



HAL
open science

Caractérisation mécanique de l'acier inox par microscopie acoustique simulée

Nadia Harhad, Amar (feu) Benchaala, Abdelazziz Abbas, Ahmed Mabtouche

► **To cite this version:**

Nadia Harhad, Amar (feu) Benchaala, Abdelazziz Abbas, Ahmed Mabtouche. Caractérisation mécanique de l'acier inox par microscopie acoustique simulée. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03360418

HAL Id: hal-03360418

<https://hal.science/hal-03360418>

Submitted on 30 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation Mécanique de l'Acier Inox par Microscopie Acoustique Simulée

Nadia HARHAD, (feu) Amar BENCHAAALA, Abdelazziz ABBAS, Ahmed MABTOUCHE.

Division de Caractérisation et d'Instrumentation, Centre de Recherche Scientifique et Technique en Soudage et Contrôle (CSC), BP 64, Route de Dely Brahim, Chéraga, ALGER.

nharhad@yahoo.fr

Résumé :

Le microscope acoustique est un instrument de mesure de l'infiniment petit, utilisé en CND. Il permet de faire une analyse qualitative (imagerie) et quantitative d'un matériau, et qui consiste en la détermination des propriétés mécaniques locales de l'échantillon. Cette microcaratérisation se fait en utilisant la signature acoustique $V(Z)$, qui est la différence de potentiel à la sortie du capteur acoustique du microscope, en fonction de son déplacement (Z), par rapport à l'échantillon. Le signal $V(Z)$ résulte principalement de l'interférence de deux ondes, l'onde de Rayleigh et l'onde spéculaire normale. Celles-ci sont générées grâce à la lentille du microscope. L'idée développée dans cet article, consiste en la substitution du capteur du microscope par un système de trois sondes acoustiques non focalisantes, pour générer et recevoir uniquement l'onde de Rayleigh et l'onde spéculaire normale, afin de remonter à la signature acoustique. Par la suite, ce système de sonde est mis en application pour caractériser mécaniquement un échantillon d'acier inox.

Abstract:

The acoustic microscope is an instrument measuring of infinitely small, used in NDT. It makes it possible to make a qualitative analysis (imagery) and quantitative of a material, and which consists of the determination of the local mechanical properties of the sample. This microcaraterisation is done by using the acoustic signature $V(Z)$, which is the potential difference on the outlet side of the acoustic sensor of the microscope, according to its displacement (Z), compared to the sample. The signal $V(Z)$ results mainly from the interference of two waves, the wave of Rayleigh and the normal specular wave. Those are generated thanks to the lens of the microscope. The idea developed in this article, consists of the substitution of the sensor of the microscope by a system of three acoustic probes not focusing, to generate and receive only the wave of Rayleigh and the normal specular wave, to go up with the acoustic signature. Thereafter, this system of probe is applied to characterize a stainless steel sample mechanically.

Mots-clefs :

Ondes de surface ; signature acoustique ; caractérisation.

I-Introduction

L'étude quantitative d'un matériau nécessite l'utilisation du microscope acoustique en réflexion : Dieulesaint (1974). Son principe est basé sur l'utilisation d'une lentille sphérique ou cylindrique, convergente, creusée dans un barreau de saphir (ligne à retard), qui permet de créer des ondes réfractées sous divers angles, et de les focaliser. La diminution de la distance (Z) entre la lentille et la surface de l'objet (défocalisation) (Fig.1), provoque des variations périodiques de la tension de sortie V aux bornes du transducteur du capteur. Ces variations sur la signature acoustique $V(Z)$ (Fig.2), permettent d'obtenir des renseignements sur la vitesse de propagation

des ondes de surface : Li et al (1995), ce qui nous permet aussi de faire une mesure locale des paramètres mécaniques de l'échantillon analysé.

