Stagiaire F/H : Comportement mécanique des métaux amorphes au-dessus de la température de transition vitreuse

Localisation
Campus d'Angers
2 boulevard du Ronceray
49100 ANGERS

Emploi
Stage

Durée
5 mois

Quotité de travail
Temps plein

Stage disponible à partir du
01/02/2027

Candidature :

CV et lettre de motivation à envoyer par mail à :

LAVISSE Bruno
bruno.lavisse@ensam.eu

MOUSSALLEM Rita
rita.moussallem@ensam.eu

Date de publication
03/11/2026

Référence pass.fonction-publique.gouv.fr
S-2026-241076

Qui sommes-nous ?

Grand établissement technologique, **Arts et Métiers** compte 14 sites et a pour mission principale de former les leaders des industries responsables, qui conçoivent et mettent en œuvre les innovations technologiques et organisationnelles impactantes, indispensables aux transitions énergétiques environnementales et sociétales. Il forme chaque année plus de 6 000 étudiant·e·s du bac+3 jusqu'au bac+8.
Par ses formations, ses 15 laboratoires et sa recherche partenariale, Arts et Métiers est un acteur socio-économique au service des territoires.

Environnement du poste

Vous travaillerez au sein du Laboratoire Angevin de Mécanique, Procédés et innovAtion, LAMPA (lampa.artsetmetiers.fr) qui est un laboratoire de recherche reconnu pour son excellence scientifique et son engagement envers l'industrie du futur. Notre mission : repousser les frontières de la connaissance en mécanique, en procédés avancés de fabrication, en durabilité des matériaux et en innovation technologique.

Compétences à développer / Objectif

Afin de répondre aux besoins industriels croissants, de nouveaux matériaux sont développés en permanence. Les métaux amorphes (Bulk Metallic Glasses, BMG) en font partie. En effet, ces matériaux ne possèdent pas la structure cristalline caractéristique des métaux conventionnels. Créés en 1959 [1], ils présentent des propriétés remarquables, qui dépendent de leur composition, telles que leur biocompatibilité ainsi qu'une résistance mécanique élevée associée à une importante capacité de déformation plastique (de l'ordre de 1,8%) [2]. Ces caractéristiques leur confèrent un fort potentiel pour diverses applications industrielles, notamment dans les secteurs de l'aérospatial, du biomédical et de l'horlogerie. Néanmoins, le comportement des BMG demeure encore insuffisamment connu et leur sensibilité aux hautes températures peut engendrer des difficultés lors de leur mise en forme, en particulier pendant les opérations d'usinage, pouvant conduire à l'apparition des fissures, à la cristallisation ou à la fracture du matériau [3].

En revanche, les verres métalliques présentent également, comme tous les matériaux vitreux, un phénomène de transition vitreuse et un domaine de liquide surfondu qui leur confèrent une grande aptitude à la déformation à chaud [4] (Figure 1). Leur remarquable capacité de déformation est souvent comparée à celle obtenue par les souffleurs de verre lors de la mise en forme des verres de silice. Afin de faciliter l'usinage, il est envisagé de porter ces matériaux à une température suffisamment élevée, supérieure à la température de transition vitreuse (T_g), tout en restant inférieure à la température de cristallisation.

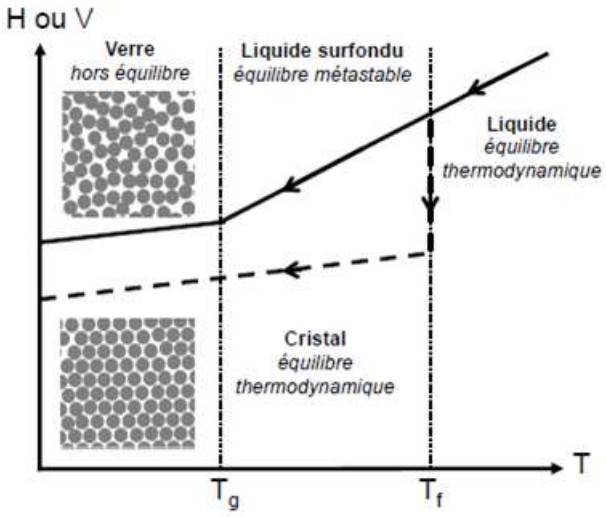


***Figure 1: Variation de l'enthalpie (H), ou du volume (V), en fonction de la température lors du refroidissement d'un métal pur** [4]*

Ainsi, l'objectif de ce stage sera d'étudier le comportement des métaux amorphes au-delà de T_g à travers des essais de caractérisation, afin de mieux comprendre les mécanismes de déformation mis en jeu dans ce domaine de température. En effet, le comportement de ces matériaux dans ces conditions, notamment à fortes vitesses de déformation, demeure encore mal connu. Les connaissances actuelles restent limitées, ce qui ne permet pas encore d'établir un lien clair entre les mécanismes observés lors des essais de caractérisation et ceux mis en jeu lors de l'usinage.

