

Durcissement structural par laser YAG-Nd⁺³ de l'alliage de Titane " T40 ".

O. LADJALI¹, N. MESRATI¹, L. HATTALI², A.B. VANNES², D. TREHEUX²

¹ *Laboratoire Sciences et Génie des Matériaux, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 10 Avenue Hassen Badi, El Harrach Alger (Algérie).*

² *Département STMS Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes UMR 5513. Ecole Centrale de Lyon, BP 163. 69134 Ecully Cedex (France).*

n_mesrati@yahoo.fr

Abstract

Le titane est un matériau présentant une mauvaise résistance à l'usure. Afin de le protéger, le laser apparaît performant pour la réalisation de traitements de surface en vue d'améliorer son comportement tribologique. Notre étude consiste à appliquer une méthode spécifique en relation avec le phénomène d'usure ; l'usure ou l'endommagement par impact « micropercussion ».

Les analyses et les caractérisations obtenues montrent que le comportement tribologique de notre matériau traité a été modifié. Ce changement, apparaît dans nos résultats si on compare le matériau brut et les échantillons traités : c'est le cas de l'épaisseur de la TTS, la profondeur des empreintes, les microduretés et les micrographies obtenues.

Mots clés :

Titane, Laser, Micropercussion, Usure, Transformations tribologiques de surface « TTS ».

1 INTRODUCTION

Le titane est un métal qui est traditionnellement réservé à des applications à hautes performances.

Ce métal possède une importante résistance mécanique spécifique et une excellente résistance à la corrosion, conséquence de la formation d'un film d'oxyde passivant à sa surface. Mais il présente de mauvaises qualités tribologiques, ce qui peut être un frein conséquent à son développement et à son utilisation [1-3].

Compte tenu de la très large gamme de solutions possibles et des difficultés rencontrées, les résultats obtenus avec les méthodes conventionnelles n'ont pas permis d'aboutir à une solution universelle [3]. Désormais, l'intérêt se porte vers l'utilisation de nouvelles techniques comme le rayonnement laser [4-6]. Ainsi, notre projet consiste à utiliser le laser YAG- Nd⁺³ pour effectuer des traitements de surface en vue d'améliorer la résistance à l'usure dans le cas de la micropercussion du titane simulant ainsi qu'un certain nombre de comportement réel.

Notre étude, s'appuie essentiellement sur le durcissement de matière par laser YAG dans le but d'étudier l'influence de certains paramètres du rayonnement laser, le comportement en micropercussion afin de qualifier le comportement tribologique du titane et l'amélioration acquise par ce traitement superficiel.

2 EQUIPEMENTS ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

2.1 Matériaux

Le métal de base étudié est l'alliage de titane T40 dont les propriétés essentielles sont indiquées dans les tableaux 1 et 2. Concernant la composition chimique, les analyses tirées de la bibliographie [7], montrent une forte teneur en oxygène et celle du Ti>92.212%. Le T40, présente une microstructure constituée de grains hexagonaux α (HC) (figure 1).

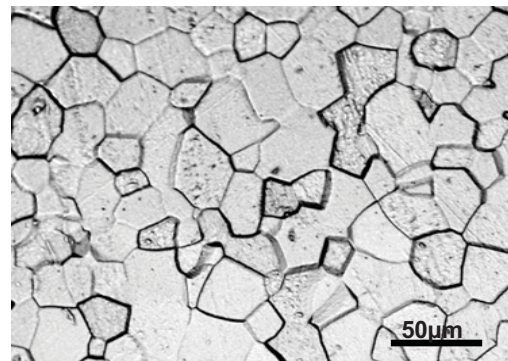


Figure 1: Microstructure du T40.

| Éléments | C | Fe | H | N | O | Autres éléments | Chaque autre élément |
|---------------|----|-----|---|----|------|-----------------|----------------------|
| Valeurs (ppm) | 40 | 324 | 9 | 34 | 1385 | <6000 | <1000 |

Tableau 1 : Composition chimique du T40 [7].

| E (MPa) | R _m (MPa) | Re (MPa) | A% | Dureté HB | K (J/cm ²) |
|---------|----------------------|----------|----|-----------|------------------------|
| 110 | 470±5 | 315±5 | 30 | 155±5 | 120 |

Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques du T40 [7].