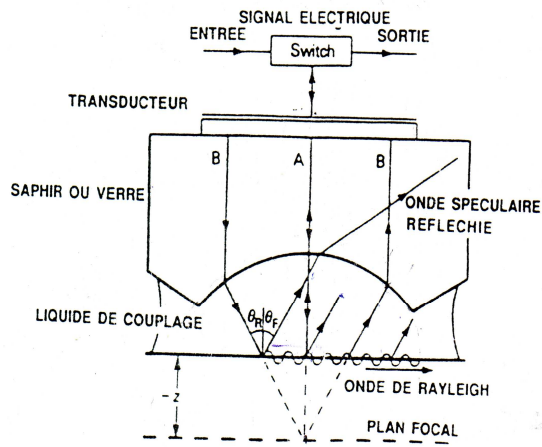


Fig.1 - capteur du microscope acoustique

Amplitude normalisée

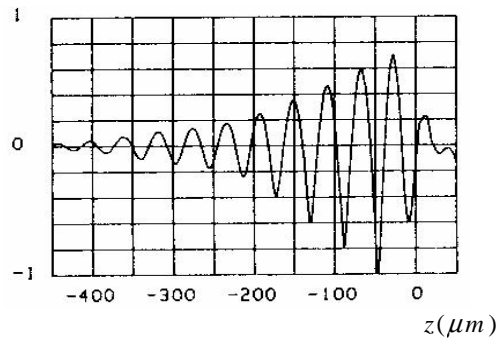


Fig.2 : Allure de la signature acoustique :

Kushibiki et al (1985)

Le signal $V(Z)$ (Fig.2), a une allure pseudo-périodique, La valeur de la périodicité ΔZ a été calculée par BERTONI sous la forme suivante : Bertoni (1985) :

$$\Delta Z = \frac{\lambda_o}{2(1 - \cos \alpha_R)} \tag{1}$$

Où λ_o est la longueur d'onde des ultrasons dans le liquide de couplage et, α_R l'angle critique de l'onde de surface. Connaissant la fréquence d'utilisation du microscope acoustique F , la vitesse de phase de propagation des ondes dans le liquide de couplage V_{Liq} (généralement de l'eau), la périodicité ΔZ des interférences, on peut déduire la vitesse de phase des ondes de Rayleigh dans le matériau examiné.

Cette vitesse est un paramètre intrinsèque du matériau. Elle peut être calculée pour chaque matériau en utilisant la loi de VIKTOROV : Viktorov (1967), relation (3).

$$V_R = \frac{V_{Liq}}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{V_{Liq}}{2F\Delta Z}\right)^2}} \tag{2}$$

$$V_R = V_T \frac{0.718 - \left(\frac{V_T}{V_L}\right)^2}{0.75 - \left(\frac{V_T}{V_L}\right)^2} \tag{3}$$

Où V_L et V_T sont respectivement, la vitesse longitudinale et la vitesse transversale des ultrasons dans le matériau. Celles-ci sont déterminées à partir de la Transformée de Fourier Rapide (FFT) de la signature acoustique (Fig.3).

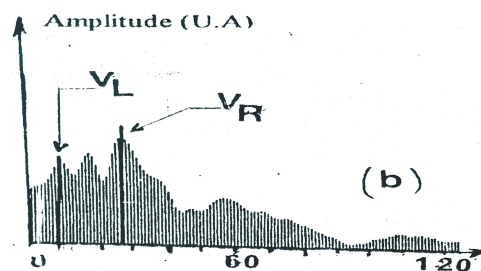


Fig-3 : Spectre de la signature acoustique (FFT) : Boudour et al (1997)

II-Principe de la simulation :

La signature acoustique, résulte de l'interférence de deux ondes acoustiques : l'onde réfléchie spéculaire normale et l'onde rayonnante de Rayleigh. Ces deux ondes peuvent être générées par deux transducteurs différents. L'onde spéculaire, nécessite un transducteur émettant en incidence normale, pour l'onde rayonnante on utilise un transducteur sous incidence de Rayleigh. Ceci nécessite l'utilisation d'un troisième transducteur pour recevoir les ondes rayonnantes de Rayleigh. Donc, l'addition de la réponse $V_1(Z)$ de la sonde (1), avec la réponse $V_2(Z)$ de la sonde (3), nous permettra de retrouver $v(Z)$ la réponse du système, c'est à dire celle du microscope acoustique. Pour ce qui est du réglage des positions des trois transducteurs, nous avons respecté un rayon de courbure, de façon à simuler, à notre échelle, celui de la lentille du capteur d'un microscope acoustique, comme cela est schématisé sur la figure 4.

