

# NANOCRISTALLISATION PAR GRENAILLAGE ACTIVÉ PAR ULTRASONS



## PRÉSENTATION DU PROCÉDÉ

Le grenailage activé par ultrasons engendre une déformation plastique de la surface de la pièce. Lorsque les conditions sont sévères, par exemple si on augmente le temps de traitement, le procédé va générer à la surface de la pièce une couche nanocristalline, la microstructure à cœur étant inchangée (FIGURE 1).

La taille de la couche de nanocrystallisation est variable en fonction des paramètres de traitement utilisés mais est généralement comprise entre 10µm et 50µm (FIGURE 1 et FIGURE 2). Elle est associée à une couche de transition qui va elle aussi être affectée par le traitement mais dont la taille des grains est plus importante. Généralement, l'épaisseur totale de la couche affectée par le traitement est proche de 200µm (FIGURE 2).

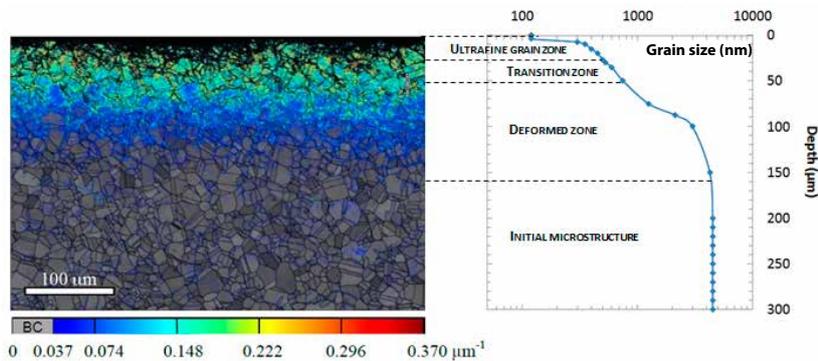


Figure 1. Évolution de la microstructure après nanocrystallisation par grenailage activé par ultrasons (1)

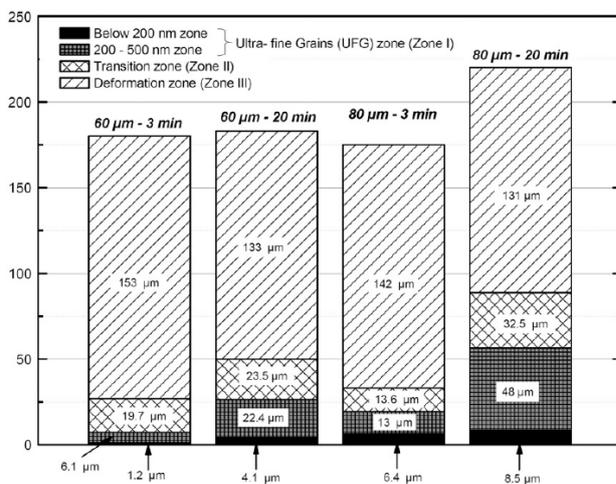


Figure 2. Effets des paramètres du traitement de grenailage activé par ultrasons sur la profondeur affectée (2)

L'application du procédé de nanocrystallisation par grenailage activé par ultrasons peut être relié à deux objectifs :

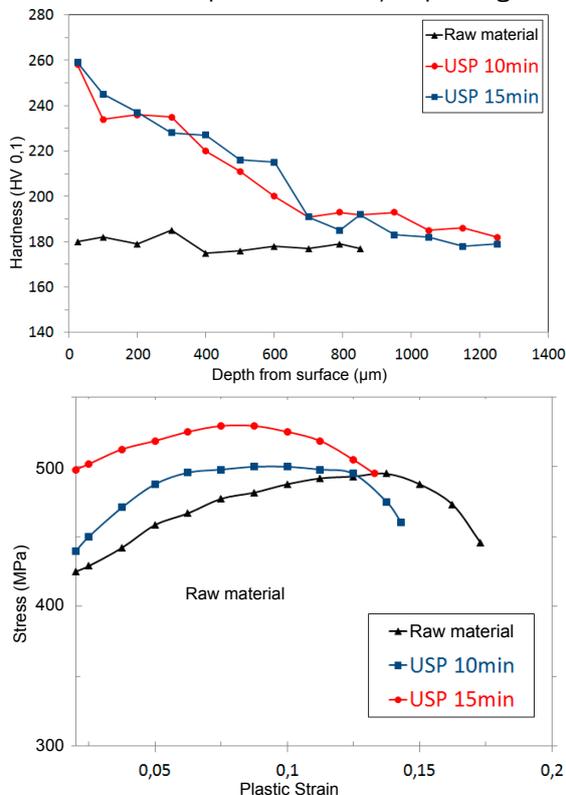
- **Utilisation de la nanocrystallisation comme procédé de traitement de surface :** l'effet recherché dans ce cas est principalement une augmentation des caractéristiques mécaniques surfaciques du matériau,
- **Utilisation de la nanocrystallisation comme procédé de prétraitement :** dans ce cas la nanocrystallisation est combinée avec un traitement thermo-chimique (nituration, cémentation, chromisation). En effet, la nanostructure formée est favorable à la diffusion d'éléments tels l'azote, le carbone ou le chrome.

