

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : Mécanique des Solides, des Matériaux, des structures et des surfaces

Par

Ningyue SHENG

From Effective Elastic Properties to Ultrasonic Attenuation: A Statistical Approach for Characterizing Random Finite-Sized Polycrystals

Thèse présentée et soutenue à Saint Nazaire, le 20/12/2024

Unité de recherche : Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR CNRS 6183

Rapporteurs avant soutenance :

Thomas HEUZÉ Professeur des Universités, École nationale d'ingénieurs de Brest
Xun WANG Professeur des Universités, Beihang University

Composition du Jury :

Rapporteurs :	Thomas HEUZÉ	Professeur des Universités, École nationale d'ingénieurs de Brest
	Xun WANG	Professeur des Universités, Beihang University
Examineurs :	Bing TIE	Chargée de Recherche (HDR), CNRS, Université Paris Saclay
	Régis COTTEREAU	Chargé de Recherche (HDR), CNRS, Aix-Marseille Université
	David GLOAGUEN	Professeur des Universités, Nantes Université
Dir. de thèse :	Sylvain FRÉOUR	Professeur des Universités, Nantes Université
Co-encadrants :	Shahram KHAZAIE	Maître de conférences, Nantes Université
	Mathilde CHEVREUIL	Maître de conférences, Nantes Université

Titre : Des Propriétés Élastiques Effectives à l'Atténuation Ultrasonore : Une Approche Statistique pour Caractériser les Polycristaux Aléatoires de Taille Finie

Mots clés : Atténuations ultrasonores, Vitesses de phase, Matériaux polycristallins, Distributions de taille de grain, Textures cristallographiques

Résumé : Les techniques d'évaluation non destructive par ultrasons sont de plus en plus utilisées pour caractériser les matériaux polycristallins. La plupart des modèles ultrasonores supposent des milieux infinis et se concentrent sur les réponses moyennes des paramètres ultrasonores. Cette thèse explore les propriétés statistiques, en particulier les statistiques d'ordre deux, des vitesses de phase ultrasonores et des atténuations induites par la diffusion dans un grand ensemble de polycristaux synthétiques.

Plusieurs paramètres morphologiques et cristallographiques décrivant les microstructures des polycristaux sont pris en compte. Des polycristaux présentant des distributions de taille de grain monomodale et bimodale avec différentes largeurs de distribution sont générés.

Les textures cristallographiques sont modélisées à l'aide de fonctions de distribution d'orientation de forme gaussienne. Les orientations cristallines corrélées spatialement sont également considérées et simulées via des champs aléatoires avec différentes longueurs de corrélation. Les matrices locales de rigidité aléatoires sont générées à l'aide d'une approche probabiliste non paramétrique basée sur le principe de maximum d'entropie.

Des expressions analytiques pour les modules élastiques effectifs et les vitesses de phase dans les polycristaux cubiques sont dérivées et comparées avec des estimations numériques en intégrant ces paramètres. Des relations entre les statistiques des atténuations ultrasonores et ces paramètres sont établies, offrant une méthode potentielle pour caractériser les caractéristiques morphologiques et cristallographiques des matériaux polycristallins.

Title : From Effective Elastic Properties to Ultrasonic Attenuation: A Statistical Approach for Characterizing Random Finite-Sized Polycrystals

Keywords : Ultrasonic attenuations, Phase velocities, Polycrystalline materials, Grain size distributions, Crystallographic textures

Abstract : Ultrasonic non-destructive evaluation techniques are increasingly employed to characterize polycrystalline materials. Most ultrasonic models assume infinite media and focus on mean responses of ultrasonic parameters. This dissertation explores the statistical properties, particularly second-order statistics, of ultrasonic phase velocities and scattering-induced attenuations in a large set of synthetic polycrystals.

Several morphological and crystallographic parameters describing the microstructures of polycrystals are considered. First, polycrystals having monomodal and bimodal grain size distributions with different distribution widths are generated. Second, the crystallographic textures are modeled using Gaussian-shaped orientation

distribution functions. The spatially correlated crystal orientations are also considered and simulated via random fields with different correlation lengths. Third, the random local stiffness matrices are generated using a non-parametric probabilistic approach based on the maximum entropy principle.

Analytical expressions for effective elastic moduli and phase velocities in cubic polycrystals are derived and compared with numerical estimations by incorporating these parameters. Relationships between the statistics of ultrasonic attenuations and these parameters are established, offering a potential method for characterizing morphological and crystallographic features for polycrystalline materials.