

# Méetrologie « in situ » de l'usure des poinçons dans le découpage des tôles minces

H. MAKICH<sup>a</sup>, J.M. COTE<sup>a</sup>, G. MONTEIL<sup>a</sup>, P. PICART<sup>a</sup>

a. Institut FEMTO-ST - UMR 6174, Département de Mécanique Appliquée, ENSMM - 26, Chemin de l'Épitaphe, 25030 BESANCON cedex, France

## Résumé :

*Dans le découpage de tôles minces la mesure d'usure d'un poinçon sans démontage et en continu au cours de la découpe, est d'une grande importance. La mise en œuvre d'une technique de mesure d'usure 3D d'un poinçon sur un banc de mesure en vue d'une implantation in-situ sur une presse est décrite ici. Sur ce banc on utilise deux crayons optiques en opposition. Il est équipé également de deux platines motorisées en rotation et en translation qui permettent aux crayons optiques de balayer la surface frottante de l'outil et ainsi de décrire son état d'usure. Une corrélation de celle-ci avec d'autres mesures est proposée.*

## Abstract :

*In the blanking process of thin sheets, the wear measurement of the punch without dismantling and continuously during the cutting is very important. The implementation of a technique for 3D wear measuring on a test bench for implantation in situ on a press is described here. On the bench two optical sensors in opposition are used. It is also equipped with two motorized stages in rotation and translation which allows the optical sensors to scan the friction surface of the tool and describe its condition and wear. A correlation of this with other measures is available.*

**Mots clefs :** Découpage, Usure, Mesure Optique, Mesure « in situ »

## 1 Introduction

Le travail présenté ici a pour but de décrire la mise en œuvre de techniques de mesures de l'usure d'un poinçon de découpe « in situ » dans la presse de découpage sans aucun démontage de l'outil. Il est nécessaire de pouvoir mesurer l'état d'usure des poinçons au cours de l'avancement des opérations de découpe afin de suivre l'évolution de leur géométrie et par conséquent de pouvoir la confronter à la qualité des pièces produites.

L'estimation en temps réel de l'usure des outils de découpe est également très importante pour prévoir les maintenances d'outils ; remplacement ou affûtage. De plus, l'usure des éléments de découpe étant faible cela nécessite d'être en capacité de la mesurer précisément. Traditionnellement, l'usure d'un poinçon dans un outil de découpe est mesurée soit indirectement par l'évolution du profil de la pièce découpée [1], soit directement par profilométrie du poinçon ([2], [3], [4], [5]). Cependant, ces méthodes de mesure ont respectivement comme inconvénients de nécessiter soit la préparation et l'observation d'un grand nombre de pièces, soit le démontage de l'outil. Or, le centrage du jeu poinçon / matrice, qui influence fortement la cinétique d'usure, ne peut être garanti à chaque remontage de l'outil. En effet, un décentrage de quelques micromètres sur le jeu poinçon / matrice modifie considérablement les conditions de découpe [6].

## 2 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 dont notamment 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 les parties actives des poinçons subissent une usure progressive, ce qui modifie par exemple le rayon de courbure sur les arêtes de coupes de ces éléments [7] (figure 1).

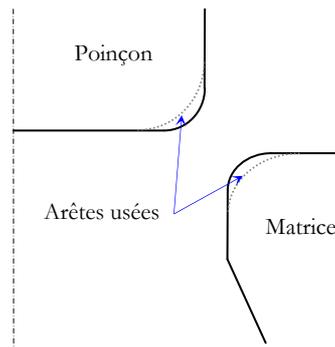


FIG. 1 - Evolution des arêtes de découpe d'un poinçon et d'une matrice

Au cours de leurs études du découpage, Hambli [8] et Maillard [9] ont qualifié l'usure des poinçons en effectuant la mesure du rayon de l'arête coupante (figure 2).

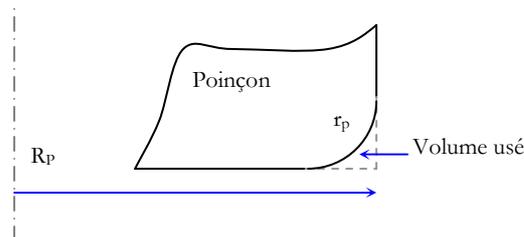


FIG. 2 - Géométrie de l'arête coupante du poinçon.

