avant l'injection du poudre fondu dans le moule il y a deux éléments de serrage ingéré à la machine et qu'il faut prendre en compte afin de réaliser la fermeture du moule l'un est fixé à l'injecteur et l'autre mobile afin d'assurer une meilleure fermeture .

*les deux plateaux qui est portent le modèle de la forme désirée est supporté par quatre barres pour assurer le glissement du plateau moule.

Le serrage hydraulique est actionné par un moteur qui pousse le plateau mobile vers le plateau fixe, et d'exerce suffisamment de force pour maintenir le moule fermé, tout le matériel est ensuite injecté refroidi .

Après refroidissement , le moule est ensuite ouvert par le moteur de serrage. système d'injection , revient vers l'arrière, arrivé vers le milieu de plateau, il est actionné par la barre d'injection et pousse la partie solidifiée à la sortie de la cavité ouverte(FigI.8)

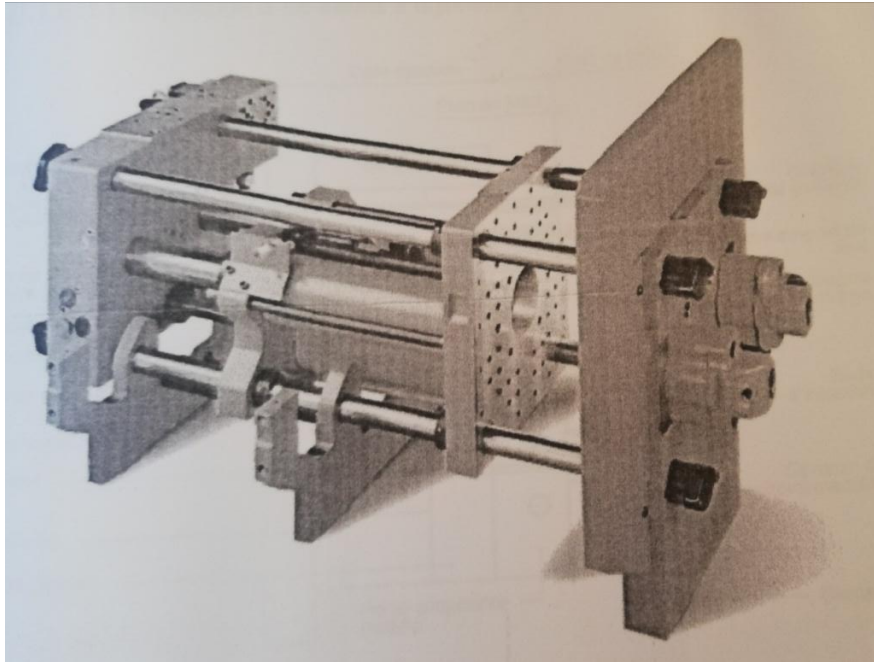


Figure I. 8: machine de moulage par injection –unité de serrage

I.2.4.1.5.3:Le moule :

La conception du moule influence de manière décisive la qualité et économie de la pièce injectée .l'aspect de la pièce, sa résistance mécanique, sa ténacité, ses cotes, sa forme et son cout dépendent de la qualité du moule

Le corps du moule et la cavité du moule sont chacun monté et partagées sur deux parties du moule mobile et fixe

Dans ce qui suit on tente de développer les techniques de conception des moules d'injections des thermoplastique, cette conception doit intégrer toutes les fonctions dans sa réalisation par le choix de l'alimentation, du bloc empreint, de l'éjection, du refroidissement de la cinématique de l'adaptation à la machine et des fonctions sécurité et maintenance et de manutention. Cette étude doit fournir le dessin d'ensemble, la nomenclature des éléments constitutifs avec les aciers et les traitements A nos jours des entreprises se spécialisent dans la fourniture d'une large gamme de choix des éléments standards constituant les moules, elles offrent même des blocs de moules avec des modèles et des dimensions variables, les modèles CAO sont fournis

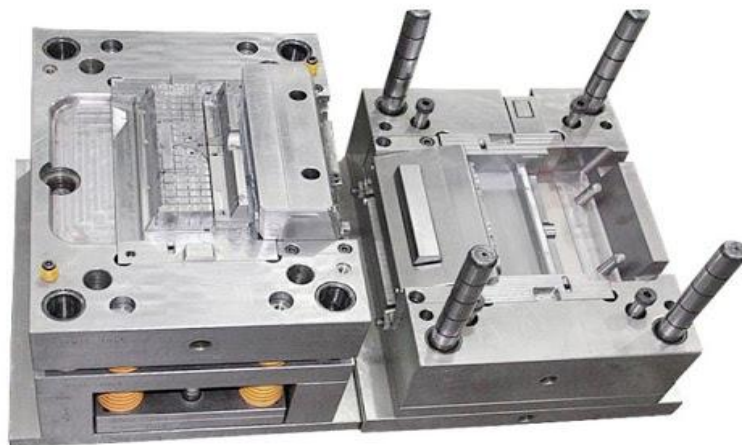


Figure.I.9 : moule d'injection métallique.

I.2.4.2 :Le déliantage :

Il s'agit d'éliminer le liant par décomposition dans un four chauffé de manière homogène et précise pendant un temps long pouvant atteindre 24 heures, voire plus. Ce processus est par

conséquent coûteux en temps, avec des risques de distorsion des pièces du fait du ramollissement du liant avant sa décomposition. Toutefois, pour les liants de polyacétal (POM), la présence d'un acide gazeux (acide nitrique concentré ou acide oxalique) permet un déliantage à 120°C, température inférieure à celle du ramollissement du POM, évitant la distorsion des pièces.

Deux autres techniques de déliantage peuvent être utilisées, comme le déliantage par immersion dans un solvant, type acétone ou solvant aqueux, provoquant la dissolution du liant. Après l'opération de déliantage, le solvant sera distillé et réutilisé. Et enfin le déliantage supercritique qui utilise du dioxyde de carbone supercritique (CO₂) caractérisé par une viscosité très faible permettant sa pénétration rapide dans les pièces à « l'état vert ».

La durée de l'opération de déliantage supercritique est de l'ordre de 3 heures.



Figure.I.10 :four de deliantage

I.2.4. 3 : Le frittage :

Le procédé de frittage dépend du métal considéré et la taille des pièces. Il peut être effectué

dans des fours de type continu ou discontinu permettant des températures de frittage jusqu'à

1300 ° C, bien en deçà du point de fusion du métal sous atmosphère protectrice ou sous vide.

L'étape de frittage conduit à un retrait, en particulier sur les grandes pièces.

L'automatisation et les méthodes de traitement en continu permettent la production économique en grande série de pièces moulées en métal. Une ligne de production complète

est composée de plusieurs machines de moulage par injection, d'un four de déliantage en continu par le processus catalytique (four en atmosphère d'acide gazeux), et d'un four de frittage en continu.

Le process de frittage est constitué de 3 étapes :

1ère étape : Le compactage

L'outillage est constitué d'une matrice supérieure et inférieure qui correspondent à la forme de la pièce. L'empreinte de l'outillage est remplie de matière première via un sabot et ensuite cette matière est compactée

pour obtenir la forme géométrique de la pièce.

Cette première opération donnera la forme géométrique de la pièce mais sans les caractéristiques mécaniques requises.



Figure.I.11: Four de frittage

2ème étape : Le frittage

L'opération de frittage consiste à rendre les propriétés mécaniques (résistance, dureté) à la pièce comprimée. La température de frittage est entre 1120°C et 1135°C

Les pièces sont positionnées sur un plateau qui est posé sur la chaîne du four de frittage[4]



3ème étape : Le Calibrage

L'opération de frittage engendre une déformation de la pièce dans le four, c'est pourquoi nous réalisons une opération de calibrage à froid afin de respecter les exigences du plan.



I.2.5 : Les matières premières :

Les matières premières pour le procédé PIM sont un mélange de poudre de métal ou de poudre de céramique dans une faible quantité de liant, prêt à l'emploi pour les procédés d'injection ou d'extrusion. Le liant peut être un polymère, comme le polyéthylène ou le polypropylène, ou une cire naturelle ou synthétique et l'acide stéarique. Plus récemment, le liant de polyacétal (POM) a été développé pour permettre un déliantage catalytique plus rapide.

Dans le procédé PIM, les poudres de métal peuvent être des aciers faiblement alliés, des aciers inoxydables, des aciers résistants à la chaleur, des alliages spéciaux, du tungstène, du bronze, du nickel, du cobalt, du carbure de tungstène-cobalt, des alliages magnétiques doux tels que les alliages de fer-phosphore, fer-silicium, fer-

nickel ou fer-cobalt, des alliages de cuivre, de titane, d'aluminium, etc. Ces métaux sont réduits avant leur mélange avec le liant dans de minuscules particules de forme sphérique ou irrégulière, de tailles inférieures à 40µm. Dans le procédé CIM, les poudres de céramique mélangées au liant peuvent être le zirconium, l'aluminium, les oxydes magnétiques, etc.

