

ENCYCLOPÉDIE

RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM AU QUÉBEC

Journée étudiante du REGAL

ENCYCLOPEDIA

RESEARCH ON ALUMINIUM IN QUEBEC

REGAL Students' Day

18^e édition

18th edition

2021

ENCYCLOPÉDIE DE LA RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM AU QUÉBEC 2021

THE ENCYCLOPEDIA OF RESEARCH ON ALUMINIUM IN QUEBEC 2021

Table des matières Table of contents

Comité éditorial / Editorial committee.....	6
Préface / Preface.....	7
Formations / Formations.....	8
Conférences / Lectures.....	10
Affiches / Posters*.....	15
AXE 1 : Production de l'aluminium / Aluminium Production.....	15
AXE 2 : Transformation et applications / Transformation and applications.....	30
Remerciements / Acknowledgements.....	67

*La liste complète des affiches est disponible au début de chaque section.

Centre de recherche sur l'aluminium – REGAL

Université Laval

1065, avenue de la Médecine, local 1746

Québec (Québec) G1V 0A6

Canada

Téléphone : 418 656-2362

www.regal-aluminium.ca

Montage graphique / Graphic assembly

Service de reprographie de l'Université Laval

Infographie / Layout

Marquis Interscript Inc.

Coordination / Coordination

Marie-Louise Tremblay

Centre de recherche sur l'aluminium – REGAL

Tous droits réservés. Sauf à des fins de citations, toute reproduction d'un extrait quelconque de ce livre, par quelque procédé que ce soit, est strictement interdite sans la permission écrite de l'éditeur.

All rights reserved. Other than for purpose of citation, all reproduction of any part of this book, by any process is strictly forbidden without the permission of the publisher.

© Centre de recherche sur l'aluminium – REGAL, 2022

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2022 / *Copyright – Quebec National Library*

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Canada, 2022 / *Copyright – Canadian National Library*

ISBN : 978-2-9815930-5-4

18^E JOURNÉE ÉTUDIANTE DU REGAL

18TH REGAL STUDENTS' DAY



Équipe d'organisation

Houshang Alamdari
Directeur du REGAL



Marie-Louise Tremblay
Coordonnatrice du REGAL



Gheorghe Marin
Directeur général du CMQ



Lise Bourdages
Chargée de projets administratifs

Support à la JER

Simon Laliberté-Riverin
Justin Plante
Pauline Fichter
Nafiseh Shadvar
Farzaneh Vahidi Mayamey

Hubert Gauvin
Marie Aimée Tuyizere Flora
Cyril Aulagnier
Olivier Lacroix
Mario Fafard

En tant qu'institution membre REGAL depuis ses débuts, le Centre de métallurgie du Québec (CMQ), un centre collégial de transfert technologique faisant partie de la grande famille du Cégep de Trois-Rivières, est fier d'avoir accueilli à Trois-Rivières la 18^e édition de la Journée étudiante du REGAL, soit la JER2021. Une fois de plus, les partenaires financiers étaient au rendez-vous pour cette nouvelle édition afin de contribuer à sa réussite tout en offrant plusieurs bourses aux étudiants et aux étudiantes qui se sont démarqué(e)s. MERCI à vous!

La JER est une opportunité extraordinaire de présenter les résultats de recherche sous la forme d'affiches ou de conférences et en faire un résumé aux visiteurs et membres du jury qui ont pu apprécier les capacités de vulgarisation de leurs auteurs sur des travaux souvent bien prometteurs pour l'industrie. Cet événement annuel génère des retombées importantes pour les étudiants et étudiantes membres du REGAL. Il procure également une visibilité aux professeurs et professeures qui les accompagnent dans leur parcours de recherche en vue d'obtenir leur diplôme de 2^e ou 3^e cycle. Et quelle belle occasion de réseautage et de partage de connaissances sur les réalités du terrain et les avancées pour l'industrie de l'aluminium que de joindre la tenue de la JER2021 à l'événement du Colloque Aluminium +, réunissant des acteurs de l'écosystème de l'aluminium au Québec à Trois-Rivières où la recherche, la fabrication de produit et les procédés de transformation ont fait l'objet de présentations.

Ce fut un réel plaisir de soutenir la tenue de cette 18^e édition et la tenue des activités du Colloque Aluminium + dans une complicité avec son directeur, Houshang Alamdari, et sa coordonnatrice, Marie-Louise Tremblay. L'intégration des activités dans un horaire procurant l'accessibilité à toutes les plages horaires, tout en respectant l'identité des deux événements ainsi que leurs partenaires financiers respectifs, a été un succès aux dires des collaborateurs et des partenaires financiers!

Nous souhaitons des retombées concrètes à l'ensemble des participants, pour les avancées dans l'industrie de l'aluminium!

Et bon succès à la JER2022, organisée par l'UQAC l'an prochain, à Chicoutimi!

As a REGAL member institution since its beginnings, the Centre de métallurgie du Québec (CMQ), a college center for technology transfer that is part of the Cégep de Trois-Rivières family, is proud to have hosted the 18th edition of the REGAL Student Day in Trois-Rivières, the JER2021. Once again, the financial partners were present for this new edition to contribute to its success while offering several scholarships to the students who distinguished themselves. THANK YOU!

The JER is an extraordinary opportunity to present research results in the form of posters or conferences and to summarize them for visitors and jury members who were able to appreciate the ability of their authors to present promising work for the industry. This annual event generates important benefits for REGAL students and members. It also provides visibility to the professors who accompany them on their research journey towards their graduate degree. And what a great opportunity to network and share knowledge on the realities of the field and the advances for the aluminum industry than to join the holding of the JER2021 to the Aluminium + Colloquium event, bringing together players in the Quebec aluminum ecosystem in Trois-Rivières where research, product manufacturing and transformation processes were the subject of presentations.

It was a real pleasure to support the holding of this 18th edition and the activities of the Aluminium + Symposium in complicity with its director, Houshang Alamdari, and its coordinator, Marie-Louise Tremblay. The integration of the activities in a schedule that provides accessibility to all time slots, while respecting the identity of the two events and their respective financial partners, was a success according to the collaborators and financial partners!

We wish all participants concrete benefits for the advancement of the aluminum industry!

And good luck with the JER2022, organized by UQAC next year, in Chicoutimi!



Gheorghe Marin

Directeur général du CMQ

FORMATIONS FORMATIONS



Les transformateurs d'aluminium à l'ère des transitions

La conférence brossera d'abord un tableau de la contribution du secteur de la fabrication à l'économie ainsi que des principaux enjeux du secteur de la transformation de l'aluminium. La deuxième partie présentera les principales transitions dites « habilitantes » ou « préoccupantes » qui pourraient renforcer ou affaiblir le positionnement des fabricants en sortie de crise sanitaire.

The era of transitions – What lies ahead for aluminium

More than ever, change is the only constant for manufacturers. It challenges current business models and management best practices. The “Era of transitions” conference will cover the following contents: current impact of the manufacturing sector in our economy, current and future critical issues for aluminium transformers, as well as the unveiling of 12 major transitions which transformers must pay attention to in the post C-19 era.



Louis J. Duhamel
MBA, IAS.A
Deloitte

Application de l'aluminium pour les réseaux de conducteurs de courant continu à haut ampérage : science et ingénierie

Les conducteurs en aluminium sont utilisés à grande échelle pour acheminer le courant continu nécessaire à plusieurs procédés métallurgiques, dont l'électrolyse de l'aluminium. L'analyse, la conception, la modification et la réparation des circuits de conducteurs impliquent la prise en compte des aspects électriques, thermiques, magnétiques, mécaniques et de leurs couplages. Un ensemble d'outils analytiques et numériques est utilisé pour l'ingénierie et la mise en oeuvre de ces circuits, incluant pour les joints boulonnés et clampés. Par un survol de quelques projets industriels récents, cet exposé mettra en lumière le passage des calculs à la réalité, et proposera quelques perspectives et avenues de recherches potentielles.

Aluminum busbars are widely used on a large scale to carry the direct current required for several metallurgical processes, including aluminium electrolysis. The analysis, design, modification, and repair of busbar circuits involves consideration of electrical, thermal, magnetic and mechanical fields, as well as their coupling aspects. A set of analytical and numerical tools is used for the engineering and implementation of these circuits, including bolted and clamped joints. Through an overview of some recent industrial projects, this presentation will highlight the journey from calculations to reality, and will propose some perspectives and potential avenues of research.



Daniel Richard
Ing., Ph. D.
Associé chez
Hatch Saguenay

Analyse de cycle de vie dans le domaine de l'aluminium

Introduction et présentation à la pensée cycle de vie ; Données et hypothèses pertinentes pour évaluer les impacts environnementaux et les coûts d'une passerelle multifonctionnelle ; Principaux contributeurs à l'impact environnemental d'une passerelle multifonctionnelle ; Empreinte carbone et coût total de propriété d'une passerelle cyclable/piétonne.

Introduction and presentation of life cycle thinking; Relevant data and assumptions to assess the environmental impacts and costs of a pedestrian and bicycle bridge; Main contributors to the environmental and economic impacts of this type of structure; Evaluation of the Carbon footprint and total cost of ownership of 5 bicycle / pedestrian bridges.



Alban Pilard
M. Ing.
Groupe AGÉCO

CONFÉRENCES LECTURES



Analyse non-destructive des anodes de carbone précuites - Analyse modale pour le contrôle de la qualité

Les fissures et l'anisotropie dans les blocs anodiques affectent négativement leurs propriétés et réduisent l'efficacité énergétique du procédé Hall-Héroult. Des méthodes d'analyse rapide et non-destructive ont récemment été proposées pour contrôler la qualité des anodes, telles que les technologies de mesure de la résistivité électrique et les méthodes acousto-ultrasoniques. Cependant, elles nécessitent un contact pour mesurer la réponse, ce qui peut corrompre les mesures. Ce travail étudie l'analyse modale (AM) pouvant éventuellement être appliquée sans contact. Les blocs sont excités à l'aide d'un marteau et leur réponse vibratoire est enregistrée. Les défauts modifient les fréquences de vibration des anodes et ces changements peuvent indiquer leur présence. Un jeu d'anodes a été échantillonné dans une aluminerie et soumis à l'AM. L'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée aux spectres de puissance des signaux de vibration, et les sorties de l'ACP ont été classifiées par discriminant linéaire afin de séparer les anodes saines de celles présentant des défauts externes et des différences structurales importantes. D'excellents résultats de classification ont été obtenus, montrant le potentiel de l'AM.

Non-destructive testing of baked carbonanodes - Modal analysis for quality control

Cracks, voids, anisotropy within anode blocks affect their physical, electrical and mechanical properties and reduce the energy efficiency of the Hall-Héroult process. Hence, developing rapid and non-destructive testing (NDT) methods to assess individual anodes is important. Technologies measuring anode electrical resistivity as well as acousto-ultrasonic methods were already proposed for anode quality control. However, these methods require contact to measure the response, which may lead to faulty measurements. This work investigates modal analysis (MA) as a potential contactless technique. It involves exciting the blocks using a hammer and recording their vibration response. As defects within the anodes alter their vibration frequencies, changes in the latter might indicate defects. Anodes in different stages of production and showing different types of external defects were sampled from a smelter and submitted to analysis. Principal Component Analysis (PCA) was applied to the resulting vibration power spectra, and PCA outputs were used to train a Linear Discriminant classifier to separate anodes in different production stages and those showing defects from healthy ones. Excellent classification results were obtained, showing MA's potential.



Daniel Rodrigues

Université Laval

Récipiendaire du prix
meilleure conférence
AluQuébec, 1^{er} position



Progrès dans la fabrication additive d'alliages Al-Cu via la voie de fusion laser sur lit de poudre

La fusion laser sur lit de poudre (FLLP), l'un des principaux processus de fabrication additive (FA), a permis de fabriquer des composants métalliques complexes et a suscité un vif intérêt parmi les industries pour surmonter les limites de la fabrication conventionnelle. Les alliages aluminium-cuivre (Al-Cu) n'ont pas été beaucoup explorés par le procédé FLLP. La présente étude vise à optimiser le processus FLLP ainsi que le cycle de traitement thermique pour développer des échantillons avec une résistance plus élevée que ce qui est généralement obtenu. Dans la présente étude, des alliages Al-Cu à haute densité ont été produits avec succès. La microstructure obtenue a été corrélée avec des modèles de solidification pour une meilleure compréhension des capacités et du potentiel du procédé FLLP des alliages Al-Cu.

Progress in additive manufacturing of Al-Cu alloys via Laser Powder Bed Fusion route

Laser power bed fusion (LPBF), one of the main processes of additive manufacturing (AM), has been successfully fabricating complex metal components and has triggered significant interest among industries to overcome the limitations of conventional manufacturing. Aluminium copper (Al-Cu) alloys have not been much explored using the LPBF process. The present study aims at optimising the LPBF process along with the heat treatment cycle to develop samples with higher strength than what is typically obtained. In the current study, high-density Al-Cu alloys have been successfully produced. The microstructure obtained was correlated with solidification models for a better understanding of the capabilities and potential of LPBF of Al-Cu alloys.



Satish Kumar Tumulu

McGill University





Siamak Nikzad Khangholi
Université du Québec
à Chicoutimi

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

Amélioration de la résistance mécanique et de la conductivité électrique dans les alliages de conducteurs Al-Mg-Si

L'évolution de la résistance mécanique et de la conductivité électrique (CE) ont été étudiées pour les alliages conducteurs Al-Mg-Si avec des éléments d'alliage supplémentaires (tels que Ag et Cu) en utilisant le traitement thermomécanique conventionnel et modifié. Dans le traitement thermomécanique conventionnel, les ajouts d'Ag et de Cu ont pu augmenter légèrement la dureté par rapport à l'alliage de base, tandis que la modification du traitement thermomécanique a maximisé l'effet durcissant des ajouts d'Ag et de Cu, tout en respectant le minimum requis en CE (52.5 % IACS). Le modèle de résistance mécanique a montré que la modification du traitement thermomécanique augmentait le durcissement par précipité de l'alliage de base de 60 %. Également, les ajouts d'Ag et de Cu ont encore amélioré le durcissement par précipité (20 %) sous le traitement thermomécanique modifié. La contribution au durcissement par écrouissage diminuait avec le traitement thermomécanique modifié. Cependant, il s'est révélé que le durcissement par précipité était plus élevé et a surmonté le durcissement par écrouissage qui était moins élevé dans le traitement thermomécanique modifié.

Improvement of Mechanical Strength and Electrical Conductivity in Al-Mg-Si Conductor Alloys

The strength and electrical conductivity (EC) evolutions were studied for the Al-Mg-Si conductor alloys with additional alloying elements (such as Ag and Cu) using the conventional and modified the thermomechanical treatment. In the conventional thermomechanical treatment, the additions of Ag and Cu could slightly increase the strength compared to the base alloy, while the modification of thermomechanical treatment maximized the strengthening effect of Ag and Cu additions, all fulfilling the minimum required EC (52.5%IACS). The strength model showed that modifying the thermomechanical treatment increased the precipitate hardening for the base alloy by 60%. Besides, the Ag and Cu additions further improved the precipitate hardening (20%) under the modified thermomechanical treatment. It was also found that strain hardening contribution reduced with the modified thermomechanical treatment. However, it revealed that the superior precipitate strengthening overcame the inferior strain hardening in the modified thermomechanical treatment.

Comprendre la dispersion de la vie en fatigue de joints en aluminium soudés par laser

Combinés, les avantages des alliages d'aluminium et du soudage laser permettent d'entrevoir de substantielles améliorations dans la construction ferroviaire, pour ainsi potentiellement construire des structures résistantes et légères limitant la consommation énergétique des véhicules. Les soudures produites par laser permettent de hautes cadences de production et des performances meilleures que celles obtenues par d'autres procédés. Une des problématiques inhérentes à cette combinaison est d'appréhender la tenue en fatigue des structures produites. Dans le présent travail, vingt-neuf échantillons soudés en alliage AA6005-T6 présentant une grande diversité de défauts « caniveau », d'après la norme DIN EN ISO 13919-2, ont été étudiés en fatigue. Tous ont été sollicités à la même contrainte et une large dispersion des durées de vie a été obtenue. Les faciès de rupture ont été analysés et ont montré que certaines caractéristiques des caniveaux pouvaient expliquer les résultats. Les joints ont été scannés en 3D avec une haute résolution pour documenter les sites d'amorçage. Différents facteurs géométriques, comme l'effilage du caniveau ou les variations de sa profondeur ont permis d'expliquer la dispersion des résultats.

Understanding the fatigue life dispersion in aluminum welds produce by laser welding

Combining the advantages of aluminum alloys and laser welding allow a substantial improvement in railcars body. It is possible to build high strength and light structures that limit the vehicles energy consumption. Laser welding improves production rates and performances compared to conventional welding processes. One of the most important issues with this combination is the need to better understand the fatigue life of assemblies. In this work, twenty-nine AA6005-T6 welded samples, containing different undercut shapes were tested in fatigue to better document the terms of the standard DIN EN ISO 13919-2. All tests were performed at the same stress level and a significant scatter number of cycles to failure was obtained. Fractographic analyses have shown that several undercut characteristics need to be used to explain the results. The samples were 3D scanned at high resolution to document the initiation sites locations. Several geometrical properties such as the undercut depth and tapering were used to correlate the fatigue life scatter.

Clément Pot
École de Technologie
Supérieure

ÉTS

Étude expérimentale et numérique du soudage au laser de joints à simple recouvrement en alliage d'aluminium 5052-H36

De nos jours, l'industrie du transport est à la recherche de structures de véhicules légères et performantes afin de réduire le poids et d'augmenter la durabilité. Pour répondre à ces exigences, l'aluminium devient un matériau de choix qui offre à l'industrie la possibilité d'alléger les structures portantes des véhicules. Toutefois, la problématique de la durabilité des assemblages des structures en aluminium soulève plusieurs obstacles technologiques. Cette étude s'intéresse à l'utilisation de la technologie du soudage au laser autogène, en tenant compte de l'influence des paramètres opératoires de soudage sur des assemblages du type joint à simple recouvrement en alliage d'aluminium 5052-H36. Ce travail met l'accent sur la caractérisation mécanique de ces joints soudés afin de déterminer l'influence des paramètres de soudage et afin de générer les courbes de fatigue S-N en exploitant les résultats de l'analyse du comportement en fatigue. En se basant sur ces données expérimentales, des modèles prédictifs analytique et numérique ont été développés pour prédire la durée de vie. Après validation expérimentale, ces modèles prédictifs seront appliqués sur des structures plus complexes.

Experimental and Numerical Investigation of Laser Welding of Single-lap joints of 5052-H36 Aluminium Alloys

Nowadays, the transport industry is searching for lightweight, high-performance vehicle structures to reduce the weight and to improve the performance and the durability. Aluminum is deemed a suitable material to make the supporting structures of vehicles lighter so as to satisfy the above requirements. However, the problem of improving the assembly technologies for aluminum structures raises several technological obstacles. This study focuses on the use of autogenous laser welding technology, taking into account the influence of welding operating parameters on assemblies such as 5052-H36 aluminum alloy, single lap joints. More specifically, this paper seeks to determine the influence of the shape of the weld bead, the presence of a gap and the application of a second welding pass on the mechanical characterization of the welded joints and in order to generate the S-N fatigue curves using the results of the fatigue behavior analysis. Based on these experimental data, analytical and numerical predictive models are developed to predict the fatigue life. After experimental validation, these predictive models will be applied to more complex structures.



Sabri Ben Slimen
Université de Sherbrooke



Modélisation, optimisation et automatisation de la mise en forme par grenailage des plaques d'aluminium

Quelle est la relation entre la mise en forme des plaques d'aluminium et la croissance des fleurs? Nous montrons comment une théorie développée pour décrire une croissance non uniforme modélise la mise en forme par grenailage. Le grenailage consiste à bombarder une plaque avec une multitude de particules rigides, ce qui entraîne la flexion de la plaque. Le procédé permet de développer des surfaces ayant de complexes profils de courbure à partir d'une plaque plane. Nous avons réussi à entièrement automatiser la mise en forme par grenailage. Un élément clé pour l'automatisation du procédé est un outil de simulation numérique que nous avons développé. L'outil de simulation résout deux types de problèmes: il simule l'effet d'un traitement prédéfini (le problème direct) et il trouve le traitement optimal pour obtenir une forme cible (le problème inverse). Nos méthodes de simulation et d'automatisation ont été validées expérimentalement. Ainsi, nous avons mis en forme un revêtement d'aile d'avion et nous avons prédit la forme des plaques grenillées selon des motifs aléatoires.

Modeling, optimization and automation of shot peen forming of aluminum plates

What is the relation between shaping of aluminum plates and the growth of flowers? Here, we show how a theoretical framework developed to describe a non-uniform growth simulates the shot peen forming process. Shot peen forming consists in bombarding a plate with a multitude of rigid shot, that induces bending of the plate. The process allows to develop surfaces having complex curvature profiles starting from a flat plate. We have managed to fully automate the shot peen forming process. A key element for the process automation is a numerical simulation tool that we have developed. The simulation tool solves two types of problems: it simulates the effect of a pre-defined treatment (the forward problem) and it finds the optimal treatment to achieve a target shape (the inverse problem). Our simulation and automation approaches were validated experimentally. Thus, we shaped an aircraft wing skin and we predicted the shape of plates treated according to random peening patterns.



Vladislav Sushitskii
École Polytechnique
de Montréal

**Récipiendaire du prix
meilleure conférence
Alcoa, 2^e position**





Mohamed Ibrahim
Concordia University

Étude expérimentale du comportement d'érosion par gouttelettes d'eau des alliages d'aluminium

Les alliages d'aluminium constituent une partie importante de la carrosserie/du corps de l'avion, notamment les ailes et les structures de fuselage. Ces parties de l'avion sont souvent l'objet des gouttes de pluie entrant en contact avec une grande vitesse. La longue exposition à celles-ci est connue pour causer des dommages dus à l'érosion. Ce phénomène est appelé, alternativement, l'érosion hydrique ou bien l'érosion par gouttelettes d'eau. Dans ce travail, le comportement d'érosion par gouttelettes d'eau des alliages d'aluminium, à savoir 2024-T4 et 7075-T6, a été étudié. Des tests d'érosion ont été effectués en utilisant des vitesses d'impact à 175 et 150 m/s avec des gouttelettes d'eau ayant une taille moyenne de 600 microns. Un modèle semi-analytique pour prédire le seuil de la vitesse d'impact qui décrit la condition dans laquelle les alliages d'aluminium peuvent supporter les impacts de gouttelettes sans montrer de dommages dus à l'érosion a également été développé. Il a été constaté que le 7075-T6 a toujours montré des performances supérieures par rapport au 2024-T4 dans toutes les conditions de test en raison de ses propriétés de dureté et de résistance élevées. De plus, le modèle développé a prédit les vitesses de seuil des deux alliages d'aluminium testés avec une précision raisonnable par rapport aux valeurs mesurées expérimentalement.

Experimental Investigation of Water droplet erosion behavior of Aluminum Alloys

Aluminum alloys constitute a major part of aircraft body, especially the wings and fuselage structures. These parts of aircraft are often subject to high speed impingement of raindrops, the long exposure to which is known to cause erosion damage. The phenomenon is alternately referred to as rain erosion (RE) or water droplet erosion (WDE). In this work, water droplet erosion behavior of aluminum alloys, namely 2024-T4 and 7075-T6 was investigated. Erosion tests were performed using at 175 and 150 m/s impact velocities with water droplets having an average size of 600 microns. A semi-analytical model to predict the threshold impact velocity, which describes the condition in which aluminum alloys can endure droplet impacts without showing erosion damage, was also developed. It was found that 7075-T6 always showed superior performance compared to 2024-T4 in all test conditions due to its high hardness and strength properties. Moreover, the developed model predicted the threshold velocities of the two tested aluminum alloys with reasonable accuracy when compared to the experimentally measured values.

AXE 1

PRODUCTION DE L'ALUMINIUM ALUMINIUM PRODUCTION

Axe | Axis 1

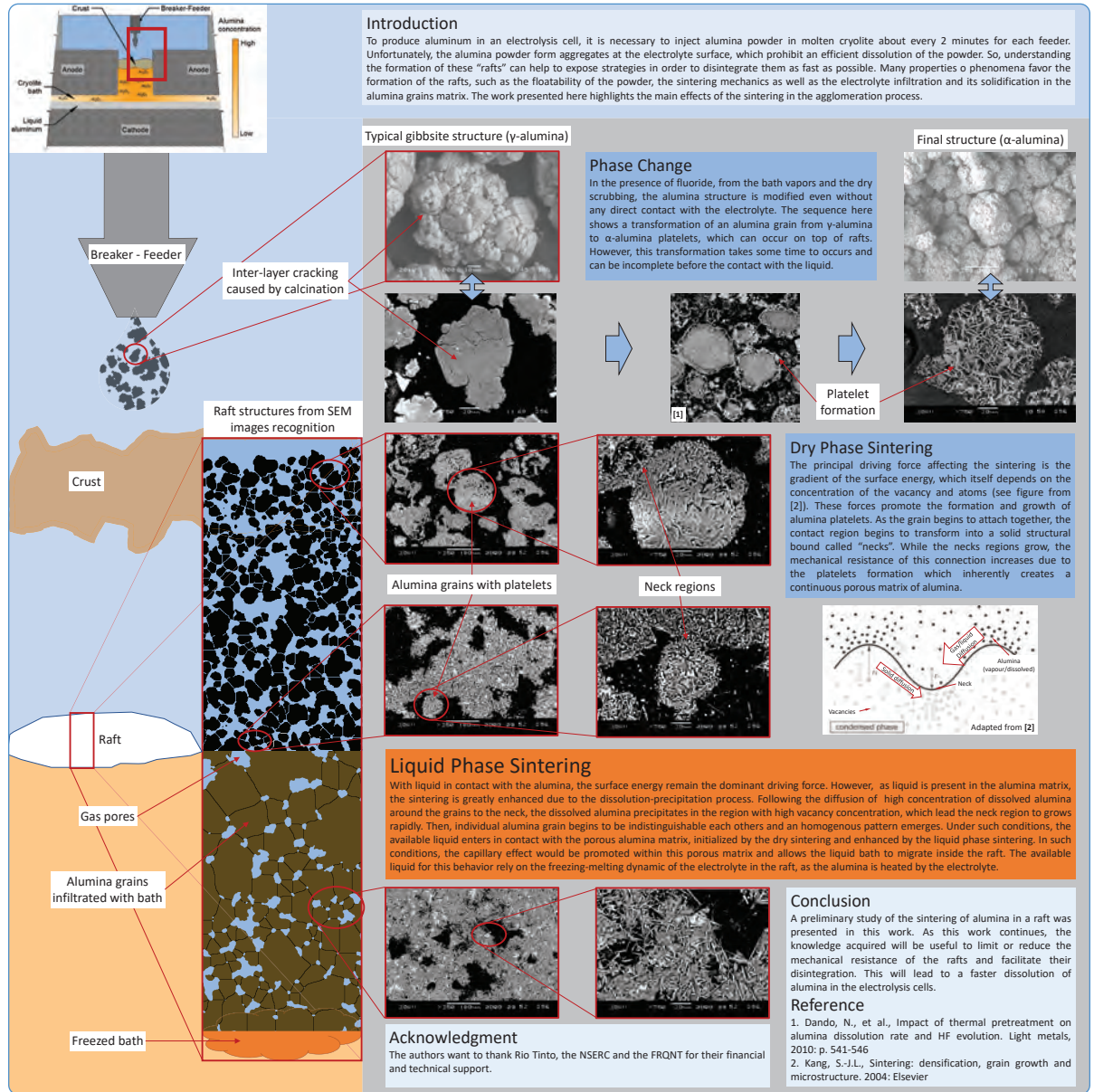
Répertoire des affiches | Posters directory

Les étudiants dont le nom est suivi d'un astérisque (*) sont récipiendaires d'un prix d'excellence pour leur affiche.
Students whose name is followed by an asterisk (*) are recipients of an award of excellence for their poster.

