

Chapitre 3. Contact avec frottement

3.1 Introduction

3.2 Contact entre deux disques : Problème de poinçon

a) Principe de poinçonnage

A l'aide de presses hydrauliques ou mécaniques, l'opération de poinçonnage est réalisée. La tôle (flan : matière qui n'est pas encore emboutie) est mise et maintenue en position entre la matrice et le serre-flan. Grâce à un mouvement de translation, le poinçon vient en contact avec la tôle sur laquelle il exerce un effort en appui sur la matrice. La matrice constitue la partie fixe et le poinçon la partie mobile (figure 3.1).

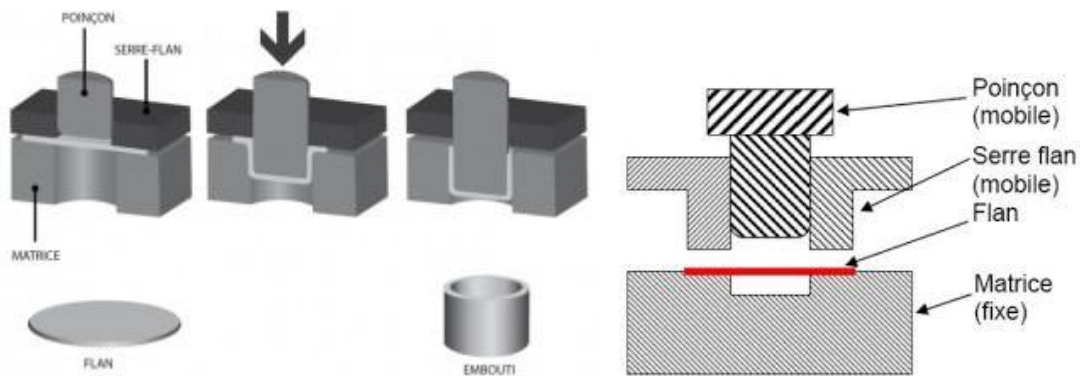


Figure 3.1. Principe de poinçonnage

Il existe deux types d'emboutissage :

- **L'emboutissage à chaud** : Le flan et la matrice sont chauffés puis on donne à la pièce sa forme définitive (figure 3.2). La fréquence d'usinage est moins élevée du fait de l'opération de chauffage qui nécessite plus d'attente entre chaque opération.

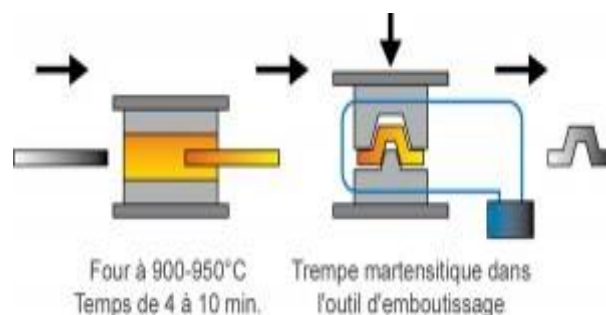


Figure 3.2. Emboutissage à chaud

- **L'emboutissage à froid** : L'usinage est effectué à température ambiante. Il permet un usinage très précis et à moindre coûts.

b) Etapes du poinçonnage (figure 3.3)

Après une première phase de l'égère compression, les fibres superficielles sont découpées alors que les fibres intérieures sont en tension. Ensuite, on observe une zone de forte compression où la limite d'élasticité du matériau de tôle est atteinte. Il s'en suit une importante extension des fibres qui conduit à la fissuration.

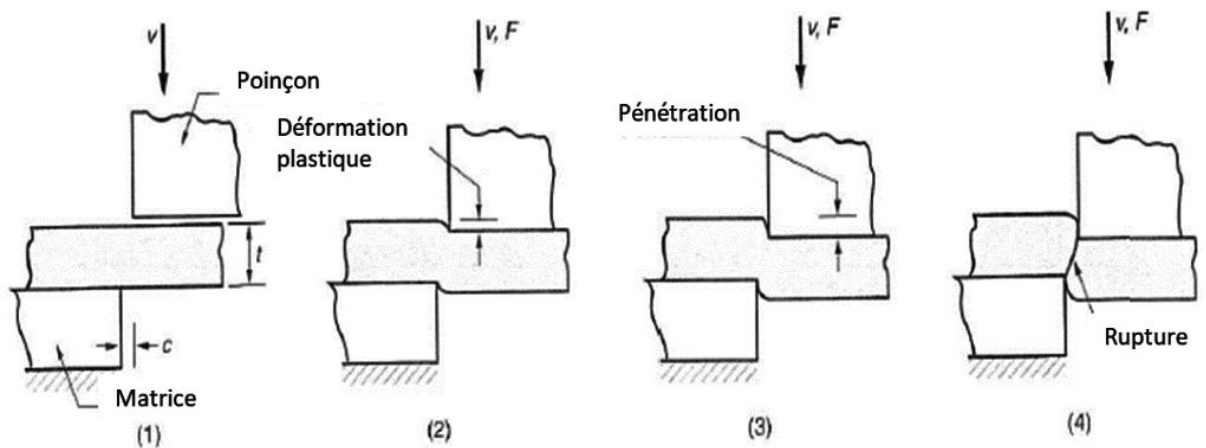


Figure 3.3. Etapes du poinçonnage : (1)légère compression, (2)fibres superficielles coupées fibres internes en extension, (3)forte contrainte de compression et dépassement de la limite élastique, (4)Rupture par extension de fibres.