I.2.6 : Caractéristiques des pièces obtenues :

Les pièces obtenues par le procédé PIM sont généralement de géométrie complexe, de taille petite à moyenne pour garder une bonne maîtrise des tolérances dimensionnelles et un bon aspect de surface. Les pièces présentent l'aspect sensoriel du métal ou de la céramique choisie (aspect visuel, au toucher, densité ...), avec des propriétés globales correspondant au matériau : résistance mécanique, dureté, résistance à la corrosion et à l'usure, conductivité électrique et thermique, dilatation thermique, propriétés magnétiques, etc. De manière plus précise, les pièces obtenues par le procédé MIM, ont une densité, après injection, déliantage et frittage, jusqu'à 98% de celle du métal considéré. Concernant les propriétés mécaniques des pièces MIM, celles-ci peuvent être supérieures à celles des pièces dans un matériau de même composition, réalisées dans un procédé classique. Voici quelques indications de tolérances dimensionnelles de produits moulés par le procédé PIM (à moduler car d'autres facteurs peuvent entrer en jeu) [3]

I.3 :Les traitements (thermique & superficiel) :

I.3 :Traitements thermiques

Les traitements thermiques utilisés en coutellerie sont successivement :

- > Le Recuit qui sert à supprimer les contraintes internes.
- > Les Normalisations qui affinent le grain de l'acier.
- > La Trempe qui durcit l'acier, mais le rend fragile.
- > Le Revenu qui supprime beaucoup de la fragilité due à la trempe au détriment d'un peu de la dureté.

I.3.1 :Recuit :

Le **recuit** d'une pièce métallique ou d'un matériau est un procédé correspondant à un cycle de chauffage. Celui-ci consiste en une étape de montée graduelle en température suivie d'un refroidissement contrôlé. Cette procédure, courante en sciences des matériaux, permet de modifier les caractéristiques physiques du métal ou du matériau étudié. Cette action est particulièrement employée pour faciliter la relaxation des contraintes pouvant s'accumuler au cœur de la matière, sous l'effet de contraintes mécaniques ou thermiques, intervenant dans les étapes de synthèse et de mise en forme des matériaux. À l'occasion d'un recuit, les grains (monocristaux) de matière se reforment et retrouvent en quelque sorte, leur « état d'équilibre ».

Le recuit est également utilisé pour changer les propriétés magnétiques d'une pièce.

Le recuit de cristallisation, après écrouissage, a pour but de conférer au métal une taille de grain optimale pour son utilisation future (pliage, emboutissage...).[6]

I.3.1.1 : Procédé :

Le recuit est obtenu par élévation de température du métal à des températures allant de 500 °C à 850 °C. La qualité du recuit exige un cycle de chauffe (temps de montée en température, temps de maintien) bien maîtrisé (il peut être lent ou rapide).

Il est nécessaire de respecter certaines valeurs couplées de temps de maintien et de température de chauffe pour avoir une recristallisation complète.

La vitesse de chauffe influence la taille des grains (et leur nombre). En fonction de la structure d'origine et de la taille de grain souhaitée, il faudra être plus ou moins rapide. Le temps de maintien, la température de chauffe et la vitesse de refroidissement influencent plus encore la taille des grains.

Plus la descente est rapide (sans atteindre des vitesses de trempe), plus les grains restent petits.

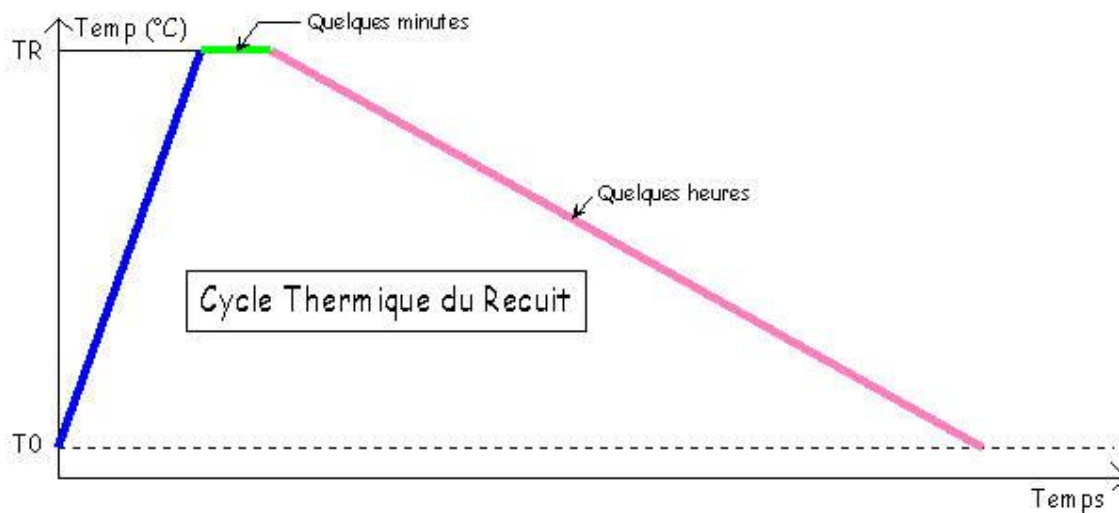
Si une trempe est souhaitée, elle peut être réalisée en lieu et place du refroidissement du recuit.

I.3.1.2 : Procède technique :

Le travail de l'acier à chaud, par forgeage, entraîne la création de fortes contraintes internes, surtout dans le cas de fortes déformations. Ces contraintes ne sont pas réparties de façon homogène. De plus, la dureté de l'acier n'est pas forcément homogène.

Le recuit a pour objectif de détendre l'acier. A l'issue du recuit :

- > Les contraintes internes seront quasi inexistantes.
- > La dureté sera homogène, et habituellement faible !



(1) Chauffage

Le chauffage se fera à vitesse modérée. Certains aciers "difficiles" demanderont des paliers intermédiaires ou des vitesses de montée en température précises !

La température de recuit (TR sur le graphe) est spécifique à chaque acier. Une fourchette est généralement donnée par le fournisseur d'acier. A défaut, il sera toujours possible d'utiliser les données techniques d'un acier proche ou similaire.

En général, cette température est de l'ordre de :

- > Pour les aciers hypoeutectoïdes = $AC3 + 50^{\circ}C$.
- > Pour les aciers hypereutectoïdes = $AC1 + 50^{\circ}C$.

(2) Palier

La température de recuit sera maintenue pendant un moment. Les ouvrages théoriques donnent en général des durées genre 1 minute par millimètre de la pièce. Si la montée en température n'a pas été trop rapide, la température est relativement homogène (surtout sur une pièce de 3 ou 4 millimètres d'épaisseur) et on peut diminuer le temps de maintien en température.

(3) Refroidissement

Idéalement, le refroidissement devrait être le plus lent possible. Dans la pratique, il doit être adapté à l'acier.

Certains aciers (particulièrement ceux avec du Chrome) exigent un refroidissement très lent !

I.3.2: Trempe :

Le principal traitement thermique de l'acier est la trempe. Contrairement à d'autres métaux, le but n'est pas ici de figer la structure à haute température, mais de créer une phase métastable, c'est-à-dire instable, mais dont la transformation est trop lente à basse température pour avoir lieu à l'échelle humaine : la martensite ou la bainite. Cette phase métastable entraîne un durcissement très important, elle augmente la limite élastique.

On chauffe au dessus de la température A_3 , pendant suffisamment longtemps pour que les carbures (cémentite et lames de la perlite) se dissolvent, mais pas trop longtemps pour que les grains d'austénite ne grossissent pas trop. C'est la phase d'austénitisation.

Puis, on trempe l'acier. À l'origine, cela se faisait en trempant la pièce dans de l'eau. On peut utiliser plusieurs méthodes selon la vitesse de refroidissement que l'on veut atteindre ; voici quelques exemples de chaleur absorbée par seconde de traitement :

trempe à l'air (refroidissement à l'air libre) : $4 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$;

trempe à l'huile à 150°C : $33 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$;

trempe à l'eau à 20°C : $500 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$.

Lors de la trempe, l'eau peut se vaporiser au contact du métal et former une couche de vapeur qui ralentit le refroidissement (caléfaction).

Si le refroidissement est suffisamment rapide, les transformations displacives ont le temps de se produire, mais pas les transformations diffusives : les atomes de fer se réorganisent selon la structure ferritique cubique centrée, mais le carbone n'a pas le temps de diffuser pour former la cémentite. On a donc une structure sursaturée en carbone, qui se déforme et devient quadratique : la martensite. Cette martensite prend la forme d'aiguilles.

La formation de martensite commence en dessous d'une température appelée Ms (martensite start) et se termine à une autre appelée Mf (martensite finish).

Formule d' Andrew:

$$Ms(^{\circ}C) = 539 - 423C - 30.4Mn - 17.7Ni - 12.1Cr - 7.5Mo$$

$$Mf(^{\circ}C) = 2Ms - 650$$

Si la trempe est plus lente, ou bien si on l'arrête à une température intermédiaire (trempe étagée), on peut former de la bainite : il se forme des lamelles de ferrite (ferrite aciculaire), et de la cémentite vient se former soit entre ces lamelles, on parle de bainite supérieure, ou bien à l'intérieur des aiguilles, bainite inférieure.

La bainite est un peu moins dure que la martensite, mais plus ductile ; la bainite inférieure a une meilleure résilience.

Dans le cas de la martensite comme de la bainite, il s'agit d'un durcissement structural : les carbures sont très durs, et la forme d'aiguille implique un grand nombre de joints de grain (Loi de Hall-Petch)

Lors de la trempe, la chaleur fuit par la surface de la pièce. L'extérieur se refroidit donc plus vite que le cœur. Si la pièce est massive, on peut donc n'avoir qu'une trempe superficielle : seule la couche extérieure se refroidit suffisamment vite pour prendre la trempe, la cœur de la pièce reste « classique » (ferrite + cémentite).

