RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ Dr YAHIA FARES DE MÉDÉA
FACULTÉ DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DU GÉNIE MÉCANIQUE

Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master

En Génie mécanique

Thème

Etude et conception d'un poinçon en acier à outil Z160CrMoV12 pour la fabrication des rondelles en acier ordinaire

Présenté Par :
BAHRI BENAISSA
OUAIL LAKHDR

Proposé et dirigé par :
Encadreur : Dr.R. BOUGHEDAOUI

Promotion 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donne le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur Boughedaoui Rachid pour son soutien, ses conseils judicieux et leur grande bien vaillance durant l'élaboration de ce travail.

Nos remerciements également Monsieur Hbireche Mohamad.

A tous les ingénieurs de l'unité pompes de Berrouaghia.

A tous les enseignants du département de génie mécanique de l'université Yahia Farés Médéa.

Un mémoire et le fruit de plusieurs années d'études et nous ne saurions oublier dans nos dédicaces l'ensemble de nos professeurs et maitres qui ont contribué de prés ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédier ce modeste travail à:

Mes parents pour leur assistance encouragements et un sacrifice infaillible.

Mon épouse pour sa patience, ses encouragements et son soutien durant les moments difficiles

Mes enfants Aroua, Rahaf et Wael .

Et sans oublier mes chers frères et sœurs.

Benaissa

Je dédier ce modeste travail à :

Ma mère pour leur assistance encouragements et un sacrifice infaillible. .

A la mémoire de mon père.

Mes grands parents.

Mon épouse pour sa patience ; ses encouragements.

Mes enfants Sara, Mohamed ,Meriem, Abdelrahim ,Kaoutar et Amina

Et sans oublier mes chers frères et sœurs.

Lakhdar

LISTE DES FIGURES

FIGURE I.1 : LES ÉTAPES DE DÉCOUPAGE [2] 3

FIGURE I.2: PRINCIPE DU CISAILLAGE [11] 3

FIGURE I. 3: PRINCIPE DE POINÇONNAGE [6] 4

FIGURE I.3 : PIÈCE À POINÇONNER [18] 5

FIGURE I.5: PIÈCES À OBTENIR PAR GRIGNOTAGE [18] 5

FIGURE I.6: PIÈCES À OBTENIR PAR CREVAGE [18] 5

FIGURE I.7: PIÈCE À OBTENIR PAR AJOURAGE [18] 6

FIGURE I.8: PIÈCE À OBTENIR PAR DÉTOURAGE [19] 6

FIGURE I.9: PIÈCE À OBTENIR PAR SOYAGE [19] 7

FIGURE I.11: ENCOCHAGE [18] 8

FIGURE I.12: OPÉRATION DE ROULAGE [15] 8

FIGURE I.13 : MACHINE DE CINTRAGE[19] 8

FIGURE I.14: OPÉRATION DE PLIAGE [18] 9

FIGURE I.15: TECHNIQUE DU PLIAGE [18] 10

FIGURE I.16: PLIAGE EN VÉ [18] 10

FIGURE I.17: PLIAGE EN FRAPPE [18] 11

FIGURE I.18: PLIAGE EN U [18] 11

FIGURE I.19: PLIAGE EN L [18] 11

LISTE DES FIGURES

FIGURE I.20 : PLIEUSE À TABLIER MANUELLE [18] 12

FIGURE I.2: SCHÉMATISATION DE L'OPÉRATION D'EMBOUTISSAGE [18] 13

FIGURE I.22: DIFFÉRENTES PHASES D'UNE OPÉRATION D'EMBOUTISSAGE [18]..... 15

FIGURE I.23: PROCÉDÉ D'EMBOUTISSAGE AVEC FREINAGE DE LA TÔLE SOUS SERRE-FLAN [18]..... 15

FIGURE I.24: L'EMBOUTISSAGE À FROID [18]..... 16

FIGURE I.25: L'EMBOUTISSAGE À CHAUD [18]..... 17

FIGURE I.26: RETOUR ÉLASTIQUE [18]..... 19

FIGURE I.27: RETOUR ÉLASTIQUE LORS D'ÉTIRAGE [18]..... 20

FIGURE I.28: DIRECTION DES EFFORTS FE ET FS [18] 21

FIGURE II. 1 : VUE EN COUPE DE LA PARTIE ACTIVE DE L'OUTILLAGE DE POINÇONNAGE ET DE LA TÔLE [5]..... 23

FIGURE II.2: REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DU PROCÉDÉ DE POINÇONNAGE [1] 23

FIGURE II.3 : DIFFÉRENTES PHASES DE LA DÉCOUPE (POINÇONNAGE) [1]..... 25

FIGURE II. 4 : EVOLUTION DE L'EFFORT AXIAL DU POINÇON EN FONCTION DE LA PÉNÉTRATION [8] . 26

FIGURE II.5: REPRÉSENTATION DE LA FORME GÉNÉRALE DU COURBE EFFORT / DÉPLACEMENT [8] .. 26

FIGURE II.6 : EXEMPLE D'UN OUTIL DE POINÇONNAGE [15] 27

FIGURE II.7 : EXEMPLE DE DÉSIGNATION D'UN POINÇON [20]..... 28

FIGURE II.8 : DIFFÉRENTS FACES GÉOMÉTRIQUES DES POINÇONS [13]. 29

FIGURE II.9: ASSEMBLAGE D'UN POINÇON [13]. 29

FIGURE II.10: DIFFÉRENT FORMES DES POINÇONS [13] 30

LISTE DES FIGURES

FIGURE II.11: PIONÇONS EN 3D [20]..... 30

FIGURE II.12 : CLASSIFICATIONS DES MÉTHODES DE GUIDAGE DE POINÇON [13]. 30

FIGURE II.13 : QUELQUES MÉTHODES DE FIXATION DES POINÇONS. [13] 31

FIGURE II. 14: BUTÉES ÉLASTIQUES [13] 31

FIGURE II.15 : TYPES DES PROFILE DES MATRICES PROFILE [13] 32

TABLEAU II. 1 : VALEURS DE LA HAUTEUR *H* DÉPENDS DE L'ÉPAISSEUR DES TÔLES [13]..... 32

FIGURE II.16 : EXEMPLE DE DÉSIGNATION D'UNE MATRICE [20] 32

FIGURE II.17 : JEU DE GLISSIÈRES. [13] 33

FIGURE II.18 : MODES DE FIXATION NEZ /SEMELLE SUPÉRIEURE 34

FIGURE II.19 : LES ÉLÉMENTS QUI CONSTITUENT D'UN OUTIL DE POINÇONNAGE [13] 35

FIGURE II.20: NOMENCLATURE DES ÉLÉMENTS DE LA GÉOMÉTRIE DU DÉCOUPAGE [16]..... 36

FIGURE II.21 : ANGLE DE DÉPOUILLE DE LA MATRICE DE 2° À 3° [9] 37

FIGURE I.22 : ABAQUE POUR DÉTERMINER LA FORCE DE POINÇONNAGE [15] 39

FIGURE II.23: CONTRAINTE DE COMPRESSION SUR LE POINÇON [9]..... 40

FIGURE II.24: L'ÉTAT D'UN FLAMBEMENT DU POINÇON DE DÉCOUPAGE [9] 41

FIGURE II.25: CARACTÉRISATION DU PROFIL D'UNE PIÈCE DÉCOUPÉE [8]. 42

FIGURE II. 26 : BORD DE DÉCOUPE[8]..... 42

FIGURE II. 27 : INFLUENCE DU JEU POINÇON/MATRICE SUR LA BAVURE DE DÉCOUPE [12] 43

FIGURE II. 28 : LE JEU ENTRE POINÇON/MATRICE..... 44

LISTE DES FIGURES

FIGURE II.29 : EXEMPLE JEU ENTRE POINÇON ET MATRICE [13]..... 44

FIGURE II.30: OPÉRATION DE DÉCOUPE *:* PHASE DE GLISSEMENT / FROTTEMENT DU POINÇON SUR LA TÔLE[1]..... 46

FIGURE II.31 : EVOLUTION DES ARÊTES DE DÉCOUPE D'UN POINÇON ET D'UNE MATRICE [1] 46

FIGURE II. 32: SCHÉMATISATION DE LA ZONE ACTIVÉE DU POINÇON [1] 47

FIGURE III.1 : ANGLE DE DÉPOUILLE DE LA MATRICE DE 2° À 3°..... 51

FIGURE III.2 : RECTIFICATION D'UNE MATRICE 52

FIGURE III.3 : OUTIL SIMPLE DÉCOUVERT [09] 53

FIGURE III.4 : OUTIL DÉCOUVERT À BUTÉES [09]..... 53

FIGURE III.5 : OUTIL À ENGRENAGE [09]..... 54

FIGURE III.6 : OUTIL À PRESSE BANDE [09] 55

FIGURE III.7 : OUTIL SUISSE [09] 56

FIGURE III.8: OUTIL DE DÉTOURAGE NORMAL [09]..... 57

FIGURE III.9: OUTIL DE DÉTOURAGE À RAS [09]..... 57

FIGURE III.10: OUTIL DE DÉTOURAGE-POINÇONNAGE [09] 58

FIGURE III.11 : DEUX OUTILS DE REPRISE FAITE AVEC SOLIDWORKS [09]..... 59

FIGURE III. 12: OUTIL DE POINÇONNAGE À SERRE-FLAN. [09] 59

FIGURE III. 14 : OUTIL COMBINÉ [09]..... 60

FIGURE IV.1 : SCHÉMA D'UN OUTIL DE POINÇONNAGE 61

FIGURE IV.2 : SCHÉMA DE DEUX FORMES DES TROUS À POINÇONNER..... 63

LISTE DES FIGURES

TABLEAU IV.1 : VALEUR RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT [9] 63

FIGURE IV.3 : DÉCHET FAIBLE 65

FIGURE IV.4. DÉCHET IMPORTANT 66

FIGURE IV.5 : FLAMBEMENT D'UN POINÇON SOUMIS À UN EFFORT AXIAL [13] 68

FIGURE IV.6 : POINÇON 71

FIGURE IV.7 : POSITION DE CENTRE DE GRAVITÉ DE L'OUTIL DE POINÇONNAGE 73

FIGURE IV.8 : PHOTO PRESSE À EXCENTRIQUE TYPE LENP 40A [17] 76

FIGURE IV.9 : EMPLACEMENT ET FIXATION DE L'OUT DE POINÇONNAGE DANS LA PRESSE [17]. 77

FIGURE IV.10 : COURBE T.R.C. DE Z160CRMOV12 AUSTÉNITISATION À 1030 °C [22] 81

FIGURE IV.11: LES ÉTAPES DE TREMPE ET REVENU DE Z160CRMOV12 [23] 82

FIGURE IV.12 : DURETÉ DE Z160CRMOV12 EN FONCTION DE TEMPÉRATURE [22] 82

Liste des tableaux

TABLEAU I.1: TABLEAU DE DÉTERMINATION DU COEFFICIENT K EN FONCTION DE D/D. [18] 21

TABLEAU I.29: MATÉRIAUX DU FLAN ET LEURS PRESSIONS SPÉCIFIQUES [18] 21

TABLEAU I.3: VITESSES D'EMBOUTISSAGE POUR DIFFÉRENTS MATÉRIAUX [18] 22

TABLEAU II.2 : VALEURS DE *H ET H* DÉPENDS DE L'ÉPAISSEUR DES TÔLES [13] 34

TABLEAU II.1 : VALEURS DE COEFFICIENT DE JEU CJ [13] 44

TABLEAU IV.2 : VALEUR COEFFICIENT DE JEU CJ [13]. 67

TABLEAU IV.3 : VALEUR RECOMMANDÉE DE JEU ENTRE POINÇON ET MATRICE [13]. 67

TABLEAU IV.4: VALEURS DE LA LONGUEUR DE FLAMBAGE L EN FONCTION DE LA LONGUEUR RÉELLE L [9] 69

TABLEAU IV.5 : FICHE TECHNIQUE DE LA PRESSE À EXCENTRIQUE TYPE LENP 40A [17] 75

TABLEAU IV.6 : ELÉMENTS CONSTITUANTS L'OUTIL DE POINÇONNAGE. 78

TABLEAU IV. 7 . CORRESPONDANCES DES PRINCIPALES NORMES DE Z160CRMOV12 [21] 79

TABLEAU IV. 8 : LES DIFFÉRENTES PIÈCES CONSTITUANT L'OUTIL DE POINÇONNAGE. 83

Liste des abréviations

C (%) : pourcentage de l'élément chimique Carbone

Cr : Chrome élément d'alliage (d'addition) par teneur décroissante

Dp : Diamètre du poinçon, en mm

Dm : Diamètre du poinçon, en mm

e : Epaisseur de la tôle, en mm

E : Module d'élasticité en N/mm2

F : Effort de pliage en daN

Fcr : charge critique en daN

Fdév : Effort de dévitissage en daN

Féj **:** Effort d'éjection en daN

F_P **:** Effort de Poinçonnage, en daN

Fpresse **:** Effort fourni par la presse en daN

J : Jeu de découpage en (mm)

HRC :Dureté Rockwell

I : Le moment quadratique de la section en mm4

Mn (%) : pourcentage de Manganèse

Mo(%) : pourcentage de molybdène

Ni : Nickel élément d'alliage (d'addition) par teneur décroissante

Rc : Résistance au cisaillement de tôle

Re : (Limite conventionnelle d'élasticité) Limite d'élasticité daN/mm2

Rg : Résistance pratique au cisaillement (glissement) en daN/mm2

Si (%) : pourcentage de l'élément chimique Silicium

TTT : Transformation température temps

TRC : Transformation en refroidissement contenu

P : Périmètre de coupe, en mm

POVL : Entreprise de fabrication des vannes et pompes Berroughia

V (%) : pourcentage de vanadium

X : Symbole acier fortement allié

% : Pourcentage de carbone

α : Angle d'attaque ou angle de coupe en (°)

Sommaire

Remerciement

Dédicace

LISTE DES FIGURES I

Liste des tableaux V

Sommaire VII

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

CHAPITRE I : PROCÉDÉS DE MISE EN FORME DES TÔLES 2

I. 1. Introduction 2

I.2. Principaux procédés de mise en forme des tôles 2

I.2.1.3. Définition 2

I.2. 2. Cisaillage 3

I.2.2.1. Procédé de cisaillage 3

I.2.2.2. But du cisaillage 4

I.2.3. Poinçonnage 4

I.2.3.1.Principe 4

I.2. 3.2. Eléments principaux constituant un outil de poinçonnage 4

I.2.4. Grignotage 5

I.2.5. Crevage 5

I.2.6. Ajourage 6

I.2.7. Détourage 6

I.2.8. Soyage 7

I.2.9. Encochage 7

I.2.10. Roulage 8

I.2.11. Pliage 9

I.2.11.1. Définition 9

I.2.11. Principe du pliage 9

I.2.11.3. Différents modes de pliage 10

I.2.11.4. Pliage en Vé 10

I.2.11.5. Pliage en frappe 10

I.2.11.6. Pliage en U 11

I.2.11.7. Pliage en L 11

I.2.12. Procédé d'emboutissage 12

I.2.12 .1. Définition 12

I.2.12.2. Principe 13

I.2.12.3. Outils à simple effet 13

I.2.12.4. Outils à double effet 13
I.2.12 .5. Différentes phases d'une opération d'emboutissage 14
I.2.12.6. Principaux paramètres du procédé sont 15
I.2.12.7. Différents types de l'emboutissage 16
I.2.12.8. L'emboutissage à froid 16
I.2.12 .8 L'emboutissage à chaud (200° à 500°) 16
I.2.12.9. Emboutissage multi- passes 17
I.2.12.10. Avantages et les inconvénients de ce procédé 17
I.2.12.11.Difficultés du procédé d'emboutissage 18
I.2.12.12. Influence du coefficient d'écrouissage 20
I.2.12.13. Effort d'emboutissage cylindrique 20

CHAPITRE II : THÉORIE DE POINÇONNAGE 23

II.1 Introduction 23

II.2. Définitions 24

II.3. Différentes phases d'une opération de poinçonnage 25

II.4. Constitutions de l'outil de poinçonnage 27
II.4.1. Semelle inferieure 27
II.4.2. Poinçons 28
II.4.2.1. Différents faces géométriques des poinçons : 29
II.4.2.2. Assemblage d'un poinçon 29
II.4.3. Porte poinçon 31
II.4.4. Serre flan 31
II.4.5. La butée 31
II.4.6. La matrice 32
II.4.6.1. Profile d'une matrice 32
II.4.7. Les glissières 33
II.4.8. Semelle supérieure 34
II.4.9. Embases 34
II.4.10. Colonne de guidage 34
II.4.11 Partie supérieure de l'outil 34
I.5.1. Paramètres géométriques 36
II.5.2. Paramètres liés au réglage de l'outil 37
II.5.2.1. Serre-flan 38
II.5.2.2. Pénétration du poinçon dans la matrice 38
II.5.3. Paramètres liés à l'usure de l'outil 38
II.6. Effort de découpage et de poinçonnage 39
II.7. Contraintes sur les poinçons 40
II.7.1. Contrainte de compression 40
II.8. Avantages et inconvénients du poinçonnage 41
II.8.1. Avantages 41
II.8.2. Inconvénients 41
II.9. Qualité de la découpe 42
II.10 .Paramètres influant sur le procédé 43
II.11 .Le jeu de découpage entre le poinçon et la matrice 43

II.11 .1. Rôle (Jeu Poinçon – Matrice) 44
II.12. Paramètres physique 45
II.13. Comportement tribologique lors d'une opération de découpage 45
II.14. Frottement poinçon/tôle 45
II. 15. Usure des outils de découpage 46
II. 16. Qualité de la découpe 47
II.17. Mécanisme de l'usure 48
II. 18. Quantification de l'usure des poinçons 48
II.19. Conclusion 49

CHAPITRE III : LES OUTILS DE PRESSES 50

III.1. Introduction 50

III.2. Les éléments principaux des outils 50
III.2.1.Poinçon : 51
III.2.2. Matrice 51
III.2.3. Dépouille 51
III.3. Affûtage de l'outil 52
III.4. Types d'outil de presse 52
III4.1. Outils de découpage [09] 52
III.4.1.1. Outil découvert 52
III.4.1.2. Outil à contre plaque 54
III.4.2. Outil suisse (outil bloc) 55
III.4.3.1. Outil de détourage normal 57
III.4.3.2. Outil de détourage à Ras [09] 57
III.4.3.3. Outil de détourage-poinçonnage 58
III.4.4. Outils de reprise 58
III.4.5. Outil de poinçonnage à serre-flan 59
III.4.6. Outil combiné 60
III.5. Graissage des outils 60
III.6. Instructions et avertissements 60
III.7. Conclusion 60

CHAPITRE IV : ETUDE ET CONCEPTION DE L'OUTIL DE POINÇONNAGE 61

IV.1. Problématique 61

IV.2. Travail demandé 61

IV.3. Matériaux utilisés 62

IV.4. Processus de fabrication 62

IV.5. Calcul des efforts 63
IV5.2. Effort de dévêtissage (extraction) Fdév 65
IV.5.3. Calcul de l'effort d'éjection 66

IV.6. Calcul de l'effort fournir par la presse **66**

IV.7. Jeu de découpage **66**

IV. 8. Calcul des poinçons au flambement **68**

IV. 11. Choix de la presse à utiliser **73**

IV. 12. Conception de l'outil **77**

IV. 13. Choix des matériaux des poinçons [22] **78**
IV. 13. 1 APPLICATIONS 78
IV. 13. 3 Propriétés physiques [22] 80
IV. 13. 4 Compositions chimiques de Z160CrMoV12 [21] 80

IV. 14. Traitement thermique de Z160CrMoV12 ..... **80**
IV. 14. 1 Trempe : 80
IV. 14. 2 Revenu : 81
IV. 14. 3 Dureté suivant la température de revenu 82

IV.15.Mise en plant **83**

IV.16.Conclusion **84**

ANNEXE **86**

RESUME : **87**

Références bibliographiques **88**

Introduction générale

Malgré le progrès technologique dans le domaine industriel ,ainsi les moyens modernes utilises dans les procédés de la mise en forme des tôles ,tant que quelques techniques utilisées à ce jour ,parmi ces technique l'emboutissage pliage et poinçonnage .

Ce dernier notre domaine de recherche d'étude talque on à étudié et fabriqué l'outil de poinçonnage pour la fabrication des rondelles non normalisées (des dimensions spécial) utilisées dans le montage de la pompe immergé BGN18.

On remarque dans les outilles utilisées précédemment l'usure et détérioration des pionçons ce qui nous à poussé motivé pour à aborder ce sujet, on à utilisé le logiciel de conception SolidWorks 2017 pour la vérification et la conception des différents pièces.

Afin de détailler la démarche proposée, ce document de thèse est donc organisé en quatre chapitres.

Le premier chapitre comporte une recherche bibliographique de différents procédées de mise en forme des tôles telles que l'emboutissage, le pliage et le poinçonnage.

Dans le deuxième chapitre, les théories utilisées dans les calculs des procédées de poinçonnage.

Dans le troisième chapitre, est consacré les différents outils presses et leurs ventages et inconvénients.

L'essentiel du travail de conception est présenté dans le quatrième chapitre est présente l'étude et la conception de l'outil de poinçonnage. Le travail ainsi effectué, nous permet de tirer une conclusion générale.

Chapitre I

Procédés de mise en forme des tôles

Chapitre I : Procédés de mise en forme des tôles

I. 1. Introduction

La mise en forme des métaux donne à une pièce mécanique des dimensions qui se trouvent dans un intervalle donné. Les principaux procèdes de mise en forme des métaux sont diverses, tel que le cisaillement (découpage, poinçonnage.etc...), pliage et emboutissage…etc.

I.2. Principaux procédés de mise en forme des tôles

I.2.1. Découpage

I.2.1. 2. Généralités

Le découpage mécanique fait partie des procédés de transformation à froid des métaux. Ce type de procédé est de loin le plus pratiqué dans le domaine industriel. Il est effectué sur presse, et intervient notamment pour une large part dans la fabrication des composants dédiés à l'industrie électronique. Parmi tous les procédés industriels de mise en forme, le découpage de tôles est une opération particulière car contrairement à l'emboutissage et au pliage par exemple qui ont pour but de déformer plastiquement la matière des tôles, le découpage sollicite celle-ci jusqu'à la rupture finale. [1]

I.2.1.3. Définition

Le découpage des métaux en feuille est réalisé par l'action de cisaillement entre deux bords découpant tranchants (le poinçon et la matrice). Les étapes de l'action de cisaillement menant au découpage sont illustrées à la Figure I.1, depuis la pénétration du poinçon dans le matériau jusqu'à la fracture des bords et le détachement de la partie découpée. [2]

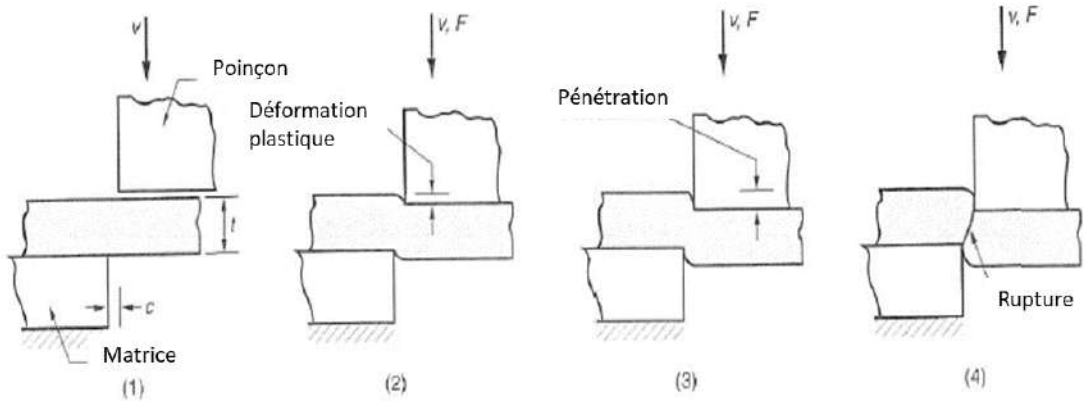


Figure I.1 : Les étapes de découpage [2]

I.2. 2. Cisaillage

La technique de cisaillage consiste à découper un matériau sous l'action d'un effort tranchant.

❖ Cisaillage des matériaux en feuilles:

Cette technique permet la découpe des formes extérieures sur des plaques minces (16 mm max.):

✓ Par des lames: cas de la cisaille guillotine,

✓ Par des molettes: pour des plaques de grandes longueurs (refondage des tôles en rouleaux par exemple). [3]

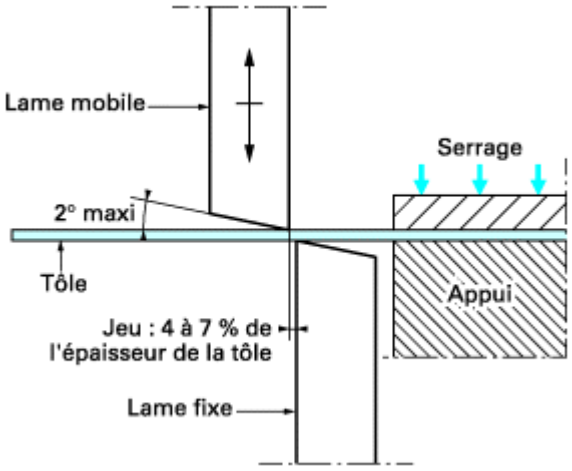


Figure I.2: Principe du cisaillage [11]

I.2.2.1. Procédé de cisaillage

Dans le cisaillage, les taillants des deux lames conjuguées sont pressés des deux côtés contre la matière. La pression provoque une pénétration plus ou moins profonde des lames dans la matière (couper, entailler). Les matières minces ou élastiques sont nettement coupées en suivant la ligne de coupe. En coupant des matières plus épaisses et moins élastiques, un effort de traction plus grand est

produit qui provoque la rupture de la matière le long de la ligne de coupe après avoir été coupée (ou entaillée).

I.2.2.2. But du cisaillage

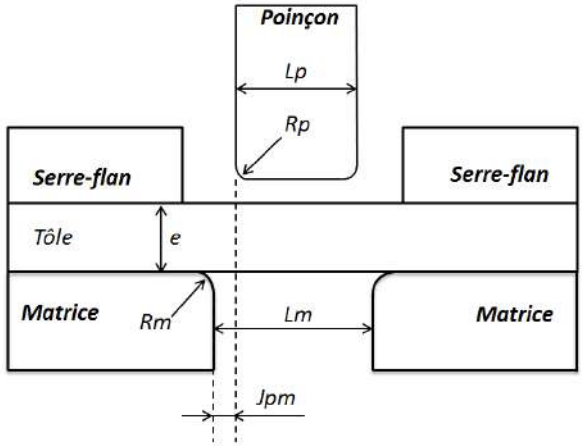
Le but du cisaillage est la division ou la coupe a dimension de matières pour un usinage ultérieur. Face a d'autres pratiques, le cisaillage présente des avantages

- ✓ Dans l'économie de temps et de matière et
- ✓ Du fait que les bords coupés n'ont en général pas besoin d'être retouchés.

I.2.3. Poinçonnage

I.2.3.1.Principe

Il consiste à détacher un contour donné d'un produit plat (une tôle). L'opération s'effectue sur une presse qui porte un outil dont les parties travaillantes sont les poinçons et les matrices qui permettent de cisailler la tôle sur sa profondeur en donnent la forme de la pièce désirée.



- L_p : largeur ou diamètre (cas axisymétrique) du poinçon
- L_m : largeur ou diamètre (cas axisymétrique) de la matrice
- J_{pm}: jeu poinçon-matrice
- R_p : rayon de l'arête coupante du poinçon
- R_m : rayon de l'arête coupante de la matrice

Figure I. 3: Principe de poinçonnage [6]

I.2. 3.2. Eléments principaux constituant un outil de poinçonnage

- ✓ **Le poinçon :** Pièce pleine dont la base possédant la forme de la pièce à découper. Il est de section constante, généralement animé d'un mouvement de translation.
- ✓ **La matrice :** correspondant à la forme de la découpe souhaitée. pièce ajourée de façon a ce que le poinçon s'ajuste dans l'ouverture avec un ajustement de jeu déterminé. Elle

comporte une dépouille d'environ 5 % pour éviter le laminage des flans sur une trop grande longueur, et réduire l'effort fourni par la presse.

