

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



UNIVERSITE LAGHROUR ABBES KHENCHELA
FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER (LMD)

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Génie Mécanique Productive
(GMp)

Thème

**ETUDE, CONCEPTION ET REALISATION D'UNE
BROCHE CYLINDRIQUE INCORPOREE DANS LA
FABRICATION MECANIQUE.**

Réalisé par :

- Guerrrab Souheila
- Mebarki Mounir

Dirigé par : Dr. Ghelani.Laala

Membres de jury :

- Mr. Abboudi Abdelaziz / Président.
- Mr. Touati Sofiane / Examineur.

2020-2021

Dédicace

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ
"رَبِّ اَوْزَعْنِي اَنْ اَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي اَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدِي وَاَنْ اَعْمَلَ صَالِحًا
تَرْضَاهُ"

*Je dédie ce travail à ma très chère mère et cher père qui mesoutiennent et qui
m'encouragent depuis toujours.*

À mes frères qui ont été toujours présents pour me soutenir.

À mes nièces Soudjoud, Amira et Massilia.

À ma grande famille, chacun à son nom.

À tous mes amies et amis.

À toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Souheila

Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
"رَبِّ أَوْزَعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدِي وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا
تَرْضَاهُ

Je dédie ce travail à mon soutien moral et source de joie et de bonheur ;

À mon père.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, ma vie et mon bonheur ;

À maman.

À mes frères et mes sœurs, chacun à son nom.

À tous mes chers amis.

À toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Mounir

Remerciements

Au départ, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et le pouvoir d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercions nos parents pour leur patience, leurs encouragements et leur soutien.

Nos remerciements à notre encadreur Mr. GHILANI Laala pour ses directives et orientations.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à tous les personnels de notre lieu de stage ECMKHENCHELA Pour leurs accueils chaleureux et leurs aides précieuses, surtout l'ingénieur BOUAADILA Sami et chef d'atelier 7/1 ATIA Brahim.

Nous tenons, aussi, à remercier les membres du jury de nous faire l'honneur de lire et d'évaluer ce travail.

Enfin, nos remerciements vont à tous les enseignants de département de Génie mécanique KHENCHELA.

Sommaire

Liste des Fig. s.

Liste des tableaux.

Liste des abréviations.

Introduction générale..... 2

Chapitre I : Différents procédés de fabrication mécanique.

| | |
|--|----|
| I.1 Introduction..... | 4 |
| I.2. Méthodes conventionnelles..... | 4 |
| I.2.1. Obtention par Usinage..... | 4 |
| I.2.1.1. Tournage | 4 |
| I.2.1.1.1. Définition | 4 |
| I.2.1.1.2. Tours | 5 |
| I.2.1.1.3. Paramètres de coupe en tournage | 6 |
| I.2.1.1.4. Différentes opérations de tournage | 7 |
| a) Chariotage | 7 |
| b) Dressage | 7 |
| c) Chanfreinage | 8 |
| d) Centrage | 8 |
| e) Perçage | 9 |
| f) Alésage | 9 |
| g) Rainurage | 10 |
| h) Tronçonnage | 11 |
| i) Filetage | 11 |
| I.2.1.1.5. Les matériaux pour outils de coupe | 11 |
| I.2.1.1.6. Choix du matériau d'un outil de coupe | 12 |
| I.2.1.2. Fraisage | 13 |
| I.2.1.2.1. Définition | 13 |
| I.2.1.2.2. Fraiseuses | 13 |
| a) Fraiseuses universelles | 13 |
| b) Fraiseuses de production | 14 |
| c) Fraiseuses spéciales | 14 |
| I.2.1.2.3. Fraises | 14 |
| I.2.1.2.4. Principe de travail | 15 |
| I.2.1.2.5. Procédés de fraisage..... | 16 |
| a) Fraisage en bout | 16 |
| b) Fraisage en roulant | 16 |
| c) Fraisage combiné | 17 |
| I.2.1.3. Perçage..... | 17 |
| I.2.1.3.1. Principe | 17 |
| I.2.1.3.2. Outil de perçage | 17 |
| I.2.1.4. Rectification..... | 18 |
| I.2.1.4.1. Définition | 18 |
| I.2.1.4.2. Meules..... | 19 |
| I.2.1.4.3. Opérations de rectification..... | 19 |
| a) Rectification cylindrique extérieure..... | 19 |

| | |
|---|-----------|
| b) Rectification cylindrique intérieure | 20 |
| c) Rectification plane | 21 |
| d) Rectification sans centre | 21 |
| I.2.1.4.4. Avantage de la rectification | 22 |
| I.2.2. Obtention par déformation | 22 |
| I.2.2.1. Forgeage | 22 |
| I.2.2.1.1. Définition | 22 |
| I.2.2.1.2. Type de forgeage..... | 23 |
| a) Forgeage libre | 23 |
| b) Forgeage par laminage circulaire | 24 |
| c) Frappe à froid..... | 24 |
| I.2.2.1.3. Avantages des procédés de forgeage | 25 |
| I.2.2.1.4. Inconvénients des procédés de forgeage | 25 |
| I.2.2.2. Laminage..... | 25 |
| I.2.2.2.1. Principe d'élaboration par laminage..... | 26 |
| I.2.2.3. L'Emboutissage | 26 |
| I.2.2.4. Estampage et matriçage | 27 |
| I.2.2.4.1. Principe | 27 |
| I.2.2.4.2. Avantages | 28 |
| I.2.2.4.3. Inconvénients | 28 |
| I.2.2.5. Pliage..... | 28 |
| I.2.2.5.1. Définition | 28 |
| I.2.2.5.2. Principe | 28 |
| I.2.2.5.3. Avantages | 28 |
| I.2.2.5.4. Inconvénients | 28 |
| I.2.2.6. Filage..... | 29 |
| I.2.2.6.1. Définition | 29 |
| I.2.2.6.2. Procédés de filage | 29 |
| a) Le filage direct lubrifié | 29 |
| b) Le filage direct sans lubrification | 29 |
| c) Filage inverse | 30 |
| I.2.2.7. Tréfilage..... | 30 |
| I.2.2.7.1. Définition | 30 |
| I.2.2.7.2. Principe | 31 |
| I.2.2.7.3. Types de tréfilage..... | 31 |
| I.2.2.8. Cintrage | 32 |
| I.2.2.9. Extrusion..... | 32 |
| I.2.2.9.1. Définition | 32 |
| I.2.2.9.2. Avantages..... | 33 |
| I.2.2.9.3. Inconvénients | 33 |
| I.2.3. Obtention par fusion (Moulage) | 33 |
| I.2.3.1. Définition | 33 |
| I.2.3.2. Types de moulage | 34 |
| a) Le moulage en sable | 34 |

| | |
|---|----|
| b) Moulage métallique | 34 |
| c) Moulage par gravité | 35 |
| d) Moulage à basse pression | 35 |
| e) Moulage sous pression (ou moulage par injection) | 35 |
| I.2.3.3. Avantages de ce procédé..... | 36 |
| I.2.4. Obtention par assemblage | 36 |
| I.2.4.1. Soudage..... | 36 |
| I.2.4.2. Rivetage | 37 |
| I.2.4.2.1. Types de rivets | 37 |
| I.2.4.2.2. Avantages..... | 38 |
| I.2.4.3. Collage | 38 |
| I.3. Méthodes non -conventionnelles (avancées) | 39 |
| I.3.1. Usinage par électroérosion | 39 |
| I.3.1.1.Principe | 39 |
| I.3.1.2. Exemples d'application..... | 39 |
| I.3.2. Usinage assisté jet d'eau haute pression | 40 |
| I.3.3. Usinage assisté Laser | 40 |
| I.3.4. Usinage à Grande Vitesse UTGV | 41 |
| I.3.4.1. Définition | 41 |
| I.3.4.2. Avantages..... | 41 |
| I.3.5. Usinage assisté par ultrasons | 42 |
| I.3.6. Usinage photochimique | 42 |
| I.3.6.1. Principe | 42 |
| I.3.6.2. Avantages de l'usinage photochimique | 42 |
| I.3.7. Frittage | 43 |
| I.3.7.1. Principe | 43 |
| I.3.7.2. Avantages | 43 |
| I.3.7.3. Inconvénients | 43 |
| I.3.8. Impression 3D | 44 |
| <i>Chapitre II : Etude et conception de broche cylindrique</i> | |
| II.1 Introduction | 46 |
| II.2. Etude bibliographique | 46 |
| II.2.1. Broche cylindrique | 46 |
| II.2.1.1. Définition | 46 |
| II.2.1.2. Dent de broche | 47 |
| II.2.1.3. Brise-copeaux..... | 48 |
| II.2.1.4. Matériaux de broche | 48 |
| II.2.1.5. Angles de broche | 49 |
| II.2.1.6. Attelage de broche | 50 |
| II.2.1.7. Réaffutage de broche | 50 |
| II.2.1.8. Différents types d'usure de l'outillage | 51 |
| III.2.2. Procédé de brochage | 52 |
| II.2.2.1. Définition | 52 |
| II.2.2.2. Principe | 53 |

| | |
|---|--------------|
| II.2.2.3. Opérations de brochage | 54 |
| II.2.2.4. Paramètres procédé | 54 |
| II.2.2.5. Machines de brochage..... | 56 |
| II.2.2.6. Domaines d'application | 57 |
| II.3. Conception..... | 58 |
| II.3.1. Conception assisté par ordinateur CAO | 58 |
| II.3.1.1. Définition..... | 58 |
| II.3.1.2. Historique | 58 |
| II.3.1.3. Domaines d'application de la CAO | 59 |
| II.3.2. SOLIDWORKS | 59 |
| II.3.2.1. Définition | 59 |
| II.3.2.2. Historique..... | 59 |
| II.3.2.3. Fonctionnement..... | 59 |
| II.3.3. Conception de broche cylindrique..... | 60 |
| <i>chapitre III: Réalisation et modélisation numérique de broche cylindrique</i> | |
| III.I. Introduction..... | 71 |
| III.2. Présentation de broche cylindrique | 71 |
| III.3. Matériaux utilisés..... | 71 |
| III.3.1. Présentation de l'acier W18Cr4V..... | 71 |
| a) Propriétés physique et mécanique | 72 |
| b) Applications..... | 72 |
| III.3.2. Présentation de l'acier XC45 | 72 |
| a) Propriétés physique et mécanique..... | 72 |
| b) Applications..... | 72 |
| III.4. Dessin de définition | 73 |
| III.5. Etapes de réalisation de la pièce | 74 |
| III.6.1. Tournage conventionnel..... | 74 |
| III.6.2..Tournage à CNC..... | 79 |
| III.6. Simulation de broche cylindrique | 87 |
| III.6.1. Informations sur le modèle | 87 |
| III.6.2. Propriétés du matériau | 88 |
| III.6.3. Actions extérieures | 88 |
| III.6.4. Informations sur le maillage | 89 |
| III.6.5. Informations sur le maillage – Détails | 89 |
| III.6.6. Résultats de l' etude | 90 |
| III.6.7. Interprétation..... | 92 |
| Conclusion Générale..... | 94 |
| Références Bibliographiques..... | |

Liste des Figures

Chapitre I : Différents procédés de fabrication mécanique.

| | |
|--|----|
| Fig. I.1. Procédé de tournage..... | 5 |
| Fig. I.2. Pièces réalisées en tournage. | 5 |
| Fig. I.3. Composantes de tour parallèle..... | 6 |
| Fig. I.4. Paramètres de coupe en tournage | 7 |
| Fig. I.5. Opération de chariotage..... | 8 |
| Fig. I.6. Dressage extérieur et intérieur. | 8 |
| Fig. I.7. Opération de chanfreinage..... | 9 |
| Fig. I.8.a). Schéma opération de centrage | 9 |
| Fig. I.8.b). Opération de centrage..... | 9 |
| Fig. I.9. Opération de perçage..... | 9 |
| Fig. I.10. L'alésage cylindrique et conique | 10 |
| Fig. I.11.a). Alésage à l'outil tranchant unique..... | 10 |
| Fig. I.11.b). Alésage à l'outil à tranchant multiple..... | 10 |
| Fig. I.12. Rainurage intérieur et extérieur. | 10 |
| Fig. I.13. Tronçonnage..... | 11 |
| Fig. I.14.a). Opération de filetage. | 11 |
| Fig. I.14.b). Schéma de filetage..... | 11 |
| Fig. I.15. Opération de fraisage..... | 13 |
| Fig. I.16. Fraiseuse universelle..... | 14 |
| Fig. I.17. Fraises en acier rapide | 15 |
| Fig. I.18. Fraises en carbure..... | 15 |
| Fig. I.19. Fraisage en bout..... | 16 |
| Fig. I.20. Fraisage en roulant..... | 16 |
| Fig. I.21. Fraisage combiné..... | 17 |
| Fig. I.22. Opération de perçage | 17 |
| Fig. I.23. Opération de rectification. | 18 |
| Fig. I.24. Meules de rectification. | 19 |
| Fig. I.25. Rectification cylindrique extérieure. | 20 |
| Fig. I.26. Rectification cylindrique intérieure. | 21 |
| Fig. I.27. Rectification plane..... | 21 |
| Fig. I.28. Rectification sans centre..... | 22 |
| Fig. I.29. Exemple d'une pièce forgée. | 23 |
| Fig. I.30. Exemple de forgeage libre..... | 24 |
| Fig. I.31. Forgeage par laminage circulaire | 24 |
| Fig. I.32. Fabrication d'une pièce par frappe à froid..... | 24 |
| Fig. I.33. Schéma de principe de laminage | 25 |
| Fig. I.34.a). Laminage longitudinal..... | 26 |
| Fig. I.34.b). Laminage circulaire..... | 26 |
| Fig. I.35. Schéma d'élaboration de laminage..... | 26 |

| | |
|--|----|
| Fig. I.36. Principe d'emboutissage..... | 26 |
| Fig. I.37. Estampage ou laminage..... | 26 |
| Fig. I.38. Schéma d'élaboration de pliage..... | 28 |
| Fig. I.39. Principe de procédé de filage..... | 29 |
| Fig. I.40. Exemple d'une pièce obtenue par un filage inverse. | 30 |
| Fig. I.41.Principe de tréfilage..... | 31 |
| Fig. I.42. Procédés de cintrage. | 32 |
| Fig. I.43. Principe d'extrusion..... | 32 |
| Fig. I.44. Procédé de moulage..... | 33 |
| Fig. I.45. Moulage en sable. | 34 |
| Fig. I.46. Moulage par gravité..... | 35 |
| Fig. I.47. Moulage sous pression..... | 36 |
| Fig. I.48.Schéma d'assemblage par soudage..... | 37 |
| Fig. I.49. Schéma d'assemblage par rivets..... | 37 |
| Fig. I.50.Assemblage par collage. | 38 |
| Fig. I.51.Principe de l'électroérosion. | 39 |
| Fig. I.52. Principe de jet d'eau. | 40 |
| Fig. I.53. Pièces réalisées par usinage photochimique..... | 42 |
| Fig. I.54. Divers pièces frittées..... | 43 |
| Fig. I.55. Impression 3D..... | 44 |

Chapitre II : Etude et conception de broche cylindrique

| | |
|--|----|
| Fig. II.1. Broche cylindrique. | 46 |
| Fig. II.2. Dents d'outil broche cylindrique..... | 47 |
| Fig. II.3. Schémas de dents de broche : a) dent coupante ; b) dent de brunissage. | 47 |
| Fig. II.4. Brise-copeaux..... | 48 |
| Fig. II.5. Schémas de brise-copeaux. | 48 |
| Fig. II.6. Systèmes d'attelage de broche. | 50 |
| Fig. II.7. Schéma expliqué réaffutage de broche..... | 51 |
| Fig. II.8. Usure en dépouille (abrasion). | 52 |
| Fig. II.9.Usure en cratère (chimique). | 52 |
| Fig. II.10. Quelques formes de brochage. | 53 |
| Fig. II .11.Brochage extérieur et brochage intérieur..... | 54 |
| Fig. II.12. Brocheuse horizontale..... | 57 |
| Fig. II.13. Brocheuse verticale..... | 57 |
| Fig. II.14. Interface SOLIDWORKS2019. | 59 |
| Fig. II.15. Les trois concepts de base (SOLIDWORKS). | 60 |
| Fig. II.16. Choix de plan de face. | 61 |
| Fig. II.17. Choix de l'esquisse..... | 61 |
| Fig. II.18. Dents de brunissage..... | 62 |
| Fig. II.19. Dents coupante..... | 63 |
| Fig. II.20. Forme 3D de broche..... | 63 |
| Fig. II.21. Choix de chanfrein. | 64 |

| | |
|---|----|
| Fig. II.22. Pièce chanfreinée..... | 64 |
| Fig. II.23. Esquisse et cotation de rainure. | 65 |
| Fig. II.24. Rainure obtenue..... | 65 |
| Fig. II.25. Esquisse brise-copeau. | 66 |
| Fig. II.26. Interface de fonction répétition circulaire. | 66 |
| Fig. II.27. Esquisse brise-copeau décalé. | 67 |
| Fig. II.28. Forme de brise-copeaux. | 67 |
| Fig. II.29. Forme 3D de la broche. | 68 |
| Fig. II.30. Interface de mise en plan..... | 68 |
| Fig. II.31. Mise en plan de la broche..... | 69 |

Chapitre III : Réalisation et modélisation numérique de broche cylindrique.

| | |
|--|----|
| Fig. III.1. Acier rapide W18Cr4V. | 72 |
| Fig. III.2. Acier au carbone XC45..... | 73 |
| Fig. III.3. Mise en plan de la broche. | 73 |
| Fig. III.4. Débitage de la matière première (en ARS –XC45). | 74 |
| Fig. III.5. Assemblage par soudage en bout | 74 |
| Fig. III.6. Soudage en bout de deux morceaux..... | 75 |
| Fig. III.7. Opération de dressage de la pièce..... | 75 |
| Fig. III.8. Opération de centrage de la pièce. | 75 |
| Fig. III.9.a). Chariotage ébauche b). Chariotage finition. | 76 |
| Fig. III.10. Chanfreinage de la pièce. | 76 |
| Fig. III.11. Traçage des dents. | 77 |
| Fig. III.12. Schémas de réalisation des dents de la pièce. | 77 |
| Fig. III.13. Tour universel modèle AI616 fabriqué en URSS. | 78 |
| Fig. III.14. Outil à dresser et charioter | 78 |
| Fig. III.15. Outil de forme. | 78 |
| Fig. III.16. Pièce prête pour usiner à CN | 79 |
| Fig. III.17. Réalisation des dents sur tour à CN. | 80 |
| Fig. III.18. Dents obtenus à CN. | 80 |
| Fig. III.19. Outil utilisé..... | 80 |
| Fig. III.20. Fraisage de brise-copeaux..... | 81 |
| Fig. III.21. Fraise utilisée | 81 |
| Fig. III.22. Brise-copeaux obtenue..... | 81 |
| Fig. III.23. Cale d'angle..... | 82 |
| Fig. III.24. Pièce traitée | 82 |
| Fig. III.25. Affutage d'angle | 83 |
| Fig. III.26. Opération de rectification..... | 83 |
| Fig. III.27. Meule utilisée..... | 84 |
| Fig. III.28. Centrage de la pièce..... | 87 |
| Fig. III.29. Positionnement de la pièce sur machine électro-érosion..... | 84 |
| Fig. III.30. Programme de réalisation de rainure avec logiciel ESPRIT..... | 85 |
| Fig. III.31. Validation du programme..... | 85 |

| | |
|--|----|
| Fig. III.32. Rainure réalisée..... | 85 |
| Fig. III.33. Pièce fini..... | 86 |
| Fig. III.34. Instruments de contrôle final..... | 86 |
| Fig. III.35. Broche réalisée par SOLIDWORKS..... | 87 |
| Fig. III.36. Forme de maillage de la broche..... | 90 |

Liste des tableaux

Chapitre II : Etude et conception de broche cylindrique.

| | |
|---|----|
| Tableau II.1. Angles de coupe et dépouille selon le matériau..... | 50 |
| Tableau II.2. Vitesses de coupe en brochage V_C (valeurs en m/min)..... | 55 |
| Tableau II.3. Information sur le logiciel SOLIDWORKS..... | 60 |

**Chapitre III : Réalisation et modélisation
numérique de broche cylindrique.**

| | |
|---|----|
| Tableau III.1. Compositions chimique de W18Cr4V. | 71 |
| Tableau III.2. Compositions chimiques de XC45. | 72 |
| Tableau III.3. Condition de coupe..... | 78 |
| Tableau III.4. Informations sur le maillage..... | 89 |

Liste des abréviations

Liste des abréviations

| Symbole | Désignation | Unités |
|----------------------|-----------------------------------|---------------|
| Mc | Mouvement de coupe | |
| M_f | Mouvement d'avance | |
| V_c | Vitesse de coupe | m/min |
| N | Vitesse de rotation | tr/min |
| D | Diamètre de la pièce | mm |
| f | Vitesse d'avance | mm/tr |
| a | Profondeur de passe | mm |
| R_m | Résistance maximale | MPa |
| HRC | La dureté | |
| CN | Commande Numérique | |
| ARS | Acier Rapide | |
| CAO | Conception Assisté Par Ordinateur | |
| DAO | Dessin Assisté Par Ordinateur | |
| UGV | Usinage à grande Vitesse | |
| Γ | Angle de coupe | ° |
| α | Angle de dépouille | ° |

Introduction Générale

On appelle usinage toute opération de mise en forme par enlèvement de matière destinée à conférer à une pièce des dimensions et un état de surface (écart de forme et rugosité) situés dans une fourchette de tolérance donnée. D'un point de vue économique, le secteur industriel de l'usinage a une importance non négligeable puisqu'il produit environ 2,5 % du produit national brut d'un pays développé. L'usinage concerne au premier chef les matériaux métalliques et la plupart des objets métalliques d'utilisation courante ont subi une ou plusieurs opérations d'usinage. Ces opérations s'insèrent dans la succession des opérations de mise en forme à deux niveaux principalement soit comme opération de:

- Découpe d'une ébauche destinée à être laminée, forgée, emboutie...
- Mise à la cote de pièces préalablement moulées, frittées, embouties, ou assemblées par soudage ;

Elles peuvent alors précéder ou suivre des traitements thermiques et/ou de surface Il faut noter qu'une catégorie importante (d'un point de vue industriel et économique) de pièces usinées, avec très souvent de grandes difficultés techniques, est constituée des outillages de mise en forme. Lors de la conception d'une pièce, le constructeur doit veiller à ce que ses différentes formes soient réalisables afin éviter, plus tard, toute complication. De ce fait, la connaissance des différents procédés de fabrication qui existent se montre nécessaire. Le choix de la technique dépend, de la complexité de la pièce, les matériaux utilisés, le temps de réalisation, le coût de fabrication...etc.

Notre objectif, en procédant à ce travail, est d'utiliser les moyennes possibles pour la conception et la réalisation d'une broche cylindrique, nous avons proposé une gamme d'usinage développée, à l'aide des mesures expérimentales fiable basé sur des logiciels numériques, Conception et Fabrication Assisté par Ordinateur « CFAO » et des Machines-Outils conventionnelle et à Commande Numérique «MOCN».

Ce manuscrite est divisé en trois chapitres :

- Le 1^{er} chapitre : donne une idée générale sur les différents procédés d'usinage mécanique et rappels sur les notions de base de la fabrication mécanique;
- Le 2^e chapitre : est réservé à l'étude approfondie de broche cylindrique et leur conception sur SOLIDWORKS version 2019.
- Le 3^e chapitre donne une présentation générale de la gamme d'usinage et les étapes de réalisation de broche.

Cette recherche sera parachevée par une conclusion générale.

Chapitre I :
Différents procédés de fabrication
Mécanique.

I.1. Introduction

Le domaine de procédés d'usinage est extrêmement vaste. Il est généralement caractérisé par l'action d'un outil sur un pour obtenir une nouvelle forme.

Traditionnellement, les procédés d'usinage mécanique sont divisés entre les opérations dites conventionnelles et les opérations dites non conventionnelles en distinguant les techniques d'usinage classique des autres. Les méthodes de fabrication varient de temps en temps pour augmenter et d'évoluer et de devenir la productivité beaucoup plus facile et plus rapide et une consommation réduite de matières premières.

I.2. Méthodes conventionnelles**I.2.1. Obtention par usinage :**

L'usinage est une famille de techniques de fabrication de pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de manière à donner à la pièce brute la forme voulue, à l'aide d'une machine-outil. On y distingue :

- Tournage ;
- Fraisage ;
- Perçage ;
- Rectification...

I.2.1.1. Tournage**I.2.1.1.1. Définition**

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe consiste à obtenir la forme finale par arrachements de petits morceaux de matière (copeaux) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation appelé mouvement de coupe M_c , qui est le mouvement principal du procédé (Fig. I.1). L'outil est animé d'un mouvement de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance M_f , permettant de définir le profil de la pièce.

La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution : cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes (fig. I.2).

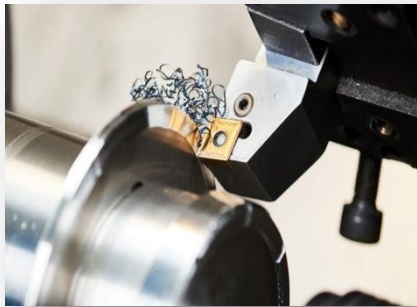


Fig. I.1. Procédé de tournage.



Fig. I.2. Pièces réalisées en tournage.

I.2.1.1.2. Tours

Ils existent de nombreuses formes de tours :

- les tours parallèles à charioter et à fileter utilisés pour la fabrication de pièces en unité ou en petite et moyenne série;
- les tours parallèles à banc rompu. Le banc rompu augmente la capacité des tours (pièces de grand diamètre sur faible longueur) ;
- les tours semi-automatiques ou automatiques à tourelle-revolver, qui se différencient par le groupe porte-outil capable de supporter, en même temps plusieurs outils différents suivant les opérations successives demandées pour l'usinage ; ils sont bien adaptés aux fabrications répétitives ou non, de petites, moyennes ou grandes séries ;
- les tours frontaux (tours en l'air) pour l'usinage de pièces de très grand diamètre et de faible longueur ;
- les tours à cycles automatiques adaptés aux fabrications de moyennes et grandes séries ;
- les tours parallèles à commande numérique. Ce tour est bien adapté à la réalisation de travaux de moyenne ou grande complexité pour des séries faibles ou moyennes ;

Un tour est caractérisé par :

- le type de tour ;
- la hauteur de pointe qui détermine le \varnothing maximale de la pièce à tourner ;
- la longueur entre pointe qui détermine la longueur maximale de la pièce à usiner ;
- le \varnothing de l'alésage de la broche ;
- la vitesse maximale de la broche, des avances ;
- la puissance du moteur.

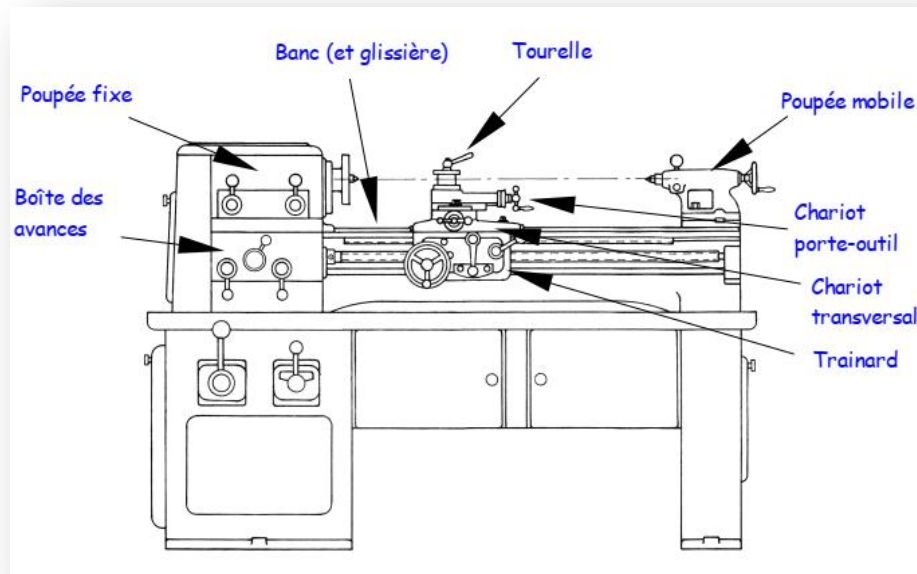


Fig. I.3. Composantes de tour parallèle.

I.2.1.1.3. Paramètres de coupe (cas de tournage)

- ❑ **Vitesse de coupe (V_c en mm/min) :** Le préparateur choisit cette vitesse de coupe en fonction, notamment :
 - de des matériaux de la pièce et de l'outil ;
 - de la lubrification ;
 - de la durée de vie souhaitée pour l'outil ;
 - des valeurs des autres paramètres coupe (avance, profondeur de passe...).