c) Effort de poinçonnage sans frottement

L'effort de poinçonnage dépend de l'épaisseur, du périmètre de la section du trou, de la résistance du métal et des frottements qui sont généralement négligés (figure 3.4). Une lubrification est conseillée pour ne pas user prématurément les outils. Par conséquent, la section minimale de poinçonnage dépend de l'effort de poinçonnage, de la forme et de la surface de la section poinçonnée et aussi de la longueur de flambage de l'outil.

La force à appliquer est

$$F = p * e * R_m \quad (3.1)$$

où

p est le périmètre découpé, e est l'épaisseur, R_m la résistance à la rupture par traction du matériau.

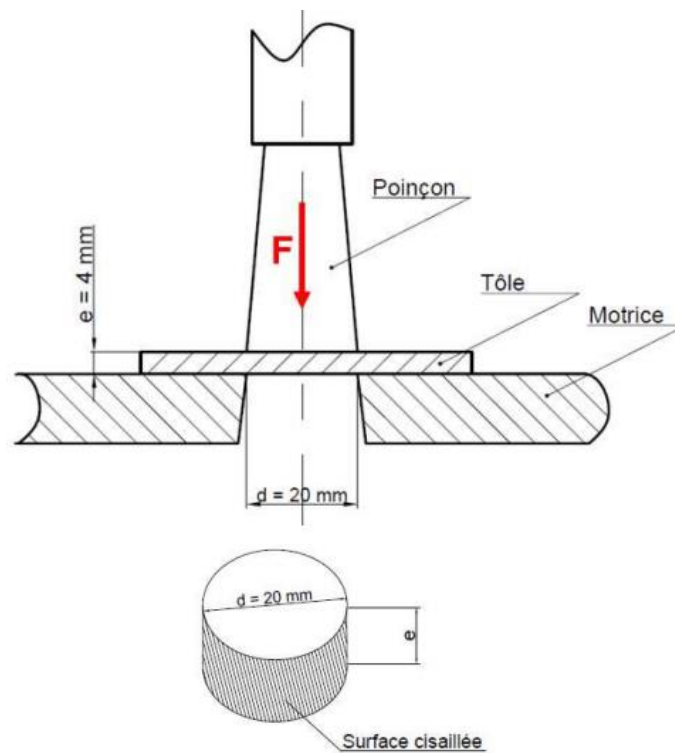


Figure 3.4 Effort de poinçonnage

Calcul de la contrainte de compression :

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (3.2)$$

Avec

$$S = \pi \frac{d^2}{4} \quad (3.3)$$

Application : On veut poinçonner une tôle d'épaisseur $e = 4$ mm en acier S365 ($R_m = 490$ N/mm²). Le trou à poinçonner sera de diamètre 20 mm.

d) Effort de poinçonnage avec frottement (Les embrayages à disques)

Un embrayage est un mécanisme se situant entre le moteur et le récepteur dans une chaîne de transmission de puissance. Sa fonction est d'accoupler (embrayage) ou de désaccoupler (débrayage), progressivement ou non, les arbres associés au moteur et au récepteur suite à la commande d'un opérateur (figure 3.5). on peut classer les embrayages en fonction du type de commande (électromagnétique, mécanique) et de la nature du système d'entraînement mis en œuvre pour relier les deux arbres (magnétique, hydraulique contact avec adhérence, contact direct).

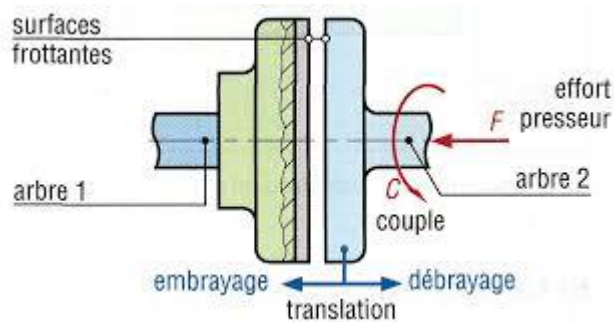


Figure 3.5 Principe de l'embrayage à disques

Les embrayages à disques sont les embrayages les plus courants, le nombre de disque dépend du couple encombrement/couple à transmettre, l'augmentation du nombre de disque (figure 3.6) permet d'augmenter la surface frottante et donc le couple transmissible par rapport à un embrayage monodisque.