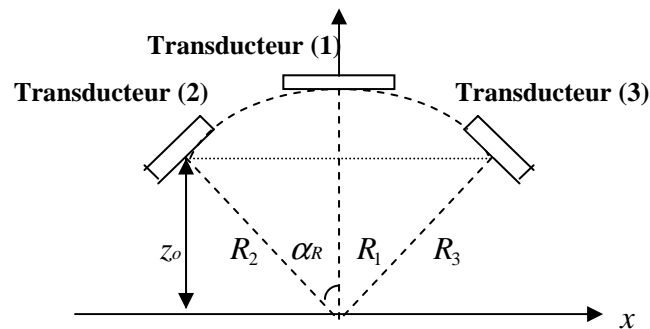


Fig.4 : Disposition exacte des trois transducteurs ($R_1 = R_2 = R_3$)

II-1- Etude théorique :

Pour déterminer la signature acoustique théorique $v(Z)$ donnée par notre système, nous avons calculé le signal reçu par chaque transducteur, donc ceux reçus par les transducteurs (1) et (3), et qui sont respectivement, l'onde spéculaire normale $V_1(Z)$ et les ondes rayonnantes de Rayleigh $V_2(Z)$.

La distribution du champ de pression émis par un transducteur est gaussienne, et est donnée par BREAZEALE : XUE et al (1997) soit:

$$p(x,0) = e^{-\frac{x^2}{w^2}} \quad (4)$$

w représente la moitié de la surface éclairée par le faisceau acoustique suivant l'axe (x).

On détermine l'expression de la pression acoustique au niveau du plan du dioptré, on l'a normalise, puis on calcul la densité spectrale :

$$V(k_x) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(x,0) e^{-ik_x x} dx \quad (5)$$

La formulation mathématique du champ réfléchi à l'interface liquide-solide a été faite par Schoch : Ngoc et al (1979), cela permet de calculer la transformée de Fourier du signal temporel et donc le signal reçu par un transducteur (ou sonde acoustique) :

$$V(\omega, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} V^2(k_x) R(k_x) e^{-2ik_z z} dk_x \quad (6)$$

$R(k_x)$ représente le pouvoir réflecteur sous incidence α , celle-ci prendra la valeur 0 pour l'incidence normale et la valeur α_R pour l'incidence sous angle de Rayleigh.

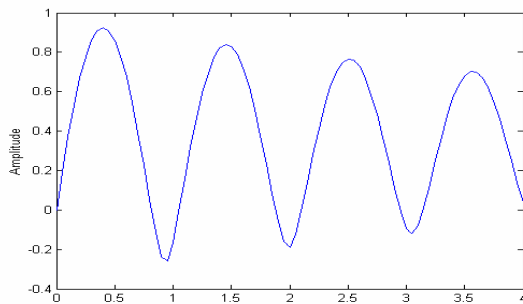
Le terme $e^{-2ik_L z}$, représente le déphasage. Après calcul nous trouvons :

$$V_1(\omega, z) = \frac{R_o}{\sqrt{2\pi a}} e^{-2ik_L z} \tag{7}$$

$$V_2(\omega, z) = \frac{-2\alpha_R}{\cos^2 \alpha} e^{-2ik_L(x_o \sin \alpha + z \cos \alpha) - 2\alpha_R(z \tan \alpha - x_o) + \frac{\alpha_R^2 a^2}{2 \cos^2 \alpha}} \tag{8}$$

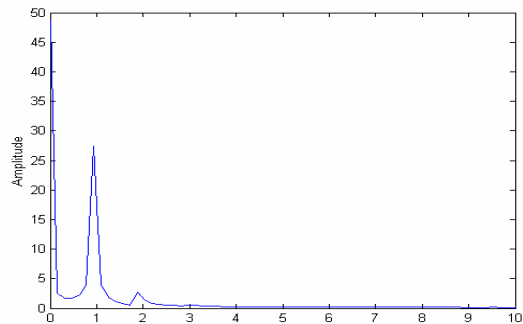
α_R représente dans cette expression le coefficient d'atténuation de Rayleigh, k_L est le vecteur d'onde de l'eau et α l'angle d'incidence.

L'allure de la signature acoustique $V(z)$, ainsi que sa Transformée de Fourier spatiale Rapide (FFT), ont été tracées avec le logiciel MATLAB 6.1.