Le refroidissement rapide provoque une contraction rapide du métal, et par ailleurs, la formation de la martensite provoque une dilatation de l'ordre de 4 % (passage d'une structure CFC à une structure quasiment CC). Cela provoque des contraintes internes.

Conditions de refroidissement lors de la trempe :

La trempe par immersion de la pièce dans un milieu qui extrait la chaleur contenue dans celle-ci, ce milieu peut être :

Ø gazeux : air, gaz (N₂, Ar, H₂, He, etc.)

Ø liquide : eau, huiles et bains de sels fondus (l'eau et les huiles peuvent contenir des additifs qui modifient leur pouvoir refroidissant) .

Ø mixte : brouillard (gaz + liquide atomisé), lit fluidisé (gaz + solide pulvérulent).

Le refroidissement en chaque point d'un volume d'acier dépend :

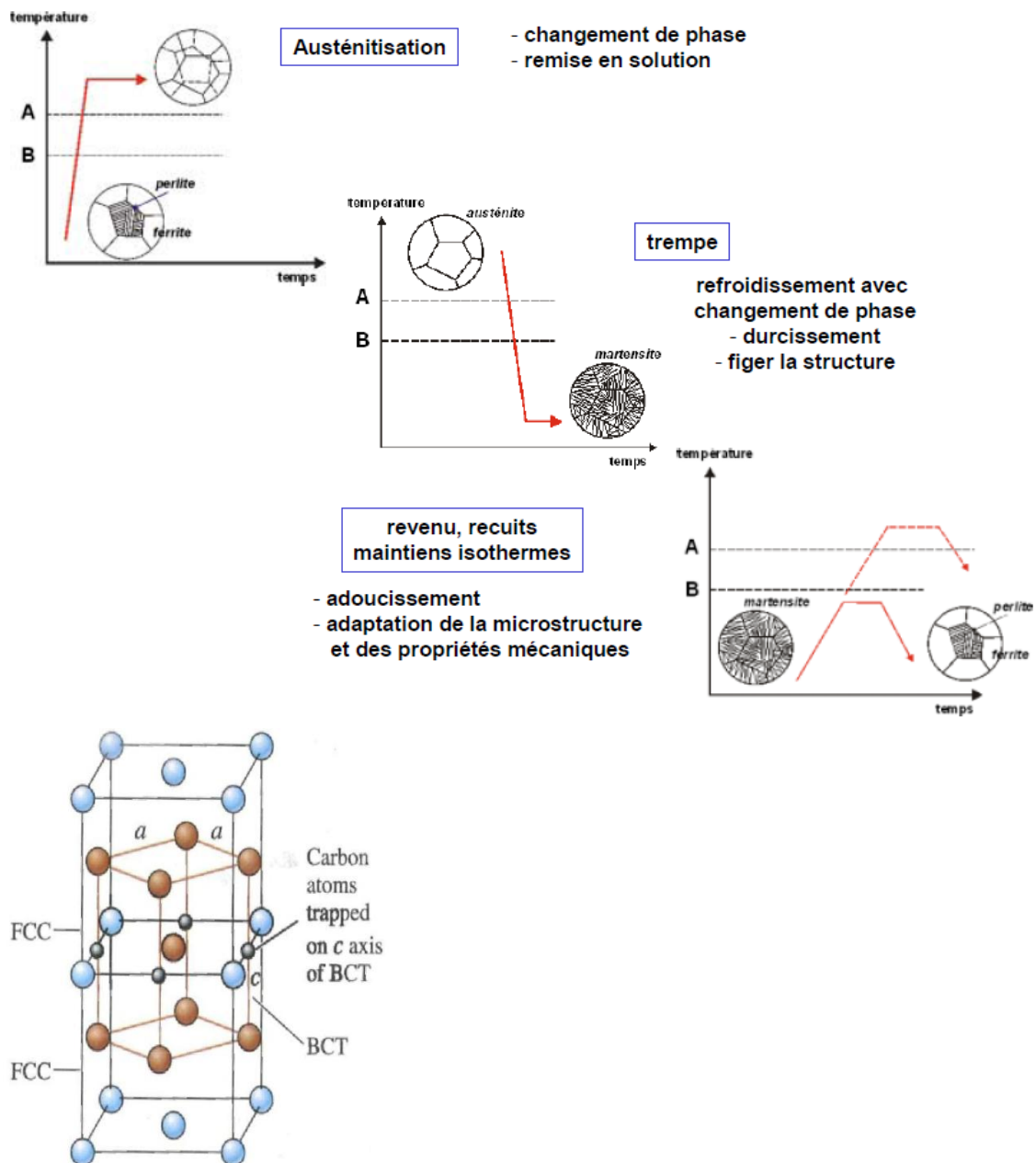
Ø des propriétés thermiques du métal .

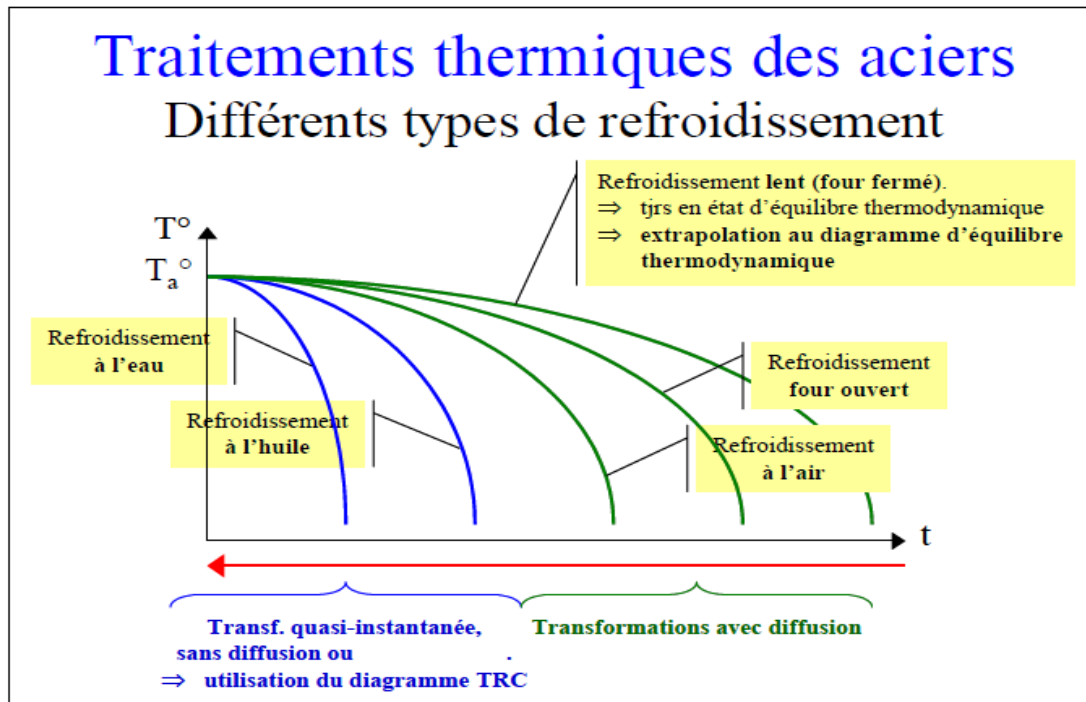
Ø de la géométrie de la pièce (forme, dimensions, etc.)

Ø des propriétés thermiques du milieu de trempe et de certaines de ses propriétés physiques (viscosité notamment) .

Ø de la température du milieu de trempe .

Ø des conditions dans lesquelles se déroule l'échange thermique entre pièce et milieu de trempe (volume et agitation du milieu de trempe, état de surface de la pièce, etc.)





Hypertrempe

L'hypertrempe est un refroidissement rapide ne permettant pas la formation de martensite. On obtient ainsi un acier austénitique (austénite métastable), avec une limite élastique assez basse (de l'ordre de 200 MPa) donc très ductile et facilement formable, mais assez difficilement usinable et avec une tenue mécanique médiocre (nécessitant des pièces massives). C'est le cas de nombreux aciers inoxydables.

Tout traitement thermique subséquent, en particulier soudure, peut altérer cet état. [6]

I.3.2 Revenu :

Le revenu est un chauffage qui suit la trempe et qui sert à « l'adoucir ». En effet, si la trempe augmente la limite élastique R_e , elle diminue également la ductilité $A\%$ et la résilience K_c . L'acier résiste donc moins bien à la propagation des fissures, il est plus fragile. Le revenu permet de redonner un peu de ductilité, mais diminue la limite élastique.

Le chauffage s'effectue en dessous de la limite de formation de l'austénite A_1 , en général vers 600 °C. Le but est permettre au carbone de diffuser et donc

de transformer une certaine proportion de martensite en ferrite α et cémentite ;

de transformer l'austénite résiduelle en bainite, voire parfois en martensite lors du refroidissement.

On maintient la température pendant « un certain temps » — palier — puis on effectue un refroidissement lent jusqu'à la température ambiante.