Jonathan Alarie Rôle du frittage de l'alumine lors de la formation des radeaux dans une cuve d'électrolyse.....	16	Daniel Rodrigues* Analyse non destructive des anodes de carbone précuites Une méthode pour visualiser l'homogénéité des anodes.....	24
Asem Hussein Les propriétés des anodes de carbone constitués de bio-pitch comme liant.....	17	Julien Proux Développement d'un montage expérimental permettant d'évaluer les conditions de pénétrations d'un solide à travers un interface biphasique.....	25
Belkacem Amara Effet du pourcentage du biocharbon modifié sur les différentes propriétés des anodes en carbone.....	18	Armita Rastegari Étude sur les propriétés de l'anode en modifiant différents types du brai avec différentes concentrations d'additifs.....	26
Alexandre Bily Développement de cathodes mouillables en TiB_2 par projection plasma en suspension.....	19	Alireza Sadeghi-Chahardeh Une analyse numérique du comportement mécanique des agrégats de coke sous des charges monotones et cycliques.....	27
Alexandre Bily Development of TiB_2 wettable cathodes by Suspension Plasma Spray.....	20	Tomas Richer Analyses paramétriques des facteurs dominants affectant la coalescence et la fragmentation d'agrégats d'alumine à l'interface bain-métal dans une cuve d'électrolyse.....	28
Julie Bureau Étude fondamentale sur la réaction entre la chaux hydratée et le SO_2 émis au cours du procédé d'électrolyse dans la production de l'aluminium primaire.....	21	Thomas Roger Développement d'un modèle mathématique pour simuler l'injection de l'alumine dans les cuves d'électrolyse.....	29
Olivier Lacroix Modélisation numérique de la mise en forme des anodes vertes des cuves Hall-Héroult.....	22		
Lucie Cazenave Contribution à la caractérisation du comportement thermo-chimio-mécanique de la pâte monolithique de type NeO2 en phase de cuisson.....	23		

Rôle du frittage de l'alumine lors de la formation des radeaux dans une cuve d'électrolyse

Role of the alumina sintering in the formation of rafts inside an electrolysis cell



Jonathan Alarie

Université du Québec
à Chicoutimi

László I. Kiss - UQAC

Lukas Dion - UQAC

Sébastien Guérard

Ardiva

Jean-François Bilodeau

Ardiva

Dans le procédé Hall-Héroult, la dissolution efficace de l'alumine est un facteur prédominant sur la stabilité des cuves d'électrolyse. Cependant, la cinétique de dissolution de l'alumine est un procédé complexe nécessitant la compréhension de plusieurs étapes : l'injection, l'agglomération, la désintégration et la dissolution. L'emphase est ici mise sur l'agglomération de l'alumine, qui comporte la flottabilité et le frittage de l'alumine ainsi que l'infiltration et la solidification de l'électrolyte, mais plus précisément sur le frittage de l'alumine. Alors que certains aspects sont mieux connus, comme la solidification de l'électrolyte, les phénomènes entourant le frittage et la désintégration des radeaux sont moins bien détaillés dans la littérature. De plus, la résistance des radeaux à la désintégration, une fois la refonte du bain terminée, dépend de l'ampleur du frittage des grains. Les présents travaux tentent donc d'identifier les principaux mécanismes de frittage de l'alumine dans les radeaux. Une analyse préliminaire d'image par microscope électronique à balayage sera présentée afin de démontrer l'effet du frittage sur la structure des grains. Finalement, les rôles du frittage sec et du frittage humide dans la formation des radeaux seront discutés et quelques hypothèses seront postulées pour orienter les travaux futurs.

In the Hall-Héroult process, the efficient dissolution of alumina is an important factor for the stability of the electrolysis cell. However, dissolution kinetics is a complex process including several steps: injection, agglomeration, disintegration, and dissolution. In this work, the emphasis is put on the agglomeration and more precisely on the sintering behavior. It includes the floatability and sintering of the alumina as well as the infiltration and solidification of the bath included in the agglomeration process. While some behaviors are well understood such as the solidification of the bath around the alumina, other phenomena like the sintering process of the alumina forming rafts are not as clearly described. Overall, the mechanical resistance of the raft against its disintegration, after the remelting of the electrolyte, comes from the intensity of the sintering of the alumina grains. The work summarized in this poster tries to identify the main mechanisms which influence the sintering of the alumina in the rafts. A preliminary analysis using images acquired with a scanning electron microscope is presented to describe the effect of the sintering on the alumina grain's structure. Finally, the role of the dry phase and liquid phase sintering is discussed, and some hypotheses are raised to guide the future works.

Les propriétés des anodes de carbone constitués de bio-pitch comme liant Properties of carbon anodes made of bio-pitch as a binder



UNIVERSITÉ
LAVAL



AXE 1 : PRODUCTION DE L'ALUMINIUM
ALUMINIUM PRODUCTION

1. Introduction

Carbon anodes are made of calcined petroleum coke and coal-tar-pitch (CTP) as a binder. The fact that the classical binder is nonrenewable and mainly composed of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons, encourages researchers to develop an environmentally friendly binder to produce anodes. In this work, laboratory-scale anodes were produced by mixing the bio-pitch with calcined coke. Properties of these anodes were compared to reference samples anodes made of coal-tar-pitch binder. In addition, the behaviour of the bio-pitch (BP) anodes under electrolysis was tested in laboratory electrolysis cell.

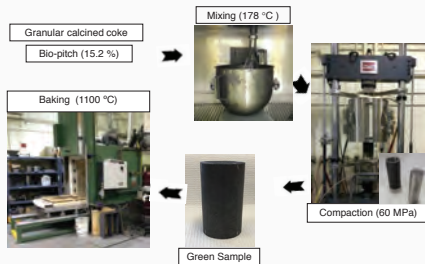
2. Objectives

- To prove the ability of the bio-pitch to produce baked anodes with acceptable characteristics.
- To determine the electrochemical performance of the bio-pitch anodes under electrolysis.

3. Experimental work

3.1 Preparation of laboratory scale carbon anodes:

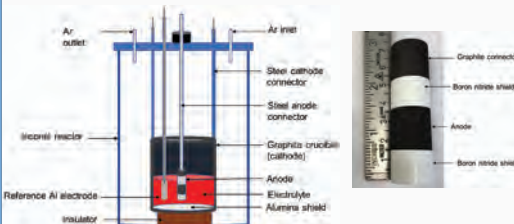
Bio-pitch was able to mix with the coke particles to produce a homogenous and deformable anode paste.



The baked samples were characterized in terms of apparent density, specific electrical resistivity, air permeability and mechanical strength.

3.2 The electrochemical measurements:

The electrochemical performance of carbon anodes was tested in cryolite-based alumina-saturated electrolyte. The vertical anode design was selected to minimize the effect of CO₂ bubbles on the measurements. The anodes were characterized electrochemically by chronopotentiometry, cyclic voltammetry (CV) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Each test was repeated 3 times and error bars shown on the figures were calculated based on standard deviation.



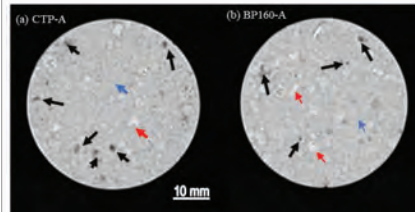
4. Results

4.1 Properties of the laboratory scale carbon anodes:

Anode	Baked apparent density (t·cm ⁻³)	Specific electrical resistivity (μΩ·m)	Air permeability (nDm)	Compressive strength (MPa)
CTP	1.538 (±0.004)	74.9 (±0.7)	0.71 (±0.11)	34 (±3)
BP	1.537 (±0.002)	77.5 (±0.8)	0.25 (±0.04)	33 (±2)

Although its significantly low coking value comparing to the coal-tar-pitch, the bio-pitch anodes showed similar density, electrical resistivity, mechanical strength and lower air permeability. The good bio-pitch/coke adhesion resulted in a uniform volume shrinkage during the anode baking step. The volume shrinkage reduced the negative effect of the higher mass loss on the anode density.

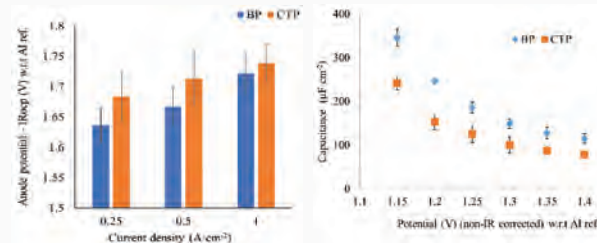
CT scan images of the baked anode samples



Both the BP and the CTP anodes show very similar appearance and no major imperfections were detected in these samples. This refers to the ability of the BP binder to shrink without inducing cracks in the anode.

Images at mid-height of the coal-tar-pitch anode (CTP-A) and, the bio-pitch sample (BPA-160). Red arrows refer to coke aggregate, the blue arrows signify the binder matrix and the black arrows show the detected porosity.

4.2 Electrochemical Properties of the BP-based carbon anodes



The overpotentials of BP and CTP anodes at different current densities, measured by chronopotentiometry

Effective capacitance of the BP and CTP anodes extracted from the EIS measurements

- The BP anodes showed similar potential response comparing to the CTP anodes.
- The BP anodes exhibited higher capacitance, which refers to larger electroactive surface area compared to the CTP ones.

6. Conclusion

- Bio-pitch carbon anodes showed similar physical properties comparing to the reference samples.
- Bio-pitch anodes showed similar electrochemical performance comparing to the reference anodes.

7. Future work

- Optimization of the anode fabrication parameters (mixing and baking).
- Reducing the air and CO₂ reactivity of the bio-pitch anodes.

8. Benefits

- To provide an alternative binder for carbon anodes.
- To reduce the carbon footprint of the aluminum industry.

Les anodes en carbone sont constituées de coke de pétrole calciné et de brai de goudron de houille comme liant. Le liant classique est non renouvelable et principalement composé d'hydrocarbures aromatiques polycycliques cancérigènes. Cela encourage les chercheurs à développer un liant renouvelable et écologique pour produire des anodes. Dans ce travail, des échantillons d'anodes ont été produits en mélangeant le bio-pitch avec du coke calciné. Malgré sa faible valeur de cokéfaction, les anodes en bio-pitch ont montré une densité, une conductivité électrique et une résistance mécanique similaires à celles des échantillons de référence. La bonne adhérence bio-pitch/coke a entraîné un rétrécissement du volume uniforme pendant la cuisson de l'anode, ce qui signifie de courtes distances et un contact fort entre les agrégats de coke. Les performances électrochimiques des anodes en bio-pitch ont été testées en cellule d'électrolyse en laboratoire. Par rapport aux échantillons de référence, les anodes en bio-pitch ont montré une surtension de réaction légèrement inférieure et une capacité électrochimique plus élevée (bonne mouillabilité par l'électrolyte fondu). Sur la base des résultats à l'échelle du laboratoire, le bio-pitch pourrait remplacer le liant fossile sans altérer les propriétés physiques et électrochimiques des anodes résultantes. Jusqu'à présent, les résultats sont encourageants, mais d'autres études seront nécessaires pour prouver la faisabilité de cette approche dans la pratique industrielle, c'est-à-dire l'optimisation de la demande de liant, la disponibilité et le coût du bio-pitch et une analyse approfondie de la réduction du CO₂ si une telle technologie est mise en œuvre.

Carbon anodes are made of calcined petroleum coke and coal-tar-pitch as a binder. The classical binder is nonrenewable and mainly composed of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons. This encourages researchers to develop a renewable and environmentally friendly binder to produce anodes. In this work, laboratory-scale anodes were produced by mixing the bio-pitch with calcined coke. Despite its low coking value, anodes made of bio-pitch showed similar density, electrical conductivity and mechanical strength compared to reference samples. The good bio-pitch/coke adhesion resulted in a uniform volume shrinkage during the anode baking, which result in a short distance and strong contact between the coke aggregates. The electrochemical performance of the bio-pitch anodes was tested in a laboratory electrolysis cell. Compared to reference samples, bio-pitch anodes showed slightly lower reaction overpotential and higher electrochemical capacitance (good wettability by the molten electrolyte). Based on the lab scale results, the bio-pitch could replace the fossil binder without impairing the physical and electrochemical properties of the resulting anodes. So far, the results are encouraging. However, more studies will be needed to prove the feasibility of this approach in industrial practice. i.e., optimization of pitch demand, availability and cost of bio-pitch and in-depth analysis of CO₂ reduction if such technology is implemented.

Asem Hussein
Université Laval

Houshang Alamdari - UL
Julien Lauzon-Gauthier
Alcoa

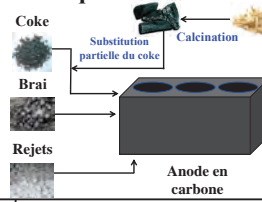
Effet du pourcentage du biocharbon modifié sur les différentes propriétés des anodes en carbone

Effect of the percentage of modified biocoke on the different properties of carbon anodes



Introduction et problématique

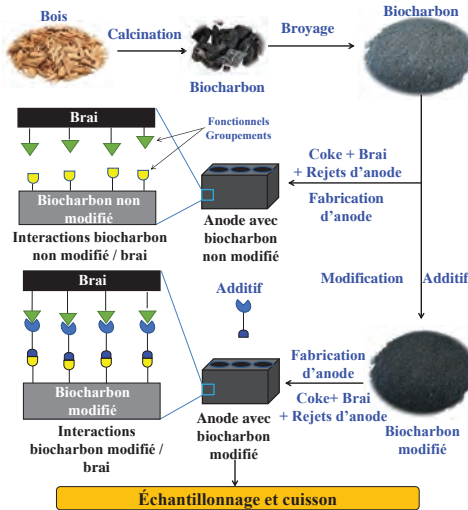
La qualité des anodes en carbone dépend des matières premières qui entrent dans sa composition, particulièrement du coke de pétrole. Ces dernières années, la qualité du coke variait fréquemment. Le remplacement d'une partie du coke par le biocharbon a été envisagé dans le but de réduire les gaz à effet de serre (GES) et de rendre l'anode plus écologique et respectueuse de l'environnement. Il est connu que l'interaction biocharbon-brai est faible par rapport à celle du coke-brai. Pour cette raison, une modification chimique a été réalisée. Dans le but de voir l'effet du pourcentage du biocharbon modifié sur les propriétés des anodes, un ensemble d'anodes ont été fabriquées.



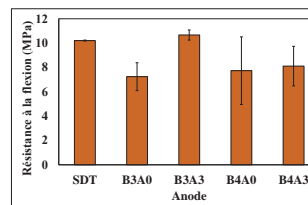
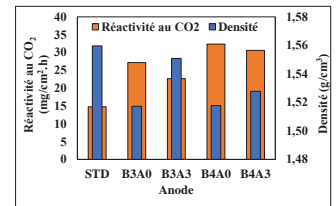
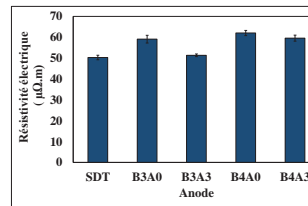
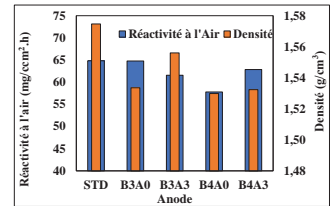
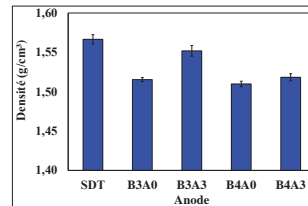
Objectifs

- Fabriquer et caractériser les anodes qui contiennent le biocharbon modifié et non modifié,
- Déterminer l'effet du pourcentage de biocharbon utilisé sur les propriétés des anodes,
- Déterminer l'impact de la présence du biocharbon modifié dans les anodes sur leurs propriétés,
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre,
- Réduire les coûts de la production des anodes.

Méthodologie



Résultats et discussion



Anode	Pourcentage de biocharbon (%)	Pourcentage d'additif (%)
STD*	0	0
B3A0	3	0
B3A3	3	3
B4A0	4	0
B4A3	4	3

Conclusions

- La densité, la résistivité électrique et les réactivités des anodes produites en utilisant le biocharbon modifié ont été améliorées par rapport à celles des anodes produites avec le biocharbon non modifié.
- En général, les résultats ont montré que l'anode fabriquée en remplaçant 3% du coke de pétrole par le biocharbon modifié avec 3% de l'additif a des propriétés similaires à celles de l'anode standard.
- Les effets financiers et environnementaux de ce remplacement tels que la réduction de l'empreinte de carbone entrante, l'utilisation de matières premières moins chères, la diminution de la quantité de coke calciné etc. doivent être pris en compte.

Remerciements

Nous remercions:

- le Fonds de Recherche du Québec – Nature et technologies (FRQNT) pour le soutien financier, et
- Boisaco et Aluminerie Alouette pour les matériaux et le soutien financier.

L'industrie de l'aluminium fait face à de nombreux défis, parmi eux la réduction des gaz à effet de serre (GES) tout en conservant la qualité des anodes de carbone. Cette qualité est affectée par les différentes matières premières qui entrent dans sa composition, particulièrement le coke de pétrole. Ces dernières années, la qualité du coke varie considérablement. Dans le but de réduire les gaz à effet de serre (GES) et de rendre l'anode plus écologique et respectueuse de l'environnement, le remplacement partiel du coke par du biocharbon a été envisagé. Il est connu que l'interaction biocharbon-brai est faible par rapport à celle du coke-brai. Pour cette raison, une modification chimique a été réalisée. Ce projet consiste à étudier l'effet du pourcentage du biocharbon modifié sur la qualité des anodes. Pour cela, un ensemble d'anodes qui contiennent du biocharbon modifié et non modifié a été fabriqué. Plusieurs tests ont été réalisés afin de déterminer l'impact du pourcentage du biocharbon modifié sur les propriétés des anodes. Cette affiche présente les résultats.

The aluminum industry faces many challenges, among them reducing greenhouse gases (GHGs) while maintaining the quality of carbon anodes. This quality is affected by the different raw materials used in its composition, particularly petroleum coke. In recent years, the quality of coke varies significantly. In order to reduce greenhouse gases (GHGs) and make the anode more environmentally friendly, the partial replacement of coke with biocoke was considered. It is known that the biocoke-pitch interaction is low compared to the coke-pitch interactions. For this reason, a chemical modification was carried out. This project was undertaken to investigate the effect of the percentage of modified biocoke on anode quality. For this, a set of anodes containing modified and unmodified biocoke was manufactured. Several tests were performed to determine the impact of the percentage of modified biocoke on anode properties. This poster presents the results.

Belkacem Amara
University of Quebec
at Chicoutimi

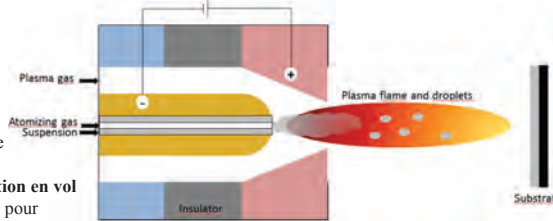
Duygu Kocaefe - UQAC
Yasar Kocaefe - UQAC
Dipankar Bhattacharyay
University of Technology
and Management
Jules Côté - Alouette
André Gilbert - Boisaco
Annie Bourdon - Boisaco

Densité ← ASTM D5502-00
Test mécanique ← ISO 12986-1 : 2014
Résistivité Électrique ← ASTM D6120-97
Réactivité à l'air et au CO₂ ← ASTM-D6559-00a
ASTM-D6558-00a



Contexte

- Besoin de cathodes mouillables pour réduire la consommation énergétique des cellules Hall-Héroult
- TiB_2 : Matériau optimal (Mouillabilité élevée de l'Al, σ_{el} élevée, forte stabilité chimique)
- **Difficulté de traitement** du diborure de titane à cause de sa forte liaison covalente
- Projection Plasma (PS) comme une technique polyvalente et rentable
- Plus de 70 paramètres impliqués (géométrie, injection, plasma)
- Le TiB_2 déposé par PS Atmosphérique (APS) subit une **forte oxydation en vol**
- La Projection Plasma en Suspension (SPS) : une technique nouvelle, pour affiner la microstructure
- Utilisation d'une **enveloppe gazeuse** pour protéger les particules de TiB_2 d'une oxydation en vol



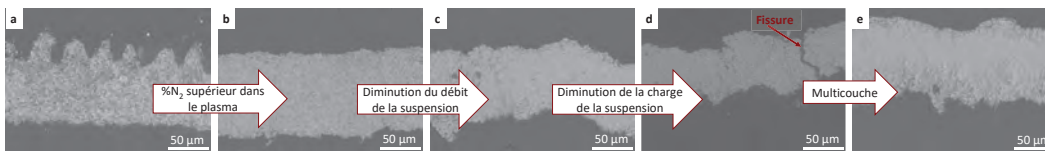
Objectif

- Développer des cathodes mouillables pour les cellules Hall-Héroult, en diborure de titane non-oxydé, **chimiquement et mécaniquement stables** et ce, en utilisant une technique jamais encore utilisée

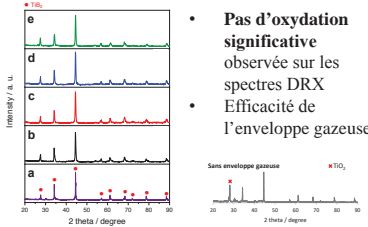
Méthodologie

- Injection d'une suspension TiB_2 -ethanol dans un **plasma Ar/ N_2 / H_2** dans une **torche Axial-III**, dépôts sur des substrats de graphite (disques de 2,5 cm)
- Analyse par Microscopie Electronique à Balayage & Diffraction des Rayons X
- Mesure de mouillabilité par l'Aluminium effectuée dans un **four sous vide**, afin de mesurer la mouillabilité d'Al et non celle d' Al_2O_3

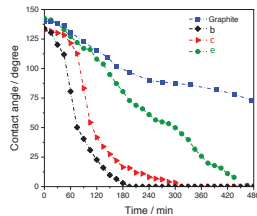
Résultats



- **Densification** en augmentant la chaleur disponible par particule, menant à une accumulation de tensions et à des fissures (Porosités a:25% b:19% c:13% d:4% e:5%/19%)
- Atténuation des tensions et fissures atteinte par une **approche multicouche**



- **Pas d'oxydation significative** observée sur les spectres DRX
- Efficacité de l'enveloppe gazeuse



- La **pénétration** de l'Al liquide dans les revêtements poreux mène à des cinétiques de mouillabilités plus rapides.
- Plus lente **cinétique de mouillabilité** pour le revêtement multicouche, mais toujours une **mouillabilité élevée d'Al**

Conclusion

- L'enveloppe gazeuse est **efficace** pour protéger de l'oxydation en vol
- Des revêtements **denses et mécaniquement stables** de TiB_2 ont été produits, avec une mouillabilité élevée de l'Al et sans perméabilité transversale

Avec le développement d'anodes inertes, la fabrication de cathodes mouillables représenterait une avancée technologique pour le procédé Hall-Héroult. Le borure de titane est le candidat idéal pour cette application. Toutefois, à cause de sa faible capacité de frittage, le développement de cathodes en pur TiB_2 pourrait ne pas être la voie à suivre. Des cathodes couvertes de TiB_2 ont été développées, d'après la littérature, par une variété de techniques. La projection plasma en est une : en tant que technique rentable et polyvalente, la recherche l'entourant n'a fait que croître ces dernières décennies. Dans la littérature, le TiB_2 déposé par projection plasma a rencontré deux problèmes principaux : la difficulté de fondre les particules, et l'oxydation en vol. Dans cette recherche, nous avons abordé ces problèmes en utilisant la projection plasma en suspension (SPS) et une enveloppe gazeuse. En SPS, une suspension est injectée dans le plasma au lieu de la poudre brute, ce qui permet l'usage de particules plus fines et un contrôle affiné de la microstructure. Et en utilisant une enveloppe gazeuse d'Argon, nous espérons isoler les particules en vol de l'air, pour minimiser l'oxydation. Les résultats ont été analysés par MEB, DRX, et la mouillabilité par l'aluminium liquide a été mesurée.

Along with developing inert anodes, the elaboration of wettable cathodes would be a technological breakthrough for the Hall-Héroult process. Titanium Diboride has been the chosen candidate for this application for decades. However, due to its poor sintering capability, developing bulk TiB_2 cathodes might not be the most likely road to success. TiB_2 coated cathodes have been developed in the literature through a variety of techniques. Plasma spraying is one of those: as a versatile, cost-effective technique, research around plasma spraying has been increasing over the past decades. In the literature, plasma-sprayed TiB_2 faced two main issues: the difficulty to melt the particles, and in-flight oxidation. In this research, we tackled those issues by using Suspension Plasma Spray (SPS) and a gas shroud. In SPS, a suspension is injected in the plasma instead of the raw powder which allows using finer particles and gives a finer control of the microstructure. And by using an Argon gas shroud, we hope to isolate in-flight particles from air, to minimize oxidation. Results were analyzed by SEM, XRD, and molten aluminum wetting was measured.

Alexandre Bily
 Concordia University

Christian Moreau - CU
 Ali Dolatabadi
 University of Toronto

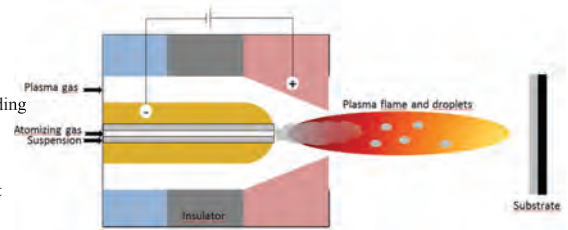
Développement de cathodes mouillables en TiB_2 par projection plasma en suspension

Development of TiB_2 wettable cathodes by Suspension Plasma Spray



Background

- Need for wettable cathodes to reduce energy consumption of Hall-Héroult cells
- TiB_2 : material of choice (High Al wettability, High σ_{el} , Chemical stability)
- **Difficulty to process** titanium diboride due to strong covalent bonding
- Plasma Spray (PS) as a versatile cost-effective technique
- Over 70 parameters involved (geometry, medium injected, plasma)
- TiB_2 deposited by Atmospheric PS (APS) has shown **high in-flight oxidation**
- Suspension Plasma Spray (SPS) to be used as a novel technique, to refine the microstructure
- Use of a **Gas Shroud** to protect TiB_2 particles from in-flight oxidation



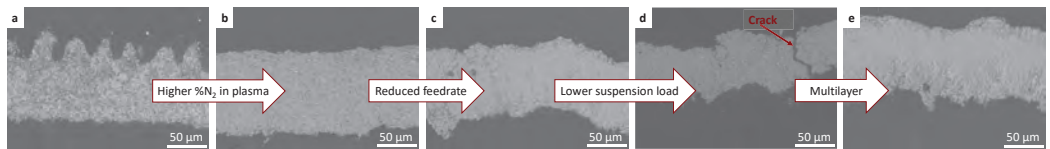
Objective

- Develop **mechanically** and **chemically** stable non-oxidized titanium diboride coated wettable cathodes for Hall-Héroult cells with a never-before used technique

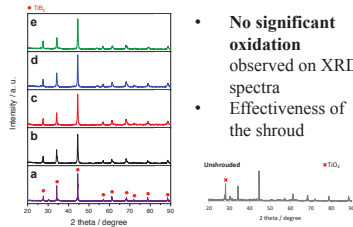
Methodology

- Deposition of an ethanol-based TiB_2 suspension on graphite substrates (2,5 cm disks)
- Injection in a $Ar/N_2/H_2$ plasma in an **Axial-III torch**
- Analysis by Scanning Electron Microscopy & X-Ray Diffraction
- Aluminium wetting measurement done in a **furnace under vacuum**, to measure Al wetting and not Al_2O_3 wetting

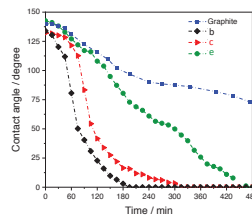
Results & Discussion



- **Densification** by increasing the heat available per particle, led to stress build-up and cracks (Porosities a:25% b:19% c:13% d:4% e:5%/19%)
- Crack mitigation achieved by using a **multilayer** approach



- **No significant oxidation** observed on XRD spectra
- Effectiveness of the shroud



- **Penetration** of molten Al in porous coatings leads to faster wetting kinetics
- **Slower wetting kinetic** for the multilayered coating yet **high Al wettability**

Conclusion

- Gas Shroud is **effective** to protect from in-flight oxidation
- **Dense mechanically stable** TiB_2 coatings have been produced, with high Al wetting and without coating-through permeability

Alexandre Bily
Concordia University

Christian Moreau - CU
Ali Dolatabadi
University of Toronto

Avec le développement d'anodes inertes, la fabrication de cathodes mouillables représenterait une avancée technologique pour le procédé Hall-Héroult. Le borure de titane est le candidat idéal pour cette application. Toutefois, à cause de sa faible capacité de frittage, le développement de cathodes en pur TiB_2 pourrait ne pas être la voie à suivre. Des cathodes couvertes de TiB_2 ont été développées, d'après la littérature, par une variété de techniques. La projection plasma en est une : en tant que technique rentable et polyvalente, la recherche l'entourant n'a fait que croître ces dernières décennies. Dans la littérature, le TiB_2 déposé par projection plasma a rencontré deux problèmes principaux : la difficulté de fondre les particules, et l'oxydation en vol. Dans cette recherche, nous avons abordé ces problèmes en utilisant la projection plasma en suspension (SPS) et une enveloppe gazeuse. En SPS, une suspension est injectée dans le plasma au lieu de la poudre brute, ce qui permet l'usage de particules plus fines et un contrôle affiné de la microstructure. Et en utilisant une enveloppe gazeuse d'Argon, nous espérons isoler les particules en vol de l'air, pour minimiser l'oxydation. Les résultats ont été analysés par MEB, DRX, et la mouillabilité par l'aluminium liquide a été mesurée.

