

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

PAR :

MESSACI LYES

PROPOSER PAR :

MR. A. BELAMRI

Thème

**Etude de la gamme d'usinage d'une pièce en acier estampé 42CrMo4
demi arbre de roue du tracteur Massey Ferguson**

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

Sommaire

Chapitre I	7
Généralités	7
1 Généralités.....	8
1.1 Etrag : Entreprise Publique Economique des Tracteurs Agricoles (EPE/ETRAG/Spa) :.....	8
1.2 Historique de ETRAG.....	8
1.3 Situation de l'entreprise.....	11
1.4 Objectifs l'entreprise.....	11
1.5 Domaines d'Activité.....	12
1.6 Organigramme de l'EPE ETRAG :.....	12
Chapitre II	13
Forgeage	13
2 Forgeage.....	14
2.1 Introduction sur le forgeage.....	14
2.2 Définition du forgeage.....	14
2.3 Type de forgeage.....	15
2.4 Définition de l'estampage.....	16
2.5 Techniques de fabrication.....	18
2.6 Propriétés des procédés de forgeage.....	22
2.7 Avantages des procédés de forgeage.....	22
2.8 Inconvénients des procédés de forgeage.....	22
Chapitre III	23
3 Trempe par induction.....	24
3.1 Le procédé de chauffage par induction.....	24
3.2 La trempe par induction.....	24
3.3 La trempe superficielle après chauffage par induction.....	26
3.4 Avantages de la trempe par induction.....	27
3.5 Inconvénients de la trempe par induction.....	27

Chapitre IV	28
4 Etude de la fabrication de la pièce.....	29
4.1 Dessin technique de la pièce	29
4.2 Description de la pièce	30
4.3 Fiche technique de la matière de la pièce (42CrMo4)	30
4.3.1 Normalisation.....	30
4.3.2 Caractéristiques.....	30
4.3.3 Composition chimique du 42 Cr Mo 4 [Alliance-MIMalliance-mim.com]	31
4.3.4 Caractéristiques sans traitement thermique	31
4.3.5 Caractéristiques avec trempe et revenu.....	32
4.4 Forgeage : obtention du brute.....	33
4.4.1 La gamme de production du brute	33
4.4.2 Analyse de la gamme de fabrication.....	34
4.5 Usinage de la pièce.....	35
4.5.1 Mise en longueur et centrage des deux côtés.....	35
4.5.2 Tourner premier serrage coté droite en ébauche.....	37
4.5.3 Tourner deuxième serrage côté gauche.....	39
4.5.4 Tourner troisième serrage côté droit en finition	41
4.5.5 Fraiser profile canneler en taillage.....	43
4.5.6 Percer et aléser et chanfreiner	45
4.5.7 Trempe par induction + revenue	47
4.5.8 Rectification des différents diamètres.....	49
4.6 Temps d'usinage ETRAG et temps Sandvik.....	50
Conclusion	51

Listes des figures

Figure 1.1 : Organigramme de l'entreprise (ETRAG).....	12
Figure 2.1 : Exemple d'une pièce forgée	15
Figure 2.2 : Principe de l'estampage	17
Figure 2.3 :Estampage industriel	18
Figure 2.4 : Opération de cisailage	19
Figure 2.5 : Principe du chauffage par induction (d'après EDF).....	21
Figure 2.6 : Principe de fonctionnement d'une chauffeuse induction (d'après Edf).....	21
Figure 3.1 : Schéma de l'évolution microstructurale de l'acier et de son réseau cristallin en fonction d'un cycle thermique caractéristique de la trempe	25
Figure 3.2 : Diagramme TTA de l'acier 42CrMo4	26
Figure 3.3 : Diagramme TRC de l'acier 42CrMo4 austénitisé à 850°C pendant 30 min.	26
Figure 3.4 : Principe du chauffage par induction (chauffage d'un cylindre,document NOVELECT)27	
Figure 4.1 : Dessin de définition de la pièce.....	29
Figure 4.2 : Sans traitement thermique	31
Figure 4.3 : Avec trempe et revenu.....	32
Figure 4.4 : Dimensions finale de la pièce estampée (brute).....	33
Figure 4.5 : Forme réel de la pièce estampée (brute).....	33
Figure 4.6 : Dimensions de la pièce avant la gamme 1	35
Figure 4.7 : Dimensions de la pièce après la gamme 1.....	35
Figure 4.8 : Pied à coulisse de 0.02 de précision.....	35
Figure 4.11 : Dimensions de la pièce avant la gamme 2	37
Figure 4.9 : Dimensions de la pièce après la gamme 2.....	37
Figure 4.10 : Calibre a mâchoire double.....	38
Figure 4.12 : Dimensions de la pièce après la gamme 4.....	41
Figure 4.13 : Dimensions de la pièce avant la gamme 4	41
Figure 4.14 : Micromètre à 0.01 mm de précision.....	42
Figure 4.15 : dimensions de la pièce après la gamme 5.....	43
Figure 4.16 : dimensions de la pièce avant la gamme 5	43
Figure 4.17 : Détails du profil cannelé	44
Figure 4.18 : Outil de Taillage d'engrenages	44
Figure 4.19 : Dimensions de la pièce avant la gamme 6	45
Figure 4.20 : Dimensions de la pièce après la gamme 6.....	45

Figure 4.21 : Machine de trempe par induction.....	47
Figure 4.22 : Pièce placer dans la machine à induction.....	47
Figure 4.23 : Courbe de la trempe	48
Figure 4.24 : forme finale de la pièce	49
Figure 4.25 : Forme finale réel de la pièce	49

Liste de tableaux

Tableau 1 : Composition chimique du 42CrMo4	31
Tableau 2 : Temps réel et temps Sandvik de la gamme 3	40
Tableau 3 : Temps réel et temps Sandvik de la gamme 3	42
Tableau 4 : Temps réel et temps Sandvik de la gamme 6	46
Tableau 5 : Comparaison entre temps réel et temps Sandvik.....	50

Introduction

Dans une industrie d'une ampleur internationale comme ETRAG, le temps et l'argent sont des facteurs qu'il ne faut pas négliger, chaque seconde perdue dans la production de pièces est un désavantage pour l'entreprise. C'est pour cela que le bureau d'étude est un organe très important dans l'industrie de production de pièces. Dans cette étude, je vais vous présenter les différentes gammes de production d'un demi arbre de roue. Du débitage du lopin jusqu'à la dernière rectification.

Chargés de transmettre aux roues le mouvement rotatif issu du différentiel les demi-arbres sont soumis à une rotation très rapide et à des tensions importantes, du fait du débattement de la suspension. La transmission du mouvement aux roues s'effectue par des demi-arbres reliant les sorties du différentiel aux moyeux. Ces demi-arbres comportant une extrémité cannelée qui s'engage dans les sorties du différentiel. Sur les demi-arbres de propulsion (transmission aux roues arrière) on trouve, côté roue, un flasque boulonné. Du côté pont, l'arbre est cannelé et s'engage à l'intérieur d'un joint de Cardan, ou directement dans le moyeu d'un des planétaires du différentiel, sur les voitures à pont arrière rigide. Dans ce dernier cas, demi-arbres sont logés dans un carter cylindro-conique prolongeant le carter de pont et appelé « trompette ».

Chapitre I

Généralités

1 Généralités

1.1 Etrag : Entreprise Publique Economique des Tracteurs Agricoles (EPE/ETRAG/Spa) :

Avec l'ambition de créer un pôle industriel dans le machinisme agricole, l'Entreprise des tracteurs agricoles a lancé en 2012 son premier tracteur né d'une joint-venture regroupant en plus de l'ETRAG, l'Entreprise algérienne de distribution de matériels agricoles (PMAT) et le groupe américain AGCO Massey Ferguson. Le taux d'intégration du produit est de 32 % en 2015, selon les responsables de l'entreprise qui tablent sur un taux de 40 % en 2018.

S'inscrivant dans le cadre de la politique initiée par les pouvoirs publics pour le redressement industriel national et la relance du secteur mécanique, l'ETRAG d'Oued Hamimime produit annuellement 3.500 engins, des tracteurs de 46 chevaux (2 et 4 roues motrices), de 82 CV (2 et 4 roues motrices) et de 150 chevaux (4 roues motrices). La production de l'usine devrait atteindre dans cinq (5) ans 5.000 tracteurs/an. Autour de ce fleuron de l'industrie à Constantine, la promotion de la filière de la sous-traitance figure parmi les objectifs de ce redressement industriel, à travers l'encouragement des petites et moyennes entreprises (PME) spécialisées dans la fabrication de pièces de rechange et autres composants devant contribuer à développer le taux d'intégration.

1.2 Historique de ETRAG

1.2.1 1967-1981

La SONACOME est une société algérienne créée par ordonnance n° 67.150 du 09 /08/1967, dont le modèle économique était : « Société Nationale de Construction Mécanique), elle avait pour but de développer le secteur de l'industrie mécanique et de l'agriculture en Algérie par la mise en place d'unités de production avancées avec l'aide de firmes étrangères avec achat (Licence). C'est ainsi que la SONACOME a pris monopole de fabrication et d'importation en ayant des objectifs de satisfaction des besoins nationaux et puis d'exportation du produit national vers d'autres pays. La SONACOME a contribué à la réalisation des plans nationaux à deux programmes industriels :

Premier programme industriel

Pour ce premier programme cinq complexes ont été réalisés :

1. Moteurs Tracteurs Constantine
2. Véhicules Industriels Rouiba
3. Cycles et Motocycles Guelma
4. Vannes fonderie Berrouagua
5. Machines Agricoles Sidi bel Abbès

Et créer une filiale :

- Machine Outils Constantine (ALMO) (Algérienne de Machines-Outils)

1.2.2 1982-1996

La restructuration organique de la société mère SONACOME intervenue en 1982 a donné naissance à 11 entreprises nationales, parmi lesquelles, l'Entreprise Nationale de Production de Matériels Agricoles (EN.PMA) créée par décret n° 81-346 du 12/12/1981, dont le siège était à Sid Bel Abbès et à laquelle était rattaché « CIMOTRA » sous une nouvelle appellation : Complexe Moteurs Tracteurs « CMT ».

L'EN.PMA se composait de deux complexes et de trois unités de production auxquels s'ajoutaient quatre unités commerciales, une (01) unité de recherche et de développement, une (01) unité de transit et d'un (01) centre de formation.

- Complexes et unités de production :
- CMT : Complexe Moteurs Tracteurs : Constantine
- CMA : Complexe Machinisme Agricole : Sidi Bel Abbas
- UMA : Unité Matériels Agricoles : Rouïba
- UMD : Unité Matériel Divers : Mostefa Ben Brahim
- HBH : Unité De Matériels Oratoires : Hammam Bou Hadja

1.2.3 2009-2011

En 2009 l'EPE CMT Spa a fait l'objet d'une scission, pour donner naissance à l'Entreprise des Tracteurs Agricoles EPE ETRAG Spa destinés pour la fabrication et le développement des tracteurs agricoles et l'Entreprise Moteurs EPE EMO Spa pour la fabrication et le développement des moteurs.

1.2.4 2012-2018

L'EPE ETRAG a conclu un partenariat industriel et commercial avec AGCO (USA), leader mondial dans la fabrication du machinisme agricole par la création en date du 16 Août 2012 d'une Joint-Venture (société mixte) de droit algérien, dénommée ALGERIAN TRACTORS COMPAGNY, par abréviation ATC Spa ayant pour objet la fabrication des tracteurs agricoles de marque Massey Ferguson avec une capacité de production de 4000 tracteurs par an.