Le revenu peut aussi être utilisé pour faire précipiter une phase durcissante aux joints de grain, des carbures d'éléments d'alliage (Mo, W, Ti, Nb) : ces éléments ont été piégés dans la matrice de fer au cours de la trempe ou de l'hypertrempe, et le revenu leur permet de diffuser. On peut ainsi obtenir un durcissement structural ; le traitement est dit de « vieillissement » (ageing), l'acier est dit maraging (martensite ageing).

Par contre, le revenu peut aussi provoquer une migration d'impuretés vers les joints de grain ce qui cause une fragilité, dite « fragilisation au revenu ». Un ajout de molybdène peut éviter ce problème.

a. Revenu à basse température :

Chauffage vers 250 C° pour diminuer les contraintes internes. Il transforme la martensite de trempe en martensite de revenu. Ce revenu augmente la résistance et améliore la ductilité sans altérer sensiblement la dureté (58 à 63 HRC), d'où une bonne tenue à l'usure. Il s'applique aux outils de coupe et aux

instruments de mesure en aciers au carbone et faiblement alliés. La durée de ce revenu varie de 1 à 3 heures.

b. Revenu à température intermédiaire :

Chauffage entre 350 et 500°C et s'emploie pour les ressorts variés. Il permet d'obtenir une limite élastique et une résistance à la fatigue élevées. La structure est de type troostite de revenu ou troostite - martensite dont

les duretés varient de 40 à 50 HRC..

c. Revenu à haute température :

Il se fait entre 500 et 680°C, il donne à l'acier la structure sorbite de revenu. Ce type de revenu crée un meilleur rapport entre la résistance et la ductilité de l'acier. La trempe suivie de revenu à haute température (ce traitement double est appelé amélioration) améliore, par rapport à l'état normalisé, ou recuit, les limites de rupture et d'élasticité, la striction et surtout la résilience. L'amélioration est appliquée surtout aux aciers de construction à moyen carbone (0,3 à 0,5%). **[6]**

I.4: Bleuissage :

Le bleuissage de l'acier comme son nom l'indique permet de bleuir l'acier. En réalité on parle de bleuir l'acier mais on peut lui faire prendre plusieurs couleurs. Cet effet était beaucoup utilisé par les horlogers pour rendre les vis des montres bleues, cela donnait de très belle couleurs au vis et les protégeait contre la rouille !

Lors des traitements thermique on va chauffer les pièces d'aciers pour leur donner des propriétés très particulière. Par exemple on fait beaucoup de trempe pour rendre les aciers plus durs, mais ces derniers en sortant de la trempe sont trop cassant, c'est pourquoi on fait ce qu'on appelle des revenus pour "détendre" l'acier. On monte dans des température de 200° à 300° pendant les revenus en fonction des pièces que l'on souhaite fabriquer. Alors on remarque qu'en sortant la pièce après un revenu de 300° celle-ci est bleu et reste bleu en surface : pourquoi ?



Figure. I.12 :Acier après un revenu de différents degrés (en fonction de la couleur)

A. 1. Explication :

Avez vous déjà remarqué que si vous chauffez au chalumeau une pièce d'acier vous obtenez une sorte d'arc-en-ciel très localisé ?



Du plus froid (couleur acier) au plus chaud (bleu) puis quand vous dépassez les 300° la couleur redevient couleur acier ! Allez-y testez c'est très beau !

En réalité c'est la pièce qui va s'oxyder mais pas de façon traditionnelle par la rouille.

1. Oxydation de la pièce :

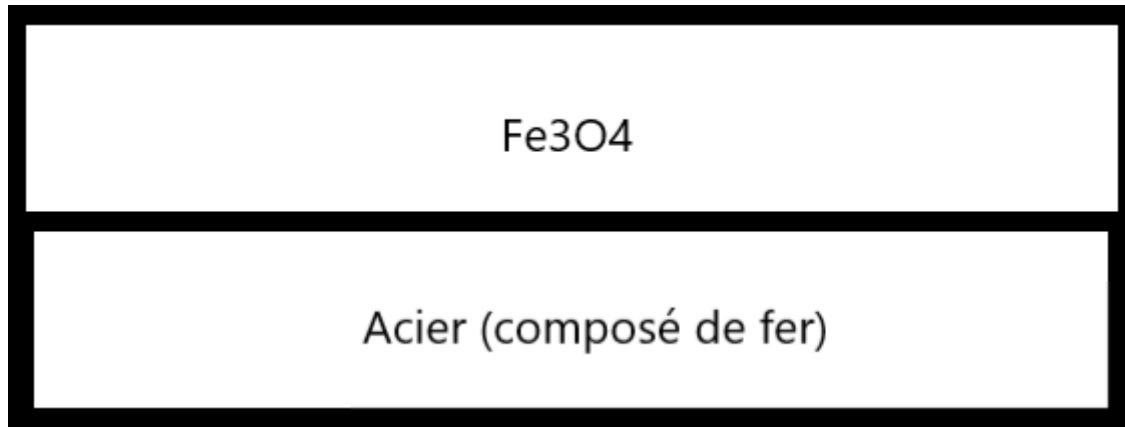
Un matériaux ferreux à la capacité de faire des réactions d'oxydoréduction. Une réaction d'oxydoréduction est une réaction chimique au cours de laquelle des électrons vont s'échanger

Par exemple la $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$, les couples Zn/Zn^{2+} et Cu/Cu^{2+} sont mis en jeu et les électrons vont du zinc au cuivre. Les réaction mettent en jeu ce qu'on appelle un oxydant (l'élément qui va gagner des électrons) et un réducteur (celui qui en perd).

L'oxygène et l'eau présent dans l'air suffisent à provoquer plusieurs réaction d'oxydoréduction sur l'acier : elle mange le fer (Fe) et donne de l'oxyde de fer (Fe_2O_3), ce qui donne des tâches rouge et pas très esthétiques.

Nous dans notre procédé on va chauffer de l'acier, le fer ne va plus réagir en donnant de l'oxyde fer III (Fe_2O_3) mais de la magnétite (Fe_3O_4) qui va se déposer bien proprement sur l'acier et lui donner une fine couche. L'épaisseur de cette couche est directement

proportionnelle à la température à laquelle l'acier a été chauffé. Nous avons cette configuration :



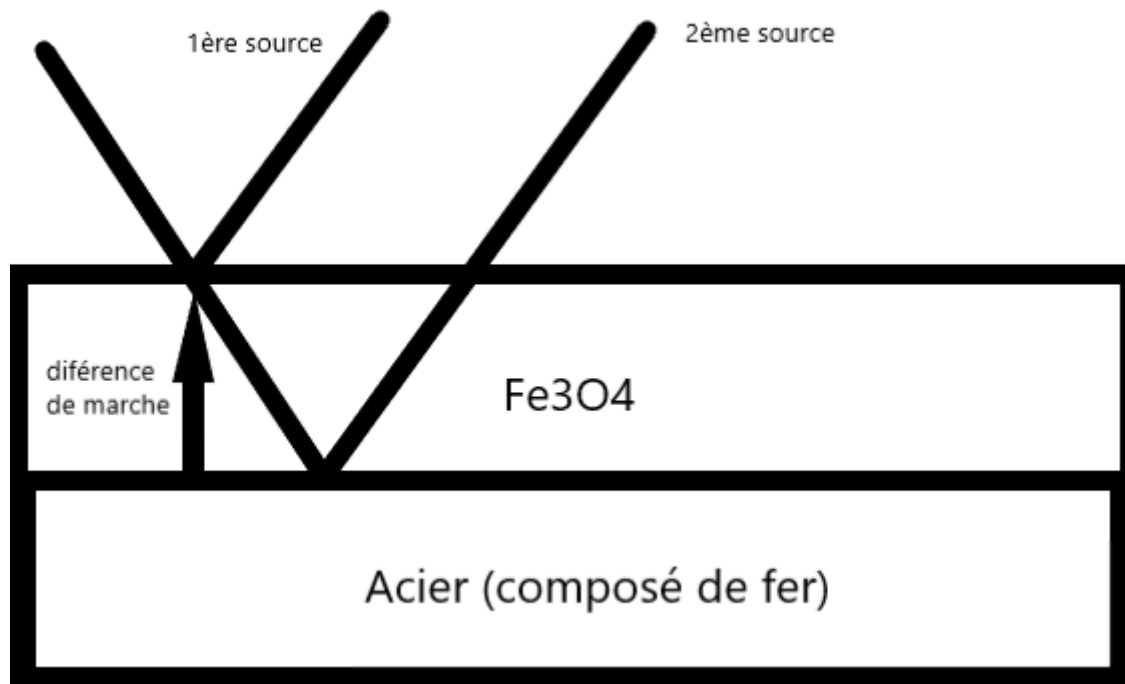
Cela protège donc bien de la rouille car la place est déjà prise !

2. Interférence lumineuse :

La lumière est très particulière, il peut y apparaître des interférences entre deux sources lumineuses si bien que les rayons lumineux peuvent être visibles et d'autres non. En effet si on matérialise la lumière par des ondes, on peut calculer en un point donné ce qui est appelé la différence de marche entre deux rayons lumineux. En fonction de la couleur des rayons lumineux et de la différence de marche la lumière est visible ou non.

Si on considère que la lumière blanche est composée des lumières de toutes les couleurs alors si certaines couleurs ne sont pas visibles, la lumière blanche est filtrée pour donner les couleurs restantes. Donc en fonction de la différence de marche en y mettant de la lumière blanche la lumière va être filtrée, on peut donc obtenir la couleur qu'on veut si on a accès à la différence de marche.

