

PhD position

DEVELOPMENT OF NUMERICAL METHODS FOR THE SIMULATION THE MACHINING PROCESS OF A PART PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING

The use of additive manufacturing (AM) is becoming very popular in many industries. There are many different technologies today that fall into the category of AM, and they all share a common characteristic: their ability to create parts with highly complex geometries, which is not always possible with conventional processes. Despite this considerable advantage, some applications have surface quality requirements that are not met by the additive manufacturing process.

In these cases, a machining process is required to produce the final part. In this context, Labomap/ENSAM, LEM3/Université de Lorraine and CEMEF/Mines Paris have joined forces to study the machining process for parts manufactured by AM, thanks to the ANR-funded CENTURION project. The CENTURION project focuses on AM using laser powder melting (L-PBF) and machining, without heat treatment, to produce high-quality parts in Inconel 718 (IN718).

PROPOSED PHD PROJECT

The aim of the thesis is to develop a version of the industrial software Forge®, which allows the modeling of the machining process. To achieve this, the PhD student will **develop and implement**:

- An explicit formulation of the software's mechanical and thermal resolutions. This will involve ensuring the compatibility of the approaches with the use of tetrahedral finite elements needed to manage automatic remeshing.
- The coupling of the new formulation with the use of the field method and intensive remeshing to propagate cracks.
- The anisotropic behavior law identified by the other project partners.
- The friction conditions will be studied by the project partners and must be correctly introduced in the explicit version of the software.

NUMERICAL MODELING

Machining processes induce significant plastic deformation at high strain rates. Simulating this process is a challenge because, in addition to the non-linearities associated with plastic deformation at high strain rates, it involves the complexities induced by contact and friction at the interface of material and tool.

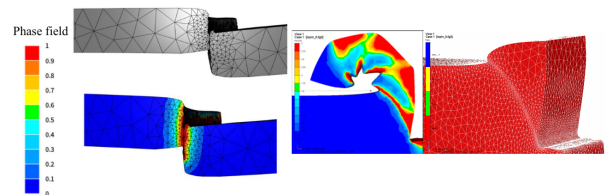
All numerical simulations will be carried out using Forge® software, which can handle problems involving large deformations and complex contacts. **Forge® is the world's leading software** for the simulation of material forming processes. The solver currently available is implicit and not suited to the study of machining processes.

Mines Paris
 CEMEF 1 rue Claude Daunesse CS 10207,
 06904 Sophia Antipolis, France
Advisors
 katia.mocellin@minesparis.psl.eu
 daniel.pino_munoz@minesparis.psl.eu
 yancheng.zhang@minesparis.psl.eu

The first task of this project is to develop an explicit solver to simulate the machining process in more reasonable computation times. The anisotropic behavior law identified by the other project partners will be implemented in Forge® and coupled with the existing damage and cracking modeling framework.

This damage modeling framework is based on the use of the Phase-Field method and intensive remeshing to propagate cracks (see figure below, left) [Eldahshan *et al.*, 2022]. Friction conditions will be studied by the project partners and will have to be correctly introduced in the explicit version of the software.

The coupling between the explicit version of Forge® and the phase-field damage and fracture simulation framework will enable the machining process to be simulated. Simulation results will be validated against experimental tests carried out by other project partners.



Approach proposed in the study: Left: Phase-field damage to fracture framework [Eldahshan *et al.*, 2022] ; right: 3D modeling of machining with adaptive mesh (PhD Thesis F. Delalondre, 2008)

CANDIDATE PROFILE

The candidate must have a keen interest in numerical methods and the numerical modeling of complex systems. Knowledge of solid mechanics, Fortran programming skills and materials testing are undeniable assets.

PARTNERS

The CENTURION project is funded by the ANR (ANR-22-CE08-0028), and close collaboration is expected between the various PhD students who will be working simultaneously on the project.

Offre de thèse de doctorat

DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES NUMÉRIQUES POUR LA SIMULATION DU PROCÉDÉ D'USINAGE D'UNE PIÈCE PRODUITE PAR FABRICATION ADDITIVE

Le recours à la fabrication additive (AM) devient très populaire dans de nombreuses industries. Il existe aujourd'hui un grand nombre de technologies différentes qui entrent dans la catégorie de la AM et elles ont toutes une caractéristique commune : leur capacité à créer des pièces avec des géométries très complexes, ce qui n'est pas toujours possible avec les procédés conventionnels. Malgré cet avantage considérable, certaines applications présentent des exigences en matière de qualité de surface qui ne sont pas satisfaites par le processus de AM.