- La partie algérienne 51% dont : ETRAG 36% / PMAT 15%

- Le partenaire étranger AGCO/MF : 49%

La date de sortie du premier tracteur Massey Ferguson : 17 décembre 2012

1.2.5 2019 à nos jours

L'EPE ETRAG Spa dont les domaines d'activités sont la fabrication des tracteurs agricoles, le service après-vente et la rénovation des tracteurs, avec un processus de fabrication fortement intégré dans la fabrication des tracteurs à travers ses métiers de base ; Fonderie, Forge, Construction

Métallique, Usinage Mécanique et Traitements Thermiques maîtrisés parfaitement, rajoutant à cela son capital expérience de plus de 40 ans et son savoir-faire en la matière, dispose aujourd'hui de grandes capacités de sous-traitance par :

- La fabrication des pièces d'engrenage mécaniques sur la base de bruts de fonderie ou de forge,

- La fabrication des pièces et organes de tracteurs Massey Ferguson dans les standards de qualité d'AGCO.

- La fabrication des pièces et organes des moteurs DEUTZ.

L'EPE ETRAG fait partie du Groupe AGM, « ALGERIAN GROUP OF MECHANICS » créé le 23 février 2015 à partir de l'ex –Société de Gestion des Participations de l'État SGP EQUIPAG, qui dispose de 29 filiales dont 8 joint ventrues et qui active dans les domaines de la production et la commercialisation du machinisme et matériels agricoles, engins

de travaux publics et moyens de manutention, équipements industriels, moteurs pour matériels roulants et la sous-traitance.

AGM Spa est constitué de 22 entreprises (détenues à 100%) et 08 participations dont 06 majoritaires, elle est structurée en quatre 04 divisions :

1. Division Machinisme et Matériels Agricoles (MAG)
2. Division Engin TP et moyens de Manutention (ETPM)
3. Division Équipements Industriels (EI)
4. Division Moteurs et Sous-Traitance (MOST)

L'EPE ETRAG appartient à la Division Machinisme et Matériels Agricoles par abréviation « MAG », qui comporte trois (03) entreprises de production et trois (03) joint-ventures avec des partenaires technologues de renommée mondiale et une entreprise de commercialisation à savoir l'EPE PMAT.

1.3 Situation de l'entreprise

Etrag : Entreprise Publique Economique des Tracteurs Agricoles (EPE/ETRAG/Spa).

Date de création : 29 juin 2009 suite à la scission de l'EPE CMT.

Date de sortie du premier tracteur : 02 février 1974.

Superficie : 33 ha dont 6,2 ha couverts.

Activité : Fabrication et développement des Tracteurs Agricoles.

Capacité de production : 2 000 tracteurs/an.

1.4 Objectifs l'entreprise

- Répondre aux besoins croissants du marché national en Tracteurs Agricoles et en pièces de rechange.
- Contribuer à la mécanisation de l'agriculture nationale

1.5 Domaines d'Activité

- Fabrication et vente des tracteurs agricoles 68 CV à 100 CV de 2 et 4 WD.
- Sous-traitance dans les activités de fonderie, forge, construction métallique, usinage mécanique de précision, traitement thermique et fabrication d'outillages.
- SAV et rénovation des tracteurs [1]

1.6 Organigramme de l'EPE ETRAG :

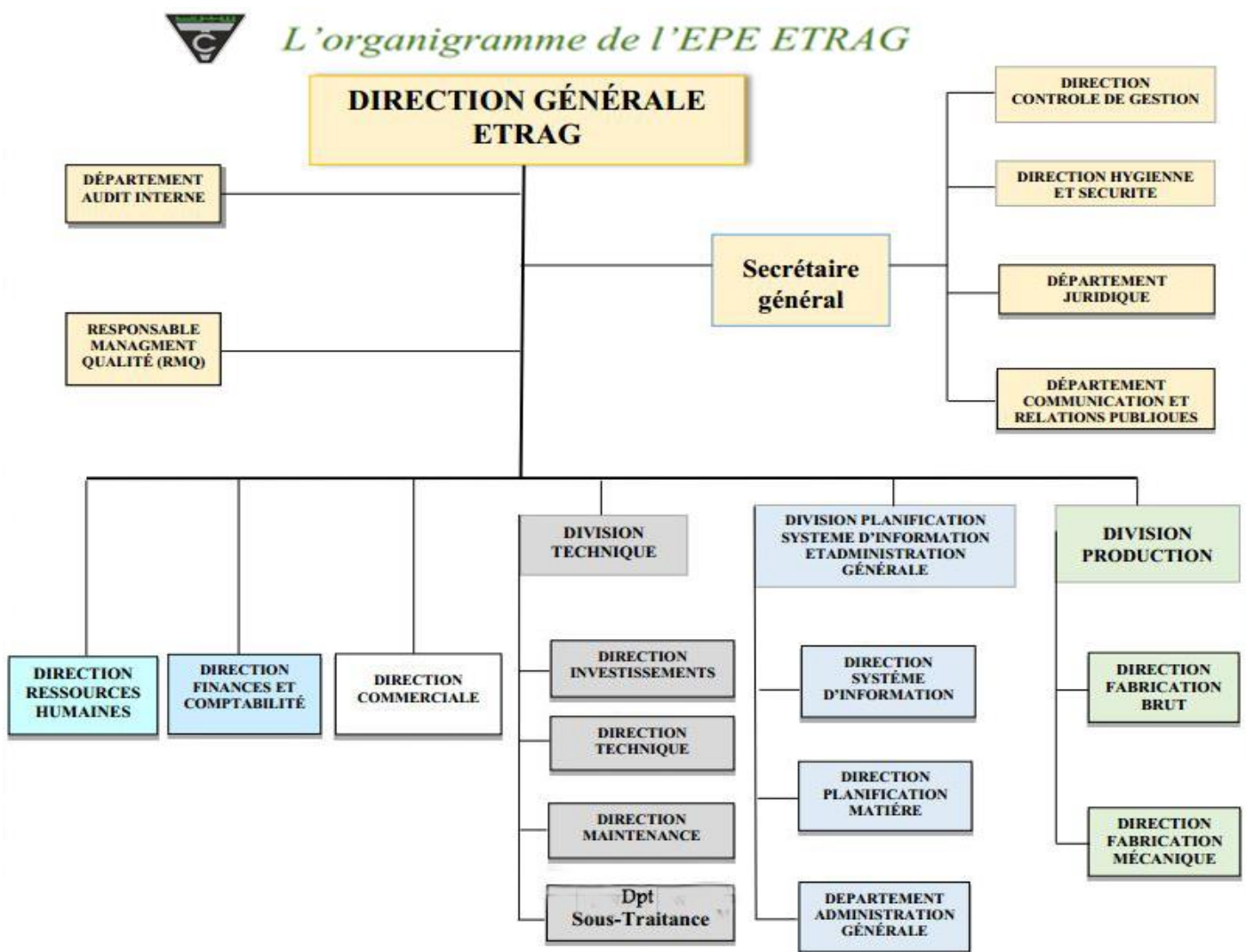


Figure 1.1 : Organigramme de l'entreprise (ETRAG)

Chapitre II

Forgeage

2 Forgeage

2.1 Introduction sur le forgeage

Dans un système de mise en forme à chaud des pièces métalliques par forgeage, la variance et la cadence des pièces à obtenir sont très contrariantes. En effet, aussi bonne est la sûreté de fonctionnement des équipements, ils présentent une spécificité dans les outillages de production. Ces derniers ont la particularité d'être soumis simultanément à des sollicitations intenses d'origine thermiques et mécaniques. Il y a très peu d'applications industrielles qui réunissent sur un même composant des conditions de travail aussi sévères. De plus pour chaque pièce à forger, Il faut concevoir, fabriquer, calibrer et aligner son outillage composé de matrices supérieure et inférieure dont lesquelles sont réalisées les empreintes de la pièce à fabriquer. Ainsi, l'outillage représente couramment 10 à 15% des coûts de fabrication des pièces et même plus quand les paramètres d'entrée de mise en forme ne sont pas respectés. Par ailleurs, la gestion de la durée de vie des outillages est un problème critique dans toutes les entreprises de forgeage à chaud, particulièrement en matriçage. Et compte tenu de l'importance des coûts des outillages, les forges sont le plus souvent dotées d'un atelier de préparation et de maintenance de ces outillages. [2]

2.2 Définition du forgeage

Le forgeage est un ensemble de techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur une pièce de métal, à froid ou à chaud, afin de la contraindre à épouser la forme voulue. Il implique un dispositif de frappe (marteau, masse, martinet ou marteau-pilon) et un support (enclume ou matrice). Il ne permet pas d'obtenir la même précision que l'usinage, mais est utilisé pour des pièces qui requièrent une forte résistance (boulonnerie, outillage).

Mais les pièces sont beaucoup plus résistantes aux contraintes mécaniques car la déformation de la matière permet d'obtenir des phénomènes physiques avantageux, tant au niveau microscopique que macroscopique.

Ce procédé permet d'obtenir, à partir d'une pièce de formes géométriques simples (souvent un lopin issu de laminage), une pièce aux formes géométriques extérieures complexes.

Pour la plupart des procédés de forgeage, le matériau de la pièce est porté à l'*état chaud*. Selon les opérations de forgeage, la température est comprise entre 650°C (afin d'éviter la création de fissures lors des déformations) et 1100°C (température inférieure à la température de fusion). [2]

2.3 Type de forgeage

Il existe plusieurs types de forgeage, dans cette étude nous utilisons le forgeage par estampage.



Figure 2.1: Exemple d'une pièce forgée

2.3.1 Forgeage libre

Le forgeage libre est la plus ancienne technique : il s'effectue à chaud soit manuellement, en frappant le métal posé sur une enclume avec un marteau ou un pilon, soit avec l'aide d'une presse hydraulique puissante. Ainsi, on obtient des ébauches ou des pièces mécaniques brutes, prêtes à être usinées, et dont la résistance est améliorée grâce au processus de forgeage. C'est une technique qui permet de produire des petites séries ou des pièces à l'unité car elle requiert peu d'outils. [2]

2.3.2 Forgeage à froid ou par extrusion

Le forgeage à froid est un procédé de déformation des métaux à froid, comme son nom l'indique. C'est la technique de forgeage la plus récente. L'extrusion à froid fait partie des procédés de forgeage à froid.

2.3.3 Forgeage par matriçage

Le forgeage par matriçage s'apparente au forgeage par estampage (chauffage puis formage), mais concerne les alliages non ferreux, comme les alliages d'aluminium, de cuivre etc.

2.3.4 Forge par laminage

La forge par laminage permet d'obtenir des couronnes rectilignes ou profilé, faites de n'importe quel matériau.

