

## PROCEDE TECHNOLOGIQUE DE FABRICATION D'UN ARBRE MECANIQUE

<sup>1</sup>ABDOULAYE BENGALY, [bengalyabdoulaye1@gmail.com](mailto:bengalyabdoulaye1@gmail.com)

<sup>1</sup>Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba Touré (ENI-ABT)

### Résumé

L'objectif de ce travail est d'élaborer un procédé de fabrication de 5000 arbres mécaniques pour satisfaire à la demande d'une usine de montage d'automobile. Pour la fabrication de la dite pièce nous devons établir une gamme d'usinage détaillée. Le matériau de notre pièce est en fonte grise Ft 20. Les procédés d'obtention des pièces brutes sont multiples et dépendent surtout du matériau à usiner. Les plus utilisés sont entre autre : le forgeage, l'estampage, la fonderie. L'objectif de la gamme d'usinage est de définir l'ordre des opérations d'usinage et les différentes prises de pièces associées. L'un des éléments de calcul économique est le prix de revient qui détermine la rentabilité du travail au poste de travail, dans l'atelier et l'entreprise en général. Nous avons donc utilisés un instrument de mesure de contrôle actif. Cet instrument a été installé sur le banc de la machine et effectue les mesures au cours de l'usinage de la pièce sans arrêt de la machine. Les objectifs assignés ont été atteints car le travail est fait avec beaucoup de professionnalisme à la satisfaction de l'atelier et du demandeur des pièces.

**Mots-clés** : Arbre mécanique, gamme d'usinage, fonderie

### Abstract

The aim of this work is to elaborate the manufacturing process of 5000 of mechanical trees to meet the request of a car assembly factory. For manufacturing of the so called part we must set up a detailed manufacturing range. The materials of our part are a grey melting Ft 20. The procedures of getting crude parts are various and depend basically on the materials to manufacture. The most used among others are: The making up stamping smelting works. The aim of the manufacturing range is to define the order of the manufacturing operations and the different tests of joint-joints. On the elements of the economic calculation is the cost prize which determines the profitability of the work position in the workshop or the entreprise in general. We are therefore used a tool of measurement. This tool has been installed on the table of the machine and makes measurement during the manufacturing of the parts without stopping the machine. The main targeted have been reached since the work has been done with much professionalism to the satisfaction of the work-shop and the seeker of the parts.

**Keywords**: Mechanical tree, manufacturing range, smelting work

## 1. Introduction

L'objectif de ce travail est d'élaborer un procédé de fabrication de 5000 arbres mécaniques pour satisfaire à la demande d'une usine de montage d'automobile. Pour la fabrication de la dite pièce nous devons établir une gamme d'usinage détaillée. Cette gamme consiste à établir toutes les étapes de fabrication de la pièce. En construction mécanique il existe 3 types de production ; la production unitaire, la production en série et la production de masse. Chaque type de production est fonction du nombre de pièces à fabriquer. Puisque nous devons fabriquer 5000 pièces, c'est donc la moyenne série qui nous convient. Pour cela il nous faut choisir les machines automatiques ou semi automatiques ainsi que les outils de coupes convenables.

Lors de la fabrication de cette pièce il nous faut respecter deux contraintes majeures :

- les spécifications du bureau d'étude qui portent sur la pièce fini. Il faudra donc préciser sur le dessin de définition de la dite pièce, les tolérances de forme, d'orientation et de position aussi bien que l'état de surface ;
- les contraintes de production qui portent généralement sur le coût unitaire, les temps de fabrication.

Il s'agit là de fabriquer le maximum de pièce dans un minimum de temps. Dans la production en moyenne série le temps de fabrication influe sur le coût car dans la plupart des cas, les ouvriers opérateurs sont payés par heure. Lors de l'usinage des pièces nous devons tenir compte des effets néfastes qui peuvent dégrader l'état de surface qui est l'une des exigences sur les pièces finies. L'une de ces effets néfastes est la vibration de la pièce. Les sources de la vibration sont multiples (chocs lors des entrées répétées de l'outil dans la pièce, discontinuités de la matière coupée etc.). Dans certains cas, les vibrations peuvent provoquer l'usure prématurée de l'outil ou le casser tout simplement (YALLES M.A). Les vibrations sont donc à éviter lors de l'usinage des pièces pour avoir une bonne qualité de surface.