C'est exactement ce qui se passe sur notre pièce, il y a deux sources lumineuses, la première directement réfléchi sur l'oxyde Fe_3O_4 et l'autre passant dans cet oxyde est réfléchi sur l'acier, alors il existe une différence de marche qui va supprimer quelques couleurs au spectre lumineux blanc pour laisser paraître notre bleu :



Comme l'épaisseur donc la différence de marche dépend de la température alors on peut plus ou moins choisir la couleur en connaissant les échelles de teinte :

°F	tempering colours	°C
630	Grey Green	330
610	Grey Blue	320
590	Light Blue	310
570	Wedgewood Blue	300
550	Dark Blue	290
530	Violet	280
520	Purple	270
500	Red Brown	260
480	Yellow Brown	250
460	Dark Yellow	240
450	Yellow	230
430	Straw	220
410	Light Yellow	210
°F		°C

B. 2. Comment procéder pour obtenir de beaux résultats :**1. 1. Polir la pièce :**

Il n'est pas du tout indispensable de polir la pièce, mais en la polissant on obtient une surface plus lisse et homogène, et donc un meilleur résultat. Alors il suffit de bien poncer la pièce, en partant de papier à gros grain puis petit à petit changer pour un grain de plus en petit, et finir au ponçage à l'eau. On peut descendre jusqu'à 2000 - 3000.

Puis pour polir il existe plusieurs manière de procéder, soit avec des kits de polissage : comme ici (je ne fais pas de pub particulière) qui marchent assez bien. Sinon il y a quelque chose qui marche encore mieux c'est la pâte de diamant (mais là il faut être patient) comme ici, il faut faire comme le ponçage, il faut commencer avec des pâtes gros grain (10 μ m) et finir avec des grain minuscules (0.5 μ m).

Plus la pièce finale est bien polie plus le résultat sera beau !

2. 2. Nettoyer la pièce :

Il faut absolument nettoyer la pièce pour avoir un bleu homogène. S'il y a des traces quelconques la couche d'oxydation sera non homogène et la couleur raté à l'endroit de la trace. Nettoyer la pièce comme vous le voulez, avec du produit vaisselle, de l'acétone, tout ce qui enlève les taches de gras. Une fois bien nettoyé la pièce ne doit surtout **pas être prise par les doigts** qui déposerai du gras, mais avec un chiffon propre ou des gants propres.

3. 3. Chauffer la pièce :

La partie la plus important est le chauffage homogène de la pièce, je vais vous décrire deux manière de procéder, mais du moment que vous pouvez chauffer la pièce de manière homogène à la température souhaitée, c'est bon.

Premièrement au chalumeau, il ne faut surtout pas mettre directement la pièce dans la flamme, on dépasse largement les 300° et c'est pas du tout homogène, on obtient des arc-en-ciel, mais rien d'homogène.

Il faut donc utiliser un récipient qui va diffuser la chaleur, prenez un boîte de conserve ouverte ça fera l'affaire. Tout ce qui est récipient et qui résiste à la température du chalumeau c'est bon. Pour rendre plus homogène le chauffage vous pouvez mettre des coupeaux de métal, mais faites attention à que les parties de la pièce que vous voulez bleuir restent à l'air libre.

Ensuite il suffit de chauffer par le dessus toute la zone où repose la pièce de manière homogène : c'est à dire que vous allez voir la pièce changer de couleur par endroit, passant du jaune, au violet jusqu'au bleu. Répartissez bien le chauffage de la pièce, quand elle commence à devenir violet par endroit chauffer les autres endroits qui sont restés jaune. Cela va se faire doucement jusqu'au bleu, mais attention si les parties bleu sont trop chauffées alors la couleur bleu va disparaître pour laisser place à la couleur acier [7]

I.5 Sablage :

Le **sablage** est une technique industrielle de nettoyage des grandes surfaces en utilisant un abrasif projeté à grande vitesse à l'aide d'air comprimé au travers d'une buse, sur le matériau à décaper.

Quand l'abrasif est constitué de billes, on parle aussi ou plutôt de grenailage.

Le sablage est utilisé dans de nombreuses industries ; c'est également une technique de ravalement de façade



Figure. I.13 : Ravalement de façade à l'aide de sable à haute pression

La projection de sable à grande vitesse sur une surface a plusieurs effets :

- Il décape, désoxyde, enlève une couche superficielle fragile (peinture par exemple).
- Il crée une rugosité, qui facilite l'accroche d'un revêtement, ou donne un aspect à un moule pour pièces en plastique, c'est une bonne préparation avant peinture.
- Il dépolit, notamment le verre, aspect « verre sablé ».
- Utilisé pour la gravure (numéros de série sur les vitres de voitures, noms sur les pierres tombales).
- Lorsque l'abrasif est rond, type billes de verre, on obtient un effet satiné. Utilisé comme finition pour les soudures inox ou aluminium. C'est alors appelé microbillage.
- À forte puissance les impacts provoquent une déformation plastique et modifient donc la surface (écrouissage, création de contraintes de compression, shot peening)



-
- Vue éclatée d'un pistolet de sablage

À faible puissance avec des abrasifs de gommage, on peut nettoyer sans abîmer le support. (Ex retirer de la peinture d'une vitre sans la dépolir ou la rayer.)

- Généralement, le sablage induit un état de surface compris entre 6,3 et 12,5.

C. Le matériel

Le traitement de petites et moyennes pièces peut se faire en cabine à manche, cette solution permet de travailler confortablement en confinant dans la machine l'abrasif et les poussières générées. La cabine peut être équipée d'une installation de recyclage et de nettoyage de l'abrasif en continu. Les sableuses peuvent être munies de bandes transporteuses ou équipées pour le traitement des pièces en automatique.

Le traitement des pièces de grande taille se fait à jet libre, le sableur porte alors une combinaison de protection et un casque ventilé pour le protéger des poussières générées.

Il existe plusieurs technologies de projection d'abrasif :



- Le système à dépression, simple et économique, un venturi, à air comprimé, intégré au pistolet aspire l'abrasif depuis son réservoir.
- Le système à surpression, beaucoup plus productif, consiste à mettre sous pression d'air dans un récipient dans lequel est stocké l'abrasif, celui-ci est alors expulsé via un flexible et une buse.

Le sablage nécessite de l'air comprimé donc un compresseur, il faut veiller à avoir un air dépourvu d'humidité, donc un sécheur est à prévoir dans l'installation d'air comprimé.

Il existe des cabines de sablage adaptées à tous les métiers, il est également possible de concevoir une cabine de sablage spécifique à son utilisation, elles peuvent même être robotisées.



Figure. I.14 : Cabine de sablage pour pièces de grande dimension



Cabine de sablage de plaques de verre

D. Différents abrasifs

Il est impératif de choisir soigneusement l'abrasif à projeter, selon le but recherché.

- Le terme *sablage* vient du fait qu'à l'origine on utilisait du sable comme abrasif : anciennement en frottant la pièce avec, puis en le projetant sur la pièce. Parfois de

l'eau est ajoutée au sable, principalement dans le but de limiter la production de poussières.

1. Cette technique est utilisée dans le bâtiment pour le nettoyage des murs par projection de sable.
 2. Elle est utilisée pour tatouer les vitres des automobiles avec un numéro spécifique, on utilise un sable très fin et un pochoir du motif à reproduire. Cela tend à dissuader les voleurs de dérober le véhicule.
- Le sable n'est presque plus utilisé dans le sablage, à cause de la silice cristalline qu'il contient. Celle-ci, en s'accumulant dans les poumons, cause chez les sableurs la silicose, maladie mortelle incurable. En remplacement, on utilise en sablage des scories vitrifiées, du corindon et d'autres types de produits plus techniques en fonction de ce que l'on cherche à obtenir. Les poussières émises lors des opérations de sablage proviennent non seulement de l'abrasif, mais aussi du support décapé, et peuvent donc se révéler particulièrement dangereuses, en particulier lors des opérations de ravalement de façades¹.

Dans l'industrie et le traitement de surfaces "haut de gamme" (horlogerie, maroquinerie, aéronautique, mais également automobile), de nouvelles solutions techniques apparaissent avec des corindons blancs de taille très réduite (jusqu'à 3000 mesh) ou des carbures de silicium et non pas de la silice (en black ou green). Les process peuvent être réalisés à sec ou en voie humide, par projection, mais parfois par tribofinition afin de moins modifier les contraintes internes (voilage de pièces fines ou réduction des diamètres de perçage).

Applications

- Nettoyage de surface
- Ébavurage de pièces
- Préparer avant peinture
- Créer une rugosité
- Désoxyder

- Décaper
- Décoration
- *Satiner **[8]**

II. Matériau d'étude, et techniques de moulage :

II.1 Description des matières utilisées :

II.1.1: Matière utilise :

Matière métallique en grain pour l'utilisation directe de l'injection par la machine à injecter, elle devient l'acier à base de nickel, durci après le frittage.