- ✓ **Un serre-flan ou bien dévêtisseur :** qui à pour fonctions le maintien de la bande au cours du découpage, le guidage précis des poinçons par rapport aux matrices et le dévêtissage des poinçons de la matière découpée.

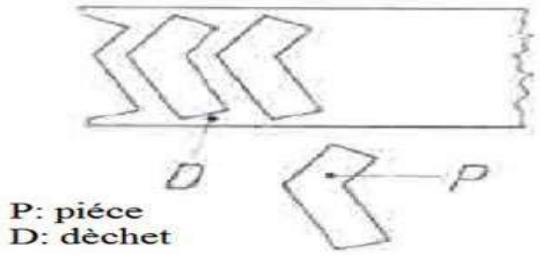


Figure I.3 : Pièce à poinçonner [18]

I.2.4. Grignotage

Cette technique permet de découper dans des matériaux en feuille des profils intérieurs et extérieurs à l'aide d'un poinçon animé de vibrations verticales rapides. Le profil est obtenu par la combinaison de la forme du poinçon et de la trajectoire relative outil-pièce. [3]

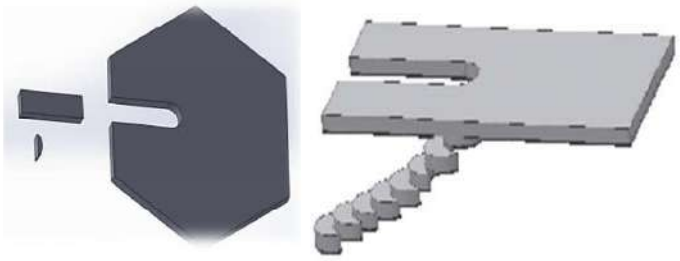


Figure I.5: Pièces à obtenir par grignotage [18]

I.2.5. Crevage

C'est un découpage partiel, suivant un contour sans enlèvement de matière. Il consiste à ne pas détacher la chute de la pièce. De plus, cette opération se fait sur des tôles épaisses.



Figure I.6: Pièces à obtenir par crevage [18]

❖ **Applications :**

- ✓ Ergot pour sertir une autre pièce.
- ✓ Crochet pour accrocher un ressort de traction.

I.2.6. Ajourage

C'est une opération de découpage dans un flan des trous de formes déférentes.

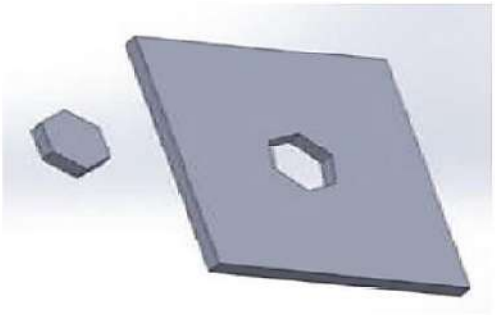


Figure I.7: Pièce à obtenir par ajourage [18]

I.2.7. Détourage

Finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation. Il consiste à enlever par les surfaces excédentaires autour d'une pièce préalablement formée. Le détourage est la dernière opération de formage. Suivant le type de pièce, on trouve plusieurs techniques :

- ✓ Les collerettes, après emboutissage, ne sont jamais régulières, il est possible de leur donner une forme régulière par détourage ;
- ✓ Lorsqu'on ne désire pas de collerette, l'arête de l'outil découpe suivant un bord non perpendiculaire à la surface de la tôle.

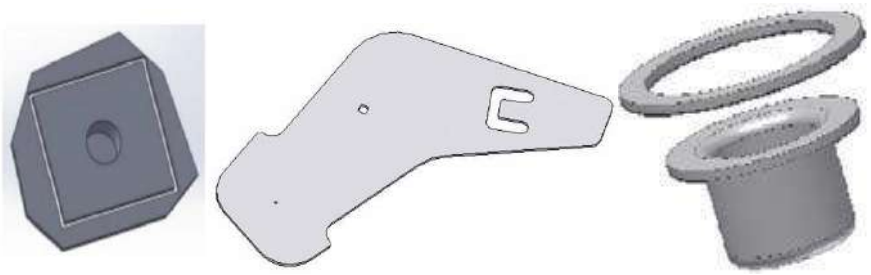


Figure I.8: Pièce à obtenir par détourage [19]

❖ **Applications :**

- ✓ Détourage de pièces **embouties** au niveau des contours intérieurs et extérieurs.

I.2.8. Soyage

Le soyage est la réalisation d'un collet (relevage des bords d'un trou) obtenu soit, après poinçonnage d'un trou, soit à l'aide d'un poinçon épaulé qui poinçonne le trou dans le vide et relève les parois de ce dernier, en même temps.

- **Applications :**
- ✓ Orifices de fixations.
- ✓ Passe– câbles dans des pièces de carrosserie ou d'électroménager.



Figure I.9: Pièce à obtenir par soyage [19]

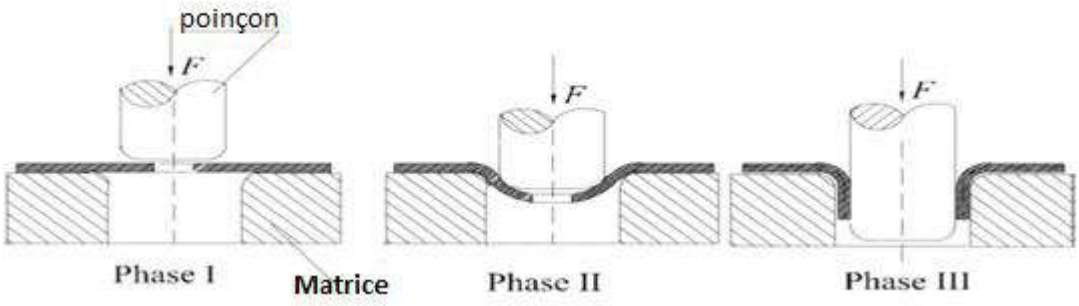


Figure I.10: Phases de soyage[13]

I.2.9. Encochage

L'encochage est une opération qui s'effectue sur des produits finis. Il s'agit d'un découpage débouchant sur une zone partielle du métal sur le bord d'un flan ou d'une bande, sur un contour de la pièce considérée.



Figure I.11: Encochage [18]

❖ **Applications :**

✓ Encoche pour positionner une autre pièce.

✓ Encoche pour le passage des vis de fixation pour une platine.

I.2.10. Roulage

Le roulage permet de plier des tôles pour en faire des tubes, des vis ou d'autres formes (principalement de révolution).

Note: le filetage des vis peut se faire à travers ce procédé. [4]

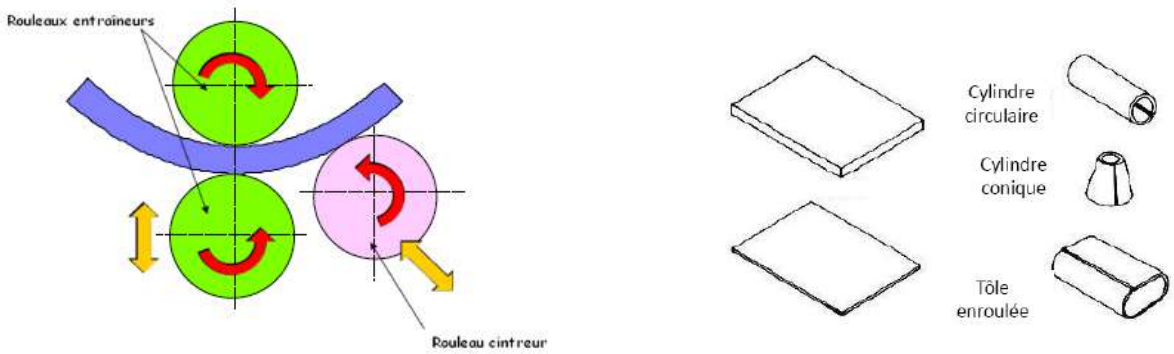


Figure I.12: Opération de roulage [15]



Figure I.13 : Machine de cintrage [19]

I.2.11. Pliage

I.2.11.1. Définition

Le pliage consiste à exercer une force sur une pièce reposant sur un ou plusieurs appuis ou encastrée à une extrémité. Cette force est exercée par une presse. La pièce se déforme au-delà de sa limite élastique et conserve donc sa forme pliée (avec tout de même un phénomène de retour élastique à prendre en compte). (Cours de fabrication mécanique. [4]

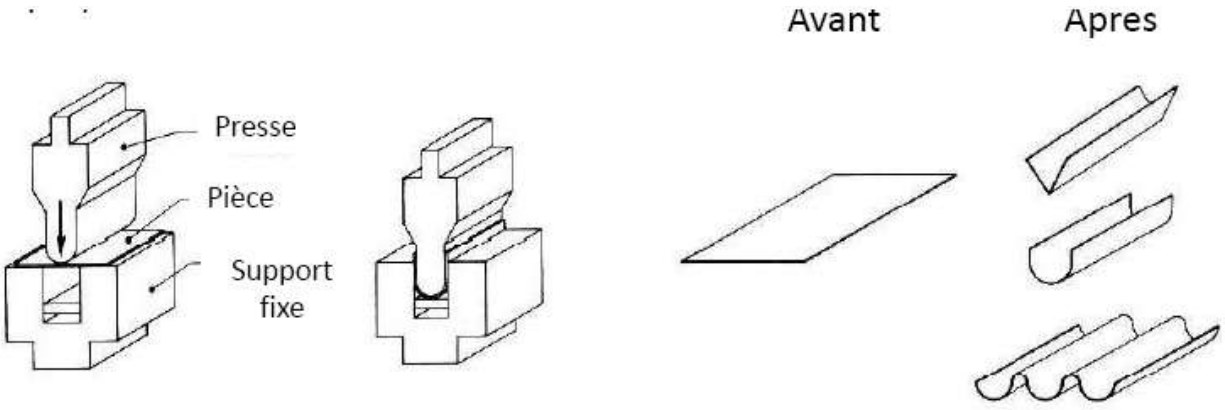


Figure I.14: Opération de pliage [18]

Il existe plusieurs techniques pour plier une pièce :

- ✓ Pliage en l'air dans une presse-plieuse
- ✓ Pliage en frappe, pliage sur plieuse à sommier ou universelle…

I.2.11. Principe du pliage

Le pliage est une déformation obtenue grâce à une force appliquée sur la longueur de la pièce. Celle-ci sera en appui sur deux (2) lignes d'appuis et s'apparente à la flexion.il faudra dépasser la limite élastique pour obtenir l'angle voulu .

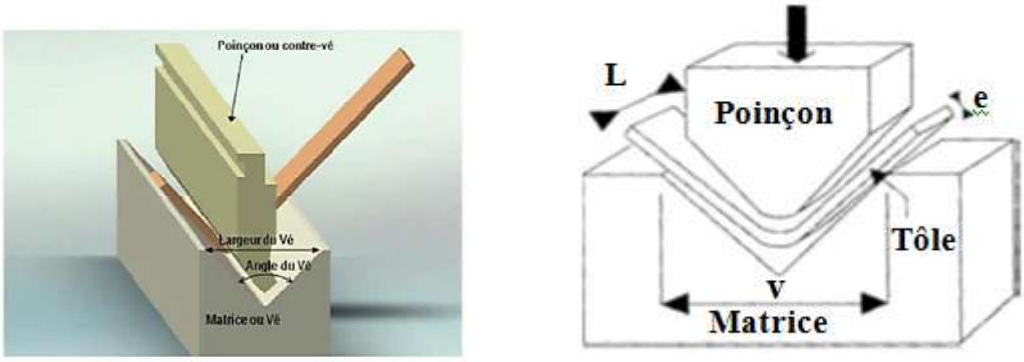


Figure I.15: Technique du pliage [18]

I.2.11.3. Différents modes de pliage

Suivant la géométrie des poinçons et les matrices, trois types de pliage sont distingués: En Vé, en U et en L.

I.2.11.4. Pliage en Vé

Dans le cas du pliage en Vé, le serre-flan est inutile. La variation de l'angle du V du poinçon et de la matrice entraine la variation de l'angle de formage de la tôle. Selon la course imposée au poinçon, le pliage est en l'air ou en frappe.

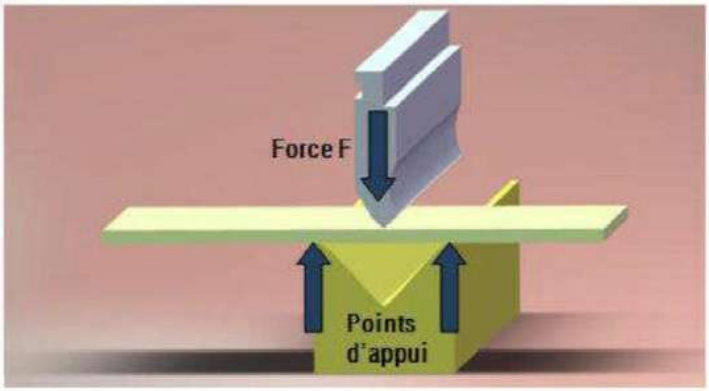


Figure I.16: Pliage en vé [18]

I.2.11.5. Pliage en frappe

Le poinçon entraîne les deux branches libres du pli jusqu'au contact des faces intérieures de la matrice, il en résulte un écrouissage de la zone pliée et l'angle obtenu est sensiblement égale à celui du vé.

Cette technique permet d'obtenir des pièces précises, mais elle nécessite des efforts de pliage importants (environ 30t/m/mm d'ép.). Il faut un outillage pour chaque angle et il est limité aux tôles jusqu'à 2 mm d'épaisseur. Le fait de matricer l'intérieur du pli permet d'obtenir des angles très précis (±0,5°).

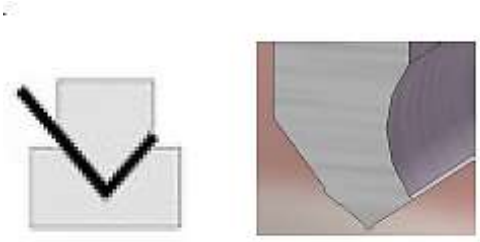


Figure I.17: Pliage en frappe [18]

I.2.11.6. Pliage en U

Le pliage en U comprend un serre-flan mobile qui bloque la matière sous le poinçon et évite donc les glissements de la tôle lors de la mise en forme entre les deux blocs matrices.

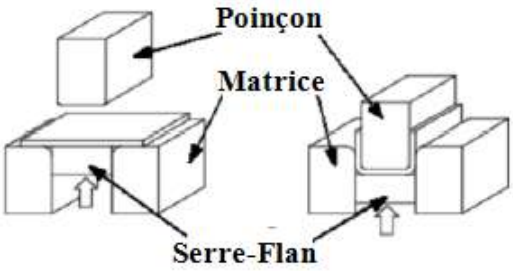


Figure I.18: Pliage en U [18]

I.2.11.7. Pliage en L

Le pliage en L ou en tombé de bord consiste à plier un flan en porte-à-faux à 90° maintenu entre la matrice et le serre-flan.

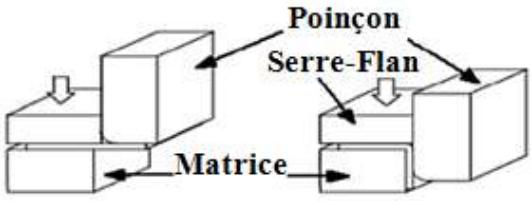


Figure I.19: Pliage en L [18]

- **Le retour élastique**

Lors de pliage d'une pièce à un angle imposé par l'outillage (angle de V) il y a un retour élastique lors du retrait du poinçon l'angle final α $final$ obtenu diffère de celui imposé par l'outillage α $outil$ de la valeur correspondant à ce retour élastique. Plus la limite élastique de l'alliage est grande plus le retour élastique sera grand. On peut vouloir estimer ce retour élastique qui dépend aussi de l'épaisseur de la tôle à plier.

Remarque : Le phénomène de retour élastique est quasi inexistant lors du pliage en frappe car on imprime avec force le poinçon dans la pièce, pour dépasser la limite d'élasticité.

- **Effort de pliage**

On pratique, on admet que l'effort nécessaire pour former un pli est égal au dixième de l'effort nécessaire pour cisailler la section de la tôle à cet endroit [3]:

$$F = \frac{(L.e.R_c)}{10} \qquad \text{(I.1)}$$

F : Effort de pliage (daN) ;

L : Longueur de pli (mm);

e : Epaisseur de la tôle (mm) ;

R: Résistance de la tôle au cisaillement (daN/mm^2)



Figure I.20 : Plieuse à tablier manuelle [18]

I.2.12. Procédé d'emboutissage

I.2.12 .1. Définition

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique d'une surface de métal entraînée par un poinçon dans une matrice.

Ce procédé permet d'obtenir rapidement et à moindre frais des tôles embouties. [3].

I.2.12.2. Principe

Cette technique de fabrication transforme une feuille de tôle mince appelée flan en une pièce de forme bien déterminée à l'aide d'un outillage simple (un poinçon, une matrice et un serre-flan) et avec une application d'une pression maitrisée. L'énergie nécessaire pour déformer le flan lors d'une opération d'emboutissage est fournie par une presse à emboutir.

Ce procédé, d'utilisation très générale, permet de fabriquer les pièces de carrosserie automobile, des appareils électroménagers ou des ustensiles de cuisine, des emballages métalliques, des pièces mécaniques. Ce mode de formage s'effectue sur une presse au moyen d'un outillage dont la configuration détermine l'effet obtenu sur le flan :

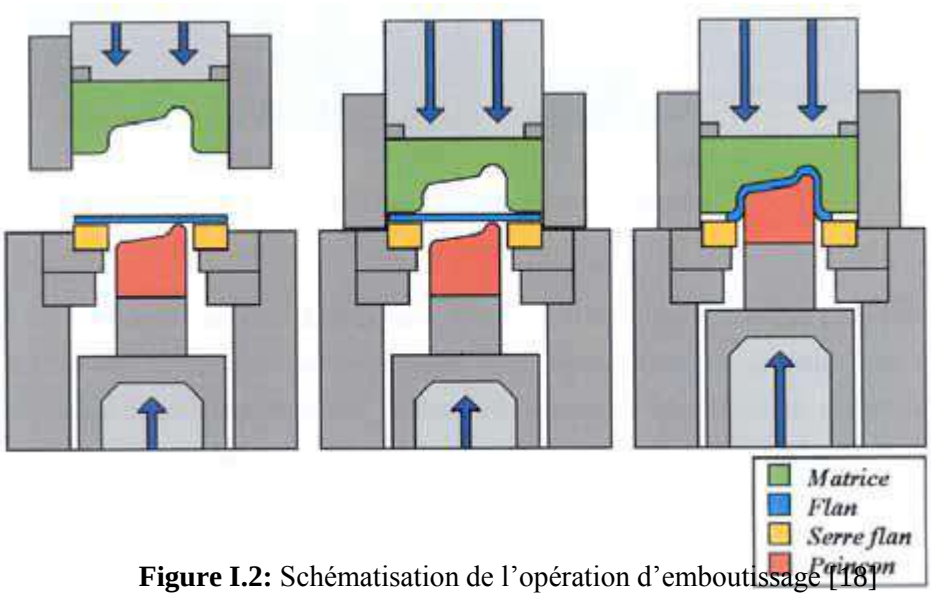


Figure I.2: Schématisation de l'opération d'emboutissage [18]

I.2.12.3. Outils à simple effet

Cette configuration est la plus simple. Elle est composée d'une matrice et d'un poinçon (équipé d'un coussin élastique situé sous la table de la presse). Pour cette technique, les emboutis réalisés sont peu profonds et ne nécessitent pas d'important effort de serrage.

I.2.12.4. Outils à double effet

Par rapport à l'emboutissage simple effet, l'emboutissage double effet comprend en plus un serre-flan. Cette technique de formage est la plus répandue dans l'industrie. Ici les emboutis sont très profonds et les efforts d'emboutissage sont importants. Un serrage très efficace est nécessaire pour ce type d'emboutissage.

L'outillage utilisé en emboutissage comprend donc:

- ✓ **Une matrice en creux** : Elle serre d'appuie à la tôle et lui donne la forme extérieure final au retour élastique prés.
- ✓ **Un poinçon en relief** : Coulissant plus ou moins vite sur l'axe vertical, et déformant la tôle, en gardant l'épaisseur de la tôle
- ✓ **Un serre-flan :** Son rôle est de maintenir plus ou moins le flan lors d'une opération d'emboutissage afin d'assurer un écoulement homogène du métal et prévenir les risques de plis ou autres défauts d'emboutissage .

L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de rétreint, aucun angle ne doit être vif et un parfait état de surface est primordial, la mise au point de tels outils est une opération très spécialisée et très coûteuse notamment sur les pièces d'aspect (exemple : plusieurs mois pour l'extérieur d'une portière, capot,. . etc) . La pénétration du poinçon dans la matrice nécessite un jeu fonctionnel entre ces deux éléments afin d'éviter l'écrasement de la tôle.

I.2.12 .5. Différentes phases d'une opération d'emboutissage

Sous l'action de la contrainte imposée par la partie active de l'outil, il se produit une déformation élastique puis une déformation plastique des matériaux, cette déformation passe par ces quatre phases suivantes : (voir la Figure I.24). [9]

Phase 1: Poinçon et serre flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice.

Phase 2: Le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression déterminée pour maintenir la tôle.

Phase 3: Le poinçon déforme la tôle de façon plastique en l'entraînant contre le fond de la matrice.

Phase 4: Le poinçon et le serre-flan se relèvent: la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée). La pièce formée reste au fond de la matrice. Il reste jusqu'à l'éjection et son détourage.

Phase 5: Après l'emboutissage on procède au (détourage) de la pièce : Il s'agit d'une opération consistant à découper l'excédent de tôle d'une pièce emboutie à l'aide d'un poinçon (essentiellement

les parties saisies par le serre-flan). Par la suite, les outils sont enlevés et la pièce conserve la forme acquise au retour élastique près.

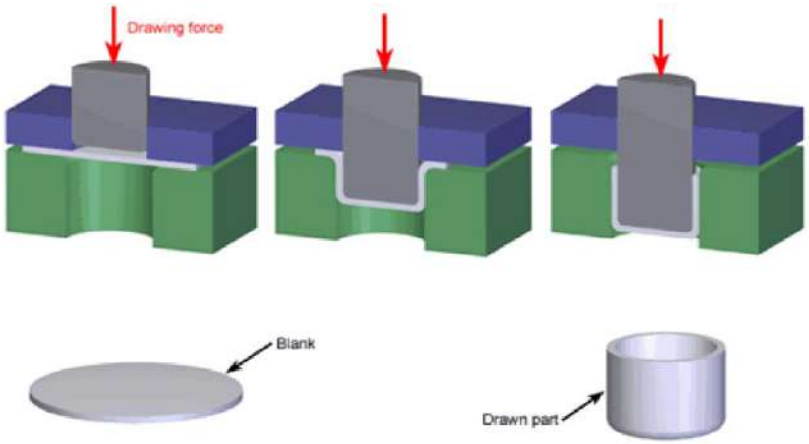


Figure I.22: Différentes phases d'une opération d'emboutissage [18]

I.2.12.6. Principaux paramètres du procédé sont

- ✓ L'épaisseur initiale de la tôle ;
- ✓ La loi de comportement du matériau et l'anisotropie de ce dernier ;
- ✓ La vitesse du poinçon ;
- ✓ La position du flan initial et le dimensionnement du contour initial ;
- ✓ La force de serrage serre-flan et les coefficients de frottement, ainsi qu'éventuellement la forme et la position de joncs (Figure I. 25).

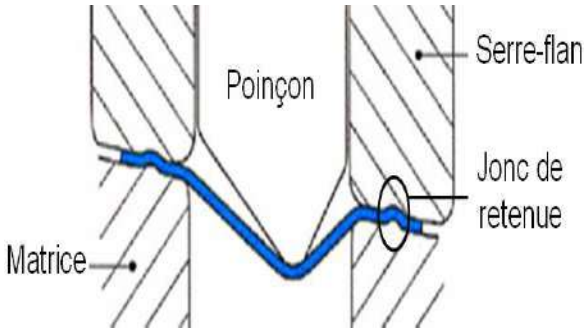


Figure I.23: Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan [18]

I.2.12.7. Différents types de l'emboutissage

On distingue deux types, l'emboutissage à chaud et l'emboutissage à froid.

I.2.12.8. L'emboutissage à froid

Cette technique consiste à former une pièce à température ambiante. Elle est principalement utilisée sur un outillage double effet mais peut aussi l'être sur un outillage simple effet dans le cas ou les emboutis sont peu profonds ou s'ils nécessitent peu d'effort de serrage.

Ce type de formage permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les couts et évite la formation d'oxyde. Néanmoins, l'épaisseur des tôles à emboutir ainsi que les caractéristiques mécaniques sont à l'origine des limitations de cette technique. En effet, il devient nécessaire pour les grandes épaisseurs d'effectuer l'emboutissage en plusieurs passes.

A ceci, il faut ajouter d'une part l'effet de l'écrouissage apparaissant lors de la mise en forme et se traduisant par un durcissement structural et une baisse de la ductilité. D'autre part, la création de contraintes résiduelles au sein de la pièce finie en limite ses applications (risque de rupture fatigue I.26). [14]

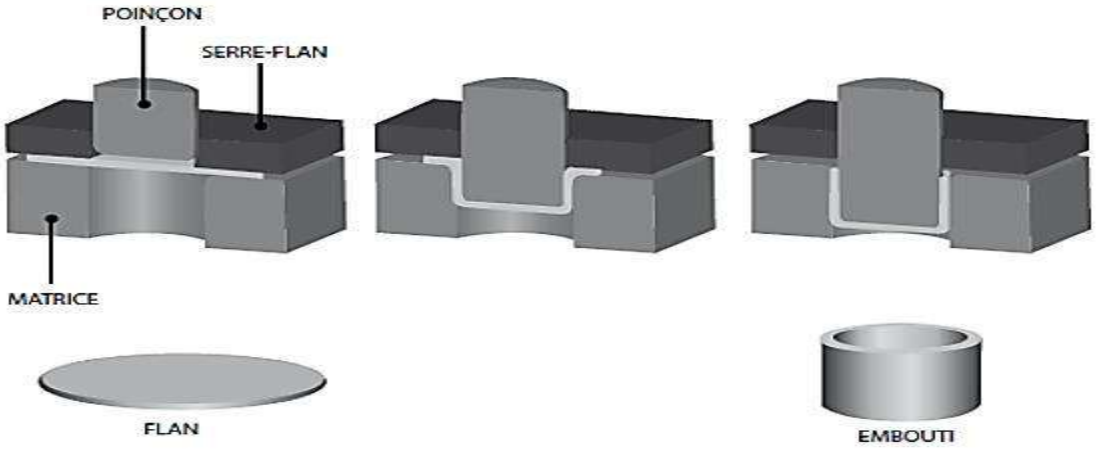


Figure I.24: L'emboutissage à froid [18]

I.2.12 .8 L'emboutissage à chaud (200° à 500°)

Il est principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important domaine d'application.

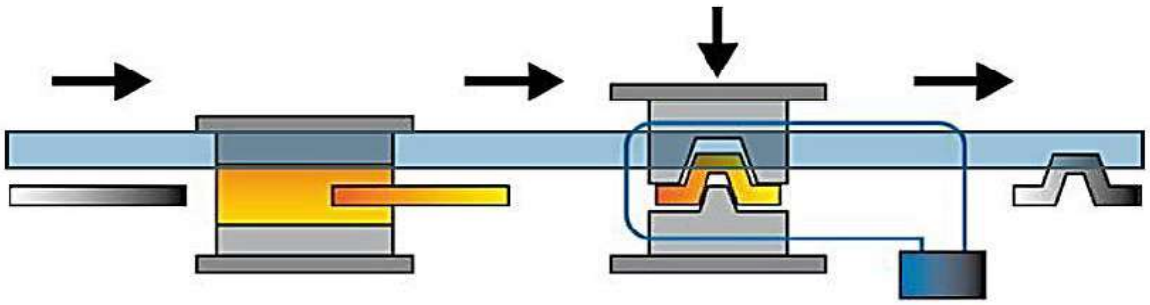
Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage des pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice) et évite l'écrouissage et la formation de contraintes résiduelles. Ce dernier se pratique :

- ✓ Quand le métal ou l'alliage ne peut pas se conformer à froid.