## 2. Matériel et méthodes et matériels

### 2.1 Matériels

Le choix des machines peut être conduit méthodiquement (SANDVIK COROMANT et J.C HAMAN , F.LE MAITRE ) :

:

- faire l'inventaire complet des machines disponibles qui paraissent capable de réaliser la ou les surfaces considérées
- éliminer les machines qui ne permettent pas de respecter les spécifications et tolérance concernant les surfaces considérées
- choisir finalement la machine qui permet d'obtenir le prix de revient minimal

C'est en nous basant sur ces critères que nous choisissons pour notre usinage les machines suivantes :

## 2.2 Méthodes

Pour la fabrication des 5000 pièces les méthodes suivantes ont été utilisées :

### 2.2.1 L'obtention de la pièce brute : (JEAN HUSSON- PYC)

Le matériau de notre pièce est en fonte grise Ft 20.

Les procédés d'obtention des pièces brutes sont multiples et dépendent surtout du matériau à usiner. Les plus utilisés sont entre autre : le forgeage, l'estampage, la fonderie etc...

Puisque notre pièce est en fonte grise, nous l'avons obtenu par fonderie qui est l'un des procédés d'obtention des pièces brutes, les plus recommandés pour les brutes en fonte grise.

Ce pendant les pièces obtenus par fonderie ont une sur épaisseur très grande. Ce qui constitue leur inconvénient, car le temps d'usinage serait un peu élevé.

### 2.2.2 Elaboration de la gamme d'usinage de la pièce (P BOUDET)

L'objectif de la gamme d'usinage est de définir l'ordre des opérations d'usinage et les différentes prises de pièces associées.

Les contraintes sont nombreuses :

- nombres de pièces à fabriquer (5000)
- utilisation des outils présents
- respect des spécifications du dessin de définition
- coût minimum.
- 

Avant d'élaborer une gamme d'usinage, il faut d'abord faire une analyse du dessin de définition :

- la matière : fonte grise
- les formes globales de la pièce
- repérer les surfaces usinées
- analyser les valeurs des intervalles de tolérances, les spécifications géométriques puis les surfaces fonctionnelles.

Une gamme d'usinage doit être utilisable ; pour cela, il est nécessaire :

- que les procédés choisis soient réalisables et commodes à employer
- que le prix de revient de l'usinage soit minimisé
- que les tolérances du dessin soient respectées
- que le facteur humain soit respecté : sécurité assurée, fatigue non excessive.

A partir du dessin de définition ci- dessous nous avons élaboré la gamme d'usinage suivante (tableau 1)

