

Optimisation du procédé CMT (Cold Metal Transfer) pour la réparation de composants aéronautiques

Présentation générale du projet (dont contexte) :

Avant la crise du Covid, le secteur de l'aéronautique connaissait un cycle de croissance et de transformation importants. Le principal vecteur de cette évolution est la réussite commerciale des avions monocouloirs remotorisés. En moins de 10 ans, les A320neo et Boeing 737 max ont connu un nombre record de vente. Ce succès auprès des compagnies aériennes s'explique par les réductions de consommation de carburant (jusqu'à 15%) atteintes par la nouvelle génération de turboréacteurs équipant ces avions.

Dans le cas du LEAP (le moteur développé et produit par GE et Safran Aircraft Engines qui équipe la majeure partie des a320neo et Boeing 737max), ce niveau de performance a été atteint grâce au déploiement de nouvelles technologies telles que des aubes à profil 3D et de nouveaux matériaux.

La complexité apportée dans la conception de ces turboréacteurs impacte leur production, leur maintenabilité et leur réparabilité.

Cette complexification de l'architecture moteur s'est accompagnée d'une évolution dans l'offre de service proposée par les motoristes aux compagnies aériennes. On est ainsi passé d'un modèle de vente libre de turboréacteurs avec une maintenance facturée à chaque prestation à une vente sous contrat à l'heure de vols avec maintenance incluse.

Ce changement signifie beaucoup dans le secteur de la réparation. Concrètement, dans le cas du moteur LEAP, les ateliers devront réparer un plus grand nombre de pièce (étant donné les volumes d'engins vendus), de plus grande complexité et avec des coûts mieux maîtrisés, en résumé, **réparer plus, plus vite et mieux !**

Bien que la crise du Covid a fortement impacté le secteur aéronautique, ce défi reste pleinement d'actualité et n'est atteignable que par le biais de transformation majeure dans les cycles et process de réparation actuels. Le site Safran Aircraft Engines de Châtelleraut (centre d'excellence du groupe dans le domaine de la réparation) doit s'y engager en déployant notamment sur ces lignes de production de nouvelles technologies. Les procédés de fabrication additive font partie de ces nouveaux moyens qui améliorent les cycles de réparation. Leur maîtrise est essentielle à moyen terme afin de pouvoir répondre aux nouveaux enjeux du secteur.

Pour rappel, la fabrication (ou réparation) additive consiste à obtenir une pièce (ou une fonctionnalité sur une pièce existante) par ajout localisé de matière.

Safran Aircraft Engines souhaite lancer un projet collaboratif avec l'institut Pprime. Ce travail commun permettra à l'industriel de profiter de l'excellence scientifique du pôle mécanique des matériaux de l'institut dans son appréhension des matériaux aéronautiques (base nickel et titane) issus de fabrication additive.

L'objectif des travaux conjoints est la maîtrise de l'ensemble du cycle de réparation par procédé de fabrication additive : de l'approvisionnement du matériau métallique utilisé pour réparer les composants (savoir spécifier et élaborer) à la maîtrise des valeurs de dimensionnement (définir la tenue mécanique des zones réparées) en passant par la mise en œuvre du procédé de fabrication additive (savoir mettre en œuvre et contrôler).

Pour Safran Aircraft Engines, la maîtrise de la fabrication additive dans ces process de réparation permettra d'accentuer sa position de leader du marché de la réparation et de continuer à développer son site de Châtelleraut.

Pour la région Poitou-Charentes, il s'agira de développer un pôle d'excellence scientifique à l'ENSMA autour des matériaux aéronautiques élaborés par fabrication additive, proche et à l'écoute des besoins des industriels de la région.

Objectifs recherchés et résultats escomptés :

Des composants d'intérêts majeurs dans l'évolution qui se profile du marché de réparations de composants de turboréacteurs sont les pièces structurantes situées au niveau de la turbine basse pression.

Il s'agit majoritairement de composants forgés de grande dimension en superalliages base nickel à très haute valeur ajoutée (coût unitaire de chaque pièce supérieur à 100 k€ dans la plupart des cas). Ces pièces présentent des zones d'usures (léchettes, rails, surface d'appui) qui, après un certain nombre de cycle moteur, doivent être réparées par reconstruction afin de permettre leur remonte.

Usuellement, les procédés de reconstruction mis en œuvre sont issus des technologies d'assemblage métallurgique type soudage (arc, LASER ou Faisceau d'électrons). Bien que le procédé soit le même, les caractéristiques d'un matériau obtenu par rechargement sont foncièrement différentes d'un assemblage soudé.

Une étude spécifique du matériau obtenu est nécessaire afin de comprendre l'effet des multiples cycles thermiques auquel est soumis le matériau rechargé lors de la mise en œuvre du procédé. Elle doit intégrer une caractérisation fine de la métallurgie obtenue (dans le substrat et dans le volume rechargé) et aboutir à une bonne connaissance des propriétés mécaniques du rechargement.

Nous proposons de mener ces travaux dans le cadre d'une collaboration entre Safran Aircraft Engines et l'institut Pprime. Cette collaboration vient sceller un partenariat évident, du fait des thématiques abordées et de la proximité géographique, entre les deux parties.

Les résultats obtenus seront exploités en vue d'aboutir à la certification des procédés de fabrication additive dans le domaine de la réparation aéronautique. Cela apportera au site Safran Aircraft Engines de Châtellerault un avantage concurrentiel dans un secteur mondialisé en pleine transformation et un maintien d'une activité industrielle à très forte valeur ajoutée dans la région Poitou-Charentes.