2.3.5 Forgeage par estampage

Il consiste à chauffer puis presser la pièce brute entre les matrices, qui ont un creux à la forme de la pièce voulue. Cette technique est utilisée pour la production de grandes séries, étant donné qu'il faut des outils spécifiques (matrices qui ont la forme du produit voulu par exemple). La forge par estampage est assez précise par rapport aux autres procédés. [2] [3]

2.4 Définition de l'estampage

La mise en forme de l'acier par déformation plastique à chaud est un procédé industriel d'obtention de pièces mécaniques, aussi appelé : forge par estampage. Il est utilisé aussi bien en petites qu'en moyennes et qu'en très grandes séries de pièces, dont la masse peut varier de quelques grammes à plusieurs centaines de kilogrammes. La pièce ainsi fabriquée porte le nom « d'avant-produit », ce qui la situe entre les « demi-produits » fabriqués en sidérurgie (par exemple les blooms, les barres ou les billettes) et les « produits » prêts à être montés dans un sous-ensemble ou un ensemble mécanique (par exemple une bielle dans un moteur thermique ou un pignon dans une boîte de vitesse). [4]

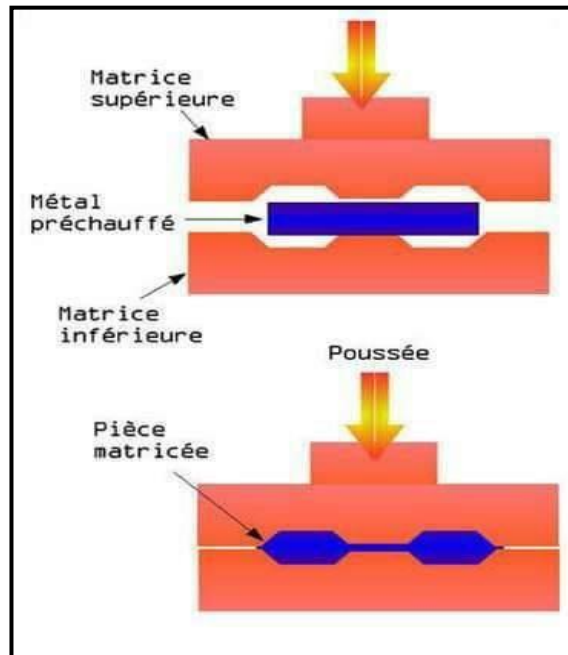


Figure 2.2 : Principe de l'estampage

L'estampage industriel consiste à déformer plastiquement les aciers (sans revenir à la forme d'origine) grâce à des outillages nommés "matrices" installés sur des presses (hydraulique, mécanique, à vis) ou des marteaux pilons. Ce procédé de forgeage à chaud peut se faire en plusieurs opérations, dont les premières sont appelées ébauches, et la dernière finition.

Les ébauches permettent de répartir le métal, partant le plus souvent d'une forme cylindrique ou parallélépipédique, jusqu'à une forme se rapprochant de la finition. La dernière ébauche présente une dimension verticale plus importante et des dimensions horizontales moins importantes de quelques millimètres au maximum par rapport à la finition, permettant un forgeage sans pertes d'énergie dû au frottement sur les parois de l'empreinte. L'ébauche présente également des angles plus arrondis que la finition. En effet, les angles sont les endroits les plus difficiles à remplir de matière en forge.

La finition termine la déformation de la matière. Le résultat comprend la pièce brute et la bavure. Cette dernière est un excédent de métal que l'on retrouve tout autour de la pièce et qui assure un bon remplissage de l'empreinte. La bavure est ensuite séparée de la pièce brute grâce à un autre procédé de forge : l'ébavurage. L'estampage est suivi par divers procédés de traitement thermique, comme le recuit, la trempe et le revenu. [4]

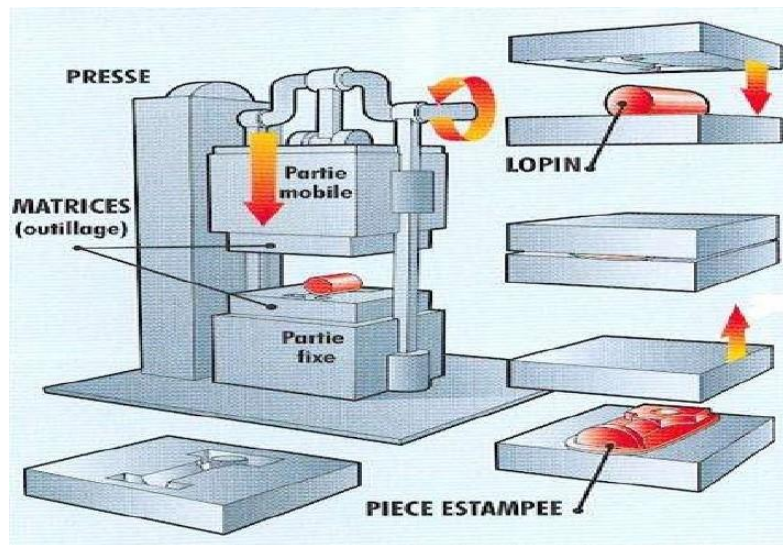


Figure 2.3: Estampage industriel

2.5 Techniques de fabrication

2.5.1 Débitage

Le volume de métal nécessaire pour faire la pièce est celui de cette dernière pièce auquel on a ajouté celui de la bavure et celui de la perte au feu. En fonction de la section du demi-produit (barres ou billettes), on calcule la longueur du lopin à obtenir. Ce dernier est généralement débité par cisailage pour les sections inférieures à celles d'un carré de 150 mm de côté et par sciage pour les sections supérieures. L'opération de cisailage consiste à rompre le demi-produit qui est placé entre 2 lames, l'une fixe, l'autre mobile, coulissant l'une devant l'autre. Dans la majorité des cas, une empreinte correspondant à la forme à cisainer est usinée dans chacune des 2 lames. Le jeu entre les lames est réglable de sorte à avoir la coupe la plus perpendiculaire possible par rapport à l'arête du lopin.

Le cisailage présente l'avantage par rapport au sciage de s'effectuer à des cadences rapides et sans perte de métal. La précision de longueur, et donc de volume du lopin, est largement suffisante pour les opérations classiques. L'état de surface de la coupe est moins bon que celui du lopin scié, mais cela n'est pas du tout nuisible à l'obtention de pièces longues ou de pièces rondes débouchées. On peut, en prenant certaines précautions de réglage du jeu, améliorer cet état de surface, sinon il faut débiter les lopins par sciage. [4] [3]

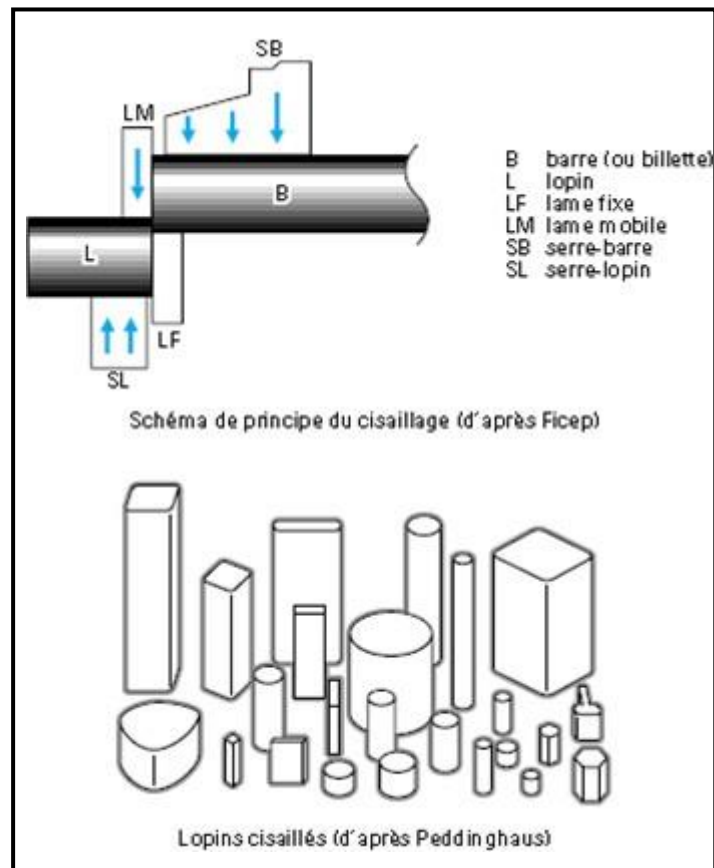


Figure 2.4 : Opération de cisailage

2.5.2 Chauffage

Afin de diminuer l'effort nécessaire à la mise en forme, il est nécessaire de chauffer. Mais au cours du chauffage, les lopins se revêtent d'une couche dure d'oxydes appelée couramment « calamine ». Après estampage, on constate que cette couche ne s'est pas comportée comme le métal de base. Elle est moins déformable. La calamine a toujours une épaisseur faible mais une structure et une morphologie complexes, [4]

Différents modes de chauffage sont utilisés

2.5.2.1 Chauffage à la flamme

Les lopins sont généralement alignés sur la sole du four. Celle-ci est fixe ou mobile, en rotation. La combustion du mélange air-gaz s'effectue dans la chambre. Une régulation automatique permet de compenser les entrées de lopins froids et les sorties de lopins chauds. Les temps de mise en route sont généralement longs : quelques heures, car le brûleur doit chauffer le four, qui lui-même doit chauffer les lopins. Les rendements énergétiques de ce type de four ont fait de très gros progrès ces dernières années, mais ils restent inférieurs à 50 %. La vitesse de chauffage est faible. [5]

2.5.2.2 Chauffage électrique

Par induction

Il consiste à induire, dans un inducteur à l'aide d'un générateur G, à la surface du métal passant dans une bobine B créant un champ magnétique alternatif, des courants qui chauffent par effet Joule la périphérie des lopins. La chaleur ainsi créée se propage vers le centre du lopin C par conduction thermique. Ce procédé permet un chauffage rapide des lopins et limite l'épaisseur de calamine formée. Les lopins traversent à une vitesse constante de l'ordre de 0,2 à 5 m/min, l'inducteur selon son axe longitudinal. Cet inducteur est alimenté par un convertisseur de fréquence, lui-même alimenté en MT/BT. Les convertisseurs de fréquence sont aujourd'hui statiques à thyristors. Ils sont refroidis par un circuit d'eau. Les fréquences utilisées pour les aciers varient selon la section des lopins : 2 000 à 10 000 Hz pour les diamètres inférieurs à 100 mm, 500 à 1 000 Hz pour les diamètres supérieurs à 100 mm. Le rendement global des chauffeuses à induction varie entre 70 et 80 % selon le couplage réalisé entre la section de l'inducteur et celle du lopin. [5] [6]

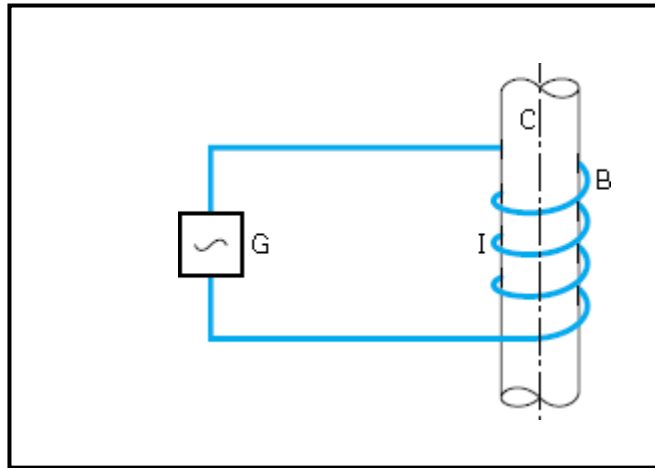


Figure 2.5 : Principe du chauffage par induction (d'après EDF)

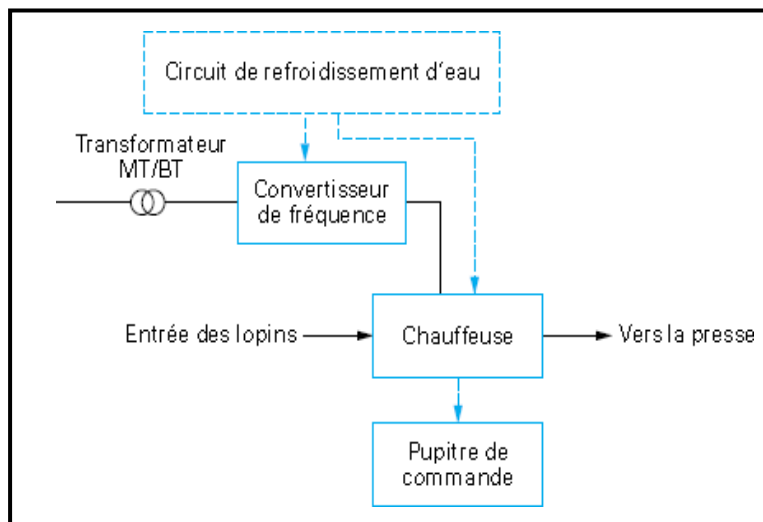


Figure 2.6 : Principe de fonctionnement d'une chauffeuse induction (d'après Edf)

2.6 Propriétés des procédés de forgeage

Les matériaux utilisés lors des procédés de forgeage ont une bonne *ductilité*. Cette caractéristique représente l'aptitude de l'alliage à se déformer de manière plastique. Dans le cas de l'estampage ou du matriçage, le forgeage est un procédé en concurrence directe avec le moulage (excepté dans le cas de pièces de formes intérieures complexes).