Les fabricants d'outils fournissent des valeurs de vitesse de coupe pour ces différents paramètres.

- ❑ **Vitesse de rotation (n en tr/mn) :** La vitesse de rotation de la pièce est :

$$N_{(\text{tr}/\text{min})} = 1000 V_c (\text{m}/\text{min}) / \pi D (\text{mm}),$$

Où : D est le diamètre de la pièce.

- ❑ **Vitesse d'avance (f en mm/tr) :** L'avance par tour est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée. L'avance influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent.
- ❑ **Profondeur de passe (a en mm) :** En chariotage, la profondeur de passe est la différence de rayon entre la surface non usinée et la surface usinée. Elle est mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance. [2]

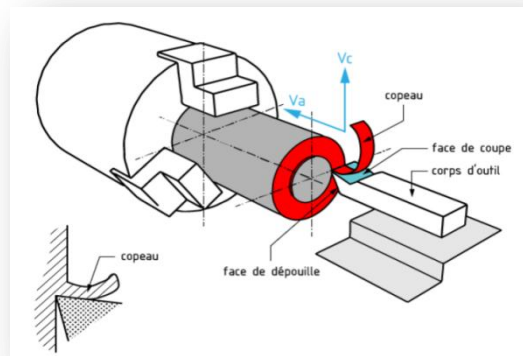


Fig. I.4. Les paramètres de coupe en tournage.

I.2.1.1.4. Différentes opérations de tournage

a) Chariotage

C'est une opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure.

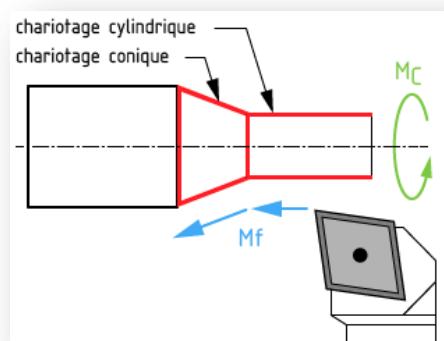


Fig. I.5. L'opération de chariotage.

En chariotage, le mouvement d'avance (mouvement de l'outil) est une translation rectiligne parallèle à l'axe de révolution de la pièce, et cet usinage aura pour effet de réduire le diamètre de la pièce.

b) Dressage

Le dressage est l'opération qui consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche, ce qui diminue la longueur de la pièce et génère un plan orthogonal à l'axe.

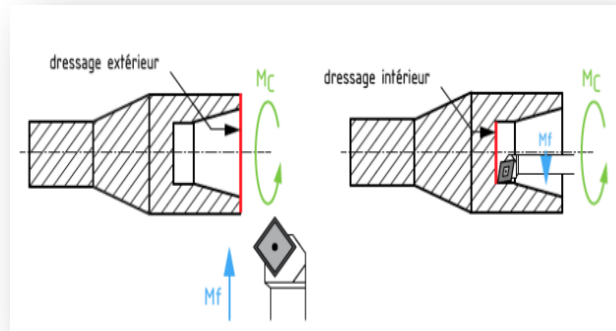


Fig. I.6. Dressage extérieur et intérieur.

c) Chanfreinage

Opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle vif.

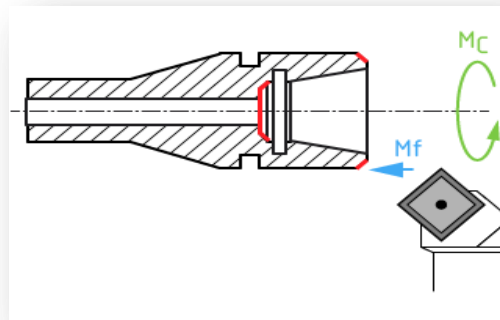


Fig. I.7. Opération de chanfreinage.

d) Centrage

Ils permettent la mise en position et le maintien de la pièce, en montages mixte ou entre-pointes. Un centre assure l'assise du foret en début de perçage dans certains cas. La vitesse de coupe est $\frac{2}{3}$ la vitesse de chariotage.

On considérera : $dm = \frac{(d+D)}{2}$, diamètre moyen pour déterminer la vitesse de rotation. L'avance du foret est manuelle et il faut prévoir un dégagement fréquent de l'outil. Le montage du foret se fait sur mandrin de perçage monté dans le fourreau de la poupée mobile.

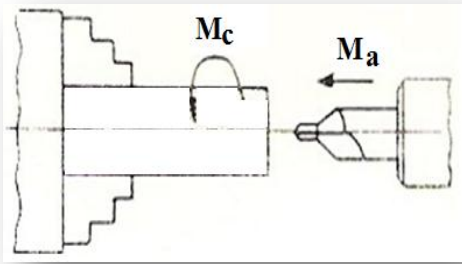


Fig. I.8.a). Schéma opération de centrage.



Fig. I.8.b). Opération de centrage.

e) Perçage

C'est un procédé d'usinage économique et rapide qui permet l'ébauche des alésages et l'exécution des diamètres de perçage avant taraudage. L'outil de perçage est appelé foret, il est généralement hélicoïdal et l'angle d'inclinaison d'hélice et l'angle de pointe sont choisis en fonction du matériau usiné, Il peut être à queue cylindrique ou à queue conique. Les forets à queue cylindrique se monte à l'aide d'un mandrin et ceux à queue conique se montent directement ou à l'aide de douilles intermédiaires.

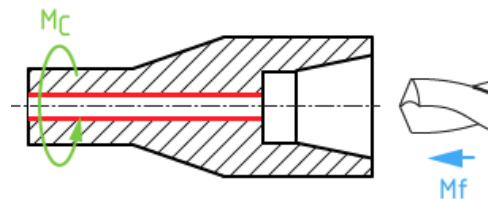


Fig. I.9. Opération de perçage.

f) L'alésage

L'alésage est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique de qualité à l'intérieur d'une pièce.

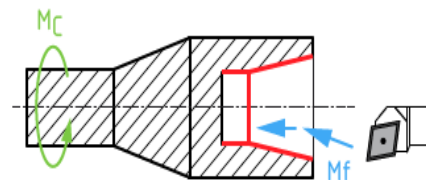


Fig. I.10. L'alésage cylindrique et conique.

L'alésage ou tournage intérieur est exécuté avec un outil coudé à tranchant unique (outil à aléser) ou un outil à tranchant multiple (alésoir).

✦ Alésage à l'outil à tranchant unique

Un outil monté à l'endroit permet une bonne visibilité de l'arête tranchante et de l'usinage. Un outil monté à l'envers permet un bon dégagement du copeau, une prise de passe dans le sens positif du tambour gradué. La vitesse de coupe : $2/3$ la vitesse de chariotage. L'avance dépend du porte-à-faux et de la rigidité de l'outil ($a = 0,05$ à $0,2$ mm/tr). L'ébauche doit être fait au diamètre $d-0,5$ mm et la demi finition à $d-0,2$ mm (fig. I.11a).

✦ Alésage à l'outil à tranchants multiples

L'alésoir se monte généralement dans la partie conique du fourreau de la poupée mobile (travail unitaire). Très souvent, les opérations d'ébauche et de demi-finition sont remplacées par un usinage à l'outil à tranchant unique. La vitesse de coupe est $1/4$ la vitesse de chariotage. L'avance est de $0,15$ à 1 mm par tour (en fonction du diamètre de l'alésoir) (Fig. I.11b).

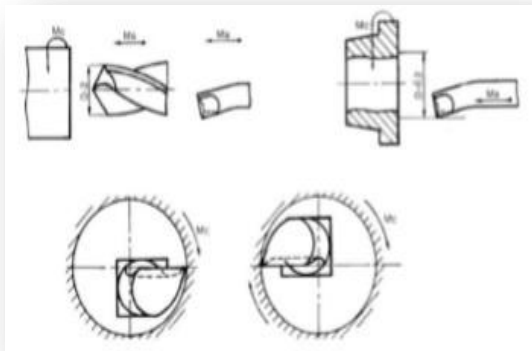


Fig. I.11 :a). Alésage à l'outil à tranchant unique.

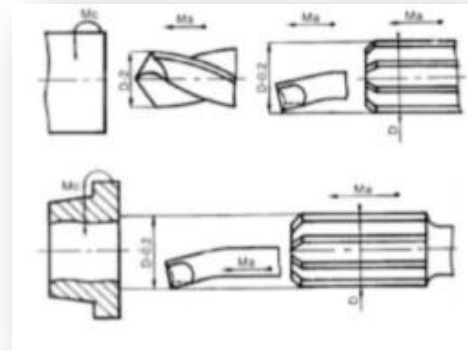


Fig. I.11 :b). Alésage à l'outil à tranchant multiple.

g) Rainurage

Le rainurage est l'opération qui consiste à usiner une rainure (association de 3 plans) intérieure ou extérieure. Celle-ci peut servir par exemple pour le logement d'un circlips ou d'un joint torique.

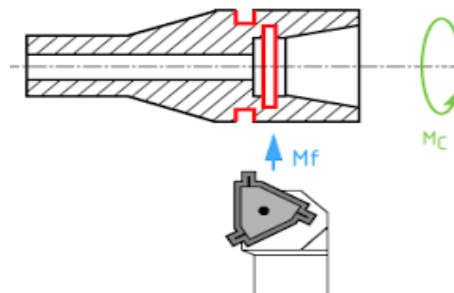


Fig. I.12. Rainurage intérieur et extérieur.

h) Tronçonnage

C'est une opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin d'en détacher un tronçon.

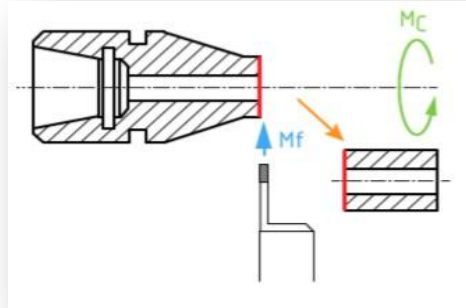


Fig. I.13. Tronçonnage.

i) Filetage

C'est une opération d'usinage qui consiste à creuser une ou plusieurs rainures hélicoïdales profilées sur une surface cylindrique extérieure ou intérieure. L'hélice est obtenue par la combinaison de deux mouvements : un mouvement de rotation M_c de la pièce est un mouvement de translation M_a de l'outil.



Fig. I.14.a). Opération de filetage.

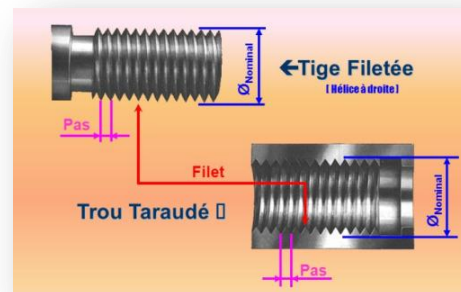


Fig. I.14.b). Schéma de filetage.

I.2.1.1.5. Matériaux pour outils de coupe

a) Aciers rapides

Ce sont des aciers à fort pourcentage de carbone (0.9 à 1.5) qui contiennent des métaux comme : le tungstène, le chrome, le vanadium, etc., dont le but est d'améliorer la dureté et la résistance à l'usure. Le rôle du cobalt est de stabiliser les carbures à chaud. La dureté à chaud s'en trouve donc améliorée et par conséquent la capacité à supporter les vitesses de coupe plus élevées. Le molybdène a une influence double de celle du tungstène sur les capacités de coupe de l'acier : 1% de molybdène remplace 2% de tungstène.

b) Carbures métalliques

Ils possèdent une haute résistance à l'usure et conservent leur dureté jusqu'à 900°C environ. Ils possèdent une grande dureté qui permet l'usinage d'acier dont la dureté dépasse 45 HRC ($R_m = 1400\text{N/m}^2$). Ils permettent de travailler avec des vitesses de coupe quatre à six fois supérieures à celles des aciers rapides. Ils se présentent sous forme de plaquettes brasées ou fixées mécaniquement sur un corps d'outil en acier.

c) Céramiques de coupe

Les céramiques se présentent sous forme de plaquettes frittées, il existe deux grandes familles de céramiques : les céramiques à base d'alumine pure ou mélangée avec d'autres oxydes (zircone ZrO_2), des carbures (SiC , TiC) ou des nitrures (Si_3N_4). En pratique, les céramiques sont prévues pour supporter des vitesses de coupe élevées à des températures importantes. Elles résistent bien à l'usure mais mal aux chocs. Elles sont souvent utilisées sur des machines puissantes pour l'usinage des métaux ferreux. Elles ne conviennent pas pour les alliages légers et pour les alliages de titane (problèmes chimiques).

d) Cermets

Cermet est un terme formé de deux syllabes : « cer » vient de céramique et « met » de métal. Ce sont des matériaux élaborés par la métallurgie des poudres, constitués par des particules de composés métalliques durs (carbures, nitrures, carbonitrures) liées par un métal (généralement du nickel). Actuellement, les cermets sont composés de TiC , TiN , TiCN , Mo_2C , WC , VC , TaC , NbC , Ni et Co (tableau 2). Ils ne nécessitent pas obligatoirement de lubrification, elle est réalisée uniquement lorsque la précision de la finition l'exige.

e) Diamant industriel

C'est le plus dur des matériaux connus. Il se présente sous forme de grain brasé à l'extrémité d'un corps en acier. On l'utilise pour certains travaux de finition. Il peut usiner tous les métaux quelle que soit leur dureté. Son prix de revient est élevé. On les utilise particulièrement pour les métaux tendres : aluminium, cuivre, magnésium, zinc et leurs alliages, ainsi que pour les matériaux antifriction. Le diamant sert aussi à l'usinage des métaux précieux (or, platine), des matières plastiques chargées ou non, du bois.

I.2.1.1.6. Choix du matériau d'un outil de coupe

On choisit un outil en fonction des critères techniques suivants :

- dureté maximale ;
- réactivité chimique minimale ;
- résistance au choc ;
- résistance mécanique.

I.2.1.2. Fraisage

I.2.1.2.1. Définition

Le fraisage est un procédé de fabrication mécanique par enlèvement de matière faisant intervenir, en coordination, le mouvement de rotation d'un outil à plusieurs arêtes (M_c) et l'avance rectiligne d'une pièce (M_a). Le plus souvent, le fraisage est utilisé pour produire des surfaces planes, des épaulements et des rainures, contournage (fig. I.15). Aujourd'hui, on a également un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, lequel peut s'effectuer pratiquement dans n'importe quelle direction. L'outil de fraisage, la fraise, comporte plusieurs arêtes de coupe dont chacune enlève une certaine quantité de métal sous forme de copeaux.

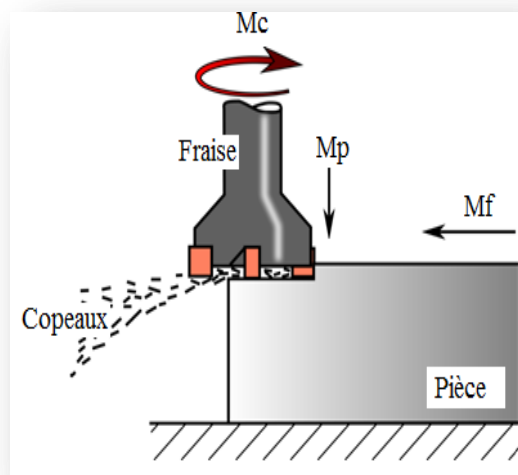


Fig. I.15. Opération de fraisage.

I.2.1.2.2. Fraiseuses

Le fraisage s'effectue sur différents types de machines.

a) Fraiseuses universelles

Cette machine (Fig. I.16) sert principalement à usiner des pièces prismatiques. La pièce est fixée dans l'étau. L'outil est mis en rotation par le moteur de broche, il suit une trajectoire qui interfère avec la pièce. L'outil est muni d'une arête coupante, il en résulte un enlèvement de matière : les copeaux.

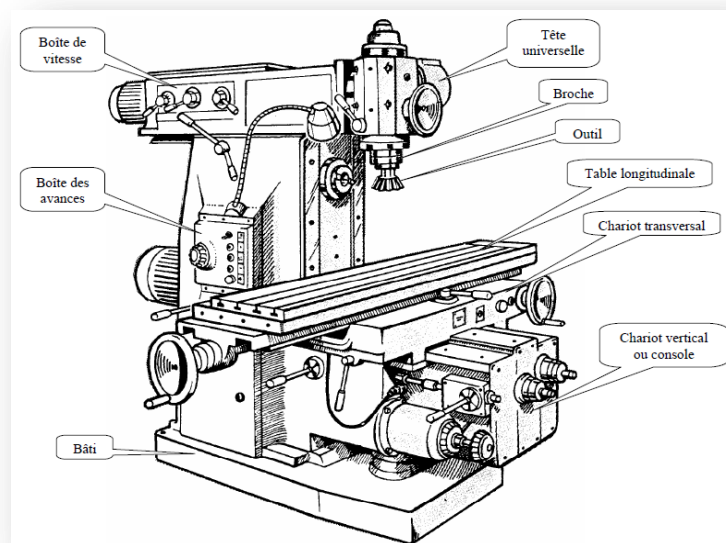


Fig. I.16. Fraiseuse universelle.

b) Fraiseuses de production (à programme, commande numérique)

La commande numérique (CN) est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé. La fraiseuse à commande numérique est une fraiseuse connectée à un système de commande numérique.

c) Fraiseuses spéciales (à reproduire, multibroches)

Les fraiseuses à reproduire permettent de reproduire suivant deux ou trois axes la forme représentée par un modèle (ou gabarit). Un pantographe permet une reproduction en réduction ou avec symétrie. Un palpeur est assujéti, par un dispositif hydraulique ou électrique, à suivre le profil d'un gabarit et à transmettre ses déplacements à une table porte pièce. Ces machines sont utilisées essentiellement pour les travaux à l'unité (outillages de presse, coquilles métalliques, etc).

I.2.1.2.3. Fraises

On rencontre trois types de fraises :

- les fraises à une taille : elles coupent uniquement sur la périphérie ; de faible épaisseur, elles sont utilisées pour tronçonner ; de forte épaisseur, elles permettent la réalisation de plans ;
- les fraises à deux tailles : elles coupent sur la périphérie et en bout.

- fraises à trois tailles : elles coupent sur la périphérie et sur chacune des extrémités (en bout et sur la face opposée).

Les fraises à deux tailles portent une queue conique (cylindrique pour les petits diamètres) permettant de les monter directement en bout de broche. Les fraises à une ou trois tailles sont généralement montées sur l'arbre porte-fraises d'une machine à fraiser horizontale.

- Fraises sont fabriquées :
 - monoblocs en acier rapide (ARS) ; l'acier rapide étant coûteux, les fraises de grandes dimensions sont constituées d'un corps en acier de construction mécanique et de dents rapportées en acier rapide ;
 - à dents ou à lames amovibles en ARS ou en carbure.
- Pour le montage sur la broche, on distingue :
 - les fraises à queue (cylindrique lisse ou à méplat, conique à cône morse) ;
 - les fraises à trou (alésage cylindrique lisse, avec clavetage, avec filetage et centrage ou alésage conique).



Fig. I.17. Fraises en acier rapide.



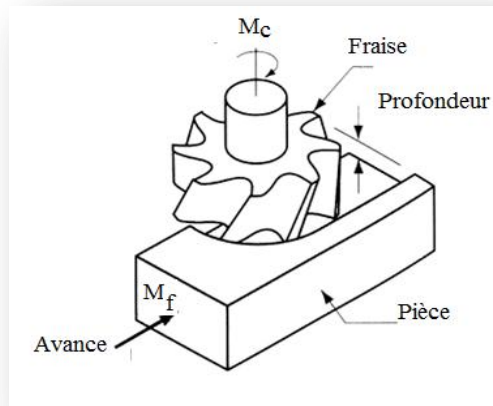
Fig. I.18. Fraises en carbure

I.2.1.2.4. Principe de travail

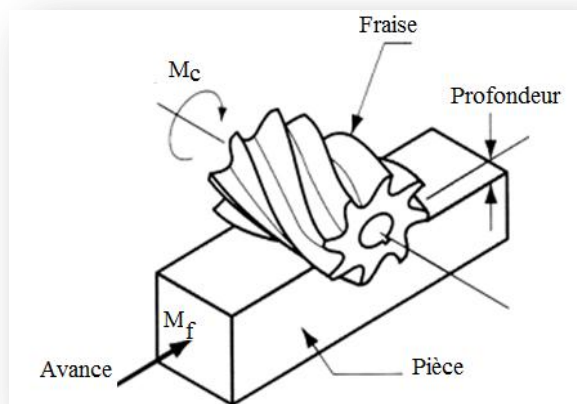
Lors d'une opération de fraisage, l'enlèvement de la matière – sous forme de copeau – résulte de la combinaison de deux mouvements : le mouvement de rotation de l'outil sur son axe d'une part et le mouvement d'avance de la pièce suivant trois axes orthogonaux d'autre part.

I.2.1.2.5. Procédés de fraisage**a) Fraisage en bout**

L'axe de la fraise est placé perpendiculairement à la surface à usiner (Fig. I.19). La fraise coupe avec son diamètre, mais aussi avec sa partie frontale. Les copeaux sont de même épaisseur, ainsi la charge de la machine est plus régulière. La capacité de coupe est supérieure à celle réalisée par le fraisage en roulant. La qualité de l'état de surface est meilleure.

**Fig. I.19.** Fraisage en bout.**b) Fraisage en roulant**

Pour ce type de fraisage en roulant, l'axe de la fraise est placé parallèlement à la surface à usiner. La fraise coupe avec son diamètre (Fig. I.20). La charge de la machine est irrégulière, surtout lors de l'emploi de fraises à denture droite. Les à-coups provoqués par cette façon de faire donnent une surface ondulée et striée. Pour pallier ces défauts, on utilisera une fraise à denture hélicoïdale. L'amélioration enregistrée s'explique ainsi : la denture est chargée/déchargée progressivement.

**Fig. I.20.** Fraisage en roulant.

c) Fraisage combiné

Pour le fraisage combiné, la fraise coupe avec son diamètre et sa partie frontale (Fig. I.21).

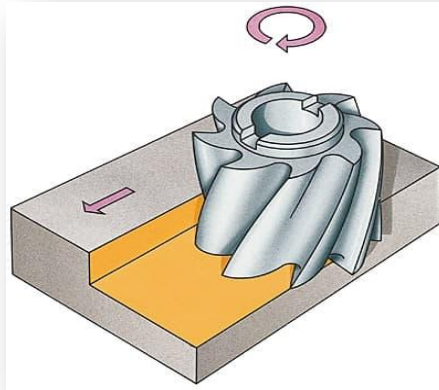


Fig. I.21. Fraisage combiné.

I.2.1.3. Perçage

Le terme de perçage regroupe toutes les méthodes ayant pour objet d'exécuter des trous cylindriques dans une pièce avec des outils de coupe par enlèvement de copeaux (fig. I.22).

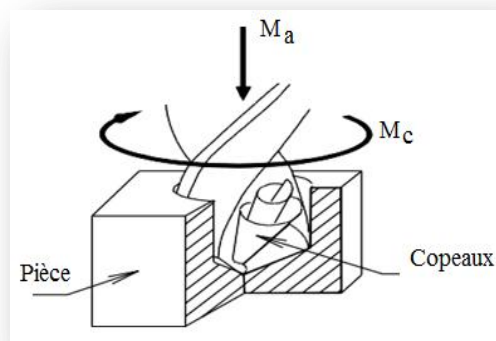


Fig. I.22. Opération de perçage.

I.2.1.3.1. Principe

Le perçage est une opération d'usinage importante. Elle permet de réaliser des trous cylindriques débouchant ou borgnes. La réalisation de trous coniques est moins courante. Ces trous servent soit pour la fixation par vis (trou fileté), écrous, rivets, soit pour l'accès.

En perçage, l'outil assure simultanément le mouvement de coupe (rotation sur lui-même) et le mouvement d'avance (mouvement axial le long de son axe de rotation).

I.2.1.3.2. Outil de perçage

Les outils de perçage sont des forets, des trépan ou des embouts. Les forets sont des outils monoblocs en acier rapide avec, parfois, une plaquette brasée en carbure. Les trépan et les embouts sont des outils à éléments rapportés (grains, embouts spéciaux). Le sens de rotation est généralement à droite.

Le forêt hélicoïdal comprend :

- un corps de diamètre d (h8), comprenant deux listels de guidage et deux goujures hélicoïdales décroissantes ;
- une pointe d'angle au sommet variable suivant les matières usinées (ex. 118° pour les aciers) ;
- une queue cylindrique ou conique morse.

Les dimensions sont normalisées. Le pas de l'hélice est normal, long (pour les copeaux fragmentés) ou court (copeaux continus). Les angles de pointe et d'hélice dépendent du matériau usiné.

I.2.1.4. Rectification

I.2.1.4.1. Définition

La rectification est un usinage sur machines-outils qui consiste à enlever la matière avec un outil abrasif. Est une opération de finition de surface plane ou cylindrique afin d'améliorer l'état de surface de la pièce semi-finie. L'outil mis en action est appelé meule et la matière est extraite par abrasion. La rectification s'effectue normalement sur des pièces qui doivent avoir un haut degré de finition de surface ($0,025 \mu\text{m} < Ra < 2\mu\text{m}$) et dont les dimensions et la forme exigent une grande précision ($< 0,01 \text{ mm}$). En général, cette opération est réalisée sur des pièces préalablement usinées (tournées ou fraisées) et parfois traitées (trempées, etc.). Elle s'applique aux arbres, pivots, cales étalons, outils, roulements à billes, roulements à rouleaux, soupapes, arbres à cames, axes de pistons, engrenages, etc.

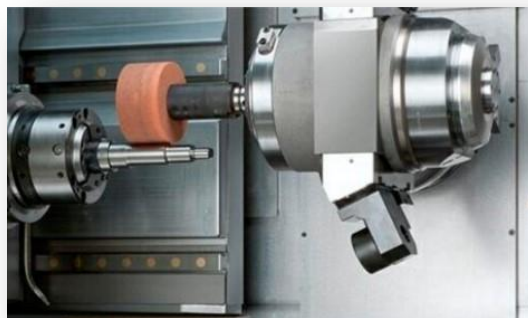


Fig. I.23. Opération de rectification.

I.2.1.4.2. Meules

Une meule est un solide de révolution constitué d'un grand nombre de grains abrasifs agglomérés par un liant. La porosité de cette structure joue un rôle important dans le travail de la meule en facilitant l'évacuation des copeaux. Les particules de métal arrachées par les grains se logent momentanément dans les microcavités, les empêchant ainsi de perturber le processus. La forme des meules est adaptée à chaque opération particulière d'usinage.

Les meules se définissent par :

- leurs formes générales : plates, cylindriques, biconiques, boisseau droit et conique, assiette, etc. ;
- leurs formes de profil d'extrémité : droit, biseauté, arrondi, etc. ;
- leurs dimensions : le diamètre extérieur, la largeur, le diamètre de l'alésage, épaisseur, et la nature du produit identifiée par un marquage.



Fig. I.24. Meules de rectification.

I.2.1.4.3. Opérations de rectification

Les opérations les plus courantes de rectification sont :

- Rectification cylindrique extérieure (cylindriques extérieurs, cône extérieurs, surfaces de révolution profilées, épaulement) ;
- Rectification cylindrique intérieure (alésage cylindrique, alésage conique) ;
- Rectification plane ;
- Rectification sans centre.

a) Rectification cylindrique extérieure

La rectification cylindrique extérieure est une opération utilisée pour des fabrications unitaires, de petites ou moyennes séries ; elle s'effectue sur une rectifieuse de révolution extérieure. Cette opération a un certain nombre de similitudes avec l'opération de tournage.

Les mouvements fondamentaux sont :

- le mouvement de coupe est produit par la meule et la pièce qui tournent dans le même sens sur leurs axes de telle sorte que les vitesses périphériques s'additionnent ;

- le mouvement d'avance est, en général, donné à la pièce à rectifier ; il est parallèle au mouvement de rotation. La rectification «en plongée» avec des meules de forme fait exception ; dans ce cas, le mouvement d'avance est transversal et donné par la meule;
- le mouvement de pénétration est donné à la meule. Il est rectiligne et intermittent et détermine la profondeur de passe. Il survient après chaque passe lors de l'inversion du mouvement d'avance en extrémité de pièce.

Le montage de la pièce conditionne fortement la précision du travail. La pièce est en général montée entre pointes fixes pour éviter d'éventuelles erreurs dans leurs rotations. Les rectifieuses de surfaces de révolution extérieures permettent également de rectifier des surfaces cylindriques coniques, les faces perpendiculaires à l'axe de rotation, etc. La précision de l'usinage des centres dans la pièce a une grande importance.