Ainsi, Hambli [8] affirme que l'influence de l'usure de l'outil sur le processus de découpe peut être modélisée d'une façon simplifiée en changeant la valeur du rayon,  $r_p$ , du bord de poinçon. Hatanaka et al. [10] ont présenté également l'évolution de l'usure du poinçon en fonction de l'évolution du rayon de son bord. Mais afin d'accéder au rayon de l'arête du poinçon, il est impératif de démonter celui-ci pour appliquer ce procédé.

### 3 Mesure de l'usure des poinçons

Les mesures d'usure ont été effectuées lors d'essais d'endurance des poinçons. La détermination de l'usure passe par des mesures très précises tout au long de la découpe. La principale contrainte à laquelle elles doivent répondre, est le non démontage des poinçons de l'outil de découpe.

La figure 3 représente un exemple d'arête d'un poinçon usé. On distingue des stries d'usure parallèles à la direction du frottement du poinçon sur les tôles. La nature de l'usure constatée est abrasive. La connaissance du type d'usure est prise en compte pour le développement de nos méthodologies de mesure de l'usure.

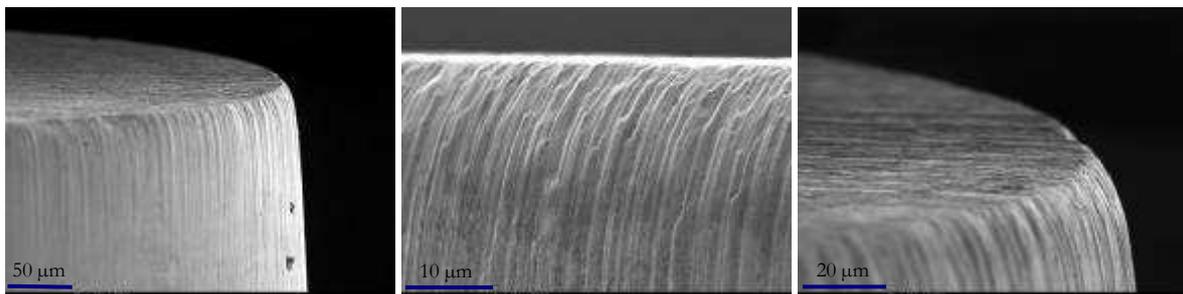


FIG. 3 - Images MEB d'un poinçon usé (x300, x2000, x1000)

#### 3.1 Mesure de l'usure d'un poinçon « in situ »

Ces mesures ont été réalisées lors d'une campagne d'essais de découpage effectués avec un poinçon en carbure de tungstène (nuance H20S), usiné par rectification cylindrique (diamètre 3.7mm). Les tôles découpées sont en alliages de cuivre. Le jeu poinçon / matrice est de 10  $\mu\text{m}$  par face. La cadence de découpe est de 500 coups/min. Le pas de l'outil est de 4.5 mm, la course de la presse est de 19 mm et le grammage moyen du lubrifiant est de 2 g/m<sup>2</sup>. La matrice possède un angle de dépouille de 18°.

Lors de ces essais d'endurance du poinçon, la première méthode mise en place pour la mesure de l'usure

d'un poinçon sans démontage est la méthode dite « mesure par profilométrie sur réplique du poinçon ». Elle est basée sur l'obtention de répliques des poinçons par duplication par moulage au silicone (figure 4). Ce type de duplication permet de disposer en quelques heures d'une réplique des poinçons par moulage. Le principe de mesure est facilité par la géométrie des poinçons qui présente l'avantage d'être cylindrique.

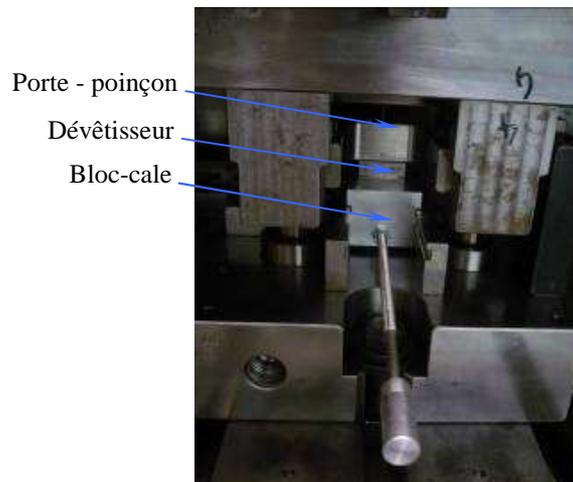


FIG. 4 - Position de prise d'empreinte du poinçon dans l'outil de découpage

Le protocole de mesure est construit autour du relevé de la géométrie du poinçon utilisé. Ce relevé donne la distribution de l'usure le long de l'arête de découpe. Un exemple de profil usé est présenté sur la figure 5.