Les problématiques de tracé de pièces forgées sont identiques à celles des pièces moulées (plan de joint, dépouille, variation de section continue...).

Il est de plus nécessaire de prendre en compte la formation des bavures au niveau du plan de joint afin d'éviter le repli des bavures sur la pièce finale.

2.7 Avantages des procédés de forgeage

- La déformation plastique engendre une orientation des fibres du matériau, (à poids égal, une pièce forgée est plus résistante qu'une pièce moulée)
- Réduction des coûts d'usinage,
- Gain de matière.

2.8 Inconvénients des procédés de forgeage

- Géométrie des formes intérieures limitée (poinçonnage uniquement),
- La qualité des surfaces obtenues (IT10 à IT8) nécessite la plupart du temps un usinage (cas des surfaces fonctionnelles),
- Cas de forge libre : une grande qualification des ouvriers est requise pour la réalisation de pièces complexes,
- Cas de l'estampage et de l'emboutissage : la série doit être suffisante pour justifier l'investissement des outils, l'ébavurage est nécessaire en sortie de forgeage.

Chapitre III
Trempe par induction

3 Trempe par induction

Nous présentons ici brièvement les principes du chauffage par induction et de la trempe des aciers, et de son application aux traitements thermiques superficiels.

3.1 Le procédé de chauffage par induction

Le procédé de chauffage par induction s'effectue essentiellement à l'aide de générateurs à haute (supérieure à 100 kHz) ou moyenne fréquence (supérieure à 10 kHz). Il permet de développer dans la couche superficielle des pièces à traiter des densités de puissance maximales de l'ordre de 1 000 W/cm², à comparer aux 25 W/cm² d'un chauffage par rayonnement classique. Il en résulte des vitesses de montée en température relativement rapides et la possibilité d'évolutions structurales localisées.

Les caractéristiques les plus marquantes du traitement par induction sont les suivantes :

- Échauffement limité à la pièce à traiter et même à certaines parties de la pièce.
- Chauffage local de pièces de forme compliquée.
- Régularité assurée par la possibilité de régler avec précision le temps et la température. [7]

3.2 La trempe par induction

La trempe est un procédé de durcissement de l'acier qui consiste, après austénitisation de la pièce, à la refroidir rapidement pour obtenir une structure martensitique durcie. L'austénitisation est obtenue en chauffant l'acier à une température suffisante pour que sa structure initiale, composée de ferrite et perlite pour un acier hypoeutectoïque, se transforme en austénite, solution solide de carbone dans le fer γ cubique faces centrées. Au cours de la trempe, le refroidissement brutal a pour effet de piéger le carbone dans le réseau cristallin du fer, formant ainsi la martensite.

La mise en solution du carbone donnant lieu à la formation d'austénite est liée au changement de maille du réseau cristallin du fer. Au-delà d'une certaine température (912°C pour le fer pur) la maille cubique centrée du fer (CC ou fer α) laisse place à une maille cubique à faces centrées (CFC, fer γ) dans laquelle la solubilité du carbone est plus élevée. Inversement, lorsque la température redescend en dessous d'une certaine valeur, la maille CFC laisse place à une nouvelle maille dont la nature dépend des conditions de refroidissement. Si la vitesse de refroidissement est suffisante, le carbone se trouve piégé dans la maille quadratique centrée qui forme la martensite [20]. Inversement, si la vitesse de refroidissement est inférieure à une vitesse appelée vitesse critique de trempe, le fer retrouve sa maille CC et il y a formation de ferrite, perlite ou bainite. [8]

La figure ci-dessous représente schématiquement l'évolution microstructurale de l'acier et de son réseau cristallin en fonction d'un cycle thermique caractéristique de la trempe.

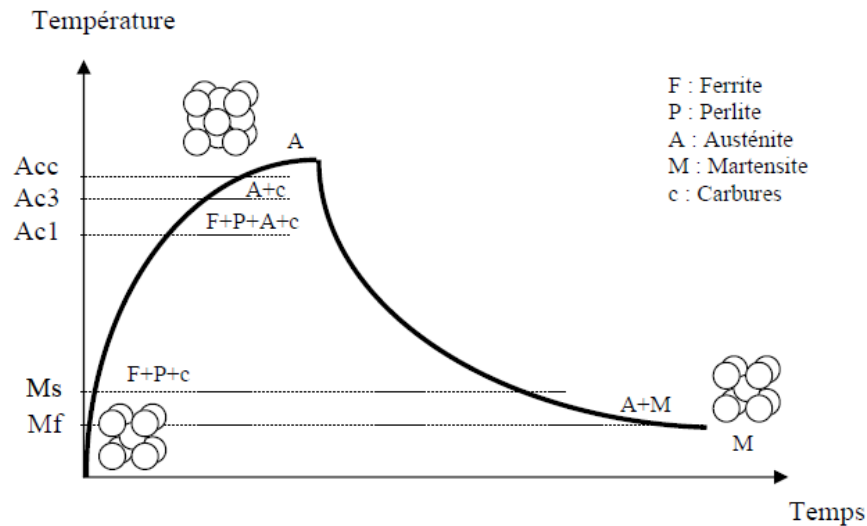


Figure 3.1 : Schéma de l'évolution microstructurale de l'acier et de son réseau cristallin en fonction d'un cycle thermique caractéristique de la trempe

Lors du chauffage, la structure initiale d'un acier hypoeutectoïque se transforme progressivement en austénite entre les températures caractéristiques de l'acier Ac1 (début de formation de l'austénite) et Ac3 (fin de formation de l'austénite). Lorsque l'acier est porté à une température comprise entre Ac3 et Acc (fin de dissolution des carbures), les derniers carbures se dissolvent. Au-delà de Acc, l'austénite s'homogénéise et la taille de ses grains augmente.

Au cours du refroidissement, lorsque la température descend en dessous de Ms (Martensite Start, début de transformation martensitique), la maille du fer devient quadratique centrée donnant lieu à la formation de martensite. Cette transformation est achevée à la température Mf (fin de transformation martensitique).

Ces différents points de transformation caractérisant le comportement métallurgique d'un acier sont représentés sous la forme de diagrammes. Ceux qui concernent le cycle de chauffage sont les diagramme TTA (Temps Température Austénitisation), tandis que les diagrammes TRC (Transformations en Refroidissement Continu) s'appliquent au cycle de refroidissement. [7]

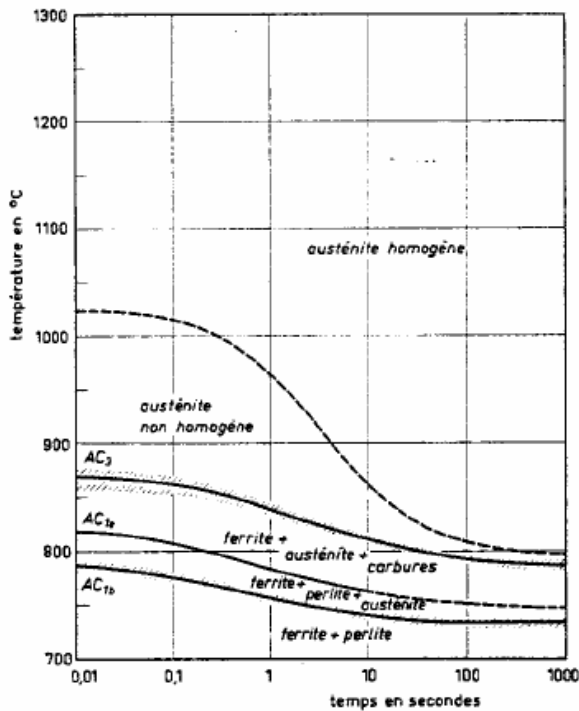


Figure 3.2 : Diagramme TTA de l'acier 42CrMo4

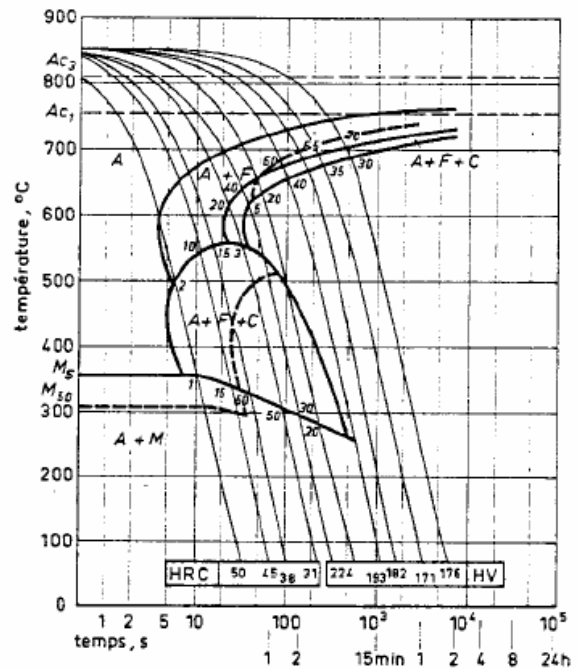


Figure 3.3: Diagramme TRC de l'acier 42CrMo4 austénitisé à 850°C pendant 30 min.

3.3 La trempe superficielle après chauffage par induction

Le chauffage par induction est une application directe des lois de Faraday, de Lentz et de l'effet Joule. La pièce à chauffer, constituée d'un corps conducteur de l'électricité, est placée dans un champ magnétique produit par un inducteur alimenté par un courant électrique sinusoïdale. Le champ magnétique variable créé par l'inducteur génère une circulation de courants électriques dans la pièce. Ces courants, appelés courants induits ou courants de Foucault, entraînent une dissipation de chaleur par effet Joule.

Cette technique de chauffage est couramment utilisée pour la trempe superficielle de pièces en aciers. Le chauffage obtenu, localisé et superficiel, permet d'austénitiser uniquement les zones de la pièce qui doivent être durcies. Le refroidissement peut ensuite être réalisé par projection ou immersion dans le liquide de refroidissement. [9] [10]

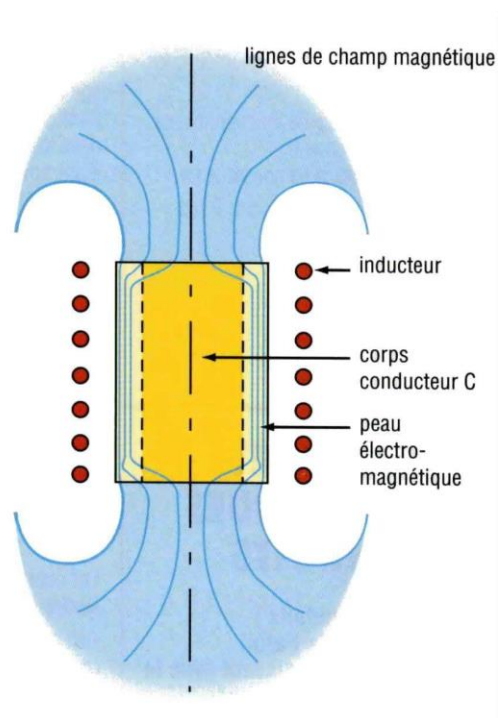


Figure 3.4 : Principe du chauffage par induction (chauffage d'un cylindre, document NOVELECT)

Le caractère superficiel de ce type de chauffage résulte de la décroissance rapide du champ magnétique et donc de la densité des courants induits de la surface vers le cœur de la pièce. C'est ce que l'on appelle le phénomène de peau électromagnétique, qui délimite la profondeur de pénétration des courants. Dans le cas d'un cylindre infiniment long et pour des valeurs de résistivité électrique et de perméabilité magnétique constantes. [7]

3.4 Avantages de la trempe par induction

La trempe par induction présente d'énormes avantages par rapport aux méthodes conventionnelles de traitement thermique de l'acier, des alliages et autres pièces métalliques. Elle est parfaitement adaptée aux métaux à teneur en carbone dépassant 0,3%, en particulier à l'acier trempé à faible teneur d'alliage (C34, C35, C60, etc.) décrit dans la norme industrielle DIN EN 100083. Les arbres, les engrenages, les armatures, les pignons et autres composants peuvent tous être trempés par induction.