Along with developing inert anodes, the elaboration of wettable cathodes would be a technological breakthrough for the Hall-Héroult process. Titanium Diboride has been the chosen candidate for this application for decades. However, due to its poor sintering capability, developing bulk TiB_2 cathodes might not be the most likely road to success. TiB_2 coated cathodes have been developed in the literature through a variety of techniques. Plasma spraying is one of those: as a versatile, cost-effective technique, research around plasma spraying has been increasing over the past decades. In the literature, plasma-sprayed TiB_2 faced two main issues: the difficulty to melt the particles, and in-flight oxidation. In this research, we tackled those issues by using Suspension Plasma Spray (SPS) and a gas shroud. In SPS, a suspension is injected in the plasma instead of the raw powder which allows using finer particles and gives a finer control of the microstructure. And by using an Argon gas shroud, we hope to isolate in-flight particles from air, to minimize oxidation. Results were analyzed by SEM, XRD, and molten aluminum wetting was measured.

Étude fondamentale sur la réaction entre la chaux hydratée et le SO₂ émis au cours du procédé d'électrolyse dans la production de l'aluminium primaire

Fundamental study of the reaction between hydrated lime and SO₂ released during the electrolysis in the production of primary aluminum

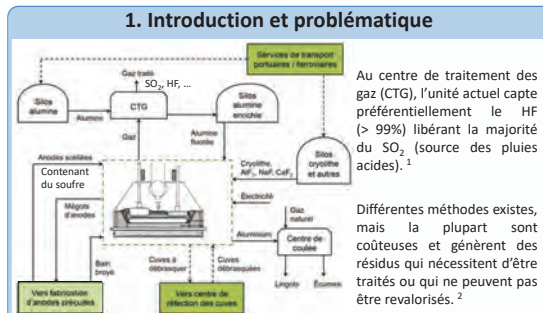


Figure 1. Schéma de principe du procédé électrolytique
Images provenant de: https://www.ec.gc.ca/37773083-9910-4903-8562-D4F0412A588F/KeP-KeP-Aluminium_fra.pdf

2. Objectifs

Objectif principal: Comprendre le mécanisme fondamental de captation du SO₂ par la chaux sous les conditions à la sortie du CTG dans le but de déterminer les conditions favorables de la réaction chimique des réactifs.

Objectifs spécifiques :

1. Concevoir un système à l'échelle de laboratoire;
2. Comprendre la cinétique et la thermodynamique de la réaction chaux/SO₂;
3. Déterminer les conditions les plus favorables qui serviront pour différentes étapes du projet.

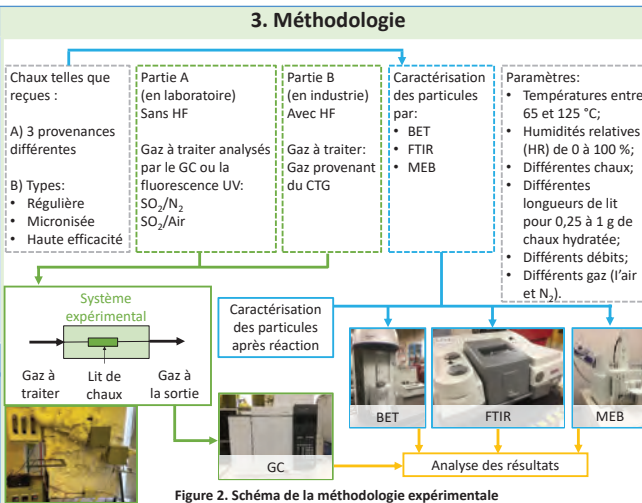
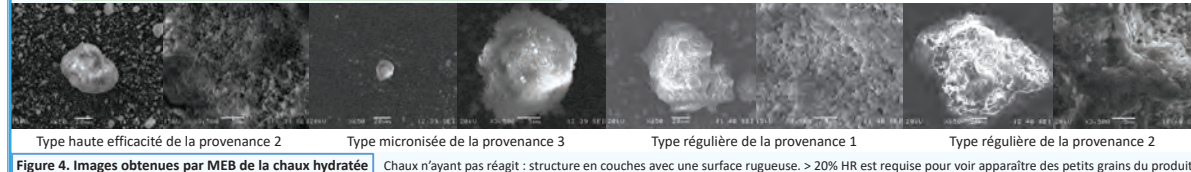
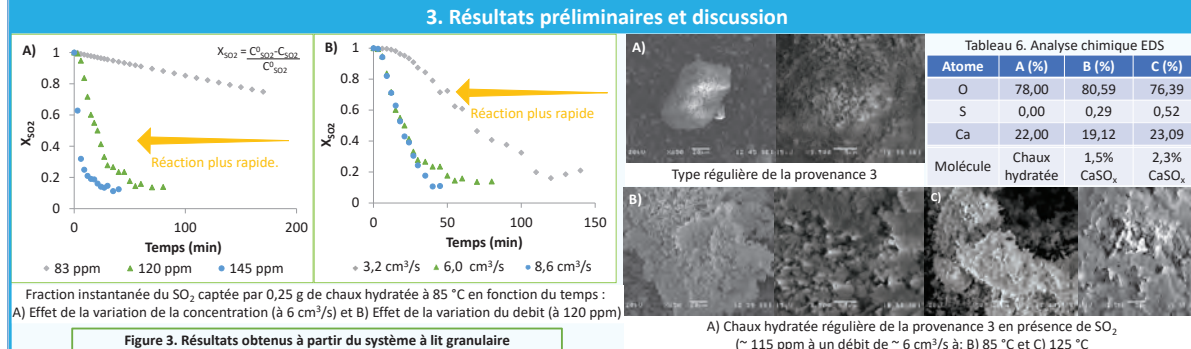


Figure 2. Schéma de la méthodologie expérimentale



5. Conclusions

L'étude en cours de réalisation pourra possiblement approfondir les connaissances concernant le traitement du SO₂ au CTG grâce aux essais et analyses de laboratoire planifiés. De plus, le système expérimental à lit granulaire conçu montre une certaine tendance en fonction de la variation de certains paramètres comme démontré par l'analyse des gaz ou des particules. Enfin, l'analyse des résultats permettra possiblement d'établir les conditions, les critères et le taux de réaction nécessaires afin de concevoir un réacteur de captation de SO₂.

6. Remerciements

Nous tenons à remercier vivement Rio Tinto et Graymont pour leur soutien financier et technique ainsi que le soutien financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), du Fond de recherche du Québec – nature et technologies (FRQNT) et de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC).

7. Références

1. Dando, N. R. and S. J. Lindsay (2016). The Competitive Adsorption of HF and SO₂ on Smelter Grade Alumina.
2. Broek, S. and Save, S. (2020). Update on SO₂ Scrubbing Applied in Primary Aluminium Smelters. Light Metals 2020, Springer: 766-776.
3. Ho, C.-S., et al. (2002). "Kinetics of the Sulfation of Ca(OH)₂ at Low Temperatures." Industrial & Engineering Chemistry Research 41(14): 3357-3364.

Julie Bureau
Université du Québec
à Chicoutimi

Duygu Kocaefe - UQAC
Yasar Kocaefe - UQAC
Simon Gaboury - Rio Tinto
Yves Dargis - Graymont

Lors de la production d'aluminium primaire, du SO₂, un gaz nocif pour l'environnement et source des pluies acides est libéré des cuves d'électrolyse. L'unité actuelle du centre de traitement des gaz (CTG) capte le SO₂. Néanmoins, il est désorbé, car le HF, un autre composant du gaz, est adsorbé. Ainsi, plus de 99 % du HF est éliminé préférentiellement par l'alumine (adsorbant), laissant la majeure partie du SO₂ dans le gaz. Par conséquent, une deuxième unité est nécessaire pour capturer les émissions de SO₂. Il existe un procédé éprouvé de désulfuration pour les effluents gazeux d'un calcinateur à coke. Cependant, la concentration en SO₂ ainsi que la température et le débit du gaz à la sortie du CTG sont différents de ceux du calcinateur. De plus, il contient du HF. Par conséquent, cette méthode n'a pas été testée dans les conditions du gaz à la sortie du CTG. L'objectif de cette étude est de comprendre fondamentalement la réaction chaux/SO₂ afin de déterminer les conditions favorables à la désulfuration en utilisant un lit granulaire. Les données expérimentales recueillies serviront à concevoir un réacteur à l'échelle du laboratoire, deuxième phase du projet, et finalement à modéliser un réacteur industriel.

During the production of primary aluminum, SO₂, a harmful gas for the environment and a source of acid rain is released from the electrolytic cells. The current gas treatment centre (GTC) unit captures SO₂. Nevertheless, SO₂ is desorbed from the GTC unit as HF, another component of the gas, is adsorbed. Thus, more than 99% of HF is removed preferentially by alumina (adsorbent), leaving most of the SO₂ in the gas. Therefore, a second unit is needed to remove SO₂ emissions. There is a proven desulfurization process for the effluent gas from a coke calciner. However, the concentration of SO₂, as well as the temperature and the flow-rate of the GTC outlet gas is different than those of the calciner. In addition, it contains HF. Hence, this method was not tested under the conditions of the GTC outlet gas. The objective of this study is to fundamentally understand the lime/SO₂ reaction in order to determine the favorable conditions for desulfurization using a small packed bed. The experimental data collected will be used to design a laboratory-scale reactor, the second phase of the project, and finally to model an industrial reactor.

Modélisation numérique de la mise en forme des anodes vertes des cuves Hall-Héroult

Numerical modeling of the green anode forming process for Hall-Héroult cells




UNIVERSITÉ
LAVAL




AXE 1 : PRODUCTION DE L'ALUMINIUM ALUMINIUM PRODUCTION

Motivations & Problematic

- Green anodes are formed and shaped using vibrocompaction.
- Presence of density gradients around the stub holes, the slots, the edges and the corners of the anodes.
- Density gradients can cause cracks in the anodes during the baking process and reduce their performance in the electrolysis cell.



Cracks in a baked carbon anode [1]



X-ray computed tomography of a baked anode [2]

Objectives

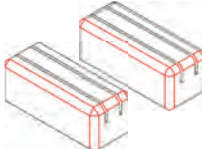
- Understand the effects of the anode's geometry and the forming process parameters on the density distribution using numerical modeling.
- Improve the anode's geometry to reduce the density gradients.
- Improve the anode's performance and life expectancy.

Methodology

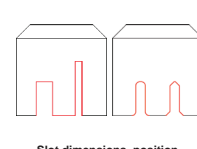
A Develop a numerical model for the anode compaction process.

- Characterize the 3D behaviour of the anode paste as a function of density and temperature with compaction tests.
- Characterize the coefficient of friction between the anode paste and the steel mould as a function of temperature.
- Develop a thermomechanical viscoplastic behaviour law for the anode paste.
- Implement the thermomechanical behaviour law in the finite element software Abaqus to simulate the anode forming process and the evolution of density.

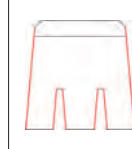
B Investigate the effects of the anode's geometry on the density distribution.



Chamfered or rounded edges and corners

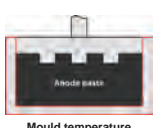


Slot dimensions, position and geometry




Draft angles

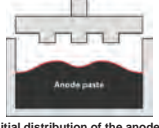
C Investigate the effects of process parameters on the density distribution.



Mould temperature and lubrication



Inverted anode



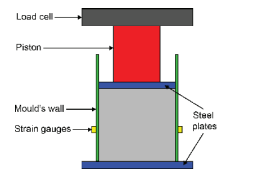
Initial distribution of the anode paste inside the mould

D Validate the numerical results with experimental compaction tests and optimize the anode's geometry and process parameters based on the results obtained in the investigation phase.

Anode paste experimental characterization

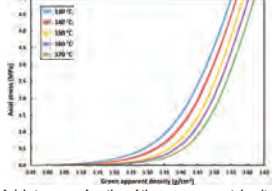
- Thin-walled stainless steel cylindrical mould mounted on a press.
- Enclosed in a furnace to control the sample's temperature.
- Each test requires 6 kg of anode paste and is repeated 3 times.
- Axial stress, axial displacement and circumferential strain are measured as the anode paste is compressed at a constant vertical strain rate of 0.5 mm/s.

Experimental setup



Anode paste experimental characterization setup


Experimental results



Axial stress as a function of the green apparent density

Anode paste finite element simulation

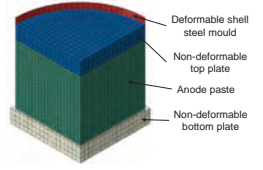
Anode paste behaviour law



Deformation gradient decomposition

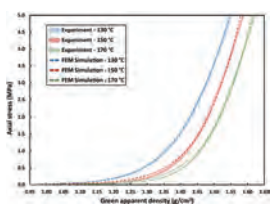
- Material parameters are nonlinear functions of the density and the temperature of the anode paste.

Finite element model

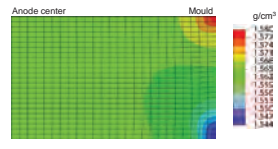


Finite element model assembly and mesh

Simulation results



Comparison of the axial stress between the finite element simulations and the experiments



Green apparent density distribution in a circular anode at the end of a simulation

Conclusions & future work

- Compression tests show a higher anode paste temperature results in a higher green apparent density for a similar axial stress value.
- The developed anode paste behaviour law represents adequately the axial stress as a function of density for different temperatures.
- The behaviour law parameters will be fitted using axial and radial stresses.
- Coefficient of friction between the anode paste and the mould will be characterized and implemented in the numerical model.
- A lab-scale anode with a slot and a stub hole will be pressed and CT scanned to demonstrate the model can predict density gradients around complex geometries.

Acknowledgments

The authors would like to thank Alcoa Corporation as well as the Natural and Engineering Research Council of Canada (NSERC) for their technical and financial support.

References

[1] M. B. Bouabakar et al., Non-destructive testing of baked anodes based on modal analysis and principal component analysis, *Light Metals* 2017, 1289-1298.
 [2] D. Picard et al., M. Fafard, Characterization of pre-baked carbon anode samples using X-Ray computed tomography and porosity estimation, *Light Metals* 2012, 1283-1288.

Le procédé de mise en forme des anodes vertes par vibrocompactage influence directement leur qualité ainsi que leurs propriétés. Le procédé actuel n'est toutefois pas optimal puisqu'on retrouve des gradients de densité importants dans les zones de grandes distorsions, notamment autour des touillons, des rainures anodiques, des coins et des différentes arêtes. Ces gradients, en plus d'affecter les performances de l'anode dans la cuve, peuvent causer l'apparition de fissures lors de la cuisson ou même en opération. L'objectif du projet est de réduire les gradients de densité à l'aide d'outils de simulation numérique dans le but d'uniformiser la densité de l'anode verte. Un modèle numérique du procédé de mise en forme sera développé et permettra d'étudier l'effet de différents paramètres sur la distribution de la densité dans l'anode. La géométrie de l'anode – notamment la forme des rainures et l'ajout de chanfreins ou d'arrondis aux coins et aux arêtes –, l'orientation dans le moule, la distribution initiale de la pâte dans le moule, la lubrification ainsi que la température du moule seront examinées. Une optimisation de la géométrie de l'anode et de son moule sera finalement effectuée en se basant sur les résultats obtenus lors des différentes étapes d'investigation numérique.

The green anode vibrocompaction forming process has a significant influence on the anode's quality and properties. The forming process is not optimal, however, as density gradients are present in zones where the paste is subjected to major distortions, primarily around the stub holes, the grooves and the different corners and edges of the anode. These gradients affect the anode's performance in the cell negatively and can cause cracks to appear during the baking process or in operation. The objective of this project is to reduce the negative effects of these density gradients and improve the properties of the anode using numerical simulation tools to improve the density uniformity of the green anode. A numerical model of the forming process will be developed to study the effects of different parameters on the anode's density distribution. The anode's geometry, such as the depth and width of the grooves and the addition of chamfers or fillets to the corners and edges, the mould's orientation, the initial paste distribution, lubrication and temperature of the mould will be examined. An optimization of the anode and the mould's geometry will be performed based on the results obtained from the various stages of the numerical investigation.

Olivier Lacroix
Laval University

Hicham Chaouki - SAFI
Guillaume Gauvin - LU
Julien Lauzon-Gauthier - Alcoa
Houshang Alamdari - LU
Mario Fafard - LU

1. Introduction et problématique

La pâte à brasquer est un matériaux thermo réactif utilisée dans le but de sceller le plan cathodique. Bien comprendre son comportement thermomécanique est primordial afin d'être capable d'évaluer son impact sur le développement des efforts dans les diverses matériaux du plan cathodique, les murs ainsi que sur le bilan thermique de la cuve. La pâte monolithique NeO2 est une pâte élaborée en 2011 part Carbone Savoie et qui ne contient aucun composant cancérigène. Il s'agit d'un matériau peu connue utilisé dans le technologie de cuve de Aluminerie Alouette Inc.

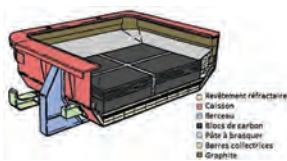


Schéma d'une cuve d'électrolyse, S. Pilon, 2010

2. Objectifs

Objectif principal → Caractériser l'évolution des propriétés thermiques et mécanique de la pâte monolithique NeO2 en fonction de son niveau de cuisson

À plus long terme → Les résultats obtenus permettront d'alimenter les modèles numériques afin d'assurer une meilleure représentation du comportement des cellules d'électrolyse dans ses phases de préchauffage, démarrage et en service.

3. Méthodologie

1- Revue de la littérature

- Généralités: Production d'aluminium primaire, matériaux et fonctionnement d'une cellule d'électrolyse
- Investigations sur la pâte à brasquer et particularités de la NeO2

2- Plan d'expérience

- Mise en forme des échantillons par compaction
- Cuisson des échantillons
- Essais thermochimique et thermomécanique de la TA à 1000°C en fonction des taux de chauffe sélectionnés

3- Préparation des échantillons

- Fabrication de l'équipement de compaction d'échantillons cylindriques
- Fabrication des échantillons et mesures de control, calcul de la densité

4- Caractérisation

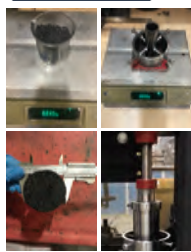
- Analyses thermogravimétriques (TGA) et étude de l'impact du taux de chauffe
- Essais de dilatométrie aux taux de chauffes sélectionnés des analyses de TGA
- Étude de la température de reprise des réactions
- Essais de compression uni axiale et triaxiale et comportement en fluage
- Essais de caractérisation thermo physique

5- Exploitation des résultats

- Identification des paramètres caractéristiques
- Évolution des paramètres en fonction du niveau de cuisson de la pâte NeO2

4. Caractérisation expérimentale et résultats attendus

Echantillonnage



Préparation des échantillons au CURAI, 2011

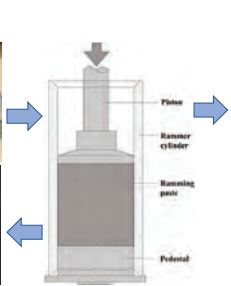
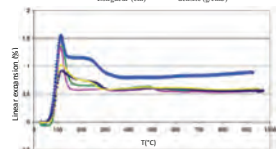
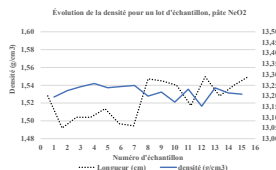
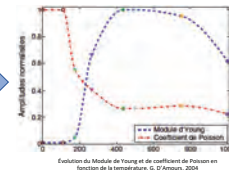


Schéma de montage pour la fabrication des échantillons de pâte, Carbon Materials Testing, 2009

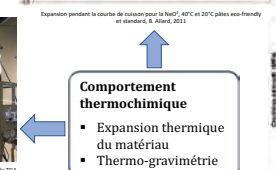


Comportement thermomécanique

- Module de Young
- Coefficient de Poisson
- Limite élastique
- Résistance en compression uniaxiale à HT
- Résistance en compression triaxiale à TA

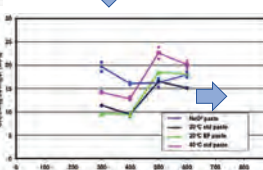


Pressé CB02, montage modifié et cellule pour les essais de compression triaxiale sur des échantillons d'essai, CURAI, 11 Drain d'Innovation, 11 Échantillon de carbone, 11 Pilon de la cellule, 11 Un de mesure de la cellule, 11 Pilon de la presse MTS 820P, 11 Kafai, 2011



Comportement thermochimique

- Expansion thermique du matériau
- Thermo-gravimétrie



5. Conclusion

Travaux de recherche en cours:

- Rédaction d'un premier article sur l'état de l'art sur les pâtes monolithiques utilisés dans l'industrie de l'aluminium
- Fabrication du premier lot d'échantillon pour les essais mécaniques à haute température
- Analyses des essais thermochimiques (TGA) et réalisation des essais de dilatométrie

6. Remerciements

Nous remercions Aluminerie Alouette Inc. pour leurs contributions financières et techniques, le REGAL pour son support financier ainsi que le FRQNT pour l'accès à ses ressources et infrastructures de qualité.

Lucie Cazenave
 Université du Québec
 à Chicoutimi

Daniel Marceau - UQAC
 Duygu Kocaefe - UQAC
 Sébastien Charest - UQAC
 Jules Côté - UQAC

La durée de vie des cellules d'électrolyse est fortement conditionnée par la nature des matériaux utilisés lors de sa conception ainsi que leurs interactions durant les étapes conduisant à la mise en service des cellules. Afin d'assurer la qualité du design il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance du comportement de ces matériaux, de la température ambiante jusqu'à 1000 °C. En partenariat avec Aluminerie Alouette inc., le projet de doctorat dont il est question ici s'attaque à l'étude de l'évolution du comportement thermomécanique de la pâte à brasquer NeO2 durant la phase de cuisson. Utilisée pour assurer le scellement du plan cathodique, la pâte subit lors de sa cuisson de nombreuses transformations thermochimiques qui ont un impact direct sur ses propriétés thermiques et mécaniques. On procédera tout d'abord à la caractérisation de l'évolution de la perte de masse, et ce, afin de définir un indice de cuisson qui sera fonction du taux de chauffe. Par la suite, on procédera à l'identification des mécanismes de déformation libre, des propriétés thermophysiques et mécaniques en fonction dudit indice de cuisson. Les résultats obtenus permettront d'alimenter les modèles numériques afin de permettre une représentation réaliste du comportement de la pâte dans son contexte d'utilisation industriel.

The cell lifespan strongly depends on the nature of the materials used for its design as well as their interactions with each other during the start-up phase until a stable operation is reached. In order to assure the quality of the design, it is necessary to have a good understanding of the behavior of these materials, from ambient temperature to 1000°C. In collaboration with Aluminerie Alouette Inc., the present doctoral project focuses on the evolution of the thermo-mechanical behavior of the ramming paste NeO2 during baking. This paste, used to seal the cathode plane, undergoes numerous thermochemical transformations during baking, which significantly modifies its thermal and mechanical properties. Firstly, the evolution of mass loss is characterized to facilitate the development of a baking index, which will be a function of the heating rate. Then, the free deformation mechanisms, thermo-physical properties as well as mechanical properties will be characterized as a function of the baking index defined previously. The obtained results will be used in a numerical model in order to realistically represent the behavior of the paste within the context of its industrial utilization.

Analyse non destructive des anodes de carbone précuites – Une méthode pour visualiser l’homogénéité des anodes

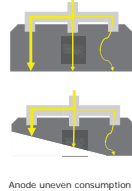
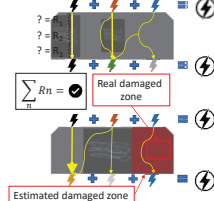
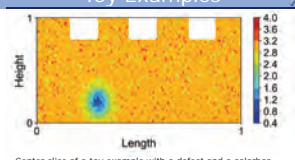
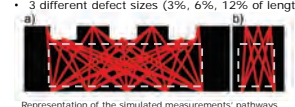
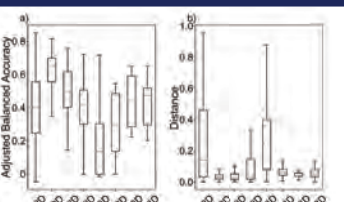

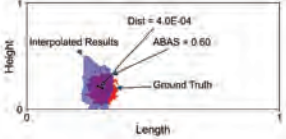
Non-destructive testing of baked carbon anodes – A method for anode homogeneity visualization



UNIVERSITÉ
LAVAL



AXE 1 : PRODUCTION DE L'ALUMINIUM
ALUMINIUM PRODUCTION

Introduction	Problem Statement	Objectives
 <ul style="list-style-type: none"> Multiple anode properties affect performance and process efficiency; Lack of anode quality affects performance in three different ways: <ul style="list-style-type: none"> Energy consumption Carbon consumption Manpower required <p>Anode uneven consumption caused by defects.</p>	<ul style="list-style-type: none"> In-depth analyses of anode quality may require deeper understanding of anode anisotropy; Spatial resolution of non destructive testing in anodes is still coarse, and very little explored; Results from NDT measurements represent a pathway instead of one specific point and there is no algorithm available in the public literature adapted to this. 	<ul style="list-style-type: none"> Propose an algorithm that transforms the pathway-based measurement into a spatial representation; Simulate the property distribution of an anode and the results of an Acousto-Ultrasonic analysis; Evaluate objectively the algorithm's capacity to detect and position defects on these examples. <h3>Find and precisely locate defects</h3>
Toy Examples	Methodology	
 <p>Center slice of a toy example with a defect and a colorbar representing the speed of sound distribution.</p> <ul style="list-style-type: none"> Property simulated was speed of sound 1977 2D Examples with 1, 2 or 3 defects 4230 3D Examples with 1, 2 or 3 defects 3 different defect sizes (3%, 6%, 12% of length)  <p>Representation of the simulated measurements' pathways and the definition of what was considered center with a view of a) the long side b) the short side of an anode</p>	<h3>Algorithm</h3> <ol style="list-style-type: none"> Simulate Measurements Fast Average Slow Average of speed of sound through the pathways Estimate Property Estimate = $\sum_n \frac{Property_n}{d_n}$ Repeat for a mesh Select the extreme values 	
<h3>Results & Discussions</h3>  <p>ABAS results for the 2D and 3D examples with the first numbers referring to the number of defects, c referring to only centered toy examples and all referring to the totality of toy examples results.</p> <ul style="list-style-type: none"> 2D Toy Examples <ul style="list-style-type: none"> Centered defects examples had high ABAS values; The existence of multiple defects affect negatively the ABAS results; The distance between the estimated and true defect centers is on a completely different scale when the defect is centered; The distance is negatively affected by the number of defects; Smaller defects had lower ABAS results. 3D Toy Examples <ul style="list-style-type: none"> Generally, metrics are less satisfactory than in 2D examples, which can be explained by the dimensionality effect; The effect of the addition of multiple defects does not follow the same trend of the 2D examples; However, metrics are still better in lower defect number examples; The defect size still affects very significantly the ABAS results. 	<h3>Evaluation Methods</h3>  <p>Example of ABAS values for two different classification cases</p> <ul style="list-style-type: none"> Two metrics were used: <ol style="list-style-type: none"> ABAS – Adjusted Balanced Accuracy Score Distance between true and estimated defect centers  <p>Defect zones in both the toy example and interpolation results with the distance between defect centers and ABAS score</p>	
	<h3>Conclusions</h3> <ul style="list-style-type: none"> The algorithm is capable of precisely locating defects in toy examples The size of the defects affect significantly the algorithm's capacity The number of defects also affect the method's performance A pathway-based measurement can be interpreted to estimate the anode's property distribution The range of the measured properties is reduced significantly using pathway-based measurements The full scale examples seem to agree with the toy examples results 	
	<h3>Acknowledgements</h3> <p>The authors would like to thank the support of Alcoa Canada, the National Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), the Fonds de Recherche en Santé Québec – Nature of Technologies (FRONT), and the REGAL.</p>	

Prix Award



Comité sectoriel de main-d'oeuvre de la métallurgie du Québec

Daniel Rodrigues
Laval University

Carl Duchesne - LU
Julien Lauzon-Gauthier
Alcoa

La majorité des méthodes non destructives appliquées aux anodes visent à caractériser les blocs d'anodes complets en utilisant des mesures qui représentent des régions au lieu de points spécifiques. Ces techniques peuvent détecter des anodes hors spécifications, mais peuvent ne pas satisfaire la nécessité d'une investigation profonde pour trouver la cause des problèmes. Pour investiguer l'anisotropie et la présence de défauts en des positions spécifiques, il est nécessaire de comprendre la distribution des propriétés dans le bloc anodique. Ce travail propose une méthode pour interpoler des signaux acousto ultrasoniques et visualiser, par exemple, la vitesse du son en chaque point de l'anode. Des simulations représentant des tranches et l'anode entière sont utilisées pour évaluer la capacité de l'algorithme à détecter des défauts. La méthode est également appliquée sur des anodes industrielles pour illustrer sa performance.