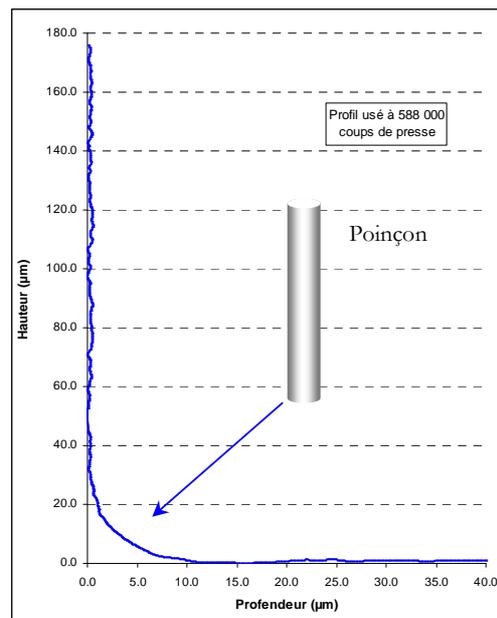


FIG. 5 - Profil usé sur l'arête de découpe à 588 000 coups de presse

On peut voir sur cette figure la partie arrondie usée du poinçon. En dehors de la zone de l'arrondi de l'arête se trouvent les stries correspondant à l'usinage du poinçon. Ces deux zones renvoient à la hauteur et à la profondeur du poinçon. C'est donc sur les zones striées, et non usées que sont pris les points de référence permettant de recalibrer le profil 2D en abscisse et en ordonnée, afin de réaliser la mesure de l'usure du poinçon.

Une fois le profil d'usure d'une réplique du poinçon obtenu pour un état d'usure donné, un calcul d'usure est effectué en se basant sur ces données. La mesure est réalisée en utilisant le théorème de calcul du volume d'un corps de révolution autour d'un axe.

En effet, calculer le volume d'un corps de révolution engendré par la rotation d'un profil autour d'un axe (figure 6) est une des tâches effectuées par calcul intégral. Si le profil est donné par une fonction  $y = f(x)$  avec  $x$  variant entre  $a$  et  $b$ , le volume du corps se calcule à l'aide d'une intégrale définie par la relation :

$$V = \int_a^b \pi \times y^2 \times dx \tag{1}$$

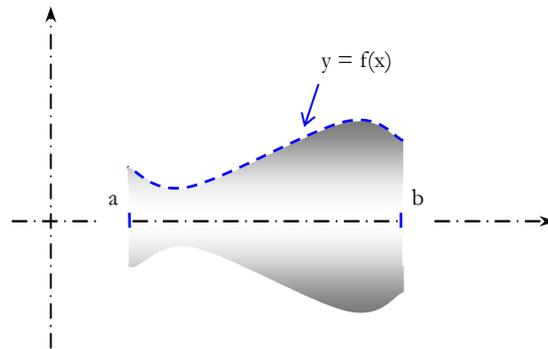


FIG. 6 - Représentation du volume d'un corps de révolution autour d'un axe

Appliqué à notre cas, ce théorème permet la détermination du volume de matière perdue par usure sur le poinçon (figure 7). Il pourra être approché par le volume du corps engendré par la rotation du profil d'usure autour de l'axe des ordonnées (figure 8). Cela en admettant l'hypothèse que l'usure soit homogène sur le contour du poinçon.