3.5 Inconvénients de la trempe par induction

Mais ce processus soumet également l'équipement et l'inducteur utilisés à des contraintes élevées. En effet, les résultats de trempe idéaux présupposent une source d'énergie à commande précise et un design d'inducteur parfait. [7]

Chapitre IV

Etude de la fabrication

de la pièce

4.2 Description de la pièce

La pièce est un demi arbre de roue faite avec un acier faiblement allié 42CrMo4, d'une longueur totale de 202mm, avec deux coté distinct, un coté flasque de 256mm de diamètre avec huit perçages de 17.55mm, et un coté avec un arbre de 147.9mm dont une partie canneler sur 72.5mm, la partie canneler comporte 21 dents de 7.16mm de surépaisseur, la pièce subit une trempe par induction d'une profondeur allant de 4.8 à 7.9 mm sur tout le long de l'arbre.

4.3 Fiche technique de la matière de la pièce (42CrMo4)

4.3.1 Normalisation

-AISI → 4140

-DIN → 1.7225

-AFNOR → 42 Cr Mo 4

4.3.2 Caractéristiques

Acier faiblement allié, magnétique, issu de la technologie "master-batch" et préparé à partir d'une poudre "fer-carbonyl" ayant une granulométrie maximale de 6 µm. Cette matière est spécialement conçue pour le traitement thermique. Elle est recommandée pour les applications demandant de très bonnes résistances mécaniques et ténacités telles que l'armement, l'outillage ou les pièces de machines.

4.3.3 Composition chimique du 42 Cr Mo 4 [Alliance-MIMAlliance-mim.com]

%C(1)	0,32-0,42
%Cr(1)	0,9-1,20
%Mo(1)	0,15-0,30
%Ni(1)	< 0,01
%Cu(1)	< 0,01
%Si(1)	< 0,1
%S(1)	< 0,005
%P(1)	< 0,01
%V(1)	< 0,01
%Fe	Compl.

Tableau 1 : Composition chimique du 42CrMo4

Analyse obtenue par spectrométrie d'émission étincelle.

4.3.4 Caractéristiques sans traitement thermique

4.3.4.1 Microstructure

Structure ferrite + perlite homogène

Taille de grain indice 6 ($\approx 78 \mu\text{m}$) (2)

Micrographie avec grossissement X 200

(2) Selon NF A 04-102

4.3.4.2 Propriétés mécaniques

Traction (3) : $R_m \geq 500 \text{ MPa}$

$R_{p0,2} \geq 250 \text{ MPa}$

$A\% \geq 20 \%$

Dureté : 140 HV10

Rugosité (4) : $R_a < 1 \mu\text{m}$

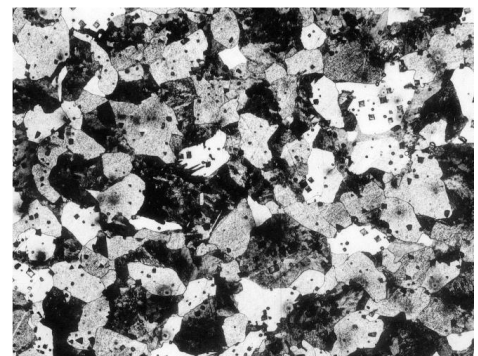


Figure 4.2 : Sans traitement thermique

4.3.5 Caractéristiques avec trempe et revenu

4.3.5.1 Microstructure

Structure martensitique homogène

Taille de grain indice 6 ($\approx 80 \mu\text{m}$) (2)

Micrographie avec grossissement X 200

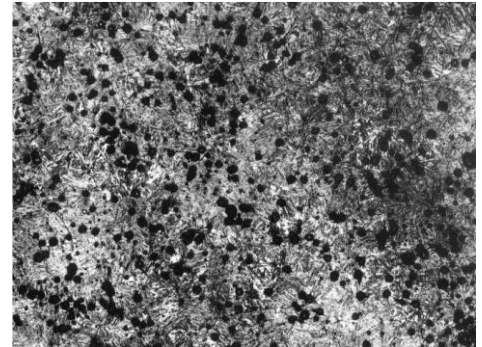


Figure 4.3 : Avec trempe et revenu

4.3.5.2 Propriétés mécaniques

Traction (3) : $R_m \geq 1650 \text{ MPa}$

$R_{p0,2} \geq 1150 \text{ MPa}$

$A\% \geq 5 \%$

Dureté : 490 HV10 ou 45 HRC

Rugosité (4) : $R_a < 1 \mu\text{m}$

(3) Eprouvettes non normalisées

(4) Hors zone d'injection

4.3.5.3 Propriétés physico-chimiques

Densité minimale : 7,4

Non résistant à la corrosion [11]

4.4 Forgeage : obtention du brute

4.4.1 La gamme de production du brute

- 1- Calcule du bout de lopin nécessaire pour la pièce
- 2- Un débitage du lopin aux dimensions requises (Scier un bout de $\text{Ø}195 \times 120 \text{mm}$)
- 3- Chauffer à une température de 1200C° pendant 30min
- 4- Positionner la pièce sur la gravure d'ébauche et donne 3 coups, pour obtenir une préforme
- 5- La finition sur la matrice de finition à l'aide d'un marteau de 20t
- 6- Passage par une presse d'ébavurage, pour enlever les bavures
- 7- Traitement thermique du brute (recuit isotherme)
- 8- Revenu
- 9- Nettoyage à la grenaille

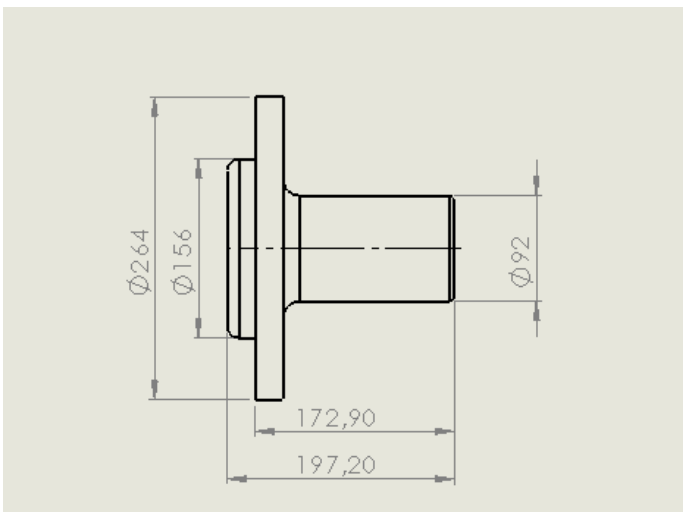


Figure 4.4 : Dimensions finale de la pièce estampée (brute)



Figure 4.5 : Forme réel de la pièce estampée (brute)

4.4.2 Analyse de la gamme de fabrication

L'analyse de la gamme de production consiste à suivre la production depuis le débitage jusqu'au grenailage. Plusieurs points ont été soulevés :

- 1- Une fournée comporte 10 lopins à chauffer pendant 30 minutes à 1200 °C
- 2- Le défournement se fait à la main en utilisant une pince et une perche
- 3- La préforme se fait sur un coin du bloc inférieur porte insert (le bloc porte l'empreinte cylindrique du lopin)
- 4- Souvent, l'estampeur est tenu de régler la pièce pour ramener l'ébauche au centre de l'empreinte.
- 5- Entre 2 pièces l'insert inférieur est nettoyé.
- 6- La poussière de calamine est très présente et s'infiltré partout (particulièrement au niveau des glissières)
- 7- La calamine qui reste collée sur l'outil supérieur risque d'endommager l'outil
- 8- Le déchargement du lopin se fait avec les mêmes moyens (pince et perche) ; il est lâché dans une gouttière pour le présenter devant la presse pour exécuter l'ébavurage et le poinçonnage
- 9- La pièce estampée étant chaude est saisie par une pince et chargée sur l'outil d'ébavurage
- 10- L'ébavurage se fait d'une manière souple sous pression
- 11- La pièce finie est déchargée dans un bac à lot de pièces.
- 12- Les pièces sont amenées dans un four pour subir une trempe à l'huile à une température de 850°C et un maintien de 3H30
- 13- Une fois les pièces refroidies, elles sont transférées vers la station de grenailage pour les nettoyer de la calamine.

4.5 Usinage de la pièce

4.5.1 Mise en longueur et centrage des deux côtés

- Technologie : tournage
- 1) Placer pièce sur un mandrin a 3 mors et serrer
- 2) Surfacier coté de droite avec une plaquette de coupe de type SPGH carré à une fréquence de rotation $N= 900\text{tr/min}$ et une profondeur de passe $a= 0.3\text{mm}$, en respectant la longueur $L=193.8\pm 0.3$ et la longueur $L1=145.9$
- 3) Center avec une pointe à griffe et avec un outil de coupe conique
- 4) Mesurer avec un pied à coulisse 1/10
- 5) Desserrer et enlever la pièce
- 6) Tourner pièce
- 7) Center avec une pointe à griffe et avec un outil de coupe conique
- 8) Desserrer et enlever la pièce