Most of the non-destructive testing methods applied to anodes are focused on properties that represent the whole anode body and use measurements that represent local regions instead of specific points. Such techniques may allow the detection of out-of-spec anodes but may not satisfy the requirements for a more detailed investigation of the root causes for defects. Anisotropy and presence of defects in specific positions require understanding of the anodes properties distribution throughout the body. This work presents a method to interpolate Acousto-Ultrasonic signals and generate a view of, in this case, the sound speed distribution throughout the anode. Simulations representing anode slices and full-scale anodic blocks are used to evaluate the algorithm's capacity to detect defects within the anode. The method is also applied to industrial anodes to illustrate the method's performance.

Développement d'un montage expérimental permettant d'évaluer les conditions de pénétrations d'un solide à travers un interface biphasique

Development of an experimental setup to evaluate the penetration conditions of a solid component through a biphasic interface



Mise en contexte

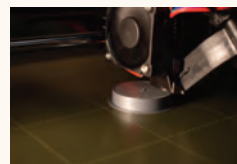
Faciliter la compréhension des mécanismes associés à la formation de boue générées au sein des cuves d'électrolyse au moyen de validation expérimentale.

Objectif des travaux réalisés

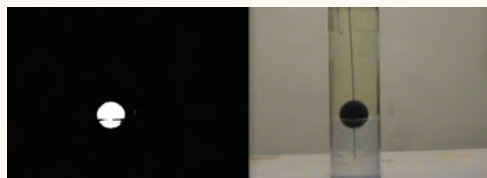
Développer et tester une méthode expérimentale permettant de tester les conditions de pénétration d'un agrégat solide à travers un interface multiphasique à basse température.

Défis et choix des matériaux

Le montage permet la réalisation de mesures répétitives en utilisant des fluides et matériaux possédant des caractéristiques adimensionnelles comparables à celle du bain électrolytique, de l'aluminium en fusion et des agrégats d'alumine solidifiés. Les fluides choisis pour la comparaison (eau et huile de silicone) ont été sélectionnés selon des comparaisons adimensionnelles avec le milieu industriel. Les agrégats solides sont constitués d'acide polylactique (PLA) de manière à favoriser une plus grande versatilité des paramètres caractéristiques tel que la densité et la géométrie des échantillons.



Montage



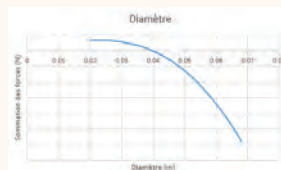
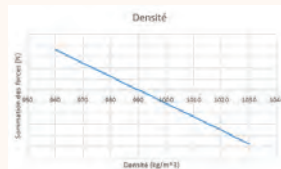
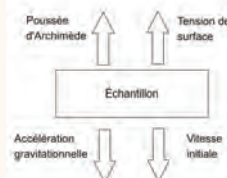
Lors de l'expérimentation, l'agrégat est relâché à une hauteur définie au-dessus de l'interface diphasique. Un logiciel d'analyse d'images (OpenCV) est utilisé pour effectuer le suivi transitoire de la position de l'agrégat et en calculer la vitesse et l'accélération.

Résultats

Afin de prédire théoriquement les résultats au préalable, une sommation des forces est calculée en prenant en compte les paramètres physiques d'un agrégat. Une sommation négative entraîne une pénétration d'interface, tandis qu'une sommation positive n'en provoque pas une.

Chaque paramètre a été attribué une valeur zéro à laquelle un agrégat est sur la limite de pénétrer l'interface. Une tendance théorique peut ensuite être calculée autour du zéro afin de déterminer les niveaux des paramètres expérimentaux.

Les prédictions et résultats sont ensuite comparés. 79% des données corroborent avec les prédictions sur un total de 32 mesures.



Conclusion

Les résultats démontrent la bonne corrélation entre les résultats théoriques et expérimentaux. Toutefois, une analyse plus poussée concernant les limites de certains paramètres est requise pour s'assurer d'une utilisation adéquate du système.

Les prochaines étapes permettront la réalisation d'une étude détaillée pour servir à la validation de concepts théoriques et d'approximations numériques.

Remerciements

Remerciements au CRSNG ainsi qu'à Rio Tinto Alcan pour le financement menant à la réalisation de ce projet. Remerciements au GRIPS de m'avoir donné l'opportunité de présenter mon projet.

Julien Proux
Université du Québec
à Chicoutimi

Lukas Dion - UQAC
László I. Kiss - UQAC
Jean-François Bilodeau
Rio Tinto
Sébastien Guérard
Rio Tinto

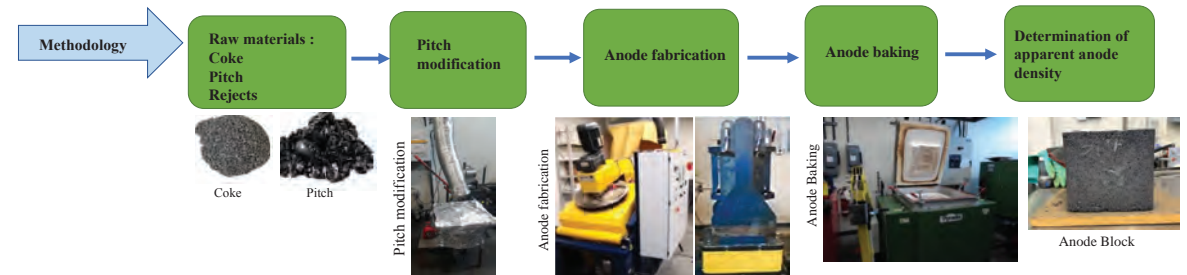
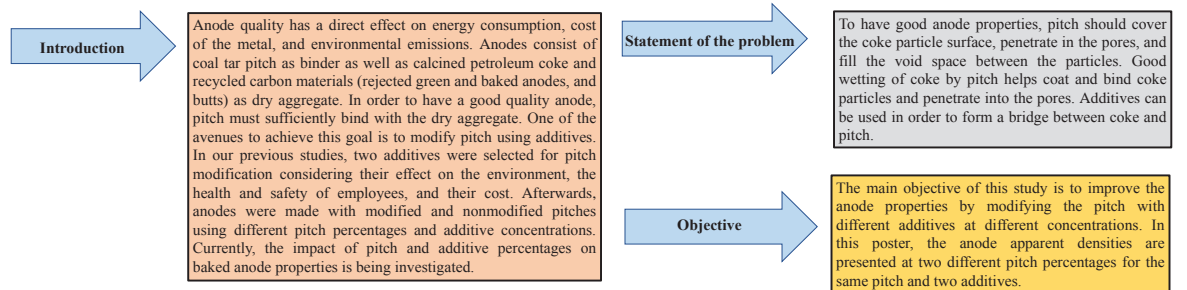
Une méthode expérimentale permettant de tester les conditions de pénétration d'un agrégat solide à travers une interface multiphasique a été développée. L'objectif de ce concept analogue est de comprendre une partie des mécanismes derrière la formation de boues générées au sein des cuves d'électrolyse. Ce montage permet la réalisation de mesures répétitives en utilisant des fluides et matériaux possédant des caractéristiques comparables à celle du bain électrolytique, de l'aluminium en fusion et des agrégats d'alumine solidifiés. Les fluides choisis pour la comparaison (eau et huile de silicone) ont été sélectionnés selon des comparaisons adimensionnelles avec le milieu industriel. Les agrégats solides sont constitués d'acide polylactique (PLA) de manière à favoriser une plus grande versatilité des paramètres caractéristiques tel que la densité et la géométrie des échantillons. Lors de l'expérimentation, l'agrégat est relâché à une hauteur définie au-dessus de l'interface biphasique. Un logiciel d'analyse d'images (OpenCV) est utilisé pour effectuer le suivi transitoire de la position de l'agrégat et en calculer la vitesse et l'accélération. Le bon fonctionnement du montage expérimental a été confirmé via la réalisation d'une étude paramétrique préliminaire. Les prochaines étapes permettront la réalisation d'une étude détaillée pour servir à la validation de concepts théoriques et d'approximations numériques.

An experimental method to test the penetrating conditions of a solid aggregate through a multiphase interface was developed with the goal of understanding part of the mechanisms leading to the formation of sludge in aluminum reduction cells.

An experimental setup was built for repetitive analogue measurements using fluids and materials comparable to the electrolytic bath, the molten aluminum and the alumina aggregates. Water and silicon oil were chosen as fluids based on a dimensionless comparison with the electrolysis environment. While polylactic acid (PLA) was chosen to reciprocate the aggregates due to the greater versatility of the material to reproduce characteristic parameters in the samples such as the density or the geometry. During experiments, the aggregate is dropped from a defined height above the multiphase interface. Image analysis (OpenCV) is used to track the transient position of the solid and evaluate its velocity and acceleration. The correct operation of the setup was confirmed with the successful realization of a preliminary parametric study. The next step will allow a detailed analysis to take place to validate theoretical hypotheses and numerical approximations.

Étude sur les propriétés de l'anode en modifiant différents types de brai avec différentes concentrations d'additifs

Investigation on anode properties through different pitch modifications with different additive concentrations



Results and discussion

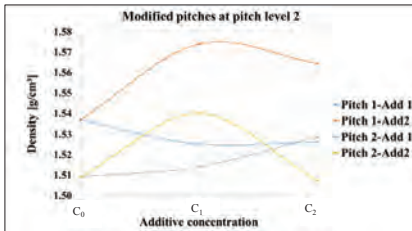
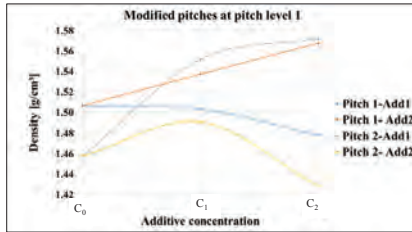
According to the results of a previous study, two additives were selected to modify the two types of coal tar pitch: additive 1 and additive 2 with three different percentages, ($0.5\% < C_0 < C_1 < C_2 \leq 5\%$ g/g).

Also, two different pitch percentages were used: Pitch level 1, and Pitch level 2.

The results showed that the green anode density increased when pitch modified with an additive was used compared to unmodified pitch.

1- Modification of Pitch type 1 by additive 1 and additive 2 affects the anode density and could increase its value.

2- Modification of pitch type 2 by additive 2 could increase the anode density, but modification of this pitch using additive 1 did not work.



Conclusions

The results showed that density increases with increasing pitch percentage. Both over-pitching and under-pitching reduce the anode density. Type of additive and its percentage used to modify the pitch affect the anode properties.

Future work

Other anode properties such as air and CO_2 reactivities, dusting, electrical resistivity, permeability, thermal expansion coefficient, compressive strength, etc. will be measured.

Acknowledgement

The technical and financial support of Rio Tinto Aluminum as well as the financial support of the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), and the University of Quebec at Chicoutimi (UQAC) is greatly appreciated.

References

- Kocaeff, D. et al., Review of Different Techniques to Study the Interactions Between Coke and Pitch in Anode Manufacturing, Light Metals, pp.1045-1050, 2013.
- Hulse, K.I., Anode Manufacture, Raw Materials Formulation and Processing Parameters, R&D Carbon Ltd., Sierre, Switzerland, 2000, p.p. 63
- Lu, Y., Effect of Pitch Properties on Anode Properties, Master's Thesis, UQAC, 2016.
- Bureau, J. Étude de l'amélioration de la qualité des anodes, Master's Thesis, UQAC, 2017.

Les anodes sont constituées de brai de goudron de houille comme liant ainsi que de coke de pétrole calciné et de matériaux carbonés recyclés (des anodes crues et cuites rejetées et des mégots) comme agrégat sec. Afin d'avoir une anode de bonne qualité, le brai doit se lier suffisamment avec l'agrégat sec. Une des pistes pour atteindre cet objectif est de modifier du brai à l'aide d'additifs. Dans nos études précédentes, deux additifs ont été sélectionnés pour la modification du brai en tenant compte de leur effet sur l'environnement, la santé et la sécurité des employés et leur coût. Ensuite, des anodes ont été produites avec des brais modifiés et non modifiés en utilisant de différents pourcentages de brai et de différentes concentrations d'additifs. Actuellement, l'impact du brai et des pourcentages d'additifs sur les propriétés des anodes cuites est étudié.

Anode quality has a direct effect on energy consumption, the cost of the metal, and environmental emissions. The anodes consist of coal tar pitch as binder as well as calcined petroleum coke and recycled carbon materials (rejected green and baked anodes, and butts) as dry aggregate. In order to have an anode of good quality, the pitch must sufficiently bind with the dry aggregate. One of the avenues to achieve this goal is to modify the pitch using additives. In our previous studies, two additives were selected for pitch modification considering their effect on the environment, the health and safety of employees, and their cost. Afterwards, anodes were made with modified and unmodified pitches using different pitch percentages and additive concentrations. Currently, the impact of pitch and additive percentages on baked anode properties is being investigated.

Une analyse numérique du comportement mécanique des agrégats de coke sous des charges monotones et cycliques

A Numerical Analysis of the Mechanical Behavior of Coke Aggregates under Monotonic and Cyclic Loadings



UNIVERSITÉ
LAVAL



Figure 1. Hall-Héroult electrolysis process.

Introduction

The study of the mechanical behavior of coke aggregates not only leads to a better understanding of the deformation mechanisms of granular materials under a compressive loading, but also can identify potential causes of structural defects in carbon anodes, such as horizontal cracks. On the other hand, thanks to recent advances in high performance computing, it is possible to simulate the behavior of granular materials such as coke aggregates with respect to the interactions between particles.

Figure 2. The sample in the DEM simulation of coke aggregates.

The purpose of this study is investigation of the mechanical behavior of coke aggregates under the cyclic and monotonic loadings through a DEM modeling approach. In addition, the effect of particle size distribution and shapes in the monotonic and the effect of number of cycles and the frequency of cyclic loading conditions will be investigated.

Figure 3. The interaction between (a) two real particles and (b) two spheres in DEM.

Methodology

Name of mixture	4-8 US Mesh ($d_{ave} = 3.7 \text{ mm}$)	8-14 US Mesh ($d_{ave} = 1.7 \text{ mm}$)	14-50 US Mesh ($d_{ave} = 0.8 \text{ mm}$)	Total number of particles
Single coke mixture (SCM)	6573 (250 g)			6573 (250 g)
Double cokes mixture (DCM)	4520 (171.9 g)	14306 (78.1 g)		18826 (250 g)
Triple cokes mixture (TCM)	3323 (126.4 g)	10532 (57.5 g)	81778 (66.1 g)	95633 (250 g)

Figure 4. Axial loading during the monotonic and cyclic loading tests.

The coke aggregate sample in this paper is generated by randomly inserting the particles within a cylindrical domain ($D = 49.8 \text{ mm}$) and applying gravity to the particles to naturally compact them. The boundaries of the cube are assumed to be displacement-controlled and frictionless.

1. Coke aggregate response under monotonic loading

Figure 6. Effect of the particle size distribution on the density of coke aggregates in the monotonic loading.

With the addition of smaller particles to the coke mixture, the slope of increasing the axial stress is reduced. By adding the small coke particles to the coke mixture, the axial pressure required for compression is reduced, increasing the final density and decreasing the reversible density of the mixture.

Result

Figure 7. Effect of the rolling resistance coefficient, η_r , on the density of the triple coke mixture (TCM) in the monotonic loading.

The higher rolling resistance coefficient and consequently higher amount of rolling moment can be considered as an indication that the particles have a more complex geometry and move away from the spherical state. By increasing the rolling resistance coefficient, which means that the particles have a more asymmetric geometry, the reversible density will decrease.

Figure 8. Effect of the strain rate on the density of the triple coke mixture (TCM) in the monotonic loading.

By increasing the velocity of the loading, the maximum density of the samples decreases. It can be concluded that although velocity has a very small effect on the permanent density of the coke mixture and decreases with increasing velocity, its effect on the amount of reversible density and consequent spring back of the coke mixture sample can be negligible.

2. Coke aggregate response under cyclic loading

Figure 9. Effect of the number of cycles on the permanent density of the triple coke mixture (TCM) in the monotonic loading (the frequency of loading is equal to 14.79 Hz).

The permanent density of triple coke mixture increases with increasing of the number of cycles. As shown in Figure 9, as the number of loading cycles increases, the slope of the permanent density graph decreases. As a result, in higher cycles, the amount of permanent deformation is less. This result was not farfetched, as decreasing the distance between particles as because of increasing the density of the mixture in higher cycles reduces the amount of rotation and displacement of the particles and less permanent deformation occurs.

Figure 10. Effect of the loading frequency on the permanent density of the triple coke mixture (TCM) in the cyclic loading.

By increasing the frequency the amounts of permanent density increase. It can be deduced that although the permanent density increases with the increasing of the loading frequency, increasing the frequency causes the slope of the permanent density graph to decrease. Thus, after the twentieth cycle, the amount of permanent deformation during each cycle decreases with increasing frequency.

Conclusion and Future work

- Adding small particles to the coke mixture reduces the axial pressure required for compression, thus, increasing the final density under a monotonic load and decreasing the reversible density of the mixture.
- As the coefficient of friction increases, the sphericity of the particles decreases and, as a result, the compressibility of the coke mixture during the monotonic loading decreases. Hence, it causes both the maximum density and the permanent density to decrease.
- The DEM modeling of the coke mixture also makes it clear that the density of the coke mixture in the vibrocompaction process is strongly dependent on the number of process cycles, and as the number of loading cycles increases, the permanent density of the mixture also increases.
- However, the carbon anode paste is very complex because it is composed of coke aggregates with very wide size distributions and also contains coal-tar pitch which acts like a viscous fluid during the compaction process. In the next step, the role of coal-tar pitch in the vibrocompaction process of anode paste will be explored by using DEM simulation.

L'étude du comportement mécanique des agrégats de coke permet non seulement de mieux comprendre les mécanismes de déformation des matériaux granulaires sous un chargement en compression, mais peut également identifier les causes potentielles de défauts structurels des anodes en carbone, telles que les fissures horizontales. Dans ce travail, nous étudions les facteurs les plus importants affectant le comportement mécanique des matériaux granulaires, tels que la distribution granulométrique ainsi que la forme des particules grâce à la modélisation par la méthode des éléments discrets (DEM). En considérant les anodes de carbone produites par le procédé de vibrocompaction, les effets de la fréquence et du nombre de cycles de ce procédé sur la densité finale du mélange de coke sont étudiés. Les résultats révèlent qu'en ajoutant les petites particules aux mélanges, la déformation réversible diminue grâce à la condition de chargement monotone. De plus, l'augmentation de la résistance au roulement réduira la quantité de déformation permanente dans la condition de chargement monotone. D'autre part, en augmentant la fréquence du vibrocompacteur, la déformation permanente est améliorée. De plus, une comparaison entre les conditions de chargement monotone et cyclique indique que, bien que l'augmentation de la vitesse de déformation réduise la déformation permanente dans la charge monotone, dans la charge cyclique, l'augmentation de la vitesse de déformation augmente la déformation permanente.

The study of the mechanical behavior of coke aggregates not only leads to a better understanding of the deformation mechanisms of granular materials under compressive loading, but can also identify potential causes of structural defects in carbon anodes such as horizontal cracks. In this work, we investigate the most important factors affecting the mechanical behavior of granular materials, such as the particle size distribution as well as the particle shape through the discrete element method (DEM) modeling. Considering carbon anodes produced by the vibrocompaction process, the effects of frequency and number of cycles of this process on the final density of the coke mixture are investigated. The results reveal that by adding the small particles to the mixtures, the reversible deformation decreases through the monotonic loading condition. In addition, increasing the rolling resistance will decrease the amount of permanent deformation in the monotonic loading condition. On the other hand, by increasing the frequency of the vibrocompactor, the permanent deformation is enhanced. Moreover, a comparison between monotonic and cyclic loading conditions states that, although increasing the strain rate reduces the permanent deformation in the monotonic loading, in the cyclic loading, increasing the strain rate increases the permanent deformation.

Alireza Sadeghi-Chahardeh
Laval University

Roobeh Mollaabasi - UL
Donald Picard - UL - Alcoa
Seyed Mohammad Taghavi
UL
Houshang Alamdari - UL

Analyses paramétriques des facteurs dominants affectant la coalescence et la fragmentation d'agrégats d'alumine à l'interface bain-métal dans une cuve d'électrolyse

Parametric study on the dominant factors influencing the coalescence and fragmentation of alumina aggregate at the bath-metal interface in an electrolysis cell

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi



GRIPS

Groupe de recherche en ingénierie
des procédés et systèmes

Introduction

On soupçonne qu'une portion non négligeable de l'alumine injectée dans la cuve coule jusqu'à l'interface bain-métal [1]. Cette étude s'intéresse à la dispersion de cette portion d'alumine sous la forme d'agrégats à l'interface bain-métal.

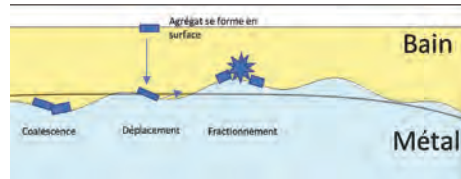


Figure 1 - Schéma de la problématique

Objectif

Observer le comportement d'un groupe d'agrégats d'alumine en utilisant un modèle numérique du déplacement à l'interface bain-métal. Le modèle simule le transport par les mouvements ondulatoires de cette interface. Il tient compte que les agrégats puissent se fusionner ou se fractionner sous la contrainte lors de leurs mouvements.

Méthodologie

Le modèle numérique utilise une accélération horizontale à partir des lois de Newton et d'un terme de courant.

$$a(x, v, t) = \left(\frac{1}{C_m(m+1)} \right) * \left(-\frac{\delta I}{\delta x} * \left(m * \frac{\delta^2 \eta}{\delta t^2} + P \right) - D_x \right)$$

L'équation du mouvement dépend de la masse et de la forme de l'agrégat (m , P , D_x , C_m) et aussi de la forme de l'interface ($\frac{\delta I}{\delta x}$, $\frac{\delta^2 \eta}{\delta t^2}$). La forme de l'interface est caractérisée par 3 phénomènes en superpositions linéaires [2, 3]. Dans ce contexte, les vagues sont des ondes périodiques.

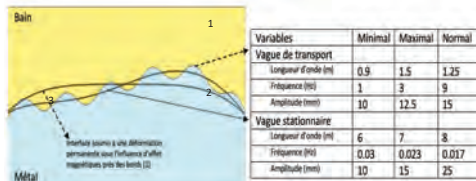


Figure 2 - Phénomènes à l'interface

Après l'identification des intrants et de l'étendue de leur domaine respectif, plusieurs scénarios ont été simulés selon un plan factoriel complet de niveau mixte. Chaque scénario dure 30 secondes et considère 8 agrégats initialement. À la fin d'un scénario, la masse moyenne des agrégats et la distance moyenne qui les sépare sont mesurées.

Analyse des résultats

Plus de 50 000 scénarios ont été analysés. Les résultats montrent que la fréquence de la vague de transport est le facteur dominant dans le comportement des agrégats.

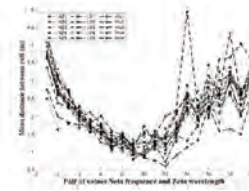


Figure 3 - Dispersion des radeaux

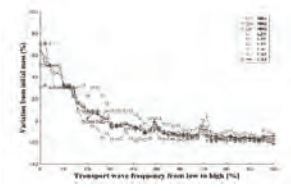


Figure 4 - Fractionnement des radeaux

En observant la figure 3, on remarque que la dispersion maximale se produit aussi bien à haute fréquence (~10Hz) qu'en basse fréquence (~1Hz). En observant la figure 4, on remarque que la masse moyenne des radeaux tend à augmenter à basse fréquence et à diminuer à haute fréquence. En combinant ces deux observations, on remarque que la dispersion à basse fréquence est artificiellement augmentée par la fusion des agrégats. Le nombre d'agrégats diminue ce qui augmente la distance moyenne entre les agrégats restants. Ce phénomène est illustré à la figure 5.

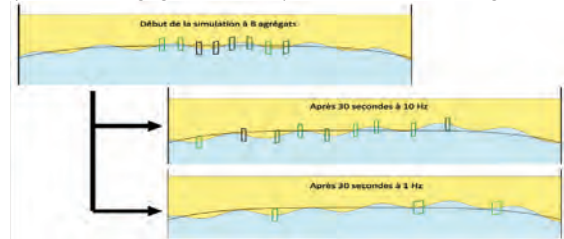


Figure 5 - Résultat de simulation MATLAB

Conclusion

En conclusion, les conditions de cuve qui produisent des vagues de transport autour de 10 Hz favorisent la dispersion des agrégats d'alumine. De plus, ces radeaux fragmentent plus facilement dans ces conditions. Il est probable que les fragments plus petits soient plus rapidement dissous dans le bain. Une version plus poussée du modèle numérique pourra confirmer cette hypothèse en incluant la dissolution.

Références

- [1] Kaszas Csilla, « Behaviour of alumina powder fed into molten electrolytic bath », Doctoral dissertation, under the supervision of L.I. Kiss and S. Poncsak, Chicoutimi, UQAC, 2020, 162 p.
- [2] F. Laroche, « Études des phénomènes d'oscillation régulière de l'interface bain-métal d'une cuve d'électrolyse », Master thesis UQAC, Chicoutimi, 1988
- [3] A. Solheim and S. Rolseth, "Some surface and interfacial phenomena encountered in aluminium electrolysis," *Light Metals*, pp. 469-474, 2001.

Remerciement

L'auteur tient à remercier les partenaires suivants pour leurs contributions techniques et financières.



Tomas Richer
Université du Québec
à Chicoutimi

L. Dion - UQAC
L.I. Kiss - UQAC
S. Guérard - Rio Tinto
J-F Bilodeau - Rio Tinto
L. Rakotondramana
UQAC

Des travaux précédents ont mené à la mise en place d'un modèle numérique permettant de simuler le comportement d'un radeau d'alumine flottant à l'interface entre le bain électrolytique et l'aluminium liquide (IBM). Les travaux récents accomplis ont permis d'améliorer la versatilité d'utilisation du modèle en permettant de considérer simultanément plusieurs phénomènes qui affectent la nature de l'interface ou le comportement associés aux radeaux. L'interface est décrite par trois phénomènes distincts. Premièrement, une vague de transport qui provient des perturbations de la cuve telles que les bulles ou les injections d'alumine. Deuxièmement, une onde stationnaire qui provient des forces magnétohydrodynamiques produites dans la cuve. Enfin, une déformation permanente due aux effets de bord des forces magnétohydrodynamiques. Les radeaux d'alumine peuvent maintenant s'agglomérer entre eux selon les vitesses de la collision calculées ou se briser en fonction des forces exercées par le milieu environnant. Les recherches entreprises dans le projet présenté ici ont trouvé différents scénarios dans lesquels la dispersion ou l'agglomération de la masse d'alumine était favorisée le long d'un axe dans la cuve d'électrolyse. Ces travaux permettent de mieux cibler les facteurs dominants à considérer dans les recherches à venir.

Previous work led to the development of a numerical model to reproduce the behavior of alumina rafts floating at the bath-metal interface (BMI) in an electrolysis cell. Recent improvement to the numerical model led to a broader application and a more "cell-like" scenario by representing simultaneously different mechanisms affecting the state of the BMI or specific behavior of the alumina aggregates. The mathematical model now considers three respective bath metal interface phenomena. First, the transport wave stems from disturbance such as gas bubbles or alumina feedings. Second, the stationary wave produces by the magnetohydrodynamics force in the cell. Third, a well-known permanent deformation of the bath-metal interface (BMI) also a result of the magnetic behavior in the cell. Additionally, the new model simulates the fragmentation and coalescence of multiple alumina rafts. This poster summarizes the results from a parametric study performed using the improved numerical model to identify scenarios in which alumina rafts are more likely to form aggregates or disperse along a specific axis. Such work will pave the way to future studies by identifying some of the key factors that play a role in such a complex environment.