Distance z ($\times 10^3 \mu m$)

Fig.5: La signature acoustique théorique à 5MHz



Fréquence spatiale ($\times 10^{-3} \mu m^{-3}$)

Fig.6: spectre de la signature acoustique théorique

II-2-Etude expérimentale :

Le montage permettant d'effectuer un balayage en z , est schématisé sur la figure 7. Le système des trois transducteurs et l'échantillon sont immergés dans un bac d'eau.

Partie acoustique formée des trois transducteurs

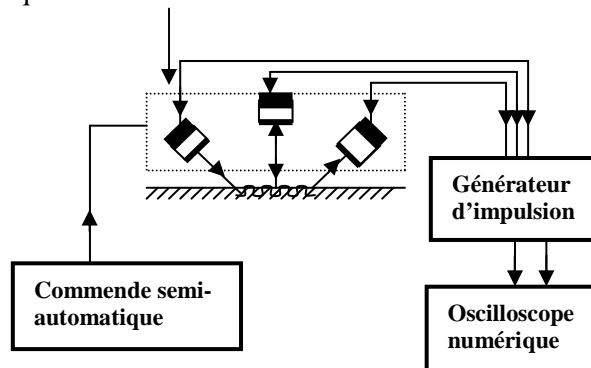


Fig.7 : Schéma bloc du dispositif expérimental

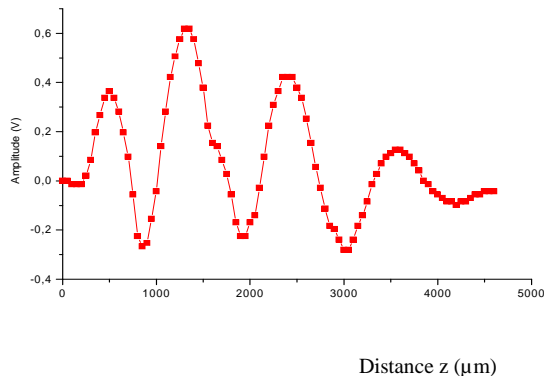


Fig.8: Signature acoustique normalisée à 5MHz

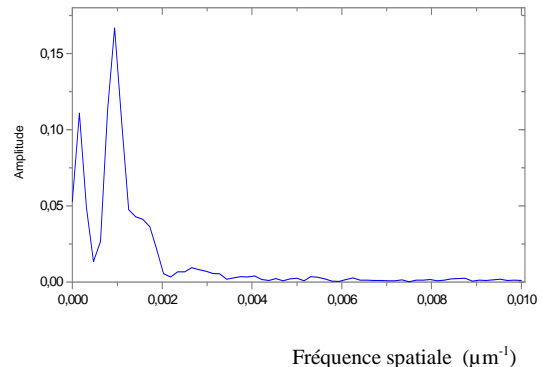


Fig.9: Spectre de la signature acoustique Expérimentale

Sur le spectre de $V(Z)$, on distingue deux pics. Le plus grand en amplitude qui se trouve à droite, correspond au mode de Rayleigh et le second pic qui se trouve à gauche correspond au mode longitudinal : ATTAL et al (1990).

II-3-Exploitation des résultats :

A partir des courbes des FFT de $V(Z)$ théorique et de $V(Z)$ expérimental, nous avons déduit la vitesse des ondes de surface de Rayleigh et la vitesse longitudinale, quant à la vitesse transversale, elle a été déduite par la relation de VIKTOROV, formule (3).

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Entités physiques	Valeurs numériques théoriques	Valeurs numériques Expérimentales
ΔZ_R période spatiale déduite de la courbe $V(z)$	$(1.07 \pm 0.02) \times 10^{-3} m$	$(1.065 \pm 0.02) \times 10^{-3} m$
V_R vitesse de Rayleigh	$(2916 \pm 8) m/s$	$(2910 \pm 29) m/s$
ΔZ période spatiale déduite du spectre de $V(z)$	$(1.05 \pm 0.05) \times 10^{-3} m$	$(1.063 \pm 0.011) \times 10^{-3} m$
$V_{R(FFT)}$ vitesse de Rayleigh	$(2894 \pm 72) m/s$	$(2909 \pm 16) m/s$
ΔZ_L période spatiale déduite du spectre de $V(z)$		$(4.54 \pm 0.2) \times 10^{-3} m$
V_L vitesse longitudinale		$(5849 \pm 131) m/s$
V_T vitesse transversale	$(3030 \pm 79) m/s \leq V_T \leq (3311 \pm 94) m/s$	$(3187 \pm 20) m/s$
E module de Young		$174 KNmm^{-2}$
G coefficient de cisaillement	$(73 \pm 4) Kmm^{-2} \leq G \leq (87 \pm 5) Kmm^{-2}$	$81 KNmm^{-2}$
ν coefficient de Poisson		0.28

