Intitulé du stage de Master 2

Caractérisation mécanique de matériaux par Small Punch Test par couplage essais mécaniques / simulation

Description scientifique

Ce stage de Master 2 s'inscrit dans le cadre du programme de recherche DIADEM (Dispositifs Intégrés pour l'Accélération du Déploiement de Matériaux Emergents) et plus précisément au projet OPTISCRAPS (Lever les verrous de la sidérurgie verte par l'utilisation optimisée des ferrailles et leurs résiduels et par le design dynamique d'alliages), qui vise à améliorer la compréhension et la caractérisation des aciers issus de matériaux recyclés. En effet, l'utilisation croissante de matières premières recyclées dans la production sidérurgique et notamment la présence de résiduels peut entraîner une plus grande variabilité de la composition chimique et donc des propriétés mécaniques des matériaux. La détermination et la validation de celles-ci lors du processus d'élaboration des aciers sont des points cruciaux pour la validation de l'acier élaboré.

L'essai Small Punch Test (SPT) constitue une méthode expérimentale particulièrement intéressante pour caractériser les propriétés mécaniques des matériaux à partir d'éprouvettes miniatures, de très faibles volumes de matière, et relativement simple à usiner et prélever lors des processus d'élaboration des aciers. Ainsi à l'UMET et au LaM^{cube} sont développés non seulement des essais de SPT instrumentés mais aussi une simulation mécanique de cet essai avec une approche basée sur l'intelligence artificielle pour la caractérisation des propriétés mécaniques notamment pour des aciers faiblement alliés issus de la filière de recyclage de ferrailles, comportant des résiduels.

Dans ce contexte, l'objectif du stage est d'étudier la robustesse de la démarche développée, ceci expérimentalement avec une corrélation avec la simulation mécanique de l'essai SPT. Pour ce faire, les propriétés mécaniques de différents matériaux, des aciers alliés, notamment des aciers inoxydables mais aussi des alliages de nickel seront étudiés par des essais SPT pour différentes conditions (microstructure, vitesse de déformation). Le couplage avec la simulation mécanique, déjà développée par les laboratoires doit permettre d'évaluer notamment la robustesse de la démarche développée notamment la cohérence entre résultats expérimentaux et par simulation pour différents matériaux de structure.

Le stagiaire réalisera différentes campagnes expérimentales sur plusieurs matériaux et dans différentes conditions d'essai, notamment en faisant varier l'épaisseur des éprouvettes et la vitesse de déformation. Les courbes force-déplacement obtenues seront ensuite analysées et comparées à l'aide de la méthode d'identification développée dans le cadre de la thèse du projet OPTISCRAPS, afin d'évaluer sa robustesse et son domaine d'application.

Les résultats obtenus contribueront à améliorer la compréhension de la réponse des matériaux lors des essais SPT et permettront de constituer une base de données expérimentale destinée à soutenir les travaux de caractérisation et d'identification des matériaux menés actuellement

dans le cadre du projet OPTISCRAPS mais aussi dans le cadre d'autres projets à venir de développement de matériaux métalliques pour des applications hautes températures (prise en compte du vieillissement thermique ou d'effets d'environnement – applications production d'énergie, transport, …).

Techniques / méthodes utilisées

- Réalisation d'essais mécaniques (Small Punch Test) sur éprouvettes miniatures
- Planification et réalisation de campagnes expérimentales
- Préparation métallographique et d'éprouvettes mécaniques
- Acquisition et analyse de courbes force-déplacement
- Fractographie par microscopie électronique à balayage
- Comparaison des réponses des différents matériaux
- Étude de l'influence des conditions expérimentales sur les résultats
- Utilisation de Python pour le traitement et l'analyse des données expérimentales en lien avec la simulation de l'essai SPT

Compétences recherchées chez le candidat

- Étudiant(e) en Master 2 en mécanique, science des matériaux, génie mécanique, mécanique expérimentale ou domaine équivalent
- Bonnes connaissances en mécanique des matériaux et en caractérisation mécanique et simulation numérique
- Intérêt pour l'expérimentation et la caractérisation des matériaux
- Des compétences en programmation sous Python seraient appréciées
- Aptitude à travailler dans un environnement de recherche et à communiquer les résultats scientifiques

Master 2 Internship Title

Mechanical Characterization of Materials Using the Small Punch Test through Coupled Mechanical Testing and Simulation

Scientific Description

The Master 2 internship is part of the DIADEM research program (*Dispositifs Intégrés pour l'Accélération du Déploiement de Matériaux Emergents*) and, more specifically, the OPTISCRAPS project (*Lever les verrous de la sidérurgie verte par l'utilisation optimisée des ferrailles et leurs résiduels et par le design dynamique d'alliages*). The project aims to improve the understanding and characterization of steels produced from recycled materials.

Indeed, the increasing use of recycled raw materials in steel production, particularly the presence of residual elements, can lead to greater variability in chemical composition and, consequently, in the mechanical properties of materials. The determination and validation of these properties during the steel manufacturing process are therefore crucial for validating the quality and performance of the produced steel.

The Small Punch Test (SPT) is a particularly promising experimental method for characterizing the mechanical properties of materials using miniature specimens and very small material volumes. These specimens are also relatively easy to machine and extract during steel processing. At UMET and LaMcube, instrumented SPT tests have been developed, together with a mechanical simulation of the test based on an artificial intelligence approach for identifying mechanical properties, particularly for low-alloy steels produced from recycled scrap and containing residual elements.

In this context, the objective of the internship is to investigate the robustness of the developed methodology, through an experimental study coupled with mechanical simulations of the SPT. To this end, the mechanical properties of different materials, including alloyed steels particularly stainless steels as well as nickel-based alloys, will be investigated using SPT tests under different conditions, including different microstructures and strain rates.

The coupling with the mechanical simulation, which has already been developed by the laboratories, will make it possible to assess the robustness of the methodology, particularly the consistency between experimental and simulation results for different structural materials.

The intern will carry out several experimental campaigns on different materials and under various testing conditions, in particular by varying the specimen thickness and strain rate. The resulting force-displacement curves will then be analyzed and compared using the identification method developed as part of the OPTISCRAPS PhD project, in order to assess its robustness and range of applicability.

The results obtained will contribute to improving the understanding of material behavior during SPT experiments and will help establish an experimental database to support material characterization and identification activities carried out within the OPTISCRAPS project, as well

as future projects focused on developing metallic alloys for high-temperature applications (accounting for thermal aging or environmental effects—e.g., in power generation, transport, etc.).

Techniques / Methods Used

- Performing mechanical tests (Small Punch Tests) on miniature specimens
- Planning and conducting experimental campaigns
- Metallographic preparation and preparation of mechanical test specimens
- Acquisition and analysis of force-displacement curves
- Fractography using scanning electron microscopy (SEM)
- Comparison of the responses of different materials
- Investigation of the influence of experimental conditions on the results
- Use of Python for processing and analyzing experimental data in connection with SPT simulations

Candidate Profile

- Master 2 student in Mechanical Engineering, Materials Science, Mechanical Engineering, Experimental Mechanics, or a related field
- Good knowledge of mechanics of materials and mechanical characterization and simulation
- Strong interest in experimentation and materials characterization
- Programming skills in Python would be an advantage
- Ability to work in a research environment and communicate scientific results