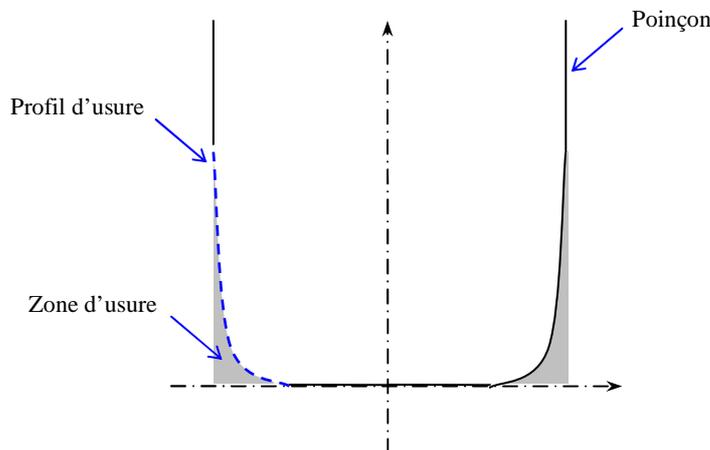


FIG. 7 - Profil et zone d'usure sur le poinçon

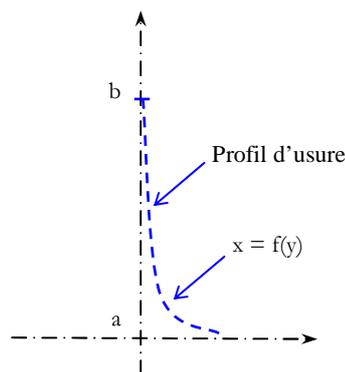


FIG. 8 - Profil de calcul du volume d'usure

Le protocole de calcul d'un volume d'usure en utilisant un profil du bord tranchant du poinçon se divise en deux grandes étapes ; premièrement une équation de type  $x = f(y)$  est associée à ce profil, afin de le modéliser et prendre en compte le fait que le calcul sera réalisé par rotation autour de l'axe des ordonnées. Par la suite l'identification du volume d'usure sur la réplique est effectuée par calcul du volume du corps de révolution généré par l'équation modèle autour de l'axe des ordonnées par la relation :

$$V = \int_a^b \pi \times x^2 \times dx \quad (2)$$

Avec :  $a = 0$  et  $b =$  valeur de l'intersection entre le profil et l'axe des ordonnées, (= valeur maximale de la hauteur de l'usure pour le profil concerné).

### 3.2 Développement d'un banc de mesure de l'usure

Afin de simplifier le relevé de la géométrie usé d'un poinçon, nous avons opté pour l'utilisation d'une technologie optique permettant la détermination directe et « in situ » du profil d'usure. Et cela à travers le développement d'un banc de test (figure 9) permettant d'analyser la faisabilité d'une telle mesure. Ce banc est basé sur l'utilisation de capteurs de mesure dimensionnelle fabriqués par STIL (figure 10).

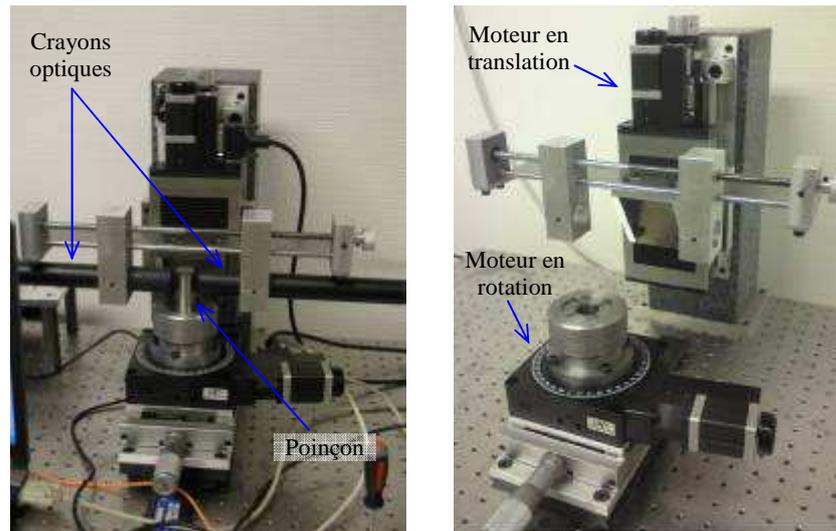


FIG. 9 - Dispositif de mesure avec deux crayons optiques



FIG. 10 - Crayon optique STIL et son contrôleur

Cette mesure par crayon optique est fondée sur l'imagerie confocale chromatique. La surface à analyser est placée dans une zone d'altitude précise (appelée zone de codage chromatique) où elle diffuse le pinceau de lumière incidente. La lumière retrodiffusée traverse l'objectif chromatique du crayon dans le sens inverse et arrive sur un trou qui filtre toutes les longueurs d'onde sauf celle qui est focalisée. La lumière collectée est analysée par un spectrographe. La position de la surface mesurée est en relation directe avec la longueur d'onde détectée.

La saisie du profil du poinçon (figure 11) s'effectue selon un procédé de balayage appliqué le long de son axe. Son diamètre et sa longueur sont mesurés simultanément, garantissant la saisie précise des points de mesure des diamètres et de la géométrie de la surface du poinçon.