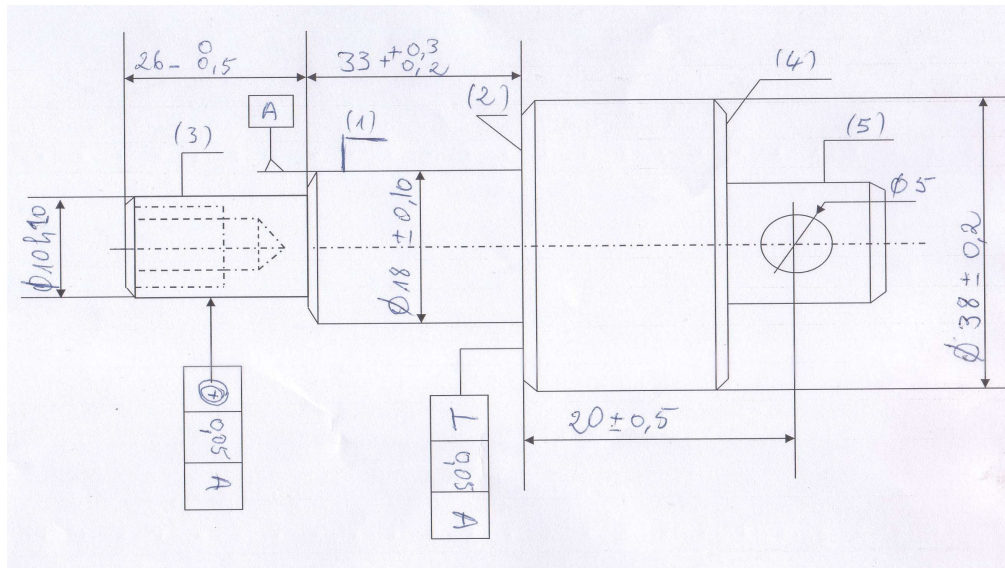


Figure 1 : Dessin de définition de la pièce

Tableau 1 : gamme d'usinage

| Phase 00 | Sciage du brut   | opérations                              | Outils de coupe                |
|----------|--|---|--------------------------------|
| Phase 01 | Tournage<br>Mandrin en mors durs                               | Ebauche et finition des surfaces 5 et 4 | Outil à charioter et à dresser |
| Phase 02 | Tournage<br>Mandrin mors doux sur 5 appuie sur 4               | Ebauche et finition de 3, 1 et 2        | Outil à charioter et à dresser |
| Phase 03 | Taraudage  |   | Taraud                         |
| Phase 04 | Fraisage<br>Prise en mandrin mors doux sur 1 et en butée sur 2 | Perçage du diamètre 5                   | Foret                          |

### 2.1.3 Paramètres de coupe

Les tableaux 2 et 3 enregistrent les paramètres de coupe lors de l'usinage des 5000 pièces.

Tableau 2 : Tournage

| Symbole | Désignation                    | unité   | calcul   |
|---------|--------------------------------|---------|--|
| Vc      | La vitesse de coupe            | m/min   | Imposé par le fabricant d'outil                          |
| N       | La vitesse d'avance            | Trs/min | $N = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$                 |
| f       | L'avance par tour              | mm/trs  | Fonction de la rugosité désirée, du copeau mini          |
| a       | La profondeur de passe radiale | mm      |  |
| hm      | Epaisseur moyenne du copeau    | mm      |  |
| D       | Diamètre du copeau             | mm      | 40mm   |
| tc      | Le temps de coupe              | min     | $t_c = \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot V}$ |

**Tableau 3 : Fraisage**

| Symbole | Désignation                    | unité    | calcul   |
|---------|--------------------------------|----------|--|
| Vc      | La vitesse de coupe            | m/min    | Imposé par le fabricant d'outil  |
| Vf      | La vitesse d'avance            | mm/min   | $Vf=f.n.N$   |
| N       | La vitesse de la broche        | Trs/min  | $N = \frac{Vc.1000}{\pi.D}$  |
| f       | L'avance par dent              | mm/dents | Fonction de la rugosité désirée du copeau mini                               |
| Z       | Nombre de dents sur la fraise  |          |  |
| a       | La profondeur de passe radiale | mm       | 1/3 de la largeur de la plaquette maxi.<br>Fonction du diamètre brise copeau |
| hm      | Epaisseur moyenne du copeau    | mm       |  |
| D       | Diamètre usiné                 | mm       | 5mm  |
| tc      | Le temps de coupe              | min      | $tc = \frac{L.\pi.D}{1000.f.V}$  |

### 2.2.4 Coût d'usinage d'une pièce

Une première approche permet de calculer le coût de fabrication d'une pièce faisant partie de la série.

La formule suivante nous permet de calculer le coût d'usinage.

$$C_p = P_a + t_c.P_m + P_0 \cdot \frac{t_c}{T} \quad (1)$$

$P_a$ - coût de montage et de réglage d'une pièce

$T_c$ - temps d'usinage d'une pièce

$P_m$ - coût machine plus opérateur par minute

$P_0$ - coût d'une arête de coupe et de changement de l'outil

$T$ - durée de vie de l'outil

Le coût d'une arête de coupe prend en compte le nombre d'arête par plaquette. C'est pourquoi nous déterminons ce coût par la formule suivante :

$$P_0 = \frac{P_{pl}}{N_a \cdot 7/8} + \frac{P_{po}}{N_p} + T_{vb} \cdot P_m \quad (2)$$

$P_{pl}$ - prix d'achat d'une plaquette

$N_a$ - nombre d'arête

$P_{po}$ - prix du porte-outil

$N_p$ - nombre d'arête de coupe qui peuvent monter sur la porte –outil avant changement

$T_{vb}$ - temps de changement de l'outil et de réglage

$T_{vb} = 1$  min en ébauche et 3 min en finition

$P_{pl} = 2952$  Cfa

$P_{po} = 22950$  Cfa

$N_p = 8$

$P_m = 39360$  Cfa

Nous avons ensuite déterminés le temps de coupe avec la formule suivante :

$$T_c = \frac{l}{s.N} = \frac{l.\pi.D}{1000.S.V_c} \quad (3)$$

La durée de vie T entre deux affûtages des outils en carbure métallique varie entre 60 et 90 min.