Développement d'un modèle mathématique pour simuler l'injection de l'alumine dans les cuves d'électrolyse

Development of a mathematical model to simulate the injection of alumina into the electrolytic cells



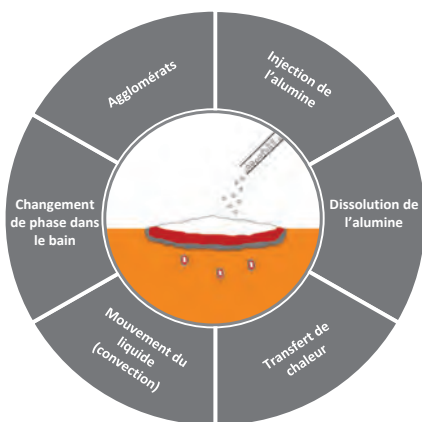
Introduction

Dans l'objectif d'améliorer l'injection de l'alumine dans les cuves d'électrolyse, un modèle mathématique est développé pour comprendre tous les mécanismes présents (transfert thermique, déplacement des particules, dissolution) et déterminer leur implication dans la formation de radeau. Un radeau est un agrégat formé de particules d'alumine et de bain solidifié flottant à la surface du bain. Cette affiche présente ce modèle permettant la simulation des particules d'alumine individuelles et du liquide au moyen d'un couplage entre la Méthode des Éléments Discrets (DEM) et la méthode « Smoothed Particle Hydrodynamics » (SPH).

Méthodologie

- Utilisation de la DEM pour simuler les particules d'alumine solide et leurs interactions avec l'environnement.
- Utilisation de la méthode SPH pour résoudre les équations de la mécanique des fluides pour déterminer l'écoulement dans le bain.
- Deux sous-modèles utilisent la méthode SPH pour décrire les autres phénomènes physico-chimiques.
 - Le premier calcule la température de l'alumine et du bain pour identifier la solidification et la fusion de la gelée autour du radeau.
 - Le second calcule le taux de dissolution d'alumine et assure une diminution conséquente du diamètre des particules allant jusqu'à leurs disparitions complètes.
- Une accélération est ajoutée au bilan des forces appliquées aux particules de bain pour simuler la convection naturelle issue des échanges thermiques.
- Le modèle est développé pour fonctionner avec les cartes graphiques et bénéficier de l'optimisation du temps de résolution provenant de l'exécution de calculs parallèles.

Vue globale du modèle :



Partenaires et remerciements

Les auteurs remercient les partenaires pour leur confiance et leurs soutiens financiers.

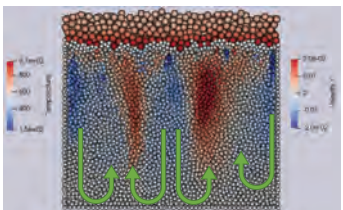


Résultats

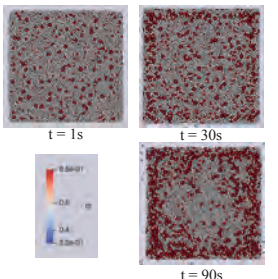
La simulation représente l'injection dans le bain de 14 grammes de particules d'alumine avec un rayon de 0,85mm où la température avant injection est de 150°C. La taille des particules est plus importante que la réalité, mais permet de reproduire des radeaux de dimensions semblables tout en limitant le temps de calcul. Le bain est à une température de 975°C avec un liquidus à 960°C. La concentration initiale en alumine dans le bain est fixée à 3% massique. Les particules sont injectées avec l'aide d'un entonnoir pour représenter l'injecteur dans les cuves d'électrolyse.

Un échange thermique est considéré entre le bain liquide et les parois du réservoir pour simuler un volume de bain plus important. Un échange thermique est ajouté à la couche limite supérieure du radeau pour simuler l'échange thermique avec l'ambient (croûte).

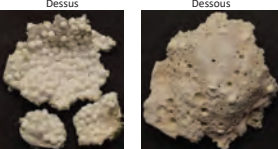
Convection naturelle dans le bain 10s après l'injection (température [°C] (alumine) et vitesse [m/s] (bain)) :



Évolution de gelée sous le radeau et rayon des particules d'alumine [mm] (vue de dessous du radeau) :



Exemple de radeau d'alumine (grosses particules de 3,5mm de diamètre)

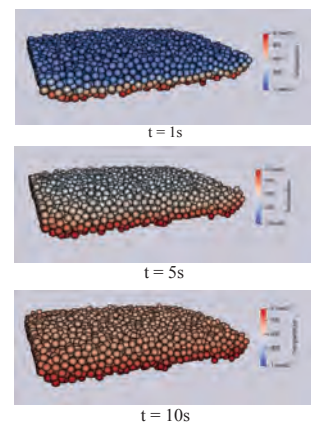


Les particules sont maintenues liées grâce à une force de cohésion ce qui permet la simulation de la formation du radeau. Cette force est fonction de la température et de la distance interparticulaire.

Les échanges thermiques sous le radeau permettent le décrochement de la couche limite thermique et l'apparition de la convection naturelle. Ce mouvement permet la création de 4 vortex permettant l'apport de chaleur sous le radeau.

Les parties latérales du radeau se libèrent plus rapidement du bain solidifié et permettent aux particules d'alumine de se dissoudre.

Évolution de la température [°C] dans l'alumine :



Conclusion

L'objectif principal du modèle mathématique est de simuler l'injection de l'alumine dans les cuves d'électrolyse. La plupart des mécanismes sont intégrés et permettent d'obtenir un résultat similaire aux radeaux expérimentaux. Trois phases peuvent être distinguées dans la structure du radeau : des particules d'alumine libre, des particules en cohésion avec le bain et le bain solidifié.

Ce modèle démontre un potentiel important pour étudier l'injection et l'effet causé par la variation de certains paramètres précis (Température d'injection, masse injectée, diamètre des particules, angle d'injection). Les résultats seront très bénéfiques pour mieux comprendre, et altérer l'évolution de la structure d'un radeau d'alumine.

Thomas Roger
Université du Québec à Chicoutimi

Lukas Dion - UQAC
László Kiss - UQAC
Sébastien Guérard
Rio Tinto

Jean-François Bilodeau
Rio Tinto

Guillaume Bonneau - UQAC
Kirk Fraser - Centre national de recherches du Canada

L'injection de l'alumine dans les cuves d'électrolyse est une des étapes importantes de la production d'aluminium primaire. L'injection est un regroupement de phénomènes thermo-physico-chimiques. Ce projet a comme objectif de représenter numériquement et simultanément les différentes cinétiques rencontrées dans les conditions industrielles telles que l'interaction directe entre les particules, l'interaction entre les particules et le liquide, les transferts thermiques en découplant, les changements de phases et les phénomènes de transfert de masse. Le bilan global du développement de ce modèle et de toutes les physiques considérées est présenté. Il démontre clairement le potentiel du couplage SPH-DEM («Smoothed hydrodynamics particle» – «Discrete element method») pour simuler l'injection de l'alumine sous forme de particules et la prise en compte du changement de phase dans un liquide. Ce modèle permet également de représenter des conditions complexes, comme la présence de convection naturelle en dessous du radeau. La masse d'alumine dissoute et la masse de bain solidifié sont suivies en fonction du temps et permettent de comprendre l'évolution transitoire du radeau de l'injection jusqu'à la dissolution complète de celui-ci. Enfin, le potentiel d'utilisation de ce modèle est présenté, axé sur le besoin de l'industrie pour permettre d'illustrer les avancés futures.

The injection of alumina into the electrolytic cells is an important step in primary aluminum production. The injection is composed of multiple thermo-physico-chemical phenomena. The goal of this project is to represent the different kinetics encountered in industrial conditions such as the direct interactions between particles, the interactions between particles and the liquid, the resulting heat transfer, the different phase change and the mass transfer. The overall achievements from the development of the model and all the physics considered are presented. It demonstrates the potential of SPH-DEM ("Smoothed hydrodynamics particle" – "Discrete element method") coupling to simulate the injection of alumina as particular material considering the phase change in a liquid. This model also makes it possible to represent complex conditions, such as the presence of natural convection below the raft. The dissolved alumina mass and the solidified bath mass are tracked over time and provide insight into the transient evolution of the raft from the injection to its complete dissolution. Finally, the potential usage of the model for future studies is presented focused on the industry's requirement.

AXE 2

TRANSFORMATIONS ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Axe | Axis 2

Répertoire des affiches | Posters directory

Les étudiants dont le nom est suivi d'un astérisque (*) sont récipiendaires d'un prix d'excellence pour leur affiche.
Students whose name is followed by an asterisk (*) are recipients of an award of excellence for their poster.

Chin Chieh Cheng

Étude de la réponse du traitement thermique T5 sur un alliage
AlSi7Mg imprimé par fusion laser sur lit de poudre
via le modèle Johnson-Mehl-Avrami..... 32

Cyril Aulagnier

Étude de la fissuration à chaud de deux alliages d'aluminium
binaire moulés sous haute pression et sous vide..... 33

Mohamed Ahmed

Le développement des matériaux d'apport à haute
performance pour le soudage par fusion des alliages
à base d'aluminium..... 34

Yanis Balit

Développement d'une nouvelle éprouvette de cisaillement
pur pour des essais de fatigue vibratoire..... 35

Ahmed Y. AlGendy

L'évolution de la microstructure et des propriétés mécaniques
de l'alliage AA5083 par microalliage de Sc et Zr..... 36

Sabri Ben Slimen

Étude expérimentale et numérique du soudage au laser
de joints à simple recouvrement en alliage d'aluminium
5052-H36..... 37

Alexandra Béland*

Amélioration de la formabilité des tôles d'aluminium 6061
par laminage non conventionnel..... 38

Côme Cloutier*

Développement de méthodes de calcul et d'évaluation
du comportement en fatigue des tabliers en aluminium
de ponts routiers..... 39

Sanaz Chehrzad

Conception, modélisation et optimisation d'une nouvelle
génération de pylônes de transmission en aluminium..... 40

Nicolas Dumaresq

Caractérisation d'alliage d'aluminium par microscopie
électronique pour mieux comprendre sa microstructure
et ses propriétés..... 41

Mani Mohan Tiwari*

Traitement de surface par abrasion mécanique facile
et ses influences paramétriques sur l'assemblage adhésif
de l'alliage d'aluminium AA6061-T6..... 42

Tristan Coderre*

Nouvelle méthode de dimensionnement pour la résistance
en section des sections ouvertes en aluminium..... 43

Francis Corriveau*

Élaboration d'une courbe SN universelle pour la prédiction
numérique de la durée de vie en fatigue de structures
rivetées complexes..... 44

Manel Houria

Évolution des paramètres microstructuraux de l'alliage
d'aluminium AA2024-T3 après des essais de traction uniaxiaux..... 45

Liyang Cui, Zhan Zhang

Développement des alliages entropiques et légers à base d'aluminium pour des applications à température élevée..... 46

Sahar Dahboul

Conception améliorée des profilés extrudés en aluminium..... 47

Jaskaranpal Singh Dhillon

Influence du traitement de recuit de détente sur l'alliage d'aluminium F357 fabriqué par fusion laser sur lit de poudre..... 48

Mohammadreza Mofarreh*

L'effet du Mn sur le formage à chaud et la cartographie du processus des alliages Al-Mg-Mn..... 49

A. Elasheri

L'effet de l'homogénéisation en deux étapes sur les dispersoïdes Al₃Zr et sur la contrainte d'écoulement des alliages Al-Mg-Si contenant du Zr..... 50

Zimeng Wang

L'effet du Si sur l'évolution des précipités et la stabilité à température élevée des alliages Al-Cu 224..... 51

Mohamed Ibrahim

Étude expérimentale du comportement d'érosion par gouttelettes d'eau des alliages d'aluminium..... 52

Benoit Crépin*

Développement d'une méthode de jonction pour les panneaux à âmes ouvertes ondulées en aluminium..... 53

Q. Shao

Les conducteurs électriques en alliages d'aluminium à haute performance pour applications à température élevée..... 54

Emilio Galindo

Fabrication de filament fondu métallique, déliage et frittage d'alliage d'aluminium AlSi10Mg..... 55

Chaima Hajji

Optimisation de la pratique d'affinage des grains dans les alliages d'aluminium corroyés..... 56

Peng Hu

L'effet du microalliage avec du Mg sur la résistance au fluage de l'alliage Al-Cu 224..... 57

Siamak Nikzad Khangholi*

L'effet des ajouts d'Ag et de Cu sur la dureté et la conductivité électrique des alliages Al-Mg-Si en utilisant le traitement thermomécanique conventionnel et modifié..... 58

Valentin Walter

Définition de systèmes de prédiction assistée du comportement en fatigue d'assemblage de pièces d'aluminium..... 59

Rania Afia Nuamah

Comparaison du comportement des supercondensateurs de l'aluminium revêtu de polypyrrole et de la mousse de nickel revêtu d'oxyde de nickel..... 60

Anubhav Kumar Singh

Fusion laser sur lit de poudre d'alliages d'aluminium à haute résistance et non soudables..... 61

E. Pourkhorshid

La faisabilité de la production des alliages d'aluminium à haute dureté par le procédé de fabrication additive fusion au laser sur lit de poudre..... 62

Mohamed Qassem

L'effet des mesures de déformation sur le module de Young des alliages AA6111 à l'état semi-solide..... 63

An Fu

Estimation quantitative des paramètres de solidification des alliages d'aluminium en fabrication additive..... 64

Farzaneh Vahidi Mayamey

Développement d'alliages d'aluminium extrudés de la série 6xxx avec des propriétés mécaniques améliorées..... 65

Shuai Wang, Kun Liu

Comportement en fatigue thermomécanique des alliages de fonderie Al-Si 319 et 356..... 66

Étude de la réponse du traitement thermique T5 sur un alliage AlSi7Mg imprimé par fusion laser sur lit de poudre via le modèle Johnson-Mehl-Avrami

Understand the strengthening response of T5 heat treatment of laser powder bed fusion printed AlSi7Mg alloy through the Johnson Mehl Avrami model



McGill P² [AM]² Lab

Introduction:

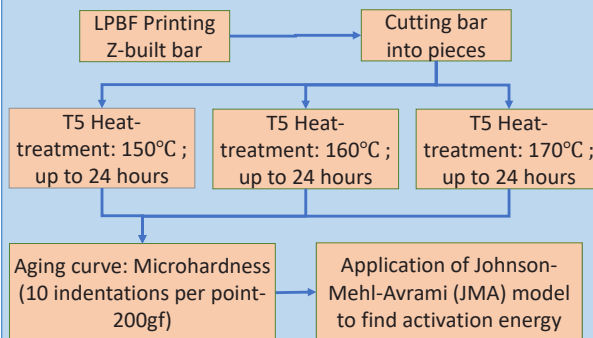
Laser powder bed fusion (LPBF) is a promising additive manufacturing method to produce aluminum alloys for various industries, such as aerospace and automobile. F357 (AlSi7Mg) is a widely used casting alloys due to its excellent castability, high specific strength, and heat treatability. For LPBF fabrication, it is relatively easy to print AlSi7Mg alloy with near 99.9% specific density. Research on heat treatments to strengthen existing LPBF printed Al alloy is paramount to maximize the properties. In this study, the Johnson-Mehl-Avrami (JMA) model is used to analyze the T5 heat treatment strengthening response of AlSi7Mg alloy printed by LPBF.

Objective:

Investigate the T5 aging response of LPBF printed AlSi7Mg samples with:

1. T5 microhardness aging curves at different temperatures
2. JMA model application to obtain apparent activation energy

Methodology:



JMA Formula used:

$$f = 1 - \exp(-Kt^n) \quad \text{Eq.1} \quad \begin{array}{l} K: \text{temperature induced constant} \\ t: \text{transformation time during heat treatment} \end{array}$$

$$H_e = \frac{H - H_i}{H_{\max} - H_i} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau}\right)^n\right] \quad \text{Eq.2} \quad \begin{array}{l} n: \text{Avrami index number} \\ f: \text{transformation fraction during Heat treatment} \end{array}$$

$$\log\left(\ln\left(\frac{1}{1-H_e}\right)\right) = n \log(t) - n \log(\tau) \quad \text{Eq.3} \quad \begin{array}{l} E: \text{Activation energy} \\ R: \text{universal gas constant} \end{array}$$

H_i : Initial hardness t : heat treatment time τ : to: time related constant
 H_{\max} : max (peak) hardness H : hardness at time t T : heat treatment temperature

References:

- [1] A357 aluminum alloys through the Johnson-Mehl-Avrami theory," *Metal Powder Report*, vol. 72, no. 6, pp. 420-424, 2017/11/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2016.08.006>.
- [2] E. Ogris, A. Wahlen, H. Luchinger, and P. J. Uggowitzer, "On the silicon spheroidization in Al-Si alloys," *Journal of Light Metals*, vol. 2, no. 4, pp. 263-269, 2002/11/01/ 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S1471-5317\(03\)00010-5](https://doi.org/10.1016/S1471-5317(03)00010-5).

Results:

T5 aging curves:

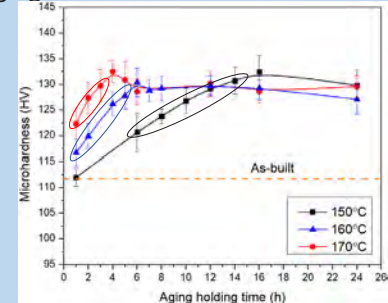


Fig. 1. T5 aging curves of three different temperatures

JMA model Application:

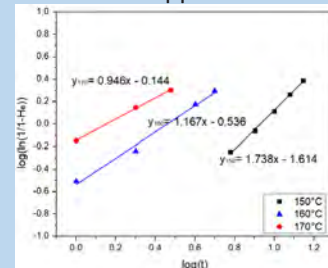


Fig. 2. Plot of $\log(\ln(1/(1-H_e)))$ vs. $\log(t)$ from Eq.3

Table 1 : Avrami number n

150 °C	160 °C	170 °C
1.738	1.167	0.946

Table 2 : τ constant

150 °C	160 °C	170 °C
8.481	2.882	1.421

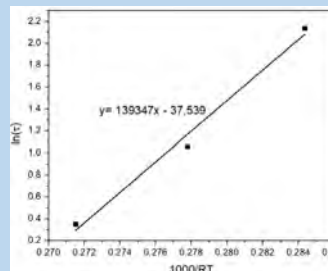


Fig. 3. Plot of $\ln(\tau)$ vs. $1000/RT$ from Eq.4

Table 3 : Activation energy comparison

Obtained in this study
139 kJ/mol
JMA for T6 A357 [1]
~ 40 kJ/mol
Interdiffusion of Si in Al [2]
~ 135 kJ/mol

Conclusions:

- T5 of LPBF AlSi7Mg alloy has a significant different activation energy compared to T6 A357 (AlSi7Mg), which has β'' -Mg₂Si precipitates as a critical precipitation hardening factor.
- Si-based precipitates might be the actual factor responsible to the T5 aging response of LPBF AlSi7Mg.

Chin Chieh Cheng
McGill University

Jaskaranpal
Singh Dhillon - McGill
Zhen Li - McGill
Mathieu Brochu - McGill

La fusion laser sur lit de poudre (LPBF) est une méthode de fabrication additive prometteuse pour fabriquer des alliages d'aluminium pour diverses industries, telles que l'aérospatiale, le biomédical et l'automobile. L'utilisation du procédé LPBF pour imprimer des alliages d'aluminium présente les avantages suivants: fabrication de géométries complexes, résistance spécifique élevée, souplesse de conception et possibilité de développer de nouveaux alliages. Il est primordial d'étudier l'application de post-traitements, qui se réfèrent principalement à des traitements thermiques, pour augmenter la résistance mécanique d'alliages d'aluminium imprimé par LPBF. Dans cette étude, le modèle de Johnson-Mehl-Avrami (JMA) est utilisé pour analyser la réponse du traitement thermique T5 au renforcement de l'alliage AlSi7Mg imprimé par la méthode LPBF.

Laser powder bed fusion (LPBF) is a promising additive manufacturing method to produce aluminum alloys for various industries, such as aerospace, biomedical, and automobile. LPBF of aluminum alloy has several advantages: fabrication of intricate geometry, high specific strength, improved design flexibility, and the possibility of developing new alloys. Research on improving post treatments, which mostly refer to heat treatments, to strengthen existing LPBF printed Al alloy is paramount to maximize the properties. In this study, the Johnson-Mehl-Avrami (JMA) model is used to analyze the T5 heat treatment strengthening response of AlSi7Mg alloy printed by LPBF.

Étude de la fissuration à chaud de deux alliages d'aluminium binaire moulés sous haute pression et sous vide

Study of hot tearing of two binaries aluminium alloys cast with the High Pressure Vacuum Die Casting (HPVDC) technic



Introduction



- Les alliages mis en forme par moulage sous pression et sous vide sont fréquemment soumis au phénomène de fissuration à chaud
- Ce défaut critique entraîne un rejet immédiat de la pièce
- Pour évaluer la susceptibilité à la fissuration à chaud Rio Tinto et le CMQ se sont inspirés d'un moule type N-Tec pour l'appliquer à cette technique

Tab 1. Pondération selon les attributs des fissures pour déterminer C_x

B	Bas	1
H	Haut	1
M	Masselotte	1
D	Débouchante	2
ND	Non-Débouchante	1
C	Complète	2
P	Partielle	1
TP	Très Petite	-1
FT	Fissuration Tige	0

$$C_x = B(D + ND + C + P + TP) + H(D + ND + C + P + TP) + M$$

$$C_{\text{alliage}} = \sum_{b=1}^{b=4} b \cdot C_{mx}$$

C_{mx} : Moyenne C_x
 b : sévérité barre x

Fig 1. Géométrie de la pièce moulée sous haute pression et sous vide

Objectifs

- Validation de la géométrie du moule destiné à évaluer la fissuration à chaud en moulage sous haute pression et sous vide
- Comparer deux alliages binaires Al-Cu avec deux cotes de sévérité différentes à la fissuration à chaud (Fig 2.)
- Redéfinir un critère de sévérité pour la fissuration à chaud spécifique à ce moule

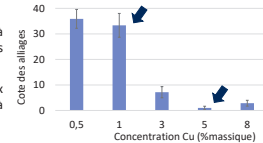


Fig 2. Cote de sévérité pour chaque alliage binaires Al-Cu, montrant le choix des alliages pour cette étude

Hypothèses

- Chaque barre serait soumise à des contraintes proportionnelle à leur longueur causées par la solidification des masselottes à leur extrémités
- L'alliage Al-1%Cu posséderait un intervalle de fragilité important et des phases comme $\alpha(\text{MnFe})$ et $\beta(\text{FeCu})$ peuvent augmenter le risque de fissuration à chaud

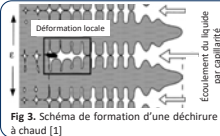
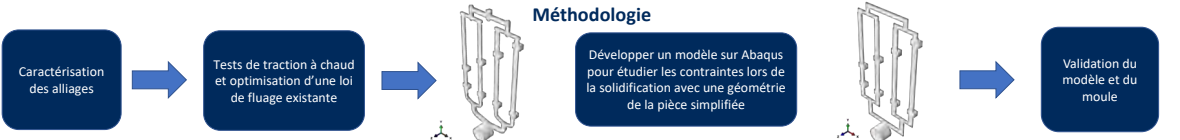


Fig 3. Schéma de formation d'une déchirure à chaud [1]

Méthodologie



Caractérisation mécanique des deux alliages à l'étude

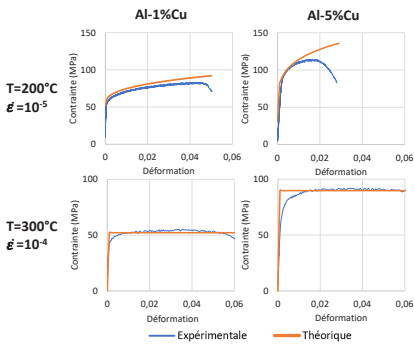


Fig 4. Tests de traction à chaud pour différents températures et différents taux de déformation permettant de redéfinir une loi de fluage existante développée par Larouche et al. [2]

Simulation pour l'alliage Al-1%Cu

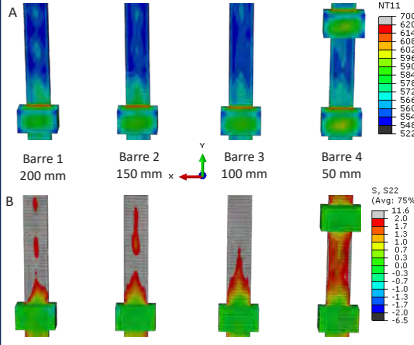


Fig 5. Cartographie de la répartition de la température (A, NT11) et des contraintes oxy (B, S22) dans l'intervalle de fragilité de l'alliage Al-1%Cu

Mise en relation des données de simulation avec les données expérimentales pour l'alliage Al-1%Cu

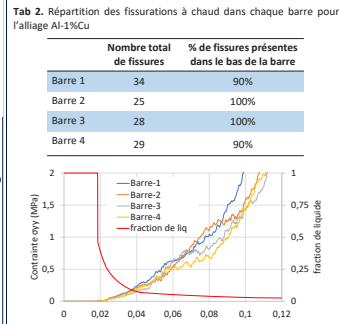


Fig 6. Contraintes en oxy et fraction de liquide fonction du temps déterminée à partir du logiciel Abaqus pour l'alliage Al-1%Cu

Analyse chimique des deux alliages

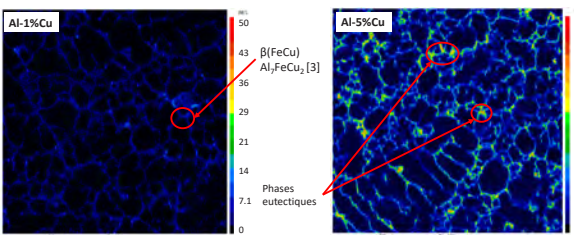


Fig 7. Cartographie de la répartition du cuivre à la microsonde pour les alliages Al-1%Cu et Al-5%Cu (G x2000)

Conclusions

- ✓ L'alliage Al-5%Cu possède un pourcentage de phase liquide au solidus suffisamment important pour s'accommoder plus facilement aux contraintes et déformations diminuant son risque de fissurer à chaud
- ✓ L'alliage Al-1%Cu possède un intervalle de fragilité et les contraintes générées sont suffisantes dans les quatre barres pour permettre l'ouverture des fissures observées dans le bas de chaque barre
- ✓ Le moule développé pour l'évaluation de la fissuration à chaud des alliages d'aluminium semble être validé

Travaux futurs

- Simulation avec la géométrie réelle afin de vérifier l'impact de la simplification de la géométrie
- Faire une analyse plus approfondie des intermétalliques et de leur impacts sur la fissuration à chaud
- Définir un critère de sévérité applicable à tous les alliages pouvant être moulés sous pression

Remerciements

Je tenais à remercier le CMQ et Rio Tinto sans qui ce projet de recherche ne pourrait pas aboutir

Références

1. Ragges, M., J. Drevet, and M. Grenaud, Metallurgical and Materials Transactions A, 1999, 30(2): p. 449-455.
2. Larouche, D., et al., Metallurgical and Materials Transactions B, 2006, 37(3): p. 431-443.
3. Kamps, H.K., et al., Materials Science and Engineering: A, 2010, 527(1/2/28): p. 7413-7423.

En moulage sous haute pression et sous vide, les alliages d'aluminium sont les plus souvent utilisés notamment pour leur facilité de mise en forme, mais ces derniers sont souvent confrontés au phénomène de fissuration à chaud. La principale hypothèse avancée sur la formation des criques à chaud est que le remplissage interdendritique peut être empêché par les dendrites en croissance pouvant créer des poches de phase liquide. Le retrait causé par la contraction du liquide lors de sa solidification ne pourra être compensé qu'en générant l'ouverture d'une porosité ou d'une fissure. Un moule a été conçu par RTAL et le CMQ pour définir un indice de fissuration à chaud. La pièce formée possède quatre barres de quatre longueurs différentes placées entre deux masselottes donnant une sévérité proportionnelle à leur longueur. Un alliage avec une forte susceptibilité à la fissuration à chaud (Al-1 %wtCu) a été comparé avec un autre plus résistant (Al-5 %wtCu). Des simulations faites sur Abaqus ont permis de vérifier la validité du moule et un critère de sévérité a pu être défini pour chaque alliage et pour chaque barre de la pièce. Les données des campagnes de coulées ont permis de confirmer le critère de sévérité.