Compositions chimiques typiques après le frittage :

C (%)	Ni (%)	Si (%)	Fe
0.4 – 0.7	3.5– 4.5	≤ 1.0	Reste

Tableau II.1 : Composition chimique de la poudre utilise

	Unité	Valeur moyenne	Paramètre technique	Norme de contrôle
Densité	g/cm ³	7.5	≥ 7.4	ISO 3369
Ccoefficient de contraction		1.2160	1.2116-1.2204	RC/PQ-SN-1250
Teneur de carbone	%	0.5	0.4 – 0.7	Analyseur de carbone et soufre

Tableau II.2 : Spécifications techniques principales

	Unité	Paramètre technique	Méthode de test
Résistance à la traction	MPa	≥ 1250	Essayeur de traction
Allongement	%	$\geq 1\%$	Essayeur de traction
Dureté	HRC	37-48	Duromètre ROCKWELL
Densité	g/ cm ³	$\geq 7.4\%$	Densimètre

Tableau II.2 :Exigences après le traitement thermique typique :

II.2 : Dessin de produit :

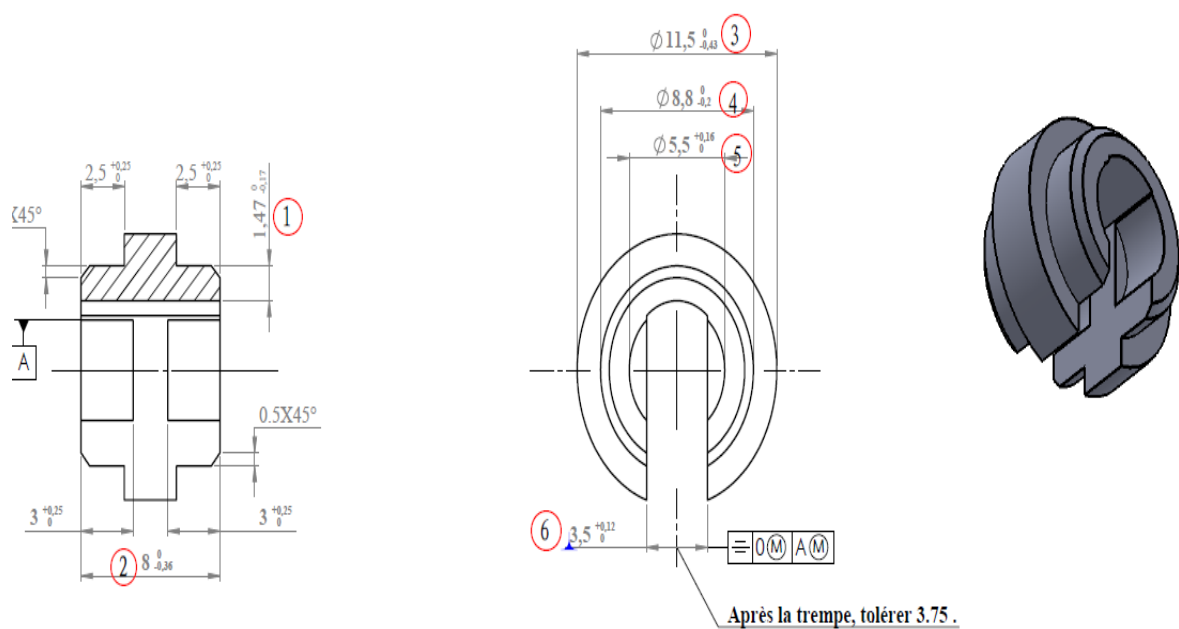


Figure II.1: Dessin de produit

II.3 : Norme d'opération de formage :

Nom: ANNEAU	
Matière: MIM4805	
Code de moule:	
Quantité de chambre: 2	
EQUIPEMENT	UTILISATION
Machine à injecter	Formage d'ébauche par injection
Ecraseur	Broyage de matière usée

Règles d'opération:

1. Les opérateurs doivent subir la formation avant le travail. Ils doivent connaître le principe de formage de la pièce et la structure principale de formage de la pièce.
2. Avant le démarrage des équipements, il faut vérifier l'eau, l'électricité et le gaz qui sont en état normal
- . 3. Avant la première injection, vérifier la chambre et la surface de moule qui n'ont pas la matière usée et ou le moule endommagé et lubrifier de l'huile de piston le glissoir de la chambre de moule et le tige-guide incliné.
4. Les premiers 20 moulages, contrôler les ébauches qui n'ont pas les fissures ou le manque de matière, s'il y a l'état anormal, il faut le dire au technicien immédiatement. On commence la production en série après le contrôle des produits qualifiés.
5. Les pièces sont bien posées sur les plateaux et les porter avec l'attention pour éviter la blessure.
6. Faire bien les marquages et les déposer dans la place demandée.
7. Les queues de coulage après l'injection seront brisées par l'écraseur et alimentées avec la nouvelle matière en respectant la proportion
- .8. A la fin de l'injection, il faut vider les matières de l'entonnoir, le tour sera déplacé du passage principal de moule et arrêter l'équipement, couper le courant et fermer l'eau de refroidissement, arranger la place de travail et noter le fonctionnement des machines.

Technologie de formage d'injection	Pression d'injection Bar	110±20	Température e d'entonnoir °C	Etape N°1	190±10
	Maintenance de pression Bar	80±20		Etape N°2	180±10
	Vitesse (%)	60±20		Etape N°3	170±10
	Injection S	3		Etape N°4	160±10
	Maintenance de pression S	1	Température de moule		100±20
	Refroidissement S	4±2	Proportion de matières neuve et usée		3:1
	Refroidissement avant alimentation S	0			
Consignes	1. Défense de fermer le moule qui possède encore la pièce injectée ou le résidu de matière; 2. Proportion de la matière neuve et la matière recyclée: 3:1. Défense de mélanger les impuretés dans les matières recyclées. 3. Manipuler doucement les pièces injectées à cause de leur fragilité. Les pièces endommagées sont jugées non conformes et doivent être recyclées au moyen du broyage dans le broyeur.				

II. 4 : Norme de contrôle de formage

Nom: ANNEAU
Matière: MIM 4805
Code de moule:
Quantité de chambres: 2

Exigence de contrôle des ébauches :

Exigences de contrôle spécial par le contrôleur: Contrôler les ébauches une fois par équipe selon les normes de contrôle et noter le résultat de contrôle des ébauches

Exigences de contrôle par l'opérateur de l'injection soi-même: ébauches bien faites, sans manque de matière, sans blessure et éraflure. Peser l'ébauche trois fois par équipe (au début de travail, au milieu de travail et à la fin de travail), prendre les trois pièces par fois et noter le poids des pièces.

qualifiées et les passer au processus de l'ébarbage.

Norme des cotes	DESIGNATION	EXIGENCES DE FORMAGE
	① cote(mm)	1.58-1.78(Valeur de réf.)
	② cote(mm)	9.29-9.728(Valeur de réf.)
	③ cote(mm)	13.46-13.98(Valeur de réf.)
	④ cote(mm)	10.45-10.7(Valeur de réf.)
	⑤ cote(mm)	6.68-6.88(Valeur de réf.)
	⑥ cote(mm)	4.25-4.40(Valeur de réf.)
	Poids unique (g) (Valeur de réf.)	≥2.72

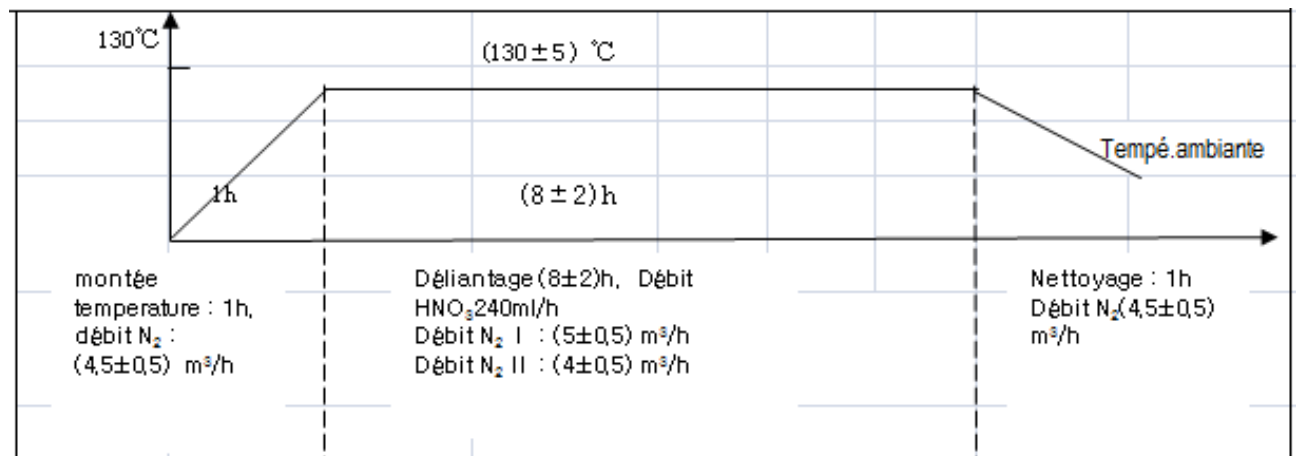
II.5 Norme d'opération de l'ébarbage :