## EFFETS MÉCANIQUES DE LA NANOCRISTALLISATION

Le procédé de nanocrystallisation par grenailage activé par ultrasons permet une amélioration :

- de la limite en fatigue,
- de la dureté superficielle (FIGURE 3.a.),
- de la contrainte à rupture (FIGURE 3.b.),
- de la résistance à l'usure,
- de la rugosité de surface obtenue.

De plus, comme pour un traitement « classique », des contraintes de compression apparaissent à la surface de la pièce nanocrystallisée. Ces nouvelles propriétés sont par exemple directement exploitables pour des pièces subissant une usure par frottement et/ou par fatigue.



**FIGURE 3. Effet mécanique de la nanocrystallisation induite par grenailage [3]**  
a. évolution de la dureté avec la profondeur  
b. évolution des caractéristiques mécaniques en traction

## EFFET SUR LA VITESSE DE DIFFUSION: PRÉ-TRAITEMENT

Parmi les principales applications de la nanocrystallisation, l'amélioration de la diffusion d'atomes comme l'azote (lors d'un traitement de nitruration par exemple) est fortement étudiée et mise en avant dans la littérature.

En effet, le traitement de nitruration est très largement utilisé dans l'industrie pour améliorer la dureté de surface d'une pièce. Cependant, afin d'améliorer la cinétique de diffusion de l'azote, ce traitement est réalisé à de hautes températures (550°C-600°C) pendant un temps important, ce qui est susceptible de détériorer la microstructure et les caractéristiques mécaniques de certaines familles d'alliages métalliques. L'intérêt du procédé de nanocrystallisation par grenailage activé par ultrasons réside alors dans l'optimisation (baisse du temps et/ou de la température) du traitement de nitruration. Un gain de dureté supplémentaire est aussi observé en couplant les deux traitements.

## APPLICATIONS INDUSTRIELLES POTENTIELLES

Les différentes applications de la nanocrystallisation par grenailage activé par ultrasons concernent divers secteurs industriels (aéronautique, automobile, industrie pétrolière, machine-outil, médical,...). Ainsi, toutes pièces subissant des contraintes élevées et/ou du frottement peuvent ainsi bénéficier des avantages mécaniques du traitement (contraintes résiduelles, augmentation de dureté, résistance à l'usure).

Le domaine médical, notamment celui des prothèses, semble être un secteur industriel de choix pour le procédé de nanocrystallisation par grenailage activé par ultrasons. L'intérêt du procédé est double car il augmente la durée de vie des pièces en fatigue tout en facilitant leur intégration dans le corps humain (diminution du taux de rejet). Pour plus d'informations sur ce sujet spécifique se reporter à la référence [4].

En tant que prétraitement, le procédé de nanocrystallisation par grenailage activé par ultrasons peut s'avérer efficace dans l'optimisation de traitements thermo-chimiques comme la nitruration, la chromisation, la cémentation.

## RÉFÉRENCES

- [1] Y. Samih, Thermomechanical surface treatments of austenitic stainless steels and their effects on subsequent nitriding "Duplex" treatments, PhD. Thesis, 2014.
- [2] Y. Samih, B. Beausir, B. Bolle and T. Grosdidier, In-depth quantitative analysis of the microstructures produced by surface mechanical attrition treatment (SMAT), Material characterization, vol.83, pp. 129-138, 2013.
- [3] K. Chattopadhyay, V. Pandey, N.C.S. Srinivas and V. Singh., Effect of surface nanostructure on tensile and low cycle fatigue behavior of Al2014 alloy, Materials science and engineering, vol. 63, 2014.
- [4] S. Bagherifard, R. Ghelichi, A. Khademhosseini and M. Guagliano, Cell response to nanocrystallised metallic substrates obtained through severe plastic deformation, ACS Appl Mater Interfaces, 6 (11), pp. 7963-7985, 2014.