- ✓ Quand, en raison de l'épaisseur et de la surface de la tôle, l'emboutissage à froid exige une force supérieure à celle de la presse, dont on dispose.
- ✓ Quand, pour les faibles séries, on veut limiter les frais d'outillage, toujours importants, que nécessite l'emboutissage à froid.

Les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont moins élevées que celles de l'emboutissage à froid du fait de l'inertie de chauffage. De plus, les pièces finies sont de moins bonne qualité, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement. [15]

Enfin, cette technique nécessite des mises au point de la sécurité plus importantes .



Four à 900-950 °C 10 min.

Trempe martensitique dans temps de 4 à l'outil d'emboutissage

Figure I.25: L'emboutissage à chaud [18]

I.2.12.9. Emboutissage multi- passes

L'emboutissage profond consiste à transformer en plusieurs passes, des flans de forte épaisseur afin d'éviter la rupture mécanique au cours du processus de déformation. Les épaisseurs de pièces embouties peuvent être très faibles (de l'ordre de 0,05mm).

I.2.12.10. Avantages et les inconvénients de ce procédé

a) Les avantages

L'état de surface d'une pièce brute d'emboutissage est nettement meilleur que celui d'une pièce coulée.

L'esthétique des pièces embouties en est donc supérieure et les travaux de finition tel que le polissage sont moins lourds à gérer et surtout moins coûteux.

Cette technique de mise en œuvre offre un bas prix de revient et permet des cadences de production très élevées :

100 à 200 pièces par heure pour des pièces de gros volumes (carrosserie automobile).

3000 à 4000 pièces par heure pour des petites pièces (renfort, capuchon de réservoir).

b) Les inconvénients fréquemment rencontrés en emboutissage

Les zones d'étirement subissent un amincissement (qui doit rester limité pour éviter la rupture) et les zones de rétreint (compression) subissent une combinaison d'épaississement et de plissement. Le retour élastique, lorsque le poinçon se retire après la phase de mise en forme, la pièce ainsi formée n'est plus soumise à la force de maintien. Il se produit alors un retrait de la matière. Afin d'atténuer ce phénomène, il est courant de recourir à certains artifices tels que la frappe du rayon, l'étirage en fin de gamme ou le maintien prolongé du poinçon.

L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de retreint.

Pour obtenir des pièces précises il est nécessaire d'utiliser des logiciels permettant de simuler les retours élastiques de la pièce.

Le temps de préparation est important. La mise au point des outils, poinçon, et matrice est très coûteuse et nécessitant un savoir-faire de l'entreprise.

I.2.12.11.Difficultés du procédé d'emboutissage

Les cadence de production, souvent très intenses (voisines de 100 à 200 pièces /heure, pour les très grosses pièces ex : Carrosserie d'automobiles) font du procédé d'emboutissage, une opération de mise en forme très attractive du point de vue des coûts de production. Pourtant la mise en point des outils d'emboutissage nécessite un savoir-faire que seuls, souvent pour l'instant, les emboutisseurs détiennent. En effet les principales difficultés rencontrées pour obtenir une forme finale correcte sont nombreuses :

- ✓ L'état de la surface des tôles doit être parfaitement lisse,
- ✓ Les zones de faibles épaisseurs doivent être contrôlées,
- ✓ Les plis et les ruptures (par striction) doivent être évités,
- ✓ Le retour élastique de la tôle après emboutissage doit être pris en compte.

Les interactions superficielles de la tôle avec les outils ont évidemment une influence sur la qualité de la pièce formée et la maîtrise de l'opération requiert une connaissance au moins qualitative de l'effet des paramètres sur leur intensité.

La phase du retour élastique concerne le retrait des outils et l'extraction de la tôle emboutie. Cette étape consiste à annuler la pression de serrage, retirer le poinçon, enlever le serre-flan et éjecter la tôle hors de la matrice [14].



Figure I.26: Retour élastique [18]

Habituellement, les corrections pour compenser le retour élastique sont en faites en modifiant la forme des outils. Il est très important de prévoir le retour élastique et de le corriger à l'étape de la conception d'outillage, puisque la correction de la géométrie sur les outils finis est très chère et prend du temps.

Il est difficile pour les ingénieurs concepteurs de prédire le retour élastique, car il y a plusieurs paramètres qu'ils l'influencent tels que :

Propriétés du matériau, géométrie d'outil, épaisseur de la tôle et la profondeur de pénétration du poinçon.

Pour comprendre le retour élastique, il est nécessaire de regarder la courbe charge - déplacement d'un matériau (Figure I. 28).

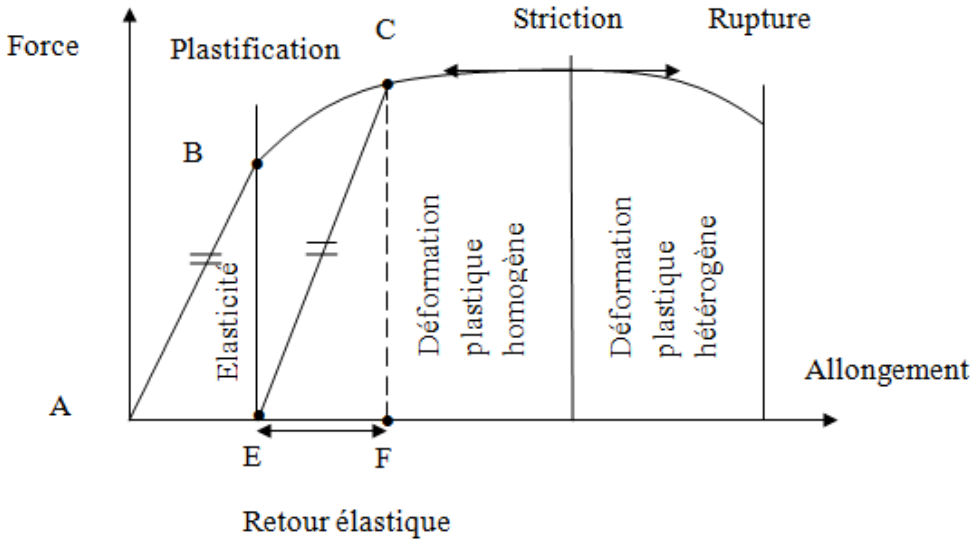


Figure I.27: Retour élastique lors d'étirage [18]

I.2.12.12. Influence du coefficient d'écrouissage

Le coefficient d'écrouissage n donne une représentation de capacité de consolidation du métal en traction. Cette consolidation joue un double rôle : elle augmente le niveau de déformation que peut supporter le métal d'une part et elle permet surtout une meilleure répartition des déformations d'autre part.

I.2.12.13. Effort d'emboutissage cylindrique

Dans le cas d'un emboutissage cylindrique, l'effort d'emboutissage se calcule avec la formule suivante :

$$F_e = \pi . d . e . R_m . K \qquad \text{(I.2)}$$

Avec :

F : Effort d'emboutissage (daN).

d : Diamètre du poinçon (mm).

e : Epaisseur de la tôle (mm).

R : Résistance de la tôle à la traction (MPa).

K : Coefficient en fonction du rapport d/D.

D : Diamètre du flan (trou) (mm).

d/D	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
K	1	0,86	0,72	0,60	0,50	0,40

Tableau I.1: Tableau de détermination du coefficient K en fonction de d/D. [18]

❖ **Effort sur le serre-flan F**

$$Fs = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2).P \qquad (I.3)$$

Avec : P : Pression spécifique sur le serre-flan.

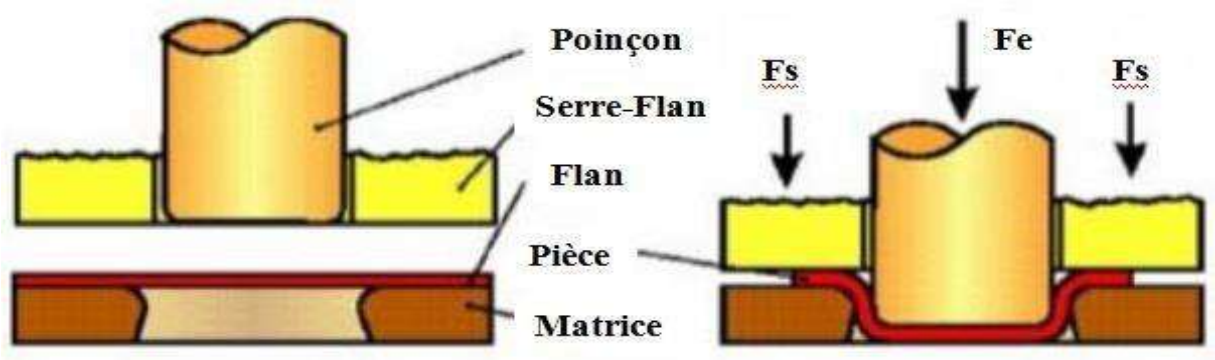


Figure I.28: Direction des efforts Fe et Fs [18]

Matière du flan	P (daN/cm^2)
Acier doux	25
Acier inoxydable	20
Laiton	20
Aluminium	12
Duralumin	16

Tableau I.29: Matériaux du flan et leurs pressions spécifiques [18]

Rectangulaire

$$Fer = 1.6(a + b + 2rn).P.e \qquad (I.4)$$

Fer : Effort d'emboutissage rectangulaire en daN

a et b : distance entre les centres des rayons des angles

rn: rayon en angle (mm),

e : épaisseur spécifique pour le métal considéré en daN/mm^2 d'emboutissage rectangulaire en mm,

❖ **Effort sur le serre-flan rectangulaire**

$$Fsr = 2(a+b).H.P.\frac{\pi}{2}(D^2 - dm^2).P \qquad \text{(I.5)}$$

Avec :

Fsr: Effort du serre-flan en daN,

D : diamètre de flan,

dm: Diamètre de matrice,

H : hauteur de l'embouti,

Vitesse d'emboutissage

La vitesse d'emboutissage doit être optimale parce que si la vitesse est trop faible, elle tendre à générer un écrouissage ce qui rend le métal moins malléable.

Matériaux	Vitesse (mm/s)
L'acier, le zinc	200
Les aciers doux	280
L'aluminium	500
Le laiton	750

Tableau I.3: Vitesses d'emboutissage pour différents matériaux [18]

I.3. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de voir les différents procédés de mise en forme des pièces mécaniques effectués sur presses.

Le poinçonnage ; le emboutisse et le pliage est une procédés de fabrication très utilisé dans l'industrie automobile et dans l'électroménager puis les avions.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons le procédé de poinçonnage l'objet de notre projet.

Chapitre II

Théorie de poinçonnage

Chapitre II : Théorie de poinçonnage

II.1 Introduction

On peut distinguer deux classes de découpe : la découpe sur un contour fermé (poinçonnage) et la découpe sur un contour ouvert. Ici, nous nous intéresserons au cas du poinçonnage. Une vue en coupe de la partie active de l'outillage de poinçonnage et de la tôle est présentée sur la figure II.1. La tôle (1) est maintenue sur la matrice (2) grâce à la serre flan (3). Le poinçon (4) animé d'un mouvement de translation vient en contact avec la tôle, la déforme plastiquement jusqu'à la rupture conduisant à la formation du déboucheur finale. [5]

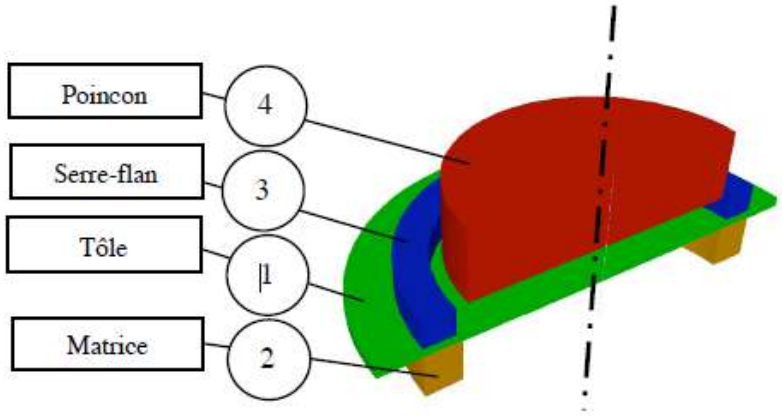


Figure II. 1 : Vue en coupe de la partie active de l'outillage de poinçonnage et de la tôle [5]

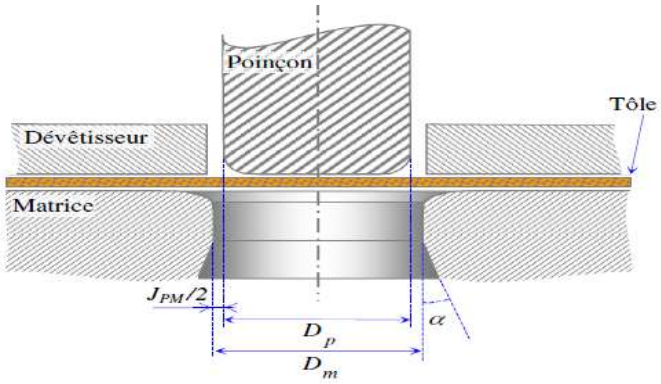


Figure II.2: Représentation schématique du procédé de poinçonnage [1]

II.2. Définitions

Le poinçonnage désigne la découpe de formes plus ou moins complexe dans une tôle (appelée généralement flan, bande, etc.), la partie utile pouvant être soit la bande, soit la chute. L'outillage est composé :

- ✓ D'un *poinçon* animé d'un mouvement de translation vertical alternatif afin de permettre la pénétration du poinçon dans la matière puis sa remontée,
- ✓ D'une *matrice* qui contient l'empreinte à découper et sur laquelle repose la tôle. L'écrasement de la matière entre l'arête coupante de la matrice et celle du poinçon provoque la concentration de l'effort exercée sur cette zone et par la suite la séparation de la matière.
- ✓ D'un *serre-flan* qui assure le maintien de la bande pendant la découpe.

Ces dispositifs de découpage sont installés généralement sur des presses hydrauliques ou mécaniques dimensionnées en fonction des efforts à exercer pour découper une pièce suivant ces paramètres géométriques imposés (épaisseur, forme, matériau, etc.) et des cadences de production à respecter. [6]

Pourquoi choisir le poinçonnage pour vos pièces en tôle? [7]

Il permet de travailler sur de grandes zones de perforation ou encore de réaliser l'équivalent d'un fraisage rapide. Le poinçonnage est donc recommandé, lorsqu'il est nécessaire de réaliser beaucoup de trous ou s'il est impossible de recourir à la découpe laser. Il rend possible la découpe rapide de formes complexes, sans déformer la tôle, même dans le cas de fines épaisseurs. Il peut réaliser n'importe quelle forme de trou et de découpe, avec une très grande précision. Il est utilisable sur de nombreux matériaux comme l'acier, l'aluminium, le cuivre ou encore le laiton.

Les données à prendre en compte lors du procédé de découpe sont:

- ✓ L'épaisseur de la tôle
- ✓ Le jeu entre le poinçon et la matrice
- ✓ La nature du matériau
- ✓ La vitesse de descente du poinçon
- ✓ La géométrie de l'outillage.

II.3. Différentes phases d'une opération de poinçonnage

Sous l'action de la contrainte imposée par la partie active du poinçon, il se produit une déformation élastique puis un glissement avec décohésion du métal. Le poinçon poursuit sa course, et provoque la rupture complète de la tôle (figure II.3).

Ainsi, le mouvement de découpe qui correspond à un coup de presse et à la pénétration du poinçon en vue de la découpe (un aller-retour du coulisseau entre le point mort haut et le point mort bas) peut être décomposé en quatre phases principales. Cette pénétration du poinçon doit être minime afin d'éviter sa détérioration. [1]

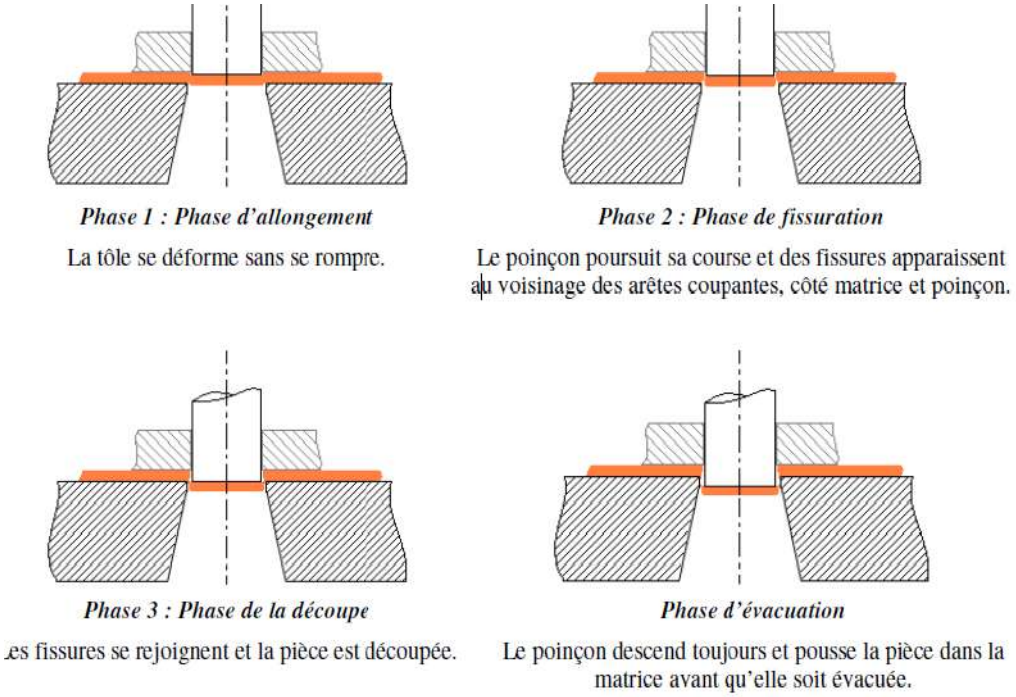


Figure II.3 : Différentes phases de la découpe (poinçonnage) [1]

Ces différentes phases d'une opération de découpage ont été associées au courbe effort / déplacement qui caractérise la découpe. [8] présente une définition des phases principales du courbe effort / déplacement du procédé de découpage dans la figure II.4.

Phase 1 : Phase d'allongement

La tôle se déforme sans se rompre.

Phase 2 : Phase de fissuration

Le poinçon poursuit sa course et des fissures apparaissent au voisinage des arêtes coupantes, côté matrice et poinçon.

Phase 3 : Phase de la découpe

Les fissures se rejoignent et la pièce est découpée.

Phase 4 : Phase d'évacuation

Le poinçon descend toujours et pousse la pièce dans la matrice avant qu'elle soit évacuée.

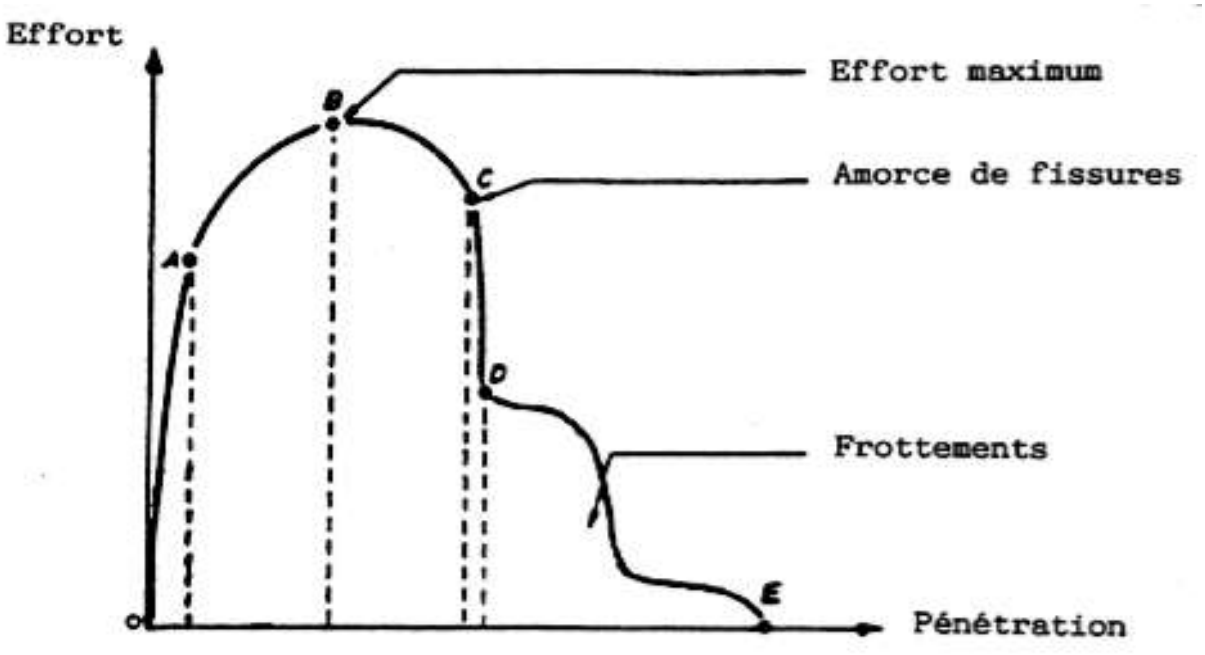


Figure II. 4 : Evolution de l'effort axial du poinçon en fonction de la pénétration [8]

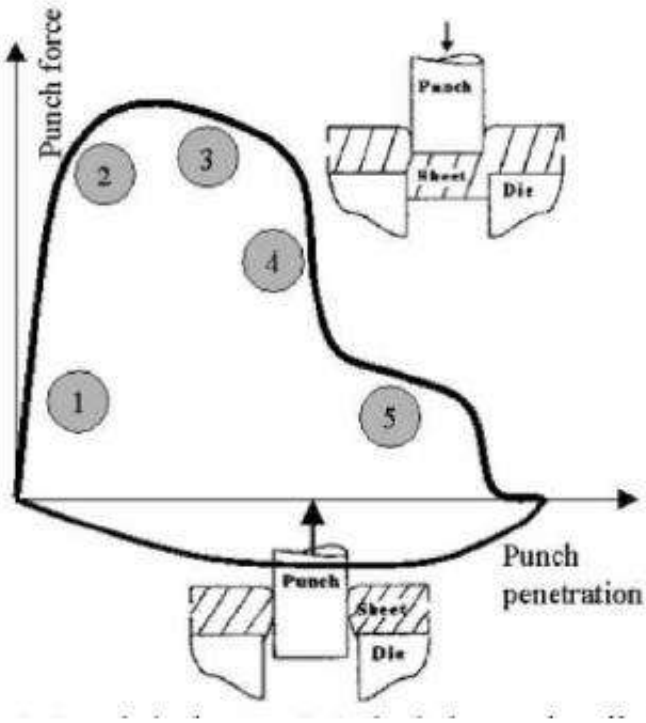


Figure II.5: Représentation de la forme générale du courbe effort / déplacement [8]

Sur cette courbe on observe généralement les phases suivantes ; [8] :

- ✓ Portion 1 : Dans cette partie, l'effort du poinçon évolue de façon linéaire. Le comportement du matériau découpé est élastique.
- ✓ Portion 2 : Il s'agit d'une phase non linéaire correspondant à la déformation plastique de la tôle, avec un écrouissage plus ou moins prononcé suivant le type de matériau.
- ✓ Portion 3 : Il s'agit d'une phase de décroissance non linéaire de l'effort. Parallèlement à la poursuite de la déformation plastique du matériau, l'endommagement se développe progressivement et provoque une perte des caractéristiques mécaniques, donc une diminution de l'effort. [8] précise que la diminution de l'effort du poinçon observée est consécutive à la diminution de la section en cisaillement.
- ✓ Portion 4 : Dans cette partie, une (ou des) fissure(s) s'amorce(nt) au niveau des arêtes poinçon et matrice. Elle(s) se propage(nt) rapidement, entraînant une chute importante de l'effort enregistré.
- ✓ Portion 5 : La rupture complète de la tôle est effective. La pénétration correspondant à ce point est donc généralement appelée « pénétration à rupture ». Celle-ci est la plupart du temps inférieure à l'épaisseur de la tôle. Cette partie correspond aux efforts de frottement dus à la poussée du copeau dans la matrice lors de la descente du poinçon. Il y a essentiellement frottement entre le poinçon et la tôle ajourée, et entre la matrice et le copeau.

II.4. Constitutions de l'outil de poinçonnage

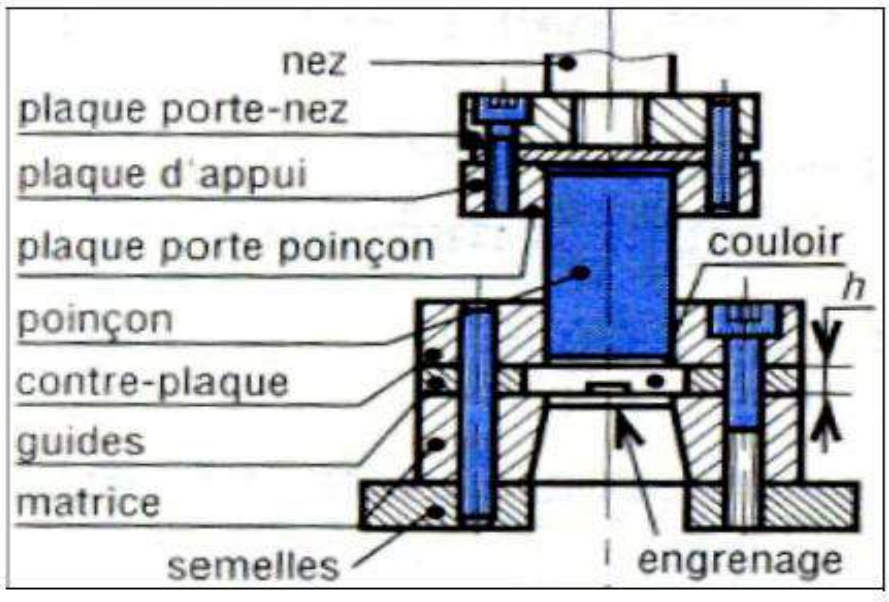


Figure II.6 : Exemple d'un outil de poinçonnage [15]

II.4.1. Semelle inferieure

C'est une plaque sur laquelle les matrices sont ajustées ; son épaisseur doit être suffisante pour résister surtout à l'effort de découpage.

II.4.2. Poinçons

Ce sont les éléments qui travaillent le plus au sein de l'outil donc leur calcul est éminent. Les poinçons de faible démentions sont soumis souvent au flambement, et afin d'éviter ce flambement on utilise des chemises dans lesquelles on les inserts. Ces derniers sont fixés directement aux portes poinçons.

Le poinçon

Il est composé de plusieurs parties :

- ✓ Le corps du poinçon qui possède une longueur variable pour monter et serrer l'outil.
- ✓ La tête qui porte les arêtes tranchantes.
- ✓ La mouche (ou téton) utile pour positionner l'outil dans les coups de pointeaux préalablement réalisés à cet effet. Ils ont été effectués dans l'axe du trou à réaliser.
- ✓ Un angle de dépouille qui est de 2 à 3° pour limiter les frottements.
- ✓ Sur les presses, ou sur les grignoteuses les outils ne possèdent pas forcément d'angles de dépouille.

L'ISO 8695:2010 établit la nomenclature et la terminologie des principaux types de poinçons, de leurs détails et de leurs caractéristiques dimensionnelles.