### 2.2.5- Temps minimum de fabrication

Le temps minimum pour la fabrication des 5000 pièces est déterminé avec la formule suivante :

$$T_t = T_r + T_u + \frac{T_{ub}}{T} . T_u \quad (4)$$

Tt- temps de production par pièce

Tr- temps de montage, démontage d'une pièce

Tu- temps d'usinage

### 2.2.6- Détermination des autres frais liés à la fabrication des 5000 pièces

#### 2. 2.6.1- Prix de revient d'usinage des pièces

L'un des éléments de calcul économique est le prix de revient qui détermine la rentabilité du travail ou poste de travail, dans la section, l'atelier et l'entreprise en général (DR A. BENGALY.)

La condition la plus économique du procédé de fabrication d'une pièce c'est –à dire la condition du plus faible prix de revient est le critère essentiel d'application économique de l'usinage.

Le prix de revient se calcule par la formule suivante :

$$Pr = M + S \left( 1 + \frac{Q}{100} \right) \quad (5)$$

M- prix de la matière d'œuvre ou de l'ébauche

S- salaire de la main d'œuvre lié à la fabrication de la pièce

Q- somme des frais d'atelier

#### 2.2.6.2 Frais d'énergie électrique

$$El = \frac{5 Ni.Cc.Fel}{60} . T_t \quad (6)$$

Ni- puissance des moteurs de la machine

Cc- le coefficient de charge des moteurs électriques des machines suivant le régime de coupe

Cc = 0,5 à 0,9

Tt- temps technologique

### 2.2.5 Les frais relatifs aux montages spéciaux

Ces frais sont définis par le délai d'amortissement qui peut varier de 2 à 4 ans en fonction des modifications éventuelles de la construction de la pièce à usiner (DR A. BENGALY). Pour une production en série on admet que les frais d'entretien annuels des montages s'élèvent à 10% de leur prix.

### 2.2.6 Les frais relatifs aux outils employés (DR A. BENGALY)

Les outils employés pour la coupe engendrent des frais qui peuvent être déterminé par la formule :

$$\text{Out} = \frac{W_o}{K_o} \quad (7)$$

Wo- prix de l'affûtage d'un outil

Ko- nombre de pièces usinées par l'outil

## 2.3 Tours automatiques mono broche

La pièce tourne autour de l'axe Z avec une fréquence de rotation N. la forme de la pièce usinée est engendrée par le déplacement de l'outil dans le plan Z X, ou est l'axe radial.

Beaucoup d'opérations sont réalisées en même temps sur le tour. Chaque opération se caractérise par la trajectoire de l'outil.

Pendant l'usinage de la pièce nous avons déterminé deux composantes de la vitesse relative entre l'outil et la pièce. Il s'agit de la vitesse de coupe V et de la vitesse d'avance Vf.

La vitesse de coupe dépend de la fréquence de rotation et du diamètre à usiner.

$$V = \pi \cdot D \cdot N \quad (8)$$

La vitesse d'avance dépend de l'avance par tour f et de la fréquence de rotation N

$$V_f = f \cdot N \quad (9)$$

La vitesse de coupe dépend également du matériau de la pièce à usiner, de la profondeur de passe et d'avance, du type d'opération du matériau de l'outil de coupe. Pour cela on ne la calcule pas mais on choisit dans un tableau qui se trouve dans les guides de technologie des constructions mécaniques.