Présentation détaillée du projet : détailler les actions mises en œuvre pour réaliser le projet

Dans le domaine de la réparation aéronautique, l'utilisation des procédés de fabrication additive reste anecdotique. Pour accélérer leur essor, toute la chaîne de valeur associée aux procédés doit être maîtrisée. Cela inclut l'approvisionnement du métal à déposer, la mise en œuvre du procédé et la conception des réparations.

L'objectif du projet de collaboration est d'approfondir nos connaissances dans ces trois thématiques, dans le cas particulier de réparation de pièces en Waspaloy (NiCr20Co13Mo4Ti3Al) et en INCONEL 718 (NiCr19Fe19Nb5Mo3) par procédé DED (Direct Energy Deposition) type LMD-p (LASER Metal Deposition-powder) ou CMT (Cold Metal Transfer).

En reprenant ces trois items, on détaille ci-dessous les attendues du projet :

Maîtriser l'approvisionnement :

Objectif :

Pour cette thématique, le projet devra permettre de caractériser différentes sources de métal d'apport (MA), de définir les paramètres clefs de leur élaboration, leur influence dans la mise en œuvre du procédé et d'apprendre à spécifier leur approvisionnement en vue d'obtenir un MA utilisable dans le cadre de la réparation de matériel aéronautique.

Proposition de mode de fonctionnement :

Safran Aircraft Engines fournira à Pprime des lots de poudre approvisionnés dans le commerce et éventuellement élaboré par ses soins pour une caractérisation fine du MA. Ces caractérisations comportent une analyse chimique fine, une évaluation microstructurale, une caractérisation de la distribution granulométrique de la poudre, ...

Ces lots de poudre seront utilisés pour reconstruction par technologie DED (essentiellement LMD-p) en interne Safran Aircraft Engines MRO (le site de Châtellerauld disposant déjà d'un moyen), ce qui permettra d'établir un lien entre les caractéristiques des lots de poudre et leur conséquence dans la mise en œuvre du procédé.

Maîtriser la mise en œuvre du procédé :

Objectif :

L'objectif de l'étude dans cette thématique est d'apporter une meilleure compréhension du lien « paramètre procédé- métallurgie obtenue sur pièce ». Pour ces matériaux base nickel sensibles à la fissuration, à la génération de porosités et dont la métallurgie dépend du cycle thermique subi, les paramètres puissance LASER, vitesse d'avance, débit de poudre, stratégie de fabrication impactent directement la qualité du rechargement obtenu.

Etablir la cartographie des microstructures obtenues fonction des paramètres utilisés ; définir l'influence du procédé sur les défauts (porosités, fissures) engendrés sont des tâches nécessaires à la maîtrise industrielle du procédé.

Proposition de mode de fonctionnement :

Safran Aircraft Engines MRO élaborera, sur base d'un plan d'expérience défini en collaboration, des blocs de matériau par procédé DED (type LMD-p ou, CMT par exemple) pour expertise métallurgique fine à l'institut Pprime.

Les outils de simulation numérique pourront aussi être utilisés afin de prédire les microstructures obtenues fonction des paramètres et stratégie de rechargement utilisés.

Maîtriser la conception de réparation :

L'objectif de l'étude dans cette thématique est de produire des données mécaniques utilisables pour le dimensionnement des pièces rechargées par les procédés type DED. Un focus particulier sera mis dans la compréhension de l'impact des microstructures obtenues sur les tenues mécaniques. L'étude mécanique devra être menée sur le matériau à recharger (substrat de la reconstruction) ainsi que sur le matériau obtenu par rechargement. Seront évaluées les propriétés à chaud (jusqu'à 900°C) en traction, fatigue et fluage des zones réparées. De par la spécificité des procédés de réparation considérés, la mise au point d'essais sur des micro-éprouvettes et d'essais in situ à chaud dans la chambre d'un microscope électronique à balayage seront nécessaires.

Spécificités du sujet de thèse :

Dans le cadre de ce projet de thèse focalisé plus particulièrement sur le CMT, avec une visée Waspaloy/Inconel 718, un focus tout particulier sera porté sur l'anisotropie de comportement mécanique à chaud (traction, LCF, fluage), résultant des textures observées dans la microstructure des zones réparées. A la différence du procédé LMD poudres, la transposition des résultats d'essais mécaniques obtenus aux propriétés de la zone réparée sera ici moins ardue, de par les plus forts débits de matière lors de ce procédé de réparation.

Un des axes à creuser sera également l'analyse des contraintes résiduelles et la capacité à les relâcher par traitement thermique notamment ou par optimisation du procédé.

Cette thèse pourra s'appuyer à la fois sur les connaissances déjà acquise lors d'une thèse de ce projet déjà en en cours et focalisée sur le LMD Waspaloy, mais aussi sur d'autres études en cours à Pprime en collaboration avec d'autres laboratoires (ILL – Grenoble, Fraunhofer Dresde) sur un procédé WAM (Wire Additive Manufacturing) appliqué à l'Inconel 718.

Profil recherché :

Ingénieur ou Master, avec une spécialisation en Métallurgie et/ou Mécanique des Matériaux et/ou Aéronautique. Une bonne maîtrise de l'Anglais est indispensable. Une connaissance de la métallurgie des superalliages et des procédés de fabrication additive seraient des plus indéniables.

Activités prévues :

Préparations métallographiques, réalisations d'essais mécaniques à chaud, analyse des modes de rupture, analyse de microstructures (MEB, EBSD, EDX, potentiels essais in situ dans la chambre du MEB ...), Optimisation du procédé de réparation CMT.

Contacts :

Sébastien Rix, Safran Aircraft Engines Châtellerault, sebastien.rix@safrangroup.com
Jonathan Cormier, ISAE-ENSMA, Futuroscope-Chasseneuil, jonathan.cormier@ensma.fr