

INVESTIGATION DES EFFETS MICROSTRUCTURAUX DANS L'AUGMENTATION DES PROPRIETES MECANQUES EN SURFACES HYPER-DEFORMEES

D. Tumbajoy-Spinel¹, S. Descartes², J. M. Bergheau³ et G. Kermouche¹

1. Ecole des Mines de Saint-Etienne, LGF UMR5307 CNRS, Saint-Etienne, France

2. Université de Lyon, CNRS, INSA-Lyon, LaMCoS, UMR5259, F-69621 Villeurbanne, France

3. Université de Lyon, ENISE, LTDS, UMR 5513 CNRS, F-42023 Saint-Etienne, France

En collaboration avec l'Empa de Thoune (Suisse) – Gaylord Guillonnet et Johann Michler

MOTS CLES

Traitement mécanique de surface ; Transformation Tribologique Superficielle (TTS) ; Nano-indentation ; Micro-compression des piliers ; Gradient des propriétés mécaniques.

INTRODUCTION

Dans l'industrie, les traitements mécaniques de surface permettent d'améliorer les conditions de service des pièces mécaniques en générale. Dans cette étude, deux procédures ont été employées afin d'obtenir des surfaces tribologiquement transformées (TTS) : grenailage et micro-percussion. Ces types de procédés soumettent le matériau à une charge mécanique répétitive, engendrant une forte déformation plastique et ainsi une transformation de la structure proche à la surface. Cette transformation se manifeste dans un raffinement progressif de la microstructure dans une couche de quelques dizaines de micromètres. Cela peut conduire à une augmentation des propriétés mécaniques en extrême surface et par conséquent rendre le matériau plus résistant aux conditions de frottement, usure et fatigue. Dans ce travail, un matériau model (Fer pur) a été employé afin de mieux comprendre ces surfaces hyper-déformées.

L'objet de ce projet est le développement d'une méthodologie de mesure des propriétés mécaniques en zones hyper-déformées par l'utilisation de la nano-indentation (figure 1) et la micro-compression de piliers (figure 2). Une caractérisation détaillée de la microstructure de deux types de surfaces transformées sera présentée. Des cartographies EBSD permettront également de mettre en évidence le lien existant entre les aspects microstructuraux en surface (taille de grain, densité de dislocations GND, ...) et les propriétés mécaniques quantifiées au même endroit par tests nano-mécaniques.

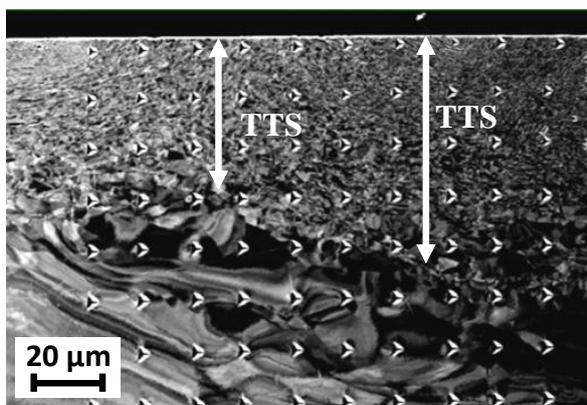


Figure 1: Tests de Nano-indentation (Berkovich) dans une surface transformée par grenailage. Section transversale d'un échantillon de fer pur.

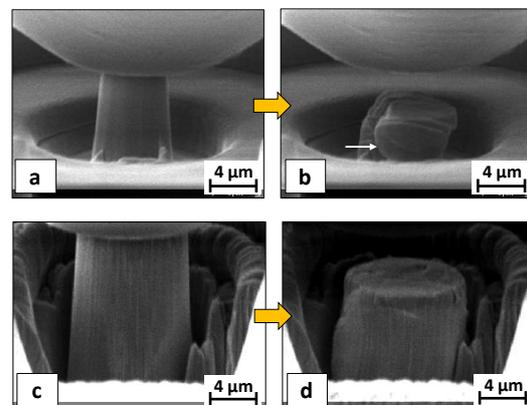


Figure 2: Tests de Micro-compression de piliers dans une region mono-cristalline (a,b) et poly-cristalline (c,d) du fer pur.