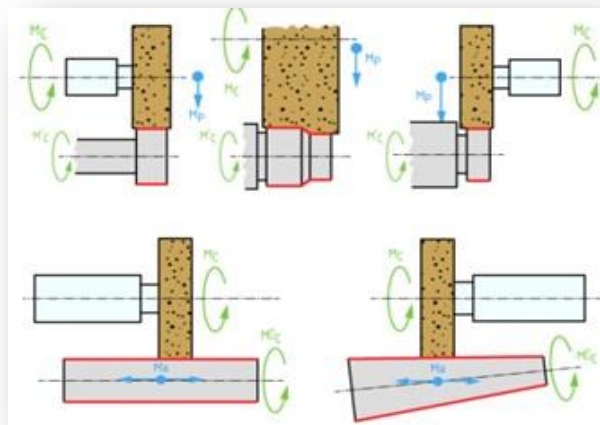


Fig. I.25. Rectification cylindrique extérieure.

b) Rectification cylindrique intérieure

La rectification cylindrique intérieure est une opération utilisée pour des fabrications unitaire, de petites ou moyennes séries ; elle s'effectue sur une rectifieuse de révolution intérieure. Ces machines ont la même architecture que les rectifieuses de révolution extérieures à la différence du chariot porte-meule qui est situé face à la broche porte-pièce sur la table porte-pièce. Les meules employées sont en général plus petites et sont fixées avec un porte-à-faux plus grand, puisqu'elles sont destinées à travailler à l'intérieur des pièces creuses. La pièce est montée sur un mandrin universel. Le diamètre de la meule vaut environ 70% du diamètre de l'alésage. L'opération demande de nombreux contrôles, surtout pour la coaxialité et la cylindricité. A la fin de l'opération, le contrôle de diamètre peut se faire par calibre tampon.

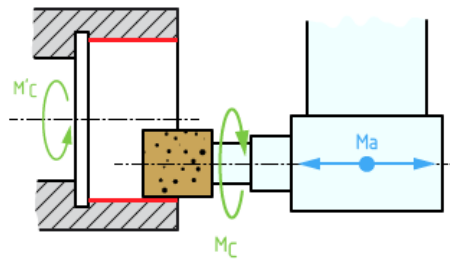


Fig. I.26. Rectification cylindrique intérieure.

c) Rectification plane

La rectification plane permet d'obtenir des surfaces planes de grande qualité géométrique (planéité, état de surface).

En rectification plane :

- le mouvement de coupe est produit par la rotation de la meule autour de son axe ;
- le mouvement d'avance se compose de deux mouvements :
 - un mouvement rectiligne longitudinal, en général, donné à la pièce à rectifier ;
 - un mouvement rectiligne transversal intermittent donné à la meule ou à la pièce à rectifier ; il survient à chaque fin de course du mouvement longitudinal ;
- le mouvement de pénétration est, en général, donné à la meule. Il est rectiligne et intermittent et détermine la profondeur de passe.

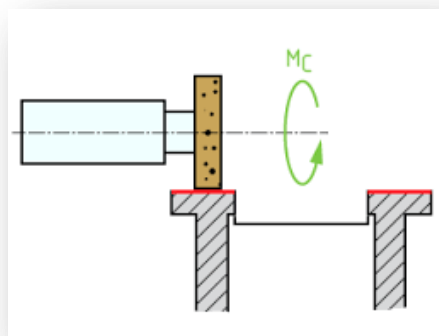


Fig. I.27. Rectification plane.

d) Rectification sans centre

Le procédé de rectification sans centres (centrales) est adapté aux fabrications en moyennes ou grandes séries (soupapes, axes de piston, bague de roulement, etc.). Il est ainsi appelé par le montage de la pièce sur la machine sans le concours de pointes (ni de mandrin). Il utilise plutôt une réglette porte pièce ou règle de plongée qui maintient la pièce entre une

meule de travail et un cylindre ou meule d'entraînement : la meule de travail (abrasive) rectifie la pièce, le cylindre d'entraînement à liant caoutchouc lui impose un mouvement de rotation et la réglette a une forme et des dimensions appropriées pour fixer la position de la pièce et lui permettre de tourner.

Le procédé permet la rectification de pièces ayant jusqu'à 0,1 mm de diamètre. Les meules de travail utilisent parfois comme abrasif du nitrure de bore cubique. Leur vitesse périphérique peut atteindre 150m/s. la vitesse du cylindre d'entraînement est plus lente (le rapport de vitesse de l'ordre de 1/20ème).

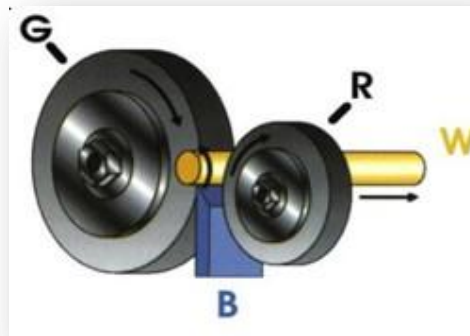


Fig. I.28. Rectification sans centre.

I.2.1.4.4. Avantage de la rectification

- possibilité de s'attaquer aux matériaux les plus durs ;
- pouvoir atteindre des tolérances dimensionnelles de l'ordre du micromètre (0,001 mm) et donc d'usiner des pièces plus précises ;
- obtenir un état de surface poussé ($< 0,1 Ra$) ;
- permet d'être plus précis sur l'usinage.

I.2.2. Obtention par déformation

Consiste à déformer plastiquement le matériau jusqu'à obtention de la forme désirée. Une déformation plastique est une déformation permanente du matériau.

I.2.2.1. Forgeage

I.2.2.1.1. Définition

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). 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).

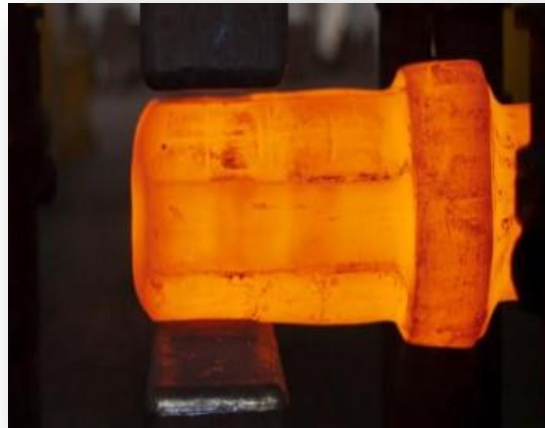


Fig. I.29. Exemple d'une pièce forgée.

I.2.2.1.2. Type de forgeage

a) Forgeage libre

L'outil est alors un marteau pilon. La pièce à l'état chaud est positionnée entre deux enclumes de matériaux ferreux ou non ferreux et frappée par l'outil. Ce procédé de forgeage permet une mise en forme précise, une mise au diamètre, la réalisation d'un épaulement. Ce procédé s'applique à la réalisation de produits unitaires ou en petites séries, de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de tonnes, de forme géométrique généralement simple. Dans la mesure où les outillages de préforme sont utilisés, ils laissent à la déformation du métal deux degrés de liberté.



Fig. I.30. Exemple de forgeage libre.

b) Forgeage par laminage circulaire

Procédé qui permet de réaliser des pièces en forme de couronnes comportant des profils pouvant être diversifié. Ces pièces peuvent être en matériaux ferreux ou non ferreux. Ce procédé s'applique à la réalisation de pièces de quelque kilogramme à quelque tonne, depuis l'unité jusqu'à la série illimitée. Le diamètre des couronnes peuvent varier de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres.



Fig. I.31. Forgeage par laminage circulaire.

c) Frappe à froid

Procédé de forgeage à température ambiante qui se distingue de l'extrusion par la nature de déformation et la vitesse d'impact (effet de choc). Ce procédé s'applique pour des pièces de formes généralement cylindriques pleines ou creuses présentant un axe ou un plan de symétrie.

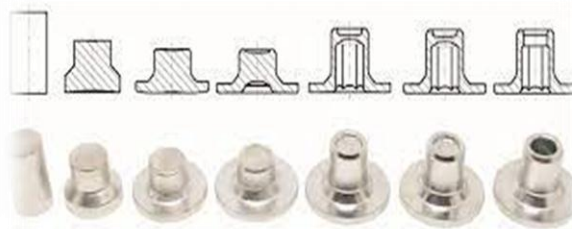


Fig. I.32. Fabrication d'une pièce par frappe à froid.

I.2.2.1.3. 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.

I.2.2.1.4. Inconvénients des procédés de forgeage

- géométrie des formes intérieures limitée (poinçonnage uniquement) ;
- la qualité des surfaces obtenues (IT8 à IT10) 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 ;

I.2.2.2. Laminage

Le laminage est un procédé de fabrication par déformation. Cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres tournant dans des sens opposés appelés laminoir (voir fig.1). Un laminoir est une installation industrielle ayant pour but la réduction d'épaisseur d'un matériau par écrasement (généralement du métal) entre les deux cylindres qui sont soit lisses (laminage plan), soit cannelés (laminage de mise en forme).

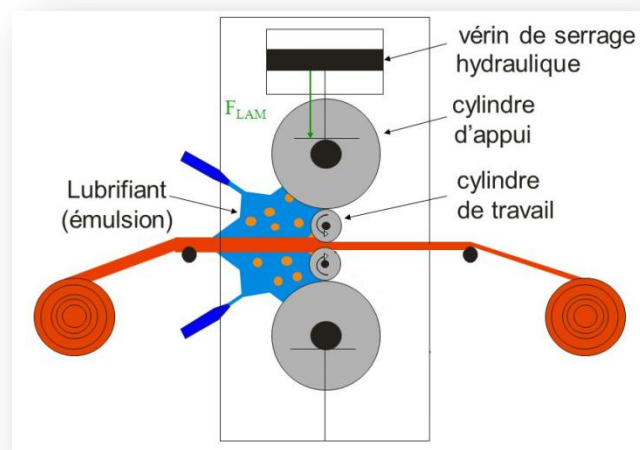


Fig. I.33. Schéma de principe de laminage.

Il concerne différents matériaux (métal ou tout autre matériau sous forme pâteuse comme le papier ou les pâtes alimentaires), et permet également la production de barres profilées (produits longs).

On distingue le laminage:

- Longitudinal ou parallèle (voir fig.2) ;
- Circulaire (voir fig.3) ;
- Hélicoïdal (voir fig.4).

• Exemples :

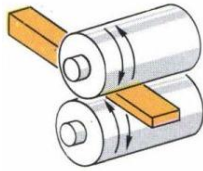


Fig. I.34a : Laminage longitudinal

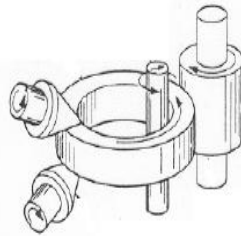


Fig. I.34b : Laminage circulaire.

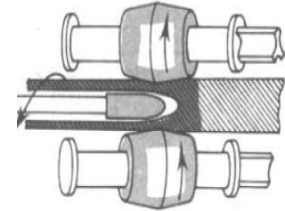


Fig. I.34c : Laminage hélicoïdal.

I.2.2.2.1. Principe d'élaboration par laminage

Après passage dans un four de réchauffage à plus de 1000 °C, le métal est acheminé sur des rouleaux motorisés. Progressivement, par un passage successif dans différentes cages équipées de cylindres, le métal perd en épaisseur et gagne en longueur (voir fig.5). En sortie de laminoir, la bande peut être soumise à un arrosage d'eau qui lui confère des propriétés proches de celles de la trempe. Pour éliminer les défauts de planéité de la bande, celle-ci peut passer au travers d'une planeuse. L'opération de laminage doit être rapide, car le métal se refroidit. Cela nécessite alors de grandes puissances.

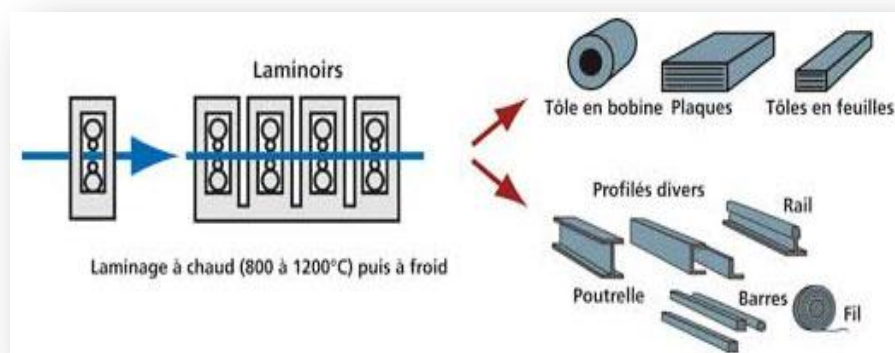


Fig. I.35. Schéma d'élaboration de laminage.

I.2.2.3. L'Emboutissage

C'est un terme qui définit une technique de fabrication permettant d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle plane et mince, un objet dont la forme n'est pas développable.

L'emboutissage est un procédé de mise en forme couramment utilisé dans l'industrie, qui consiste à venir déformer plastiquement une tôle métallique mince à chaud ou à froid afin d'obtenir des pièces de formes complexes (en général d'épaisseur inférieure à 3 mm) pour générer, à partir d'une surface souvent plane, une forme complexe de géométrie non développable.

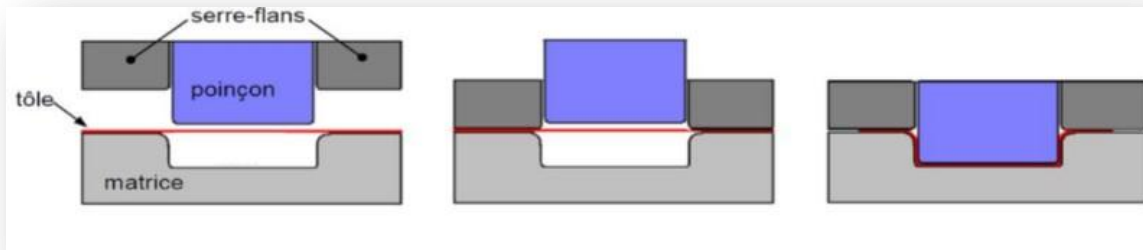


Fig. I.36. Principe d'emboutissage.

I.2.2.4. Estampage et matriçage

L'estampage est le forgeage mécanique des aciers, tandis que le matriçage est le forgeage mécanique des métaux non ferreux.

I.2.2.4.1. Principe

Un lopin de métal chauffé et calibré (avec des dimensions précises) se déforme pour remplir les deux demi-empreintes de deux matrices appliquées l'une contre l'autre sous l'action d'une forte pression ou d'une série de chocs.

L'estampage et le matriçage sont adaptés à une production en série.

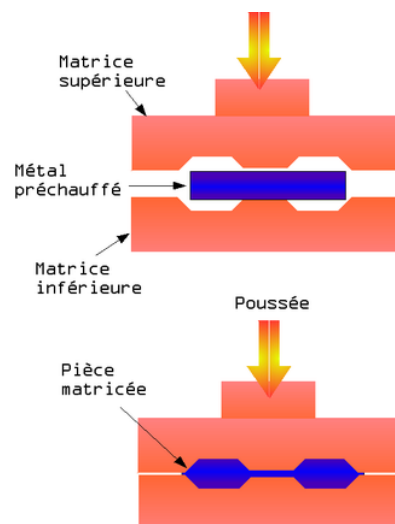


Fig. I.37. Estampage ou matriçage.

I.2.2.4.2. Avantages

- les mêmes que pour le forgeage libre, avec plus de rapidité et une meilleure précision.

I.2.2.4.3. Inconvénients

- nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
- prix de revient élevé des matrices rapidement « usées ».

I.2.2.5. Pliage**I.2.2.5.1. Définition**

Le pliage est une opération de mise en forme par déformation permanente de tôles. Cette opération est effectuée à froid, elle consiste à donner la forme désirée à des tôles planes dont l'épaisseur dépasse rarement 5mm. Pour atteindre la déformation plastique du matériau il faut que les contraintes dépassent la limite élastique pour que la déformation reste permanente. Il existe plusieurs types de pliage tels que : le pliage en V, le pliage en l'air, le pliage en tombé de bord ou en L, le pliage en U, etc.

I.2.2.5.2. Principe

Une presse exerce une force sur une pièce reposant sur un ou plusieurs appuis ou encastrée à une extrémité. La pièce se déforme au-delà de sa limite élastique et conserve donc sa forme pliée.

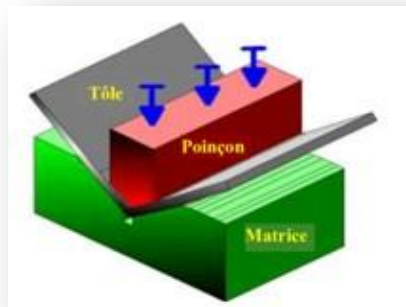


Fig. I.38.Schéma d'élaboration de pliage.

I.2.2.5.3. Avantages

- outillage simple : presses hydrauliques avec différents poinçons et matrices.

I.2.2.5.4. Inconvénients

- ressaut élastique résiduel difficile à prévoir ;
- longueur de pliage limitée.

I.2.2.6. Filage

I.2.2.6.1. Définition

Le filage consiste à pousser (par une presse hydraulique) une billette d'alliage (préchauffée à 500°C) placée dans un conteneur à travers une filière, dont elle prend la forme à la sortie. Les produits obtenus peuvent être de simples barres ou tubes, mais peuvent avoir une forme très complexe. Un très grand nombre de métaux peuvent être filé: acier, alliage d'aluminium, cuivreux, alliages de magnésium. L'aluminium est le matériau le plus utilisé.

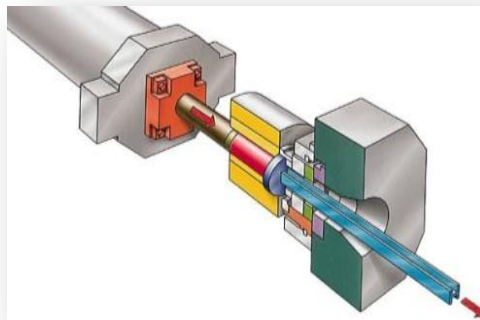


Fig. I.39. Principe de procédé de filage.

I.2.2.6.2. Procédés de filage

Trois procédés principaux sont donc essentiellement utilisés :

- Filage direct lubrifié ;
- Filage direct sans lubrification ;
- Filage inverse.

a) Filage direct lubrifié

Dans ce procédé de filage, soit l'intérieur de conteneur, soit l'extérieur de la billette sont lubrifiés : de ce fait, le frottement billette-conteneur est très diminué, voire même supprimé, et l'écoulement du métal est frontal. Le filage direct lubrifié est utilisé de préférence pour les alliages durs.

b) Filage direct sans lubrification

ou filage direct chemisé : ce procédé est le plus répandu, principalement en ce qui concerne les alliages à grande fiabilité (alliages doux), il est dit improprement chemisé car le grain de poussée, ou disque que l'on intercale entre le pilon et la billette, avance dans le conteneur avec un léger jeu, de 1 à 2 mm. Le frottement élève entre billette et conteneur fait adhérer une mince pellicule de métal qui chemise la paroi interne du conteneur. Ce jeu est

volontaire afin de former une chemise régulière éliminant les imperfections de surface des produits bruts de fonderie, il facilite également le coulisement du pilon.

c) Filage inverse

Ce procédé peu utilisé à l'origine pour le filage des alliages d'aluminium a pris lors de ces dernières années un essor important de nombreuses presses équipées pour le filage inverse ont été en effet installées récemment dans le monde. Le filage inverse se caractérise par le fait que la filière pénètre dans le conteneur, poussée en cela par le pilon qui devient creux pour laisser passer le métal qui file. En pratique le pilon est généralement fixe et c'est l'ensemble conteneur-billette qui est poussé par le piston central de la presse.

L'inconvénient provient du poinçon qui compte tenu de sa forme creuse est plus fragile et travaille au flambage. De plus le montage des outillages est plus complexe et nécessite des alignements plus rigoureux que la méthode en direct. De plus, le nombre de formes possibles est plus limité que le filage direct.

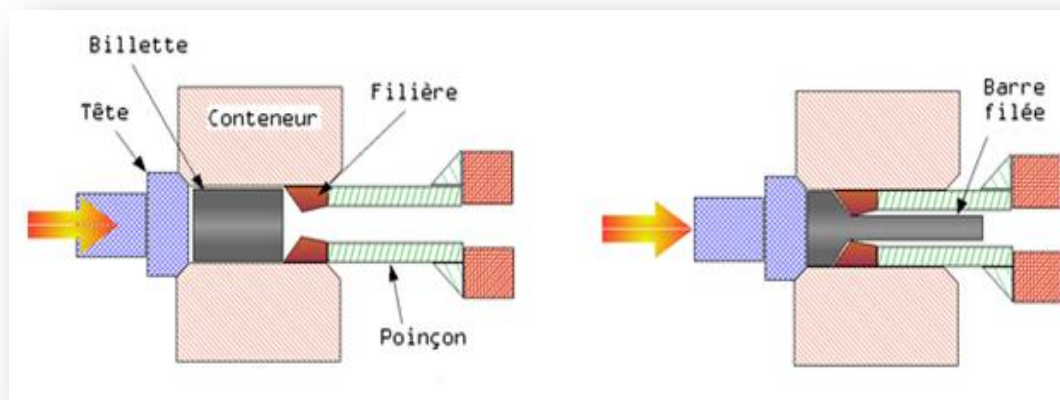


Fig. I.40. Exemple d'une pièce obtenue par un filage inverse.

I.2.2.7. Tréfilage

I.2.2.7.1. Définition

Le tréfilage connu depuis la plus haute antiquité, le tréfilage permet d'obtenir des fils métalliques de section et de forme bien déterminée. Le principe du tréfilage est de faire passer le métal à travers un orifice calibre, appelé « filière » (qui peut être assimilée à un cône) sous l'action d'une traction continue, cette technique utilise l'aptitude à la déformation plastique du métal.

I.2.2.7.2. Principe

Le principe de tréfilage est basé sur l'utilisation de plasticité du matériau dans le but de réduire la section du fil en forçant son passage à travers des orifices successifs calibrés, de diamètre décroissants, et qu'on appelle (les filières). De ce fait, les matériaux s'allongent et sa section se réduit : on dit qu'il fil. Le fil est astreint de passer à travers les filières par deux procédés différents : on lui impose un déplacement en lui appliquant une poussée sur la face arrière (Back), c'est le tréfilage (Fig. I.41).

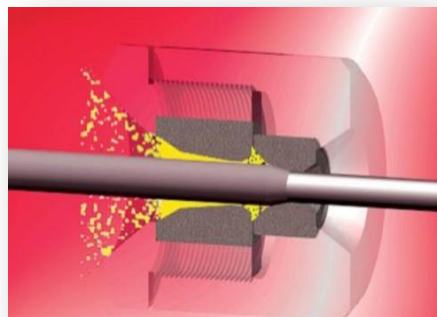


Fig. I.41. Principe de tréfilage.

I.2.2.7.3. Types de tréfilage

a) Tréfilage à sec

Indépendamment des organes d'entraînement (moteurs et boîtes de vitesse), ainsi que des dispositifs de tréfilage (filières) et de lubrification (boîtes à savon), le fil passe successivement d'une filière à l'autre via des bobines d'enroulement servant de cabestan pour la traction du fil à travers la filière. Celles-ci comportent, en général à leur base, une zone appelée chasse, dont le profil est tel que chaque nouvelle spire chasse la précédente pour prendre sa place au cours de l'enroulement et permettre ainsi une bonne accumulation des diverses spires en vue d'un dévidage ultérieur correct, tout en faisant diminuer progressivement la contrainte de traction du fil.

b) Tréfilage humide

Le principe d'une machine voie humide dont l'ensemble est immergé dans un bac contenant un lubrifiant en solution aqueuse. Dans ce cas, c'est le glissement des fils sur les cabestans qui compense l'usure des filières, Ce procédé concerne plus particulièrement les fils fins d'un diamètre généralement inférieur à 1mm. Son avantage facilite la concentration d'une vingtaine de filières dans un espace assez réduit.

I.2.2.8. Cintrage

Le cintrage est la déformation à froid d'un tube ou d'une barre, suivant un rayon et un angle donnés (opération effectuée avec une cintruse). On peut obtenir un cintrage approximatif en effectuant plusieurs petits pliages rapprochés les uns des autres (Fig. I.42).

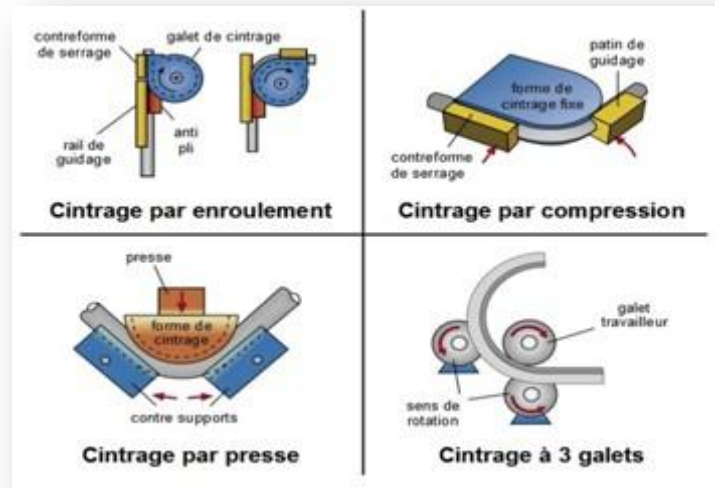


Fig. I.42. Procédés de cintrage.

I.2.2.9. Extrusion

I.2.2.9.1. Définition

L'extrusion est un procédé par lequel le métal, sous forme de billette à l'origine, est poussé sous forte pression par l'action d'un piston à travers une filière, pour en sortir sous la forme d'un profilé. L'extrusion des alliages d'aluminium peut se faire à froid dans le cas des alliages à faible résistance mécanique et à grande ductilité (séries 1000 et 3000), et à chaud essentiellement dans le cas des alliages à plus haute résistance mécanique comme les séries 2000 et 7000, mais également les séries 5000 et 6000. Les alliages d'aluminium sont considérés comme les matériaux qui conviennent le plus à l'extrusion et se distinguent par une variété de profilés inégalée par rapport aux autres matériaux.

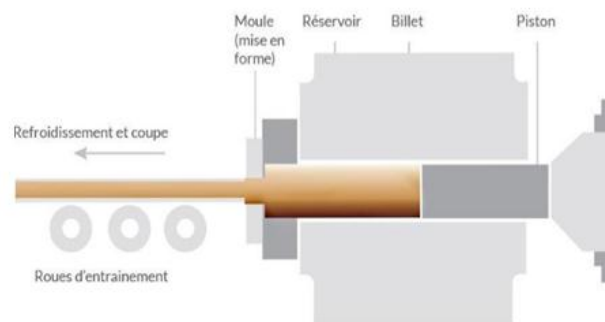


Fig. I.43. Principe d'extrusion.

I.2.2.9.2. Avantages

- Meilleure précision que le matriçage ou l'estampage ;
- bons états de surface ;
- sections des profilés pouvant être creux et très complexes.

I.2.2.9.3. Inconvénients

- Nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
- formes limitées à des « extrusions ».

I.2.3. Obtention par fusion (Moulage)**I.2.3.1. Définition**

Le moulage ou fonderie est un ensemble de procédés qui permet de réaliser des pièces métalliques brutes. Le moulage proprement dit consiste à réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule en sable ou en métal (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir), le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule (Fig. I.44).



Fig. I.44. Procédé de moulage.

Dans ces procédés le moule peut-être permanent ou non permanent (destructible).

- le moule non permanent est utilisé qu'une seule fois, pour extraire la pièce, il faut le détruire, l'empreinte est obtenue par moulage du matériau constitutif autour d'un modèle réalisé en bois ou en métal.
- le moule permanent peut servir un grand nombre de fois, il est réalisé en plusieurs parties pour faciliter l'extraction de la pièce. Il est utilisé surtout lorsque la quantité de pièces à couler est importante.

I.2.3.2. Types de moulage

a) Le moulage en sable (non permanent)

Le moulage en sable consiste à couler le métal en fusion dans l'empreinte d'un moule en sable, réalisée d'après un modèle ayant la forme de la pièce à obtenir. Le moulage en sable est le procédé le plus ancien et convient presque pour tous les métaux et alliages de moulage. Il s'adapte bien aux petites séries de production et surtout pour les pièces de grandes dimensions. Un moule simple est constitué de deux parties : la partie supérieure et la partie inférieure. Le moule en sable est réalisé à partir de l'outillage décrit. Il se compose d'un fond de moule, d'un dessus de moule, et suivant les cas, d'un ou plusieurs noyaux. Si l'outillage de fonderie (le modèle) est permanent, il n'en est pas de même du moule qui sera cassé pour en extraire la pièce réalisée. On fabriquera donc autant de moules que de pièces à produire. Le métal en fusion est coulé à travers le trou du système de coulée, en traversant les canaux jusqu'au remplissage de l'empreinte. Après refroidissement et solidification, la pièce est sortie pour subir les différentes opérations de finition.