2.2 Techniques expérimentales

2.2.1 Traitement thermique par LASER

Le laser utilisé est de type **Nd-YAG** (neodymium-doped yttrium aluminium garnet) de 50 kW de puissance. Dans notre cas, on a considéré les paramètres suivants:

- Puissance: 37,5 kW.
- Durée de l'impulsion : 50 ns.
- Vitesse d'avance v : 30 à 50 mm/s.
- Nombre de passes n : 1 ou 5 passes.

Le tableau 3 montre les différents paramètres appliqués sur nos échantillons

| N° de l'échantillon | v (mm/s) | n (passes) |
|--------------------------|------------|--------------|
| Echantillon 1 non traité | - | - |
| Echantillon 2 | 50 | 5 |
| Echantillon 3 | 30 | 1 |
| Echantillon 4 | 40 | 1 |

Tableau 3 : Les essais réalisés pour le traitement thermique par laser.

Une fois les paramètres définis, on place notre échantillon sur un plateau de chargement des pièces et on applique le faisceau laser sur la surface des échantillons 2, 3 et 4 pour les traiter.

2.2.2 Micropercussion

Les essais consistent à effectuer des impacts successifs au même endroit sur un matériau à l'aide d'une machine de marquage. Cette dernière comporte une tête appelée stylet, afin de réaliser une transformation tribologique de la zone superficielle.

Le stylet est fixé sur une table à mouvements (x, y) piloté par un moteur pas à pas. L'ajustage de la hauteur de la tête de marquage par rapport à la pièce est réglable à l'aide d'une manivelle (fig. 2) [8].

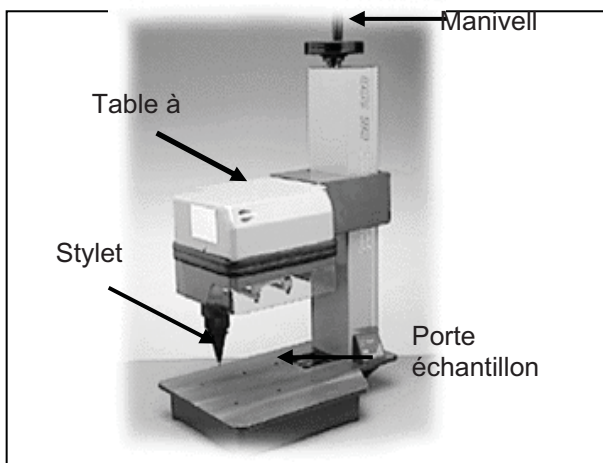


Figure 2 : Machine de marquage [8].

Le marquage d'une pièce est effectué par le déplacement d'une pointe en cermet introduite dans le stylet.

Une fois que l'échantillon est bien fixé sur le support d'échantillon, nous devons effectuer le réglage de certains paramètres pour réaliser les impacts dans les conditions voulues.

Certaines conditions (la fréquence $f = 20$ Hz, la distance entre la pointe et l'éprouvette $h = 1$ mm et le diamètre de la pointe $d = 1,5$ mm) restent constantes tout en faisant varier

les deux autres paramètres (force d'impact (F) et nombre de coups (n)).

On a réalisé trois essais différents pour chaque échantillon afin de suivre l'influence des deux paramètres F et n :

$F = 2$ ms, $n = 1000$ impacts.

$F = 2$ ms, $n = 2000$ impacts.

$F = 3$ ms, $n = 1000$ impacts.

Pour observer l'empreinte de la micropercussion, on a effectué une coupe perpendiculaire à la surface traitée comme le montre la figure 3. On a pris soin de bien préparer nos échantillons afin d'obtenir des résultats fiables. Grâce au polissage mécanique, on a pu enlever toutes traces qui puissent fausser nos résultats.

La microstructure du T40 peut être révélée à l'aide des solutions à base de l'acide fluorhydrique de composition suivante :

HF (5% acide fluorhydrique) ;

HF + HNO3 du réactif de KROLL.