	Norme	Endroit d'ébarbage	
Nom: ANNEAU		Expulsion	
Matière : MIM 4805			
Code de moule :		Masselotte	A l'endroit de masselotte, sans manque de matière et résidu
Outil : Couteau			
Consignes : au cours de l'opération d'ébarbage des pièces, il faut les porter et poser avec précaution, les nettoyer avec la brosse et faire le marquage. Les pièces qualifiées seront passées au processus catalytique acide.		3. Ligne de fermeture	Sans blessure de couteau et résidu
		4. Trou intérieur	A ébarber une fois unique, sans ébavure
Endroits principaux à ébarber			

II.6 :Norme d'opération catalytique acide (déliantage) :

Nom: ANNEAU
Matière: MIM 4805
Equipement: Four de catalytique Utilisation: Déliantage
Instrument: Balance
Matière auxiliaire: acide nitrite fort à 98%

II.5 :Technologie catalytique acide :



REGLES D'OPERATION :

1. Mise des pièces: les pièces bien ébarbées après le contrôle seront mises sur le filet en acier inox, la surface plane vers le haut.
2. Chargement au four: Poser la plaque céramique sur le support de catalytique, laisser l'écart de 15mm dans les deux côtés pour faciliter l'entrée au four. Prendre les deux pièces de la couche supérieure et de la couche le plus basse pour peser m1 et m2, faire le marquage et les entrer au four ensemble
3. Fonctionnement: Vérifier l'eau, l'électricité, le gaz et le liquide en bon état, fonctionner conformément à la technologie catalytique acide

.4. Les pièces subies par l'opération catalytique et qualifiées seront posées sur le plateau de frittage. Il faut les prendre doucement. Exigence de contrôle propre pour chaque four: A la fin de l'opération, peser les deux échantillons m_1 et m_2 . Calculer la proportion d'aggravité. Formule de calcul: $100(m_1 - m_2')/m_1$ $100(m_2 - m_2')/m_2$. Proportion de déliantage demandée à > 9.2 . Les pièces non qualifiées seront continuées à l'opération catalytique.

5 La concentration de l'acide nitrique est exigée à 98%. Défense d'avoir les impuretés visibles dans l'acide.

6 Préparer au moins 8 bouteilles d'azote. Vérifier souvent la pression de l'azote. En cas de l'insuffisance de la pression d'azote engendrée par la coupure électrique, la panne de machine ou la fuite au niveau du tuyau, utiliser tout de suite l'azote en bouteille.

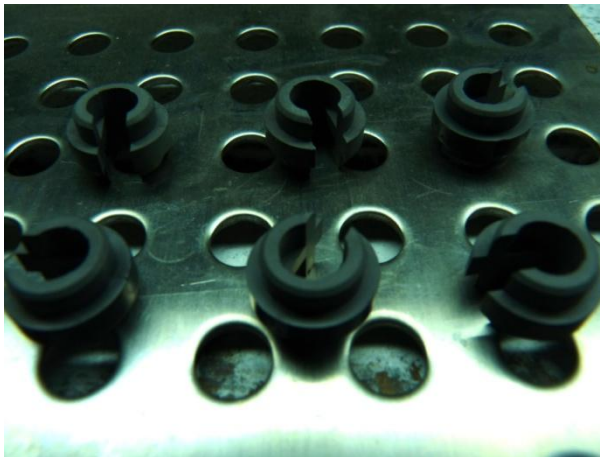
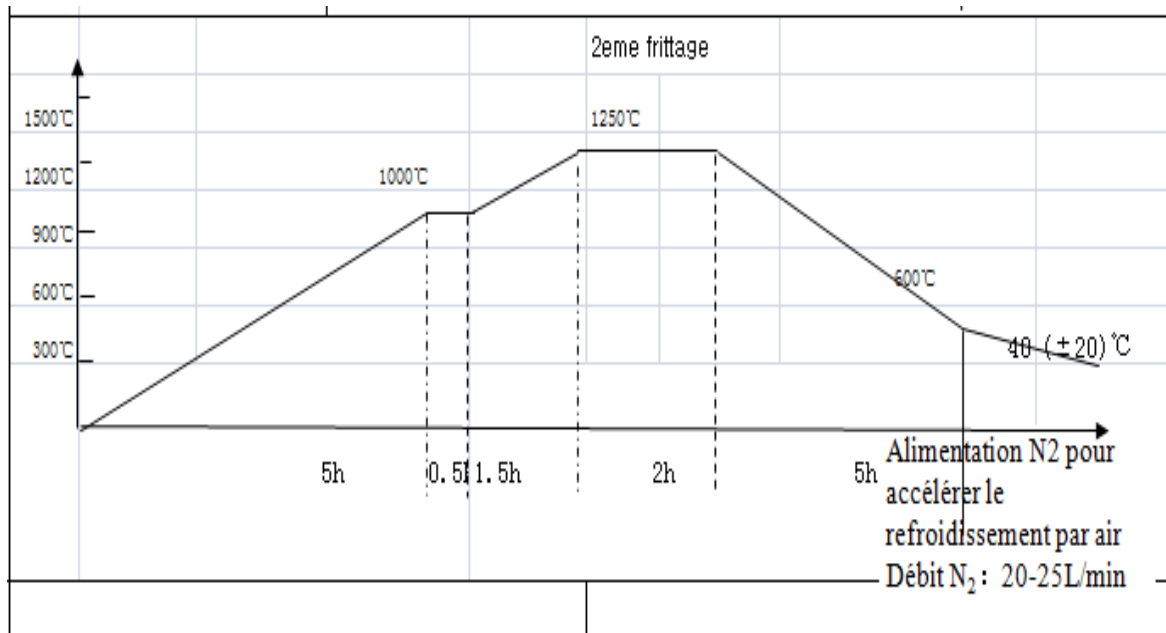
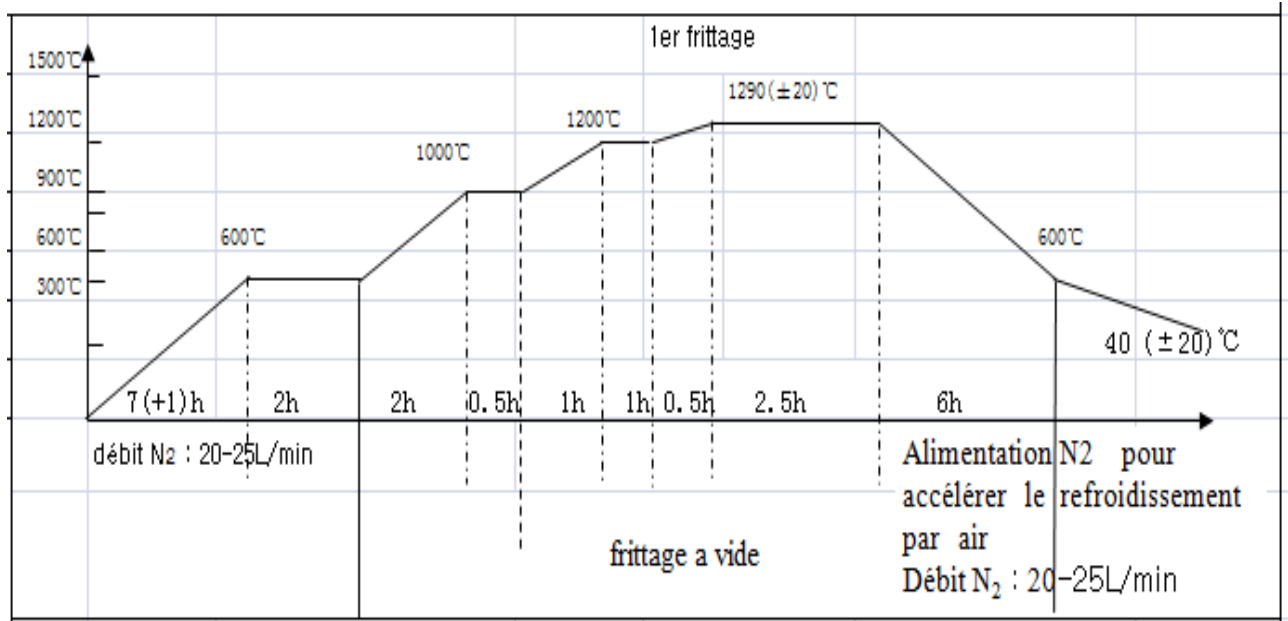


Figure II.2: Figure de pose des pièces

II.7 :Norme d'opération de frittage:

Nom: ANNEAU
Matière: MIM 4805
Equipement: Four de déliantage et frittage sous vide
Utilisation: frittage



II.8: Norme de contrôle des pièces frittées :

Nom: ANNEAU
Matière: MIM 4805
Equipement: Four de déliantage et frittage sous vide Utilisation: Frittage
Matière auxiliaire: Azote pure
Instrument de mesure: A. Pied à coulisse
H: Densimètre

Exigences de contrôle des pièces frittées :

Exigence de contrôle propre par l'opérateur : pour la cote 2, mesurer avec le pied à coulisse A, contrôler le n'entre pas avec le calibre machôire de 3.62mm sur la cote6. Mesurer la densité avec le densimètre H, les pièces qualifiées sont sorties du four. La densité doit à ≥ 7.40

Exigence de contrôle du contrôleur: mesurer selon les cotes, prendre 20 pièces à contrôler les cotes pour chaque four, et 3 pièces à mesurer la densité. Noter les cotes des produits non conformes (déformation au cours de frittage), les passer à la prochaine opération de redressage.