Désignation des poinçons :

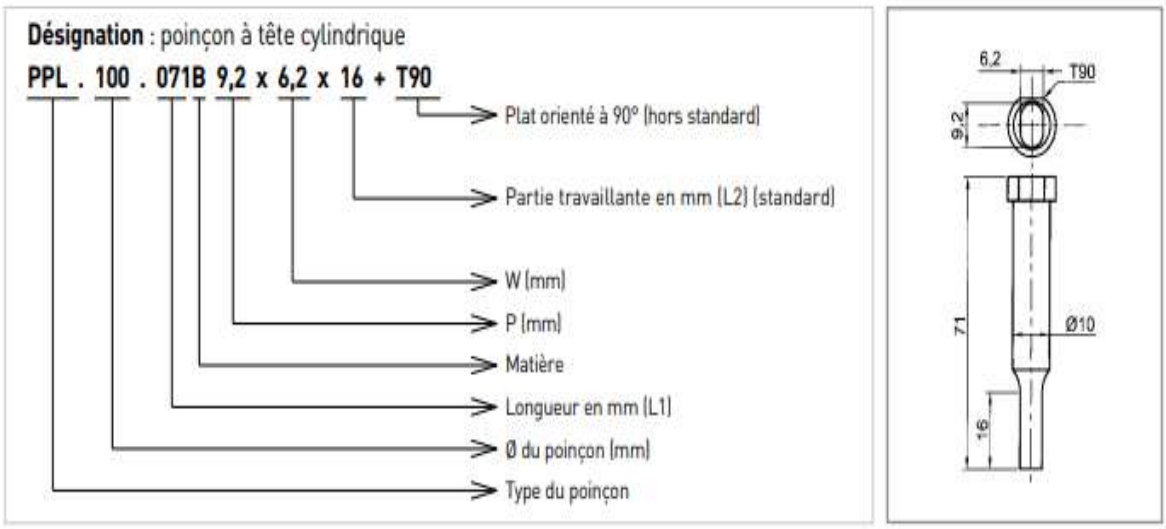


Figure II.7 : Exemple de désignation d'un poinçon [20].

II.4.2.1. Différents faces géométriques des poinçons :

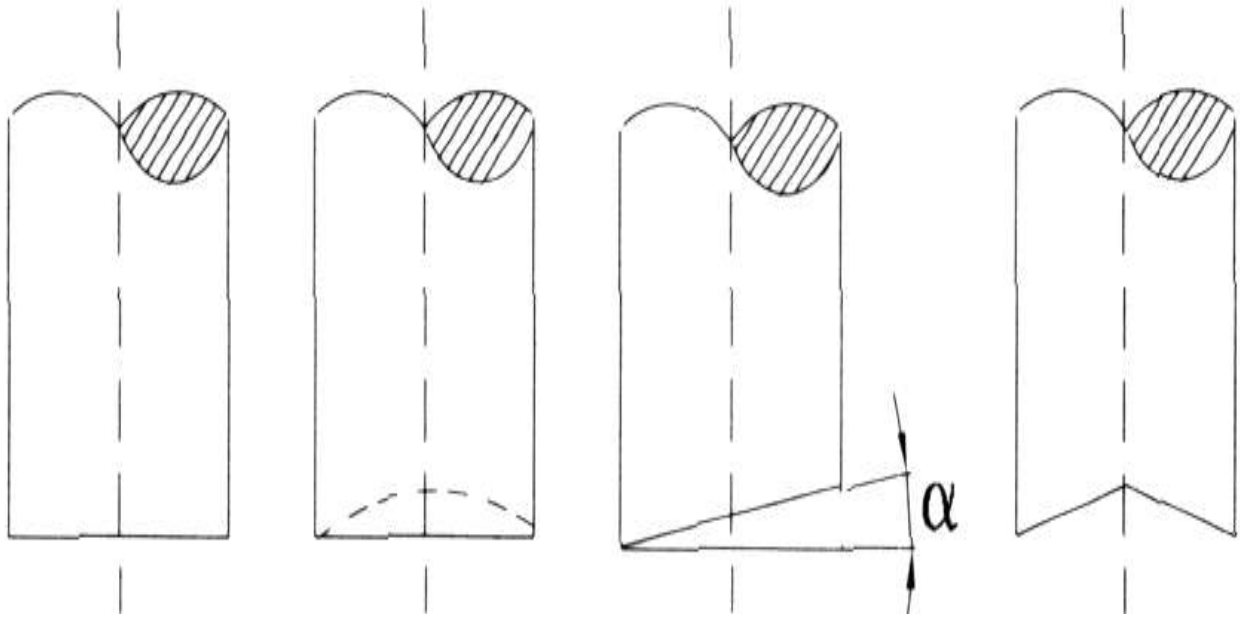


Figure II.8 : Différents faces géométriques des poinçons [13].

a) surface plane, b) surface concave,

c) surface biseautée, et d) Surface frontale à double biseau.

II.4.2.2. Assemblage d'un poinçon

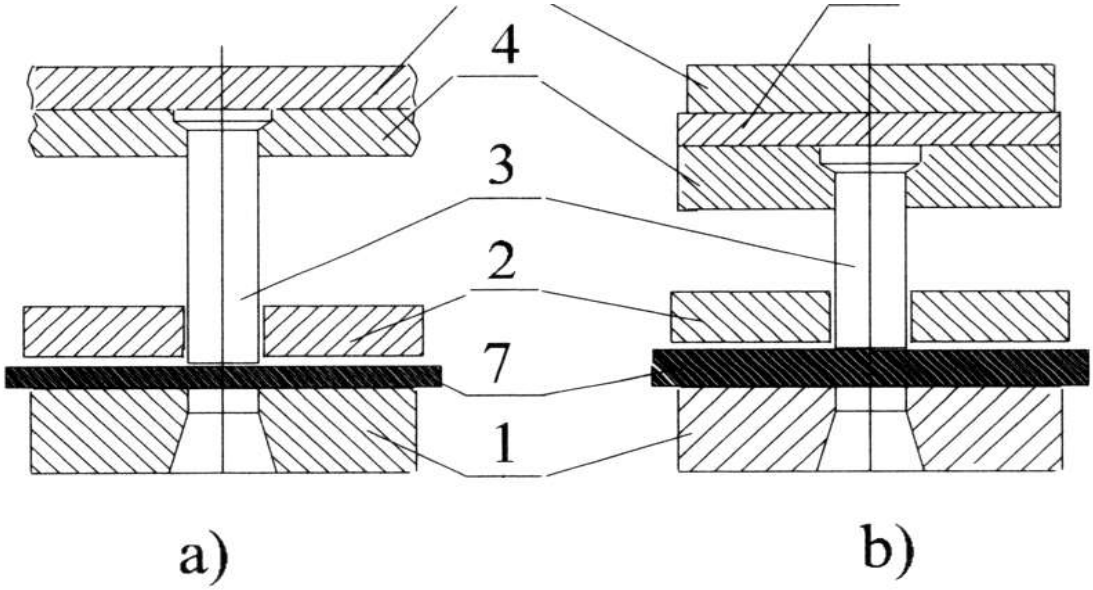


Figure II.9: Assemblage d'un poinçon [13].

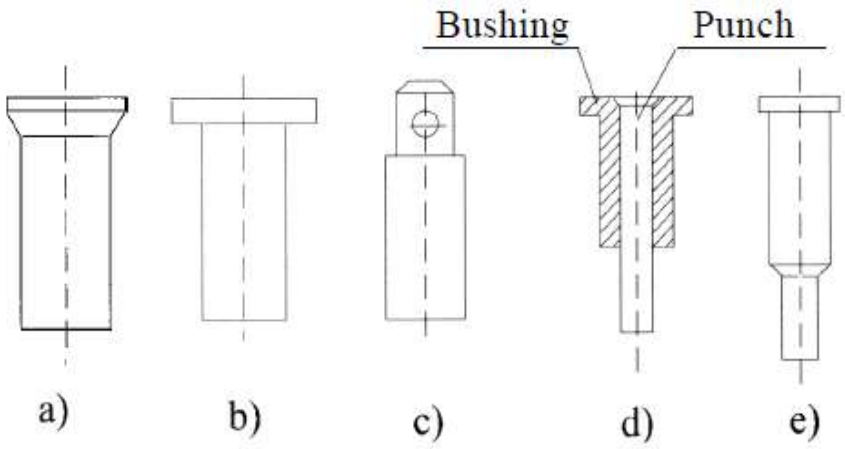


Figure II.10: Différent formes des poinçons [13]



Figure II.11: Pionçons en 3D [20].

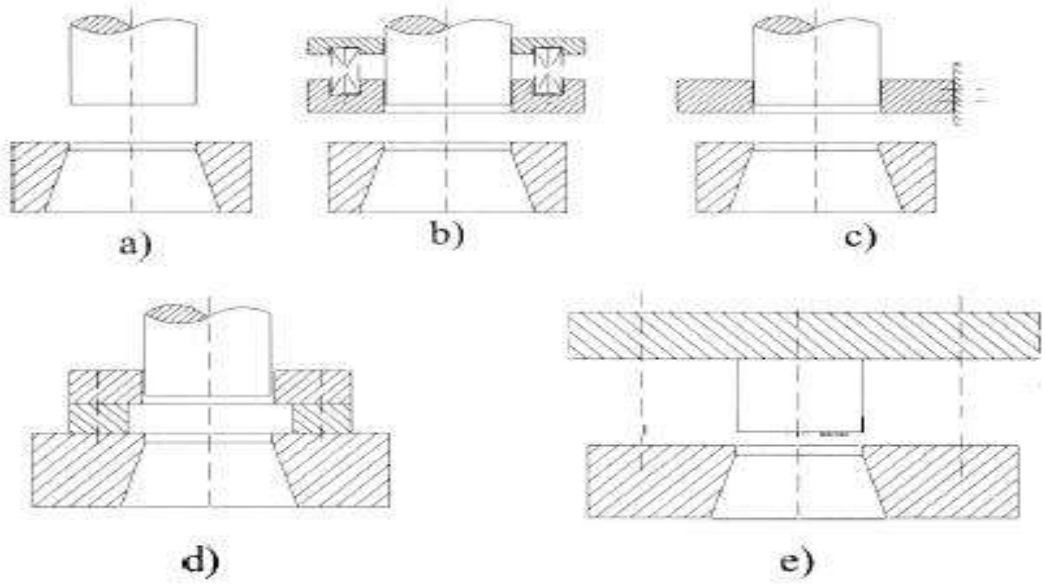


Figure II.12 : Classifications des méthodes de guidage de poinçon [13].

a) matrices lisses, b) matrices lisses avec dévêtisseur élastique mobile, c) matrices lisses avec dévêtisseur solide, d) matrices avec plaque de guidage, e) matrices avec poteaux de guidage.

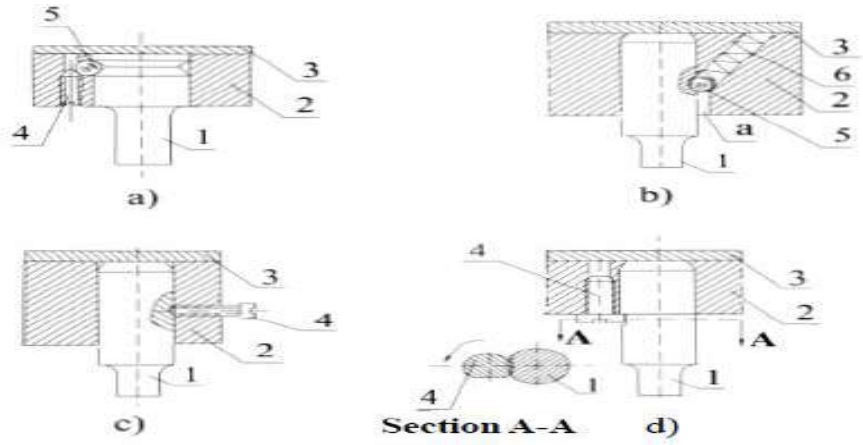


Figure II.13 : Quelques méthodes de fixation des poinçons. [13]

II.4.3. Porte poinçon

Il sert à fixer et guider les différents pionçons dans leur travaille et aussi de support au sert flan

II.4.4. Serre flan

Le sert flan a deux rôles à assurer ; décoller la bande du poinçon et aussi guider les pionçons ainsi que les vis d'écartement qui jouent le Rôle de relais entre les portes poinçons et le sert flan.

II.4.5. La butée

Elle sert à positionner le flan ; limitant ainsi son déplacement et assure un bon guidage du flan.

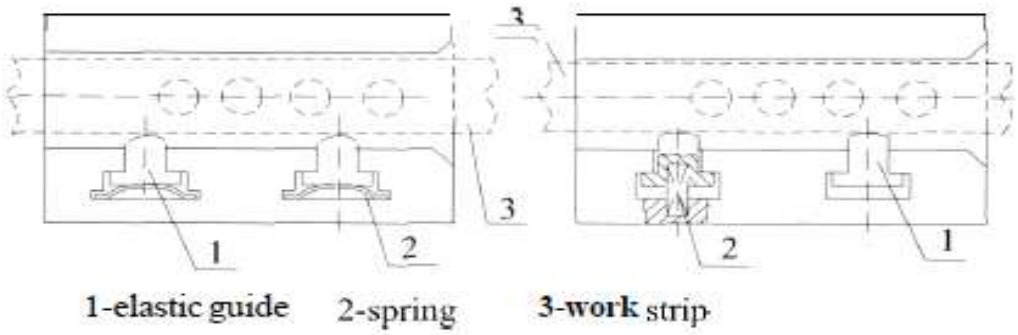


Figure II. 14: Butées élastiques [13]

II.4.6. La matrice

Elle doit résister aux différents efforts tels que le découpage, poinçonnage, et doit être Suffisamment épaisse pour supporter l'effort du sert flan et éviter les déformations.

II.4.6.1. Profile d'une matrice

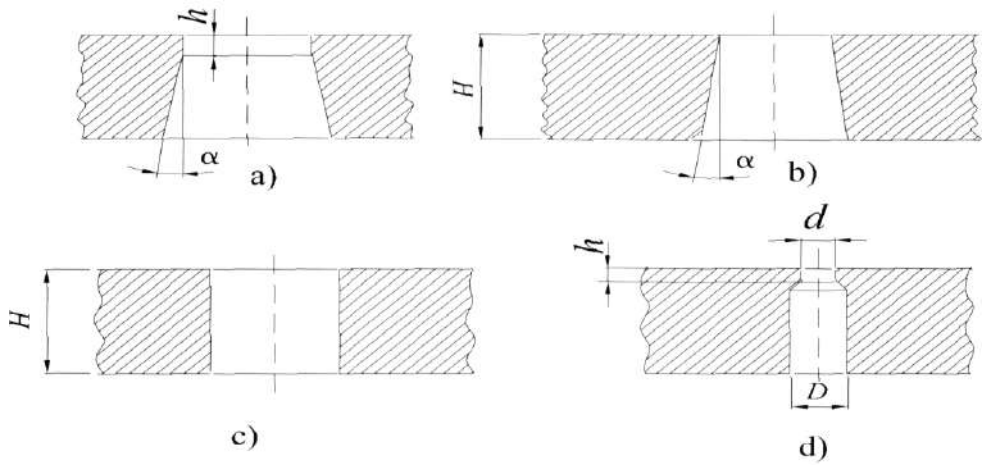


Figure II.15 : Types des profile des matrices profile [13]

Material thickness T (mm)	<0,5	0.5	5.1 to 10.0
Height h (mm)	3.0 to 5.0	5.1 to 10.0	10.1to 15.0

Tableau II. 1 : Valeurs de la hauteur *h* dépends de l'épaisseur des tôles [13]

Désignation des matrices :

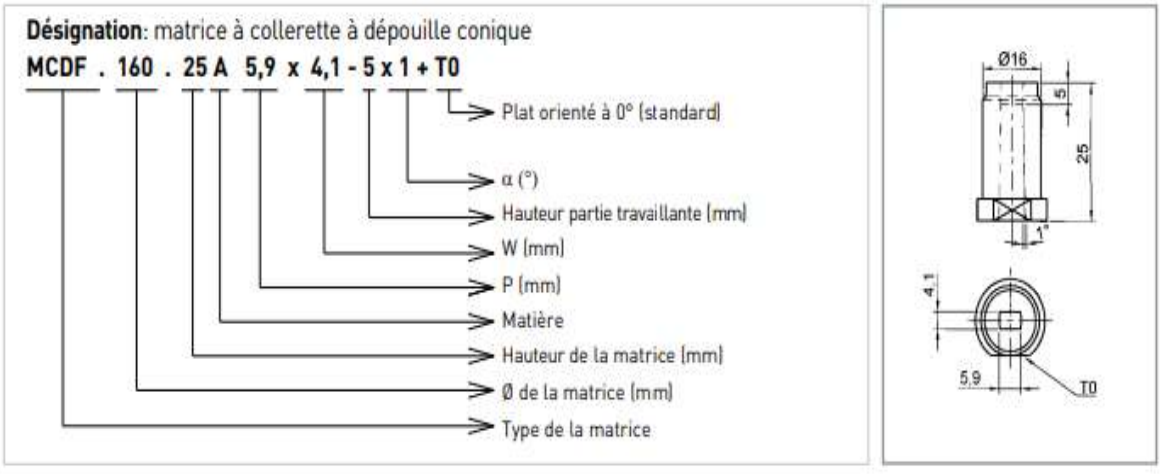


Figure II.16 : Exemple de désignation d'une matrice [20]

II.4.7. Les glissières

Ce sont des baguettes fixes sur la matrice pour assurer le guidage et l'acheminement de la tôle

Le flan est mis en position dans un drageoir qui est constitué de diverses façons :

- ✓ Par un cadre
- ✓ Par des plaquettes de positionnement
- ✓ Par des goupilles de positionnement

Il peut être à contre plaque ou bien à presse bande selon l'épaisseur de la tôle.

Le guidage de la tôle est réalisée soit par :

- cadre positionnement
- Reglutees de positionnement
- goupilles de positionnement

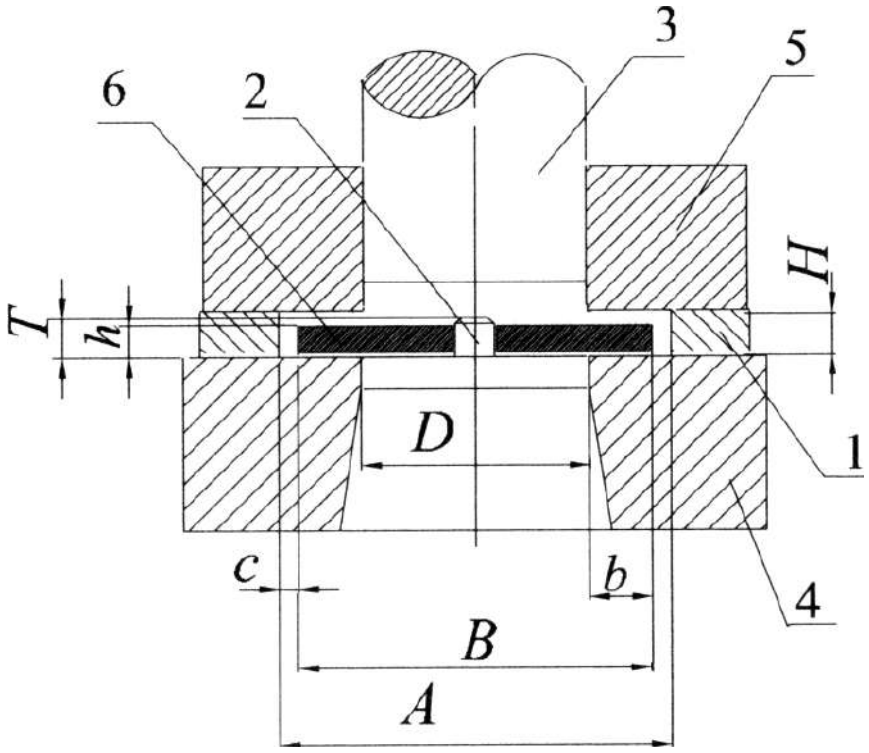


Figure II.17 : Jeu de glissières. [13]

A = B+2C

C=0.25 a 0.75mm pour un butée de fixation

C=2.5 a 4 mm pour une butée élastique

Material thickness T (mm)	Dimension H (mm)		Dimension h (mm)
	Manual feed	Automatic feed	
0.3 to 2.0	6.0 to 8.0	4.0 to 6.0	3.0
2.0 to 3.0	8.0 to 10.0	6.0 to 8.0	4.0
3.0 to 4.0	10.0 to 12.0	6.0 to 8.0	4.0
4.0 to 6.0	12.0 to 15.0	8.0 to 10.0	5.0
6.0 to 10.0	15.0 to 25.0	10.0 to 15.0	8.0

Tableau II.2 : Valeurs de *h et H* dépends de l'épaisseur des tôles [13]

II.4.8. Semelle supérieure

Elle sert à porter les portes poinçons ainsi que les embases et sert aussi de lien avec le nez de la presse.

II.4.9. Embases

C'est des éléments qui assurent le guidage entre la semelle supérieure et inferieur par l'intermédiaire des colonnes de guidage.

II.4.10. Colonne de guidage

Elles coulissent dans les embases supérieures avec glissement et sont emmanchées sur les embases inferieurs.

II.4.11 Partie supérieure de l'outil

L'outil porte un nez qu'on monte dans le trou lisse du coulisseau. Il est serré par le chapeau puis bloqué par la vis de pression qui agit sur la partie tronconique du nez.

Les trous des oreilles du coulisseau permettent la fixation des outils longs.

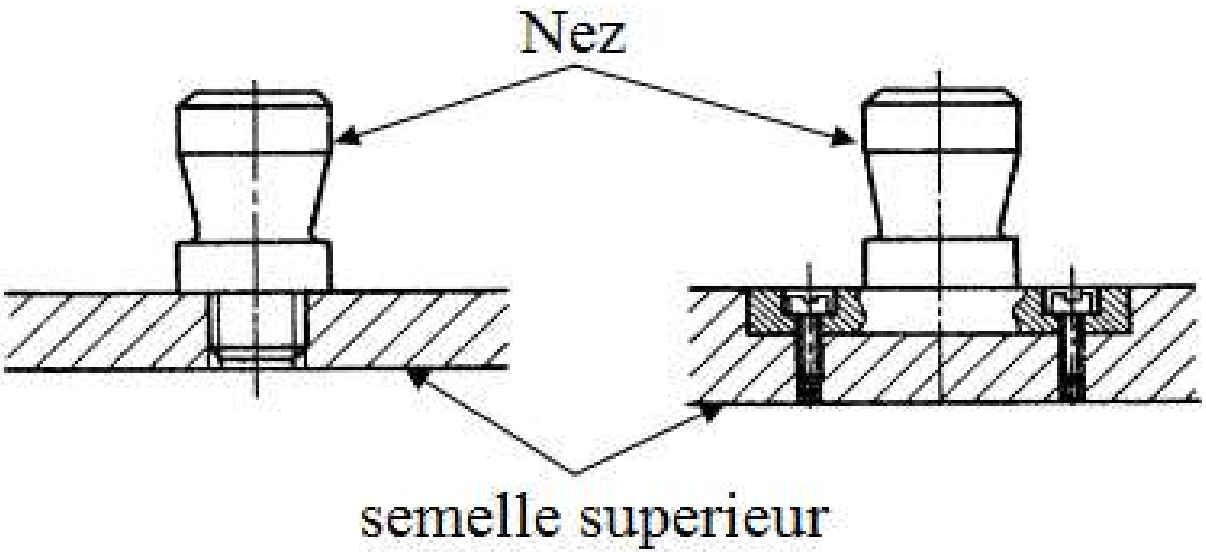


Figure II.18 : Modes de fixation Nez /semelle supérieure

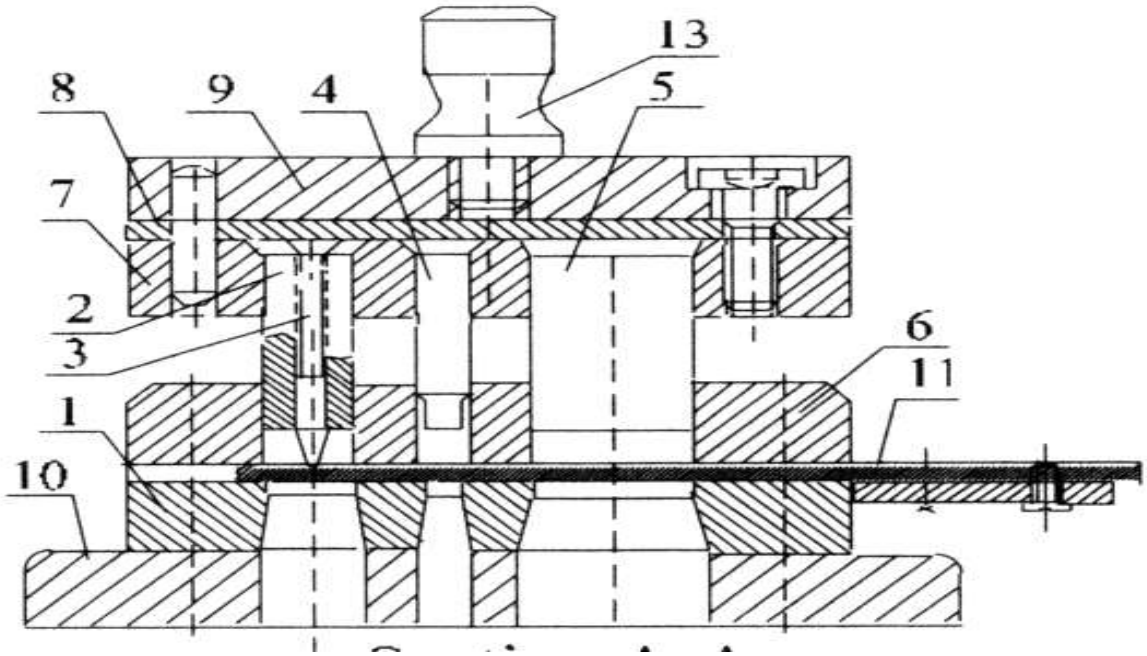


Figure II.19 : Les éléments qui constituent d'un outil de poinçonnage [13]

Remarque : Le poinçon de forme quelconque doit résister à la compression et au flambage, sa longueur libre est vérifiée par la relation suivante :

$$L \leq \sqrt{\frac{E.I}{F}} \qquad \text{(II.1)}$$

Avec:

E : module d'élasticité (N/mm^2).

I : le moment quadratique de la section (mm^4).

F : effort de découpage (N).

II.5. Influence des paramètres de l'opération de découpage

L'étude des efforts développés au cours de l'opération de découpage a fait l'objet de nombreux travaux. Les différents travaux mettent en évidence l'influence des paramètres du procédé sur les efforts de découpe et la qualité du produit finit. Les travaux de plusieurs auteurs ont permis de recenser les paramètres qui influencent la qualité du profil découpé :

- ✓ Paramètres géométriques, *Jpm* (jeu de découpage)
- ✓ Paramètres liés au réglage de l'outil et de la presse
- ✓ Paramètres liés à l'usure de l'outil.