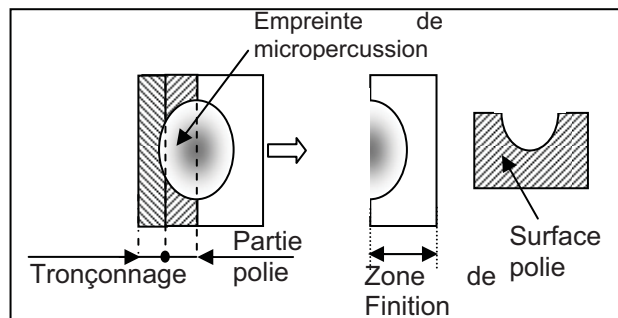


Figure 3 : Observation des coupes d'empreintes de micropercussion.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Etude du matériau traité. Aspect général et zones sollicitées mécaniquement

Après le traitement thermique sous faisceau Laser des échantillons, le matériau offre une nouvelle forme. La figure 5 montre bien les différentes zones obtenues suite à ce traitement et la zone affectée thermiquement (ZAT) est bien mise en évidence.

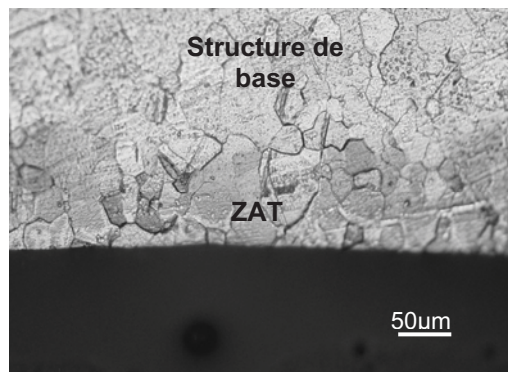


Figure 4 : Nouvelle morphologie de T40 après traitement.

La figure 5 caractérise le test de la micropercussion sur le T40.

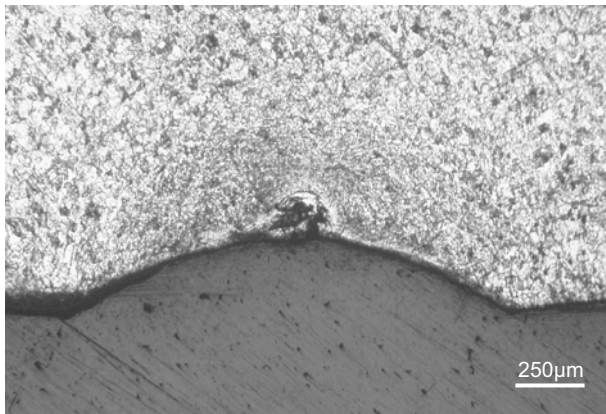


Figure 5 : Empreinte de la micropercussion.

3.2 Micropercussion

3.2.1 Observations optiques

L'observation dans le plan diamétral des zones affectées par les impacts nécessite une précision de coupe (figure 4) ainsi qu'une très bonne préparation métallographique.

Trois zones (figure 6) distinctes apparaissent:

- Une zone transformée qui réagit différemment lors de l'attaque chimique (zone I) ;
- Une zone fortement écrouie (zone II) ;
- Une zone moyennement écrouie (zone III).

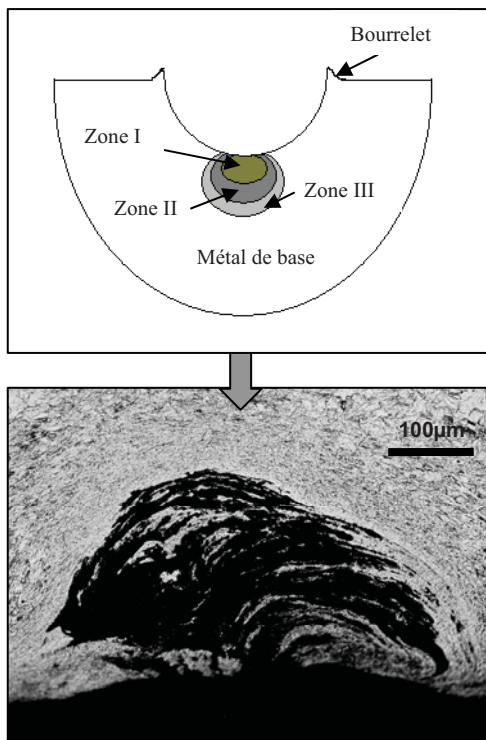


Figure 6 : Coupe transversale d'une empreinte de micropercussion du T40 après 2000 cycles.

3.2.2 Profondeur de l'empreinte

Les graphes de la figure 7 montrent les valeurs de la profondeur de l'empreinte en fonction du nombre de coups et de la force de frappe de l'échantillon non traité.