Un processus d'usinage est alors nécessaire pour obtenir la pièce finale. Dans ce contexte, Labomap/ENSAM, LEM3/Université de Lorraine et CEMEF/Mines Paris se sont associés pour étudier le processus d'usinage des pièces fabriquées par AM grâce au projet CENTURION financé par l'ANR. Le projet CENTURION est centré sur la AM par fusion laser de poudre (L-PBF) et l'usinage, sans traitement thermique, pour produire des pièces de haute qualité en Inconel 718 (IN718).

SUJET DE THÈSE

L'objectif de la thèse est de développer une version du logiciel industriel Forge®, qui permette la modélisation du procédé d'usinage. Pour cela le doctorant devra **développer et implémenter** :

- Une formulation explicite des résolutions mécanique et thermiques du logiciel. Pour cela il faudra veiller à la compatibilité des approches avec l'utilisation d'éléments finis tétraédriques nécessaires à la gestion du remaillage automatique.
- Le couplage entre la nouvelle formulation avec l'utilisation de la méthode de champ et le remaillage intensif pour propager les fissures
- La loi de comportement anisotrope identifiée par les autres partenaires du projet
- Les conditions de frottement seront étudiées par les partenaires du projet et devront être correctement introduites dans la version explicite du logiciel.

SIMULATION NUMÉRIQUE

Les processus d'usinage induisent une déformation plastique importante à un taux de déformation élevé. La simulation de ce processus est un défi car, en plus des non-linéarités liées à la déformation plastique à taux de déformation élevé, elle implique les complexités induites par le contact et le frottement à l'interface du matériau et de l'outil.

Toutes les simulations numériques seront réalisées à l'aide du logiciel Forge®, qui permet de traiter les problèmes de grandes déformations et de contacts complexes. **Forge® est un logiciel leader mondial** utilisé pour la simulation des procédés de mise en forme des matériaux. Le solveur actuellement disponible est implicite et n'est pas adapté à l'étude des processus d'usinage.

La première tâche de ce projet consiste à développer un solveur explicite pour simuler le processus d'usinage dans des temps de calcul plus raisonnables.

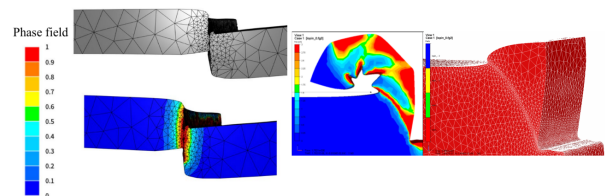
Mines Paris
 CEMEF 1 rue Claude Daunesse CS 10207,
 06904 Sophia Antipolis, France
 Encadrement
 katia.mocellin@minesparis.psl.eu
 daniel.pino_munoz@minesparis.psl.eu
 yancheng.zhang@minesparis.psl.eu

La loi de comportement anisotrope identifiée par les autres partenaires du projet sera implémentée dans Forge® et couplée au cadre existant de modélisation de l'endommagement et de la fissuration.

Ce cadre de modélisation de l'endommagement est basé sur l'utilisation de la méthode de champ de phase ou Phase-Field et d'un remaillage intensif pour propager les fissures (voir la figure ci-dessous, à gauche) [Eldahshan *et al.*, 2022].

Les conditions de frottement seront étudiées par les partenaires du projet et devront être correctement introduites dans la version explicite du logiciel.

Le couplage entre la version explicite de Forge® et le cadre de simulation de l'endommagement et de la rupture par champ de phase permettra de simuler le processus d'usinage. Les résultats de la simulation seront validés par rapport aux tests expérimentaux effectués par d'autres partenaires du projet.



Approche proposée : À gauche : Utilisation de Phase field pour simulation la transition endommagement/fissure [Eldahshan *et al.*, 2022] ; à droite : modélisation 3D de l'usinage avec maillage adaptatif (Thèse de F. Delalondre, 2008)

PROFIL DU CANDIDAT

Le candidat doit avoir un intérêt marqué pour la méthode numérique et la modélisation numérique de systèmes complexes. Une connaissance de la mécanique des solides, des compétences en programmation en Fortran et des essais de matériaux sont des atouts indéniables.

PARTENAIRES DU PROJET

Le projet CENTURION est financé par l'ANR (ANR-22-CE08-0028) et une collaboration étroite est attendue entre les différents doctorants qui travailleront simultanément dans le projet.