SURFACES TRANSFORMEES PAR GRENAILLAGE

Pour cette première procédée, la surface est impactée de façon répétitive avec des billes métalliques (0.1 à 2 mm de diamètre) projetées à grande vitesse (40 à 100 m/s) avec un angle d'impact compris entre 10° et 45° . Cette technique entraîne une transformation locale de la microstructure jusqu'à une taille de grain de l'ordre du micromètre (figure 1). Dans une première approche, l'augmentation des propriétés mécaniques en extrême surface est quantifiée à partir de deux types de tests nano-mécaniques (figure 1 et 2), lesquels sont effectués dans la section transversale de la zone grenillée. Une étroite relation entre les mesures effectuées par nano-indentation et micro-compression est révélée. De même, l'effet Hall-Petch est mis en évidence dans la zone TTS en couplant les résultats des tests mécaniques avec les mesures de distribution de taille de grain obtenus par EBSD. Ce dernier résultat conduit à une profonde discussion sur l'influence d'un autre aspect microstructural aussi présent lors d'une telle déformation plastique en surface: le possible durcissement du matériau dû à un incrément important de la densité de dislocations. Celui-ci sera mis en évidence dans la deuxième partie de cette étude.

SURFACES TRANSFORMEES PAR TEST DE MICRO-PERCUSSION

Pour cette deuxième partie de l'étude, une deuxième méthode de transformation microstructurale (micro-percussion) est employée. Dans cette procédée, la surface est impactée répétitivement à un endroit précis avec un indenteur conique rigide, tout en contrôlant l'angle, vitesse et nombre d'impacts (figure 3). Ainsi que pour la première méthode, une réduction de taille de grain dans l'extrême surface est produite jusqu'à une taille de l'ordre du micromètre. Sur la section transversale de l'empreinte produite par les impacts, une cartographie EBSD est réalisée afin de révéler la distribution de taille de grain et le gradient de désorientation locale de la microstructure (« Kernel Avergae Misorientation »). Ces résultats ont permis d'estimer de façon analytique les différentes contributions dans l'augmentation des propriétés mécaniques (limite d'élasticité) en sous-surface : effet Hall-Petch et durcissement par interaction des dislocations. Ces valeurs prédictives sont confrontées avec les limites élastiques quantifiées expérimentalement par tests de micro-compression des piliers en différentes régions de la zone hyper-déformée (figure 4). La correspondance entre valeurs théoriques et expérimentaux, ainsi que le compromis entre le durcissement du matériau via l'augmentation des joints des grains et l'incrément de la densité de dislocations est mise en évidence.

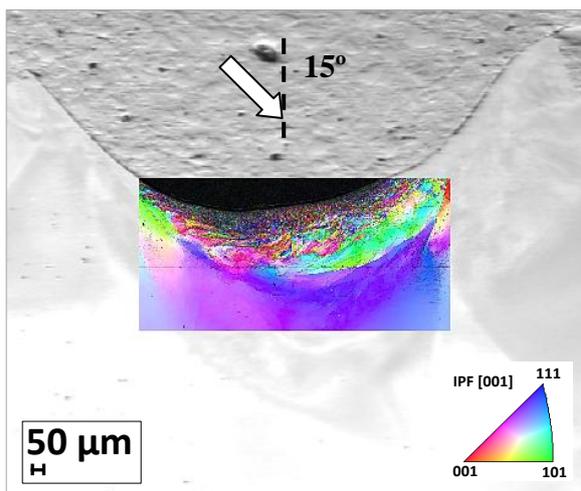


Figure 3: EBSD (pas d'indexation de 300 nm) dans la section transversale d'une empreinte faite par micro-percussion: 10000 impacts, 15° et 150 mm/s.

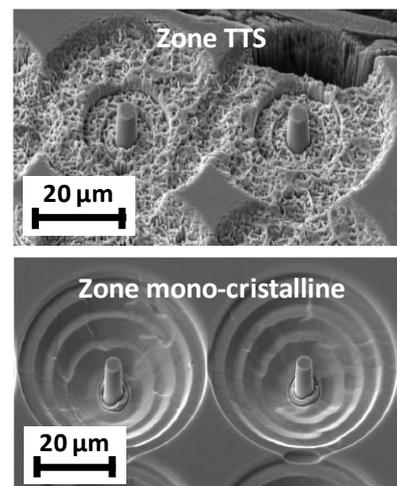


Figure 4: Tests de compression de micro-piliers dans deux régions différentes d'une surface transformée par micro-percussion.