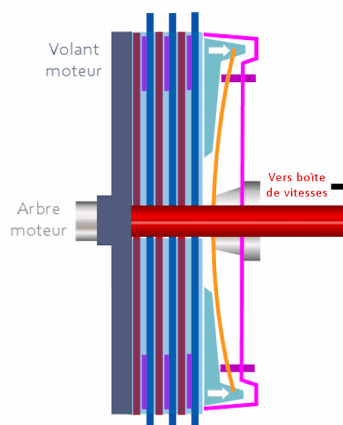


Figure 3.6 Embrayage multidisques

Calcul du couple maximal transmissible Habituellement, un embrayage est constitué d'un ou plusieurs disques avec contact bilatéral. Cependant, afin de simplifier la mise en place des résultats, nous allons faire l'étude d'un système d'embrayage à contact unilatéral (figure 3.7). On suppose la densité de répartition de la pression constante sur l'ensemble de la surface frottante du disque. On note :

- Cf (Nm) le couple maximal transmissible par l'embrayage,
- N (N), l'effort presseur axial générateur de la pression de contact,
- f le coefficient de frottement ,
- r2 le rayon extérieur de la surface frottante,
- r1 le rayon intérieur de la surface frottante.

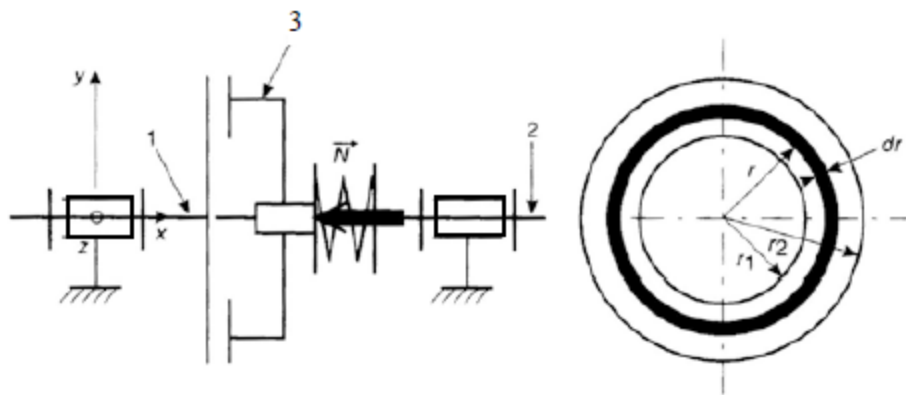


Figure 3.7 Schéma d'un système d'embrayage à contact unilatéral

Pour passer d'une modélisation locale des actions mécaniques transmissibles par le contact entre les deux disques de friction à une modélisation globale, il faut tout d'abord définir un petit élément de surface :

$$dS = 2\pi r \cdot dr \quad (3.4)$$

En ce qui concerne la densité de répartition de pression, il existe deux modèles :

- pression de contact p uniformément répartie : l'usure instantanée sera alors inégale sur la garniture des disques de friction (avec une usure qui augmentera avec le rayon),
- pression de contact p_r répartie suivant une loi hyperbolique :

$$p_r = p_{r1} \frac{r_1}{r} \quad (3.5)$$

avec r_1 le rayon minimal et p_{r1} la pression de contact pour ce rayon.

Pour ce deuxième modèle, l'usure des garnitures de disque sera constante sur l'ensemble du disque. Ces deux modèles donnent des résultats sensiblement identiques

pour peu que les rayons r_1 et r_2 soit relativement proches, ce qui est souvent le cas, nous n'étudierons donc que le cas simple de la répartition de pression constante.

On peut donc exprimer l'effort presseur N et en déduire la valeur de p :

$$dN = p \cdot dS \Rightarrow N = p \cdot S \Rightarrow p = \frac{N}{\pi(r_2^2 - r_1^2)} \quad (3.6)$$

On peut ensuite exprimer le couple transmissible à la limite à l'adhérence :

$$dC_f = r \cdot dT \Rightarrow dC_f = r \cdot f \cdot dN \Rightarrow dC_f = r \cdot f \cdot p \cdot dS \quad (3.7)$$

On intègre sur l'ensemble de la surface de friction et on obtient :

$$C_f = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi r^2 \cdot f \cdot p \cdot dr \Rightarrow C_f = \frac{2}{3} \pi \cdot f \cdot p \cdot (r_2^3 - r_1^3) \quad (3.8)$$

On remplace alors p par sa valeur en fonction de l'effort presseur N et on trouve :

$$C_f = \frac{2}{3} \cdot f \cdot N \cdot \frac{(r_2^3 - r_1^3)}{(r_2^2 - r_1^2)} \quad (3.9)$$

Dans le cas d'embrayage avec plusieurs disques et n surfaces frottantes, la relation ci-dessus peut s'écrire :

$$C_f = \frac{2n}{3} \cdot f \cdot N \cdot \frac{(r_2^3 - r_1^3)}{(r_2^2 - r_1^2)} \quad (3.10)$$