Discussion :

Nous avons modélisé le système en nous inspirant du fonctionnement du microscope acoustique par réflexion. Ce modèle théorique nous a permis de retrouver le mode de propagation de Rayleigh et de déterminer sa vitesse. Ce qui n'était pas suffisant pour déterminer les vitesses longitudinale et transversale. Toutefois, en utilisant d'autres approximations théoriques, nous avons fait une estimation de la vitesse transversale. De ce fait, la caractérisation mécanique de l'échantillon s'est restreinte au coefficient de cisaillement.

La mise en pratique du système à trois sondes, nous a permis d'obtenir une signature acoustique, qui, après traitement par FFT, de mettre en évidence deux modes de propagation, le mode de Rayleigh et le mode longitudinal. Ce résultat est satisfaisant, puisqu'il nous permet de calculer directement la vitesse transversale et par la suite de faire une caractérisation mécanique de l'échantillon.

III-Conclusion :

L'étude nous permet de conclure que le modèle proposé en substitution au microscope acoustique, est assez crédible, aux basses fréquences (nous avons travaillé à 5 Mhz), puisque les valeurs des modules et coefficients mécaniques trouvés sont en globalité du même ordre de grandeurs que ceux que nous trouvons dans la littérature : Robert (1994). Ce travail est une tentative d'approche de la caractérisation mécanique que pourrait nous fournir un microscope acoustique. Le dispositif réalisé, peut être utilisé pour une première estimation, pour le calcul des différents modules et coefficients mécanique d'un matériau. Toutefois, il reste à vérifier les limites de ce nouveau montage dans le cas d'une utilisation en hautes fréquences.

IV-Références bibliographiques :

E.Dieulesaint, D.Royer (1974), Ondes Elastiques dans les Solides, Edition Masson, Paris.

Wei Li and Jean. D. Achenbach (1995), Measuring Thin-Film Elastic Constants by Line –Focus-Acoustic Microscopy, IEEE. Ultrasonic Symposium, pp.883-892, 1995.

Jun-hi Kushibiki, Member, IEEE, and Noriyoshi Chubachi, Member (1985)Marsh, IEEE, Material Characterization by Line-Focus-Beam Acoustic Microscope, IEEE. Transaction on Sonics and Ultrasonics, Vol.SU-32, No.2, pp. 189-212.

Henry L.Bertoni, Senior Member, IEEE (1985)Marsh, Ray-Optical Evaluation of V(z) in the Reflection Acoustic Microscope, IEEE Transactions on Sonics an Ultrasonics, Vol. Su-31, No. 2, pp. 105-116.

I.A.Viktorov (1967), "Rayleigh and Lamb Waves", Plenum Press, New York.

Laurent Robert (1994) Mars, Etude par Miroscopie Acoustique de l'Influence des irradiations sur des Aciers Inoxydables, Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, France.

Boudour A., Boumaiza Y., Belkahla S. (1997)28-30 Juin, Etude Topographique par Microscopie Acoustique d'un Acier Frotté, Conférence Maghrébine sur le Contrôle non Destructif, Alger, Palais des Nations, pp. 20-28.

Tran D.Ngoc and Walter G. Mayer (1979) December, Ultrasonic Nonspecular Reflectivity near Longitudinal Critical Angle, J. Appl. Phys. 50(12), pp. 7948-7951.

T.Xue, W.Lord, Fellow IEEE, and S.Udpa, Senior Member IEEE (1997) May, Finite Element Simulation and Visualisation of Leaky Rayleigh Waves for Ultrasonic NDE, IEEE. Transactions and Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.44, No.3.