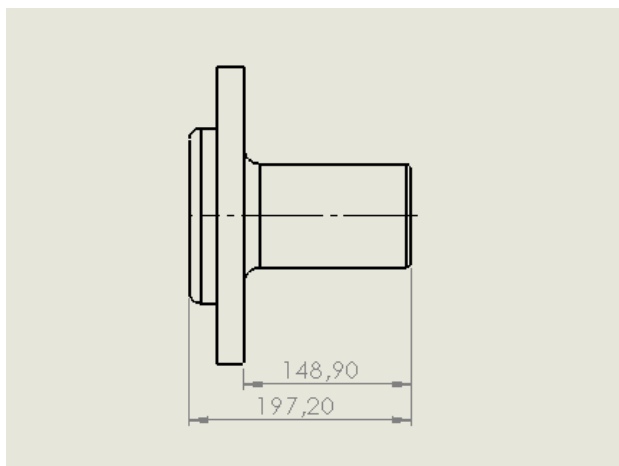


Figure 4.6 : Dimensions de la pièce avant la gamme 1

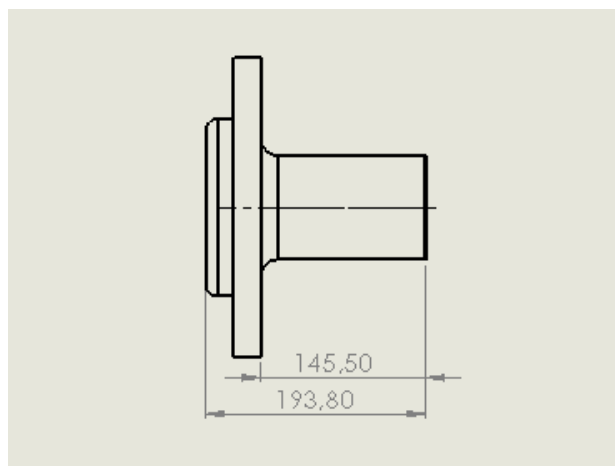


Figure 4.7 : Dimensions de la pièce après la gamme 1

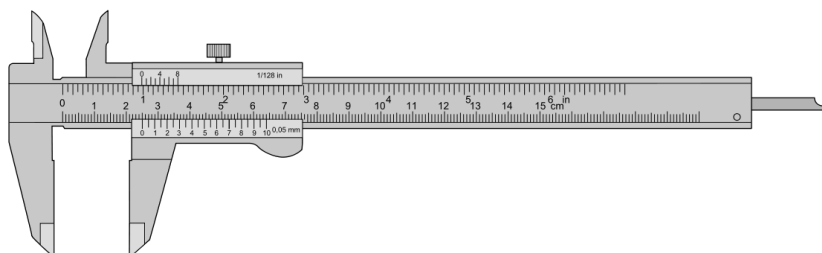


Figure 4.8 : Pied à coulisse de 0.02 de précision

- **Données ETRAG**

- Temps auxiliaire : 2.95min
- Temps d'usinage : 14min

- **Données Sandvik**

- Porte plaquette : DSSNR 2525M 15
- Plaquette : SNMG 15 06 16-PR 4325
- Temps d'usinage : 6.2min

-SNMG : plaquette en carbure de forme carrée, recommandé pour les aciers inoxydables

- Le site Sandvik nous conseil d'utiliser d'autres outil pour ce genres d'opération avec ce type de matériau, pour gagner plus de temps.

4.5.2 Tourner premier serrage coté droite en ébauche

- Technologie tournage

- 1) Placer la pièce entre la pointe a griffes et contre pointe tournante et serrer
- 2) Ebaucher en sept (07) passes avec une surépaisseur de 1.5mm
(\emptyset conique) $\emptyset 78/\emptyset 92$ au $\emptyset 78$ et $\emptyset 84 \pm 0.5$ en utilisant une porte plaquette à charioter et une plaquette de coupe KNUX, a une fréquence de rotation $N=710\text{tr/min}$ et une profondeur de passe $a=0.15\text{mm}$; en respectant les longueurs $L=119 \pm 0.5$ et la longueur $L1=14 \pm 0.5$
- 3) Contrôler avec un calibre a mâchoire double
- 4) Contrôler, desserrer et enlever.

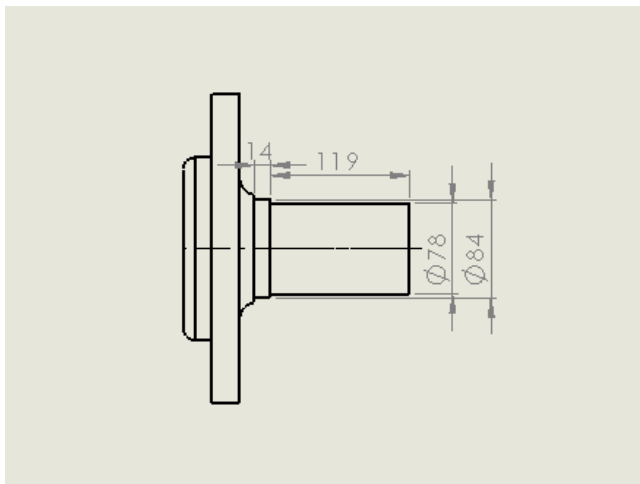


Figure 4.10 : Dimensions de la pièce avant la gamme 2

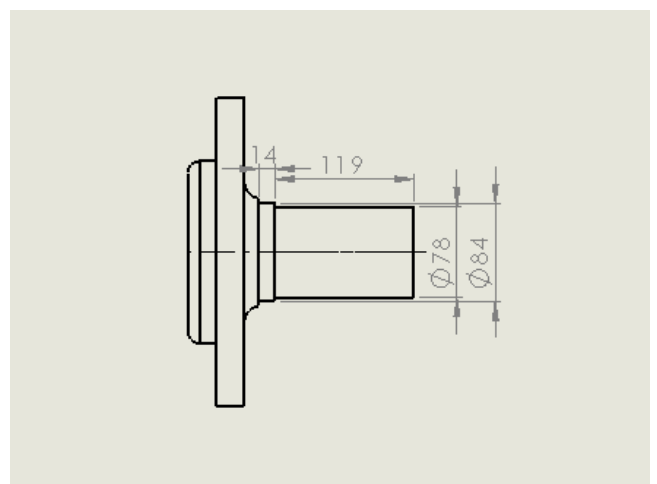


Figure 4.9 : Dimensions de la pièce après la gamme 2



Figure 4.11 : Calibre a mâchoire double

- **Données ETRAG**

- Temps auxiliaire : 3.9min
- Temps d'usinage : 6.1min

- **Données Sandvik**

- Porte plaquette : DSSNR 2525M 15
- Plaquette : SNMG 15 06 16-PR 4325
- Temps d'usinage : 2min

-KNUX : plaquette en carbure avec deux arêtes de coupe, arête vive générant des forces de coupe réduites, recommandé pour les aciers inoxydables

- Encore une fois le site Sandvik nous conseil d'utiliser d'autres outil pour ce genres d'opération avec ce type de matériau, pour gagner plus de temps.

4.5.3 Tourner deuxième serrage côté gauche

- Technologie : tournage

- 1) Placer la pièce entre pointe à griffe et pointe tournante et serrer
- 2) En utilisant un porte plaquette à charioter gauche, et une plaquette de coupe CNMG carre, ébaucher la face $\text{Ø}264 / \text{Ø}156$; tourner $\text{Ø}264$ jusqu'à $\text{Ø}257.3$; tourner $\text{Ø}156$ jusqu'à 153 , avec une vitesse de coupe $V_c=140\text{m/min}$ et une profondeur de passe $a=0.3\text{mm}$
- 3) Avec les mêmes outils de la phase 1, finir de tourner $\text{Ø}257.3$ jusqu'à $\text{Ø}256.15\pm 0.15$; $\text{Ø}153$ jusqu'à 152.1 ± 0.1 avec une vitesse de coupe $V_c=160\text{m/min}$ et une profondeur de passe $a=0.25\text{mm}$
- 4) Contrôler, desserrer, enlever.

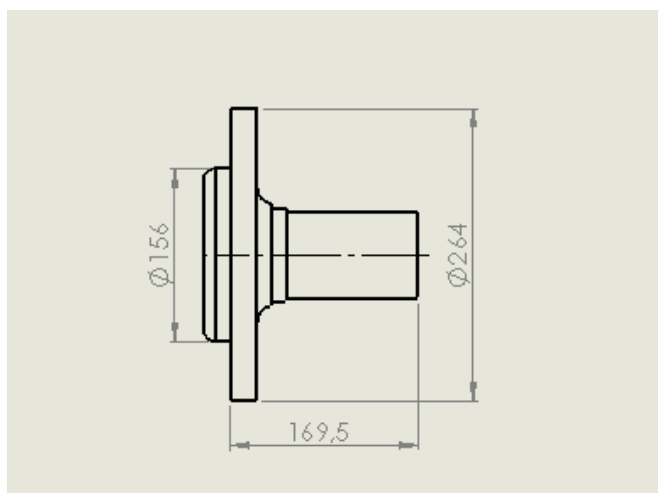


Figure 4.13 : Dimensions de la pièce avant la gamme 3

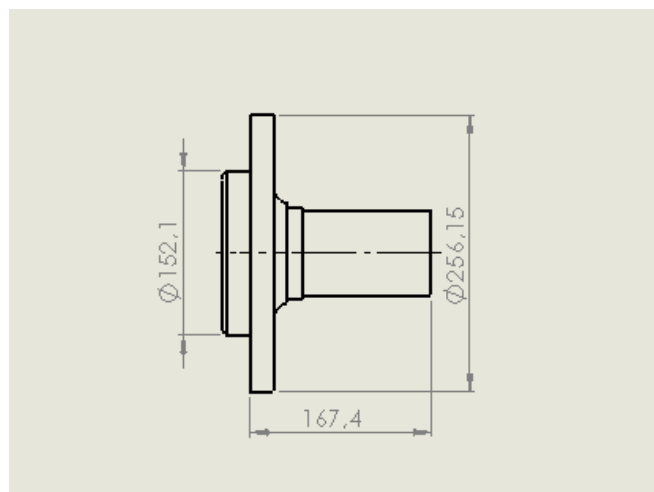


Figure 4.14 : Dimensions de la pièce après la gamme 3

- **Données ETRAG**

- Temps auxiliaire : 3.1min
- Temps d'usinage : 10min

- **Données sandvik**

- Porte plaquette : DSSNR 2525M 15 et DSDNN 2020K 12
- Plaquette : SNMG 15 06 16-PR 4325 et SNMG 12 04 16-PR 4335
- Temps d'usinage : 5.3min

N° phase	Temps réel	Temps Sandvik
2	7.3 min	4.1 min
3	2.5 min	1.2 min

Tableau 2 : Temps réel et temps Sandvik de la gamme 3

4.5.4 Tourner troisième serrage côté droit en finition

- Technologie : tournage

- 1) Placer pièce sur un mandrin $\varnothing 250\text{mm}$ a 3 mors doux et contre une pointe tournante
- 2) Régler la machine sur le programme de la pièce %022414P3
- 3) En utilisant un porte plaquette droite 95° et une plaquette de coupe CNMG, ébaucher la face d'assiette a une vitesse de coupe $V_c=140\text{m/min}$ et une profondeur de passe $a=0.25$, en respectant $L=147.9\text{mm}$, contrôler avec pied à coulisse 1/20 750mm
- 4) En utilisant un porte plaquette à charioter et une plaquette de coupe KNUX ébaucher les diamètres ($\varnothing 80.95$; $\varnothing 73.14$; $\varnothing 73.6$; $\varnothing 72.78$) avec une vitesse de coupe $V_c=140\text{m/min}$ et une profondeur de passe $a=0.3$
- 5) En utilisant un porte plaquette de copiage et une plaquette de coupe CKJNR, finir la face d'assiette avec une vitesse de coupe $V_c=180\text{m/min}$ et une profondeur de passe $a=0.25$, et finir les diamètres ($\varnothing 72.69\pm 0.1$; $\varnothing 73.1\pm 0.025$; $\varnothing 72.288\pm 0.025$; $\varnothing 80.45$) en respectant les longueurs $L_1=141.9\text{mm}$; $L_2=121\pm 0.25\text{mm}$; $L_3=119.43\pm 0.76\text{mm}$) contrôler avec un micromètre 50-75mm
- 6) Avec les mêmes outils tourner la gorge extérieure jusqu'à $\varnothing 98.32\pm 0.12$ avec une vitesse de coupe $V_c=160\text{m/min}$ et une profondeur de passe $a=0.08\text{mm}$
- 7) Desserrer, nettoyer et contrôler