L'avance par tour nous permet de déterminer l'épaisseur du copeau et même la qualité de la surface usinée. L'effort appliqué par l'outil sur la pièce se décompose en :

- force de coupe Fc            selon la direction de la vitesse de coupe
- force d'avance Ff           selon la direction de la vitesse d'avance
- force passive Fp            perpendiculaire aux deux autres à la surface usinée

La puissance de coupe du tour est théoriquement égale à :

$$P_c = F_c \cdot V \quad (10)$$

### 2.3.1 Fraiseuse d'opération à cycle automatique

L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil.

En fraisage la vitesse de coupe est déterminée de la même façon qu'en tournage. Par contre la vitesse d'avance est liée à la fréquence de rotation, à l'avance par dent  $az$  et aux nombres de dents de la fraise  $z$

$$V_f = Z \cdot az \cdot n \quad (11)$$

2.2.3- Les outils de coupe (JC. Haman, F ; le maître)

Pendant l'usinage des dites pièces, nous avons utilisés des outils avec plaquette en carbures métalliques M20. Ce choix est fonction du matériau de la pièce (fonte grise) et du type de production (production en moyenne série). Ces outils sont cités ci-haut dans le tableau de la gamme d'usinage (Tableau 1).

Contrairement aux autres outils, les tarauds sont en acier au carbone.

2.2.4- Les instruments de mesures

Le type de production nous oblige à ne pas travailler avec les instruments de mesures universelles comme le pied à coulisse ou le palmer.

Nous avons donc utilisés un instrument de mesure de contrôle actif.

Cet instrument a été installé sur le banc de la machine et effectue les mesures au cours de l'usinage de la pièce sans arrêt de la machine.

Il est couramment utilisé en moyenne série ou la quantité de pièce à fabriquer est très importante. Son utilisation permet d'éliminer les temps de mesure qui dans le cas échéant pourront faire partir du temps de fabrication.

### 3. Résultats

Au terme de ce travail d'exécution des pièces, les résultats attendus ont été atteints, car il s'agissait de faire une simulation entre les différents frais (y compris salaire de la main d'œuvre) rentrant dans la fabrication des 5000 pièces.

Après les multiples calculs que nous avons effectués, nous pensons que l'atelier de fabrication peut avoir un bénéfice important. Aussi le cahier de charge du demandeur serait satisfait.

### 4 Conclusion

Les objectifs assignés ont été atteints car le travail est fait avec beaucoup de professionnalisme à la satisfaction de l'atelier et du demandeur des pièces. Nous avons acquis beaucoup d'expérience lors de l'élaboration de cet article. Cependant il faudra savoir que les machines utilisées pour l'usinage de ces pièces sont automatiques et coûtent très chères. Leur utilisation est recommandée uniquement dans les productions en série et de masse.

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- la durée de vie de plaquettes revêtues est supérieure à celle non revêtues
- l'état d'usure de la partie active de l'outil a une influence sur les efforts de coupe spécifique.
- 

Pendant l'usinage nous n'avons pas utilisé des fluides de coupe pour des raisons sanitaires et environnementales. Ce pendant la non utilisation des fluides est néfaste sur la durée de vie des outils.



## Références

- A. Bengaly, 2016. Calcul du prix de revient, des frais d'électricité des frais d'outillage, Bamako, ENI –ABT, cahier de cours, 20 p.
- J C. HAMAN, F. MESLIN, F. LE MAITRE 2002. Modélisation et simulation de la mise en forme par enlèvement de matière 117-118
- Jean Husson- PYC 2006 édition – pratique du forgeage pages 250-256
- J. Triouleyre, 1984. Procédés de formage, Paris, Delagrave, 159 p.
- M. Meiller, 2002. Etude expérimentale du frottement outil-pièce en coupe orthogonale, Thèse de doctorat, Paris ENSAM, 88 p.
- P. Boudet, 1997. La coupe des métaux, polycopié CODEGEM, ENSET Cachan, 130 p.
- P. Depeyre. 2004-2005, Licence de technologie mécanique, Université de la Réunion, 71 p.
- R. Pazot, 2003. Montage d'usinage, Paris, DESFORGES, 143 p.
- S. Coromant, 2000. Outils de tournage pour l'usinage des métaux, 97 p.
- Yalles M.A, 2005. Etude du comportement à l'usure des matériaux de coupe moderne en tournage dur ; Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 101-103 pp.