I.5.1. Paramètres géométriques

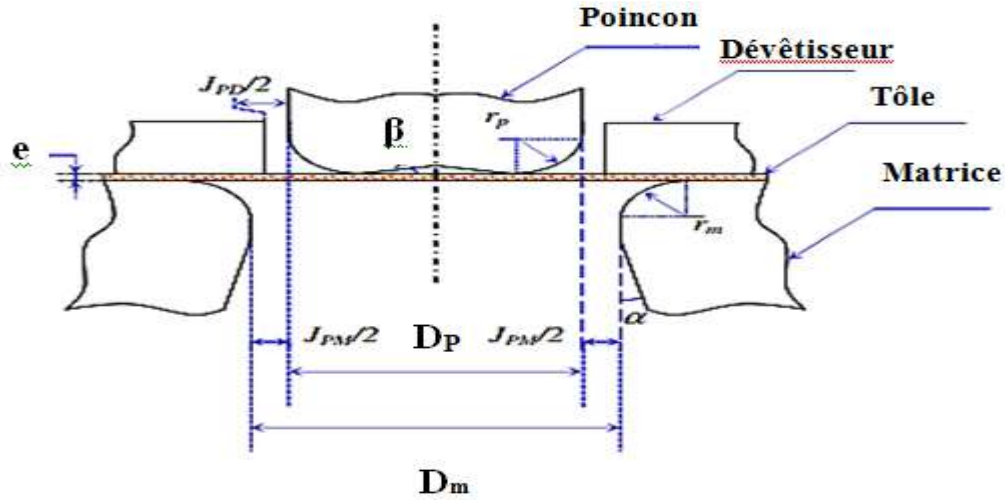


Figure II.20: Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage [16]

- **Jeu poinçon-matrice, J_{pm}** C'est le paramètre le plus significatif du procédé de découpage, il influence directement la qualité du profil de la pièce découpée.
  Une diminution du jeu provoque l'augmentation de la zone cisaillée et la diminution de la zone arrachée. Un jeu trop important perturbe le trajet de fissuration. Les valeurs de jeu trop faible pénalisent l'énergie mise en jeu pour la découpe.
- **Acuité D'arête Des Outils,** Les rayons des arêtes coupantes du poinçon et de la matrice, rp et rm : Pour des outils neufs, ces rayons correspondent pratiquement à des angles vifs. L'étude de l'influence des rayons des arêtes de l'outil sur la qualité de la découpe prend une part non négligeable dans les travaux sur le découpage.
- **Le jeu poinçon revêtisseur , J_{pd},** caractérise la précision du guidage du poinçon. D'autres éléments interviennent dans le découpage et influencent-le résultat de la découpe. Ils sont liés au procédé.
- **L'angle de dépouille sur la matrice, α** : Le poinçon ne présente généralement aucune dépouille, ce qui permet de conserver ses dimensions constantes malgré les réaffutages (suite à l'usure). La matrice, pour les mêmes raisons, ne présente aucune dépouille sur quelques millimètres. Ensuite elle est dépouillée pour limiter l'empilage des pièces ce qui diminue les efforts de poussée du poinçon. L'usinage complémentaire de l'ouverture de la matrice est fait en conicité nommée « dépouille » et ce afin de faciliter l'éjection des pièces et des copeaux.

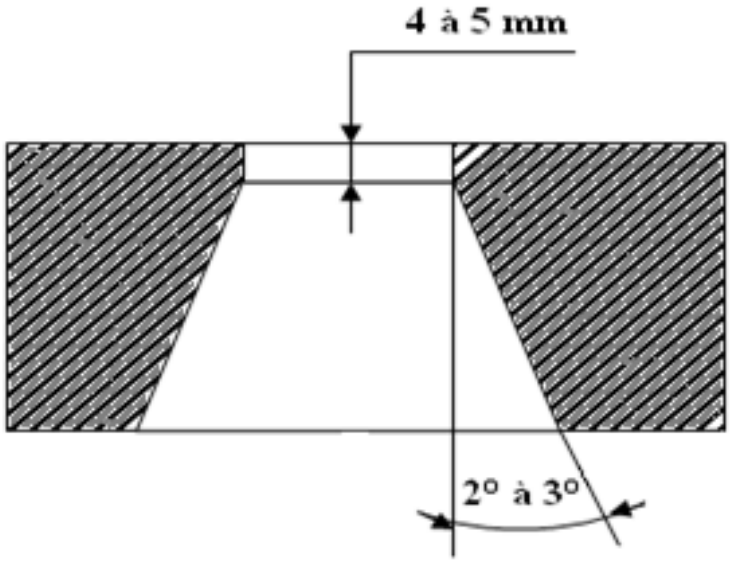


Figure II.21 : Angle de dépouille de la matrice de 2° à 3° [9]

- **L'angle en bout de poinçon, β** : Pour faciliter la découpe, le poinçon peut présenter une pente depuis le bord jusqu'au centre dont la flèche est sensiblement égale à l'épaisseur du produit. L'augmentation de cet angle provoque :

- ✓ Une diminution de l'effort maximal de découpe.
- ✓ Une augmentation de la pénétration du poinçon à effort maximal.
- ✓ Une diminution de la pente du courbe effort / déplacement correspondant à la phase d'allongement.
- ✓ Une stabilité de l'énergie de découpe.

Pour le poinçonnage, le jeu est à prendre sur la matrice. Il doit être réparti à égalité sur toute la périphérie du poinçon et de l'ouverture de la matrice. Le jeu a une influence sur l'effort maximal de découpe et également sur le profil des pièces découpées.

Donc, pour un bon fonctionnement de l'outil, il est nécessaire d'assurer un jeu fonctionnel entre la matrice et le poinçon. Il réduit le risque de grippage ou de rupture de la matrice. Il permet également de garantir une coupe nette est franche (de façon à ce que les deux amorces de ruptures se rejoignent parfaitement).

Ce jeu de poinçonnage sera proportionnel à l'épaisseur poinçonnée et dépendra de la résistance du métal.

II.5.2. Paramètres liés au réglage de l'outil

Les principaux paramètres qui influent sur le réglage de l'outil, permettant une opération de découpage réussite, sont comme suit :

II.5.2.1. Serre-flan

Le serre-flan plaque la tôle sur la matrice pendant l'opération de découpage. Il diffère du dévêtisseur fixe sur lequel la tôle ne vient en butée qu'à la remontée du poinçon. Il offre une meilleure précision de la géométrie du découpage et une réduction de l'usure de l'outil.

- ✓ Le serre-flan permet d'empêcher une flexion de la tôle créée lors du découpage, et d'assurer ainsi, une meilleure planéité de la pièce.
- ✓ La déformation du bord du trou peut accroître la pression qu'exerce celui-ci sur les flans du poinçon et accélérer ainsi l'usure de l'outil. Bien qu'un serre-flan ait été utilisé, on constate une déformation du bord du trou qui n'apparaissait pas à chaque coup de presse. Cette déformation est liée à un défaut d'appui du serre-flan.

II.5.2.2. Pénétration du poinçon dans la matrice

La pénétration du poinçon dans la matrice est choisie généralement comme égale à l'épaisseur de la tôle. Dans certains cas, cette valeur est plus réduite et peut même être nulle. L'intérêt d'avoir une pénétration importante est grâce à un meilleur maintien du déboucheur en matrice, et d'éviter les problèmes de remontée de celle-ci en cours de fabrication. En revanche, les inconvénients sont les suivants :

- ✓ La cadence de la presse sera plus réduite car une partie plus importante du cycle de la presse sera consommée par la poussée du déboucheur.
- ✓ La maintenance de l'outil sera plus importante. En effet, la hauteur d'usure du poinçon (longueur frottée le long du bord découpé) sera accrue, nécessitant des opérations de réaffûtage plus profondes et des changements de poinçon plus fréquents.

II.5.3. Paramètres liés à l'usure de l'outil

a) Lubrification

La cinétique d'usure des poinçons est fortement conditionnée par la nature et la quantité de lubrifiant employées lors de la découpe. La lubrification des outils, bien que l'on cherche à la réduire fortement actuellement, voire à l'éliminer pour des raisons économiques (réduction ou suppression du dégraissage des pièces), est d'autant plus importante dans le procédé de découpage que les contraintes exercées par la tôle sur les flancs de l'outil sont élevées. Son action reste donc essentielle pour accroître la durée de vie de l'outil.

b) Matériaux à outil

Du fait des très fortes contraintes appliquées aux outils de découpage, les matériaux utilisés pour fabriquer les poinçons et les matrices sont choisis parmi les plus résistants à l'usure. Généralement, ceux sont des aciers à outil.

II.6. Effort de découpage et de poinçonnage

Les efforts de découpage et de poinçonnage d'un outil à bande, se calculent suivant la formule ci-dessous.

$$F = K.P.e.Rc \qquad \text{(II.2)}$$

Avec :

F : Effort de découpage- Poinçonnage (N).

K : Coefficient d'ajustement de la formule de calcul. Ce coefficient varie de 0.5 à 1 (selon la nature du matériau découpé) généralement k = 1.

P : Périmètre de coupe (mm).

e : Epaisseur de la tole (mm).

Rc : Résistance au cisaillement de la tôle (MPa).

Autre méthode utilisée pour déterminer l'effort de poinçonnage recherche parier un diagramme (force, épaisseur, matière).

Diagramme de la force de découpe nécessaire en fonction de l'épaisseur (e),du diamètre (Ø) ou du périmètre à découper (U) pour de l'acier à 40 ou 60 kg/mm^2.

Exemple pour Rc=40 kg/mm^2 : Plaque 2,5 mm d'épaisseur, Ø12 mm = force P = 3,8T

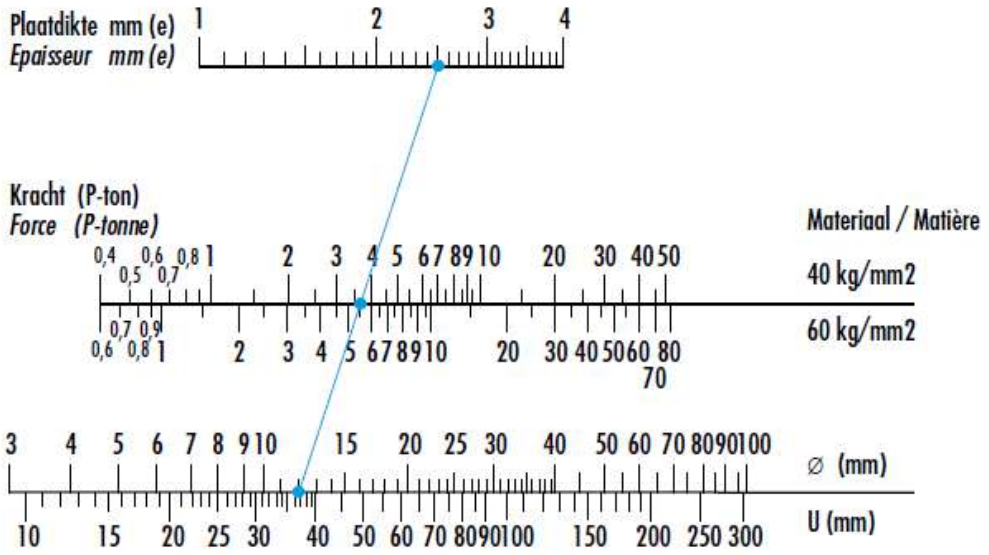


Figure I.22 : Abaque Pour Déterminer La Force De Poinçonnage [15]

II.7. Contraintes sur les poinçons

II.7.1. Contrainte de compression

Lorsque le poinçon descend avec un effort opposé à la bande de tôle, il est sollicité à une compression. La contrainte de compression de l'outil est calculée suivant la formule (II- 4).

La condition de résistance de l'outil à la compression est que cette contrainte sollicitée ne doit pas dépasser la limite élastique du matériau à partir du quel est fabriquer le poinçon (relation II.3).

$$\sigma comp = Re \qquad \text{(II.3)}$$

$$\sigma comp = \frac{F}{S} \qquad \text{(II.4)}$$

Avec :

σcomp : Contrainte de compression, (MPa),

Re : La limite élastique du poinçon, (MPa),

F : Effort de découpage, (N),

S : Section du poinçon, (mm^2).

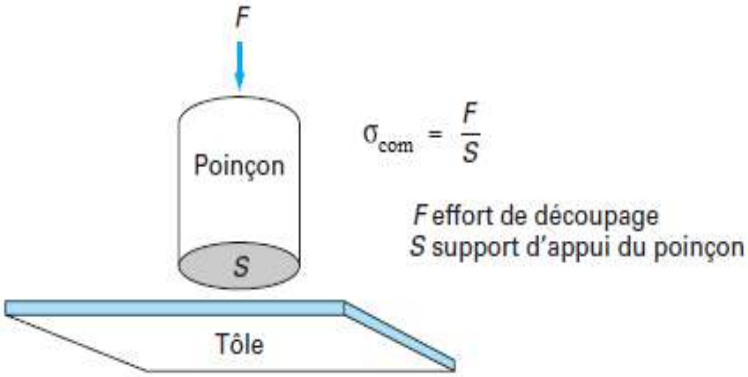


Figure II.23: Contrainte de compression sur le poinçon [9]

Dans le cas des poinçons ayant de petites sections ou de grandes longueurs, la contrainte de compression peut provoquer un flambement du poinçon. Alors, on prévoit toujours un risque de flambement d'un tel poinçon. Pour cela, on détermine la charge critique (Pcr) en utilisant la formule du flambement d'Euler II.5. Dans le cas des outils à bande, les poinçons sont encastrés d'un côté, et libre de l'autre côté.

La condition de résistance est que l'effort de découpage ne doit pas dépasser la charge critique de flambement du poinçon, comme le montre la relation II.6.

$$Pcr = \frac{\pi^2 (E.I)}{L^2} \quad \text{(II.5)}$$

$$F < Pcr \quad \text{(II.6)}$$

Avec :

F : L'effort de découpage, (N),

Pcr: La charge critique du flambement, (N),

E : Module d'élasticité du matériau du poinçon, (MPa),

I : Moment d'inertie du poinçon, (mm4),

L : Longueur libre de flambement (mm).

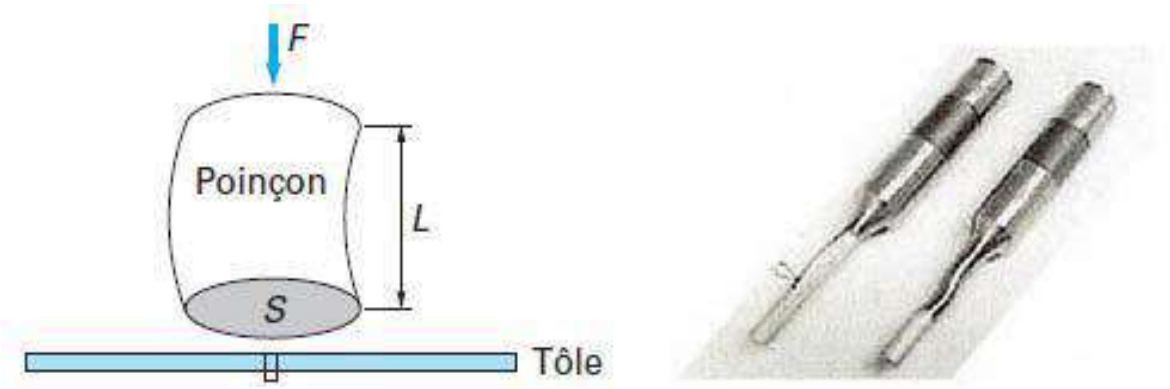


Figure II.24: L'état d'un flambement du poinçon de découpage [9]

II.8. Avantages et inconvénients du poinçonnage

II.8.1. Avantages

- ✓ Par rapport au perçage, le poinçonnage est extrêmement économique (gain de temps, usure moindre des outils, affutage peu fréquent) et donne la possibilité d'utiliser toute sortes de formes pour les trous.
- ✓ Par rapport au découpage à la presse, le grignotage sur commande numérique permet de changer de série en minimisant les couts d'outillages et de découper de grands formats, et d'utiliser des outils simples et peu onéreux.

II.8.2. Inconvénients

- ✓ Limité dans les épaisseurs.
- ✓ Section minimale du poinçon limitée.

II.9. Qualité de la découpe

Il est possible de relier les différentes zones caractéristique du profile de découpe au diagramme « effort/déplacement », quatre zones principales apparaissent sur le profile de la pièce découpée .

- ✓ **La Tombée :** elle apparait dans la phase élasto-plastique du matériau. Elle est liée à la flexion sous l'effet du couple engendré entre le poinçon et la matrice. Cette zone correspond aux phases 1 et 2.
- ✓ **La Partie Cisaillée :** elle a l'aspect lisse, consécutive aux déformations plastique subies par la tôle, on parle ici d'écoulement plastique. Elle se forme dans les zones 2 et 3.
- ✓ **La Partie Arrachée :** elle correspond à la rupture de la matière. Cette déformation importante localisée dans la phase 3, elle provoque l'apparition des microfissures qui se propagent rapidement sur les bords de la tôle.
- ✓ **La Bavure :** elle résulte de la formation de la tombée de découpe en phase 1 et de l'amorçage de fissure macroscopique en phase 4, cette zone elle doit être la plus réduite possible. [8]

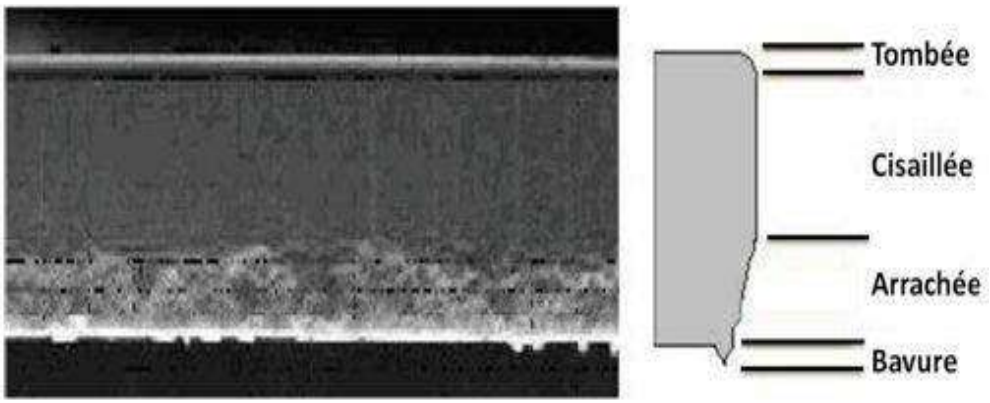


Figure II.25: Caractérisation du profil d'une pièce découpée [8].

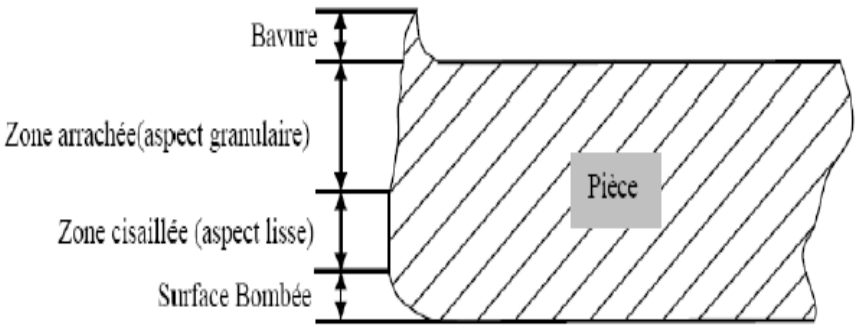


Figure II. 26 : Bord de découpe[8].

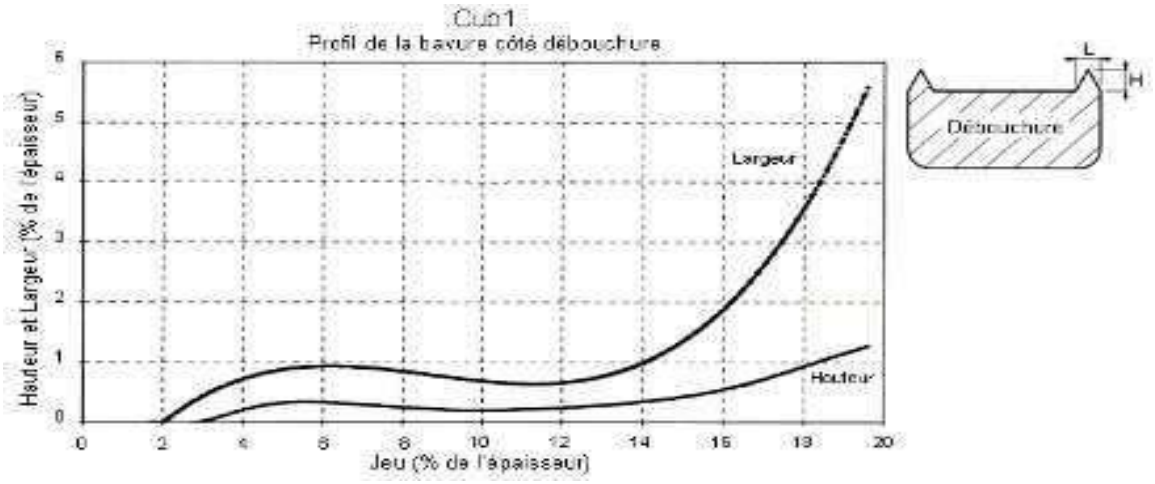


Figure II. 27 : Influence du jeu poinçon/matrice sur la bavure de découpe [12]

II.10 .Paramètres influant sur le procédé

La compréhension des principaux mécanismes de déformation lors de découpage dépend non seulement de la caractérisation du comportement du matériau, mais aussi des effets du couple procédé- matériau en termes de :

- ✓ Paramètres géométriques : jeu poinçon-matrice, géométrie et usure des outils.
- ✓ Paramètres physiques : taille de grain, vitesse de déformation, dureté, frottement et température.

II.11 .Le jeu de découpage entre le poinçon et la matrice

Le jeu entre poinçon et matrice et considère comme dépendant principalement de la géométrie de l'outillage et surtout de l'épaisseur de la tôle. Les fabricants savent par expérience que le jeu entre la tôle et la matrice est le principal facteur qui conditionne une bonne découpe et en général ils choisissent la valeur empirique:

$J = 0.1.e$

e étant l'épaisseur de la tôle.

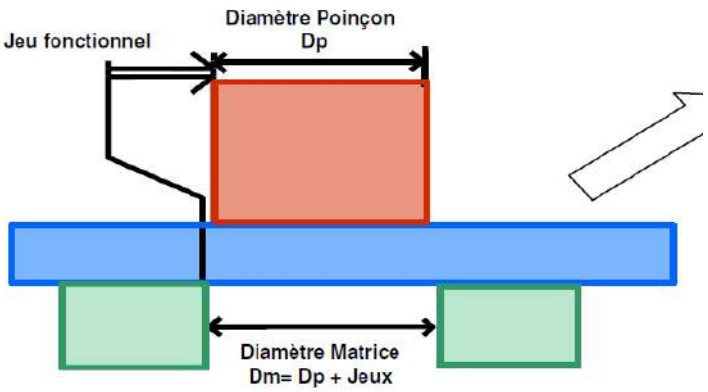


Figure II. 28 : Le jeu entre poinçon/matrice

II.11 .1. Rôle (Jeu Poinçon – Matrice)

Pour un bon fonctionnement de l'outil, il est nécessaire d'assurer un jeu fonctionnel entre la matrice et le poinçon. Il réduit le risque de grippage ou de rupture de la matrice. Il permet également de garantir une coupe nette est franche.

Donc Le jeu varie selon la nature et l'épaisseur du matériau à découper le tableau si dessous donne le coefficient de jeu **Cj** entre la matrice et le poinçon

Informations et sélection des jeux matrices.

Jeu total % (% x épaisseurs tôle = jeu total) **cj**			
Matière	**Minimum**	**Meilleur**	**Maximum**
Cuivre dur	8	12	16
Laiton dur	6	11	16
Acier moyen	10	15	20
Acier 0,50C	12	18	24
Aluminium doux	5	10	15
Acier inox	15	20	25

Tableau II.1 : Valeurs de coefficient de jeu **Cj** [13]

$$jeu(mm) = \frac{e}{Cj}$$

Cj : coefficient de jeu

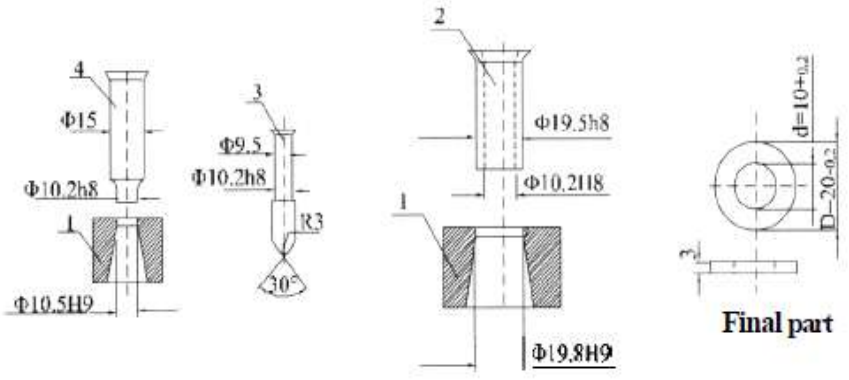


Figure II.29 : Exemple jeu entre poinçon et matrice [13]

II.12. Paramètres physique

- Epaisseur de la tôle
- Dureté du matériau : l'effort maximal de découpage augmente de façon quasi linéaire avec l'augmentation de la dureté du matériau.
- Vitesse de découpage : la vitesse de coupe à une influence directe sur l'effort maximal de découpage et le profil de découpe. En effet, l'effort maximal de découpage diminue et la hauteur de la zone cisaillée augmente lorsque la vitesse de découpage augmente.
- Température : l'influence de la température sur le comportement des tôles dans le découpage est très importante. Il y a diminution de l'effort maximal lors de l'augmentation de la température.
- Microstructure : Plus l'épaisseur de la tôle est faible de façon à ce qu'elle soit du même ordre de grandeur que celle des grains, plus la densité de joints de grains diminue. En effet, l'effort maximal de découpage diminue lorsque la taille de grains est augmentée.

II.13. Comportement tribologique lors d'une opération de découpage

Par définition, la tribologie est la science relative aux surfaces à action réciproque en mouvement relatif, donc aux phénomènes, de frottement, de glissement et d'usure. Ceux-ci interviennent lorsque deux surfaces solides en contact glissent l'une sur l'autre. Un système tribologique (ou un tribosystème) se définit comme un système mécanique, formé de deux matériaux antagonistes, maintenus en contact par l'action d'une force, animés d'un mouvement relatif, séparés ou non par un troisième corps et placés dans un environnement de travail. Lors d'une opération de découpage, un frottement a lieu entre la matrice et la tôle et entre le poinçon et la tôle.

II.14. Frottement poinçon/tôle

L'arête d'un poinçon est soumise à des sollicitations mécaniques et thermiques causé par le contacte avec la tôle, ces derniers sont dues aux contraintes statiques et dynamiques et aux frottements que subit cette arête lors de la découpe. On constate que l'effort de dévêtissage est habituellement faible lorsque l'outil est neuf et il devient véritablement important avec son usure.

Le frottement poinçon/tôle peut être décomposé en deux étapes ; la première étape à lieu lors de la pénétration du poinçon dans la tôle. La deuxième étape à lieu lors de la remonter du poinçon après la rupture de la tôle. Dans cette partie on associe l'action du

dévêtissage du poinçon. F déve Correspondant à son effort de serrage par le retour élastique sur le poinçon.

On peut définir cette force de dévêtissage par la formule suivante : [12]

$$Fdéve = \mu \times Fserrage \qquad \text{(II.6)}$$

Avec :

μ le coefficient de frottement poinçon / tôle).

Le frottement entre poinçon et tôle varie principalement en fonction de la nature de la matière de ce couple et de l'état de surface du poinçon.

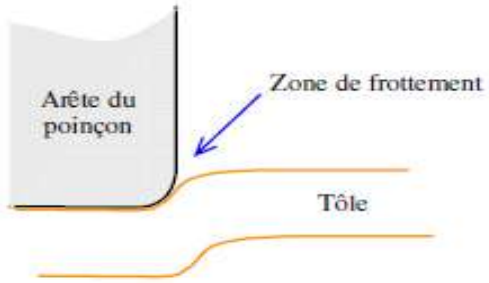


Figure II.30: Opération de découpe **:** Phase de glissement / frottement du poinçon sur la tôle[1]

II. 15. Usure des outils de découpage

L'usure est le processus d'endommagement des surfaces en contact, sous l'effet du frottement. Il s'agit d'un phénomène incontournable dans tous les contacts mécaniques tel le processus de mise en forme par découpage. Dans ce secteur, les éléments affectés par les phénomènes d'usure sont les poinçons et les matrices. Au cours du procédé ils subissent une usure progressive de leurs parties actives, modifiant ainsi par exemple le rayon de courbure sur les arêtes de découpes de ces éléments [12] (figure II.35).