Fig. I.45. Moulage en sable.

b) Moulage métallique (Moulage permanent)

Le moule métallique est réutilisable plusieurs fois. Le démoulage est rendu possible par la différence de matière entre le moule et le métal coulé.

En matière de fonderie à couler en moule permanent, un moule réutilisable est fabriqué à partir de métal, généralement de la fonte grise. Il est construit à partir de deux ou plusieurs pièces et doté d'une charnière pour pouvoir extraire le moulage du moule. Le métal liquide est versé dans le moule par simple gravité. La fonderie en moule permanent est utilisée pour produire des moulages à partir d'alliages d'aluminium, de magnésium et de cuivre. Les pièces

d'acier et de fer peuvent être coulées dans des moules en graphite. Le terme de fonderie en moule permanent et de coulée en coquille sont souvent employés pour désigner le même procédé.

c) Moulage par gravité

La pression est nulle, le matériau liquide est introduit par le haut et rempli le moule par gravité. L'état de surface ($R_a \approx 1,6 \mu\text{m}$) et la précision obtenus sont moyens. Cette technique, dont l'outillage est moins coûteux que les suivantes, est adaptée pour les petites séries.

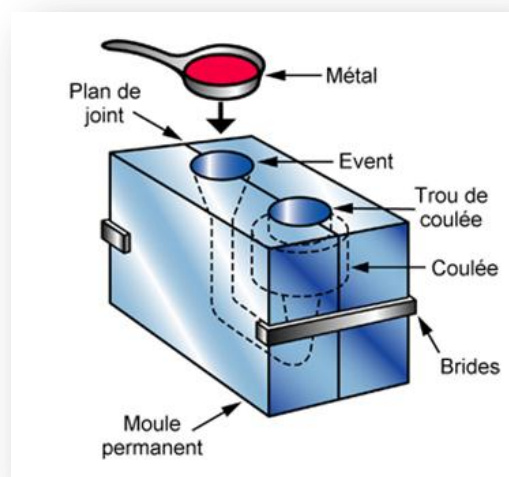


Fig. I.46. Moulage par gravité.

d) Moulage à basse pression

La pression est faible (0,2 à 2 bars), le matériau liquide est introduit par le bas. Le procédé est semi-automatique, et souvent considéré comme une amélioration du moulage par gravité. Le coût de l'outillage est plus élevé, les cadences sont plus importantes, et l'état de surface et la précision sont meilleurs. Cette technique est adaptée pour les petites ou grandes séries.

e) Moulage sous pression (ou moulage par injection)

La pression d'injection du matériau liquide est importante (entre 50 et 200 bars). Ce procédé est souvent automatisé et permet de grandes cadences de production (jusqu'à 500 pièces / heure). Le coût de l'outillage est très élevé. L'état de surface et la précision des pièces obtenues sont bons. Cette technique est adaptée pour les très grandes séries.

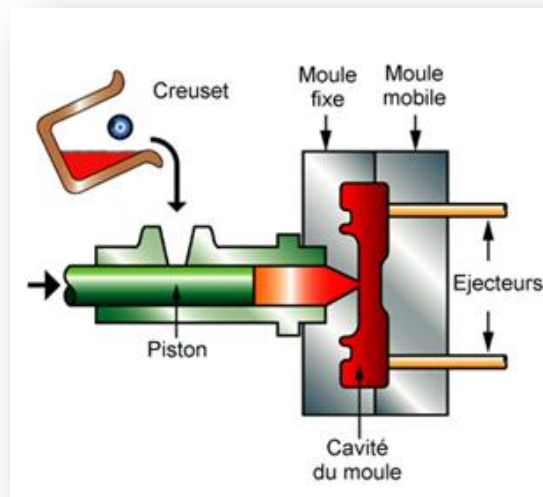


Fig. I.47. Moulage sous pression.

I.2.3.3. Avantages de ce procédé

- composants près des côtes ;
- meilleure de la surface ;
- propriétés mécaniques améliorées ;
- les produits finis ne présenteront pas de détails fins.

I.2.4. Obtention par assemblage

I.2.4.1. Soudage

On appelle soudage les procédés d'assemblages permanents et non-démontables qui créent une continuité de matière entre les pièces assemblées.

Exemples d'application :

- mécano-soudage : assemblage de formes simples soudées entre elles pour réaliser une pièce de forme complexe ;
- assemblage avec continuité électrique, ou étanchéité...

Le soudage occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie et du bâtiment, car il permet d'adapter au mieux les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service. Le soudage est une opération qui consiste à assurer la liaison permanente de deux ou plusieurs parties constitutives de nature identique ou différente, soit par chauffage, soit par pression, soit par l'action simultanée des deux, de la chaleur et de la pression. Le soudage peut être effectué avec ou sans métal d'apport.

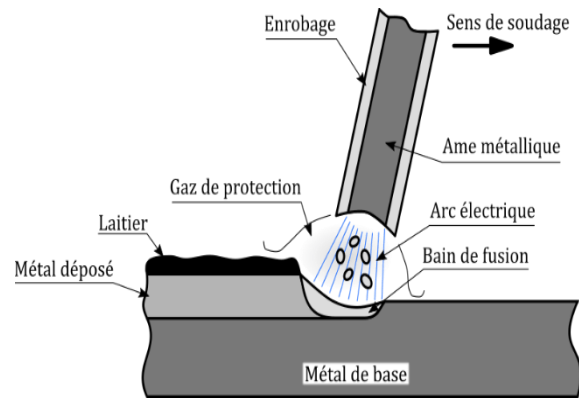


Fig. I.48. Schéma d'assemblage par soudage.

I.2.4.2. Rivetage

Le rivetage est un assemblage de pièces à l'aide de rivets. C'est un assemblage définitif, c'est-à-dire non démontable sans destruction de l'attache (Fig. I.49). Quoiqu'il existe depuis peu un type de rivet imprimant une empreinte hélicoïdale, lors du montage, dans son logement, permettant ainsi un démontage et un remontage ultérieur sans destruction du rivet.

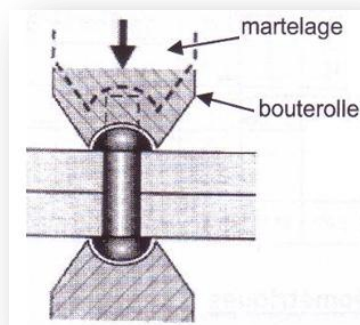


Fig. I.49. Schéma d'assemblage par rivets.

I.2.4.2.1. Types de rivets

Il existe plusieurs types de rivets :

- Rivets dits « standards » sont des rivets qu'il faut monter à chaud ou à froid des 2 côtés des pièces à assembler. Ils sont généralement en acier, cuivre ou aluminium et peuvent avoir une tête plate, bombée, fraisée, etc... selon l'utilisation que l'on souhaite en faire. Les rivets pleins et les rivets semi-forés sont les deux grands types de rivets standards.
- Rivets doubles ont 2 éléments, chacun avec une tête. Leur assemblage se fait en enfilant la tige du premier dans le creux de la tige de l'autre.

- Rivets aveugles sont souvent constitués d'un corps creux et d'une tige dont l'extrémité, appelée clou a un diamètre plus petit. Avec l'aide d'une pince à riveter, il faut tirer sur la tige pour que le clou entre dans le corps du rivet. Enfin, la tige se casse d'elle-même, ce qui fixe le rivet définitivement. Ils s'utilisent par exemple lorsque les pièces à riveter ne sont accessibles que d'un côté. Ils existent en version étanche (le corps n'est pas creux sur toute sa longueur, mais uniquement d'un côté).

I.2.4.2. Avantages

Les avantages du rivetage par rapport aux autres types d'assemblages sont :

- il n'y a pas de risque de changement de structure de matériau (trempe) comme dans le cas du soudage ;
- il n'y a pas de retrait ;
- assemblages rivetés sont faciles et sûrs à contrôler et aussi faciles et peu coûteux à réaliser sur chantier, l'assemblage peut être démonté, si besoin, en ôtant les têtes (en détruisant le rivet).

I.2.4.3. Collage

On peut définir le collage comme le procédé permettant de maintenir de façon durable et solide deux substrats entre eux. La liaison entre ces deux supports est alors d'origine chimique, et non mécanique. La colle est déposée sur le ou les substrats, Mais pour obtenir de bonnes performances, la colle doit être compatible avec le support. L'adhésion sur un solide fait ainsi intervenir deux notions principales (Fig. I.50):

- l'interaction liquide solide, qui caractérise l'adhésion ;
- le mouillage, qui caractérise l'étalement du liquide sur le solide.



Fig. I.50. Assemblage par collage.

I.3. Partie II – Méthodes non -conventionnelles (avancées)

L'usinage par enlèvement de matière à l'outil coupant est un des plus vieux procédés de mise en forme. Les tribus primitives utilisaient déjà ce procédé pour fabriquer les outils de chasse et depuis, ce procédé n'a jamais cessé de se développer.

Les dernières décennies (années 80 et 90) ont connu un niveau d'activités sans précédent par des avancées dans les connaissances scientifiques fondamentales et par le développement de nouveaux procédés d'usinage. Pour améliorer l'usinabilité des matériaux métalliques réputés difficiles et/ou durs à usiner, de nouveaux procédés d'usinage avec assistance ont été développés.

I.3.1. Usinage par électroérosion

I.3.1.1.Principe

L'usinage par électroérosion est une technique procédant par enlèvement de la matière grâce à une succession de décharges électriques, avec outil de forme ou outil d'enveloppe. La pièce est reliée à l'anode et l'outil à la cathode (Fig. I.51). Le générateur à impulsion fournit des décharges électriques de température 3000 à 5000°C qui provoquent l'érosion de l'empreinte à réaliser sur la pièce. La durée et la tension des décharges sont fonction du matériau de la pièce et de la précision demandée.

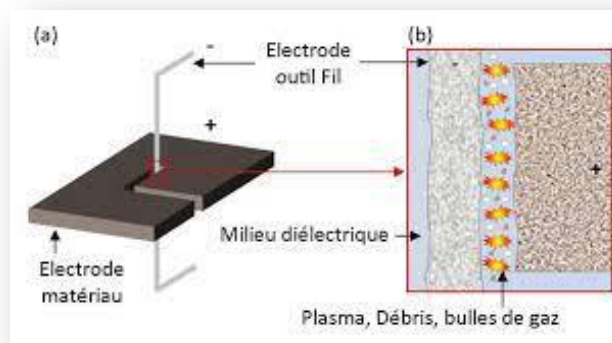


Fig. I.51. Principe de l'électroérosion.

I.3.1.2. Exemples d'application

Ce procédé permet l'usinage de matériaux trempés et durs impossibles à usiner avec les procédés par enlèvement de copeaux :

- matrices d'outillages de presse ;
- moules métalliques ;
- Estampages ;
- profilages d'outils de forme en carbure ;

I.3.2. Usinage assisté jet d'eau haute pression

Le tournage assisté jet d'eau haute pression est l'une des méthodes permettant d'améliorer la productivité. Diverses recherches ont démontré que l'application d'un jet haute pression au niveau de l'interface outil-copeau permet de contrôler et d'améliorer la fragmentation des copeaux. Avec ce procédé, il ne s'agit plus de noyer la zone de coupe avec un lubrifiant, mais de viser une zone précise et parfaitement définie (Fig. I.52), en intégrant une gestion optimale des nombreux paramètres mis en jeu. En effet, viser l'interface outil-copeau va permettre de créer un coin hydraulique entre le copeau et la plaquette. Cela augmente nettement la durée de vie de l'outil, améliore la fragmentation des copeaux, diminue les efforts de coupe et les contraintes résiduelles en surface.



Fig. I.52. Principe de jet d'eau.

I.3.3. Usinage assisté Laser

L'usinage assisté laser a vu le jour durant les années 80. Il consiste à chauffer d'une façon localisée la matière avec un spot laser (densité de puissance très importante) et utiliser en parallèle un outil de coupe pour usiner la matière. Ainsi, le laser est utilisé comme une source thermique servant à diminuer les caractéristiques du matériau à usiner juste avant la coupe et faciliter ainsi l'usinage à l'aide d'un outil coupant. L'usinage assisté laser peut être considéré comme étant un procédé alternatif pour l'usinage des matériaux durs (alliage de titane, acier à roulement, céramiques, etc...). L'effet du laser sur la coupe a été étudié par Germain. Des essais de chariotage avec et sans assistance laser ont été menés sur un acier à roulement 100Cr6 durci à 57 HRC. Après une comparaison avec les résultats obtenus en usinage classique, il montre que l'assistance laser permet de diminuer :

- les efforts de coupe de 30 à 50 % ;
- les contraintes résiduelles en surface jusqu'à 70 % ;
- la profondeur affectée par les contraintes résiduelles jusqu'à 70 %.

I.3.4. Usinage à Grande Vitesse UGV**I.3.4.1. Définition**

L'usinage à Grande Vitesse, aussi appelé UGV, est une opération d'enlèvement de matière à des vitesses de coupe élevées à ceux utilisés en usinage conventionnel, ces grandes vitesses engendrant un phénomène de coupe spécifique permettant des gains de qualité et de productivité. L'augmentation de la V_c améliore la qualité la productivité. Il s'effectue sur des centres d'usinage multiaxes à commande numérique. La forme finale est obtenue par enlèvement de matière (usinage) avec différents outils, et souvent plusieurs mises en position de la pièce.

I.3.4.2. Avantages

Globalement, l'UGV apporte :

- l'obtention d'un excellent état de surface de l'ébauche jusqu'à la finition (souvent sur une même machine) ce qui permet une réduction du temps de polissage de finition ;
- une précision dimensionnelle plus ;
- une meilleure qualité des pièces usinées en termes d'intégrité de surface
- une réduction des efforts d'usinage ;
- l'usinage de matériaux très durs, difficilement usinés auparavant ;
- l'usinage de formes complexes et de parois minces ;
- l'obtention de copeaux fragmentés, plus simples à évacuer ;
- une réduction des délais de fabrication qui se traduit par une augmentation de la productivité ;
- réduction des coûts de production.

I.3.5. Usinage assisté par ultrasons

Ce procédé a été mis en place pour améliorer l'écoulement du copeau par la vibration de l'outil sur la pièce. Ce dernier est excité suivant les directions d'avance, de coupe et de profondeur de passe avec une puissance et amplitude bien définies (environ 15 kHz et 10 μm respectivement). Dans le cas de l'usinage des matériaux ductiles, l'assistance ultrasonore augmente la température de la zone de coupe d'environ 50%.

De plus, ce procédé permet d'améliorer les états de surfaces usinées d'environ 30%.

I.3.6. Usinage photochimique

L'usinage chimique est une technologie qui permet d'obtenir des pièces découpées et/ou gravées, très précises et sans bavure, dans du métal. La découpe photochimique présente avantages considérables comparé aux autres technologies présentes sur les marchés tels que la découpe mécanique, l'étampage, l'électroérosion à fil ou la découpe laser. Les deux éléments principaux du procédé d'usinage photochimique sont les solutions d'attaques chimiques et les résines photosensibles (Fig. I.53).

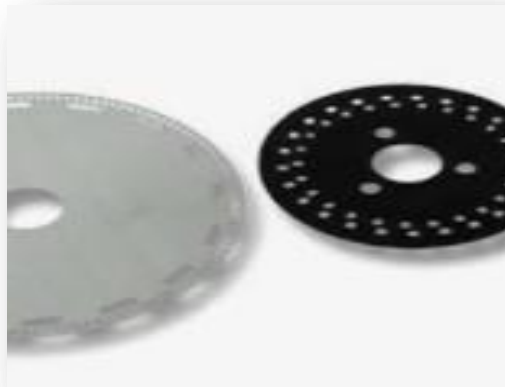


Fig. I.53. Pièces réalisées par usinage photochimique.

I.3.6.1. Principe

Les deux éléments principaux du procédé d'usinage photochimique sont les solutions d'attaques chimiques et les résines photosensibles (ou photorésist). De manière simplifiée, cette méthode de fabrication peut être décomposée en quatre phases :

- la préparation de surface qui consiste à optimiser la surface du matériel afin d'obtenir la meilleure adhérence avec le photorésist ;
- l'opération de photolithographie ;
- la phase de gravure chimique ;
- le stripage qui consiste à retirer le photorésist et assurer le nettoyage final des pièces.

I.3.6.2. Avantages de l'usinage photochimique

- pratiquement tous les métaux peuvent être usinés ;
- pas de bavure ;
- haute précision ;
- pas de modification des propriétés physiques du matériel de base ;
- possibilité de géométrie très complexe ;

- le procédé peut être utilisé pour des feuilles de métal allant de 0.01mm à 2mm ;
- réalisation de pièces en vrac (sans attache) ;
- réalisation de l'outillage rapide et peu coûteux ;
- découpe et gravure en un seul procédé.

I.3.7. Frittage**I.3.7.1. Principe**

Une poudre (ou un mélange de poudre), généralement métallique, est comprimée dans un moule, puis chauffée dans un four à vide (ou à atmosphère contrôlée) à une température inférieure à la température de fusion du principal constituant.



Fig. I.54. Divers pièces frittées.

I.3.7.2. Avantages

- faible prix de revient pour de grandes séries de pièces complexes, précises et saines, qui peuvent être utilisées à l'état brut ;
- la porosité naturelle des pièces frittées permet la fabrication de filtres et de coussinets autolubrifiants ;
- autorise l'obtention de nouveaux alliages (encore appelés dans ce cas « pseudoalliages »).

I.3.7.3. Inconvénients

- la porosité naturelle peut devenir un inconvénient dans le cas de problèmes d'étanchéité par exemple ;
- le principe de la compression conduit à des pièces non homogènes (porosité plus élevée au milieu), et dont les qualités de résistance mécanique sont faibles pour les métaux frittés.

I.3.8. Impression 3D

Cette technique permet de produire un objet réel à partir d'un fichier CAO en le découpant en tranches puis en déposant de la matière couche par couche pour, en fin de compte, obtenir la pièce terminée. Le principe est donc assez proche de celui d'une imprimante 2D classique : les buses utilisées, qui déposent de la résine (ou du plastique, ou du métal), sont d'ailleurs identiques aux imprimantes de bureau. C'est l'empilement de ces couches qui crée un volume. Un matériau support est aussi utilisé afin de pouvoir obtenir n'importe quelle forme volumique. Le matériau support est ensuite dissout dans un bain de dissolvant.



Fig. I.55. Impression 3D.

Chapitre II :
Etude et conception de broche
Cylindrique .

II.1. Introduction

L'usinage par enlèvement de matière consiste à réduire progressivement les dimensions et le poids de la pièce par enlèvement du métal à froid et sans déformation en utilisant un outil. Ce chapitre divisé en deux parties. Dans la 1^{er} nous présentons généralité sur l'outil broche cylindrique et le procédé de brochage, suivi d'une partie de conception assisté par ordinateur, on en à parler sur le logiciel de CAO utilisé SOLIDWORKS et nous avons montré les différentes étapes de conception de notre broche cylindrique.

II.2. Etude bibliographique

II.2.1. Broche cylindrique

II.2.1. 1. Définition

Une broche est une pièce en acier munie d'une série de dents dont la section correspond au profil à exécuter. La longueur de la broche est définie par le nombre de dents, lui-même défini par la quantité de matière à enlever. En général, chaque dent doit enlever une épaisseur de métal variant de 0,03 à ,01 mm suivant la forme et la section. La dent d'une broche a sensiblement la forme d'une dent de fraise. Les arêtes tranchantes sont, le plus souvent, normales au sens de coupe, mais elles peuvent être obliques (20° pour la fonte et 30° pour l'acier) et demandent un guidage latéral de la broche ou de son support. Lorsque la largeur de la broche est importante, des encoches « brise copeau » sont pratiquées dans le taillant afin de réduire l'effort de coupe et faciliter le dégagement des copeaux.

Une broche réalise consécutivement les opérations :

- d'ébauche où les premières dents sont prévues pour tailler des copeaux importants ;
- demi-finition, où les sur 5 ou 6 dents taillent un copeau plus mince ;
- finition, là les dents ne doivent en principe ne fournir aucun copeau et ne servent que pour calibrer et offrir la possibilité d'un raffûtage.

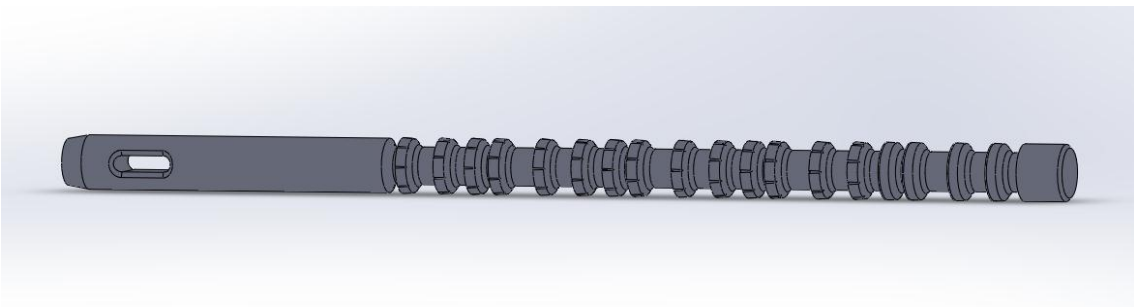


Fig. II.1. Broche cylindrique.

II.2.1. 2. Dent de broche

Chaque dent, décalée de la précédente d'une quantité égale à l'épaisseur du copeau, participe à l'usinage. L'ensemble des dents forme la denture qui est partagée en denture d'ébauche, denture de demi - finition et denture de finition. Les dents de la denture d'ébauche assurent la forme du profil broché ; les dents de la denture de semi - finition amènent le profil près de la cote désirée ; les dents de la denture de finition assurent le calibrage. En général, les trois ou quatre dernières dents (denture de finition) sont rigoureusement aux mêmes cotes afin de constituer des dents de réserve et pouvoir ainsi usiner un plus grand nombre de pièces après affûtages. Les dents sont taillées dans le corps de la broche ou rapportées (fixes ou démontables). La denture de la broche est définie par sa progression (différence de hauteur deux dents consécutives), le pas de la denture (distance entre deux dents consécutives), le nombre total de dents et les éléments des dents (profils et angles de coupe). Un problème important dans le brochage est le logement des copeaux (la section des copeaux étant déterminée une fois pour toutes, il n'est plus possible de modifier l'avance). Le passage d'une seule broche est généralement suffisant pour usiner la surface ou le profil souhaité.

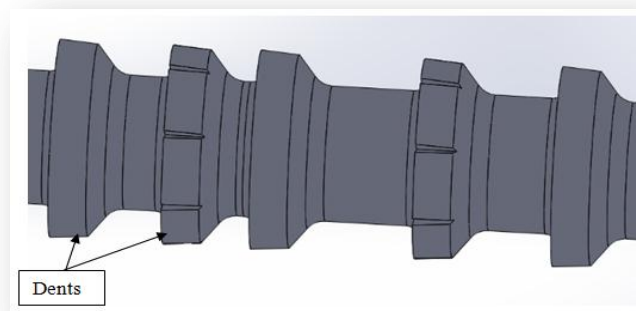


Fig. II.2. Dents d'outil broche cylindrique.

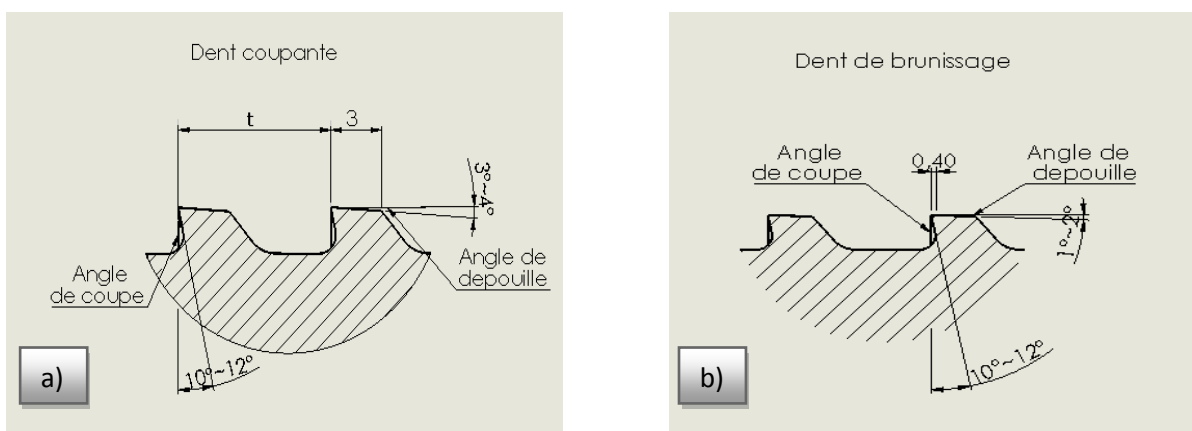


Fig. II.3. Schémas de dents de broche : a) dent coupante ; b) dent de brunissage

II.2.1. 3. Brise-copeaux

En usinage, le brise-copeaux désigne généralement une cavité générée sur la face de coupe d'un outil (fraise, outil de tour, etc.) visant à favoriser la fragmentation du copeau en exerçant sur celui-ci une contrainte excessive. Le brise-copeaux de brochage est différent, il désigne une encoche réalisée au niveau de l'arête de coupe et permettant de sectionner un copeau trop large en plusieurs petits copeaux de largeur moindre. Cette largeur est généralement limitée à 5 mm. L'objectif est de faciliter sa formation et son évacuation. En d'autres termes, le brise-copeaux de tournage permet de réduire la longueur du copeau, alors qu'en brochage il permet de réduire sa largeur. Trois solutions sont couramment utilisées pour des considérations techniques et économiques, les brise-copeaux plats, en encoches, et en V. Les brise-copeaux en V présentent des caractéristiques intermédiaires. Ils sont usinés par une meule de forme, et permettent également de générer un angle de dépouille sur le flanc du brise-copeau. Les brise-copeaux en V permettent la réalisation d'angles de pointe moins vifs que ceux obtenus avec les copeaux en encoches.

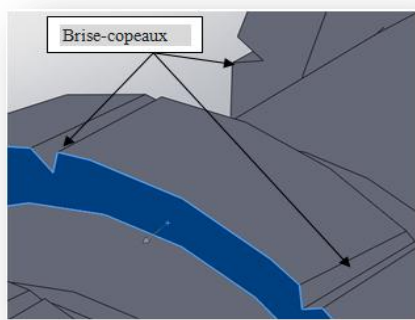


Fig. II.4. Brise-copeaux.

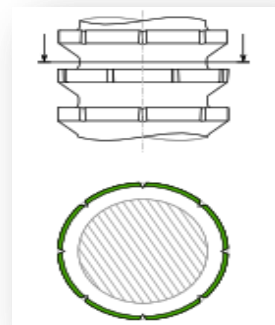


Fig. II.5. Schémas de brise-copeaux.

II.2.1. 4. Matériaux de broche

Dans la plupart des cas, l'outil broche a été réalisé en acier rapide (HSS pour High Speed Steel). Si de très nombreuses formulations d'acier rapide étaient utilisées au début de l'utilisation industrielle du brochage, un effort de standardisation a été effectué menant finalement à l'utilisation d'une quantité limitée d'aciers rapides particulièrement qualifiés pour la mise en œuvre de ce procédé. Notons également l'utilisation marginale d'aciers fortement alliés et fortement chargés en chrome dans certains cas d'applications spécifiques. L'utilisation d'outils carbure peut par ailleurs présenter certains avantages, notamment en termes de diminution d'usure en dépouille secondaire VB (selon les critères d'évaluation dans la norme NF ISO 3685), bien que la fragilité augmente de ces ne limite leur utilisation dans le domaine

du brochage. Les aciers rapides sont des aciers fortement alliés contenant toujours environ 4% de chrome, plus de 0,7% de carbone, du tungstène, du molybdène, du vanadium et du cobalt. Même si certains de ces aciers sont connus depuis 1868 (aciers Muschet), leur amélioration a été rendue possible par Taylor et White en 1900 au travers de la découverte d'un traitement thermique spécial. Celui-ci consiste en une chauffe lente jusqu'à 850 ° C, puis rapide jusqu'à 1250 ° C environ (proche de la température de fusion) suivi d'une trempe. Par la suite un ou plusieurs revenus sont réalisés, on distingue notamment la réalisation du revenu dit de durcissement secondaire à des températures comprend entre 600 et 675 ° C, et permet la précipitation du carbone sous la forme de carbures de chrome (CrCa molybdène (Mo, C) ou de vanadium (V, C3) (Murry, 2016). La présence de ces carbures inclus au sein d'une structure martensitique enrichie en chrome influence la dureté et la résistance de ces matériaux (Debondie, 2006). Grâce à ces traitements, les aciers rapides conservent une dureté de 60 à 70 HRC jusqu'à une température d'environ 600 ° C, tout en conservant une résistance à la flexion remarquable (de l'ordre de 3600 MPa), ce qui en fait des matériaux très adaptés à la réalisation d'outils longs comme les broches.