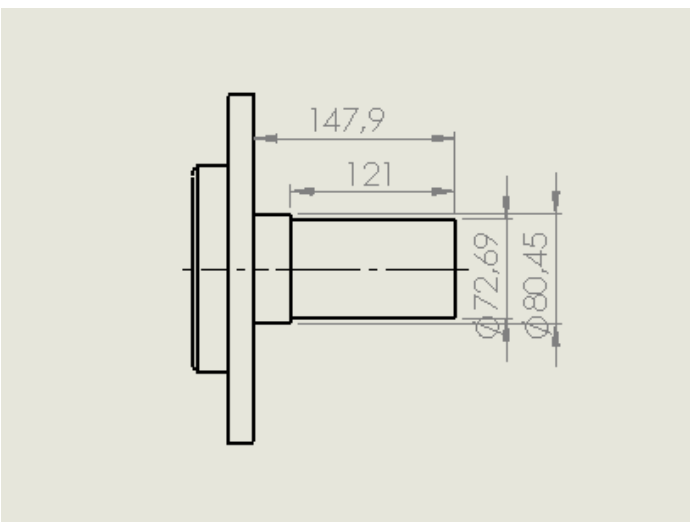


Figure 4.13 : Dimensions de la pièce avant la gamme 4

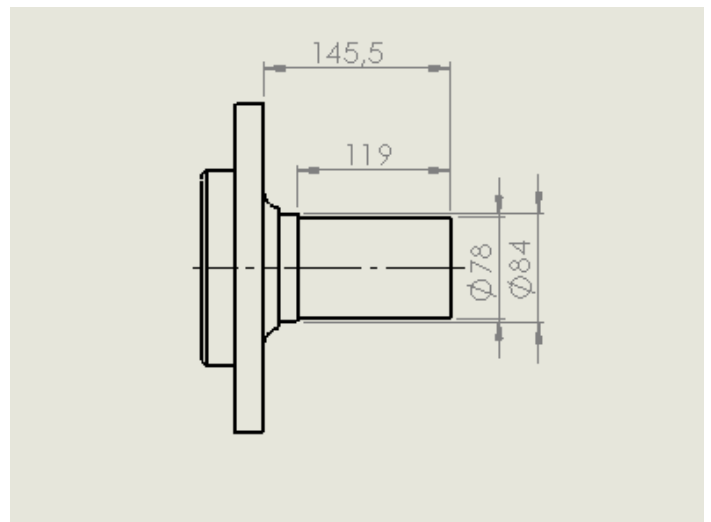


Figure 4.12 : Dimensions de la pièce après la gamme 4



Figure 4.14 : Micromètre à 0.01 mm de précision

- **Données ETRAG**

- Temps auxiliaire :2.5min
- Temps d'usinage :16.5

- **Données sandvik**

- Porte plaquette :
- Plaquette :
- Temps d'usinage : 10.8min

N° phase	Temps réel	Temps Sandvik
3	7.43 min	5.2 min
4	5.8 min	6.5 min
5	3.26 min	2.1 min

Tableau 3 : Temps réel et temps Sandvik de la gamme 3

- Une fois encore le temps d'usinage du site Sandvik sont inferieur ceux de de l'entreprise ETRAG, les outils utiliser ne sont pas adéquat.

4.5.5 Fraiser profile canneler en taillage

- Technologie : taillage
- 1) Charger le programme %022414P3
- 2) Placer pièce dans le dispositif
- 3) Lancer le programme %022414P3
- 4) Desserrer, nettoyer et contrôler la pièce

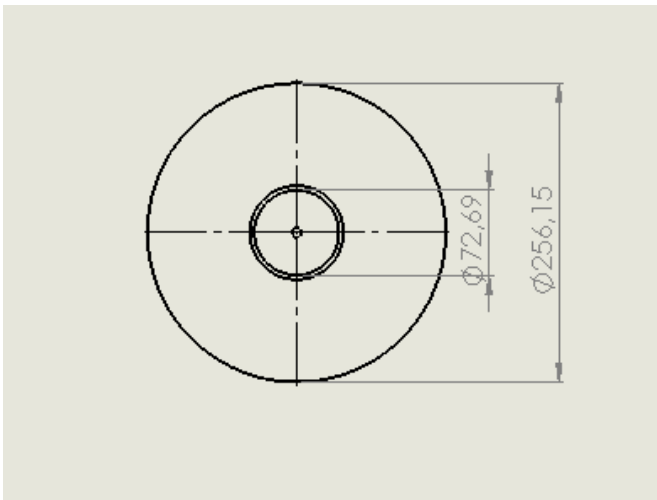


Figure 4.15 : dimensions de la pièce avant la gamme 5

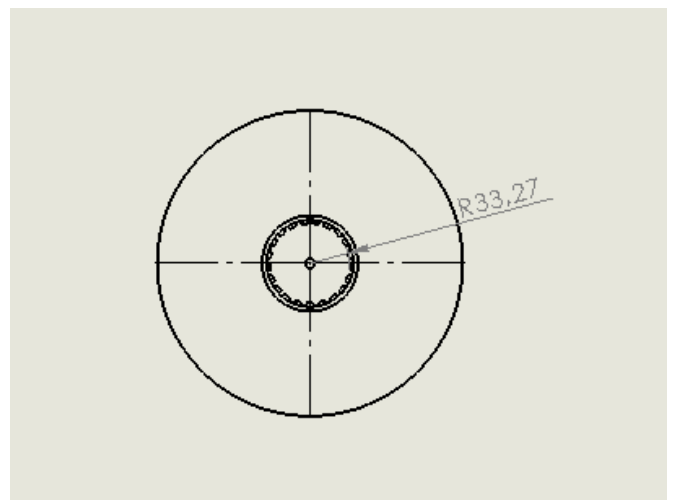


Figure 4.16 : dimensions de la pièce après la gamme 5

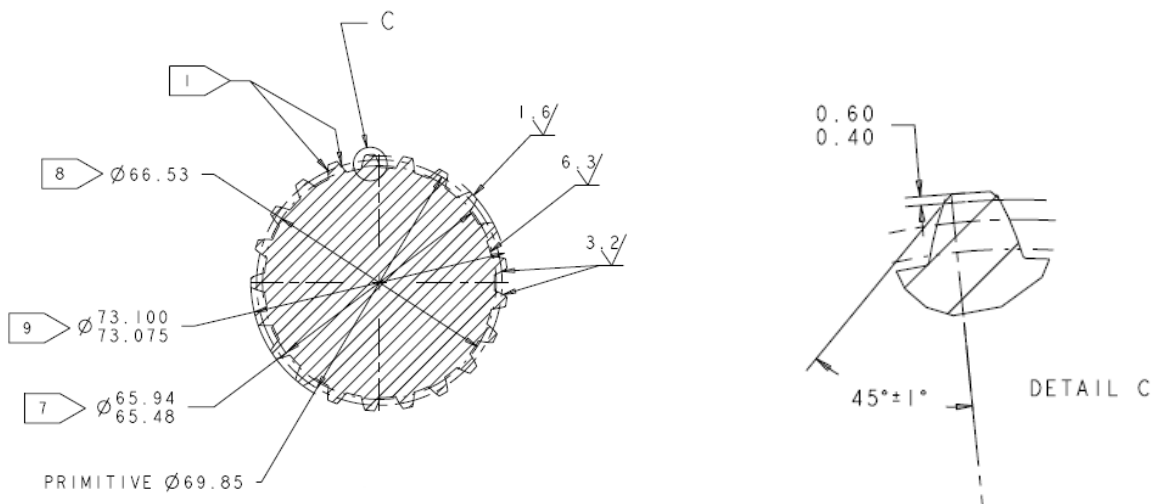


Figure 4.17 : Détails du profil cannelé



Figure 4.18 : Outil de Taillage d'engrenages

4.5.6 Percer et aléser et chanfreiner

- Technologie : perçage

- 1) Placer et positionner la pièce dans un mandrin latéral et une pointe à center
- 2) Régler la machine suivant le programme %022414P3
- 3) Center 8x $\text{Ø}17.55$ jusqu'à $\text{Ø}17.48$ à une fréquence de rotation $N=413.8\text{tr/min}$ et une profondeur de passe $a=70.3\text{mm}$
- 4) Percer 8x $\text{Ø}17$ avec un foret cylindrique $\text{Ø}17\text{mm}$ a une fréquence de rotation $N=468\text{tr/min}$ et une profondeur de passe $a=93.9\text{mm}$
- 5) Percer 8x $\text{Ø}17.3$ avec un foret à queue conique $\text{Ø}17\text{mm}$ a une fréquence de rotation $N=182\text{tr/min}$ et une profondeur de passe $a=40\text{mm}$
- 6) Chanfreiner 8x $\text{Ø}17.3$ avec un foret à queue conique $\text{Ø}24.5\text{mm}$ a une fréquence de rotation $N=195\text{tr/min}$ et une profondeur de passe 167mm
- 7) Aléser 8x $\text{Ø}18$ [$17.807-17.85$] avec un alésoir machine CNL droite $\text{Ø}18\text{mm}$ a une fréquence de rotation $N=273\text{tr/min}$ et une profondeur de passe $a=183\text{mm}$
- 8) Fraiser 1x $\text{Ø}45$ avec une plaquette de coupe de fraisage, a la fréquence de rotation $N=2387\text{tr/min}$ et une profondeur de passe $a=716\text{mm}$
- 9) Contrôler avec un pied a coulisse
- 10) Desserrer et nettoyer

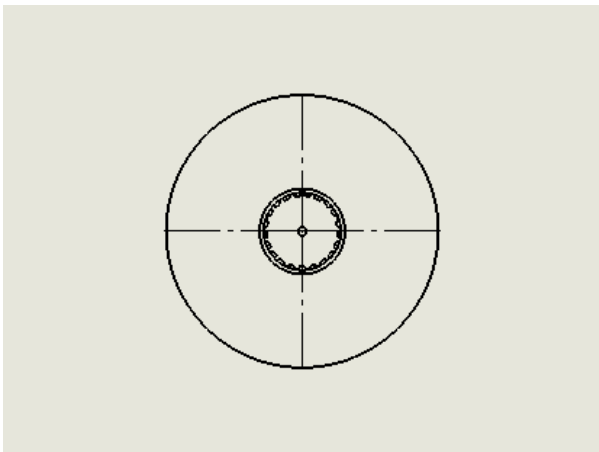


Figure 4.19 : Dimensions de la pièce avant la gamme 6

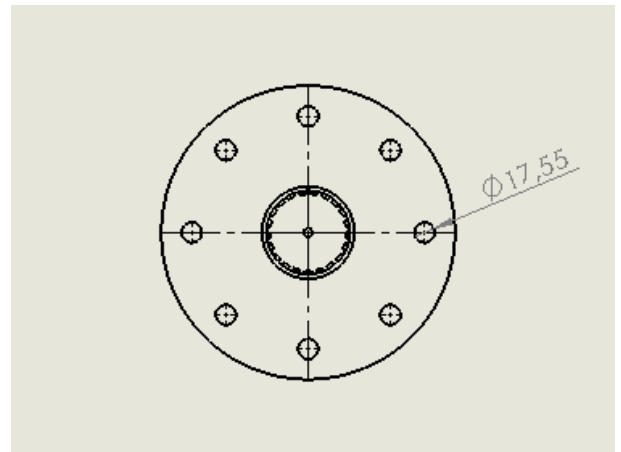


Figure 4.20 : Dimensions de la pièce après la gamme 6

- **Données ETRAG**
 - Temps auxiliaire : 3.5min
 - Temps d'usinage : 11.7
- **Données sandvik**
 - Porte plaquette :
 - Plaquette :
 - Temps d'usinage : 6.5min

N° phase	Temps réel	Temps Sandvik
3	1.1 min	0.7 min
4	2.5 min	1.3 min
5	2.1 min	1.2 min
6	0.5 min	0.2 min
7	3 min	2.1 min
8	2.5 min	0.5 min