Aluminum alloys are the most widely used alloys in HPVDC technic because of their adapted properties, however, some of them have a strong hot tearing susceptibility which leads to critical defects. The main hypothesis is that inter-dendritic feeding is impeded by the growth of the dendrites creating some liquid phase pockets. Shrinkage generated during the solidification cannot be compensated and could initiate cracks or the formation of porosity. To determine the hot tearing sensitivity of aluminum alloys, a die was developed by RTAL and the CMQ to cast a sample with four bars of four different lengths between two riser materials at each extremity. The hot tearing severity of each bar should increase proportionally with their length. In this study two alloys are compared, one with a high hot tearing susceptibility (Al-1%wtCu) and another alloy more resistant (Al-5%wtCu). Simulation made with Abaqus was performed to verify the model validity and to define a severity criterion for each alloy and each bar.

Cyril Aulagnier
Laval University

Daniel Larouche - UL
David Levasseur - Centre de la Métallurgie du Québec

Le développement des matériaux d'apport à haute performance pour le soudage par fusion des alliages à base d'aluminium

On the development of high-performance filler materials for fusion welding of aluminum-based alloys

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS
TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

1. Introduction



2. Objective

- Study the microstructure and the mechanical properties of joints welded using 4xxx fillers modified with Mg and Mn.
- Study the effect of post weld heat treatment (PWHT) on microstructure and the mechanical properties of joints welded using the new fillers.

3. Experimental procedures

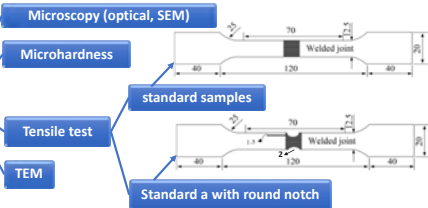
Filler	Si	Fe	Mn	Mg	Ti	Cu	Cr
-	Base Metal (6061-T651)						
-	0.52	0.18	0.11	1.05	0.03	0.25	0.24
-	Fillers Alloys						
ER4043	4.91	0.16	0.02	0.02	0.11	-	-
F1	6.23	0.14	0.23	0.6	0.10	-	-
F2	6.22	0.17	0.25	0.98	0.10	-	-
F3	6.4	0.18	0.28	1.4	0.10	-	-

Welding
GMAW

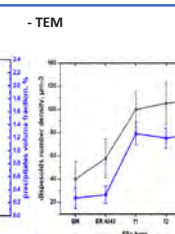
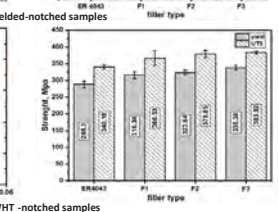
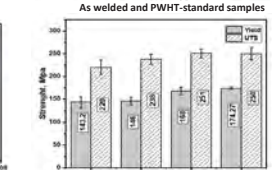
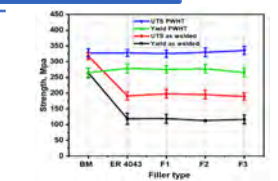
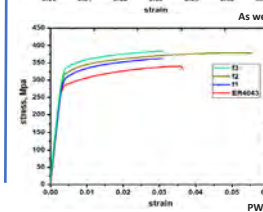
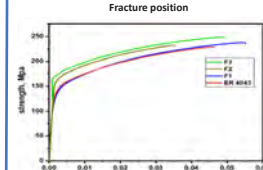
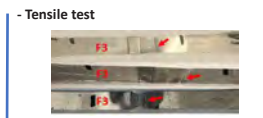
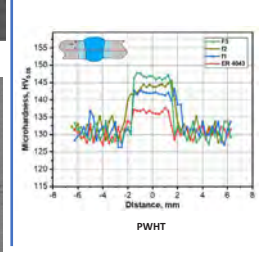
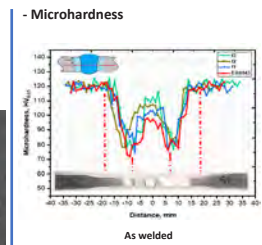
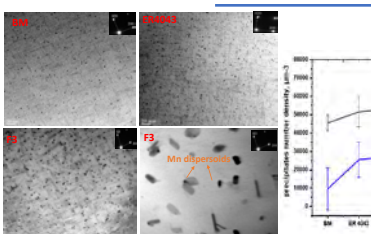
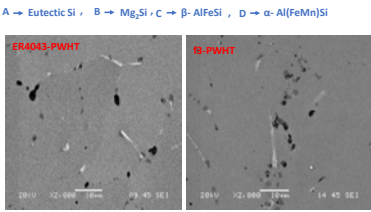
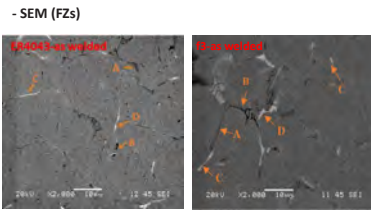
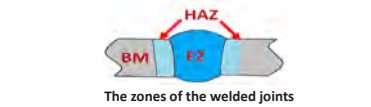
As welded

characterization

PWHT (sol. at 530 °C for 1 hr. then aging at 170 °C for 6 hr.)



4. Results



5. Conclusion

- The dilution of the BM can enhance the strength of the joints
- Addition of Mn to the 4xxx fillers annihilates the critical effect of plate-like Fe intermetallic.
- The addition of Mg and Mn improves the microhardness of the FZs in as welded and PWHT conditions and the microhardness profiles are higher than that of the reference FZ.
- The PWHT helps in recovering the strength in HAZ by re-precipitation of coherent β' .
- The modified ER4043 can be used to obtain weldments with strength efficiency higher than 100%.

6. Future work

- Characterize the fatigue Corrosion properties of the joints welded with the standard and new modified fillers in the as welded and PWHT conditions.

Les alliages Al-Si-Mg 6xxx sont largement utilisés par les industries automobile et aérospatiale. Ces alliages sont hautement extrudables, mais sensibles à la fissuration à chaud (HTS) lors du soudage par fusion. L'utilisation des alliages 4xxx comme métaux d'apport peut atténuer leur HTS. Cependant, les 4xxx sont non traitables thermiquement et leur résistance mécanique est limitée. Dans le présent travail, diverses teneurs en Mg (0,6 à 1,4 %) sont ajoutées à AA4043 pour améliorer les propriétés mécaniques. Des plaques AA6061 (d'épaisseur 2 mm) sont assemblées par soudage à l'arc. L'évolution de la microstructure est étudiée par microscopies optique et électronique. La microstructure présentait principalement la matrice α -Al, la phase eutectique Si et les intermétalliques de Fe. La résistance mécanique est évaluée par microdureté (Vickers) et tests de traction. La microdureté des zones de fusion est améliorée par ajout de Mg dans les métaux d'apport à l'état brut de soudage ou traité thermiquement après soudage (TTAS). À l'état brut de soudage, les zones affectées thermiquement étaient les plus faibles. Après TTAS, les fils d'apport développés ont présenté une résistance de joint plus élevée par rapport à l'alliage de base.

Al-Si-Mg 6xxx alloys are extensively used in automotive and aerospace industries. These alloys are highly extrudable but suffer from high hot tearing susceptibility (HTS) during fusion welding. Using 4xxx alloys as filler metals can mitigate their HTS. However, the 4xxx alloys are usually non-heat-treatable alloys, and their mechanical strength is rather limited. In the present work, various Mg (0.6 to 1.4%) contents were added to AA4043 alloy to improve the mechanical properties. Plates of the AA6061 alloy (2 mm thick) were welded together by the arc welding process. Microstructure evolution in the samples were studied by optical and electron microscopy. The microstructure consisted mainly α -Al matrix, eutectic Si- and Fe-bearing intermetallics. The mechanical strength of the samples was evaluated by Vickers microhardness and tensile tests. The microhardness of the fusion zones was enhanced by increasing the Mg content of the fillers in as-welded and as post-weld heat treated (PWHT) conditions. In as-welded samples, heat affected zones were the weakest points. After PWHT, the new developed fillers presented a higher joint strength relative to the parent alloy.

Mohamed Ahmed
Université du Québec
à Chicoutimi

Mousa Javidani - UQAC
Fatemeh Mirakhorli
CNRC
Alexandre Maltais
Rio Tinto
X.-Grant Chen - UQAC

Développement d'une nouvelle éprouvette de cisaillement pur pour des essais de fatigue vibratoire

Development of a novel vibration based pure shearing fatigue specimen



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS

I) Introduction

La fatigue des matériaux, c'est l'amorçage et la propagation de fissures en raison d'un chargement cyclique. Une fois amorcée, la fissure s'allonge légèrement à chaque cycle de chargement jusqu'à ce qu'elle atteigne la taille critique générant une intensité de contrainte supérieur à la ténacité du matériau. Au-delà de ce seuil, il se produit une propagation rapide de la fissure allant jusqu'à la rupture complète de la structure.

Rupture d'une aube de moteur par fatigue → explosion en vol [1]

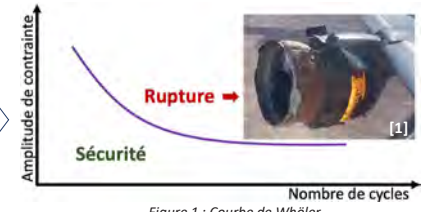


Figure 1 : Courbe de Whöhler.

Le dimensionnement en fatigue est donc très important. Cependant, un essai classique (<30 Hz) est chronophage et cher : ≈ 1 mois pour solliciter 25 éprouvettes et ce pour un seul rapport de contrainte. → Il est nécessaire d'accélérer les essais

II) Méthode du pot vibrant

- Une éprouvette est encastrée et sollicitée par le pot vibrant.
- Les différents modes de résonance amènent des chargements particuliers (flexion, torsion etc.). Un travail sur la géométrie permet de générer des chargements complexes sur une grande plage de fréquences.
- Une fois le mode d'intérêt isolé, l'éprouvette est sollicitée à la fréquence de résonance à grand nombre de cycles jusqu'à la création d'une fissure.

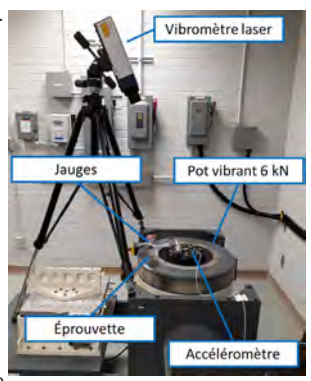


Figure 2 : Montage expérimental.

III) Essai de cisaillement pur

- Géométrie cruciforme en aluminium présentant un cisaillement pur au 5^{ème} mode de résonance.
- La contrainte de Von Mises est maximale au centre de l'éprouvette. Les zones de biaxialité, et de contrainte maximale sont confondues.
- Des premiers résultats issus de cette méthode montrent des durées de vie équivalentes aux résultats en torsion [4].



Figure 5 : Éprouvette en résonance.

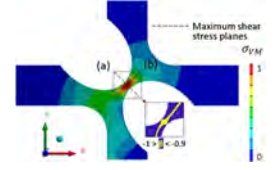


Figure 6 : Distribution de la contrainte de Von Mises et du taux de biaxialité.

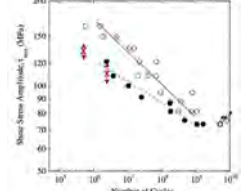


Figure 7 : Comportement en fatigue d'un aluminium 2024 testé en torsion [4]. Nos résultats sont en rouge.

Exemple de différentes géométries de la littérature :

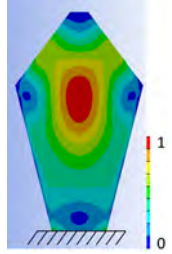


Figure 3 : Eprouvette testée sur pot vibrant présentant un chargement biaxial de 0.6 [2].

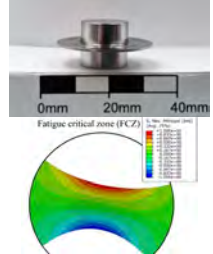


Figure 4 : Eprouvette de type disque testée sur pot vibrant [3].

IV) Discussion et conclusion

- Nos résultats sont cohérents avec la littérature.
- Nos essais sont 3 fois plus rapides ceux des méthodes classiques.
- Des améliorations et le développement de la méthode sont encore nécessaires (bris dans les mors, critère d'arrêt).

[1] <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-56163403>
 [2] George et al. « Development of a novel vibration-based fatigue testing methodology ». International Journal of Fatigue.
 [3] Himmelbauer et al. « A novel high-frequency fatigue testing methodology for small thin-walled structures in the HCF/VHCF regime ». In : International Journal of Fatigue.
 [4] M. Mayer, Ultrasonic torsion and tension-compression fatigue testing: Measuring principles and investigations on 2024-T351 aluminium alloy, International Journal of Fatigue.

Les pièces mécaniques sont généralement soumises à un large éventail de chargements. Par conséquent, pour concevoir les pièces et prédire leur vie en fatigue, il est primordial de tester leurs matériaux dans des conditions représentatives des sollicitations en service. Ces essais sont coûteux, chronophages et difficiles à réaliser, en particulier pour les chargements complexes. C'est pourquoi il existe un besoin pour le développement de nouvelles méthodes d'essai de fatigue. Ce travail utilise une méthodologie d'essai innovante basée sur les vibrations en utilisant un agitateur électrodynamique et des éprouvettes extraites de tôles d'aluminium. L'objectif de ce travail est d'élargir la gamme d'états de contraintes réalisables en introduisant un nouvel échantillon cruciforme permettant de réaliser des essais de fatigue par cisaillement pur sur des plaques d'alliages d'aluminium tout en étant rapide et économique. Le comportement vibratoire de cette éprouvette est analysé numériquement pour révéler le mode de vibration d'intérêt ainsi que les caractéristiques spécifiques de la contrainte. Enfin, ce travail a été validé expérimentalement en présentant des résultats de fatigue similaires à ceux de la littérature.

Mechanical parts are generally subjected to a wide range of loading conditions. Therefore, to design and predict the fatigue life of such parts, it is of paramount importance to test materials in settings comparable to the service conditions. Such tests are expensive, time consuming and difficult to perform especially for complex loading path. That supports the needs for new fatigue testing methods. This work employs an innovative vibration-based testing methodology using an electrodynamic shaker and an aluminum sheet type specimen. The aim of this work is to widen the range of achievable stress states by introducing a novel cruciform specimen enabling pure shear fatigue tests on aluminum alloy plates while being time and cost efficient. This specimen's vibratory behavior is analyzed numerically to reveal the vibration mode of interest as well as specific features of the stress. Finally, this work has been experimentally validated by presenting fatigue results comparable to values reported in the literature.

Yanis Balit
École Polytechnique de Montréal

Mohamed Larbi Sentissi
École Polytechnique de Montréal

Etienne Pessard - Arts et Métiers

Annie Ross - École Polytechnique de Montréal

Myriam Brochu - École Polytechnique de Montréal

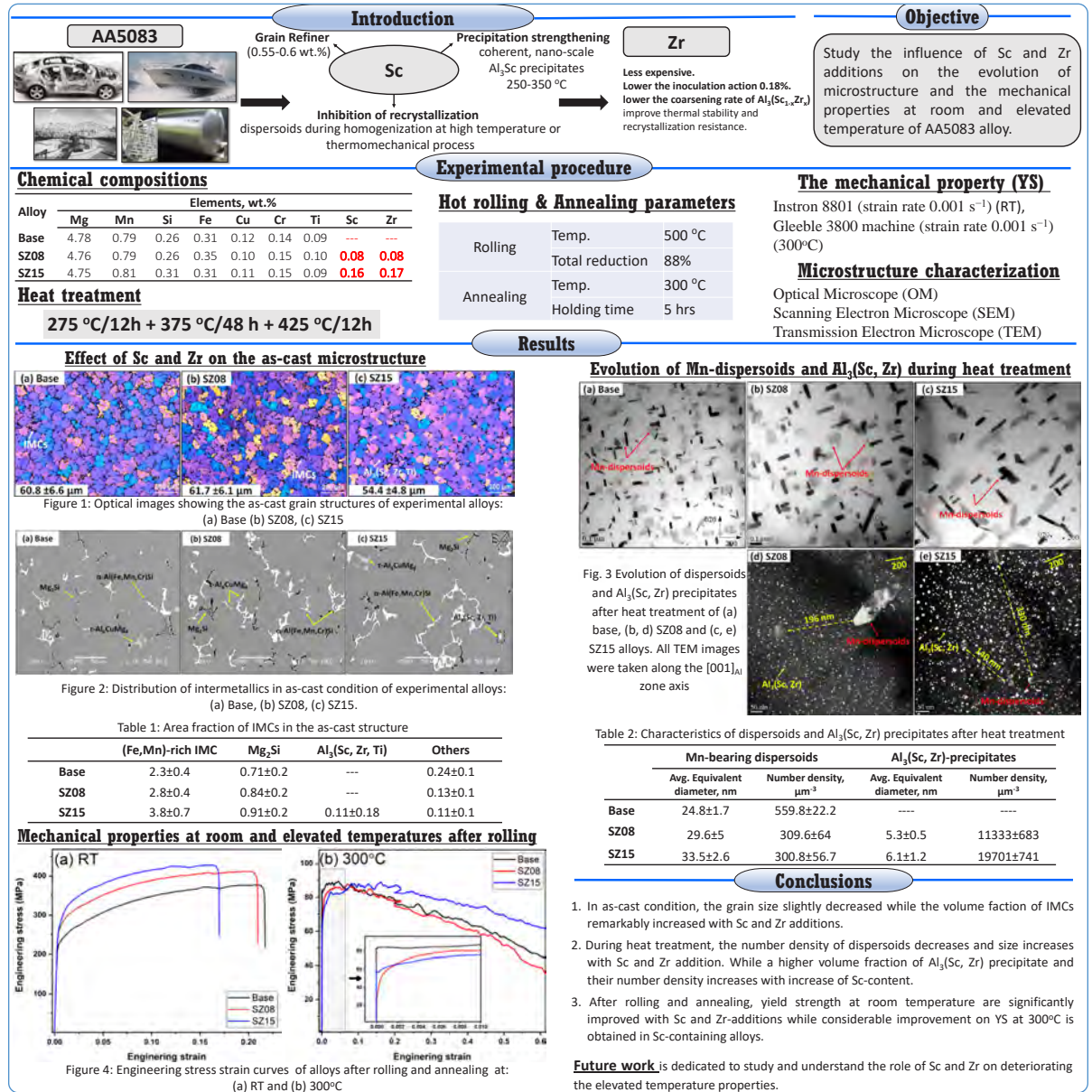
L'évolution de la microstructure et des propriétés mécaniques de l'alliage AA5083 par microalliage de Sc et Zr

Evolution of Microstructure and Mechanical Properties of AA5083 Alloy by Sc and Zr Microalloying

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi



RioTinto



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Ahmed Y. AlGendy
University of Quebec
at Chicoutimi

Kun Liu - UQAC
Nick Parson - Rio Tinto
X.-Grant Chen - UQAC

Le microalliage de Sc présente une voie prometteuse pour améliorer les propriétés mécaniques des alliages d'aluminium. La présente étude porte sur l'influence des ajouts de Sc et Zr sur l'évolution de la microstructure et les propriétés mécaniques des alliages AA5083. Par rapport à l'alliage de base (sans Sc ou Zr), la fraction volumique d'intermétalliques riches en (Fe,Mn) et de Mg₂Si a légèrement augmenté, tandis que la densité numérique des dispersoïdes contenant du Mn a diminué avec une augmentation remarquable dans leurs tailles. Simultanément, la densité des précipités sphériques et nanométriques Al₃(Sc,Zr) augmentait avec les ajouts de Sc après traitement thermique. Par conséquent, les propriétés de traction à température ambiante ont été considérablement améliorées avec les ajouts de Sc et Zr, ce qui est principalement attribué à l'effet d'ancrage plus important de Al₃(Sc,Zr) sur le mouvement des dislocations et des joints de grains. Cependant, en ayant été soumis aux tests de traction à haute température (300 °C), les alliages contenant Sc-Zr ont présenté des propriétés de traction inférieures, dues principalement à la libération d'un volume plus élevé de dislocations et d'un glissement plus préférentiel des joints de grains.

Microalloying of Sc is considered as a promising avenue to improve the mechanical properties of aluminum alloys. The present study studied the influence of Sc and Zr additions on the evolution of the microstructure and mechanical properties of AA5083 alloy. Compared with the base alloy free of Sc or Zr, the volume fraction of (Fe,Mn)-rich intermetallics and Mg₂Si slightly increased, while the number density of Mn-bearing dispersoids reduced with a remarkable increase in size. Meanwhile, the density of nano-sized, spherical Al₃(Sc,Zr) precipitates increased with increasing Sc additions after heat treatment. As a result, the tensile properties at room temperature are significantly improved with Sc and Zr additions, mainly attributed to the most substantial pinning effect of Al₃(Sc,Zr) on the movement of dislocations and grain boundaries. Nevertheless, when subjected to the tensile tests at high temperature (300°C), Sc-Zr-containing alloys exhibited lower tensile properties, predominantly due to the release of higher volume dislocations and more preferred grain boundaries sliding.

Future work is dedicated to study and understand the role of Sc and Zr on deteriorating the elevated temperature properties.

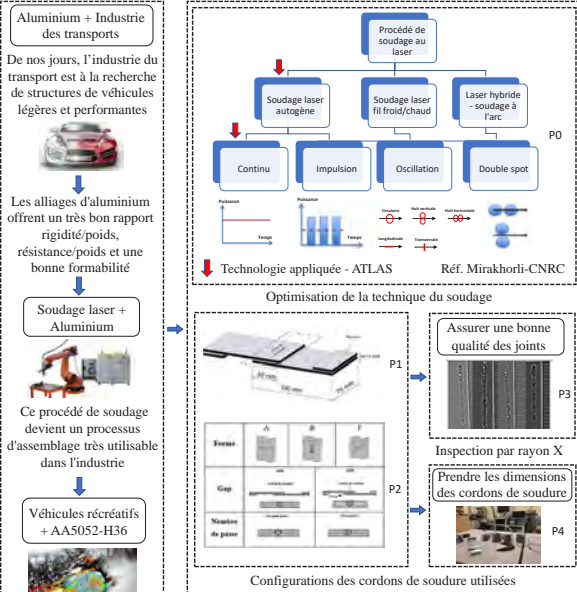
Étude expérimentale et numérique du soudage au laser de joints à simple recouvrement en alliage d'aluminium 5052-H36

Experimental and Numerical Investigation of Laser Welding of Single-lap joints of 5052-H36 Aluminium Alloys

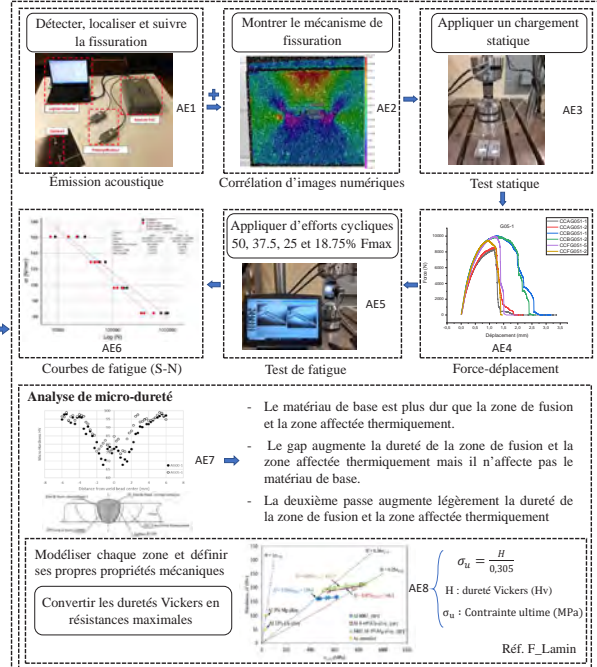


AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS

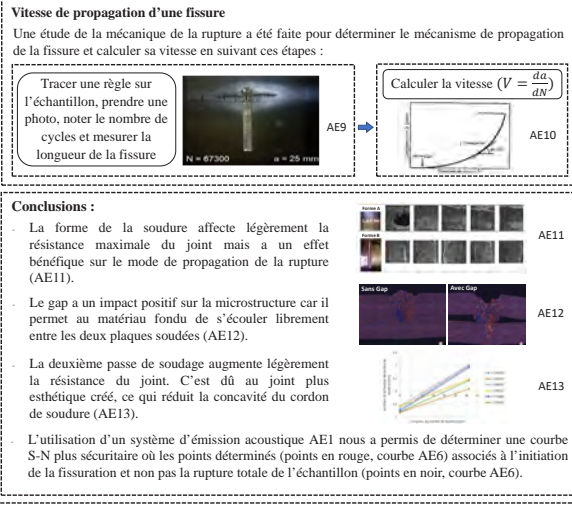
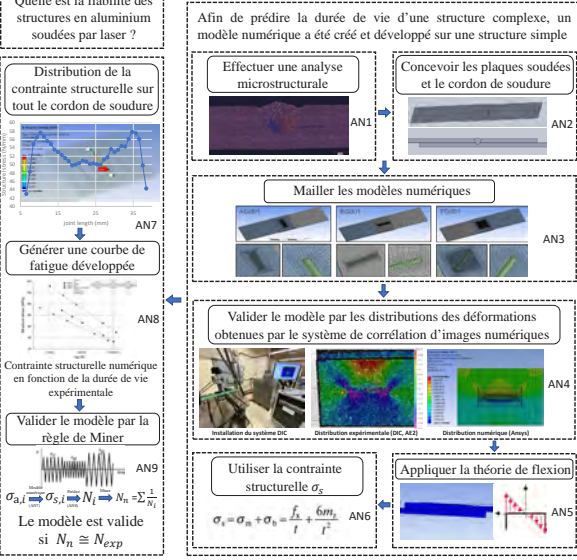
Partie 1 : Préparation d'échantillons



Partie 2 : Analyse expérimentale



Partie 3 : Analyse numérique



Sabri Ben Slimen
Université de Sherbrooke

Ahmed Maslouhi
Université de Sherbrooke

Alain Desrochers
Université de Sherbrooke

De nos jours, l'industrie du transport est à la recherche de structures de véhicules légères et performantes afin de réduire le poids et d'augmenter la durabilité. Pour répondre à ces exigences, l'aluminium devient un matériau de choix qui offre à l'industrie la possibilité d'alléger les structures portantes des véhicules. Toutefois, la problématique de la durabilité des assemblages des structures en aluminium soulève plusieurs obstacles technologiques. Cette étude s'intéresse à l'utilisation de la technologie du soudage au laser autogène, en tenant compte de l'influence des paramètres opératoires de soudage sur des assemblages du type joint à simple recouvrement en alliage d'aluminium 5052-H36. Ce travail met l'accent sur la caractérisation mécanique de ces joints soudés afin de déterminer l'influence de la forme du cordon, la présence d'un gap et la deuxième passe de soudage et afin de générer les courbes de fatigue S-N en exploitant les résultats de l'analyse du comportement en fatigue. En se basant sur ces données expérimentales, des modèles prédictifs analytique et numérique ont été développés pour prédire la durée de vie. Après validation expérimentale, ces modèles prédictifs seront appliqués sur des structures plus complexes.

Nowadays, the transport industry is searching for lightweight, high-performance vehicle structures to reduce the weight and to improve the performance and the durability. Aluminium is deemed a suitable material to make the supporting structures of vehicles lighter so as to satisfy the above requirements. However, the problem of improving the assembly technologies for aluminum structures raises several technological obstacles. This study focuses on the use of autogenous laser welding technology, taking into account the influence of welding operating parameters on assemblies such as 5052-H36 aluminum alloy, single lap joints. More specifically, this paper seeks to determine the influence of the shape of the weld bead, the presence of a gap and the application of a second welding pass on the mechanical characterization of the welded joints and in order to generate the S-N fatigue curves using the results of the fatigue behavior analysis. Based on these experimental data, analytical and numerical predictive models are developed to predict the fatigue life. After experimental validation, these predictive models will be applied to more complex structures.

Amélioration de la formabilité des tôles d'aluminium 6061 par laminage non conventionnel

Nonconventional rolling of 6061 aluminium sheets to enhance formability



Problématique

La fabrication des tôles par laminage crée une structure métallographique avec des orientations cristallographiques préférentielles (texture). L'emboutissage doit tenir compte des cornes créés par cette anisotropie et des pertes découlant de l'opération de détourage. Le design des pièces doit aussi prendre en compte l'orientation des grains afin de prévenir la formation de zones minces menaçant la qualité des pièces finies.