DESIGNATION	FRITTAGE	piece frittées
①cote(mm)	1.30-1.47	1,34
②cote(mm)	7.64-8.00	7,8
③cote(mm)	$\phi 11.07-11.50$	11,08
④cote(mm)	$\phi 8.6-8.8$	8,6
⑤cote(mm)	$\phi 5.50-5.66$	5,55
⑥cote(mm)	$\phi 3.50-3.62$	3,5
Densité (g/cm ³)	≥ 7.40	7,4

contrôle des pièces frittées

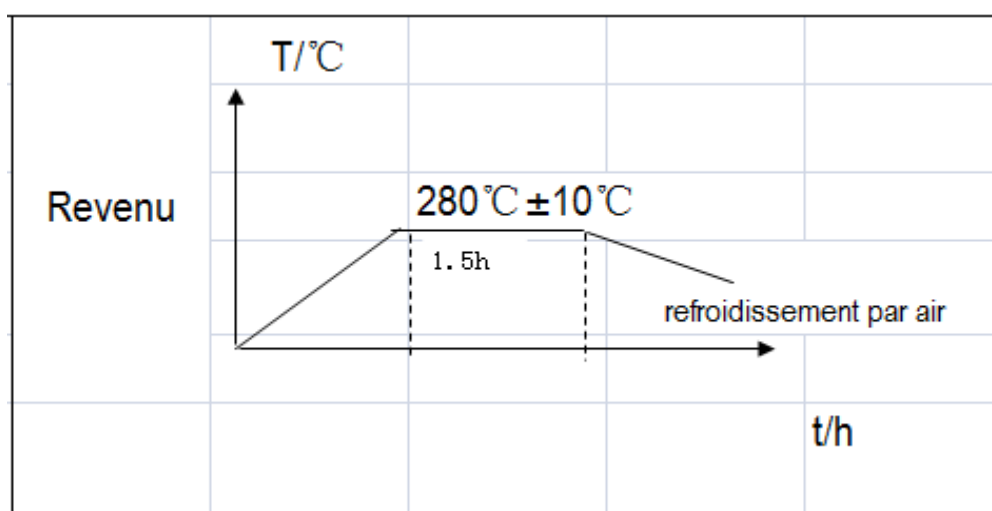
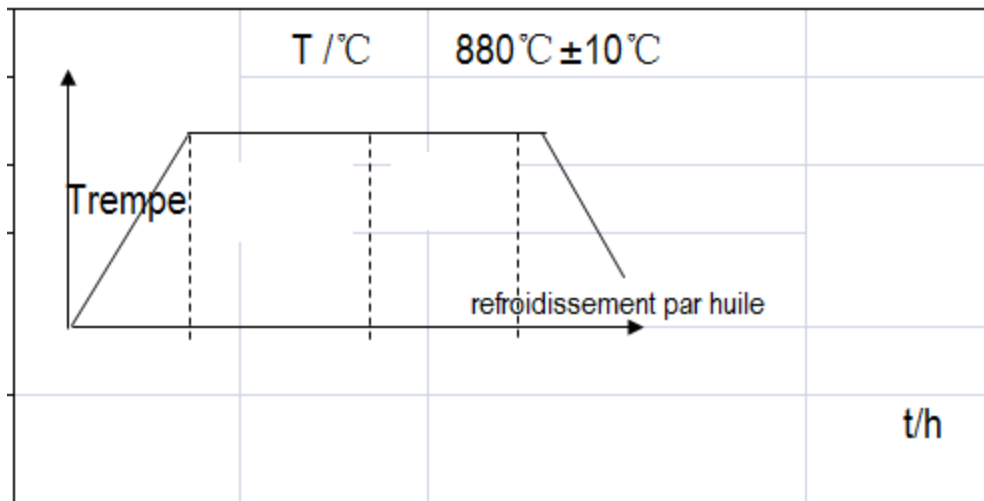
II.9:Norme d'opération de redressage

Figure II.3 : Figure d'opération(redressage)

II.10:Norme d'opération de traitement thermique :

Equipements : Four de trempe Four de revenu, Machine à laver, Essoreuse

Matière auxiliaire : Alcool, kérosène



Processus de trempe :

1. Montée de température du four : démarrage le ventilateur et mettre en marche le programme technologique. Ouvrir la porte du four à $600-700^{\circ}\text{C}$, y introduire les pièces conformes après redressage et ferme la porte. instiller à une température 760°C l'alcool dont le débit de la stillation est de 100ml/min . Quant la température est montée à 880°C , instiller le kérosène dont le débit de la stillation est de 100ml/min .
2. Trempe : A la fin du programme, éteindre le ventilateur. Prendre les pièces et les plonger tout de suite dans l'huile de trempe. 5 minutes après le refroidissement, tirer les pièces et contrôler la dureté et noter la chiffre de dureté. Exigences de dureté: 50-60HRC

REGLES D'OPERATION :

Règles d'opération de lavage et de revenu :

1. Lavage : mettre les pièces qualifiées après la trempe dans la machine à laver tout en ajoutant le kérosène et faire tourner la machine à vitesse uniforme pendant 5 minutes;
2. Essorage : Sortir les pièces et les mettre dans l'essoreuse pour l'essorage;
3. Revenu : Selon la dureté après la trempe, prendre la température de revenu de $280 \pm 10^\circ\text{C}$, maintenir la température pendant 1.5 heures environ;
4. Mesurer la dureté: Mesurer la dureté après le revenu avec le duromètre Rockwell, 40-47HRC

II.11:Norme d'opération de sablage :

-Nom d'équipement : Machine à sabler

Technologie de sablage	Temps	Vitesse de rotation	Quantité de sable kg
	20min	40 tours/min	15 $\pm$ 5

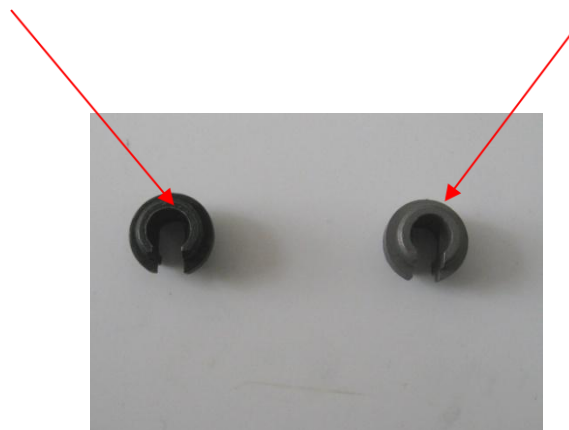
Règles d'opération

1. Sablage : Mettre les pièces qualifiées après la trempe dans la machine à sabler.
2. Contrôle: La surface de pièce est propre après le sablage.

Figure II.4 :figure des effets après le sablage :

Avant le sablage

Après le sablage



II.12 :Norme d'opération de contrôle finale :

Nom: ANNEAU
Matière: MIM 4805
Instrument de mesure: Pieds à coulisse
Duromètre . Gabarit
Règles d'opération
1. Contrôle de l'aspect: Vérifier l'aspect des pièces qualifiées et laisser à coté les pièces qui ont le manque de matière et la fissure.
2. Prélever 3% de pièces pour le contrôle de qualité selon la norme de contrôle final

Type de défauts d'aspect et figure	Manque de matière			matière collée
Norme des cotes de contrôle final		DESIGNATION	VALEUR DE NORME	
		① cote(mm)	1.30-1.47	
		② cote(mm)	7.64-8.00	
		③ cote(mm)	φ11.07-11.50	
		④ cote(mm)	φ8.6-8.8	
		⑤ cote(mm)	φ5.50-5.66	
		⑥ cote(mm)	φ3.50-3.62	
		Dureté	40-47	

CONCLUSION :

On s'intéresse par cette étude moulage d'une pièce par injection métallique, dans usinage classique de cette pièce il demande beaucoup de temps et des travaux et la surface de cette pièce ne pas fini par centre moulage de cette pièce par injection métallique permet la production de pièce extrêmement complexes qui pourraient contenir exemple de nombreuses cavités, des bords pointus, impossibles à réaliser en usinage, les avantages de mim :

- Elimination d'opérations d'usinages comparativement à d'autres technologies, comme la cire perdue.
- Densité relative de 95 à 98%
- Meilleur accroche des traitements de surface anticorrosion par rapport au frittage traditionnel
- Obtention possible de taraudage ou filetage directement d'injection
- Grande liberté dans la conception géométrique des composants
- Bonnes tolérances dimensionnelles, ordre de grandeur de $\pm 0.5\%$

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

**[1] UNEVESITE DE BATNA /Magistère en mecanique option :
Energétique**

**Thème : contribution a la modélisation de transfert de chaleurs lors du
remplissage d'un moule**

[2] : www.alliance-mim.com

**[3] :UNEVERSITE MOAMED KHIDER-BISKRA /Magister GENIE
MECANIQUE**

Spécialité : construction mécanique

**Thème :ETUDE ET CONCEPTION A L'AIDE DE CAO D'UN MOULE A
INJECTION PLASTIQUE**

[4] :

WWW.TEXPART-TECHNOLOGIES.COM

[5] : Omnexus by Special Chem

Février 2011

Dominique APPERT

Ingénieur R&D

CFP

d.appert@cfp-france.com

[6] : métallographie et traitement thermique des métaux I-LAKHTINE

[7] :nais-games.over-blog.com

[8] :fr.m.wikipedia.org