II.2.1. 5. Angles de broche

L'angle de coupe γ utilisé en brochage est généralement très positif (de l'ordre de 20°), la valeur d'angle de dépouille α est en revanche très limitée, de l'ordre de 1 à 2°. Ceci s'explique principalement par la combinaison d'une faible épaisseur de copeaux et de l'utilisation d'acier rapide pour la fabrication de la plupart des broches. Plusieurs documents traitent du choix des angles de coupe, en fonction principalement du type d'opération et du matériau à brocher. La réalisation de tels abaques s'appuie essentiellement sur le retour d'expérience lié à l'utilisation des outils, et sur l'observation qui en résulte (forme du copeau, état de surface, éventuellement effort de coupe). Tableau II.1 : Aide au choix des angles de coupe et de dépouille en brochage (Manuel Forst, Bellais (1997)) .Nuel Forst, Bellais (1997)); un affinement de ces valeurs en fonction des conditions réelles de brochage pourra être réalisé. Les angles de coupe et de dépouille sont largement maîtrisés et aisément modifiables en brochage. L'angle de dépouille sur flanc α_{ie} est quant à lui plus délicat à générer, et offre moins de libertés lors de sa réalisation.

| Matière | Limite élastique | Angle de Coupe γ (°) | Angle de Dépouille α (°) |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Aciers | $R \leq 400 \leq \text{MPa}$ | 18- 25 | 2-4 |
| | $400 < R \leq 700 \leq \text{MPa}$ | 15-22 | 2-3 |
| | $700 < R \leq 1200 \text{ MPa}$ | 15-20 | 2-3 |
| Fontes | ---- | 8-25 | 2 |
| Alliages d'aluminium | ---- | 12-25 | 1-4 |

Tableau II.1. Angles de coupe et dépouille selon le matériau.

II.2.1. 6. Attelage de broche

Il existe quatre types génériques de systèmes d'attelage de broche, dont l'utilisation dépend de la dimension de la broche ou du niveau d'automatisation de l'opération.

On distingue ainsi les attelages:

- **à gorge:** système le plus répandu, la broche se bloque automatiquement dans la tête de traction. Celles-ci peuvent comporter un méplat permettant leur indexation, comme représenté sur la Fig. II.6;
- **à cran:** également très répandu, leur utilisation est analogue aux attelages à gorges;
- **à goupille ou clavette:** utilisé pour des broches de petites dimensions (DB 12 mm), pour des broches respectivement cylindriques et non cylindriques;
- **à lumière:** pour des broches dont le diamètre n'excède pas 63 mm.

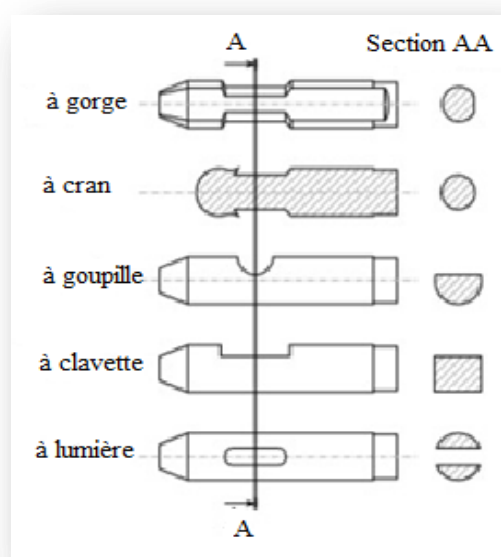


Fig. II.6. Systèmes d'attelage de broche.

II.2.1. 7. Réaffûtage de broche

Une broche est un outil complexe et pouvant s'avérer très coûteux. Afin d'optimiser leurs cycles d'utilisation, leur conception initiale prévoit la possibilité de les réaffûter généralement entre 3 et 5 fois. Une broche peut ainsi parvenir à réaliser plus de 3000

brochages par affûtage, soit un total de 15000 cycles par broche. Après un certain nombre de cycles, les arêtes de coupe s'usent, entraînant une dégradation de l'état de surface généré. Cela a également une influence sur les efforts de rupture. On estime toujours que l'affûtage est nécessaire lorsque l'effet de l'effort de coupe sur l'ensemble de la b sur la face de coupe. Cela consiste à faire reculer cette dernière afin de supprimer les traces d'usure en dépouille et d'utiliser une arête dotée d'une acuité optimale. Il arrive que l'affûtage soit réalisé sur la face de dépouille dans certaines applications particulière. Lors du réaffûtage de la face de coupe d'une dent de brochage, la hauteur de dent diminue mécaniquement à cause de l'angle de dépouille. Cette diminution de la hauteur des dents est généralement compensée par la duplication en fin de brochage de dents comportant les mêmes dimensions (dents de réserve).

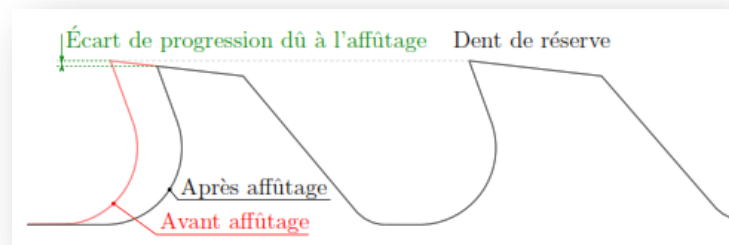


Fig. II.7. Schéma expliqué réaffûtage de broche.

II.2.1. 8. Différents types d'usure de l'outillage

En fonction des conditions de coupe, l'usure peut se produire suivant la surface de dépouille, suivant la surface d'attaque ou suivant les deux surfaces en même temps.

- **Usure en dépouille**

Elle est due au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil et provoque une bande striée parallèle à l'arête de coupe (Fig. II.8). Elle influe sur l'état de surface de la pièce usinée et sur la précision dimensionnelle de l'usinage car elle modifie la position de l'arête de coupe. C'est un critère général pour la tenue d'outil, caractérisée par une valeur d'usure admissible VB. Les valeurs indiquées se rapportent généralement à une tenue d'outil (Durée de vie $T=15$ min). VB critique = 0,6 mm en ébauche et 0,3 mm en finition. Cela est dû à une vitesse de coupe excessive ou à une mauvaise position angulaire de l'outil (face de coupe / pièce).

- **Mesures correctives**

- Choisir une nuance présentant une meilleure résistance à l'usure.
- Réduire la vitesse de coupe.

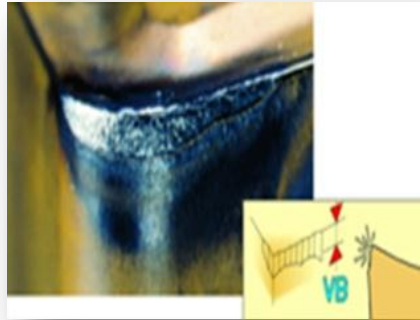


Fig. II.8. Usure en dépouille (abrasion).

- **Usure en cratère**

C'est une usure en creux sur la face de coupe, caractérisée par la profondeur de cratérisation (indice K_T). Lors de l'usinage, la température élevée à l'interface copeau-outil et les pressions de contact entre le copeau et l'outil, provoquent une diffusion importante (réaction chimique) de la matière de l'outil vers le copeau par processus d'adhésion (Fig. II.9).



Fig. II.9. Usure en cratère (chimique).

L'usure est souvent constatée sur les outils carbures, elle provoque généralement la rupture de la pointe de l'outil. Généralement l'usure due à une vitesse de coupe excessive ou à une avance trop faible.

- ✦ **Mesures correctives**

- Utiliser des nuances de métal dur revêtu ;
- Choisir des plaquettes à géométrie positive ;
- Réduire la vitesse de coupe ou augmenter l'avance.

III.2.2. Procédé de brochage

III.2.2.1. Définition

Le brochage est un procédé d'usinage fondé sur l'utilisation d'un outil broche monté sur une brocheuse.

Est un procédé d'usinage prenant origine dans les années 1860 aux États-Unis, utilisé pour la réalisation de rainures de clavettes de poulies sur les engrais. Les premières opérations de brochage ont été réalisées, réalisent l'amélioration de l'outil broche dans la pièce par l'application répétée de coups de marteau sur l'outil. Le terme « brochage » apparaît pour la première fois en 1873 lors du dépôt de brevet d'Anson P. Stephens au sujet d'un projet d'amélioration de machine à brèche (Stephens, 1873). C'est entre 1895 et 1902 que le canadien Francis J. Lapointe utilise pour la première fois ce procédé industriellement, au moyen d'une brocheuse horizontale par mécanisme vis / écrou dont il dépose le brevet en 1914 (Lapointe, 1914), système qu'il s'améliore en 1920 (Lapointe, 1920). En 1921, la société Oilgear Co. met en vente la première brocheuse à traction hydraulique. Le brochage consiste en un usinage de surfaces intérieures et extérieures par mouvement de coupe rectiligne, auquel peut être associé un mouvement de rotation dans le cas du brochage hélicoïdal. Les mécanismes de coupe mis en œuvre au cours d'une opération de brochage sont très similaires à ceux engendrés par une opération de mortaisage à la différence près que l'ensemble utilisé se compose de plusieurs dents successives et étagées.

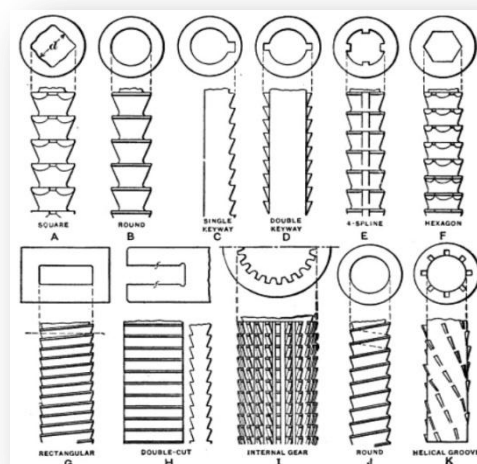


Fig. II.10. Quelques formes de brochage.

III.2.2. 2. Principe

Le brochage est un procédé qui usine, en un temps très court, des surfaces intérieures ou extérieures par un mouvement de coupe rectiligne à l'aide d'un outil à dents multiples appelé broche. Les surfaces intérieures peuvent être à directrices rectilignes ou hélicoïdales. Le procédé ne s'applique qu'aux surfaces débouchant. Le coût des broches étant très élevé, ce procédé ne s'applique économiquement qu'aux moyennes et grandes séries. Pour les profils courants (rainures de clavetage), le brochage de petites séries peut être rentable. Le procédé

permet de réaliser facilement des profils considérés comme in usinables, par les procédés classiques.

III.2.2. 3. Opérations de brochage

On distingue deux opérations de brochages : le brochage intérieur et le brochage extérieur. Le cas le plus fréquent est le brochage de surfaces intérieures à directrices rectilignes (alésage, rainure de clavetage, moyen cannelé, emmanchement carré, hexagonal, etc.). La section maximale de la broche correspond à celle de l'ajoure à réaliser.

L'opération de brochage doit se faire à un endroit convenablement déterminé de la gamme des opérations d'usinage. En brochage intérieur par exemple, il n'est en général pas exécuté en premier (l'alésage à brocher doit avoir été bien préparé - diamètre ni trop petit, ni trop grand ; la face d'appui de la pièce doit être perpendiculaire l'axe nominal de l'alésage), ni en dernier (le fraisage d'une denture suivra le brochage d'une cannelure, la cannelure brochée sert de centrage pour l'opération d'alésage).

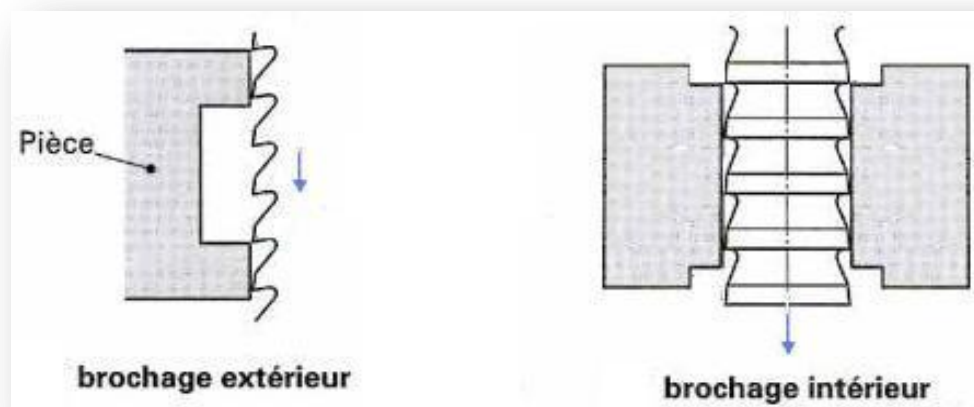


Fig. II.11. Brochage extérieur et brochage intérieur.

III.2.2.4. Paramètres procédé

❑ Vitesse de coupe

Les vitesses de coupe utilisées actuellement en brochage sont extrêmement faibles, de l'ordre de 5 m / min. En effet, la forte productivité de ce procédé est davantage issue des aires de coupe importantes que des vitesses de coupe. Historiquement, les efforts de coupe étant conséquents, les machines de brochage hydrauliques étaient privilégiées, les vitesses de coupe permises par ces machines dépassant rarement 10 m / min. Actuellement des machines de brochage à commandes électromagnétiques permettent d'atteindre ces vitesses, facilitant le développement de l'utilisation d'outils en carbure.

| | | Outil ARS | Outil Carbure |
|----------------------|---|------------|---------------|
| Aciers | 400 < R ≤ 700 MPa 700 < R ≤ 1100 MPa | 10-24 8 | 12-24 |
| Fontes | | 8 | 30-34 |
| Alliages d'aluminium | | 10-40 | 25-30 |

Tableau II.2. Vitesses de coupe en brochage V_C (valeurs en m/min).

□ Lubrification

Le mode de lubrification a une influence directe sur l'état de surface ainsi que sur l'utilisation de l'outil. Le lubrifiant joue 5 grands rôles en usinage :

- il permet de réduire le coefficient de frottement entre l'outil et la matière. La formation du copeau peut ainsi être facilitée, bénéficiant du flux de chaleur généré à l'interface.
- les additifs présents dans l'huile permettent de limiter les affinités chimiques entre l'outil et la matière. Ceci peut réduire les phénomènes de microsoudure et fait les risques d'apparition d'arête rapportée.
- la surface fraîchement usinée est très sujette à l'apparition de la corrosion, l'huile de coupe peut limiter les réactions chimiques intervenant en surface du matériau broché.
- en plus d'avoir un effet sur la source même de chaleur, le lubrifiant permet d'évacuer une partie de la chaleur intergénérée. Le choix du lubrifiant (huile, émulsion, azote liquide, etc.) ainsi que sa méthode d'application peuvent modifier de manière significative les températures au niveau de l'arête de coupe.
- le dernier point particulièrement utile en brochage concerne l'évacuation des côtes. La zone de coupe étant inaccessible en cours de brochage, un flux très important d'huile de coupe est généralement appliqué sur les broches avant et après le brochage afin d'évacuer les copeaux.

Concernant ce dernier point, l'utilisation de jets d'huiles sous haute pression offre des résultats probants concernant l'évacuation des copeaux, mais peut être à l'origine de l'apparition de brouillards d'huile rédhibitoires d'un point de vue sanitaire en l'absence de carénages adaptés. L'utilisation de brosses peut également être requise afin d'améliorer encore davantage l'évacuation des copeaux. Il s'agira alors de trouver un compromis entre l'efficacité d'évacuation et l'usure des broches et des brosses.

III.2.2. 5. Machines de brochage

Le choix de la machine de brochage est très dépendant de l'opération réalisée. Selon les dimensions des pièces à brocher, des outils broches ou encore du type de brochage (intérieur ou extérieur), des conceptions de brocheuses différentes seront privilégiées. La normalisation allemande propose une classification des machines de brochage.

❑ Brocheuses horizontales

Dans l'automobile, ces machines sont particulièrement mises en œuvre pour le brochage extérieur de pièces de petites dimensions. Équipées de broches fixes, elles sont approuvées en continu au moyen de porte-pièces fixées sur chaînes, les pièces sont mises en mouvement et passent au travers d'un tunnel de brochage. Ce type de conception permet d'obtenir une productivité record, mais la qualité obtenue peut s'avérer aléatoire au vu du manque de rigidité du montage des pièces.

Le brochage horizontal peut également être utilisé avec des broches mobiles. Il s'agira alors le plus souvent de brochage intérieur de pièces de grandes dimensions ou de conceptions dédiées à des applications spécifiques (fig. II.12).

❑ Brocheuses verticales

Beaucoup utilisées en brochage intérieur, les brocheuses verticales permettent de réduire l'espace nécessaire à l'implantation d'un poste de brochage, en facilitant également l'accès à toutes les zones de la machine par les opérateurs. Afin de permettre l'automatisation de l'opération de brochage, un chariot mobile équipé d'une tête de relevage est installé afin de remettre en position initiale l'outil après brochage. Ceci permet également de limiter l'affichage des phénomènes de fouettement au cours de la coupe. Ce chariot mobile peut également appliquer un effort porté au sens de brochage, permettant de mettre en tension la broche, ce qui peut améliorer la qualité des surfaces générées (Fig. II.13.).



Fig. II.12. Brocheuse horizontale.



Fig. II.13. Brocheuse verticale.

III.2.2.6. Domaines d'application

L'utilisation du brochage est généralement envisagée dans deux cas de Fig. s. Il offre tout d'abord l'une des meilleures productivités observées en usinage, et s'adapte donc parfaitement à la production de pièces en grandes voire moyennes séries. Il est généralement plus rentable que des opérations d'alésage ou de fraisage, et affiche des temps d'exécution de 3 à 4 fois inférieurs ceux engendrés par ces procédures. S'il permet un débit copeau très élevé, il permet par ailleurs de générer des surfaces d'une grande précision, avec des qualités dimensionnelles ISO variant de 7 à 9, et des rugosités arithmétiques s'étendant sur une plage de 3.2 à 0.4 μm . La génération de ces surfaces étant réalisée en une seule passe, chaque broche comporte à la fois des dents dédiées à l'ébauche, la semi-finition et la finition. La cinématique de coupe est généralement triviale, le brochage nécessite donc l'utilisation de machines de conception assez simples dont la mise en fonctionnement est généralement simple. Ce procédé induit en revanche des efforts de coupe conséquents étant donné une aire de coupe importante et le travail simultané de plusieurs sections de coupe. Par ailleurs, les vitesses de coupe sont généralement très basses en brochage (la plupart du temps inférieur à 6 m / min), c'est pourquoi des machines à actionneurs hydrauliques sont généralement privilégiées.

Il en existe plusieurs types pour réaliser :

- des rainures de clavetage ;
- des cannelures internes périphériques ;
- des alésages internes ;
- des surfaces planes externes.

II.3. Conception

La croissante compétitivité existante dans le monde chaque fois plus complexe. Cela nous amène toujours à faire les choses plus rapidement et avec une plus grande valeur ajoutée. Il ne suffit pas de créer des solutions techniques répondant aux besoins des clients, mais il faut en plus que les solutions soient données avec la vitesse requise par le marché et qu'elles soient les plus performantes possible. Les machines-outils n'ont pas été exclues de cette demande. En effet, on exige d'elles une augmentation de productivité et des précisions chaque fois plus sévères. L'utilisation des outils informatiques a permis l'optimisation des structures répondant plus ou moins bien aux besoins du client. Cependant, ces besoins dépassant les capacités de réponse aux solutions techniques actuellement utilisées.

II.3.1. Conception assisté par ordinateur CAO

II.3.1.1. Définition

La conception assistée par ordinateur ou CAO (en anglais, computer aided design ou CAD) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement – à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique – et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer. La conception assistée par ordinateur est utilisée dans de nombreux domaines comme le médical, l'aéronautique, la mécanique, la chaudronnerie... pour concevoir des schémas et des plans lors de la conception d'objets.

II.3.1.2. Historique

La CAO décolle dans les années 75-90, lorsque le coût de mise en place d'un poste se rapprocha du coût annuel d'un dessinateur. La mise en place fut un peu pénible au début en raison d'une nécessité de reprendre les plans existants. On s'aperçut à cette occasion que statistiquement près de 10 % des cotations sur les plans existants étaient inexactes, que des références de plans existaient en double, qu'une référence unique pouvait correspondre à plusieurs plans légèrement différents, etc. Au bout du compte, le gain de fiabilité de l'information se révéla constituer un argument supplémentaire important décidant à généraliser la CAO.

II.3.1.3. Domaines d'application de la CAO

De nombreux domaines d'ingénierie font appel à la CAO, nous avons essayé de faire ici un résumé des plus importants domaines d'applications de la CAO pour voir l'ampleur que prend cette dernière, avec ses outils associés (DAO, FAO.....).

- Acoustique : Études sur la propagation et réflexion du bruit,...etc.
- Mécanique : La CAO revêt beaucoup de formes dans ce domaine, la conception et le dessin de pièces mécaniques, la modélisation par la méthode des éléments finis, entre autres, pour le calcul de pressions, déplacements, forces....etc.
- Automatique : Essentiellement description et simulation des systèmes continus et discrets et de processus ;
- Chimie : Conception et représentation 3D de grosses molécules comme les protéines ;
- Electronique : Conception et simulation de circuits intégrés, circuits imprimés, assemblage de cartes électroniques,...etc.
- hydraulique : Modélisation et calcul des écoulements, pressions (champ scalaire), vitesses (champ vectoriel),.....etc.

II.3.2. SOLIDWORKS

II.3.2.1. Définition

SOLIDWORKS est un logiciel propriétaire de CAO conception assistée par ordinateur 3D volumique et surfacique qui bénéficie maintenant d'une très large utilisation fonctionnant sous Windows. Ce logiciel représente un puissant et robuste outil de CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur).

II.3.2.2. Historique

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SOLIDWORKS est racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes. Parmi les plus grandes organisations utilisant SOLIDWORKS, on peut citer Franckie, Équipement d'emballage MMC, AREVA, Patek Philippe, MegaBlocs, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud, Lorenz Baumer⁴, l'Opéra de Paris⁴, Jtekt⁴, GTT⁴ et le Ministère de l'Éducation nationale français.

II.3.2.3. Fonctionnement

SOLIDWORKS est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un

même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SOLIDWORKS. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Développé par | Dassault systèmes SE |
| Première version | 21 mars 1995 |
| Écrit-en | Visual basic |
| Système d'exploitation | Microsoft Windows |
| Langues | Multilingue |
| Type | Logiciel de CAO |
| Licence | Licence de logiciel propriétaire |
| Site web | www.solidwrks.com |

Tableau II.3. Information sur le logiciel SOLIDWORKS.

II.3.3. Conception de broche cylindrique

Version utilisé pour notre conceptionestSolideWorks2019.

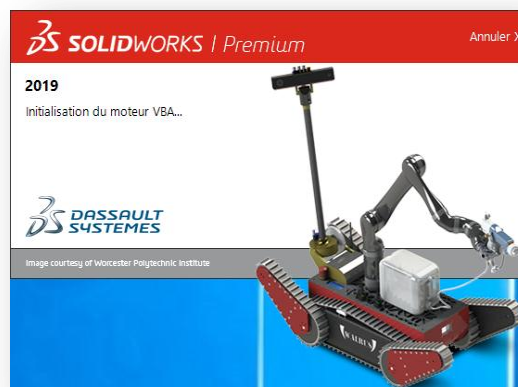



Fig. II.14. Interface SOLIDWORKS 2019.

- **Etapes de conception**

- ☐ Créer un nouveau document de pièce

- Créer une nouvelle pièce. Cliquer sur Nouveau  dans la barre d'outils standard. La boîte de dialogue Nouveau document SOLIDWORKS apparaît.
 - Cliquer sur l'icône : Pièce.

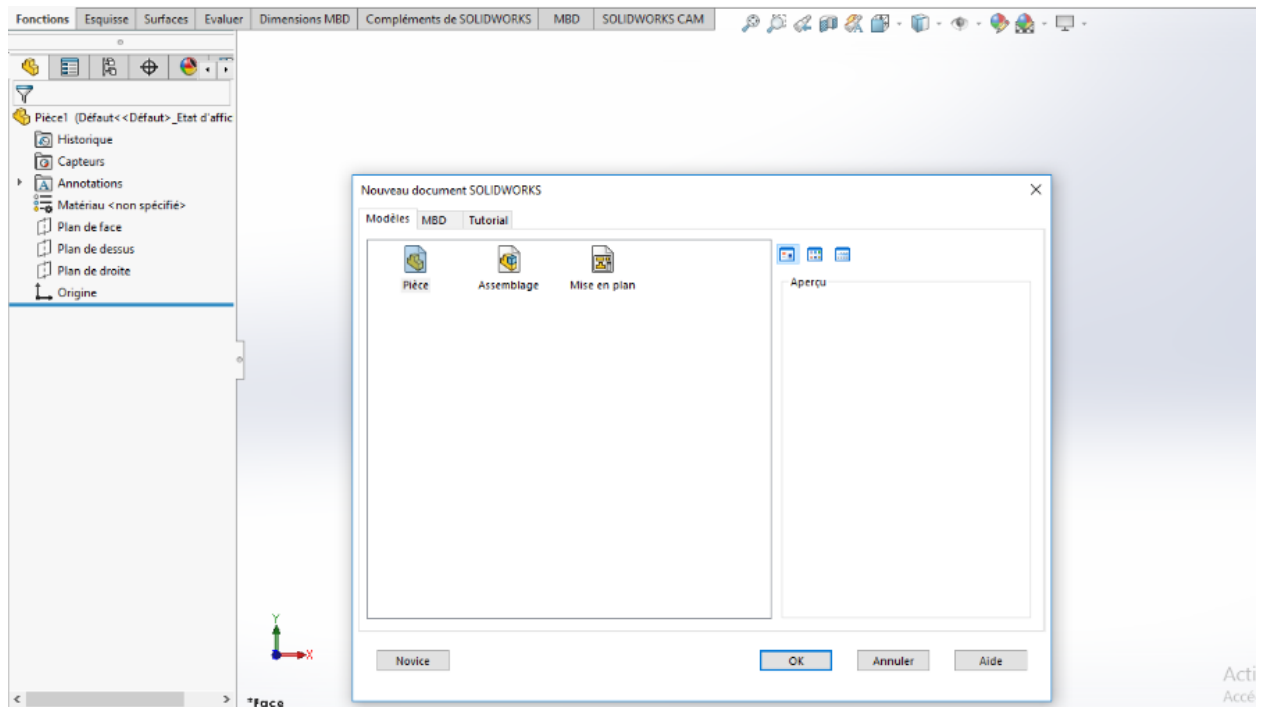


Fig. II.15. Les trois concepts de base (SOLIDWORKS).

- Choisir un plan de face.

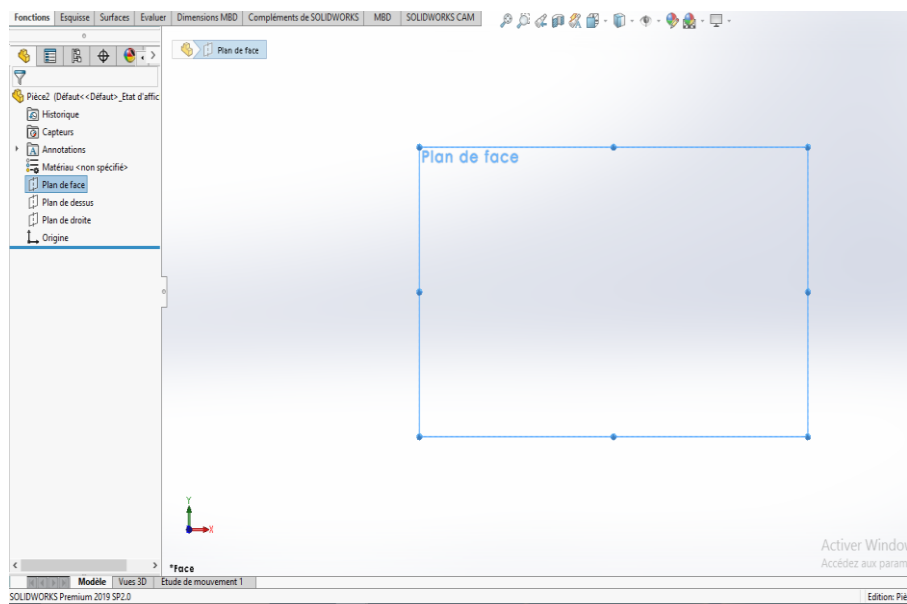


Fig. II.16. Choix de plan de face.

- Ouvrir une esquisse 2D. Cliquer sur **Esquisse**  dans la barre d'outils Esquisse.