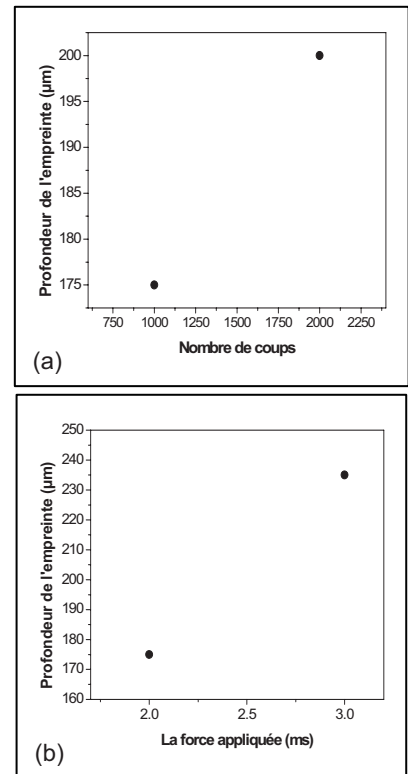


Figure 7 : Profil de la profondeur en fonction du nombre de coups (a) et de la force appliquée (b).

La profondeur de l'empreinte varie d'une manière proportionnelle à la force d'impact et au nombre de coups appliqués pour les 4 types d'échantillons.

Aussi, la vitesse de déplacement du faisceau laser et le nombre de passes ont un effet opposé par rapport aux autres paramètres (la force et le nombre de coups). Ces derniers influent sur le durcissement de la surface traitée. Ainsi, ces deux facteurs augmentent la dureté de notre matériau, ce qui implique une empreinte moins profonde.

3.2.3 L'épaisseur de la TTS

Les observations microscopiques montrent que l'épaisseur de l'empreinte varie à chaque point le long de l'arc de l'empreinte produite par la micropercussion. Pour cette raison, on a simulé l'épaisseur de l'empreinte en quelques points de l'arc.

Pour chaque longueur, on a considéré l'angle correspondant pour calculer l'épaisseur de la TTS formée (figure 8).

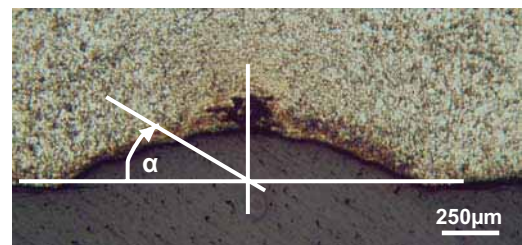
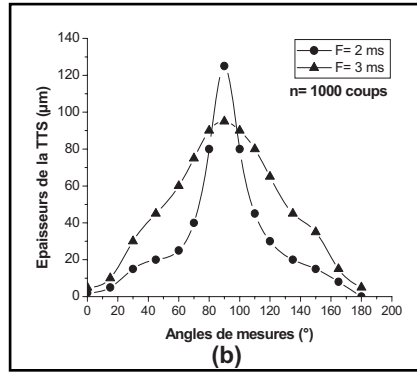
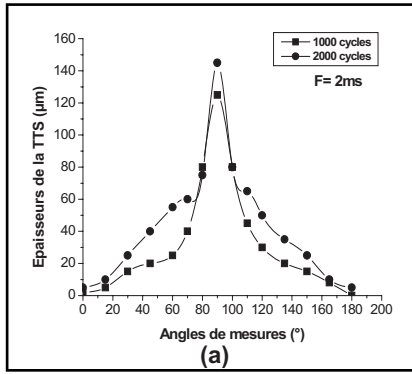


Figure 8 : Méthode de calcul de l'angle.