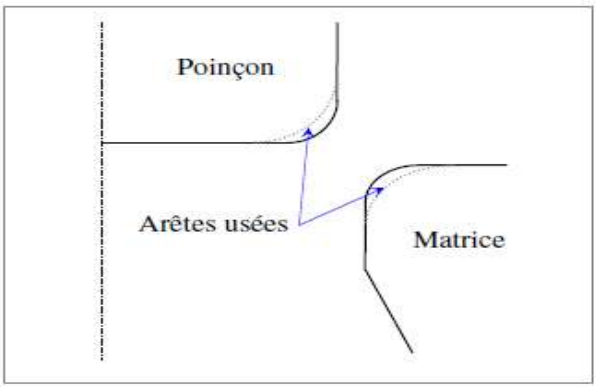


Figure II.31 : Evolution des arêtes de découpe d'un poinçon et d'une matrice [1]

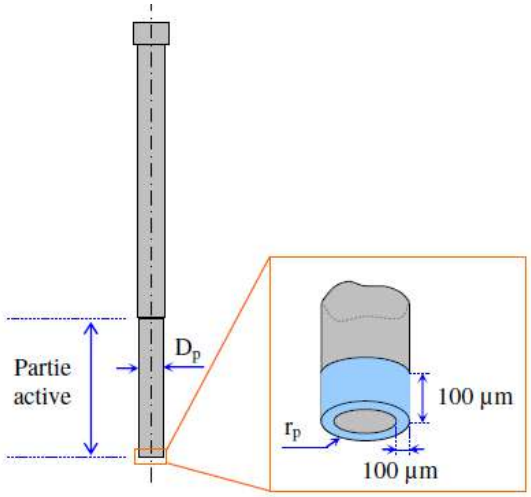


Figure II. 32: Schématisation de la zone activée du poinçon [1]

La variation de ces dimensions a pour première conséquence l'augmentation de la valeur du jeu poinçon / matrice, mais également celui de l'effort nécessaire au découpage.

Dans la littérature, l'élément le plus étudié est le poinçon. Son usure est constituée de trois étapes reliées les unes aux autres et qui se déroulent successivement. Il subit donc tout au long de sa vie les étapes d'usure suivantes :

- ✓ Rodage : usure rapide avec une vitesse d'usure régulièrement décroissante,
- ✓ Marche normale : conditionne la durée de vie du poinçon (usure faible et constante),
- ✓ Vieillissement et mort : vitesse d'usure croissante, voire casse du poinçon dans certains cas.

Par conséquence, la capacité à prévoir l'usure des poinçons et l'aptitude à évaluer leur durée de vie sont d'une importance primordiale pour les découpeurs. En prévision de leur usure les poinçons sont conçus de façon à être affûtés après usure. Ils doivent également résister à la compression et au flambage.

Comme on a vu que la dimension des poinçons conditionnait la qualité des pièces produites, il est donc capital de comprendre le mécanisme et la cinétique de l'usure des poinçons afin d'en accroître la durée de vie. [1]

II. 16. Qualité de la découpe

Si au moment du découpage, l'outillage (poinçon et matrice) subit des sollicitations cycliques, il en résulte une usure progressive des parties actives. Celle-ci induit des imperfections sur le bord découpé du produit fini.

- ✓ Les défauts de fabrication peuvent être classés comme suit :
- ✓ Variations de cotes et modifications de la géométrie du bord découpé,

- ✓ Apparition de défauts de forme,
- ✓ Croissance de la hauteur de la bavure,
- ✓ Dégradation des caractéristiques mécaniques du matériau dans la zone affectée par la découpe

II.17. Mécanisme de l'usure

Il existe quatre paramètres d'usure sur les pièces frottent :

- ✓ Usure par adhésion : elle se manifeste par le transfert de matière de l'un des premiers corps sur le corps antagoniste et elle est susceptible d'aboutir dans sa forme la plus sévère au grippage. L'usure adhésive résulte de la formation de micro-jonctions entre les surfaces en contact et la création de micro-ruptures dans l'un des corps en contact [1].
- ✓ Usure par abrasion : elle est produite par des particules ou des aspérités dures. Celles-ci provoquent un déplacement et un enlèvement de matière, par déformation plastique et rupture par cisaillement, avec formation de micro- copeaux. L'usure abrasive se manifeste par la création de rayures, de griffures ou par un effet de polissage.
- ✓ Usure par fatigue : l'application sur les surfaces de contact de charges élevées cycliques est responsable d'un endommagement par fatigue mécanique superficielle, se traduisant par l'apparition de fissures en surface ou très proches de celle-ci, se propageant dans le volume donnant naissance au phénomène connu sous le nom d'écaillage.
- ✓ Usure par corrosion : un processus chimique, d'oxydation par exemple, couplé au frottement, est à l'origine de ce mécanisme d'endommagement.

Dans la plupart des cas, les outils de découpage montrent des signes d'usure abrasive dans les zones de contact. Qui se produit généralement dans l'outillage quand la surface de la tôle contient des particules dures.

II. 18. Quantification de l'usure des poinçons

Dans l'industrie du découpage l'usure des poinçons a des conséquences importantes sur la production. Une usure importante des outils provoque une mauvaise géométrie sur les pièces découpées, D'un autre côté, l'arrêt des opérations de découpage, pour changer ou réaffûter les poinçons usés, est une contrainte supplémentaire qui pénalise la productivité; la maitrise de l'usure des outils répond à double soucis :

- ✓ Quantitatif : réduire le coût des pièces produites.
- ✓ Qualitatif : obtenir des surfaces ayant des géométries optimales.

L'usure d'un poinçon peut avoir plusieurs origines et être influencée par de nombreux paramètres. Les variables opératoires influant sur l'usure sont nombreuses et les principales sont :

- ✓ Les caractéristiques du mouvement relatif ; cinématique, vitesse, amplitude...,
- ✓ L'effort normal appliqué,
- ✓ La rugosité des surfaces en contact (états des surfaces),
- ✓ L'environnement (atmosphère, température, lubrifiant...).

II.19. Conclusion

Ce chapitre nous à permis de présenter le procédé de mise en forme des tôles par déformation plastique, qu'est le poinçonnage.

Se basant sur une étude théorique, nous avons recherché les paramètres de ce procédé qui ont de l'influence sur l'opération de poinçonnage, on remarque que le jeu entre matrice et poinçon, la vitesse de poinçonnage et les caractéristiques des matériaux soit pour l'outil ou la tôle et l'épieur de la tôle à poinçonnée. Sont des paramètres très nécessaires pour les calcules et la fabrication des poinçons.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons les différents types des outils de presses.

Chapitre III

Les outils de presses

Chapitre III : Les outils de presses

III.1. Introduction

L'outil de presse est au cœur des projets de développement des pièces découpées et mises en forme sur presses. Il contient l'essentiel du savoir-faire du métier :

- ✓ Gammes de formage.
- ✓ Technologies de construction de l'outil.
- ✓ Liens avec la pièce fabriquée et la presse sur laquelle il sera monté.
- ✓ Mise au point et maintenance de l'outil.

Sa complexité vient aussi d'un savoir-faire très lié aux types de pièces fabriquées, rendant les résultats très liés aux compétences de l'homme de métier.

Ce chapitre propose une vision détaillée des différents aspects de l'outil. Il permettra, au néophyte de mieux aborder le métier de la mise en forme des tôles.

Ces outils constituent généralement de deux parties principales à savoir le poinçon, dans la partie supérieur et dans la partie inferieur on trouve la matrice sur laquelle est usinée une ouverture conique pour faciliter le dégagement de l'ajoure.

Ces outils doivent satisfaire, en plus du poinçonnage et du découpage un certain nombre de conditions :

- ✓ Séparer la pièce du déchet.
- ✓ Guider la bande de métal et régler sa position.
- ✓ Assurer une production élevée et la sécurité.
- ✓ Faciliter le changement d'élément usés et l'affûtage.

La classification de ces outils se fait selon les opérations auxquels ils sont destinés (découpage, pliage, poinçonnage, emboutissage …etc.).

III.2. Les éléments principaux des outils

Généralement les outils de presse sont constitués de deux blocs.

- ✓ Bloc mobile qui porte le poinçon,
- ✓ Bloc fixe qui porte la matrice.

III.2.1.Poinçon :

Le poinçon est un outil de presse qui permet de donné une forme à un flan découpé. Cette forme de flan est celle de poinçon .il est nécessaire de vérifier les poinçons a la compression et au flambement pour déterminer leur longueur.

III.2.2. Matrice

La matrice est une pièce qui porte l'empreinte qui représente la forme à créer, réalisée à partir d'un bloc de matière très robuste pour éviter toute déformation. La matrice est dépendante de poinçon, elle sert d'appui à la tôle, et elle réduit les déformations dues au cisaillage.

III.2.3. Dépouille

Pour le Poinçon Aucune dépouille sur le poinçon, pour conserver ses dimensions après affutage, pour Matrice C'est le dégagement au-dessous de la matrice, il permet d'éviter l'entassement des chutes ou de pièces.

L'angle de dépouille dépend de la matière qui forme la matrice :

Pour les matrices trempées on laisse (4 à 5 mm) de la partie constante, dit cylindrique, pour permettre l'affûtage. La dépouille fait un angle de (2 à 3°) avec la verticale.

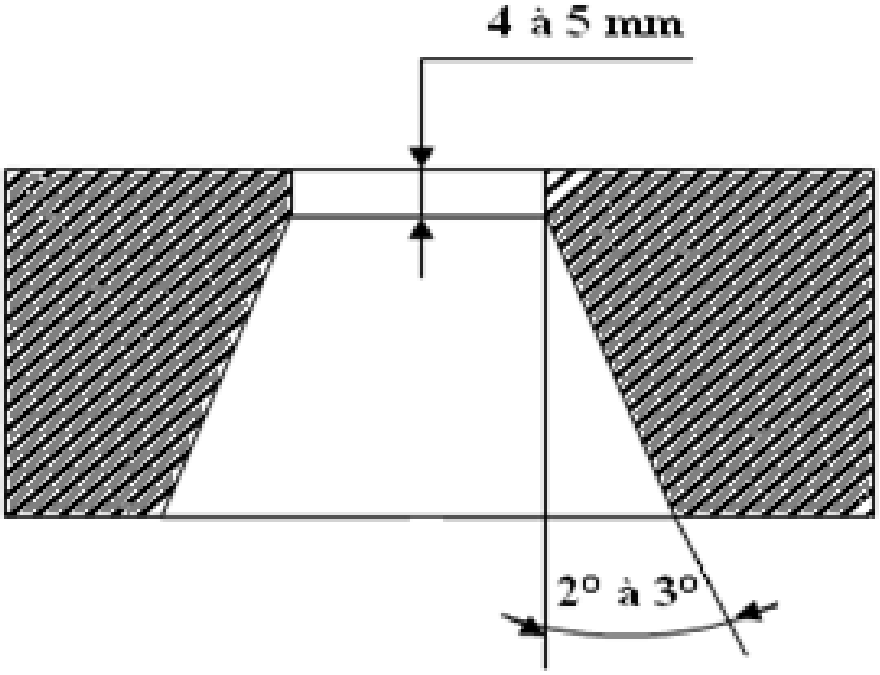


Figure III.1 : Angle de dépouille de la matrice de 2° à 3°

III.3. Affûtage de l'outil

La durée de vie d'un outil est liée au nombre de pièces fabriquées de chaque outil (de 50à 2000000 pour l'outil en acier). Les arêtes coupantes de cet outil, sont rectifiées après chaque durée de vie, celle-là ce faite sur une rectifieuse. [09]

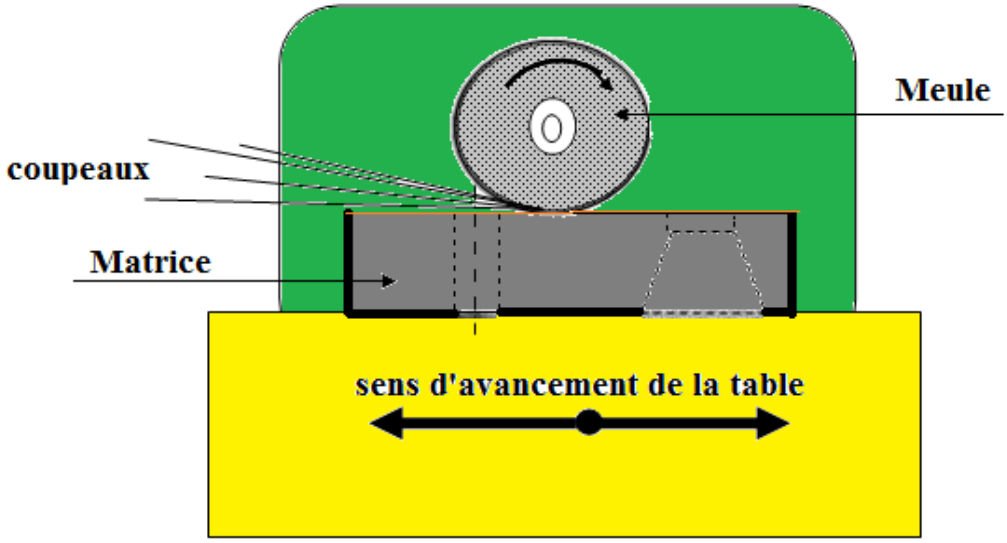


Figure III.2 : Rectification d'une matrice

III.4. Types d'outil de presse

On distingue plusieurs types.

III4.1. Outils de découpage [09]

Il en existe plusieurs types :

III.4.1.1. Outil découvert

- Outil simple découvert :

C'est un outil qui porte un seul poinçon et une matrice, il n'est pas destiné pour les travaux de série; au retour, le poinçon entraine avec lui le flan.

Ce flan n'est pas guider sur la matrice parce qu'il doit être déplacé après chaque coupe.

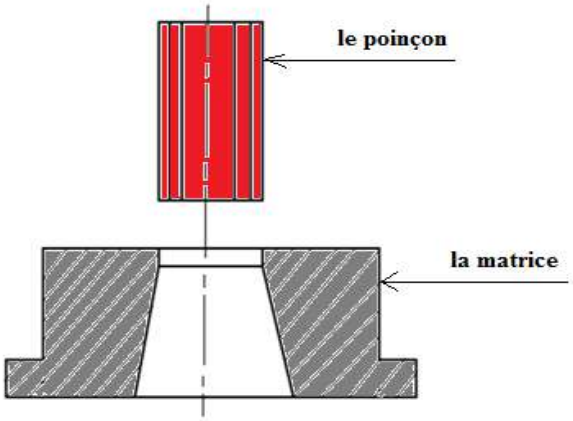


Figure III.3 : Outil simple découvert [09]

Avantages : coût de l'outillage réduit, maintenance aisée …

Inconvénients : précision faible, outil dangereux, adhérence de la matière au poinçon à sa remontée, risque de flambage ou de casse du poinçon, ne permet pas découpage et poinçonnage, flan non maintenu

- Outil découvert à butées :

C'est un système utilisé pour les découpes circulaires, il comporte deux butées (1) pour assurer le guidage de la bonde est l'autre(2) contrôle l'avance. Figure III.4

Cet outil ne se monte que sur les presses avec une grande précision sons aucun jeu ou défaut dans les glissières.

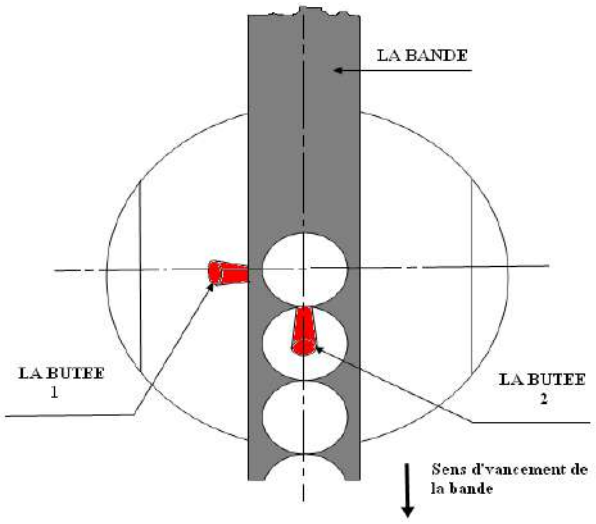


Figure III.4 : Outil découvert à butées [09]

III.4.1.2. Outil à contre plaque

Utilisé pour les tôles d'épaisseur inférieure à 2mm. On distingue deux types d'outil :

- **À engrenage :**

L'avance de flan sur la matrice est assurée par un engrenage, malgré son manque de précision pour contrôler l'avance, on envisage une butée de départ qui met la tôle en position du premier coup de presse.

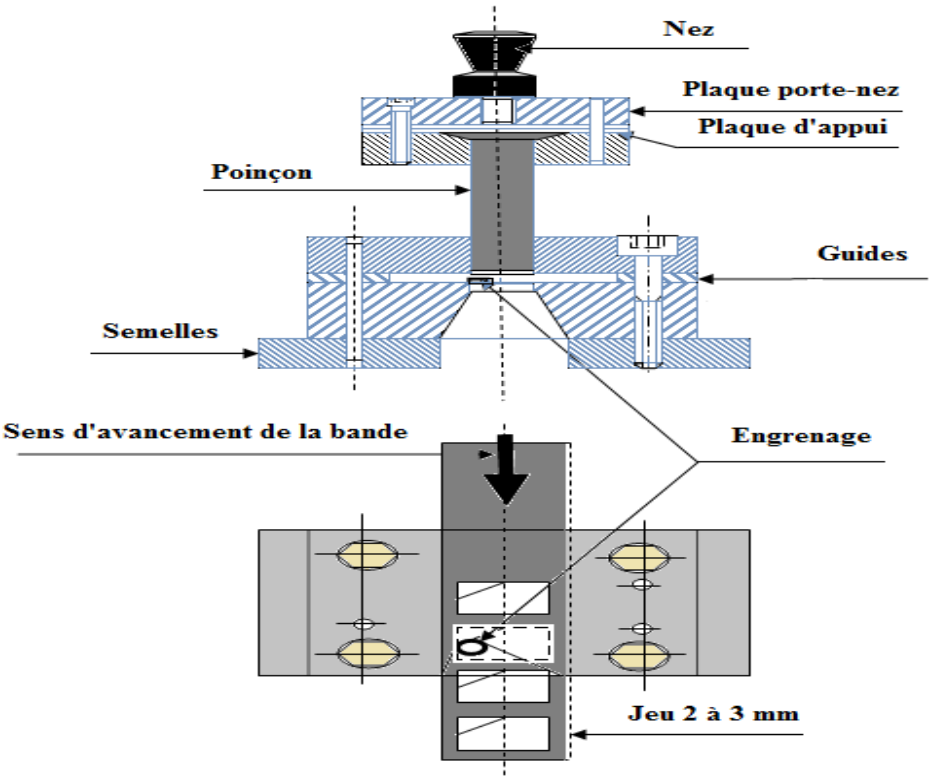


Figure III.5 : Outil à engrenage [09]

- **À presse bande :**

Il est aussi appelé outil colonne, la contre plaque est remplacée par une pièce semblable monté sur des ressorts, tout le système appelé presse-bond (dévêtisseur), cette dernière serre a maintenir la bonde pour éviter tout déformation.

Le guidage de la partie mobile est assuré par des colonnes de guidage.

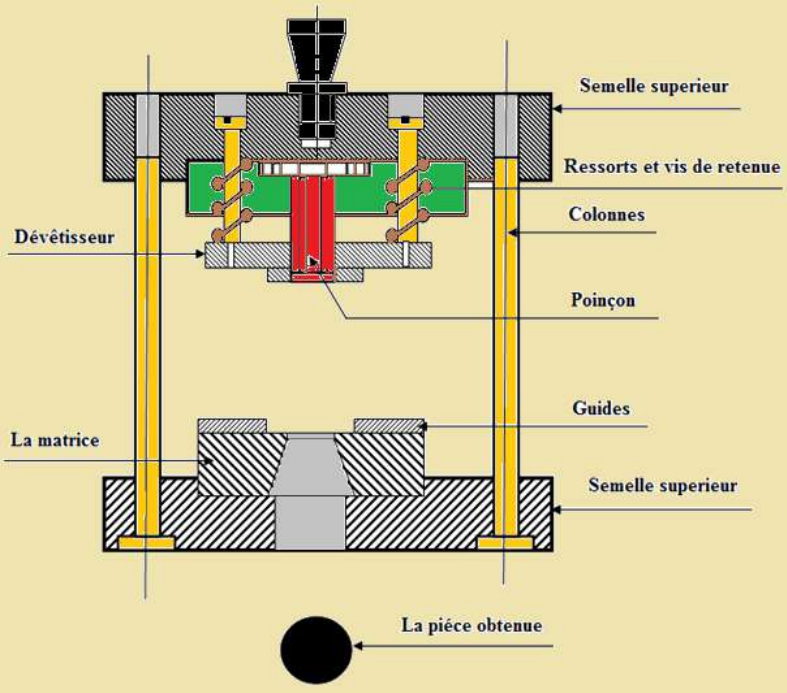


Figure III.6 : Outil à presse bande [09]

III.4.2. Outil suisse (outil bloc)

L'outil Suisse est un système combiné de découpe où poinçon et matrice sont inversés. Le poinçonnage des ajours et la découpe de profil sont effectués en une seule frappe.

La précision de position des différentes formes est excellente, et en fonction de la précision de l'outillage (quelques centièmes de mm).

- ✓ La précision de répétabilité est assurée (production de série).
- ✓ Les Pièces produites sont extraient de la matrice par un éjecteur.
- ✓ Procédé utilisé pour la découpe de tôles minces (quelques dixièmes de mm) Formes de tôles (bruts), sans précision ; la mise en position du brut est sans influence sur la qualité de production des pièces.

  On peut appliquer ce procédé à pratiquement tous les matériaux non cassants en Feuilles

Exemple : les alliages d'acier au carbone, inoxydable et à faible taux d'alliage, les alliages d'aluminium, les panneaux en fibres).

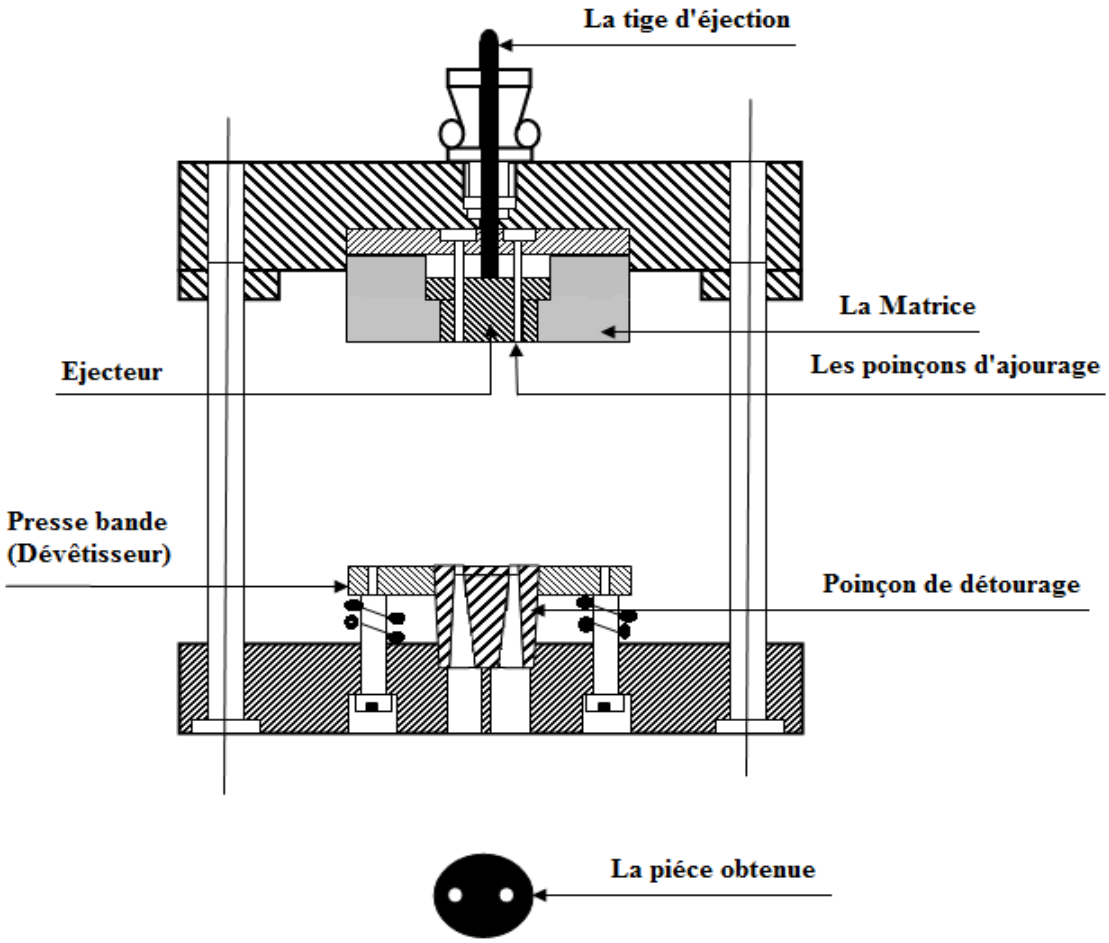


Figure III.7 : Outil suisse [09]

Avantages : outil pour moyenne et grande série, très grande précision entre les formes intérieures et extérieures, utilisé pour les tôles minces …

Inconvénients : cadence de production moyenne, coût de l'outillage élevé, maintenance délicate et onéreuse, …

III.4. 3. Outil de détourage

La qualité des tôles, cause des cornes d'emboutissage, de ce fait, l'impossibilité d'obtenir une pièce aux contours acceptables.

Le détourage est l'opération qui donne à la pièce son contour définitif par enlèvement de matière excédentaire, le procède du découpage s'effectue avec un outil de forme.