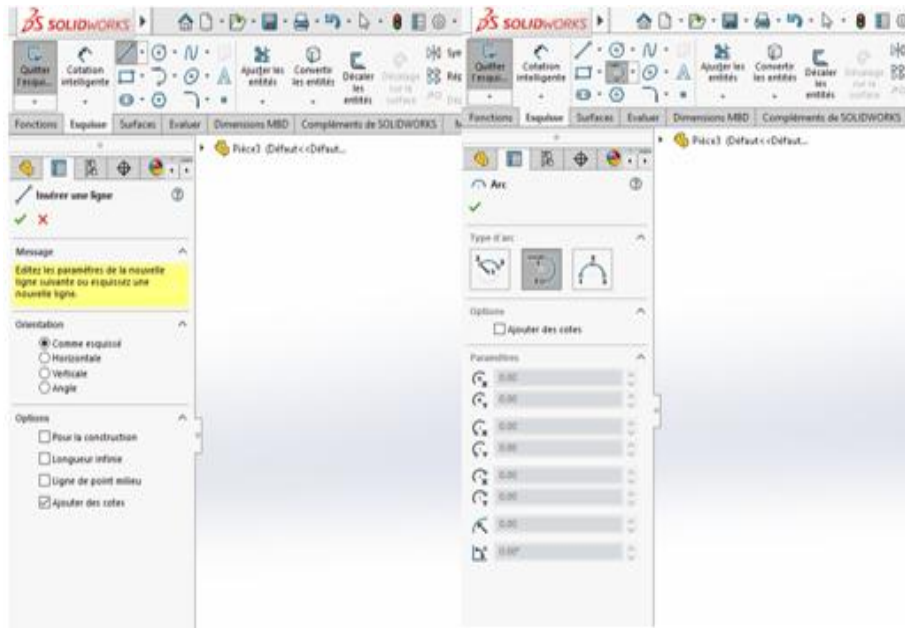



Fig. II.17. Choix de l'esquisse.

□ Dessiner la forme des dents  .

- dents de brunissage ;
- dents coupante.

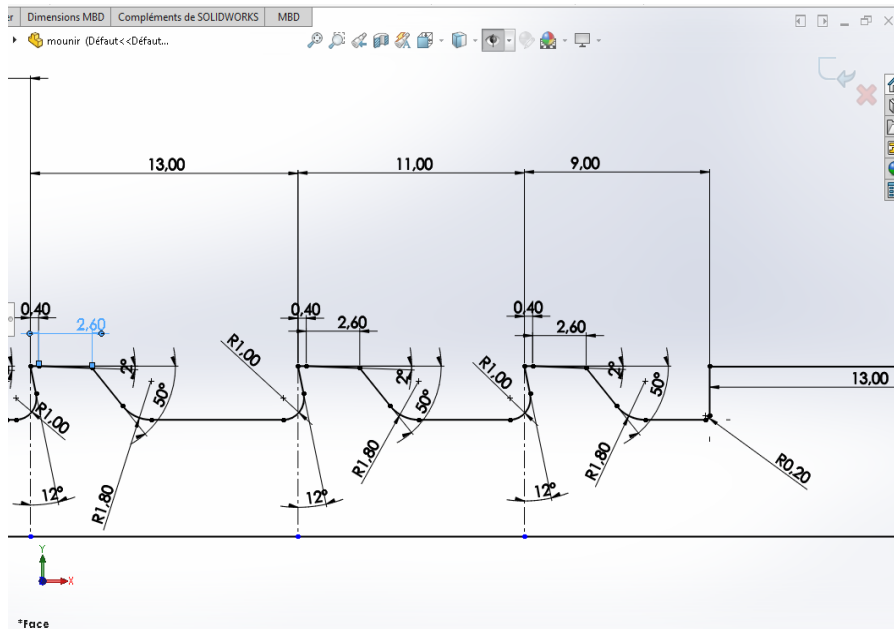


Fig. II.18. Dents de brunissage.

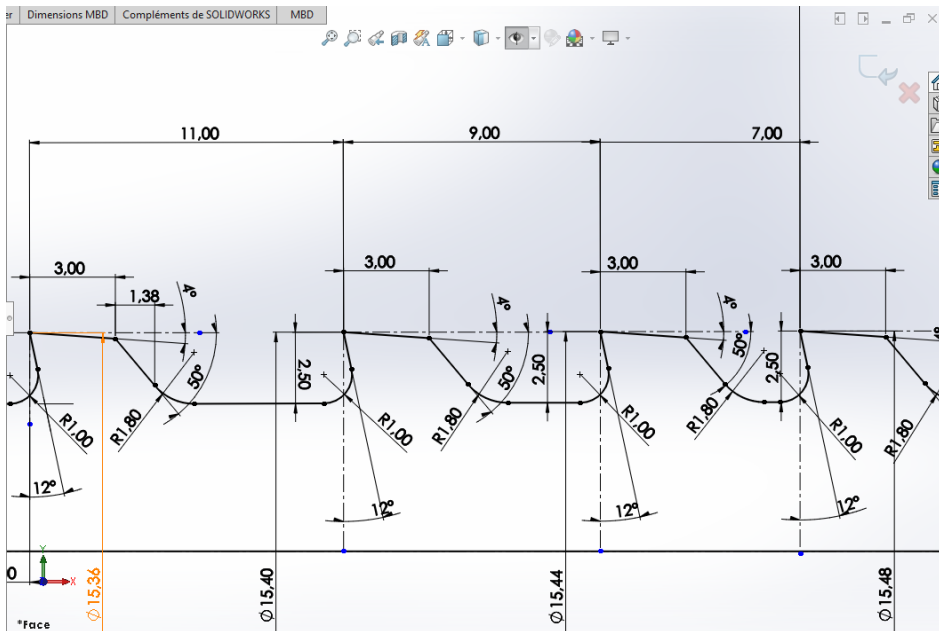


Fig. II.19. Dents coupante.

- ☐ Choisir fonction Bossage avec révolution et générer un volume.

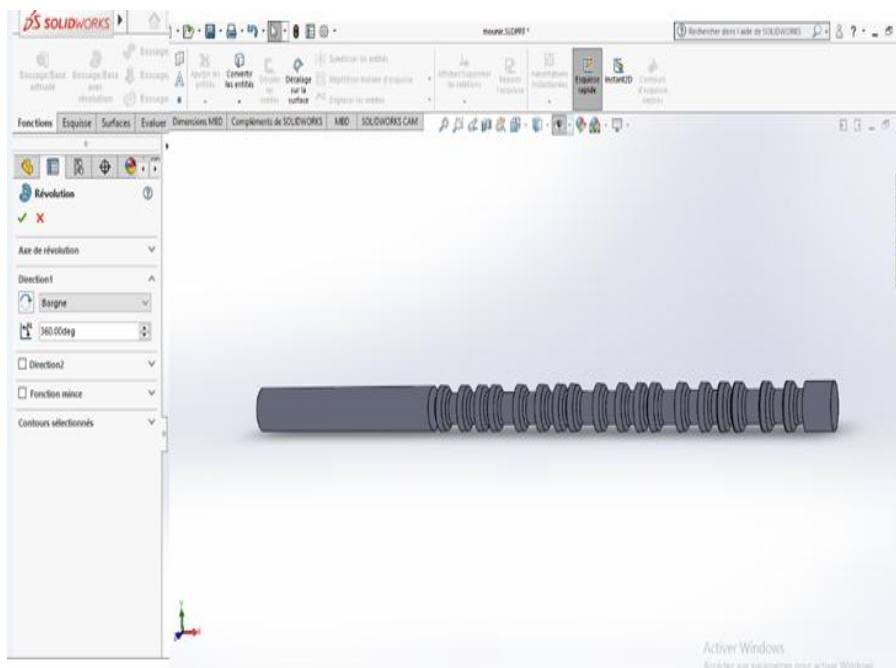



Fig. II.20. Forme 3D de broche.

- ☐ Choisie fonction Congé  pour Chanfreiner les deux côtés de la pièce :
 - Chanfrein 6x10° (a);

- Chanfrein 1x45°(b).

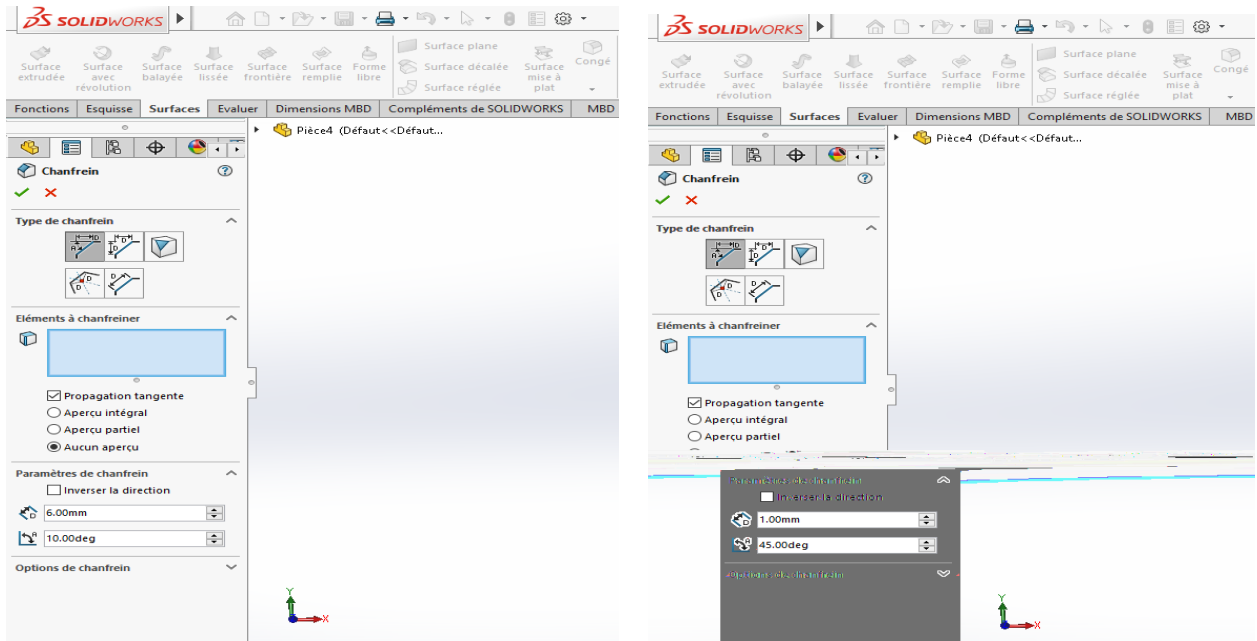


Fig. II.21. Choix de chanfrein.

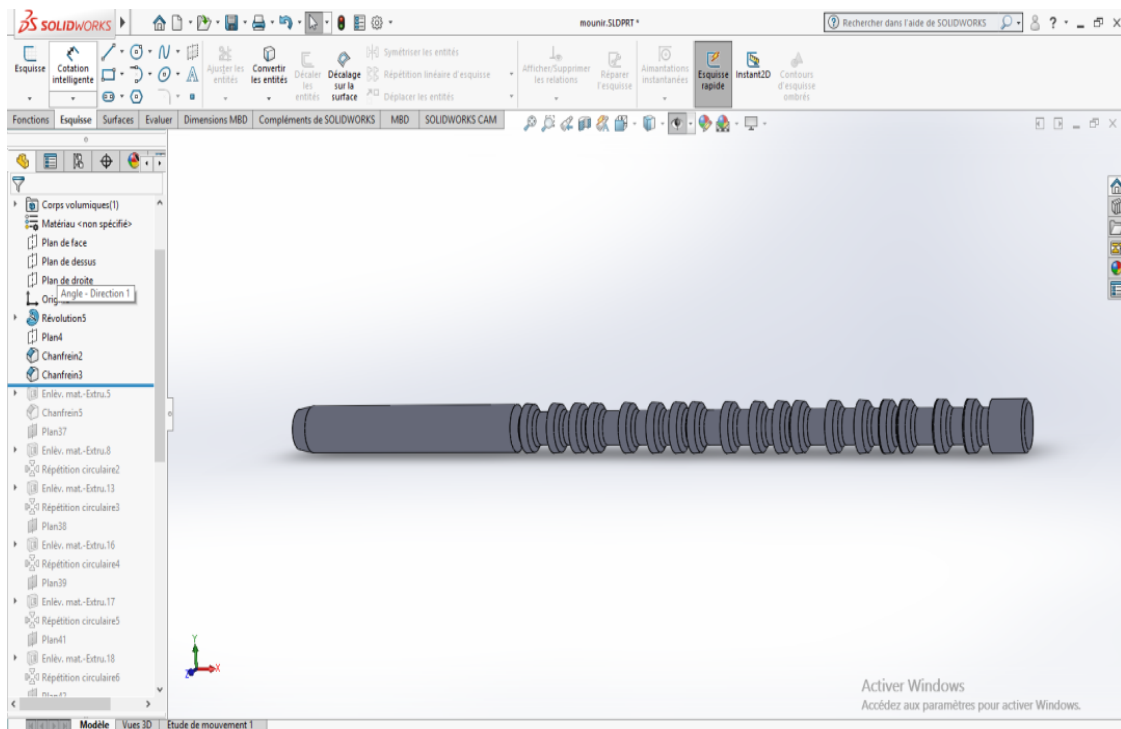


Fig. II.22. Pièce chanfreinée.

- Esquisser la rainure et donner la cotation.

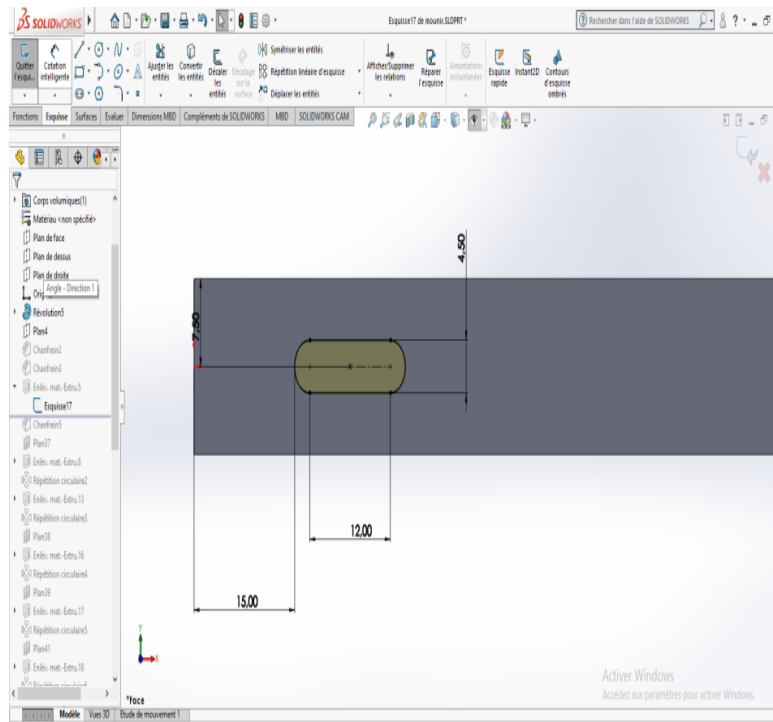


Fig. II.23. Réalisation de la rainure.

- Choisir la fonction **enlèvement de matière extrudée** :

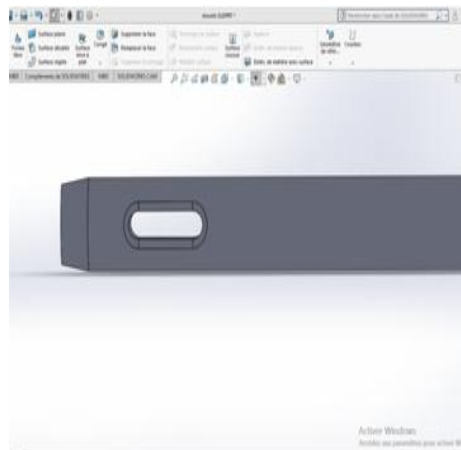


Fig. II.24. Rainure obtenue.

- Sélectionner le plan de droite, créer une esquisse, dessiner brise-copeau, coté et enlever la matière.

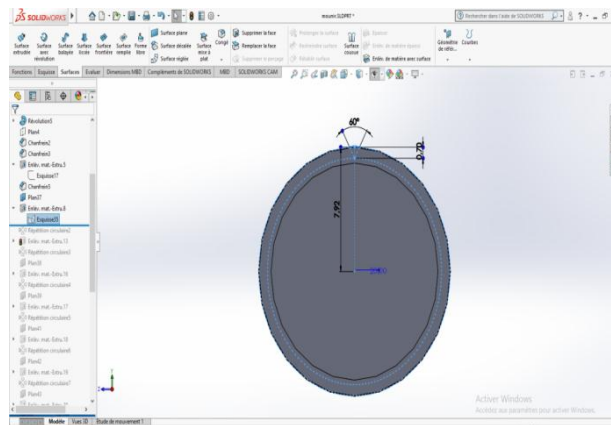


Fig. II.25. Esquisse du brise-copeau.

- ❑ Choisir fonction répétition circulaire et donner nombre (8) et angle 45° de répétition.

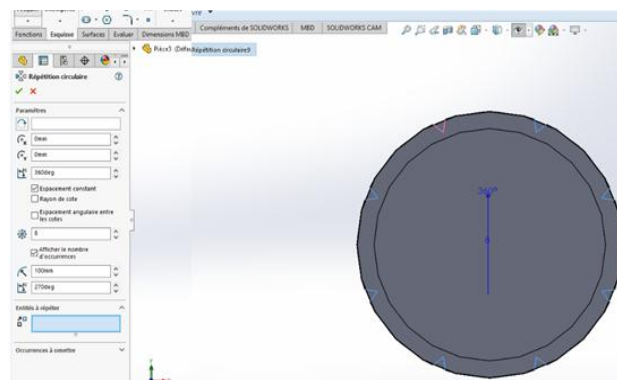


Fig. II.26. Interface de fonction répétition circulaire.

- ❑ Dessiner brise-copeau dans la dent suivante dont le plan décalé avec angle égale à 22.5°.

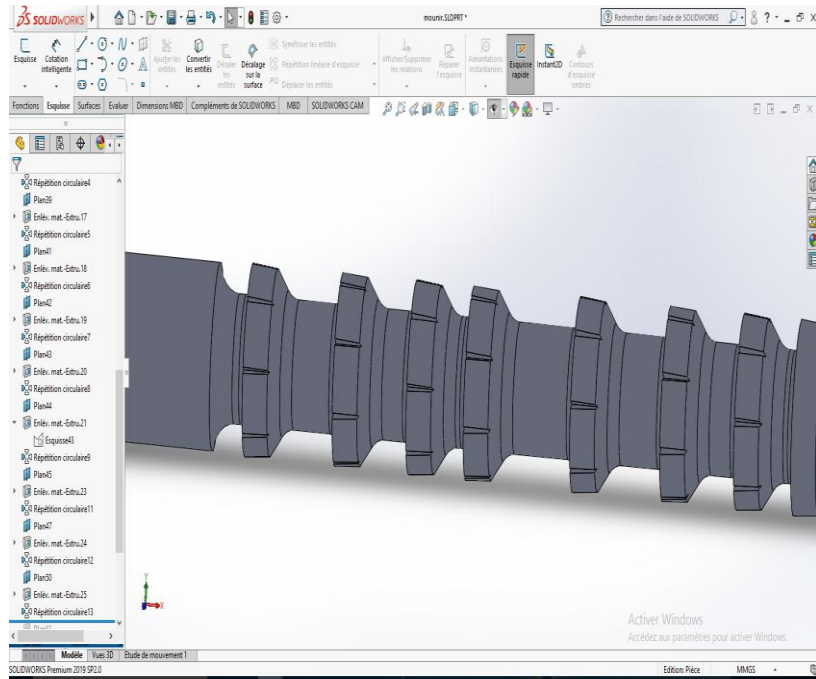


Fig. II.27. Esquisse brise-copeau décalé.

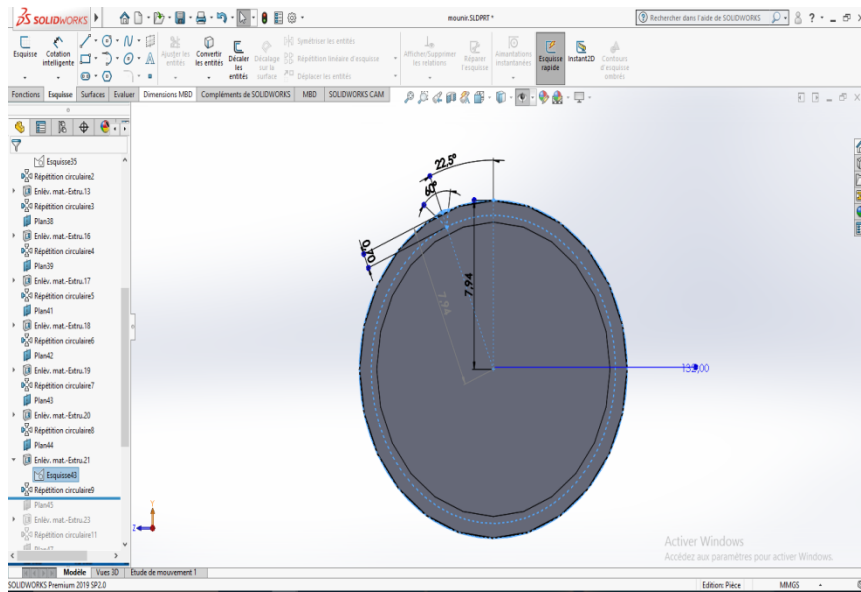


Fig. II.28. Forme de brise-copeaux.

- Forme 3D obtenue de la broche (fig. II.30).

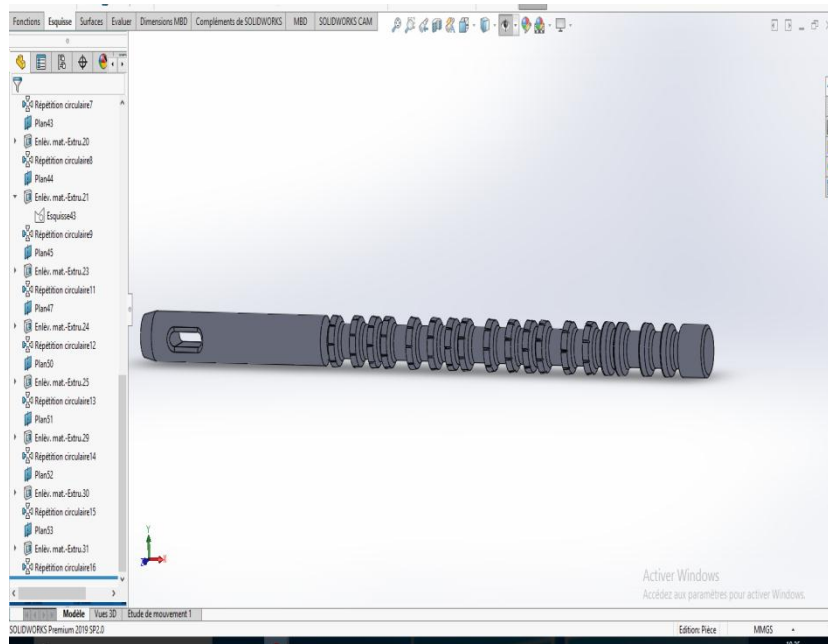


Fig. II.29. Forme 3D de la broche.

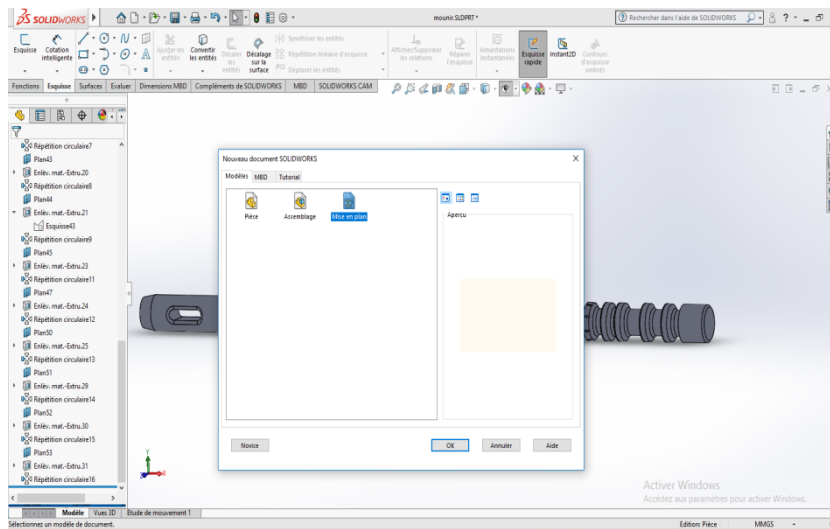


Fig. II.30. Interface de mise en plan.

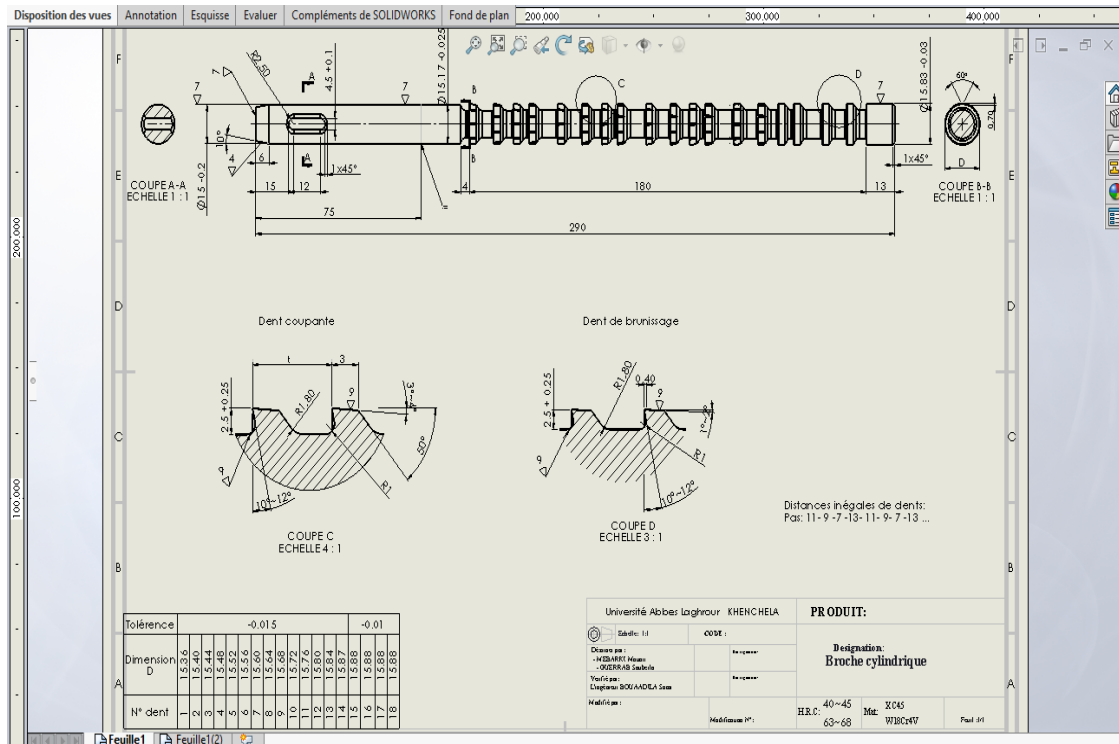


Fig. II.31. Mise en plan de la broche.

Chapitre III :
Réalisation et modélisation numérique de
broche cylindrique.

III.1. Introduction

Concevoir et fabriquer un produit plus performant, plus robuste, à prix diminué, avec un temps de main d'œuvre, de conception et de fabrication diminué, est parmi les objectifs de qualité de toute entreprise compétitive. L'offre d'un produit doit se faire rapidement. Le temps devient une option stratégique. La réalisation d'une aide à l'opérateur participe à cette objectif au même titre que le décloisonnement du travail et la mise en œuvre d'une meilleure synchronisation dans la productivité. Nous présentons dans ce chapitre la gamme d'usinage et les étapes de réalisation d'une broche cylindrique effectuée au niveau de l'entreprise des constructions mécaniques à Khenchela (ECMK), suivi d'une modélisation numérique.

III.2. Présentation de la broche cylindrique

C'est un outil de coupe rapide composé de :

- deux types de matériaux différents :
 - la partie active est en acier spécial de coupe (ARS) ;
 - la queue en acier ordinaire (XC45).
- (18) dents circonférentielles de diamètres différents.
- De longueur égale à 290mm.

La réalisation de la broche cylindrique est programmée au niveau de l'établissement des constructions mécaniques à Khenchela (ECMK).