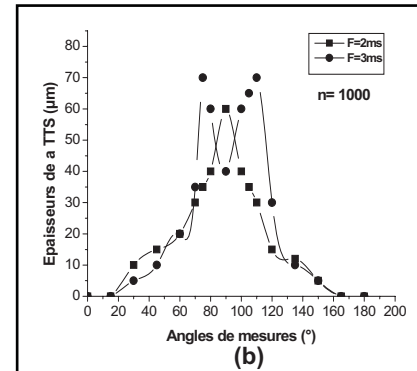
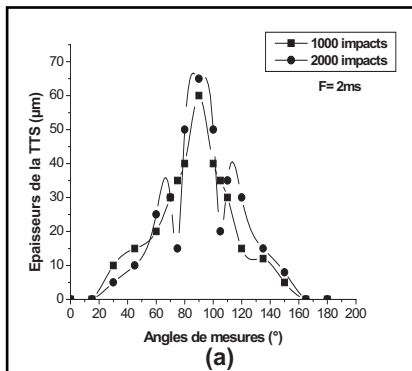
Une fois que toutes les épaisseurs sont mesurées, on trace l'allure de la TTS qui représente l'aire définie formée lors de l'essai, on peut en déduire ainsi la quantité de TTS (figure 9).

Les courbes de la figure 9, montrent les influences du nombre d'impacts (a) et celle de la force (b) sur l'épaisseur de la TTS.

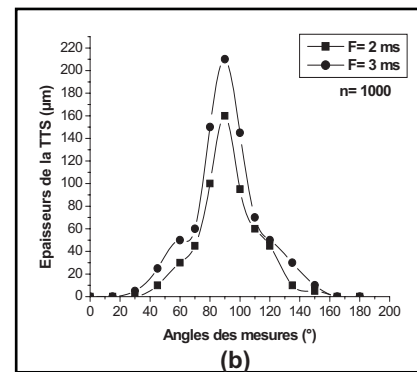
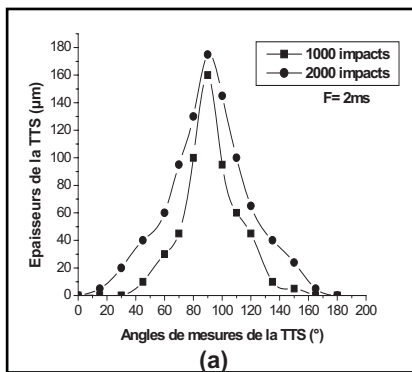
Echantillon N° 01 :



Echantillon N° 02 :



Echantillon N° 03 :



Echantillon N° 04 :

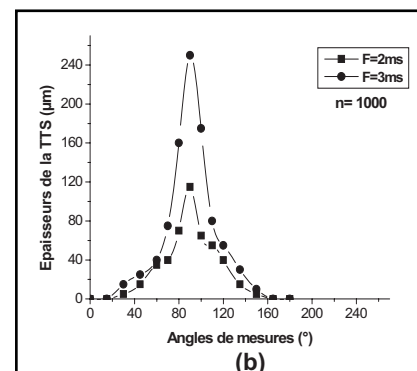
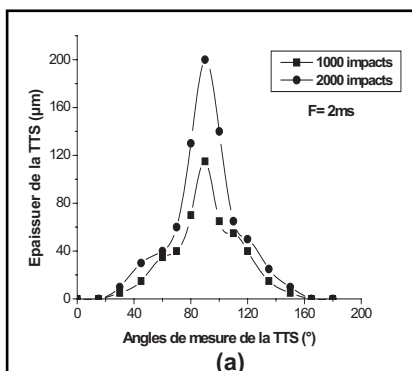


Figure 9 : L'évolution de l'épaisseur de la TTS le long de l'empreinte et l'influence de n (a) et F (b).

L'épaisseur de la TTS formée augmente avec l'augmentation de la force ou du nombre de coups. D'autres facteurs influent sur l'épaisseur de la TTS à savoir la vitesse de balayage du laser et le nombre de passes appliqués pour le traitement thermique superficiel. Cette influence, apparaît clairement sur les courbes de l'échantillon 02: la forme de la TTS le long de l'empreinte change d'apparence. On note, l'apparition de deux autres nouvelles boucles au niveau du fond de l'empreinte (a) et une autre forme (b) dans le cas où la force de frappe croît.

3.2.4 La microdureté

Le test de microdureté a été réalisé sous une charge de 200g et de part et d'autre de l'interface structure/TTS.