Le stage débutera par une étude bibliographique sur l'usinage et le comportement mécanique des métaux amorphes à une température supérieure à leur température de transition vitreuse. Une campagne expérimentale sera réalisée afin de caractériser le comportement thermomécanique des métaux amorphes. Pour cela la machine GLEEBLE 3500 (Figure 2) sera utilisée pour étudier le comportement des métaux, soumis à des sollicitations thermomécaniques, afin de caractériser les mécanismes qui régissent leur réponse. Ce simulateur physique permet de réaliser des cycles thermomécaniques rapides et complexes, avec des vitesses de chauffe très importantes générées par effet Joule [5]. Cette machine servo-hydraulique est capable d'exercer des efforts jusqu'à 100 kN pour des vitesses de déplacements pouvant atteindre 1 $m.s^{-1}$. En outre, elle offre une bonne flexibilité dans le choix des sollicitations imposées ainsi que le type d'éprouvettes employées (traction, compression, cisaillement).

Les essais expérimentaux sur la machine GLEEBLE doivent être instrumentés thermiquement afin de suivre le comportement des matériaux et les potentiels mécanismes induits au sein des matériaux par leur déformation et la température. Bien que la machine soit déjà instrumentée par un thermocouple de type K, l'observation sera faite par une caméra infrarouge afin d'obtenir une carte thermique complète contrairement au thermocouple qui ne fournit qu'une mesure ponctuelle. Ces observations permettent également de vérifier l'homogénéité de la température au sein de l'éprouvette, notamment quand sa géométrie est complexe. Cette vérification est fondamentale étant donné que l'hétérogénéité thermique risque de fausser l'interprétation des résultats, néanmoins à des vitesses de chauffe très élevées.

Les résultats de l'essai GLEEBLE seront couplés avec des observations microstructurales (microscopie optique, microscopie électronique, diffractométrie) afin d'observer les potentielles évolutions de la microstructure générées par les sollicitations mécaniques dépendamment de la température imposée.



Figure 2: Machine GLEEBLE 3500

Références bibliographiques :

[1] W. Klement, R. H. Willens, et P. Duwez, « Non-crystalline Structure in Solidified Gold–Silicon Alloys », Nature, vol. 187, no 4740, p. 869-870, sept. 1960, doi: 10.1038/187869b0.

[2] W. L. Johnson, « Bulk Glass-Forming Metallic Alloys: Science and Technology », MRS Bull., vol. 24, no 10, p. 42-56, oct. 1999, doi: 10.1557/S0883769400053252.

[3] M. Bakkal, C. T. Liu, T. R. Watkins, R. O. Scattergood, et A. J. Shih, « Oxidation and crystallization of Zr-based bulk metallic glass due to machining », Intermetallics, vol. 12, no 2, p. 195-204, févr. 2004, doi: 10.1016/j.intermet.2003.09.017.

[4] J. Ragani, « Elaboration par co-déformation de matériaux stratifiés alliage léger / verre métallique ».

[5] A. Hor, « Simulation physique des conditions thermomécaniques de forgeage et d'usinage: caractérisation et modélisation de la rhéologie et de l'endommagement ».

Activités

A ce titre, le ou la stagiaire, effectuera les activités suivantes :

- **État de l'art** : Établir une revue bibliographique sur l'usinage et le comportement mécanique des métaux amorphes à une température supérieure à leur température de transition vitreuse.
- **Étalonnage et calibration de la caméra infrarouge :** Cette étape vise à régler les paramètres de la caméra (notamment le temps d'intégration) en fonction des plages de température observées et des vitesses de déformation adoptées.
- **Campagne expérimentale :** Instrumenter la machine GLEEBLE par la caméra infrarouge et réaliser des essais à des températures supérieures à la T_g sous différents modes et vitesses de déformations.
- **Caractérisation microstructurale :** Observation des microstructures avant et après les tests thermomécaniques afin d'observer les potentiels changements de phase ayant lieu, notamment la cristallisation.

Pré-requis

Ce stage est fait pour vous si :

- Vous avez des compétences en caractérisation microstructurale des matériaux.
- Vous avez des connaissances en usinage.
- Vous avez des bases en instrumentation et en essais expérimentaux.
- Vous avez des connaissances en transfert thermique radiatif.
- Vous avez des notions en méthodes numériques (Idéalement Matlab ou Python).
- Vous êtes rigoureux, autonome et motivé pour la découverte du monde de la recherche académique.

Informations complémentaires

Déplacements : non

Télétravail : non

Types d'expériences requises : Aucune

Langues parlées souhaitées : Français et Anglais

Niveau d'études : Master 2 ou équivalent

Vos données personnelles

Arts et Métiers traite vos données personnelles en conformité avec le RGPD et la loi informatique et libertés.
Ce traitement s'effectue aux fins de gestion de votre candidature et d'évaluation de vos compétences au regard du poste/du stage pour lequel vous candidatez.
Pour tout exercice de droits sur vos données personnelles, vous pouvez contacter le délégué à la protection des données d'Arts et Métiers à l'adresse dpo@ensam.eu
Pour connaitre de manière exhaustive les données collectées par l'ENSAM et les modalités de traitement de vos données, vous pouvez consulter la politique de protection des données personnelles Arts et Métiers y afférente ici.