III.3. Matériaux utilisés

- Partie active : W18Cr4V ;
- Queue : XC45

III.3.1. Présentation de l'acier W18Cr4V

Acier fortement allié qui contient plus de 0,7 % de carbone et des éléments d'addition, environ 4 % de chrome Cr, du carbone, du tungstène W, du molybdène et du vanadium V en proportions variables. la composition chimique est reportée dans le Tableau **III.1**

Tab. III.1. Compositions chimique de l'alliage : W18Cr4V.

| Element chimique | C (%) | Mn (%) | Si (%) | Cr (%) | V (%) | W (%) |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Composition chimique en (%) | 0.7 – 0.8 | 0.1 – 0.4 | 0.2 – 0.4 | 3.8 – 4.4 | 1.0 – 1.4 | 17.5 - 19.0 |

a) Propriétés physique et mécanique

W18Cr4V se distingue par leur très haute résistance à l'usure comme à la chaleur ; il peut être travaillé à des températures allant jusqu'à 600°C, et tout aussi bien à froid. Avec une dureté d'utilisation de 62–65 HRC et leur remarquable stabilité au revenu, il supporte une vitesse de coupe dix fois plus élevée que la plupart des autres aciers.

b) Applications

Pour la fabrication des : fraises, d'outils à grande vitesse, de forêts, d'alésoirs, de broches, de tarauds, etc....



Fig. III.1. Acier rapide W18Cr4V.

III.3.2. Présentation de l'acier XC45

Est un acier de construction mécanique générale, non allié, contient entre 0.42 et 0.48 % de carbone C, et quelques traces d'élément d'alliage dont la composition chimique est mentionnée dans le tableau suivant.

Tab. III.2. Compositions chimiques de XC45.

| Element chimique | C(%) | Mn(%) | Si(%) |
|------------------|-------------|-----------|-------------|
| Composition (%) | 0.42 - 0.48 | 0.5 - 0.8 | 0.15 - 0.35 |

a) Propriétés physique et mécanique

XC45 est un acier au carbone (45% du carbone), utilisé dans la mécanique générale, bonne usinabilité et apte aux traitements thermiques : ex. à l'huile 820 - 860°C.

b) Applications

Il est utilisé pour les pièces soumises aux chocs et l'usure : axes, engrenages, vis sans fin, paliers, pignons, boulonnerie, forge (leviers, arbres).



Fig. III.2. Acier au carbone XC45.

III.4. Dessin de définition

Donnant suite à une demande de réalisation d'une pièce mécanique (une broche cylindrique), nous à procéder à la réalisation d'un dessin technique (Annexe 1) de la pièce demandée qui porte toutes les données techniques nécessaires à savoir :

- Les cotes dimensionnelles de la pièce finie ;
- Les cotes dimensionnelles d'ébauche de la pièce ;
- La nuance de la matière première ;
- Les tolérances fonctionnelles exigées.

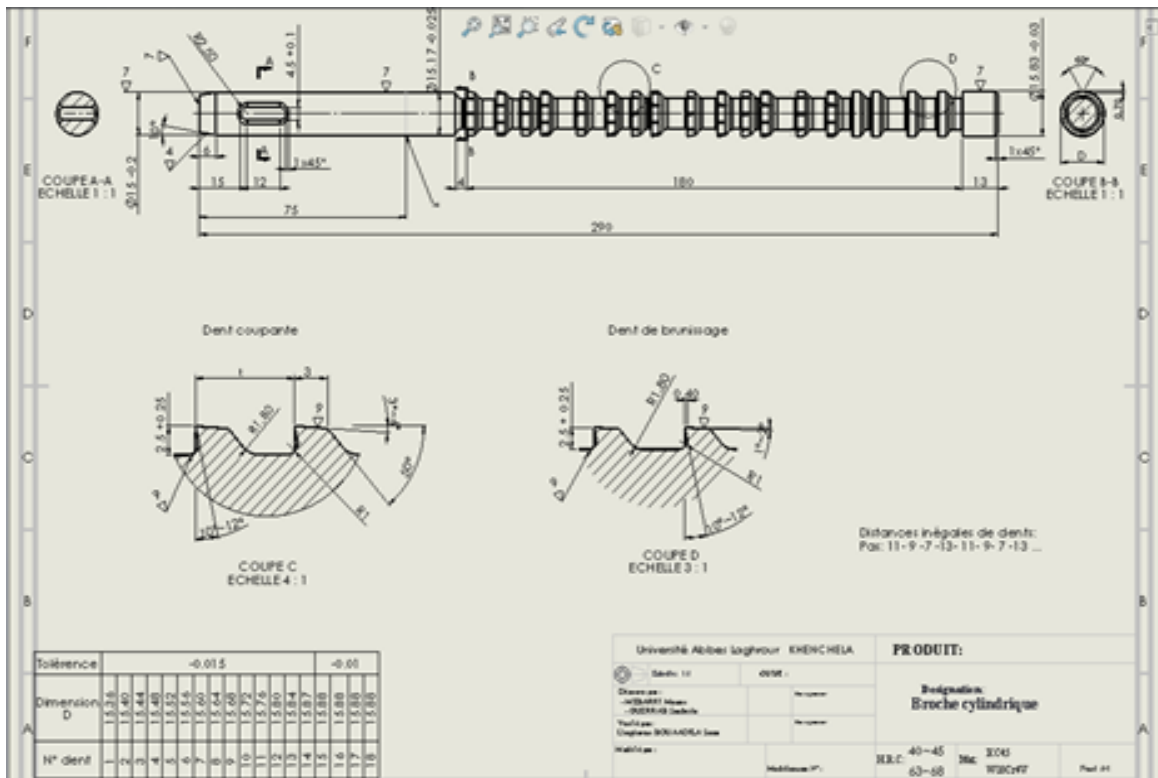


Fig. III. 3.Mise en plan de la broche.

III.5. Etapes de réalisation de la broche

III.5.1. Usinage conventionnel

1^e Etape : Débitage de la matière première

Couper les deux matières (morceaux) :

- **Partie active** : Acier rapide (ARS) W18Cr4V : $\varnothing 18 \times 220$ (mm)
- **Queue** : Acier au carbone (XC45) : $\varnothing 18 \times 90$ (mm).

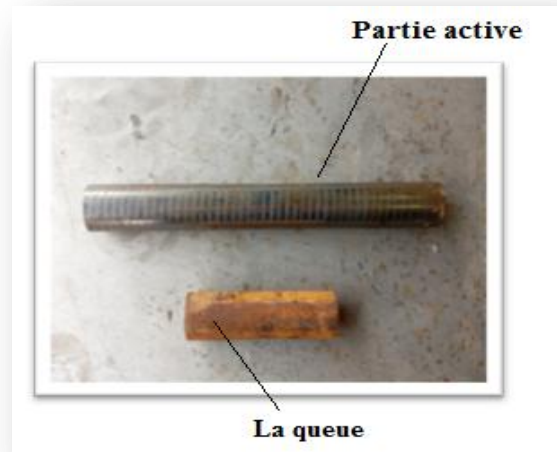


Fig. III.4 : Débitage de la matière première (en ARS + XC45).

2^e Etape : Soudage en bout des deux morceaux



Fig. III.5. Assemblage par soudage en bout (S/B).

Les deux parties, une fois sablées, sont assemblés par le procédé de soudage en bout (S/B) par étincelage, où l'énergie transférée aux pièces à joindre est principalement fournie par la chaleur de la résistance des pièces elles-mêmes. Les pièces à souder sont placées bout à bout.

Dans le but de faciliter l'usinage, la pièce soudée a été chauffée dans un four de recuit à 850°C, avec un temps de quatre heures (4H) suivi d'un refroidissement dans le four jusqu'à la température ambiante.



Fig. III.6. Soudage en bout de deux morceaux.

3^e Etape : Dressage

Cette opération consiste à usiner les surfaces latérales de la pièce à usiner. (fig. III.7).

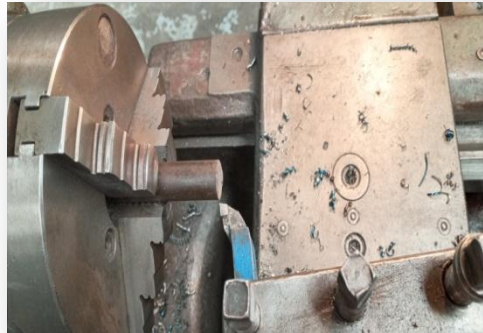


Fig. III.7. Opération de dressage de la pièce.

4^e Etape : Opération de centrage

L'opération consiste à usiner un trou de centre qui servira axialement avec l'axe de rotation de la broche (fig. III.7).



Fig. III.8. Opération de centrage de la pièce.

5^e Etape : Opération de chariotage

Sur la même machine, on exerce l'opération de chariotage de la pièce comme indiqué sur les figures ci-dessous.

N/B :

Le chariotage en ébauche, l'enlèvement de matière doit être effectué d'une manière rapide ou bien à grande vitesse (fig. III.8.a)) et pendant que le chariotage en finition on diminue la vitesse de coupe pour obtenir un bon état de surface usinée (III.8.b)).



Fig. III.9a. Chariotage ébauche.



Fig. III.9b. Chariotage finition.

6^e Etape : Opération de Chanfreinage

Cette opération consiste à usiner les deux surface d'extrémité $1 \times 45^\circ$ et $6 \times 10^\circ$ pour éliminer les angles vifs qui peuvent provoquer des blessures.



Fig. III.10. Opération du chanfreinage.

7^e Etape : Traçage des dents avec :

- $Z=18$ dents
- Pas : 11, 9, 7, 13, 11,

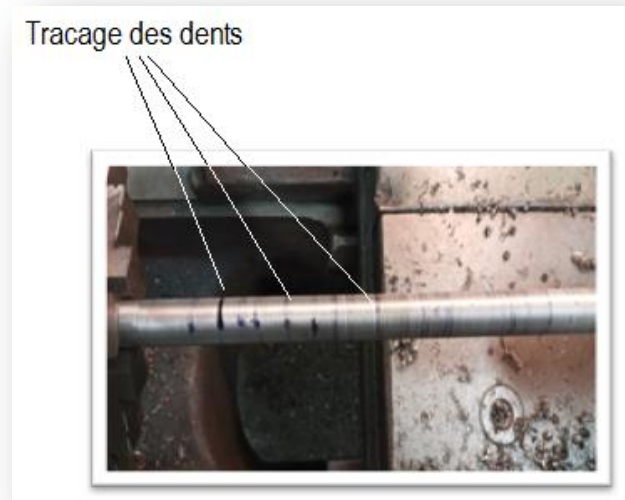


Fig. III.11. Traçage des dents.

Après cette étape, on procède au taillage des dents sur la partie active de l'outil (W18Cr4V), en tenant compte des diamètres mentionnés sur le dessin de définition.



Fig. III.12. Schéma de réalisation des dents de la pièce.

→ **Caractéristiques de la machine-outil utilisée**

- Tour Modèle AI616 fabriqué En URSS ;
- Encombrement 2135x1225x1220 mm ;
- Poids de la machine - 1500 Kg ;
- Alésage De Broche : 35 mm ;
- Porte Outils : 140 mm ;
- Moteur d'entraînement principal: Tension - 220/380 V, Vitesse - 1430 tr / min, Puissance 4 Kw, Type - A02-41-4 ;
- Diamètre mandrin : 250 ;
- Fréquence de rotation de la broche - de 9 A 1800 tr / min.



Fig. III.13. Tour universel modèle AI616 fabriqué en URSS.

→ Outils de coupe utilisés

- Outil coudé droit à plaquette brasée;
- Outil de forme en acier de forme.



Fig. III.14. Outil à dresser et charioter.



Fig. III.15 Outil de forme.

→ Régime de coupe

Les conditions de coupe sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

Tab.III.3. Condition de coupe.

| Opérations | Dressage | Chariotage | | Réalisation des dents |
|--------------------------------|----------|------------|----------|-----------------------|
| | | Ebauche | Finition | |
| Vitesse de coupe V_C (m/min) | 750 | 750 | 530 | 530 |
| Vitesse de rotation N (tr/min) | 100 | 100 | | 100 |
| Avance f (mm/tr) | 0.1 | 0.1 | | 0.1 |
| Profondeur de passe (mm) | 1 | 1 | | 1 |

8^e Etape : Contrôle de dimensions réalisées

9^e Etape : Traitement thermique

Cette phase consiste à élever la dureté de la pièce à usiner, est pour cela on a procédé au traitement la pièce avec une trempe plus revenu dans un bain de Huile, Nitrure à une température de 450° ~ 550° suivi par un revenu de température à 450° trois fois. Après le traitement il faut faire le Contrôle de dureté de la pièce suivant l'exigence technique de traitement.

- Partie active : 63 à 66 HRC ;
- Queue : 30 à 40 HRC ;

10^e Etape : Nettoyage de la pièce après traitement thermique par le sablage.

11^e Etape : Rectification cylindrique après T.Th.

12^e Etape : Contrôle finale de l'outil.

III.5.2. Usinage à CNC

Nous faisons réaliser cette broche par la technique de la commande numérique (CNC) au niveau de l'établissement des constructions mécaniques à Khenchela (ECMK) .

1^e Etape : préparation de l'échantillon.



Fig. III.16. Pièce prête pour usiner à CN.

L'élaboration de la broche sur la machine à CNC consiste à suivre les étapes suivantes :

2^e Etape : Préparer le programme avec code G en respectant le pas, nombre de dents et le déplacement (voir annexe 2);

3^e Etape : Validation du programme avec simulation ;

4^e Etape : Validation des paramètres machine et lancement du programme d'usinage.

Placer la pièce sur la machine et on exécute le programme de réalisation des dents.



Fig. III.17. Réalisation des dents sur tour à CN.



Fig. III.18. Dents obtenus après usinage à CNC.

La pièce a amenée à la section de contrôle pour vérifier le pas et nombre de dents.

✦ **Outil utilisé**

On utilise l'outil à charioter à plaquette en carbure métallique (plaquette amovible).



Fig. III.19. Outil utilisé.

✧ Régime de coupe

- $V_C = 700$ m/min ;
- $f = 0.2$ mm/tr ;
- L'usinage à CN est beaucoup plus précis et il ne demande pas beaucoup de temps (T=30 min).

5^e Etape : Fraisage des brises copeaux

Le fraisage est la phase suivante dans la gamme d'usinage en vue de réaliser les brise-copeaux sur les dents de la partie active. Cette Opération, qui a été réalisée sur une fraiseuse verticale, a pour but d'usiner des petites ouvertures dites 'brise-copeaux' de profondeur de 0.7 mm et angle égale à 60° avec une fraise à queues cylindriques. La vitesse choisie est $V_C = 300$ m/min.



Fig. III.20. Fraisage de brise-copeaux.



Fig. III.21. Fraise utilisée.



Fig. III.22. Brise-copeaux obtenue.

6^e Etape : Contrôle des ouvertures des de brise-copeaux avec cale d'angle (voir figure ci-dessous).



Fig. III.23. Cale d'angle.

7^e Etape : Traitement thermique de la broche réalisée

Cette phase consiste à élever la dureté de la pièce à usiner « broche cylindrique », est pour cela on a procédé au traitement de la pièce comme suite :

1. Trempe de la partie active (W18Cr4V) dans un bain de sel BaCl_2 :50% KCl + 50% NaCl à 850 °C pendant 3 à 5min, puis une deuxième trempe dans un bain de BaCl_2 :100% Chlore de Barium BaCl pendant 1 min, puis un refroidissement à bain de Nitrate à 240°C. Cette étape est suivie par le revenu à 560°C avec refroidissement à l'huile, 50°C.
2. trempe de la queue (XC45) dans un bain de sel BaCl_2 à 780°C pendant 3 min puis un refroidissement à l'eau, suivi par un revenu à une température de 280°C pendant 30 min. Après le traitement il faut faire le Contrôle de dureté de la pièce suivant l'exigence technique de traitement.
 - **Partie active** : 62 à 66 HRC ;
 - **Queue** : 30 à 40 HRC ;

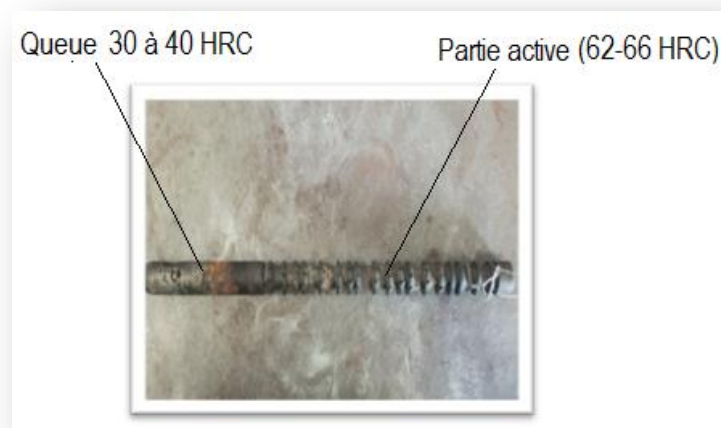


Fig. III.24. Pièce traitée.

8^e Etape : Affûtage des angles à l'aide des meules spéciales en diamant (angle d'inclinaison : 50°).



Fig. III.25. Affutage d'angle.

9^e Etape : Rectification

Pour des exigences de fonctionnalité de quelques cotes nous sommes obligé de passer par une phase de rectification qui sert à éliminer les défauts de l'usinage et les déformations dues aux traitements thermiques.

La pièce est soumise à une opération de rectification cylindrique extérieure sur les deux parties, partie de fixation et de la partie active avec une meule de dimensions 300x40x127 (Fig. III.33) à une vitesse de finition égale à 136 m/min.

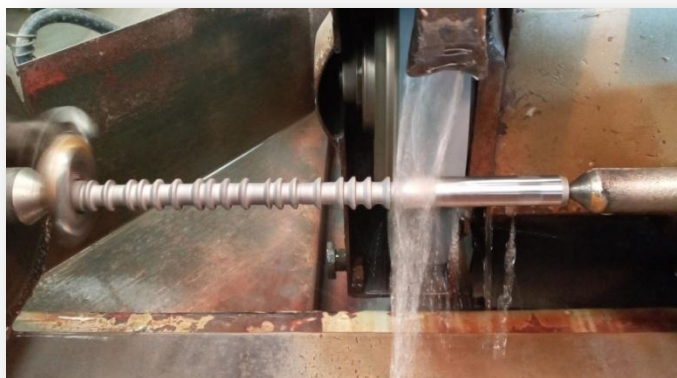


Fig. III.26. Opération de rectification.



Fig. III.27. Meule utilisée.

10^e Etape : réalisation de la rainure sur la partie de fixation à l'aide d'**électro-érosion**.

Cette étape consiste à réaliser la rainure sur la partie de fixation comme mentionné sur le dessin de définition en utilisant le logiciel **ESPRIT**. Avant le processus d'électro-érosion, un trou est percé avec un forêt à centrer de diamètre de 4mm.



Fig. III.28. Centrage de la pièce.



Fig. III.29. Positionnement de la pièce sur machine d'électro-érosion.



Fig. III.33. Pièce fini.

12^e Etape : Contrôle final de la pièce finie à l'aide des instruments métrologiques.



Fig. III.34. Instruments de contrôle finale :

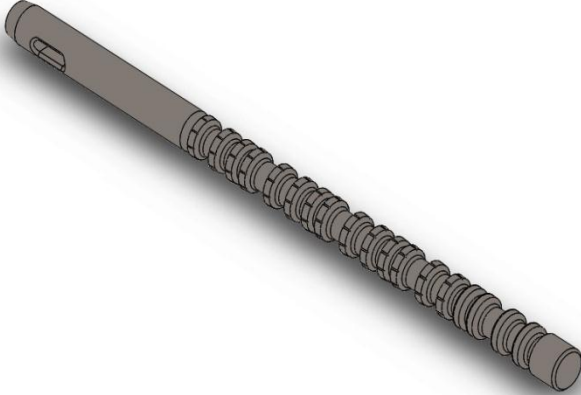
a).pied à coulisse ; b).micromètre ; c).rapporteur d'angle d'outillage ; d). Jauge à rayon.

III.6. Simulation de broche cylindrique




Fig. III.35. Broche réalisée par SOLIDWORKS.

III.6.1. Informations sur le modèle




Nom du modèle: broche cylindrique
Configuration actuelle: Défaut

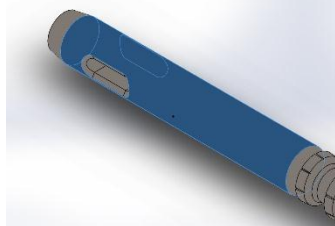
| Corps volumiques | | | |
|------------------------------|--------------|--------------------------|---|
| Nom du document et référence | Traité comme | Propriétés volumétriques | Chemin/Date de modification du document |
| | | | |

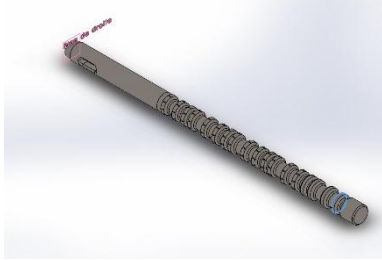
| | | | |
|---|------------------------|---|--|
| <p>Ligne de séparation1</p>  | <p>Corps volumique</p> | <p>Masse:0,315377 kg Volume:4,09581e-05 m³ Masse volumique:7 700 kg/m³ Poids:3,0907 N</p> | <p>C:\Users\DPP\Documents\mounir.SLDP RT May 9 13:55:34 2021</p> |
|---|------------------------|---|--|

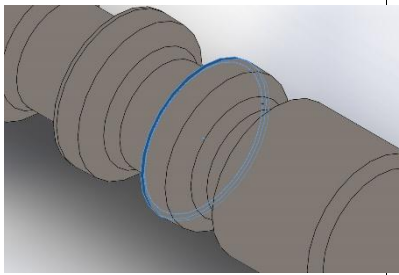
III.6.2. Propriétés du matériau

| Référence du modèle | Propriétés | Composants |
|---|--|---|
|  | <p>Nom: Acier allié Type de modèle: Linéaire élastique isotropique Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max. Limited'élasticié: 620,422 N/mm² Limite de traction: 723,826 N/mm²</p> | <p>Corps volumique 1(Ligne de séparation1)(mounir)</p> |

III.6.3. Actions extérieures

| Nom du déplacement imposé | Image du déplacement imposé | Détails du déplacement imposé |
|---------------------------|---|--|
| <p>Fixe-4</p> |  | <p>Entités: 1 face(s) Type: Géométrie fixe</p> |

| Nom du chargement | Image du chargement | Détails du chargement |
|-------------------|---|---|
| <p>Pression-2</p> |  | <p>Entités: 2 face(s), 1 plan(s) Référence: Plan de droite Type: Le long de la direction 1 du plan Valeur: 1 Unités: N/m²</p> |

| Nom du chargement | Image du chargement | Détails du chargement |
|-------------------|---|---|
| Force-5 |  | Entités: 2 face(s) Type: Force normale Valeur: 1 N |

III.6.4. Informations sur le maillage

| | |
|-----------------------------------|--------------------|
| Type de maillage | Maillage volumique |
| Mailleur utilisé: | Maillage standard |
| Transition automatique: | Désactivé(e) |
| Boucles automatiques de maillage: | Désactivé(e) |
| Points de Jacobien | 4 Points |
| Tailed'élément | 2,32754 mm |
| Tolérance | 0,116377 mm |
| Tracé de qualité du maillage | Haute |

Tableau III.4. Informations sur le maillage.

III.6.5. Informations sur le maillage – Détails

| | |
|---|----------|
| Nombre total de nœuds | 63045 |
| Nombre total d'éléments | 39823 |
| Aspect ratio maximum | 73,137 |
| % d'éléments ayant un aspect ratio < 3 | 92,4 |
| % d'éléments ayant un aspect ratio > 10 | 0,105 |
| % d'éléments distordus (Jacobien) | 0 |
| Durée de création du maillage (hh;mm;ss): | 00:00:12 |
| Nom de l'ordinateur: | |

