

Fonctionnalisation des surfaces et hyperdéformation : application aux secteurs de l'hydrogène et du biomédical.

T. GROSDIDIER^{a, b}, M. NOVELLI ^{a, b}, L. WEISS ^a

- a. Université de Lorraine, Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3 UMR 7239), 7 rue Félix Savart, BP 15082, Metz F-57073, France
- b. Université de Lorraine, Laboratory of Excellence on Design of Alloy Metals for low-mass Structures (DAMAS), Metz F-57045, France

Mots clés : surface, hyper-déformation, structure à gradient, fonctionnalisation, réactivité.

Résumé

La déformation plastique sévère est un des moyens de fonctionnalisation des surfaces. Diverses techniques de déformation plastique sévère des surfaces (Surface Severe Plastic Deformation) ont été développées ou optimisées au cours de ces dernières années. Cette communication présente un large aperçu des développements récents dans le domaine de la SSPD et de ses applications qui tirent parti des avantages d'une surface à gradient déformée avec à la fois (i) une résistance plus élevée et (ii) une « réactivité » améliorée.

1. Introduction

L'introduction de la présentation traitera des avantages/inconvénients technologiques de plusieurs technologies SSPD. Ces techniques permettent de modifier l'extrême surface mais aussi la sous-couche en créant un gradient de microstructure. Nous nous intéresserons essentiellement aux gradients de surface obtenus en impactant la surface avec des billes au travers de procédés tels que le grenailage par ultrasons (USP) et le traitement d'attrition mécanique de surface (SMAT) qui sont directement dérivés du grenailage conventionnel (SP).

2. Structures à gradient : compréhension et optimisation.

La SSPD crée une structure à gradient qui, comme schématisée sur la figure 1a, peut être vu comme une succession de différentes couches affectées. La déformation de surface - si elle est suffisamment sévère - peut permettre de créer une zone de grains ultra-fins (UFG) voire même de nano-structurer sur une profondeur de quelques dizaines de microns. La profondeur de transition entre les différentes couches dépend des nombreux paramètres de traitement. Un des paramètres, souvent sous-estimé, est la température du grenailage qui peut permettre de modifier efficacement la réponse du matériau en changeant les mécanismes de déformation impliqués (Fig. 1b et c). Outre la modification évidente de la taille des grains et de la densité des défauts de structure (dislocations, macles, ...), la structure dite « à gradient » est très souvent la combinaison de différents gradients en termes de texture locale, de distribution des phases et de contraintes résiduelles. Le lien entre les paramètres du procédé et l'affinement des grains induit peut aussi être abordé par des approches de modélisation. Des modèles de dynamique des billes peuvent être utilisés pour des études statistiques concernant l'impact et la vitesse des billes. Connaissant l'énergie transférée à la surface, des approches micromécaniques peuvent ensuite permettre de simuler les déformations plastiques induites par le procédé et

l'évolution de la microstructure générée. L'optimisation des conditions de traitement et la compréhension de l'écroissage dépendent fortement de la connaissance des « coefficients de restitution » du matériau impacté en fonction de son taux d'écroissage et de la trajectoire des billes.

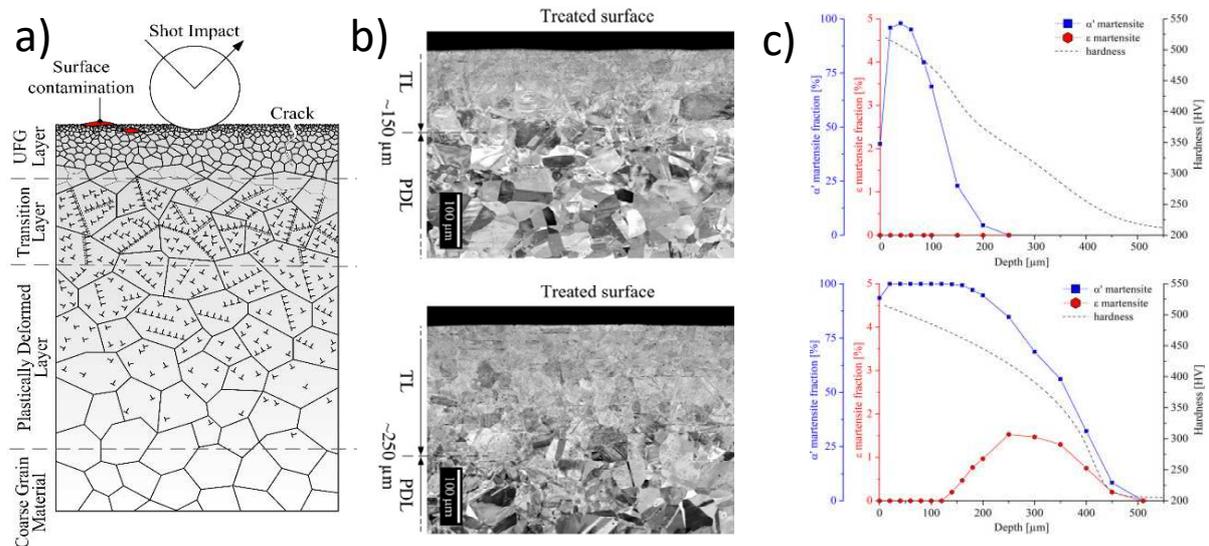


Figure 1. Structures à gradient produites par une déformation plastique sévère de surface :
a) Représentation schématique de la structure et de ses différentes zones affectées.
b et c) Pour un acier inoxydable 304L, effet de la température de grenailage sur b) la localisation de la transition entre TL et PDL et c) la quantité et la nature de la martensite formée (Haut : température ambiante, Bas : température cryogénique).

3. Effet sur les propriétés mécaniques et la réactivité des surfaces

L'effet de ces modifications de surface et de sous-surface sur les propriétés mécaniques, et en particulier la réponse à la fatigue, sera rappelé avec un accent particulier sur les difficultés liées d'une part à l'intégrité de la surface (potentiel sur-grenailage) et d'autre part à l'importance de la prise en compte de la relaxation des contraintes résiduelles.

Ensuite, la présentation sera dédiée aux modifications de réactivité de la surface induite par la présence de défauts. La diffusion des espèces chimiques après SSPD a été utilisée pour améliorer la résistance à la corrosion ainsi que pour optimiser les traitements thermo-chimiques de surface via des traitements « duplex ». Le procédé le plus étudié est le traitement de nitruration, bien que la boruration, l'aluminisation, la chromisation ainsi que l'oxydation électrolytique au plasma (PEO) aient également été étudiées avec succès. Pour illustrer des applications un peu plus récentes de la SSPD, la fin de la présentation focalisera sur de nouvelles études de recherche pour des applications potentielles liées aux défis du secteur de l'hydrogène pour son stockage à l'état solide ainsi que pour des applications biomédicales avec des alliages biocompatibles à base de Mg biodégradable et de Ti.

Référence

[1] T Grosdidier, M Novelli, L. Weiss. *Surface Severe Plastic Deformation for Improved Mechanical/Corrosion Properties and Further Applications in the Bio-Medical and Hydrogen Sectors*, Materials Transactions (2023) MT-MF2022040.