Objectifs

Améliorer la formabilité des tôles d'aluminium en amont du processus afin de réduire les pertes au détourage et l'apparition de défauts lors de l'emboutissage de formes complexes ou profondes. Effectuer différents essais de laminage non traditionnels, notamment le laminage croisé et le laminage asymétrique, pour en documenter l'impact sur la structure et sur les propriétés mécaniques.

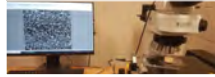
Méthodologie



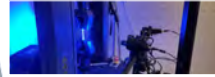
Laminage unidirectionnel et laminage croisé (0°, 90°, 180°, 270°) à froid sur un laminage de type laboratoire jusqu'à 80% de taux de réduction (10% par passe)



Traitement thermique de recristallisation



Caractérisation des structures des tôles obtenues par métallographie et EBSD



Essais de tractions sur des éprouvettes usinées à 0°, 45° et 90° par rapport au sens de laminage



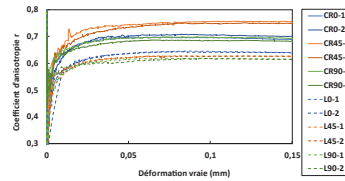
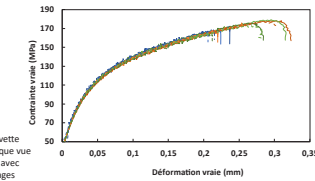
Tests d'emboutissage avec corrélation d'images

Analyse

Corrélation d'images sur les essais de traction

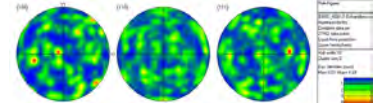


Utiliser la corrélation d'images sur les essais de traction permet une acquisition en continu du champ de déformation. Cela permet d'extraire les déformations dans les directions axiales et transversales et de calculer le coefficient d'anisotropie r ($r = \frac{\epsilon_{90}}{\epsilon_{0}}$) en continu. Celui-ci est plus élevé pour les tôles fabriquées par laminage croisé, peu importe le sens de prélèvement de l'éprouvette de traction. On dénote un gain d'environ 13% du coefficient r moyen. Plus le coefficient r est élevé, meilleure est la formabilité. Cette méthode permet également de visualiser la localisation de la déformation sous forme de bandes de cisaillement menant à la rupture.



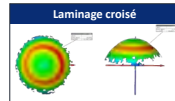
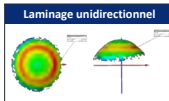
Amélioration de la texture cristallographique

Texture initiale de l'alliage 6061-O



Autant pour la tôle de départ que pour les tôles laminées, la texture cristallographique a été caractérisée par EBSD. Les figures de pôles présentent les analyses effectuées. En partant de la texture initiale, seule la direction de laminage a été modifiée lors des essais, les tôles laminées présentent une différence de texture qui pourrait expliquer l'augmentation du coefficient d'anisotropie. Une texture présentant des grains dans des orientations cristallines plus diversifiées aura tendance à avoir des propriétés mécaniques similaires dans tous les sens car la déformation selon le plan de glissement préférentiel {111} peut s'opérer simultanément dans tous les grains ayant des orientations cristallines variées.

Corrélation d'images sur les essais d'emboutissage



Ci-dessus : Vues comparatives de la déformation obtenue aux essais d'emboutissages. Dernières images captées avant la rupture. Vue en plan et vue de côté.

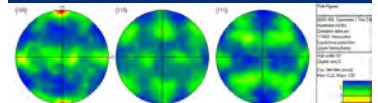
Les essais d'emboutissage selon la norme ASTM E-643 n'ont pas révélé d'augmentation significative dans la hauteur de la déformation avant rupture. L'utilisation de la corrélation d'image a toutefois permis d'observer qualitativement des différences d'amincissement de la tôle lors de l'emboutissage entre les laminages unidirectionnels et croisés. L'analyse quantitative des données est en cours.

Analyse métallographique

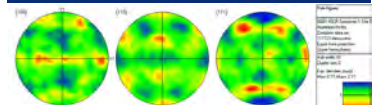
La microstructure après recristallisation de la tôle laminée par laminage croisé est plus fine et les grains sont plus équiaxes. La taille et la forme des grains a un impact significatif sur la déformation plastique subséquente des tôles.



Texture après laminage unidirectionnel



Texture après laminage croisé



Discussion

Les essais et l'analyse des données sont toujours en cours dans le cadre de ce projet. Les résultats préliminaires sont prometteurs et suggèrent un gain important de formabilité dû à une amélioration de la texture. Le laminage croisé comporte toutefois des défis pour l'implantation d'une production à grande échelle. Ainsi, plusieurs autres méthodes de laminage non conventionnel sont encore à l'étude.

Conclusion

Des économies dues à la diminution des cornes lors de l'emboutissage et un gain dans la qualité des pièces embouties sont des atouts majeurs liés à la production de laminés non conventionnels. De plus, la mise en application industrielle de ces procédés de laminage pourrait mener à une production de tôles hautement spécialisées dédiées à l'utilisation dans des technologies de pointe.

L'obtention d'une Bourse pour stage de recherche au niveau collégial (BSRC) Mitacs a permis l'avancement de ce projet. Merci. Remerciements aux Fonds de recherche Nature et technologies (FRQNT) pour sa participation financière.

La formabilité des tôles d'aluminium dépend grandement de la microstructure et de l'orientation préférentielle des grains après le laminage. Des essais de laminage croisé réalisés ont permis d'obtenir un gain significatif en formabilité sans nuire aux propriétés mécaniques. Des tests de traction effectués avec corrélation d'images ont permis de mesurer la valeur r (coefficient d'anisotropie) avec des éprouvettes prélevées à 0, 45 et 90 degrés par rapport au sens de laminage. Une valeur r plus élevée permet généralement d'emboutir plus profondément sans amincissement localisé de la tôle. Celle-ci était significativement plus élevée (environ 13%) pour les tôles laminées de manière croisée que pour les tôles laminées unidirectionnellement. L'analyse par EBSD a démontré que l'orientation des grains est plus aléatoire, permettant aussi une meilleure emboutissabilité. L'amincissement des tôles lors de l'emboutissage a aussi été documenté en utilisant le système de corrélation d'images avec le test du déplacement de la bille (Ball Punch deformation test). Les résultats sont toujours à l'étude. Des essais de laminage asymétrique sont aussi prévus.

Aluminum sheet formability is greatly influenced by metallurgical microstructure and preferential grain orientation due to the rolling process. Preliminary cross rolling experiments gave promising gains in formability without sacrificing mechanical properties. Tensile testing on samples taken from 0, 45 and 90 degrees from rolling direction, along with image correlation analysis were done, showing significant increase in "r value", about 13% higher, in cross rolled sheets compared to unidirectional rolled ones. A higher r-value usually means deeper drawing without any localized thinning of the sheet. EBSD showed a more random grain orientation, allowing for deeper drawing. Ball punch deformation tests were also performed with an image correlation system. This gave useful information on the thinning of the sheet as it is drawn. Results are still in to be interpreted. Asymmetric rolling tests are planned in a near future.

Prix
Award



Alexandra Béland
Cégep de Trois-Rivières

Julie Lévesque - Centre
de Métallurgie du Québec

Introduction et mise en contexte

En raison du faible poids du tablier, la charge vive peut correspondre à une fraction non négligeable du poids total du pont, rendre la structure plus propice au phénomène de fatigue. La répartition des contraintes à l'intérieur d'un tablier extrudé et soudé est plus complexe que pour une structure conventionnelle. Peu d'étude sur la conception et l'évaluation des tabliers en aluminium ont été faites. L'ingénieur concepteur ne dispose donc pas des mêmes outils que pour l'évaluation des dalles de béton ou les platelages en bois. Ceci désavantage l'utilisation de l'aluminium.

Objectif principal : Développement de méthodes de calcul et d'évaluation du comportement en fatigue des tabliers en aluminium de ponts routiers typique selon une méthode simplifiée du calcul des contraintes.

Méthodologie

La figure 1 présente schématiquement la méthodologie employée. La méthodologie proposée repose principalement sur les éléments finis. Une comparaison des méthodes de calcul simplifiées prescrites par la norme CAN/CSA S6-19 et un modèle numérique est effectué. Le modèle numérique sera calibré à l'aide de l'essai de charge effectué par le MTQ à l'été 2015. Finalement, une série d'équations fermées sera proposée pour l'évaluation du comportement en fatigue des détails usuelle d'un tablier en aluminium.

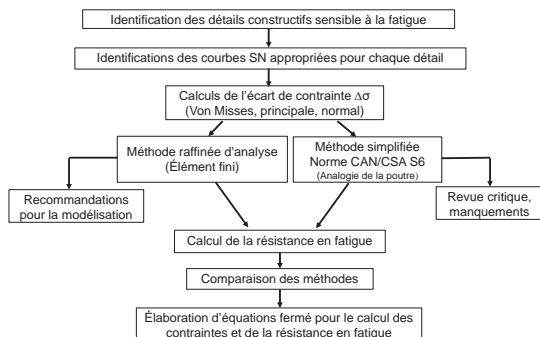


Figure 1 : Représentation schématique de la méthodologie utilisée
Pont de Saint-Ambroise

Le pont de St-Ambroise (structure P-17948), construit en 2015, est situé sur le 9e rang dans la municipalité de Saint-Ambroise. Il est le premier pont avec tablier en aluminium au Canada. Le tablier repose sur 5 poutres en acier (figure 2). Le tableau 1 présente les caractéristiques du pont. Le tablier a été conçu par la firme américaine Alumabridge. L'alliage utilisé est le 6063-T6. Les soudures sont effectuées par friction malaxage (FSW). Groupe MMM, maintenant WSP, a effectué la vérification du tablier pour son utilisation au Canada selon la norme CAN/CSA S6-05.

Tableau 1 : Caractéristiques du pont de Saint-Ambroise

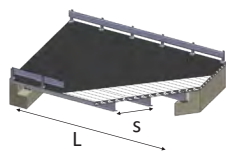


Figure 2 : Vue 3D du pont de Saint-Ambroise

Porté (C/C) appuis	8500 m
Largeur du tablier (L)	7475 mm
Longueur porte-à-faux	850 mm
Espacement des poutres (S)	C
DIMA	125
Nombre de voie	2
Poids du tablier	1,2 kPa

Références

CSA A. S. et al. (2019). Code canadien sur le calcul des ponts routiers. Normes ACQOR S6-19 (Deuxième édition). (Éd. par le BSI) page(s) Mississauga, Ontario: Groupe CSA.
Dingemans, V. (2019). 2020-10-06. Construction et observation du pont à platelage en aluminium de Saint-Ambroise [Article électronique]. Repéré le 2020-05-21, à <https://real.alumabridge.com/construction-et-observations-du-pont-a-platelage-en-aluminium-de-saint-ambroise/>
Flory, A., Rahman, R., Zhai, L., St-Georges, L., Rahman, A., & Walbridge, S. (2019). Fatigue design of friction stir welded joints in aluminium bridge decks. *International Journal of Fatigue*, 124, 1-12. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2019.05.007
Hobbacher, A. F. (2014). *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components (2)*. Springer Nature Switzerland.
Majumdar, I., Sofer, E., & von Stralen, L. (2005). Fatigue of Aluminium Bridge Decks. *Structural Engineering International*, 16(6), 305-311. doi: 10.1074/10168660779965119
Miranda, A. C. E. G., Garlock, A., & Walbridge, S. (2015). Aluminium friction stir welds: Review of fatigue parameter data and probabilistic fracture mechanics analysis. *Engineering Fracture Mechanics*, 147, 249-260. doi: 10.1016/j.engfractmech.2015.09.007
Okura, I., Higashimura, N., Nanno, M., & Tada, H. (2003). FATIGUE BEHAVIOR OF ALUMINIUM DECK FABRICATED BY FRICTION STIR WELDING. *STRUCTURAL ENGINEERING / SAIKHOQUE ENGINEERING*, 20(1), 55-69. doi: 10.2206/sereng.03.01
Vigil, L. G., & Okura, I. (2015). Fatigue behaviour of Friction Stir Welded aluminium bridge deck segment. *Materials & Design*, 44, 119-127. doi: 10.1016/j.matdes.2012.08.007

Courbe SN pour FSW

La figure 3 présente un recensement des courbes SN proposées pour les soudures par friction malaxage basée sur les dernières études. Les niveaux de résistance varient selon le type de sollicitations et le type d'essai. Les essais sur des sections de tablier indiquent une résistance supérieure à ce qui est prédit par la norme canadienne (Courbe ADM CAT. A et CAT. B)

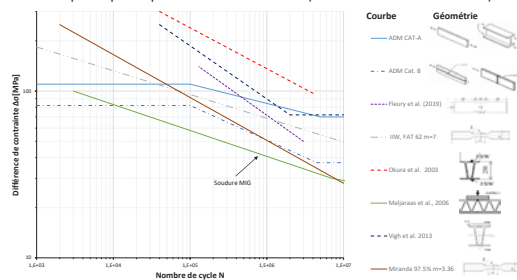


Figure 3 : Courbe SN proposée selon différentes auteurs et normes

Résultats préliminaires

Flèche

- La valeur de la flèche pour les poutres principale varie linéairement. Le tablier est suffisamment rigide transversalement pour distribuer la charge vive à toutes poutres...



Figure 4 : Répartition de la flèche, 1 camion voie de droit

Contraintes au sein des soudures

- Des essais sur un modèle 3D de pont complet révèlent que les contraintes transversales sont supérieures aux contraintes longitudinales.
- La figure 5 présente la répartition de la contrainte locale pour un platelage soutenu en continu sur son aile inférieure. Au centre du pneu, la contrainte excède la limite pour une durée de vie infinie en fatigue telle que décrite par la norme CAN/CSA S6-19.

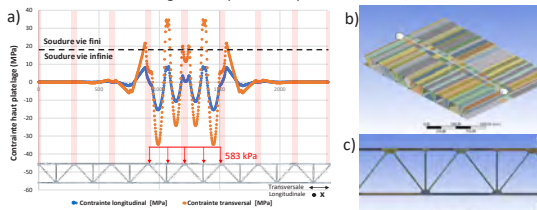


Figure 5 : (a) répartition de la contrainte locale, (b) chemin d'évaluation des contraintes, (c) maillage

Influence de la friction platelage/poutre

- Pour évaluer l'influence de la friction sur la réponse structurale du pont, le modèle de la figure 6 a été produit. Un coefficient de friction de 0,47 a été considéré. Négliger la friction entre le tablier et les poutres augmente la flèche et la contrainte de traction en dessous du tablier.

Tableau 2 : Influence de la friction platelage - poutre

	Sans friction	Avec friction	Différence
Flèche maximale (mm)	13,779	12,883	6,5%
Contrainte bas platelage (MPa)	18,535	17,671	4,7%



Figure 6 : Modèle préliminaire pour l'évaluation de la friction

Le projet proposé vise à développer des méthodes de calculs simplifiées pour l'évaluation de la vie en fatigue des tabliers de pont en aluminium composés d'extrusions soudées. Le pont de St-Ambroise, premier pont au Canada doté de ce type de tablier est utilisé comme modèle. Dans un premier temps, les détails susceptibles à la fatigue sont identifiés et les courbes SN associées sont déterminées selon la norme canadienne sur les ponts routiers CAN/CSA S6-19 et selon la dernière littérature disponible. Par la suite, un modèle par éléments finis du pont est développé afin d'évaluer la répartition des contraintes réelles. Trois systèmes sont étudiés, soit la flexion transversale, la flexion longitudinale et la flexion locale causée par les pneus. Le modèle est calibré à l'aide de l'essai de charge réalisé à l'été 2015 par le ministère des Transports du Québec (MTQ). Le modèle est comparé aux résultats tirés d'une analyse simplifiée (analogie de la poutre) permis par la norme canadienne et d'autres méthodes de calculs reconnues. Une comparaison est effectuée entre les méthodes de calculs. À ce stade du projet, les résultats préliminaires sont disponibles pour 3 systèmes identifiés.

The project aims at developing a simplified method to evaluate the fatigue behavior of aluminum deck composed of welded extruded profiles. The St-Ambroise bridge, first highway bridge in Canada to incorporate an aluminum deck is used as a test model. In the first part of the study, six details prone to fatigue are identified. Their respective SN curves are determined according to the Canadian Highway Bridge Design Code (CAN/CSA S6-19) and the latest literature. The bridge is then modeled using the finite element method (FEM) to evaluate distribution of stress and strain under service loads. Three systems are analyzed; longitudinal bending, transverse bending between the girders and local bending caused by the tire. The model is calibrated with the results of the load test performed by the Ministry of Transportation of Quebec (MTQ) in 2015. The results of the FEM analysis are compared to the results of a simplified analysis (beam analogy method) permitted by the Canadian standard and other recognized calculation methods. At this stage of the project, the results for the FEM model for the three systems are available.

Prix Award



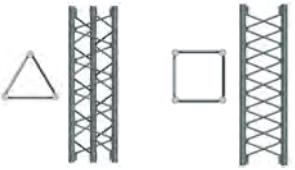
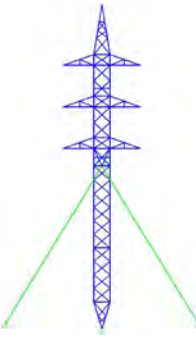

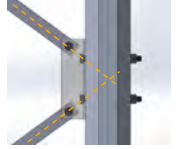
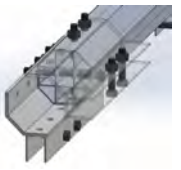




Côme Cloutier
Université du Québec
à Chicoutimi

Ahmed Rahem - UQAC
Lyne St-Georges - UQAC

Conception, modélisation et optimisation d'une nouvelle génération de pylônes de transmission en aluminium

Design, modeling, and optimization of a new generation of aluminium transmission towers



Context and problematic	Methodology (continued...)	Methodology (continued...)
<ul style="list-style-type: none"> The use of aluminum for civil engineering applications has increased significantly over the past decades. This is mainly attributed to its high resistance in corrosive environments and the reduction of the structures' weight compared with traditional materials. Transmission line construction and maintenance costs have increased significantly over the past few decades and there is therefore a need to develop new concepts for designing durable, easy-to-assemble, lightweight structures. Optimization provides efficient tools for reducing the constructing costs of aluminum transmission towers as there is a meaningful difference between the price of aluminum and other structures made of traditional materials such as steel, concrete, or wood. Need for a proper optimization algorithm to design the lattice towers for the extruded section of the members and the geometry of the tower Need for a reliable model of steel transmission tower to compare the results and costs 	 <p>Triangular and rectangular concepts</p> <ul style="list-style-type: none"> The existing steel tower for medium-voltage lines (120-160 kV) presented below is used as a preliminary geometry. This is a double-circuit (two times three alternative current phases) lattice tower supported by guy wires.  <p>Medium-voltage tower chosen for the study .</p>	<ul style="list-style-type: none"> Apply optimization process to the tower using a meta-heuristic algorithm (Chaos Game Optimization) Compare the obtained final design calculated with the classical method and the developed optimization algorithm <p>After optimization process:</p> <ul style="list-style-type: none"> Design gusset plates and the redundant members based on the internal forces of the sections  <p>Diagonals and legs</p>  <p>Concentric connection</p>  <p>Splice to connect two legs</p>  <p>In-plane redundant members</p>
<p>Main objective</p>		
<ul style="list-style-type: none"> Develop a new generation of transmission tower made of aluminum for a guyed transmission tower and a self-supporting tower for 120-160 kV lines 		
<p>Specific objectives</p>		
<p>This study transposes the scientific and technical expertise developed at University of Sherbrooke in the context of aluminum lattice tower analysis to provide powerline owners and designers with:</p>		
<ul style="list-style-type: none"> Optimum design of sections and geometry to reach cost-effective aluminum power lines Practical tools to assess the validity of the new aluminum tower design and provide guidelines for the engineers 	<ul style="list-style-type: none"> Based on ASCE10-15 and CSA-S157-17 standards, preliminary dimension both towers (self-supporting and guyed) to obtain an equivalent resistance to the existing steel tower Study extruded square hollow sections for the members as an initial hypothesis and then extend to other extruded sections such as triangle, octagonal, and circle 	
<p>Methodology</p>		
<p>The step-by-step process to achieve the optimum design of the aluminum transmission towers, develop new modeling, design and modeling tools is the following:</p>		
<ul style="list-style-type: none"> Develop the overall structural concept of an aluminum lattice tower: 		
<ol style="list-style-type: none"> This concept should take advantage of the fact that aluminum can be easily extruded in multiple shapes. It should as easy to assemble as steel lattice tower 	 <p>Square hollow section without stiffeners</p>  <p>Square hollow section with stiffeners</p>	
 <p>Single and assembled modular sections example</p>	<ul style="list-style-type: none"> Evaluate the resistance under various load cases applicable to the study case Perform an optimization study on the extruded sections to be used and on the overall geometry of the tower Apply classical design process to the tower and find proper extruded sections of the members 	
		<p>Discussion</p> <p>To validate the results in other steps of project in future works:</p> <ul style="list-style-type: none"> Perform laboratory tests on aluminum tower sections (about 3 m high) manufactured according to the obtained results. According to the loading cases, apply equivalent forces on the tower section using a loading system with three degrees of freedom (vertical, horizontal, rotation). Gradually increase the loading pattern until a member or connection fails; Perform non-linear structural analyses using beam element-based models to evaluate the overall behavior up to the failure of the selected tower design. Validate the model with 3 experimental tests and perform a parametric study to evaluate the effect of geometric and material parameters on the behavior of the structure. Develop a design methodology applicable to the selected design based on current design standards and verify its applicability with the results of the tests and numerical study
		<p>Summary and conclusion</p> <ul style="list-style-type: none"> Develop new aluminum transmission tower design concepts in lieu of using other traditional materials such as steel, concrete, or wood Propose a method to find optimum design to get satisfactory results in a reasonable period of time Reduce the costs and environmental impacts of the new tower due to their lightness, and ease of assembly

Sanaz Chehrzad
Université de Sherbrooke

Siamak Talatahari
University of Tabriz

Charles-Philippe Lamarche
Université de Sherbrooke

Sébastien Langois
Université de Sherbrooke

La possibilité d'utiliser l'aluminium comme principal matériau de construction dans les tours de transmission est évaluée dans le cadre du projet de doctorat qui est présenté dans cette affiche. L'objectif principal du projet est de développer de nouveaux concepts de tours de transmission en aluminium en remplacement d'autres matériaux traditionnels comme l'acier, le béton ou le bois. L'aluminium étant plus cher que les matériaux conventionnels, des études d'optimisation sont réalisées en utilisant différentes sections d'aluminium extrudé et en faisant varier la géométrie de la tour afin de réduire les coûts de construction. Deux méthodes d'optimisation sont utilisées. La première méthode est une méthode classique. La seconde méthode est l'algorithme "Chaos Game Optimization", un nouvel algorithme métaheuristique développé pour résoudre les problèmes d'optimisation. Les deux méthodes ont été codées avec le logiciel MATLAB, qui comprend un module d'analyse structurelle. Les résultats des méthodes classiques et "Chaos Game Optimization" sont comparés. Grâce à leur légèreté et à leur facilité d'assemblage, les nouveaux concepts de pylônes pourraient réduire considérablement les coûts et les impacts environnementaux dans les différentes phases de la vie des lignes électriques.

The possibility of using aluminum as the primary building material in transmission towers is evaluated in the Ph.D. project that is presented in this poster. The project's main objective is to develop new aluminum transmission tower concepts in lieu of using other traditional materials such as steel, concrete, or wood. Because aluminum is more expensive than traditionally used materials, optimization studies are performed using various extruded aluminum sections and also by varying the tower's geometry to decrease the construction costs. Two optimization methods are used. The first method is a classical method. The second method is the Chaos Game Optimization algorithm, a novel metaheuristic algorithm developed to solve optimization problems. Both methods were coded using the MATLAB software, which includes a structural analysis module. The results of classical and Chaos Game Optimization methods are compared. Due to their lightness and ease of assembly, the new tower concepts could significantly reduce the costs and environmental impacts in the various phases of the life of power lines.

Caractérisation d'alliage d'aluminium par microscopie électronique pour mieux comprendre sa microstructure et ses propriétés

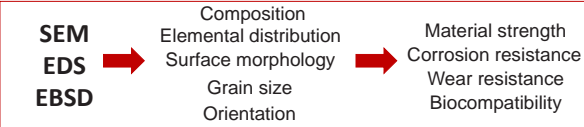
Aluminum characterization with electron microscope to better understand its microstructure and its properties



Motivation

Why is material characterization important for the development of new innovative material ?

- Materials microstructures have a direct impact on its properties and to determine the link between these two we need to use characterization:



X With the new generation of material that has nanometric features at the grain boundaries and sub grain boundaries

SEM / EDS / EBSD don't have enough spatial resolution

- We need to turn to scanning transmission electron microscopy (STEM)

X Expensive analysis X Low availability X Beam damage

Research questions

What are the alternatives for the characterization of nanometric feature to better understand the link between the material properties and its microstructure ?

Instrument

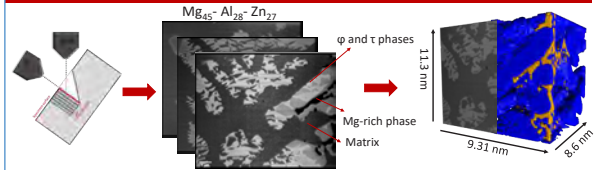
Hitachi SU9000EA

- First STEM-EELS at low-beam voltage
- Spatial resolution of 0.16nm
- Less expensive than normal STEM
- Low voltage limits knock-on damage

FIB-SEM Ethos Nx5000

- Triple beam system
- Focused ion beam (Ga)
- Electron beam
- Low-energy Ar ion beam for TEM final processing

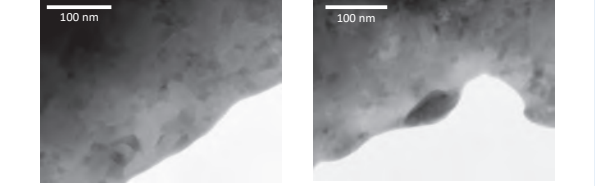
3D analysis - FIB



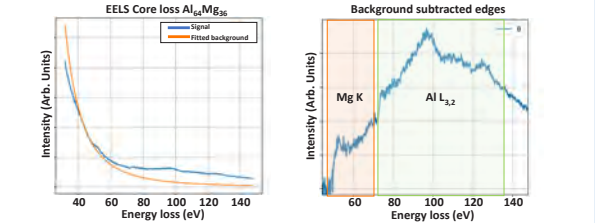
Using a Ga focused ion beam, a SEM image can be acquired layer by layer which can be reconstructed as a 3D cube. Doing so, we can have a better representation of the size and distribution of the different phases into the materials.

Afin de développer de nouveaux alliages d'aluminium innovant ayant des propriétés spécifiques tel que de grandes propriétés mécaniques, une résistance à la corrosion ou une biocompatibilité, il est essentiel de comprendre le lien entre ces propriétés et la microstructure du matériau. La microscopie électronique à balayage (MEB) est une méthode de caractérisation de plus en plus utilisée pour la caractérisation de ces différents alliages. Couplé à un détecteur EDX ou EBSD, le MEB est l'outil de prédilection pour déterminer la composition de l'alliage ainsi que la distribution et l'orientation des grains. Cependant, pour comprendre la relation entre la microstructure d'un alliage et ses propriétés, on se doit de recueillir plus d'informations sur celle-ci. C'est pourquoi nous devons nous tourner vers la microscopie électronique à balayage en transmission (STEM) qui nous permet d'identifier non seulement les joints de grains, mais aussi les précipités situés dans les grains et les joints de grains. Le STEM reste toutefois une méthode de caractérisation comportant son lot de difficulté : analyse coûteuse, disponibilité des appareils réduite et dommage infligé aux matériaux par le faisceau d'électrons de haute énergie. Dans cette affiche, nous présenterons nos travaux prometteurs effectués avec un STEM à bas voltage couplé à spectrométrie des électrons en pertes d'énergie (EELS) et nous mettrons de l'avant les avantages d'utiliser ce type d'appareil pour le développement de nouvel alliage d'aluminium.

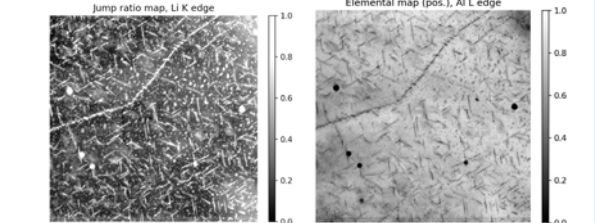
STEM-EELS at 30kV



Following a specific procedure, we were able to form a thin film of Al₆₄Mg₃₆ alloy. Using the 30 keV, we have been able to acquire an EEL spectra of the Mg K and Al L_{3,2} edge that is normally difficult to see due to their proximity to the low-loss region.