Tableau 4 : Temps réel et temps Sandvik de la gamme 6

4.5.7 Trempe par induction + revenu

- 1) Inspection visuelle
- 2) Equipez la machine de trempe dans la place de travail N°20512 :
 - Dispositif de fixation
 - Contre pointe bas et haut
 - Inducteur H3242
 - Temps de chauffage 1.5min
 - Temps de refroidissement 3.5min
 - Température 830°C
- 3) Réglage du convertisseur :
 - Puissance P1 et P2
 - Voltage 85%
 - Condensateur C1 et C2
- 4) Essai de trempe
 - Serrer la pièce entre pointes
 - Tremper la pièce
- 5) Contrôler dans la place de travail N°33317
 - Dureté superficielle 55 à 60 HRC
 - Mesurer profondeur de trempe d'après l'image de trempe, de 4.8mm à 7.9mm
- 6) Revenu
 - Chauffage à 180°C
 - Maintien 2H
- 7) Contrôle



Figure 4.21 : Machine de trempe par induction



Figure 4.22 : Pièce placée dans la machine à induction

4.5.7.1 Résultats du traitement thermique

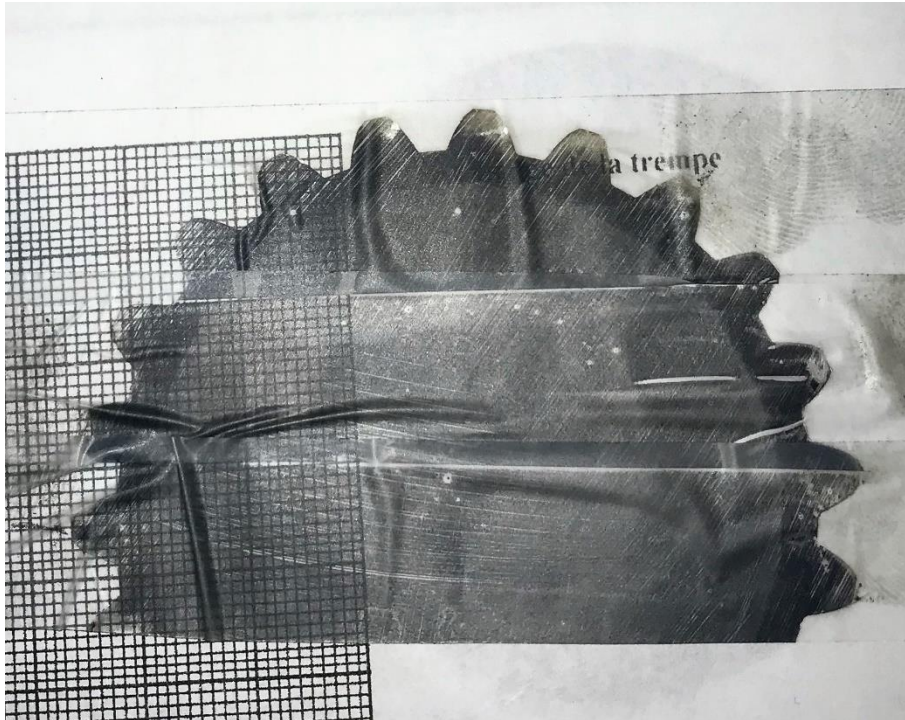


Figure 4.23 : Courbe de la trempe

- Dureté superficielle doit être de : 55 à 60 HRC/HV
- Profondeur de la trempe doit être : 4.8 à 7.9 mm

4.5.8 Rectification des différents diamètres

- Technologie : tournage
- 1) Serrer pièce dans un mandrin $\text{\O}250$ et avec une pointe tournante
- 2) Régler la machine sur le programme de la pièce %022414P3
- 3) Rectifier les deux diamètres \O (73.075 - 73.100)
- 4) Contrôler et desserrer

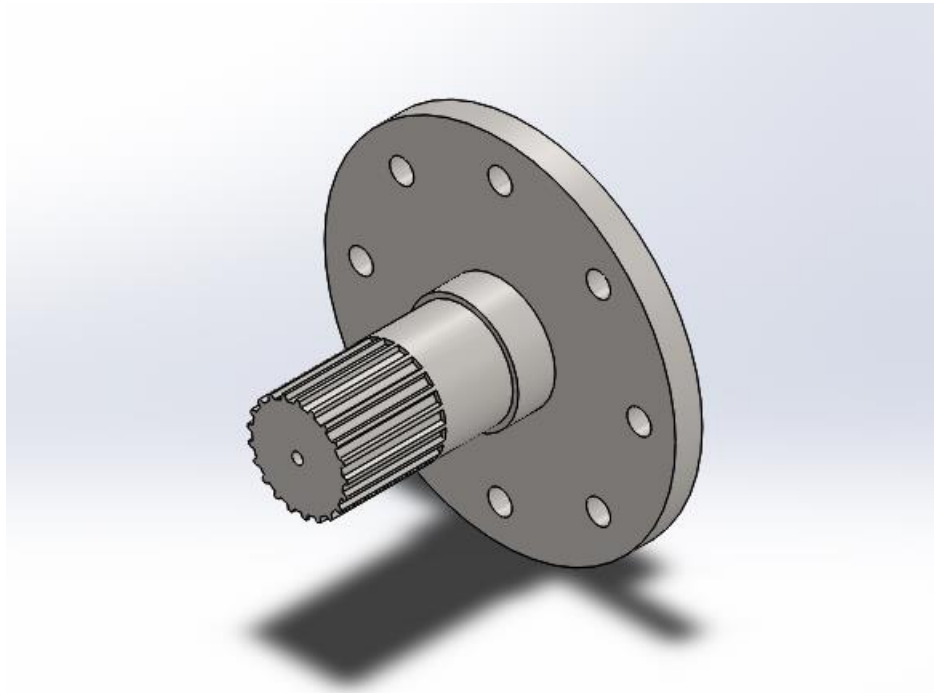


Figure 4.24 : forme finale de la pièce

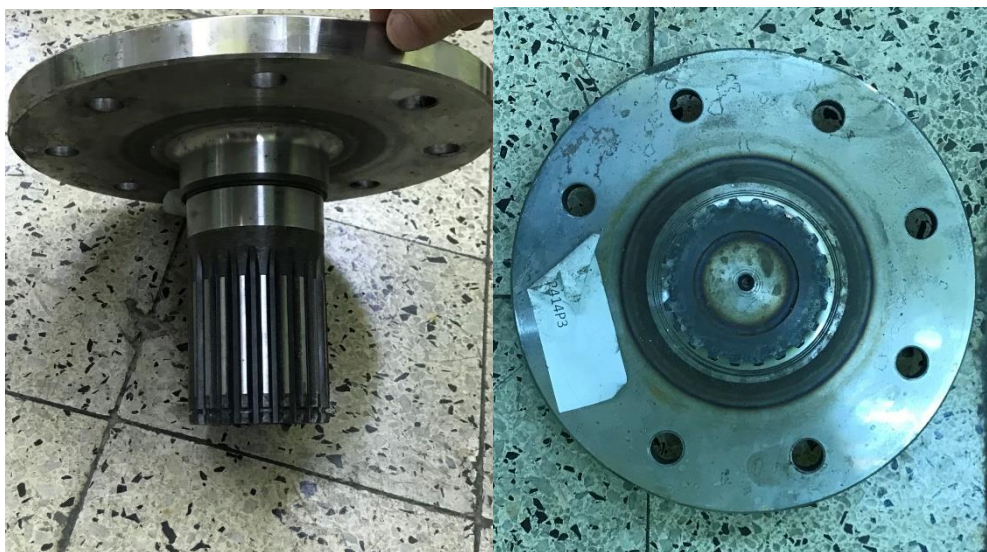


Figure 4.25 : Forme finale réel de la pièce

4.6 Temps d'usinage ETRAG et temps Sandvik

N° de la gamme	N° de la phase	Temps réel	Temps Sandvik
1	2	14 min	6.2 min
2	2	6.1 min	2 min
3	2	7.5 min	4.1 min
	3	2.5 min	1.2 min
4	3	7.43 min	5.2 min
	4	5.8 min	3.5 min
	5	3.26 min	2.1 min
6	3	1.1 min	0.7 min
	4	2.5 min	1.3 min
	5	2.1 min	1.2 min
	6	0.5 min	0.2 min
	7	3 min	2.1 min
	8	2.5 min	0.5 min

Tableau 5 : Comparaison entre temps réel et temps Sandvik

Conclusion

Dans un premier temps, mon stage au sein de l'entreprise ETRAG, m'a permis de suivre et décrire les procédés de fabrication du demi arbre de roue 022414P3, ceci m'a aidé à comprendre les différents cycles par lesquels passe la pièce, et les différentes gammes d'usinage qu'elle subit.

Ensuite, j'ai cherché à analyser les différents outils de coupe et les conditions dans lesquelles ils sont utilisés en m'appuyant sur les résultats fournis par l'entreprise ETRAG, tel que : le temps d'équipement et de mise en place et le temps d'usinage de chaque gamme, en les comparant avec des résultats dit « optimal » du site <https://www.sandvik.coromant.com/>, ce site propose les meilleures conditions de coupes en se basant sur nos propres moyens (matériaux, outils, machines...)

J'ai remarqué que pour tout ce qui est outils de coupe, condition de coupe, et temps d'usinage, l'entreprise n'utilisait pas à cent pour cent de ces capacités, les vitesses de coupes et les profondeurs de passe sont largement inférieures aux normes indiquées par le site <https://www.sandvik.coromant.com/>, et les outils utilisés ne sont pas les plus recommandés pour usiner ce matériau, mais j'ai aussi remarqué qu'ils perdaient un temps considérable pendant et entre chaque phase dans plusieurs gammes d'usinage, vu les moyens que l'entreprise possède, et cela en usinant manuellement à l'aide du pupitre de commande principal, ou même en tournant manuellement la pièce entre chaque phase.

Donc l'idée que je propose à l'entreprise ETRAG, c'est de changer l'outillage de coupe utilisé dans les différentes gammes d'usinage et l'utiliser dans les conditions adéquates, pour un gain énorme de temps et économiser l'achat excessif d'outil qui ne durent pas, et d'utiliser aussi des logiciels de FAO tel que (RhinoCAM, MasterCAM, CAMworks...) pour pouvoir réaliser un programme G-CODE de toutes les phases d'une gamme d'usinage, et tout usiner en une fois sans perdre de temps, vu que toutes les machines utilisées dans l'entreprise sont à commande numérique.

Bibliographie

- [1] <http://www.etrage.dz/>.
- [2] M. SCHRYVE, «obtention de pièces par forgeage,» Lycée Vauvenargues PTSI , 2006.
- [3] <https://www.Larousse.fr>.
- [4] M. GAUCHERON, Mise en forme de l'acier par estampage, Techniques de l'ingénieur M3200, 2007.
- [5] G. DEVELEY, Chauffage par induction électromagnétique :technologie, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique,D5 936, 2000.
- [6] E. E. e. G. d. France.
- [7] P. BRISTIEL, MODELISATION MAGNETOTHERMIQUE, METALLURGIQUE ET MECANIQUEDE LA TREMPE SUPERFICIELLE APRES CHAUFFAGE PAR INDUCTIONAPPLIQUEE AUX VILEBREQUINS, paris, 2001.
- [8] C. L. MAGEE, Transformation kinetics, microplasticity and aging of martensite in Fe-31 Ni, Pittsburgh (USA),: PhD Thesis, Carnegie Institute of Technology, 1966.
- [9] Les applications innovantes de l'induction dans l'industrie, Documentation Novelect, 1992.
- [10] O. LONGEOT, «Analyse des phénomènes électriques, magnétiques, thermiques et métallurgiques lors de la trempe,» Thèse de doctorat, ENSAM CER de Bordeaux, 1986.
- [11] Alliance-MIM Alliance-mim.com.