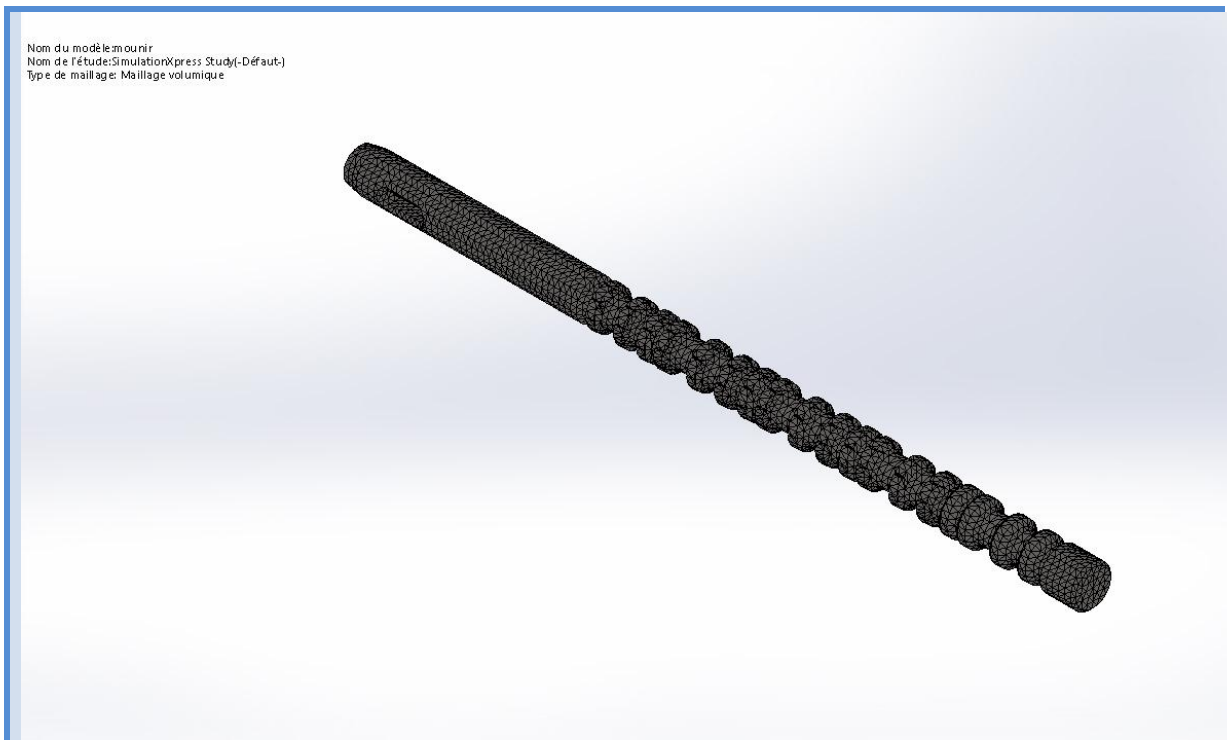
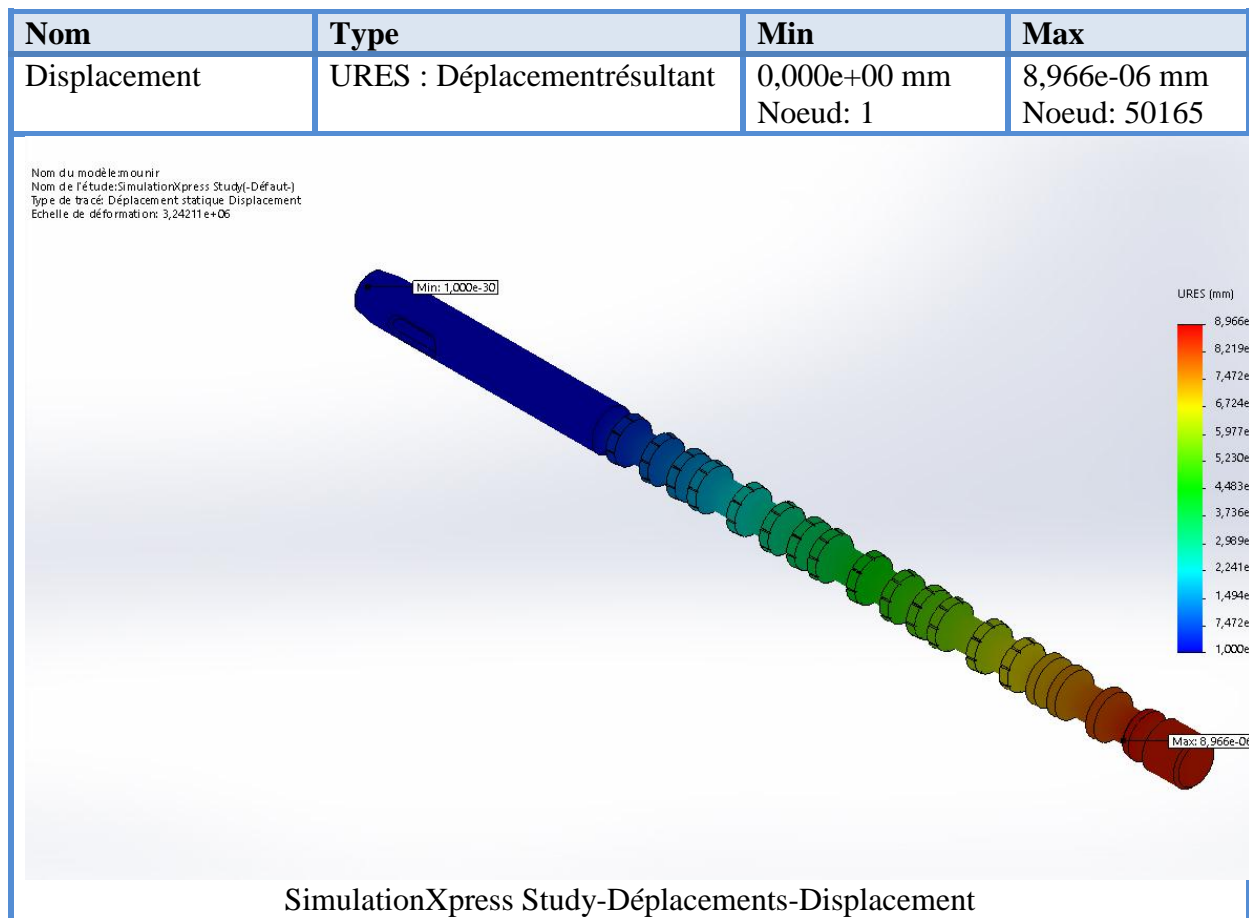
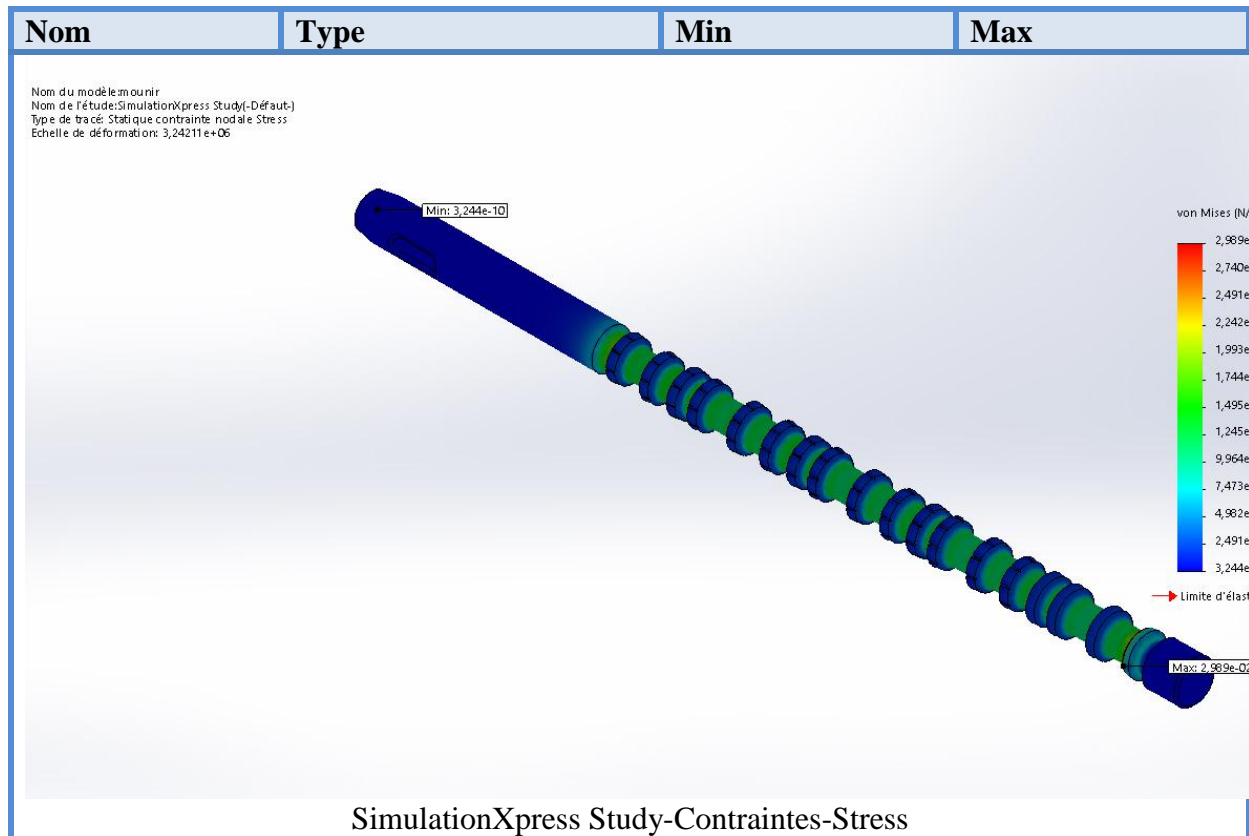
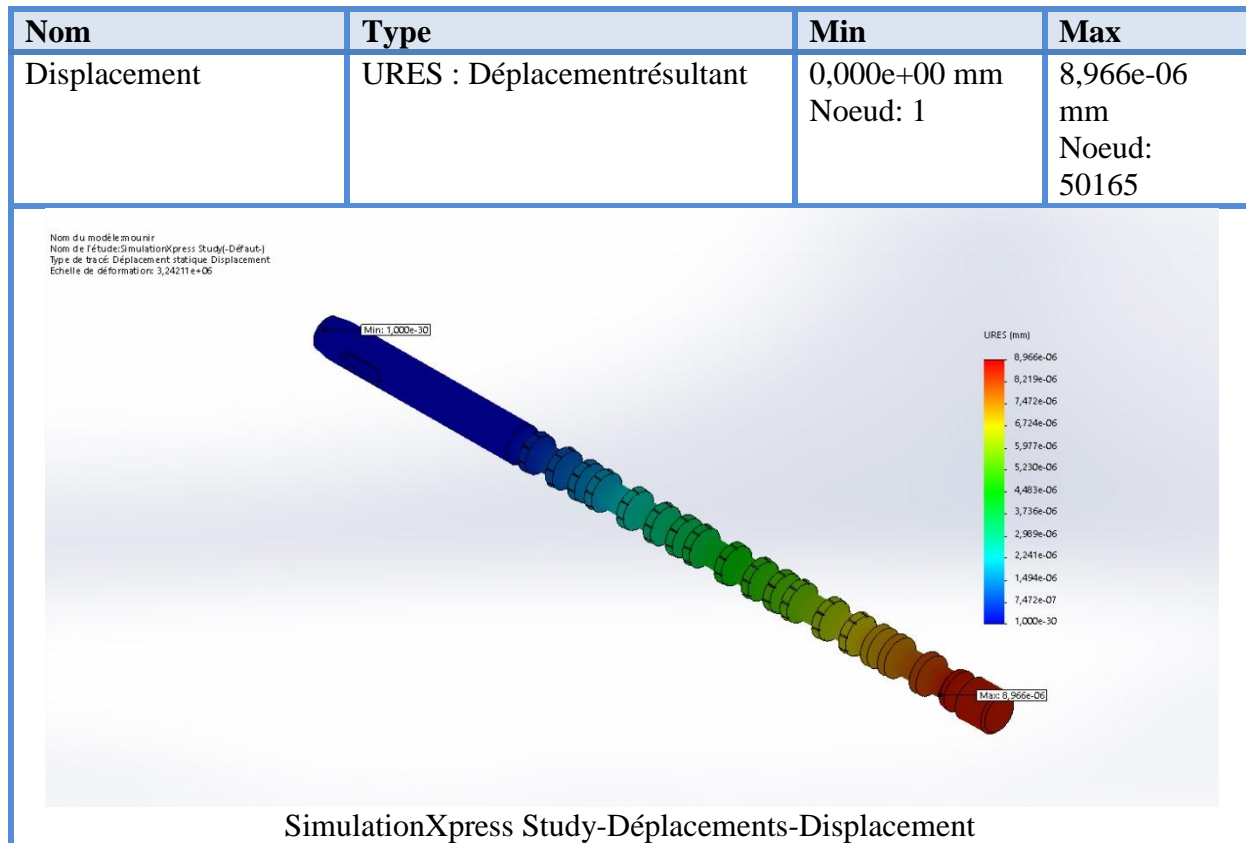


Fig. III.36. Forme de maillage de la broche.

III.6.6. Résultats de l'étude

| Nom | Type | Min | Max |
|--------|-------------------------------|--|--|
| Stress | VON : contrainte de von Mises | 3,244e-10 N/mm ² (MPa) Noeud: 13841 | 2,989e-02 N/mm ² (MPa) Noeud: 50106 |





III.6.7. Interprétation

Sur les figures illustrées ci-dessus, nous avons montrés les contraintes de **Von mises** et sur les arrêtes tranchantes de la broche cylindrique. Cette dernière a subi des efforts de coupe au moment d'usinage. Les zones rouges s'usent avant les autres zones et cette usure survient après un nombre de pièces réalisées prescrites dans la gamme d'usinage. Donc, Nous proposons quelques solutions technologiques que nous considérons comme une solution optimale pour diminuer le taux d'usure et d'augmenter la durée de vie de l'outil, à savoir :

- Augmentation du nombre de dents de la broche (élargir la plage d'usinage),
- Evitant les angles vifs sur la conception de l'outil afin qu'il ne soit pas exposé à la fissuration rapide, et nous pouvons également recourir l'outil avec des nano-couches anti usure.

Conclusion Générale

L'apparition de l'usinage par enlèvement de copeaux, le secteur de la machine-outil a tourné une page de son histoire. Les pièces sont désormais usinées très rapidement, avec une précision toujours croissante. Seulement, l'usinage ne représente que 15% du temps total de production. Changement d'outils, acheminement de la pièce, etc...

Pour une performance maximale, l'usinage doit prendre en compte non seulement le temps d'usinage proprement dit (temps copeaux), mais également, et surtout, le temps hors d'usinage, qui représente à lui les 85% restants du temps de cycle total de production. C'est pourquoi on essaye d'obtenir maintenant des pièces de moulage ne nécessite pas d'usinage. Cela est possible avec les plastiques, mais les qualités techniques : résistance à la chaleur ou limite élastique sont encore loin d'égaliser celles de l'acier des alliages d'aluminium.

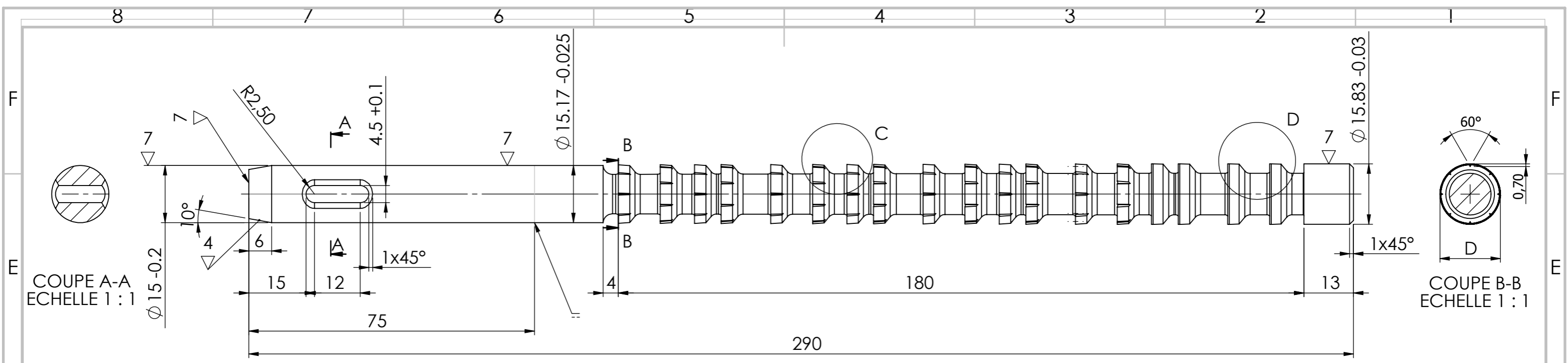
Actuellement parmi tous les axes de recherche en fabrication, on peut citer le processus de fabrication par enlèvement de copeaux qui offrent une grande importance dans la gamme d'usinage. La pièce usinée par enlèvement de matière est d'une précision supérieure. Tout d'abord les efforts de coupe sont réduits. Donc, la pièce subit moins de déformation. Ensuite les calories sont dissipées dans les copeaux avant d'avoir le temps de pénétrer dans la pièce. Moins de sollicitée en température, la pièce conserve sa stabilité dimensionnelle originale.

Références Bibliographiques

- [1] B. Ramez Mohammed, “ L’influence des paramètres de coupe sur l’état de surface lors de l’usinage de l’acier XC48, mémoire master, université Badji Mokhtar Annaba, 2019 ”.
- [2] S. Adima, “ Technologie des fabrications mécanique, Article, 2015 ”.
- [3] A. Passeron, “ Techniques de l’ingénieur, tournage ”.
- [4] André Chevalier, “ Guide du dessinateur industriel, livre ”.
- [5] Sandvik-Coromant, “Technique de l’Ingénieur, fraisage, 1997 ”.
- [6] Dr. REMILI Fethi, “ L’effet d’usinage par tournage sur un acier XC18, thèse, Université Mohammed Khider Biskra, 2016 ”.
- [7] Dr. TOUATI Sofiane, “ Etude de l’Influence du comportement vibratoire du système pièce-outil-machine sur la qualité de surface, thèse, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018 ”.
- [8] Dr. BENNEGADI Mohammed El Larbi, “ Polycopié de coupe des métaux en fabrication mécanique productique, Université des Sciences et de la Technologie d’Oran, 2018 ”.
- [9] Dr. SAOUDI Abdenour, “ Procédés de mise en forme, cours, Université Abbes Laghrour Khenchela, 2020 ”.
- [10] [10] DJELIL Abderrahmen, “ Etude de la technologie de fabrication d’un embouti de bouteille à gaz – Test de l’aptitude à l’emboutissage de l’acier P265NB, mémoire, Badji Mokhtar Annaba, 2020 ”.
- [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Procédés d’obtention de pièces mécaniques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Procédés_d'obtention_de_pièces_mécaniques).
- [12] BENZAADA. S, “ Fonderie et soudage, livre ”.
- [13] [13] BENZAADA. S, “ Coupe des métaux, livre ”.
- [14] Dr. MEZIANE EL Hadj, “ Polycopié de technologie de base, Université HassibaBenbouali de Chlef, 2017 ”.
- [15] HABAK Malek, “ Etude de l’influence de la microstructure et des paramètres de coupe sur le comportement en tournage dur de l’acier `a roulement 100Cr6, thèse, 2006 ”.
- [16] GAËTAN Albert, “ Identification et modélisation du torseur des actions de coupe en fraisage, thèse, Université de Bordeaux 1, 2010 ”.
- [17] DEPEYRE Philippe, “ Fabrication mécanique, cours, Université de la Réunion, 2005 ”.

- [18] SEDRAT Toufik, « Étude et conception d'un procédé d'emboutissage Appliqué aux moules d'emboutissage pour emballage métallique, mémoire de magistère, Université de Batna, 2007 ».
- [19] Christian Mascle, « Fabrication avancée et méthodes industrielles, article, 2012 ».
- [20] Jean-Pierre Cordebois, « Fabrication par usinage, article, 2011 ».
- [21] CAMPOCASSO Sébastien, « Développement d'un modèle d'efforts de coupe multi-opérations et multi-matériaux Application au tournage du cuivre pur dans différents états métallurgiques, thèse, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Paris, 2013 ».
- [22] DORIAN Fabre, « Mécanismes de coupe induits par le brochage d'un acier inoxydable ferrito-martensitique, thèse, Université de LYON, 2016 ».
- [23] C. Bellais, « Brocheuses., Techniques de l'ingénieur - Outillage et machineoutil pour le travail des matériaux, article, 1998 ».
- [24] J. Bertin, « Usinage par outils à arêtes coupantes multiples : Brochage. Techniques de l'ingénieur - Archives - Travail des métaux - Assemblage, article, 1975 ».
- [25] SOLIDWORKS Education, Conception mécanique et technologie.
- [26] Y. Altintas, « Manufacturing Automation, Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Design, Cambridge University Press, 2000 ».
- [27] ÉRIC Felder, « Procédés d'usinage ».

Annexes

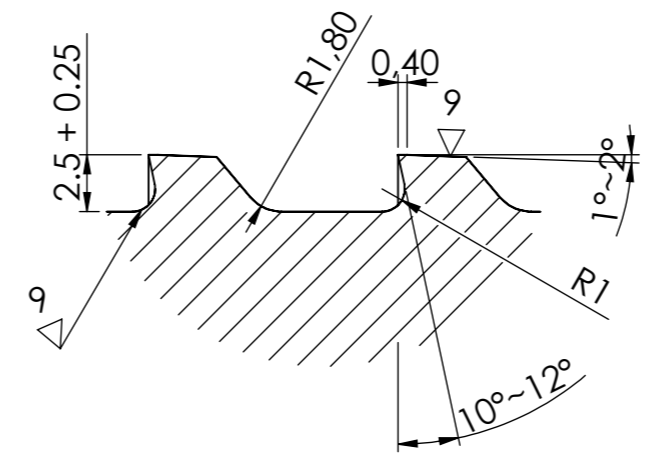
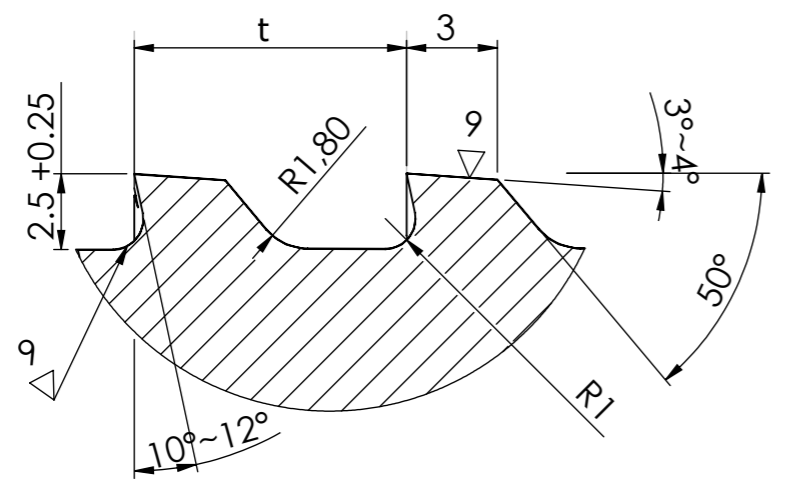


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

COUPE B-B
ECHELLE 1 : 1

Dent coupante

Dent de brunissage



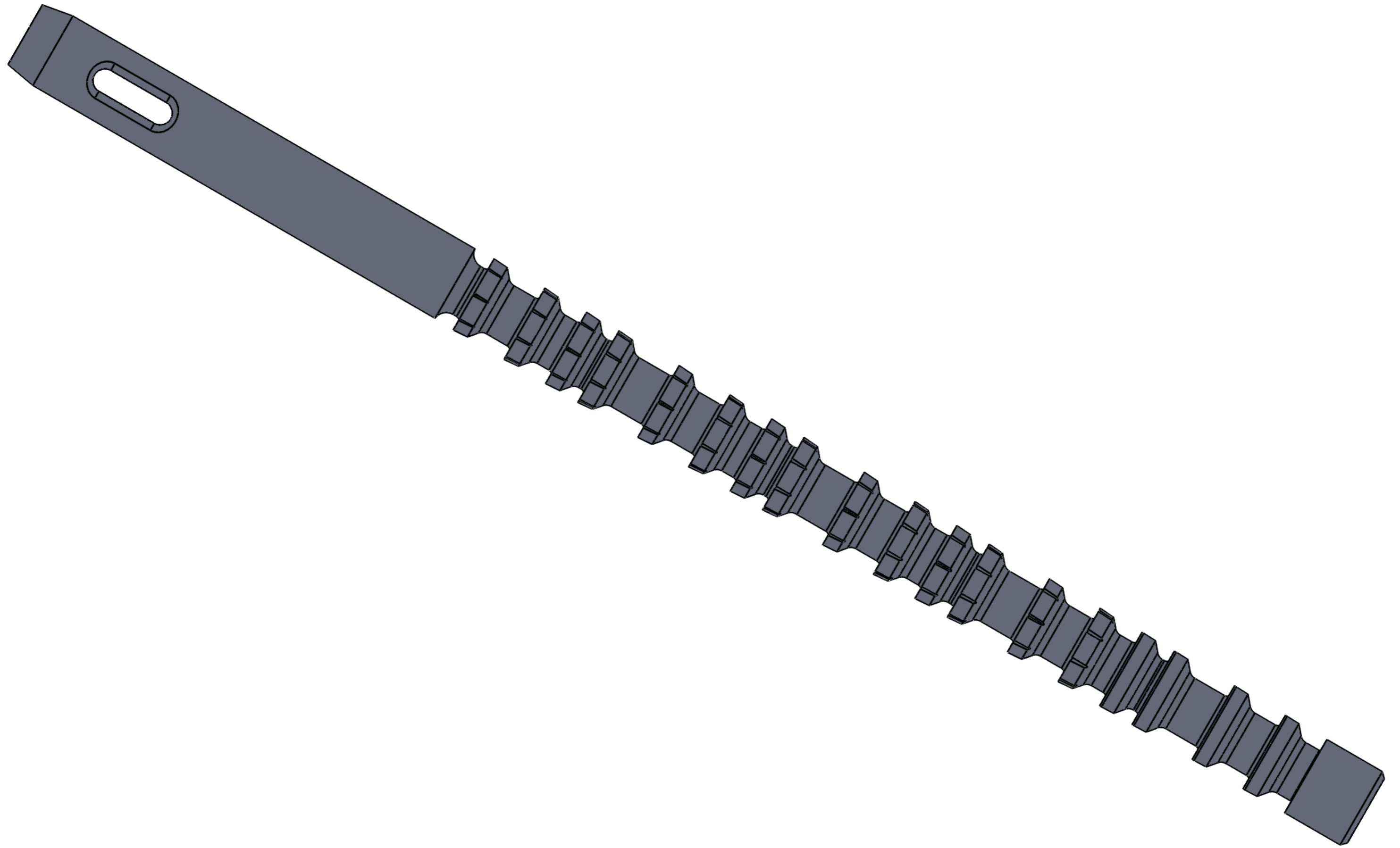
COUPE C
ECHELLE 4 : 1

COUPE D
ECHELLE 3 : 1





Distances inégales de dents:
Pas: 11- 9 -7 -13- 11- 9- 7 -13 ...






| Tolérance | -0.015 | | | | | | | | | | | | | | | | | -0.01 | | |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Dimension D | 15.36 | 15.40 | 15.44 | 15.48 | 15.52 | 15.56 | 15.60 | 15.64 | 15.68 | 15.72 | 15.76 | 15.80 | 15.84 | 15.87 | 15.88 | 15.88 | 15.88 | 15.88 | | |
| N° dent | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | |



| | | | |
|---|--|---------------------------|------------|
| ENTREPRISE DE CONSTRUCTION MECANIQUE DE KHENCHELA E.C.M.K | | PRODUIT: | |
| Echelle: 1:1 Dessiner par: - Mebarki - Guerrab | | CODE : Le: Emargement: | |
| Verifié par: | | Le: Emargement: | |
| Modifié par: | | H.R.C: 40~45 63~68 | |
| Modification N°: | | Mat: XC45 W18 | Feuil :1/1 |



Annexe n°2 : GAMME D'USINAGE

| Nom et Prénom | | - GUERRAB Souheila - MEBARKI Mounir | Feuille | 3 | |  |
|------------------------|---|--|-----------------------|--------------------------------------|---|---|
| Élément | | Broche cylindrique | Matière | - Acier rapide - Acier au carbone | | |
| Nombre de pièce | | 01 | Désignation | - W18Cr4V - XC45 | | |
| N° Phase | Désignation de la phase, sous phase et opération | Machine utilisée | Outil de coupe | Outil de contrôle | Croquis | |
| 10 ° | 11_Débitage (Découpage). 12_Définir les cotes (W18Cr4V : Ø18x220 (mm)/ (XC45) : Ø18x90 (mm)). 13_Controlé de brute. | Machine de découpage | / | Pied à coulisse |  | |
| 20 ° | Sablage | Machine de sablage | / | / |  | |
| 30 ° | Soudage en bout | Machine de soudage | / | / |  | |

| | | | | | |
|------|---|------------------------------------|--|--|---|
| 40 ° | <p>41_ Tournage conventionnel.</p> <p>42_ Dressage.</p> <p>43_ Opération de centrage.</p> <p>44_ Opération de chariotage.</p> <p>45_ Opération de Chanfreinage.</p> <p>46_ Traçage des dents.</p> <p>47_ taillage des dents sur la partie active.</p> | Tour conventionnel Modèle AI616 | <ul style="list-style-type: none"> - Outil à dresser et charioter - Outil de forme | <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. - Micromètre. - Rapporteur d'angle d'outillage. - Comparateur. |  |
| 50° | <p>51_ Tournage à CNC.</p> <p>52_ préparation de l'échantillon.</p> <p>53_ Préparer le programme avec code G.</p> <p>54_ Validation du programme avec simulation.</p> <p>55_ Validation des paramètres machine et lancement du programme d'usinage.</p> | Machine CNC | Outil à charioter à plaquette en carbure métallique | / |  |
| 60° | <p>61_ Fraisage des brises coupeaux.</p> <p>62_ Contrôle.</p> | Fraiseuse verticale | Fraise à queues cylindrique. | Cale d'angle. |  |
| 70° | <p>71_ Traitement thermique.</p> <p>72_ Sablage.</p> | / | / | / |  |
| 80° | Affûtage des angles. | Machine d'affûtage | Meule spéciale en diamant | / |  |

| | | | | | |
|------|----------------|-------------------------|-------|---|---|
| | | | | | |
| 90° | Rectification | Rectifieuse horizontale | Meule | / |  |
| 100° | Contrôle final | Atelier de contrôle | / | <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. - Micromètre. - Rapporteur d'angle d'outillage. - Cale d'angle. |  |

Annexe n°3

Code G

%01

N10G52GX-10Z200

N15T9D9M6

N20G92S600

N25M4S500

N30G95F.3

N35X20Z2

N40G96S150

G1X15 .17Z0G42

N45X10z-4

N50X15.36

N55X14.994Z-7

N60X11 .286Z-8.555

N65G2X10Z-9.934R1.8

N70X10Z-15

N75X15.4

N80X15.034Z-18

N85X11 .286Z-19.572

N90G2X10Z-20.951R1.8

N95X10z-24

N100X15.44

N105X15.074Z-27

N110X11 .286Z-28.589

N115G2X10Z-29.968R1.8

N120X10Z-31
N125X15.48
N130X15.114Z-34
N135X11 .286Z-35.606
N140G2X10Z-36.985R1.8
N145X10Z-44
N150X15.52
N155X15.154Z-47
N160X11 .286Z-48.623
N165G2X10Z-50.002R1.8
N170X10z-55
N175X15.56
N180X15.194Z-58
N185X11 .286Z-59.64
N190G2X10Z-61.019R1.8
N195X10z-64
N200X15.60
N205X15.234Z-67
N210X11 .286Z-68.657
N215G2X10Z-70.036R1.8
N220X10z-71
N225X15.64
N230X15.274Z-74
N235X11 .286Z-75.674
N240G2X10Z-77.053R1.8
N245X10z-84
N250X15.68

N255X15.314Z-87
N260X11 .286Z-88.691
N265G2X10Z-90.07R1.8
N270X10z-95
N275X15.72
N280X15.354Z-98
N285X11 .286Z-97.708
N290G2X10Z-99.087R1.8
N295X10Z-104
N300X15.76
N305X15.434Z-107
N310X11 .286Z-106.725
N315G2X10Z-108.104R1.8
N320X10z-111
N325X15.80
N330X15.474Z-114
N335X11 .286Z-113.742
N340G2X10Z-115 .121R1.8
N345X10z-124
N350X15.84
N355X15.504Z-127
N360X11 .286Z-126.759
N365G2X10Z-128.138R1.8
N370X10Z-135
N375X15.87
N380X15.722Z-138
N385X11 .286Z-137.776

N390G2X10Z-139.173R1.8
N395X10z-144
N400X15.88
N405X15.722Z-147
N410X11 .286Z-148.861
N415G2X10Z-150.24R1.8
N420X10z-151
N425X15.88
N430X15.722Z-154
N435X11 .286Z-155.861
N440G2X10Z-157.24R1.8
N445X10z-164
N450X15.88
N455X15.722Z-167
N460X11 .286Z-168.861
N465G2X10Z-170.24R1.8
N470X10z-175
N475X15.88
N480X15.722Z-178
N485X11 .286Z-179.861
N490G2X10Z-181.24R1.8
N495X10z-184
N500X15.83
N505Z-196
N510X13.83Z-197
N515Z-198
N520G0X18G40

N525G52G2X-10Z-200

N530M02