On distingue différents types des outils de détourage :

III.4.3.1. Outil de détourage normal

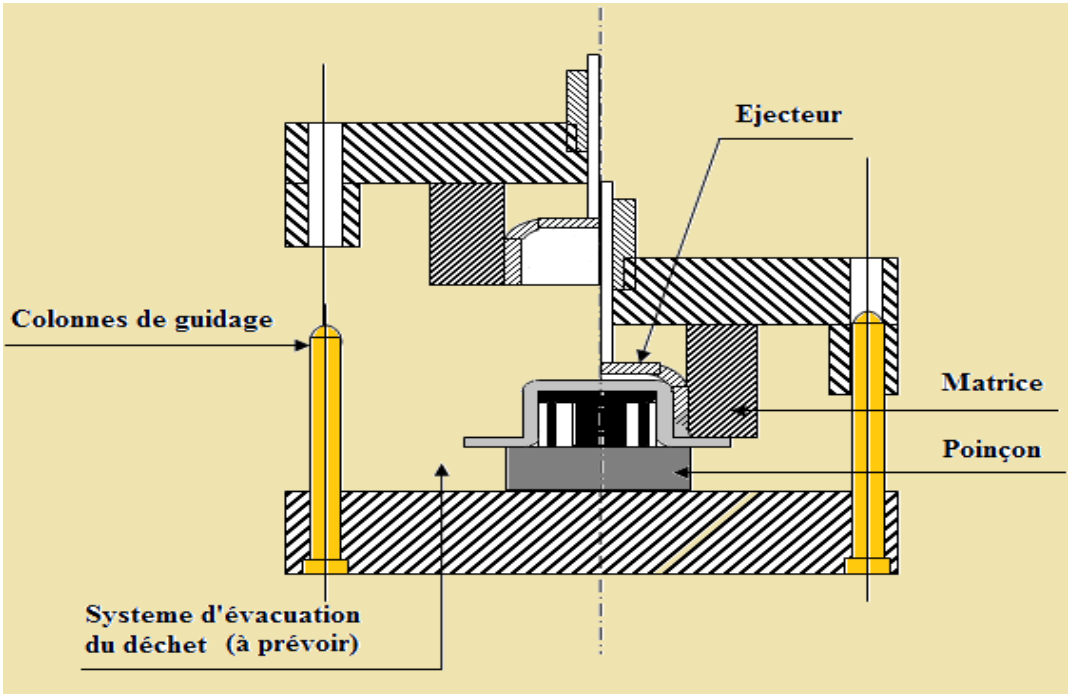


Figure III.8: Outil de détourage normal [09]

III.4.3.2. Outil de détourage à Ras [09]

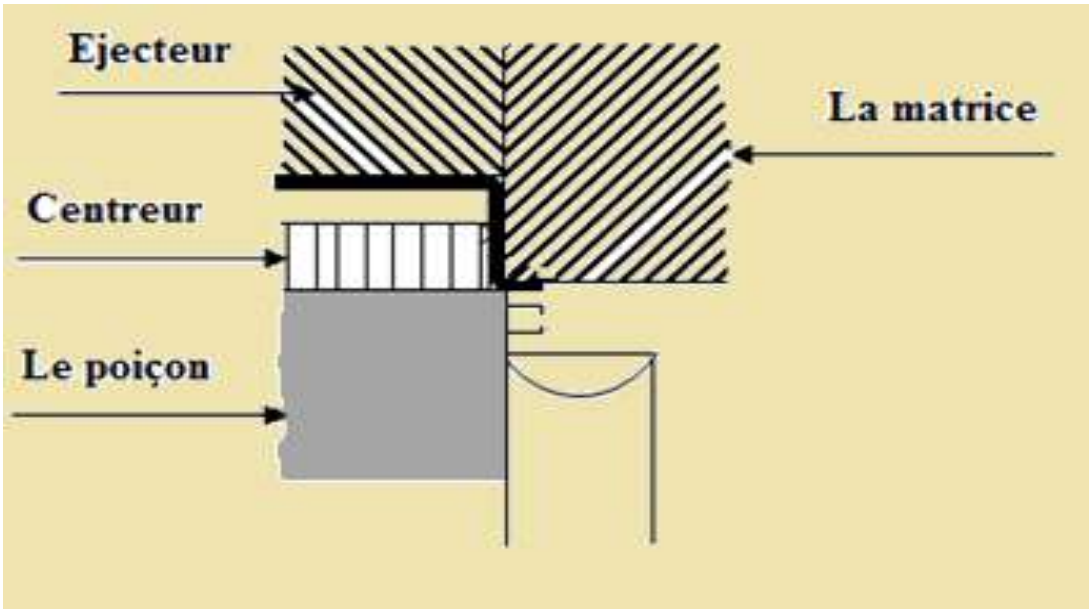


Figure III.9: Outil de détourage à Ras [09]

III.4.3.3. Outil de détourage-poinçonnage

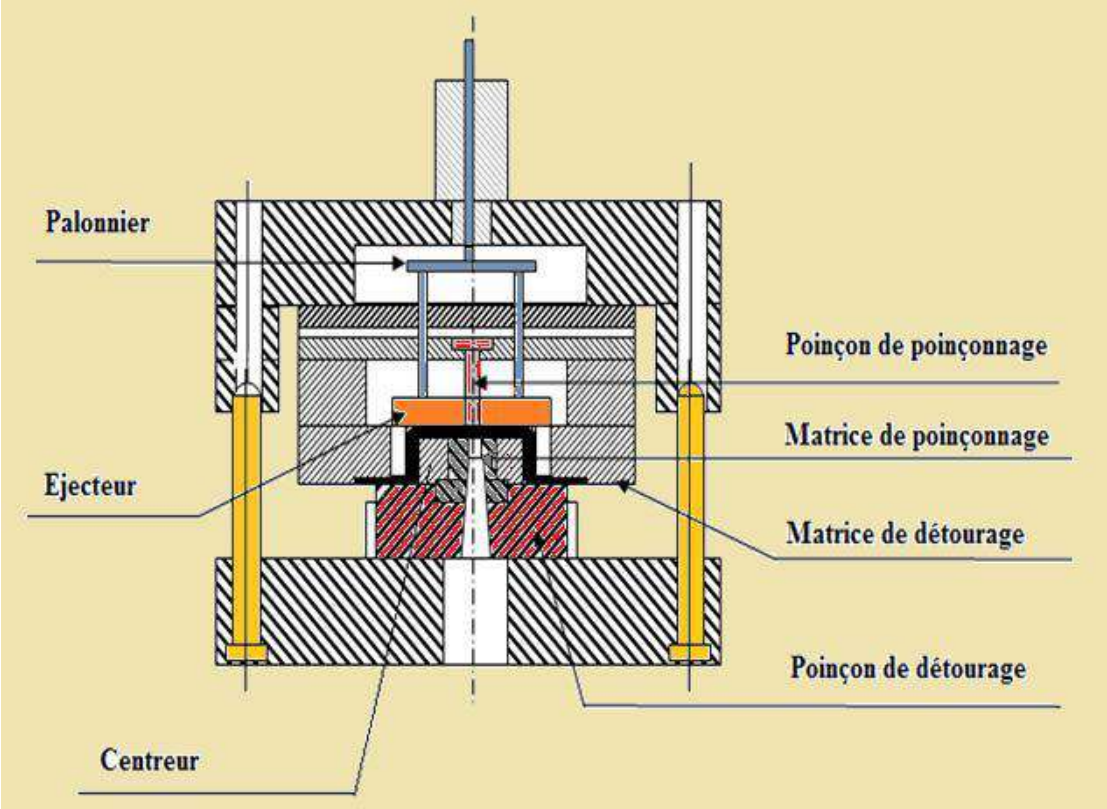


Figure III.10: Outil de détourage-poinçonnage [09]

III.4.4. Outils de reprise

L'outil de reprise fait partie d'un ensemble de plusieurs outils. Chacun d'eux réalise une ébauche de mise en forme de la pièce à fabriquer. Ces ébauches se succédant une à une, permettent d'obtenir la pièce finale. On distingue souvent ces outils par les opérations principales réalisées : découpage, cambrage ou pliage, emboutissage, détourage...À chaque opération, l'ébauche de la pièce issue de l'outil précédent est positionnée dans l'outil suivant grâce à différents moyens de centrage (drageoirs, pions de centrage...). Le déplacement et la manutention des flans, ainsi que des ébauches de la pièce sont réalisés par une personne.

Ce type d'outil est principalement utilisé pour les pièces de petite et moyenne série.

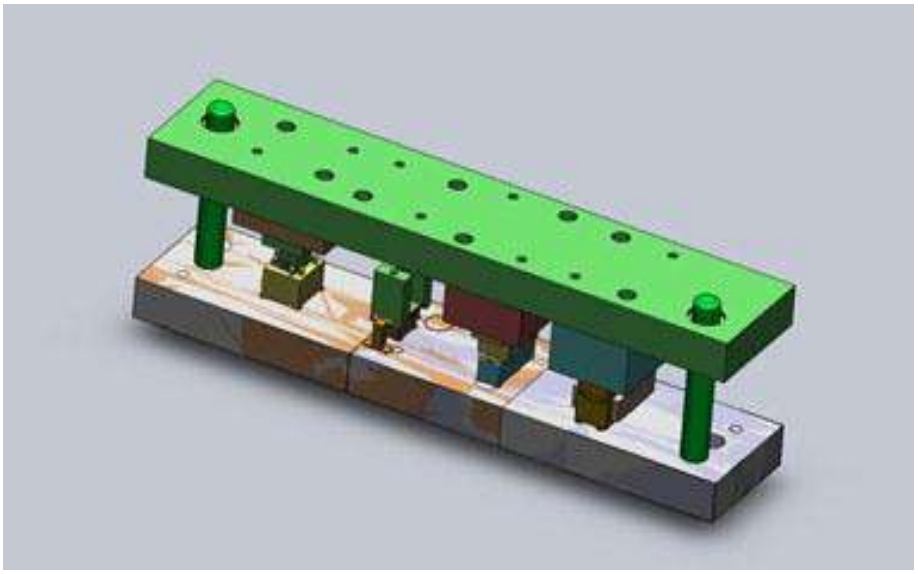


Figure III.11 : Deux outils de reprise faite avec Solidworks [09]

III.4.5. Outil de poinçonnage à serre-flan

Cet outil convient pour les flans de faible épaisseur. Comporte des colonnes de guidage pour assurer le centrage des poinçons par rapport à la matrice.

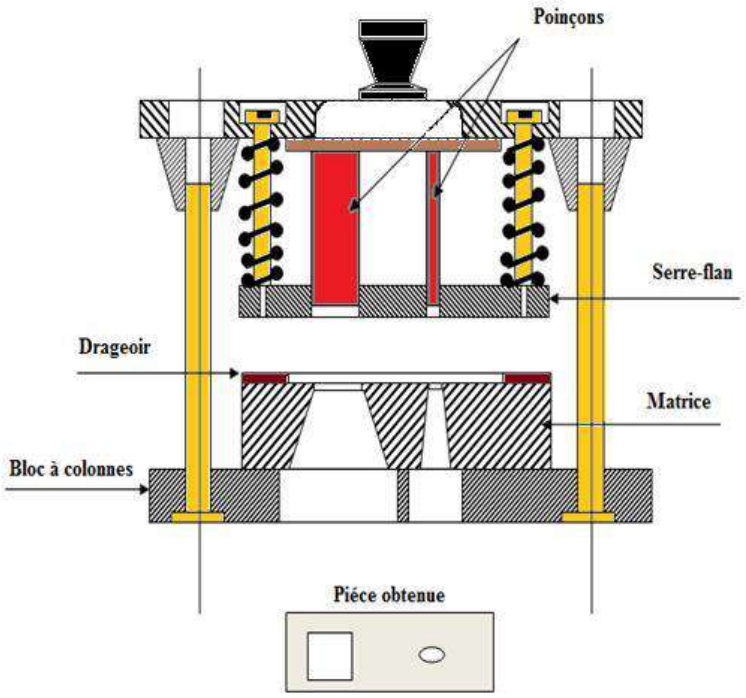


Figure III. 12: Outil de poinçonnage à serre-flan. [09]

III.4.6. Outil combiné

Cet outil convient pour les tôles d'épaisseurs inférieures à 1 mm. Le poinçonnage et le détourage de pourtour de la pièce est simultanées.

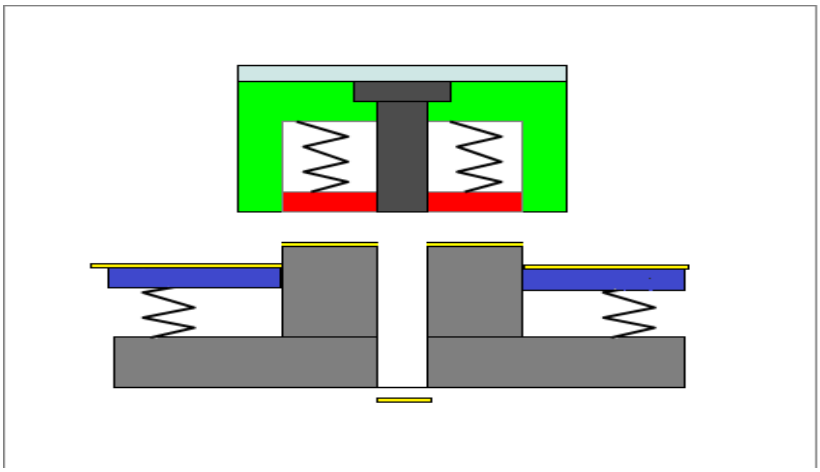


Figure III. 14 : Outil combiné [09]

III.5. Graissage des outils

Les outils sont des petites machines qui nécessitent le graissage pour assurer sa durée de vie et éviter l'usure. Toutes les parties frottant seront lubrifiées avec soin.

III.6. Instructions et avertissements

Attention :

Avant d'utiliser les outils, lisez attentivement le manuel opérateur de la machine, et utilisez les outils selon les spécifications du manuel. Si vous ne respectez pas ces recommandations, il pourrait survenir des casses d'outils et des risques de blessures aux opérateurs.

1. Avant de commencer le travail de la journée, contrôlez les outils. Si l'outillage est écaillé, déformé, ou anormalement usé, ne l'utilisez pas.
2. Ne modifiez jamais vous-même les outils. De telles modifications peuvent être très dangereuses.
3. N'utilisez pas les outils au delà de leur tonnage maximum. Les outils pourraient casser.

III.7. Conclusion

Ce chapitre nous permet d'avoir les différents types des outils de presses utilisées dans les procédées de mise en formes, ainsi quelques instructions d'utilisation et ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons l'étude et la conception de l'outil de poinçonnage.

Chapitre IV

Etude et conception de l’outil de poinçonnage

Chapitre IV : Etude et conception de l'outil de poinçonnage

IV.1. Problématique

Au cours de l'opération de poinçonnage, on cherche à produire des pièces de qualité acceptable mais aussi à garantir une longue durée de vie des outillages. La durée de vie sera d'autant plus longue que les sollicitations seront réduites. D'ou notre problématique qui consiste à trouver le matériau qui résiste bonne performance pour le poinçonnage et garantir la production de pièces de qualité acceptable. et un temps minimal et un prix de revient réduit . Sûr tout le produit est un produit de série moyenne continue.

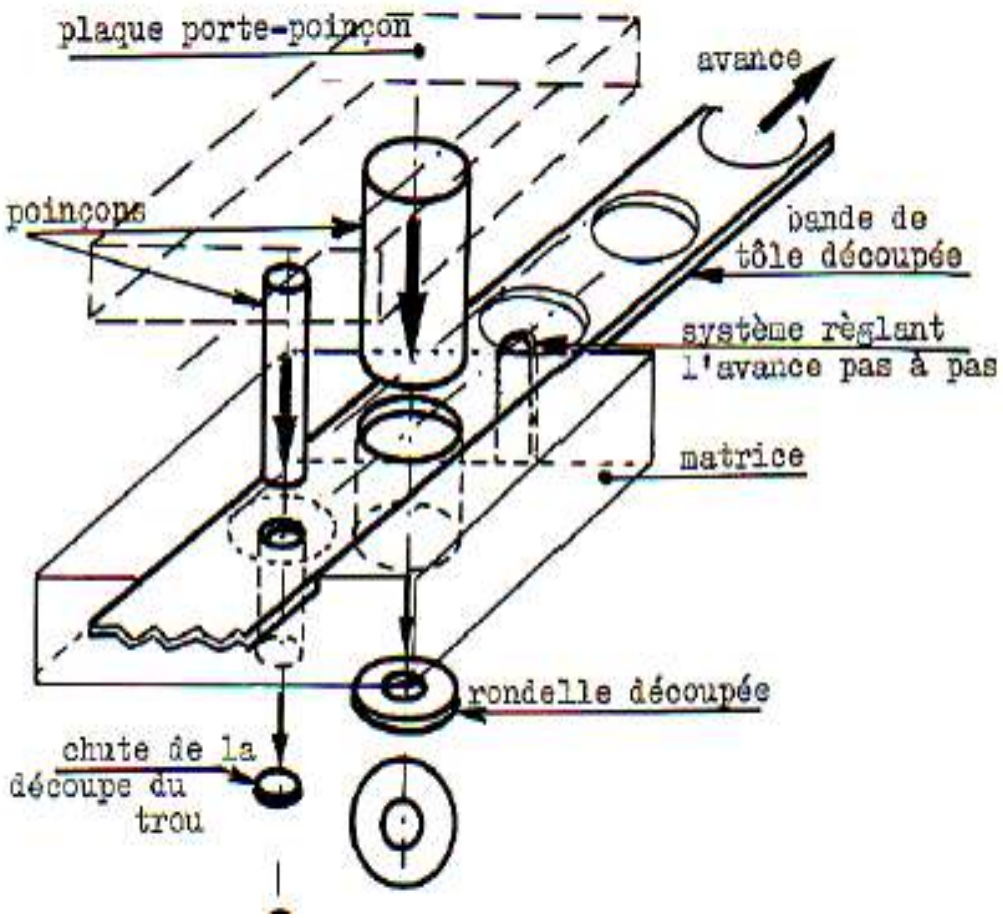


Figure IV.1 : Schéma d'un outil de poinçonnage

IV.2. Travail demandé

Le travail consiste en l'étude et la conception d'un outil de poinçonnage d'une rondelle de compensation.

La figure IV.I nous montrons un schéma simplifiée de l'outil qui nous permettions de réalisée cette pièce.

IV.3. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la conception des outils doivent avoir les caractéristiques suivantes :

1. Résistance à l'usure,
2. Résistance aux chocs et à la traction,
3. Aptitude de subir des traitements thermiques et une bonne usinabilité.

Le matériau utilisé pour les poinçons : Acier à outils fortement allié Z160 CrMoV 12

IV.4. Processus de fabrication

Le processus de fabrication de ce support passe par 3 étapes (figure).

- **1ére étape :**

Elle consiste de découper des bandes37, 5x2000 à partir de tôle fournie en format commercial Standard 2000 x 1500 x 3mm.

- **2éme étape :** poinçonnage du petit trou. (forme 1),

L'opération de découpage du pas consiste à limiter l'avance de la bande, pour pouvoir effectuer l'autre opération (forme 1),

- **3éme étape :**

Poinçonnage du grand trou (forme 2).

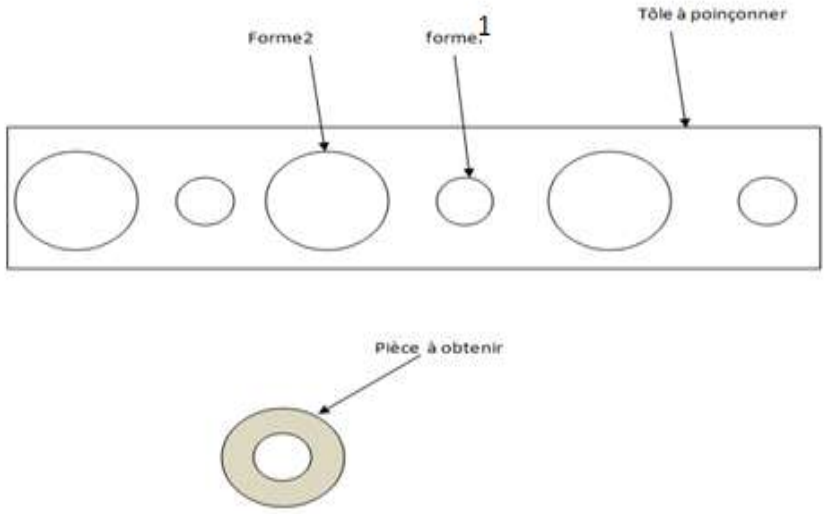


Figure IV.2 : Schéma de deux formes des trous à poinçonner

IV.5. Calcul des efforts

Le calcul des efforts pour les deux procédés se fait selon la loi suivante :

$$Fp = K \times P \times e \times Rc \qquad \text{(IV.1)}$$

généralement le coefficient K =1.

Matériaux	Rc (daN/mm2)
Acier dur	70
Acier inoxydable	55
Acier doux	40
aluminium	10

Tableau IV.1 : Valeur Résistance au cisaillement [9]

Les efforts appliqués pour obtenir la forme finale sont :

Fp1 : Effort de découpage (forme1)

Fp2 : Effort de poinçonnage ;(forme2)

IV.5.1. Calcul de l'effort de poinçonnage

Le calcul des efforts pour les deux procédés se fait selon la loi suivante :

$$Fde = P \times e \times Rc \qquad \textbf{(}IV.2)$$

Avec :

P : Le périmètre à découper,

e: L'épaisseur de la tôle,

Rc : Résistance au cisaillement de tôle 40 daN/mm^2.

a) Effort de poinçonnage Fp1 :

P1 : le périmètre de trous de Ø 6,2.

P1 = π . Ø . n

Avec :

Ø : diamètres des trous

n : nombre des trous

A.N

P1= 3,14 x 6,2 x 1=19,468 mm

Fp1 = P1 . e . Rc

A.N

Fp1 = 19,468x 3 x 40

Fp1 = 2336,16 daN

b) Effort de poinçonnage Fp2 :

P2 : le périmètre du poinçon Ø 26,5

P2 = 3,14 **.** 26,5**.** 1= 83,21 mm

Fp2 = P2 . e . Rc

A.N

F p2= 83,21 .3 . 40 = 9885,2 daN

Effort total Ft :

Ft = Fp1 + Fp2

A.Ft = 2336,16 +9885,2= 12321,36 daN

IV5.2. Effort de dévêtissage (extraction) Fdév

C'est l'effort nécessaire pour dégager les pionçons du bond après poinçonnage, pour une faible perte de métal (déchet faible), l'effort d'extraction est égal à 2% de l'effort de découpage.

F extractions = 2% F découpage.

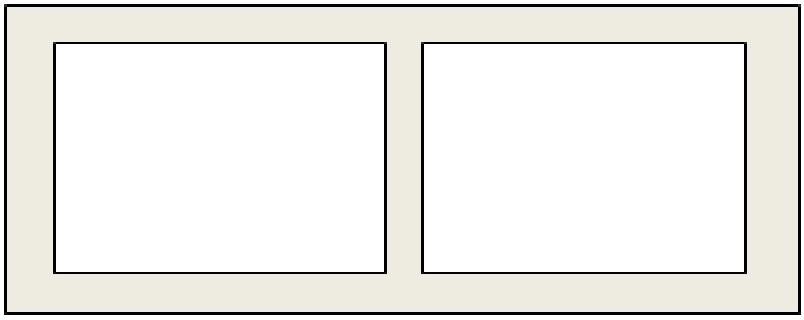


Figure IV.3 : Déchet faible

Pour un découpage en pleine tôle, donc avec d'important déchet, l'effort d'extraction est égal à 7% de l'effort de découpage.

Fextraction = 7% F découpage.

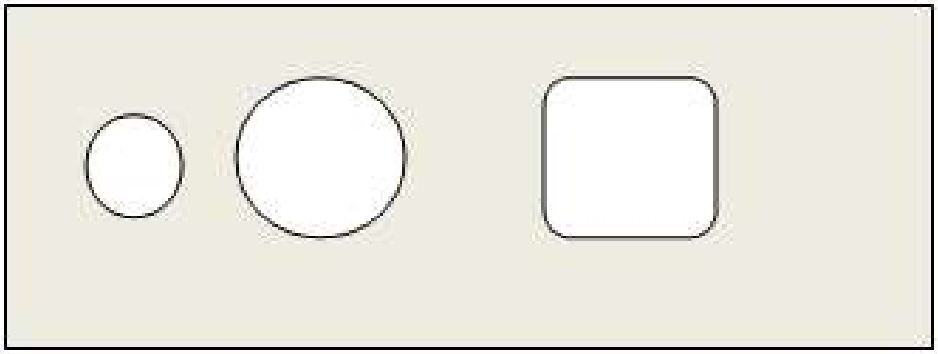


Figure IV.4. Déchet important

[1] Donc :

[2] Fdév = 7% . Ft = 0,07 . 12321,36 = 862, 49 daN

IV.5.3. Calcul de l'effort d'éjection

C'est l'effort nécessaire pour dégager la pièce découpée de la matrice. Cet effort est d'environ 1,3% de l'effort de découpage.

$$Fej = Ft \times 1.33\% \qquad \text{(IV.3)}$$

Féj = 12321,36 × 0,0133=163,87

Féj = 163,87 daN.

IV.6. Calcul de l'effort fournir par la presse

La source de production de la force est une presse qui doit produire un effort supérieur ou au moins égale à la somme des efforts. **F Presse** > Fp Total + Fdév + F éj

F Presse > 12321,36 + 862, 49 + 163,87=13347,72 daN

F Presse > 13347,72 daN = 133,4772 KN

Il est donc nécessaire d'utiliser une presse développant au minimum **134 KN.**

IV.7. Jeu de découpage

Le jeu varie selon la nature et l'épaisseur du matériau à découper :

- ✓ 1/20 × e pour acier inox,

- ✓ 1/15 × e pour acier moyen,
- ✓ 1/10 × e pour l'aluminium

Informations et sélection des jeux matrices

Jeu total % (% x épaisseurs tôle = jeu total) Cj			
Matière	**Minimum**	**Meilleur**	**Maximum**
Cuivre dur	**8**	**12**	**16**
Laiton dur	**6**	**11**	**16**
Acier moyen	**10**	**15**	**20**
Acier 0,50C	**12**	**18**	**24**
Aluminium doux	**5**	**10**	**15**
Acier inox	**15**	**20**	**25**

Tableau IV.2 : Valeur Coefficient de Jeu Cj [13].

J = e /15 = 3 / 15 = 0,20 mm

Le tableau si dessous donne les jeux recommandés entre la matrice et le poinçon pour la comparaison [13].

Epaisseur de tôle (mm)	**Matériau**		
	Cuivre-aluminium - acier à faible teneur en carbone	**Acier moyen au carbone**	**Acier à haute teneur en carbone et acier allié**
0.5 1.1	**0.10 0.15**	**0.15 0.20**	**0.15 0.25**
1.5 2.8	**0.15 0.20**	**0.20 0.25**	**0.20 0.35**
3.0 3.8	**0.20 0.25**	**0.25 0.30**	**0.25 0.35**
4.0 5.2	**0.25 0.30**	**0.30 0.35**	**0.30 0.40**

Tableau IV.3 : Valeur recommandée de jeu entre poinçon et matrice [13].

IV. 8. Calcul des poinçons au flambement

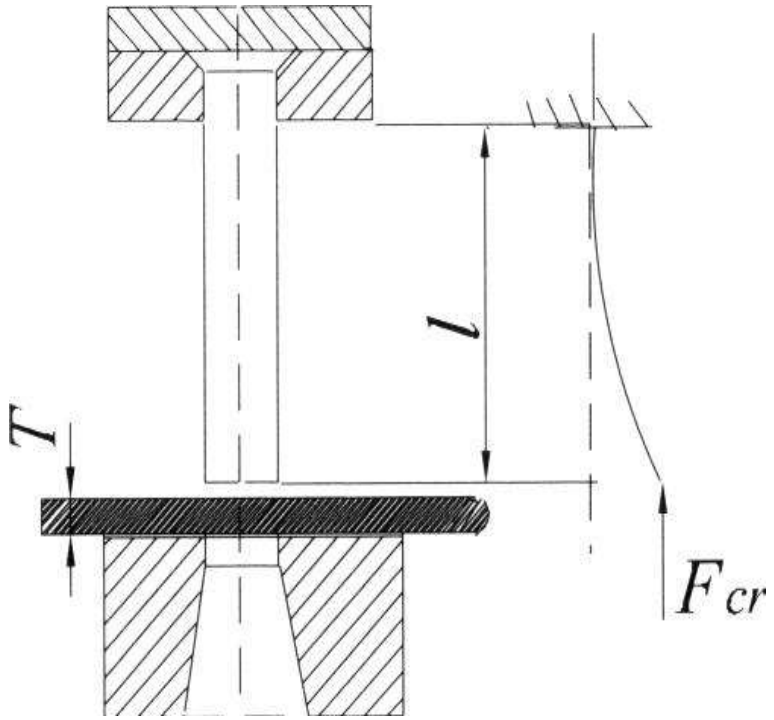


Figure IV.5 : Flambement d'un poinçon soumis à un effort axial [13]

Une poutre langue et droite, soumise à deux forces axiales opposées, subit une déformation par flambement.

Ce dernier se produit pour une certaine valeur de charge appelée charge critique.

Si :

- F < Fcr la poutre ne subit qu'un faible raccourcissement qui est du à la compression.
- F > Fcr la poutre se déforme et la rupture peut intervenir rapidement.
- F = Fcr : La barre est en équilibre instable, il peut y avoir changement d'état d'équilibre pour atteindre un état d'équilibre stable en flexion composée

F : effort de d'découpage

Fcr : charge critique d'Euler qui se calcule comme suit :

$$Fcr = \frac{\pi^2 . E . I}{L^2} \qquad \text{(IV.4)}$$

Avec :

E : Module d'élasticité (207000 N/mm2). Module de Young.

I : moment d'inertie.

L : longueur réelle (Longueur libre de flambement.)(mm)

La longueur libre de flambage **l** est donnée en fonction du type d'appui. Elle est donnée par le Tableau IV.4

Type de liaison	Schéma	Longueur de flambement (l_f)	Charge critique (P_C)
Appui simple-Rotule		L	$P_c = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$
Libre - encastrement		2L	$P_c = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$
Encastrement - Encastrement		0,5L	$P_c = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$
Appui simple - Encastrement		0,7L	$P_c = \frac{2{,}05\pi^2 EI}{L^2}$

Tableau IV.4: Valeurs de la longueur de flambage l en fonction de la longueur réelle L [9] .