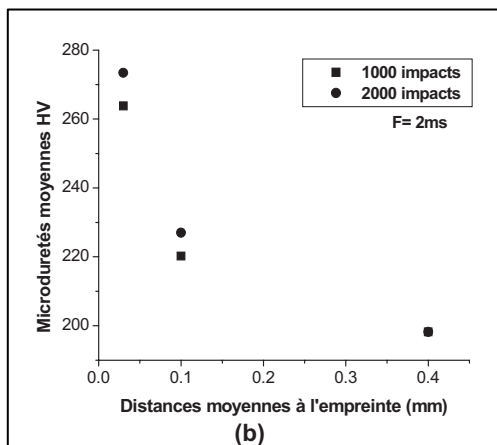
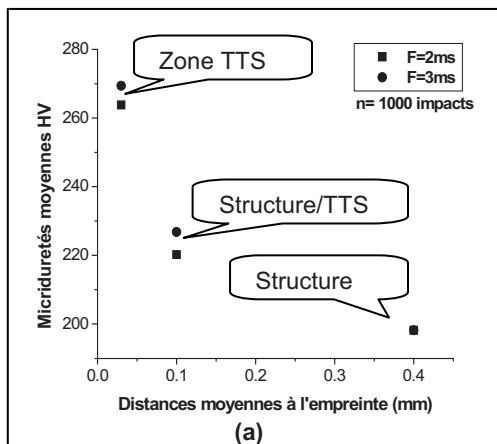


Figure 10 : Evolution de la microdureté en fonction de l'épaisseur moyenne des zones étudiées de l'échantillon non traité. Influence de F (a) et n (b).

On remarque que le durcissement diminue à mesure que l'on s'éloigne de la zone indentée (fig.10).

Une augmentation du nombre de cycles d'impacts et/ou de la force de frappe, entraîne une augmentation de la dureté, ceci est dû à l'apparition de la TTS et de sa croissance (Structure dure et fragile).

Au cours de l'essai de micropercussion, pour une distance bien déterminée et proche de la zone occupée par la TTS avec une force ou un nombre d'impacts variables, on constate une dureté différente à cause de la déformation plastique résultante.

4. CONCLUSION

Grâce à la diversité des effets induits dans l'ensemble des traitements de surface par laser, il apparaît que cette gamme de procédés est capable d'offrir des solutions différentes pour assurer l'amélioration des propriétés tribologiques de surface des matériaux (traitements thermiques). Ceci peut avoir une répercussion économique importante.

L'aspect localisé du traitement, permet de traiter uniquement la zone soumise aux sollicitations (réduction du temps de traitement, de la quantité d'énergie et de matière consommées). Le dépôt superficiel d'énergie, permet d'une part de conserver les propriétés massives du matériau, et d'autre part limiter les déformations de la pièce (suppression d'étape de finition, possibilité de traitement sur un produit quasi fini).

Dans notre étude, lors des traitements thermiques par laser, on a pu constater une amélioration du comportement tribologique face à l'usure induite par l'endommagement par impacts (micropercussion) de l'échantillon du titane traité. Ce n'est pas le cas pour un échantillon à l'état brut.

De ce fait, on a remarqué une diminution notable de la profondeur de l'empreinte dans les deux cas de sollicitation étudiés. On note, une réduction de l'épaisseur de la TTS et une augmentation de la microdureté, et ce, dans tous les cas de figure (variation des paramètres du laser ou des paramètres dépendants du type de sollicitation).

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A. BLOYCE, P .H. MORTON, T. BELL. Surface Engineering of titanium and titanium alloys. Handbook, Volume 5, 1992, pp. 835-885.
- [2] Y. COMBRES. Propriétés du titane et de ses alliages, Réf: M557, techniques de l'ingénieur, 1999
- [3] Y. COMBRES, B. CHAMPIN. Traitements thermiques des alliages de titane. Réf : M1335, technique de l'ingénieur, 1995.
- [4] J. M. PELLETIER, A. B. VANNES, L. VINCENT. Matériaux et techniques : traitement de surface par laser et propriétés mécaniques, N°7-8, juillet-août, 1991, pp.12-35.
- [5] D. PANTELIS. Laser de puissance « Interactions, traitement et utilisation ». Réf : A1095, techniques de l'ingénieur, 1992.
- [6] P. LAURENS, C. DUBOUCHET, D. KECHEMAIR. Application des lasers au traitement de surface. M1643, techniques de l'ingénieur, 1996.
- [7] E. SAUGER. Contribution à l'étude de la transformation tribologique superficielle en fretting. Thèse de doctorat, ECLyon 1997.
- [8] TECHNIFOR. Manuel technique, tête de marquage intégrable à commande numérique stylet électromagnétique, Technifor réf : CN31 2Cm.