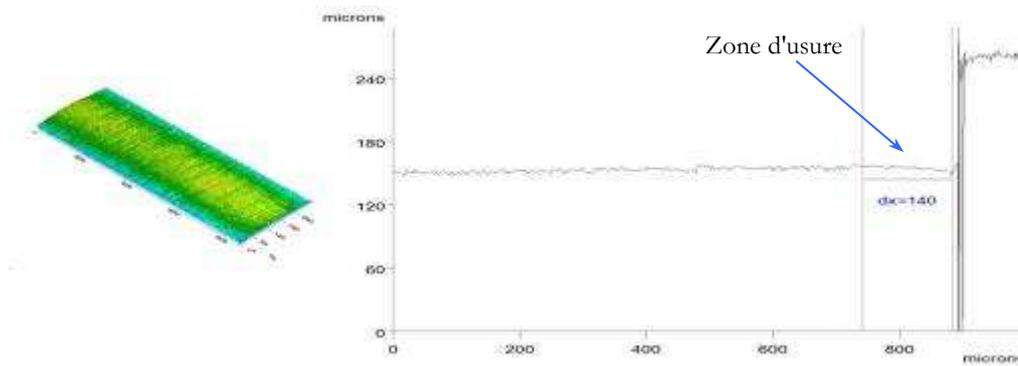


FIG. 11 - mesure optique d'un profil usé d'un poinçon

Par ailleurs, cette analyse nous permet d'accéder à l'état d'usure des poinçons avec une précision satisfaisante. Effectivement, le diamètre du spot du crayon optique est de  $2\ \mu\text{m}$ , ce qui permet de réaliser des mesures tout le long d'un profil suivant l'axe du poinçon avec une « épaisseur » d'intégration réduite.

Ces tests de mesures ont été effectués sur un poinçon en laboratoire, loin de l'environnement et des contraintes industrielles. Néanmoins ce système de mesure offre la possibilité d'effectuer des mesures de l'usure d'un poinçon "in situ" et donc sans démontage de celui-ci.

## 4 Conclusion

Le développement des méthodes de mesures présentées ici a permis d'accéder aux changements géométriques subis par les poinçons et les modifications engendrées sur les profils de découpe en fonction du nombre de pièces découpées. Cette caractérisation des poinçons est réalisée "in situ" pour le suivi de l'usure sur les poinçons montés dans l'outil de découpe.

La mesure par profilométrie à partir des profils d'usure a pour principal inconvénient d'exiger un long traitement. En revanche la mesure avec les deux crayons optiques en opposition permet de simplifier la cartographie de la zone d'usure sur un poinçon. A terme, une fois le principe de mesure de l'usure d'un poinçon validé, on envisage son implantation dans un outil de découpage sur une presse industrielle.

## Références

- [1] Myo Hla Myint, Fuh, J.Y.H., Wong, Y.S., Lu, L., Chen, Z.D., Choy, C.M. « Evaluation of wear mechanisms of Y-TZP and tungsten carbide punches » *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 140, pp. 460-464, 2003.
- [2] FAURA, F., LOPEZ, J., SEBASTIAN M.A., LUIS, C., « Blanking of stainless steel: tool life equation model » *Proceedings of the 5th international conference on the technology of plasticity*, Columbus, Ohio, USA, pp. 655-664 - 1996.
- [3] Maeda, T., Aoki, I., « The study on wear of blanking tool for 18-8 stainless steel and bainite hardened steel strips » *Journal of the faculty of engineering, the university of Tokyo*, Vol.XXXII, n°3, pp. 443-475, 1974.
- [4] Luo, S.Y., « Studies on the wear conditions and the sheared edges in punching » *Wear*, vol. 208, pp. 81-90, 1997.
- [5] Luo, S.Y., « Effect of the geometry and the surface treatment of punching tools on the tool life and wear conditions in the piercing of thick steel plate », *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 88, pp. 122-133, 1999.
- [6] Meunier, S., « Analyse expérimentale du découpage progressif de précision a grande vitesse d'un alliage cuivreux en faible épaisseur » *Thèse à l'Université de Franche-Comté, Besançon*, 2005.
- [7] Gréban F., « Découpabilité du cuivre et des alliages cuivreux » *Thèse à l'Université de FRANCHE-COMTÉ, Besançon, France*, 2006.
- [8] Hambli R., « Finite element model fracture prediction during sheet metal blanking processes », *Eng. Frac. Mech.*, vol. 68 , pp. 365-378, 2001.
- [9] « Etude expérimentale et théorique du découpage » *Thèse à l'Université de Compiègne, France*, 1991.
- [10] Hatanaka, N., Yamaguchi, K., Takakura, N., Iizuka T., « Simulation of sheared edge formation process in blanking of sheet metals » *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 140, pp. 628-634, 2003.