Dans notre cas les poinçons sont encastre d'un et libre de l'autre, la langueur de flambement *l* =2L

- **Poinçon circulaire grand poinçon :**

$I = \pi d^4 / 64$

A.N

$I = 3,14 . 26,5^4 / 64$

$I = 24195,42\ mm^4$

$\mathbf{l} = 2L$

$Fcr = \pi^2 . E . I / \mathbf{l}^2$

$Fcr = \pi^2 . 207000 . 24195,42 / 4 . 80^2$

Fcr = 192895.831N = 19289.5831 daN

On a : Fp1 = 9885,2daN < Fcr = 192895,831daN

(Effort de poinçonnage). Fp1< Fcr

Fp1 < Fcr la poutre (poinçon) ne subit qu'un faible raccourcissement qui est du à la compression

Alors la condition est vérifiée. Donc le poinçon va résister.

- **Poinçon circulaire petit poinçon :**

$I = \pi d^4 / 64 = 3,14 . 6,24 / 64 = 227,63\ mm^4$

$Fcr = \pi^2 . 207000 . 227,63 / 4 . 80^2 = 1814,7\ N = 181,4\ 7\ daN$

On a : Fp1 = 2336,16 daN (Effort de poinçonnage).

Fp1 = >181,4 7 daN

Alors la condition n'est pas vérifiée.

Fp1=9885,2daN > Fcr=181,4 7 daN

Le corps du poinçon doit être renforcé avec un changement de diamètre pour éviter le flambage figure.

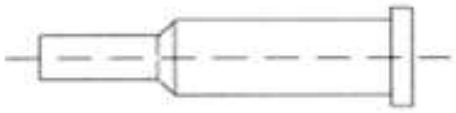


Figure IV.6 : Poinçon

On calcule le diamètre minimum

$I = \pi d^4 / 64 = 3{,}14 \cdot d\mathbf{4} / 64$

$Fcr = \pi^2 \cdot 207000 \times 3{,}14 \cdot d\mathbf{4} / 64 \times 4 \cdot 80^2$

$d^4 > 5972.6$

$d > 8.79mm$

$d = 12$ mm

$I = \pi d^4 / 64 = 3{,}14 \cdot 12\mathbf{4} / 64 = 1017.36\ mm^4$

$Fcr = \pi^2 \cdot 207000 \cdot 1017.36 / 4 \cdot 80^2 = 81108$ N $= 8110{,}8$ daN

On a : Fp1 = 2336,16 daN (Effort de poinçonnage).

Fp1 = 2336,16 daN < Fcr =8110,8 daN

Alors la condition est vérifiée. Donc le poinçon va résister.

IV. 9. Calcul des poinçons à la compression

Condition de résistance: $\sigma com < Re$

Avec :

Re=750 MPa (la limite élastique de l'acier Z160 CrMoV 12

$\sigma com = F / S$

F : effort de poinçonnage en N/ mm^2 .

S : section du poinçon en mm^2.

poinçon circulaire petit poinçon Ø6.2 mm :

$\sigma com = F$'p1/ S

$S = \pi d^2/4 = 3.14 \times (6.2)^2/4 = 30.71$ mm^2

$\sigma com = 23361.6/ 30.71 = 760$ N/ mm$^2 > Re = 750$ N/ mm^2

Alors la condition n'est pas vérifiée.

$\sigma com = F$'p1/ $S = 4 \times 23361.6/ \pi d^2 = \sigma com < Re = 750$ N/ mm^2

$d^2 > 23361.6 \times 4/3.14 \times 750 = 6.30$mm

On prendre d =10 mm comme sécurité et d'prés tableau de Renard (diamètre recommandée).

- **Poinçon circulaire grand poinçon Ø 26,5:**

$\sigma com = F$ p1/ S

Fp2 = 98852 N

$S = \pi d^2/4 = 3.14 \times (26,5)^2/4 = 538.855$ mm^2

$\sigma com = 9885,2/ 538.855 = 183.448N/ mm^2 < Re = 750$ N/ mm^2

D'après les résultats précédents, les contraintes de compression sont inferieurs à la limite élastique du matériau, donc la condition de compression est vérifiée.

IV. 10. Calcul du barycentre de l'outil de coupe

Pour que la presse travail d'une façon plus favorable, on doit positionner l'outil sur la table de façon à ce que la résultante de tous les efforts sollicités pendant le travail (centre d'inertie) passe par l'axe vertical du coulisseau de la presse.

On déterminer le centre de gravité par deux méthodes,

- ✓ Méthodes graphique
- ✓ Méthode analytique

$X = \Sigma X i . F i / \Sigma F i = mm = (2336.16 \times 28.5) / (9885.2+2336.16)=5.45$ mm

$Y = \Sigma y i . F i / \Sigma F i=mm=0mm$

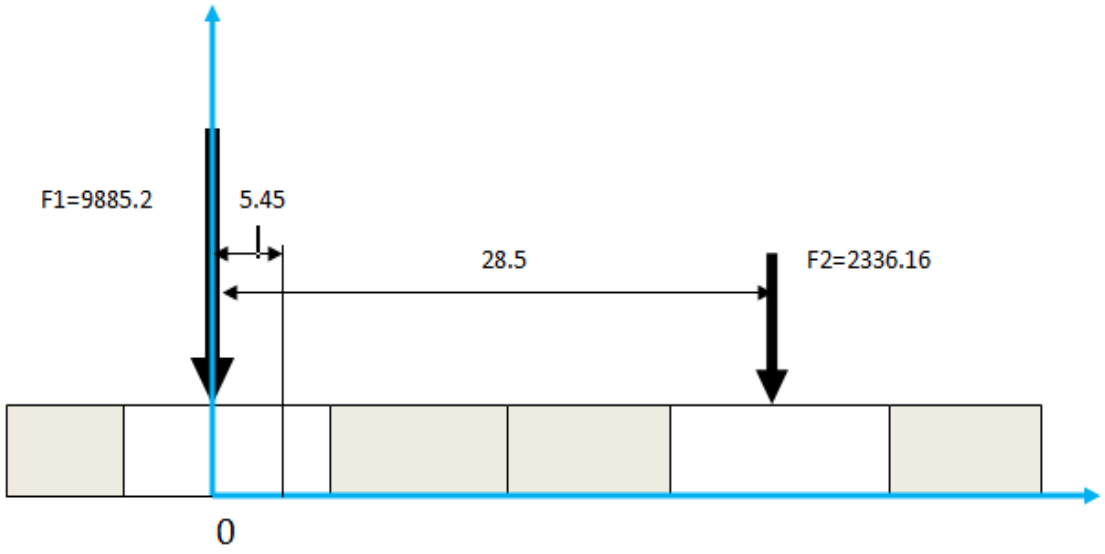


Figure IV.7 : Position de centre de gravité de l'outil de poinçonnage

- ➢ **Choix de mise en bande**

1. Proposer une mise en bande limitant les pertes de matière.
2. Déterminer le taux de chute correspondant à cette mise en bande.

IV. 11. Choix de la presse à utiliser

Le choix de la presse à utiliser dans les travaux des métaux en feuille dépend essentiellement de plusieurs paramètres tel que :

- ✓ L'effort de la presse doit être supérieur aux efforts utilisés,
- ✓ La longueur et la largeur de la table, suffisamment supérieur à celle de l'outil,

- ✓ La hauteur libre entre la table et le coulisseau doit être supérieur à la hauteur de l'outil
- ✓ fermé.
- ✓ La nature des opérations à réaliser. Pour notre cas, il s'agit de poinçonnage.

Une presse mécanique est mieux indiquée.

A partir de l'effort que nous avons trouvé, on a optée pour une presse " **Presse à excentrique type LENP 40A** "

- ➢ **Enseignements généraux sur la machine**

Les presse à excentrique sont le type le plus repondu de presse grâce à leurs possibilités de travail ; elles se prêtent aux travaux de presse à froid ; poinçonnage ; pliage ; estampage ; frappe ; extrusion et emboutissage de peu profondeur ; parfois également u rivetage et utilisant les outils à poinçons multiples même aux opérations combinées.

- ➢ **Descriptions de la machine ; presse à excentrique**

Sorte de machine " presse à excentrique type LENP 40A	
Constructeur	**Smerl Trnava tchèque**
Année de fabriction	
Numéro de matricule	
Hauteur mm	**2110**

Poids de la machine kg	**2480**
-Puissance nominale de la presse kg	**4000**
Encombrement de la machine mm	**1530x1080**
Moteur électrique puissance : vitesse kw - tr/min	**3/1420**
Épaisseur de la tôle pour marche individuelle mm	**12**
Épaisseur de l la tôle pour marche continue mm	**7**
Prise d'air comprimé pression de service bars	**4**
Nombre de coupe pr minute coupe/min	**67**
- Dimension de la table (longueur et larguer) mm.	**630 × 420**
- REGLGE DE La COURS mm	**8-90**
Passage entre montante mm	**250**
Réglage de coulisseau mm	**60**

Tableau IV.5 : Fiche technique de la presse à excentrique type LENP 40A [17]



Figure IV.8 : Photo Presse à excentrique type LENP 40A [17]



Figure IV.9 : Emplacement et fixation de l'out de poinçonnage dans la presse [17].

IV. 12. Conception de l'outil

L'outil proposer dans cette étude est constitué des éléments suivant.

Voir le détail sue le dessin d'ensemble.

1	Semelle inferieure (plaque de basse)
2	La matrice (plaque matrice)
3	plaque de guidage du poinçon (devêtisseur) (serre flan)
4	réglette (glissières)
5	La butée
6	La butée
7	plaque portes poinçons
8	tôle de protection
9	poinçon
10	poinçon

11	porte pièce
12	plaque d'appui (plaque de choc)
13	plaque de fixation (plaque supérieure)
14	queue
16	goujon
17	vis
18	ressort
19	vis
20	ressort
21	Vis
22	goupille

Tableau IV.6 : Eléments constituants l'outil de poinçonnage.

IV. 13. Choix des matériaux des poinçons [20]

On utilise l'Acier à outil pour travail à froid Z160CrMoV12 par ce que **:**

• Très résistant à l'usure.

•Dureté élevée. 57-62 HRc

• Grande ténacité.

• Peut être utilisé pour réaliser des outillages portés en service jusqu'à des températures de 450 °C.

• Résiste bien aux chocs thermiques.

•Grande aptitude au polissage.

IV. 13. 1 APPLICATIONS

• Outillages de découpe, lames de cisaille.

• Matrices et poinçons d'emboutissage.

• Peignes à rouler les filets.

• Molettes de fluotournage

IV. 13.2 Désignations normalisées de Z160CrMoV12

Allemagne DIN	**X153CrMoV12**		
France afnor	**AFNOR : X160CrMoV12 ; ancienne Z160CDV12**		
ISO ISO	**X153CrMoV12**		
Numero _Werkstoff W , N	**W.Nr : ~ 1.2379 / ~ 1.2601**		
USA American Iron and Steel Institute	**AISI : ~ D2**	**ASTM : ~ A681(D2)**	**UNS: ~ T30402** UNS
Grande Bretagne BSI British Standards	**BD 2**		
Japon JIS	**JIS : ~ SKD10 / ~ SKD11**		
Corée	**STD11**		
Suède	**2310**		
Chine	**Cr12MoV**		
Italie	**X155 CrVo12 1 KU**		

Tableau IV. 7 . Correspondances des principales normes de Z160CrMoV12 [21]

IV. 13. 3 Propriétés physiques [22]

• Densité : 7,85

• Coefficient moyen de dilatation en m/m. °C :

- entre 20 °C et 200 °C : 10,2 x 10-6

- entre 20 °C et 400 °C : 11,0 x 10-6

- entre 20 °C et 600 °C : 11,5 x 10-6

• Points de transformation :

- Ac1 810 °C

- Ac3 860 °C

Couleur AISI : ~ D2 

IV. 13. 4 Compositions chimiques de Z160CrMoV12 [21]

Carbone ..... 1.45 -1.70

Chrome.....11.0 -13.00

Silicium.....0.10 -0.40

Molybdène .....0.70 -1.10

Vanadium 0.70-1.00

Manganèse……...0.15 0.45

IV. 14. Traitement thermique de Z160CrMoV12

IV. 14. 1 Trempe :

- Préchauffage à 750 °C

- Chauffage à 1030 °C

- Refroidissement à l'air ou sous pression de gaz.Pour des pièces de fortes épaisseurs, le refroidissement à l'air peut être remplacé par la trempe dans un bain de sels à 250°C, suivie d'un arrêt à l'air.

Il est recommandé d'effectuer le chauffage sous atmosphère neutre.Dans certains cas spécifiques où une certaine ténacité serait recherchée conjointement à une dureté non maximale, une température de chauffage à 990 °C pour la trempe peut être retenue.

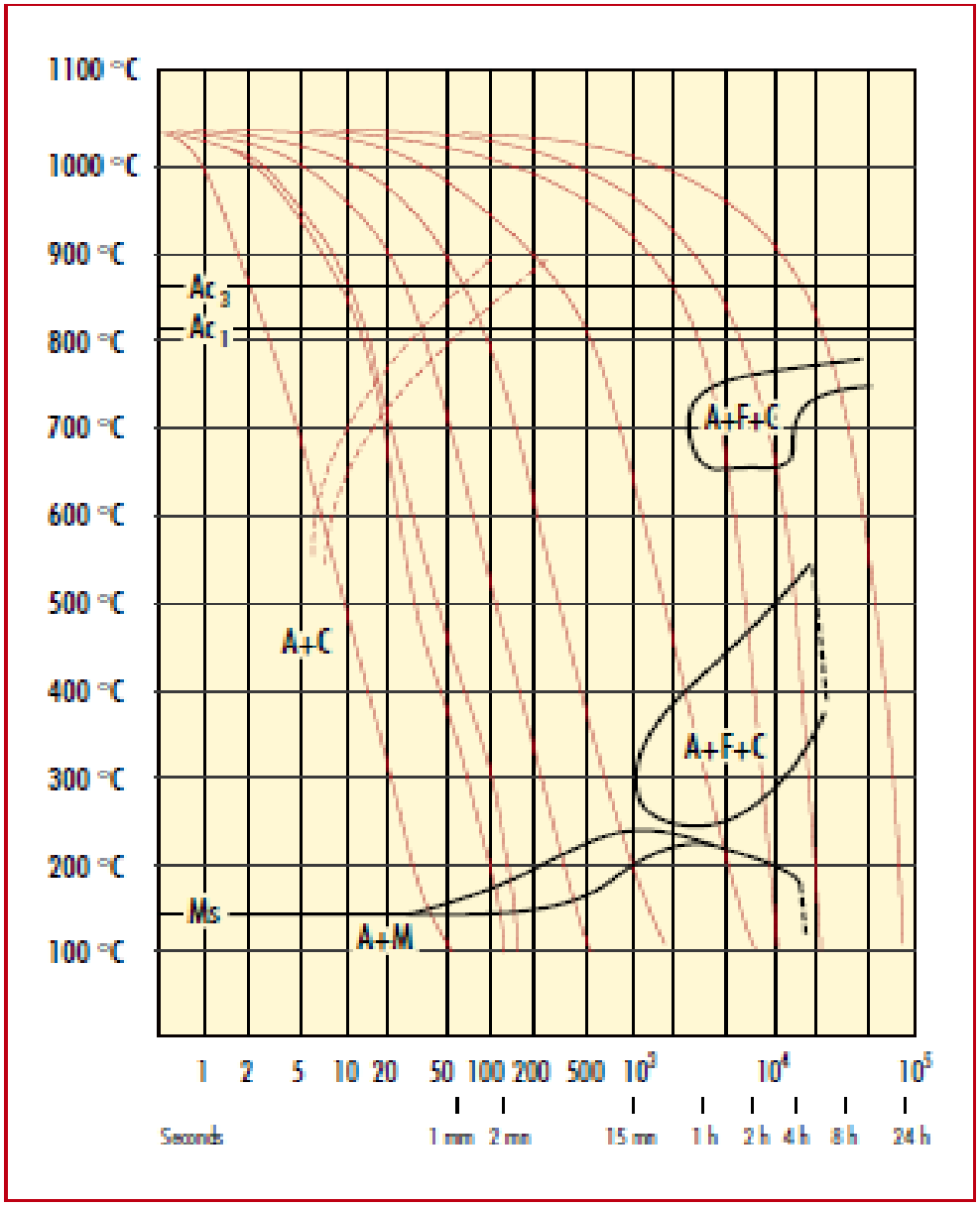


Figure IV.10 : Courbe T.R.C. de Z160CrMoV12 Austénitisation à 1030 °C [20]

IV. 14. 2 Revenu :

- 1er revenu à 500 °C.

- 2ème revenu suivant la dureté visée.

- Pour obtenir la dureté maximale après une trempe à 1030°C, il est recommandé d'effectuer un double revenu à 500 °C.

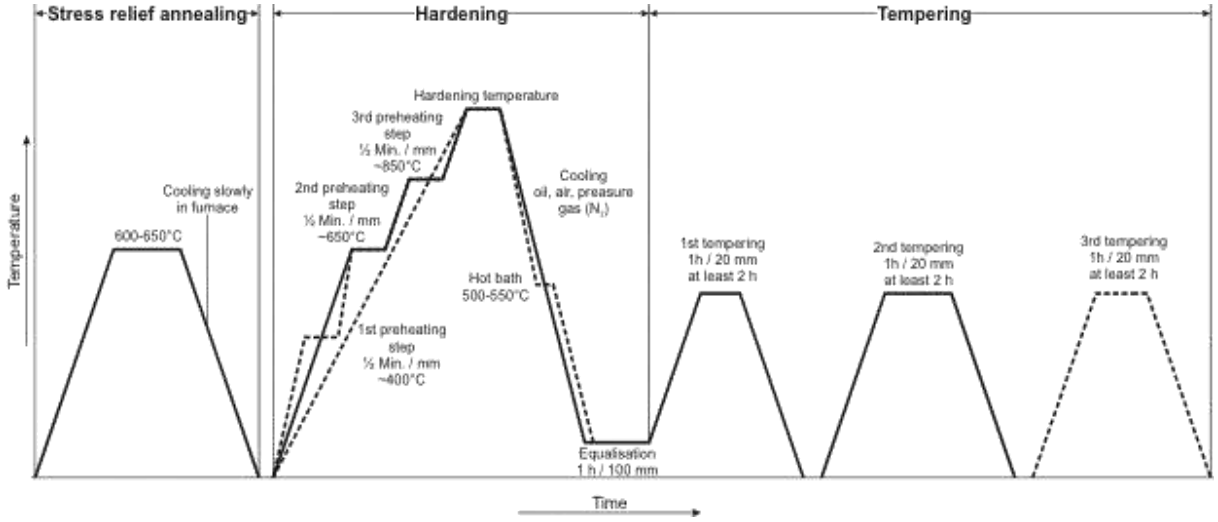


Figure IV.11: Les étapes de trempe et revenu de Z160CrMoV12 [23]

IV. 14. 3 Dureté suivant la température de revenu

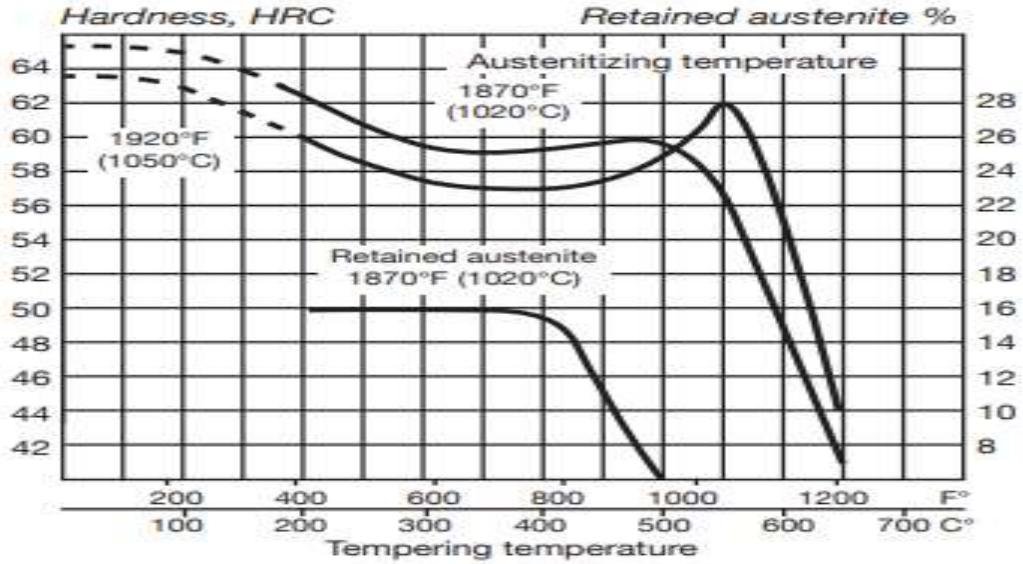


Figure IV.12 : Dureté de Z160CrMoV12 en fonction de température [20]

IV.15.Mise en plant

On a présente en annexe, les différentes pièces constituant l'outil par de planches tracées a l'aide du logiciel solide SolidWorks 2017.

Numéro De Planche	Désignation
1	Semelle inferieure (plaque de basse)
2	La matrice (plaque matrice)
3	La butée
4	Porte pièce
5	Plaque de guidage du poinçon
6	Plaque portes poinçons
7	Poinçon
8	Poinçon
9	Plaque d'appui (plaque de choc)
10	Queue
11	Plaque de fixation (plaque supérieure)
13	Réglette droite
14	Réglette gauche
15	La butée
16	Vue éclatée de l'outil

Tableau IV. 8 : Les différentes pièces constituant l'outil de poinçonnage.

IV.16.Conclusion

Dans ce chapitre avons conçu un outil de poinçonnage en utilisant le logiciel Solid Works .

Puis calculé les différents efforts nécessaires pour cette opération de poinçonnage et ainsi au choix des matériaux pour cet outil, puis le calcul de la résistance à la compression et à au flambement des poinçons. Les résultats ont montré que le choix des matériaux est adéquat par conséquent l'outil et tous ses composants est résister aux sollicitations de l'opération.

Cette conception est le fait d'un choix d'une solution parmi tant d'autres et est faite d'une manière à faciliter la réalisation du produit et ainsi diminuer son prix de revient

Conclusion générale

Le choix par fait du matériau et le calcul exact des dimensions des poinçons ce qui permettre rendement idéal et la longue durée de vie des poinçons, et cela va déminer le cout de production sur tout concernant la production de grande et moyenne série.

Toutes ces considérations nous ont conduits à porter une attention particulière au suivi de la conception afin de minimiser l'usure entre poinçon et la matrice ainsi que la quantité de bavure formée sur un bord découpé.

Le paramètre frottement a une influence significative sur la vitesse d'usure des

poinçons. D'autres paramètres devraient être pris en compte pour la caractérisation de la qualité de la découpe. Par exemple :

- L'influence de la nature des matériaux d'outils,
- L'influence du jeu poinçon / matrice,
- L'influence de la géométrie du poinçon,
- L'influence de la pénétration du poinçon dans la matrice.

Malgré nos efforts pour mener à bien cette étude, ce travaille constitue une contribution de plus dans le domaine, par conséquent, il reste ouvert aux critiques et à la proposition allant dans le sens de son amélioration.

Annexe

ملخص:

يقدم هذا المستند دراسة وإنتاج اداة الثقب من الصلب Z160CrMoV12 صنع على مستوى الشركة الجزائرية بوفال.

فولاذ العدة عبارة عن فولاذ يستخدم في تصنيع الأدوات الميكانيكية مثل لقم الثقب وأدوات تشكيل القوالب وأدوات القطع والمقص والمطارق والأزاميل.

يتميز هذا الفولاذ بخصائص ميكانيكية عالية تفوق صلابته (55 HRC).

الهدف من الدراسة هو اقتراح Z160 CrMoV12 لصنع الثاقب ومصفوفة الأداة.

يستخدم معظم المصنّعين هذا الأخير لصنع مثقاب العمل على البارد.

الكلمات المفتاحية : *الثقب ،اداة الثقب،المصفوفة، صلابة،الرجوعية ،المرونة ،الختم.*

Résumé :

Ce document présente une étude et réalisation d'un poinçon en acier à outil Z160CrMoV12. Fabriqué au niveau de la société algérienne POVAL.

Les aciers à outils sont des aciers utilisés pour fabriquer des outils mécaniques tels que des forets, des matrices, des outils de coupe, des ciseaux, des marteaux et des burins. Cet acier se caractérise par des propriétés mécaniques élevées sa dureté est supérieur à 55HRC.

L'objectif de l'étude est de proposer le Z160 CrMoV12 pour la fabrication des poinçons, et de matrice de l'outil.

La plupart des fabricants utilisent ces derniers pour fabriquer les outils de poinçonnage travail à froid.

Mots-clés : poinçonnage, poinçon, matrice, dureté, ténacité, élasticité, emboutissage.

Summary :

This document presents a study and production of a punch in Z160 rMoV12 tool steel. Manufactured at the level of the Algerian company POVAL.

Tool steels are steels used to make power tools such as drill bits, dies, cutting tools, chisels, hammers and chisels. This steel is characterized by high mechanical properties its hardness is greater than 55HRC.

The objective of the study is to propose the Z160 CrMoV12 for the manufacture of the punches, and of the matrix of the tool.

Most manufacturers use these to make cold work punching tools.

Keywords: punching, punch, die, hardness, tenacity, elasticity forming

Références bibliographiques

[1] H . Makich , " Etude théorique et expérimentale de l'usure des outils de découpe " , UFC, Comté , thèse de doctorat 2011 .

[2] S .Amira , " Recherche et développement de l'aluminium " , CQRDA) ,Canada 2018.

[3] D. Pflenzel , "Technologie Générale pour Construction Métallique Tome 2 " , France 1999.

[4] R. Boughedaoui , " Cours de fabrication mécanique ",UYFM, MEDEA ,support de cours 2018.

[5] S. RAMDE., L. PENAZZI, F. RONDE-OUSTAU, " Optimisation géométrique des outillages de découpe", UFT , Toulouse2009.

[6] M.ACHOURI , " Caractérisation expérimentale et contribution à la modélisation numérique de l'endommagement en cisaillement des aciers HLE applications au procédé de poinçonnage",ISTP, Paris, Thèse de Doctorat 2012 .

[7] Chabenat A., Martin R., "Travail des métaux en feuilles, découpage - poinçonnage " ,Techniques de l'ingénieur B 7561, Paris, 1978.

[8] Maillard A., " Etude expérimentale et théorique des opérations de découpage", UTC , Compiègne, Thèse de Doctorat 1991.

[9] *SAADI T.* "Étude et conception d'un outil à suivre à bande", UMMTO, Tizi-Ouzou , Thèse de master 2014.

[10] R. Hambli, "Etude expérimentale, numérique et théorique du découpage des tôles en vue d'optimisation du procédé", ENSAM , Angers ,Thèse de doctorat 1996.

[11] Émerik H. "Développement d'une ligne de découpe automatisée" , CNAM ;Metz ,thèse d'ingénieure 2014.

[12] Gréban F., Monteil G., Roizard X., "Influence of the structure of blanked materials upon the blanking quality of copper alloys " ,Journal of Materials Processing Technology, vol. 186, 27-32, 2007.

[13] V. Boljanovic , "Sheet metal forming processes and die design industrial press", New York , 2004.

[14] D.KHIRANI **,** "Réparation des déformations en étirage-pliage et leurs effets sur le retour élastique", UFAS, Sétif, Thèse Magister 2010.

Références bibliographiques

[15] M. JERBI, " procédés de mise en forme", ISTN, NABEL, support de cours2018
.

[16] V.Lemiale, "Contribution à la modélisation et à la simulation numérique du découpage des métaux", UFB, Besançon, Thèse de doctorat 2004.

[17]Documentations machine," Presse à excentrique type LENP 40A" , Poval unité pompes , Berrouaghia .

[18] Aitibrout S. Baziz A. "Etude et conception d'un outil de poinçonnage et de détourage d'un bandeau bombé en inox d'une cuisinière Eniem", UMMTO, Tizi-Ouzou , Thèse de master 2019.

[19] https://Wikipedi.org/wiki/decoupe

[20] https://www.aubertduval.com/

[21] https://www.stahlschluessel.de

[22] www.interlloy.com.