Combining the EELS 3-window method and image processing, we are able to produce a Li elemental map of the AA2099 alloys with a sub-nanometre resolution with minimum beam damage.



Conclusion and Future work

- Continue EELS works to achieve accurate elemental quantification
- Define a better function to subtract the background in near low loss region

Acknowledgements

My research group : Frédéric Voisard, Ali Jaber, Mahmoud Bayazid
 The research staff : Nicolas Brodusch et Stéphanie Bessette, Maryam Golzar

Nicolas Dumaresq
McGill University

Nicolas Brodusch - McGill
Raynald Gauvin - McGill

In order to continue to develop new innovative aluminum alloys with specific properties such as a high mechanical property, a great corrosion resistance or even biocompatibility for various applications, it is essential to understand well the link between those properties and the microstructure of the material. Scanning electron microscopy (SEM) is a characterization technic that is becoming more and more use to characterize these aluminum alloys. Paired with EDX or EBSD, SEM is the key tool to obtain information about the elemental distribution as well as the size and orientation of grains. However, to better understand the link between the properties and the microstructure we need more structural information. That is why we turn to scanning transmission electron microscopy (STEM) which can do nano-scale characterization such as the identification of grain boundaries, sub grain boundaries, as well as precipitate located at the grain boundaries. Nonetheless, STEM stays a characterization technic that has its downside: expensive analysis, lack of availability and beam damage to beam sensitive material. This poster will present our work done with a low beam voltage STEM paired with electron energy loss spectroscopy (EELS) and the advantage to use this tool for the aluminum industry.

Traitement de surface par abrasion mécanique facile et ses influences paramétriques sur l'assemblage adhésif de l'alliage d'aluminium AA6061-T6

Facile mechanical abrasion surface treatment and its parametrical influences on adhesive bonding of AA6061-T6 aluminum alloy

UQAC

Université du Québec à Chicoutimi

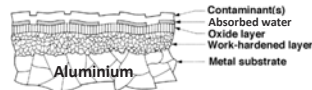


AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS
TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

1. Structural adhesive joining of lightweight materials, namely aluminum (Al), is of great importance in industrial applications, particularly in transportation due to their challenges on CO₂ emission reduction

2. Benefits of adhesives: low structural weight; bond large area with uniform stress distribution; bond dissimilar materials of any thickness; eliminate corrosion; easy & user-friendly; cost-effective & aesthetic.

Introduction



3. Adhesion mechanism involves the interface between the substrate (Al) and the adhesive, which is controlled by the adhesion forces between Al and the adhesive via-

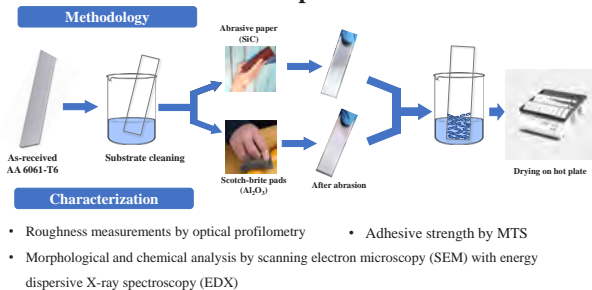
- Chemical interaction
- Mechanical interlocking

Controlling the surface of Al, becomes primordial in obtaining robust mechanical strengths of the joints

Objectives

- To engineer the surface of AA 6061-T6 alloy with SiC and Al₂O₃ abrasives via one-step facile mechanical abrasion process.
- Synthesis and characterization of metal-metal adhesive joints of AA 6061-T6 alloy prepared with 2-component epoxy (EP) and methyl methacrylate (MMA) adhesive at room temperature.

Experimental



Results

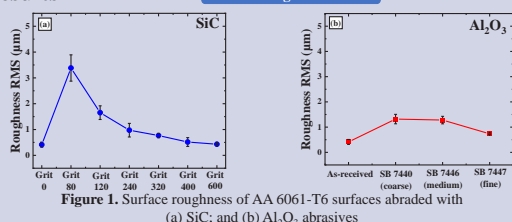


Figure 1. Surface roughness of AA 6061-T6 surfaces abraded with (a) SiC; and (b) Al₂O₃ abrasives

Cross-sectional studies

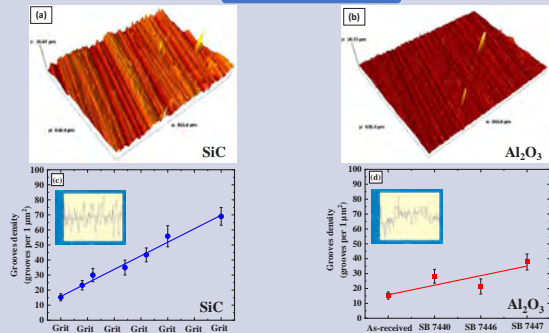


Figure 2. (a & b) 3-D surface profile; and (c & d) generated grooves densities of SiC and Al₂O₃ abraded surfaces; insets show the cross-sectional profile.

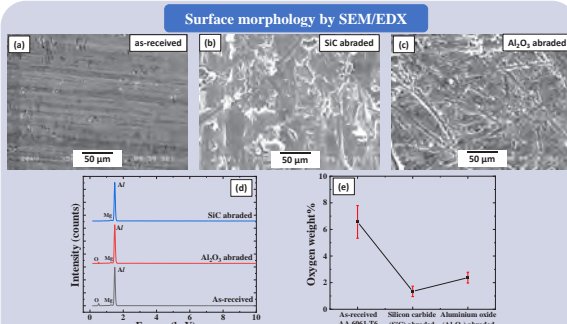


Figure 3. (a), (b), (c) are depicting morphological observations of as-received and treated AA 6061-T6 surfaces along with their chemical composition analysis in (d) and (e).

Mechanical test results

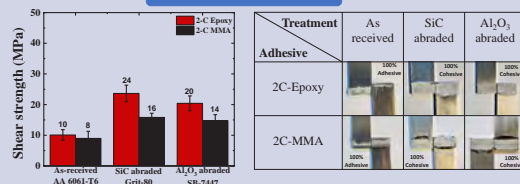


Figure 4. Lap shear stress of Al/Al adhesive joints and images of ruptured specimens.

Conclusion

- The one-step mechanical abrasion process significantly increased the mechanical strength of the adhesively bonded lap shear aluminum joints as compared to that of the as-received counterparts (without abrasion), irrespective of the abrasive types employed.
- SiC Abrasion provided comparatively higher lap shear strength compared to Al₂O₃ abrasion.
- Epoxy adhesives resulted in 2.4x and 2.0x higher lap shear strengths with SiC and Al₂O₃ abrasion, respectively, while MMA provided 2.0x and 1.75x higher strengths for the same, as compared to the as-received counterparts.
- The rupture modes were 100% cohesive in both epoxy and MMA adhesives signifying excellent and uniform adhesion of adhesives with Al following abrasion processes while the as-received counterparts failed 100% adhesive (interfacial).

Future work

Further work is in progress to understand the interfacial interactions which leads to the aforementioned improvement in the adhesive strengths and their rupture modes.

Mani Mohan Tiwari
Université du Québec à Chicoutimi

N. Saleema - UQAC
X.-Grant Chen - UQAC
Dilip K. Sarkar - UQAC

L'assemblage adhésif réduit considérablement le poids en raison de la réduction possible du nombre de rivets/de boulons utilisés dans l'assemblage traditionnel. L'obtention d'excellentes résistances de joint reste un défi, qui peut être réalisé par un traitement de surface pour renforcer les liaisons interfaciales d'adhésif/surface. Dans cette étude, les alliages AA6061-T6 ont été abrasés par des feuilles de SiC et tampons de Scotch-Brite (SB) de granulométries variées. Des échantillons de cisaillement (SLS) ont ensuite été préparés avec deux adhésifs : époxy et méthacrylate. L'étude de profilométrie indique une rugosité (Ra) comparativement plus élevée avec SiC (grit 80). Cette surface montre également une élimination efficace des couches d'oxyde natif, comme l'a révélé l'analyse de spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX). De toute évidence, les tests mécaniques ont montré des forces de joint comparativement plus élevées (24 MPa avec époxy, 16 MPa avec méthacrylate), avec des modes de rupture cohésifs à 100% avec SiC (80). Indépendamment de la chimie de l'adhésif (époxy, méthacrylate), les résistances des joints et les modes de défaillance se sont avérés dépendre de la rugosité de la surface et de la nature chimique sans oxyde natif en raison d'un fort verrouillage mécanique et d'une liaison chimique simultanée.

Adhesive joining significantly reduces weight due to possible reduction of rivets and bolts used in traditional assembling. Obtaining excellent joint strengths is still a challenge, which can be achieved by surface treatment to strengthen the adhesive/surface interfacial bonds. In this study, the AA6061-T6 alloys were abraded using (1) SiC papers (varied grit sizes) and (2) Scotch-Brite (SB) pads (different grades) prior to bonding. Single lap shear (SLS) specimens were then prepared using a 2-component (2C) epoxy and a 2C methacrylate adhesives. The surface roughness studies indicated comparatively higher roughness (Ra) values with the lowest grit 80 SiC. The SiC (80) abraded surface also showed effective removal of native oxide layers as revealed by energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analyses. Evidently, the mechanical tests showed comparatively higher joint shear strengths of 24 MPa with epoxy and 16 MPa with methacrylate, with 100% cohesive failure modes in both cases for SiC (80). Irrespective of the adhesive chemistry (epoxy and methacrylate), the joint strengths and the failure modes have been found to depend on the surface roughness and native oxide-free chemical nature due to strong mechanical interlocking and simultaneous chemical linking.

Prix Award
HATCH



Introduction

Problématique

- Complexité des normes de calculs de résistance en vigueur
- Manque de continuité dû à la classification des sections
- Difficultés qui surviennent dans le cas de sections plus complexes, ce qui est souvent le cas avec l'aluminium

Objectifs

- Dériver un **nouvel ensemble d'équations** afin de permettre de calculer la résistance des sections en aluminium de manière plus précise et efficace
- Principe basé sur l'**Overall Interaction Concept** (O.I.C.), qui est déjà développé pour l'acier
- Premiers pas : étude de la résistance en section des sections ouvertes en aluminium (profilés en I et en H)

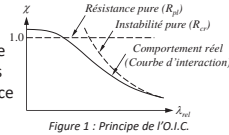


Figure 1 : Principe de l'O.I.C.

Méthodologie

- Développement d'un modèle numérique par éléments finis
- Calibration des équations de type O.I.C. et comparaison aux normes actuelles

Développement du modèle par éléments finis

Caractéristiques

- Modèle par éléments finis avec le logiciel **ABAQUS**
- « Longueur » définie pour considérer le comportement **local** de la section

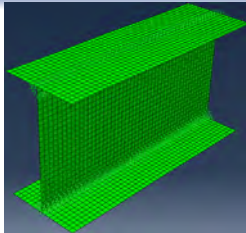


Figure 2 : Modèle par éléments finis

Densité du maillage

- Compromis entre temps de calcul et précision des résultats (sous-étude)

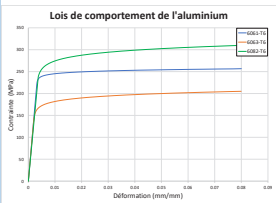


Figure 3 : Loi de comportement des différents alliages

Loi de comportement de l'aluminium

- Relation contrainte-déformation **non linéaire**
- Zone d'écroutissage : possible de dépasser la limite élastique F_y (correspond à $F_{0,2}$)
- Loi de type **Ramberg-Osgood** :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left(\frac{\sigma}{F_{0,2}} \right)^n$$

Imperfections géométriques

- Définition d'une imperfection géométrique « raisonnable » (sous-étude)

Contraintes résiduelles

- Influence négligeable dans les sections d'aluminium extrudées (Mazzolani)

Validation du modèle numérique

- Validation avec des résultats expérimentaux provenant de la littérature
- Comparaison de la charge maximale, de la courbe force-déplacement et de l'allure du mode de ruine

Étude paramétrique

Paramètres considérés pour l'étude

- Sections : 23 sections d'aluminium **extrudées**
 → Sections réelles et sections inventées pour couvrir tous les cas possibles
 → Basées sur des catalogues d'aluminium et validées avec des extrudeurs
- Alliages : 3 alliages d'aluminium
 → 6061-T6, 6063-T6 et 6082-T6
- Cas de chargement : 16 cas
 → Cas simples (N, M_x, M_y) et cas combinés
- Types d'analyse : G.M.N.I.A. et L.B.A.
- Total : **plus de 3000 simulations numériques.**

Comparaison avec la norme canadienne

- En comparant les résultats obtenus par le modèle numérique avec les prédictions de la norme **CSA S157-17**, on observe un important **gain de résistance.**

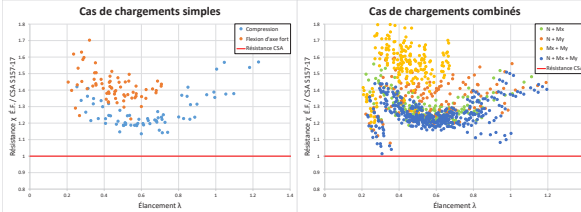


Figure 4 : Comparaison des résistances obtenues par éléments finis et par la S157-17

Cas de chargements simples

- Compression : gains moyens de **27%**
- Flexion d'axe fort : gains moyens de **42%**

Cas de chargements combinés

- Gains moyens de **35%**

Commentaires

- La norme S157 **sous-estime** la résistance des sections en aluminium, principalement dans le cas de la flexion.
 → Même conclusion avec les normes européenne (EC9) et américaine (ADM).
- Dû à plusieurs facteurs :
 → Perte de résistance entre les **classes** de section;
 → Négligence du comportement non linéaire de l'aluminium (**écroutissage**)

Travail en cours et prochaines étapes

Calibration d'équations de type O.I.C. pour prédire la résistance

- Approche innovante pour prédire le comportement local (**résistance en section**)
- Equations O.I.C. basées sur une version modifiée des formules d'Ayrton-Perry :

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_L \delta}} \quad \text{où } \Phi = 0,5(1 + \alpha_L(\lambda_L - \lambda_0) + \lambda_L \delta)$$

- Recherche d'un **paramètre directeur** μ , sur lequel dépendent les paramètres α_L (lié aux imperfections) et δ (lié aux effets post-voilement).

Prochaines étapes

- Fin du travail sur la résistance locale des sections ouvertes en aluminium
- Suite : étude du comportement global, autres types de sections complexes

Le présent projet de recherche vise à étudier le comportement, la résistance et le dimensionnement des structures d'aluminium. Plus précisément, l'objectif est de faire un premier pas afin de dériver un nouvel ensemble d'équations, qui permettront aux ingénieurs en structure de calculer de manière plus précise la résistance des sections en aluminium. Le principe de ces équations est basé sur l'Overall Interaction Concept (O.I.C.), qui est déjà bien développé pour l'acier. Le projet est axé sur la résistance locale (résistance en section) des sections ouvertes d'aluminium, telles que les sections WF courantes. Afin de réaliser l'étude, un modèle numérique non linéaire par éléments finis a été développé avec le logiciel Abaqus. Les modèles d'éléments finis ont été validés par rapport à des données expérimentales provenant de la littérature, puis ont été utilisés pour obtenir une grande quantité de résultats de référence. Ceux-ci sont utilisés pour développer et proposer de nouvelles équations de résistance basées sur l'O.I.C. Des comparaisons sont faites avec les prédictions de résistance des normes en vigueur, dans le but d'évaluer les performances de la nouvelle méthode de dimensionnement ainsi développée. L'affiche présente les résultats obtenus pour les sections d'aluminium extrudées.

The present research project is relative to the behavior, resistance, and design of aluminum structures. More precisely, it is here intended to initiate the derivation a new set of more accurate design equations, which shall be used by structural engineers to determine the resistance of aluminum sections. These equations rely on the principles of the Overall Interaction Concept (O.I.C.), which is currently available for steel elements. Particular attention will be paid to local (cross-sectional) resistance of open aluminum sections, such as typical WF shapes. For this study, a numerical nonlinear finite element model using the software Abaqus was developed. The model has been validated against experimental data found in the literature. Once proved accurate and suitable, the numerical models are used extensively to collect a large number of reference results; the latter shall serve to assess the performance of an O.I.C.-based design approach. Comparisons with resistance predictions from well-known design standards are also made, and the performance of the newly developed design method is assessed. The poster presents the results obtained for aluminum extruded sections.



Tristan Coderre
 Université Laval
 Nicolas Boissonnade - UL
 Mario Fafard - UL
 Pampa Dey - UL
 Sahar Dahboul - UL

Élaboration d'une courbe SN universelle pour la prédiction numérique de la durée de vie en fatigue de structures rivetées complexes

Development of a universal SN curve for numerical prediction of the fatigue life of complex riveted structures



Contexte

- Le présent projet fait partie d'un programme d'envergure qui a pour objectif de concevoir et de développer un prototype d'un châssis, ayant une forme optimale, d'un véhicule récréatif en alliages d'aluminium.
- Plusieurs constructeurs de véhicules développent de manière continue de nouveaux groupes motopropulseurs plus efficaces en termes d'énergie et des véhicules plus légers
- Permet de réduire les émissions de gaz nocifs pour l'environnement et améliorer les performances des divers véhicules
- L'aluminium est un matériau idéal pour ce type d'application en raison de sa densité, de sa résistance à la corrosion et de sa capacité de mise en forme



Figure 1 : Exemple d'un châssis en aluminium - Audi A8 D2



Figure 2 : Exemple d'un produit récréatif - Ski-Doo

Objectifs

Objectif principal

- Prédire la durée de vie de structures complexes soumises à des chargements variables

Objectifs spécifiques

- Élaborer une courbe de fatigue (S-N) pour les joints rivetés aveugles
- Développer méthodologie pour structures complexes => chargement amplitude variable
- Prédire numériquement la durée de vie d'un châssis complet d'un produit récréatif

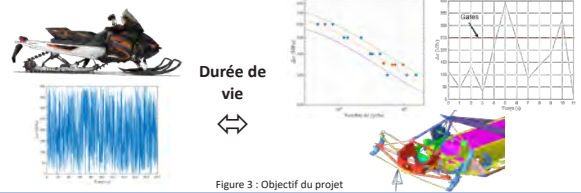


Figure 3 : Objectif du projet

Contraintes de modélisations

- Modèle simplifié => appliquer à un châssis complet
- Méthode indépendante du raffinement du maillage => répétabilité de la méthode
- Utilisable avec d'autres méthodes d'assemblages

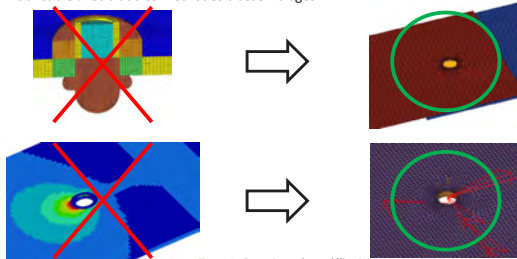


Figure 4 : Contraintes de modélisations

Méthode de la contraintes structurales

- Basée sur le calcul des contraintes en utilisant les forces et moments nodaux
- Méthode polyvalente (joints soudés, joints rivetés, etc.)
- Indépendante du raffinement du maillage
- Regrouper plusieurs caractéristiques en une seule courbe S-N (diamètre rivet, épaisseur tôle (t), rapport de contrainte (R), ratio de flexion l(r), etc.)

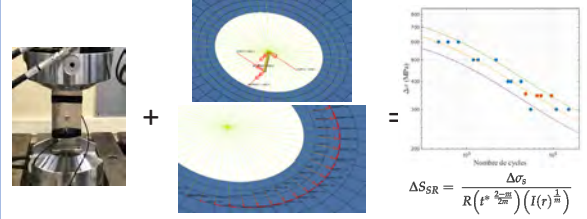


Figure 5 : Principe de la méthode

Caractérisation expérimentale en fatigue

- 2 rivets différents (Avdel 6,35 mm et Avibulb 4,7625 mm) et 2 configurations testées
- Tests sur MTS test frame 322 à 5 Hz
- 4 échantillons en statique
- 12 échantillons par configuration en fatigue
- Tôle 1,6 mm, 5052-H36
- Capteurs d'émissions acoustiques=> fissurations des échantillons
- Corrélation d'image => déplacements (essais statique)

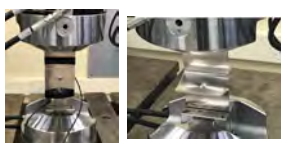


Figure 6 : Configurations des échantillons

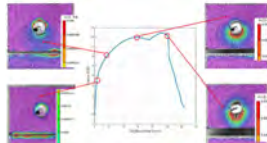


Figure 8 : État des déformations essais statiques (Avdel)

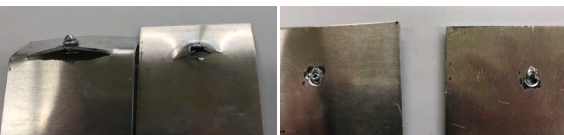


Figure 7 : Bris fatigue

Résultats : Courbe de fatigue expérimentale et modèle de prédiction

- Courbes S-N regroupant les 2 rivets et deux configurations
- 1 courbe pour les deux types de bris
- Modèle probabiliste (Stüssli) avec distribution de Weibull

$$P = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta\sigma - \beta_0 + \alpha \ln\left(\frac{\Delta\sigma}{\beta_0}\right) - \alpha}{\beta}\right)^\beta\right]$$

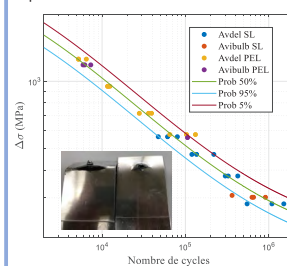


Figure 9 : Courbes SN - bris tôle

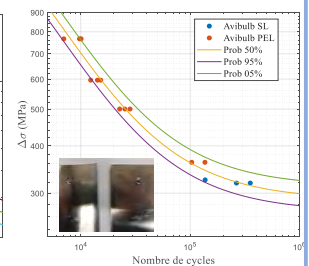


Figure 10 : Courbe SN - Bris rivet

À venir

- Application des courbes SN pour évaluer la durée de vie de structures complexes
- Développement de la méthodologie pour traiter les chargements à amplitude variable
- Évaluation de la durée de vie d'un châssis complet soumis à un chargement complexe

Francis Corriveau
Université de Sherbrooke

Ahmed Maslouhi
Université de Sherbrooke

Alain Desrochers
Université de Sherbrooke

Le présent travail académique est réalisé dans le cadre d'un projet de recherche ayant comme partenaire le Centre de Technologies Avancées (CTA), l'université Laval (UL) et le département de génie mécanique de l'université de Sherbrooke (UdeS). L'objectif principal de ce projet est de concevoir un châssis de véhicule récréatif en alliage d'aluminium optimisé afin d'en réduire le poids, le nombre de pièces et le coût tout en offrant de bonnes performances en matière de comportement sur la route et une bonne fiabilité. Le sujet du présent ouvrage s'inscrit donc dans ce projet de grande envergure et consiste à prédire de manière numérique la résistance en fatigue de structures complexes. Lors de la première partie du projet de recherche, il est question de caractériser en fatigue certaines méthodes d'assemblages pertinentes afin de développer des modèles de prédictions numériques adaptés aux structures de grande envergure. Dans cette optique, les travaux menant à l'élaboration d'une courbe SN universelle pour les joints rivetés sont donc ici présentés. Cette courbe sera par la suite utilisée pour évaluer la durée de vie de structures rivetées complexes.

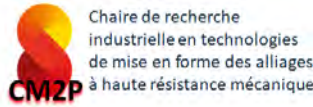
This academic work is carried out as part of a research project with the following partners: Centre de Technologies Avancées (CTA), Laval University (UL) and the Department of Mechanical Engineering of Sherbrooke University (UdeS). The main objective of this project is to design an optimized an aluminum alloy recreational vehicle chassis to reduce its weight, its number of parts and cost while providing good performances and reliability on the road. The subject of this work is thus part of this large-scale project and consist to predict numerically the fatigue strength of complex structures. During the first part of the research project, certain relevant assembly methods are characterized in fatigue to develop numerical prediction models adapted to large-scale structures. With this in mind, the work leading to the development of a universal SN curve for riveted joints is therefore presented here. This curve will subsequently be used to evaluate the fatigue life of complex riveted structures.

Prix
Award



Évolution des paramètres microstructuraux de l'alliage d'aluminium AA2024-T3 après des essais de traction uniaxiaux

Evolution of the microstructural parameters in AA2024-T3 aluminum alloy after uniaxial tensile tests



Problématique et Objectifs

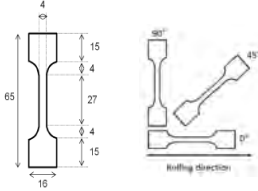
Problématique : La taille des cristallites (D_v), la microdéformation (r.m.s) et la densité des dislocations sont des paramètres microstructuraux très importants, qui contrôlent l'évolution de la microstructure pendant la déformation plastique. Différentes techniques d'analyse du profil de la ligne de diffraction des rayons X (XRD/LPA) ont été largement appliquées avec succès pour l'évaluation des paramètres microstructuraux dans les métaux et les alliages déformés [1-2]. Cependant, l'influence de l'anisotropie plastique et le niveau de déformation par essai de traction dans les alliages AA2024-T3 n'est pas bien expliquée dans la littérature.

Objectifs :

- ✓ Analyser les paramètres microstructuraux par la diffraction des rayons X en utilisant une méthode d'affinement de Rietveld, implémentée dans le logiciel MAUD (Materials Analysis Using Diffraction).
- ✓ Déterminer l'effet du niveau de déformation et l'anisotropie plastique sur l'évolution des paramètres microstructuraux.

Méthodologie

Déformation par traction uni-axiale



Diffraction des rayons X

- Diffractomètre BRUKERS D2 X-Ray
- Radiation Co K α ($\lambda=1.78\text{\AA}$)
- 2θ [20 - 120] $^\circ$
- Pas = $0,02^\circ$
- Vitesse de balayage = 0,5 sec/step

Résultats

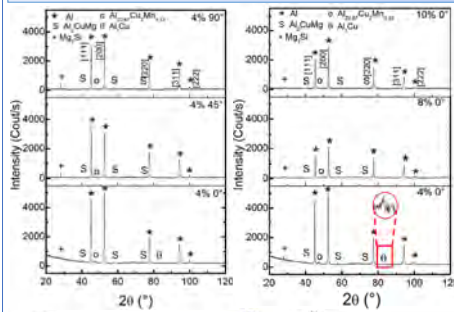


Fig. 1. Diffractogrammes à trois niveaux de déformation le long de 0°, 45° et 90° par rapport à la direction de laminage (RD).

- Les diffractogrammes des rayons X montrent la présence des phases Al_2Cu , Al_2CuMg , $Al_{20.67}Cu_2Mn_{3.33}$ et Mg_2Si .

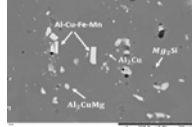


Fig. 2. Microscopie SEM de l'état reçu.

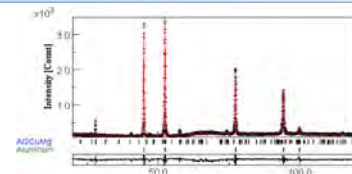


Fig. 3. Diffractogramme XRD obtenue par ajustement du profil Rietveld [2].

- Les valeurs des paramètres microstructuraux sont obtenues. Ensuite, la densité de dislocation est calculée par l'équation [3] :

$$\rho = \frac{3\sqrt{2}\pi (r.m.s)}{D_p b} \quad \text{avec } b = a/\sqrt{2}$$

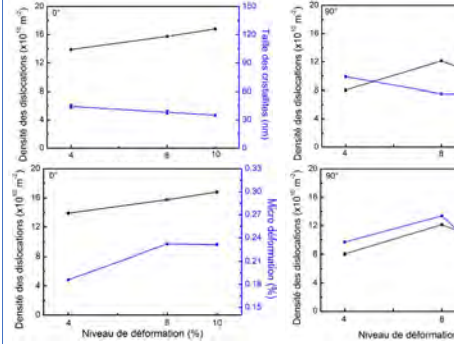


Fig. 4. Evolution des paramètres microstructuraux en fonction du niveau de déformation.

- En fonction du niveau de la déformation: (D_v) ↓, (r.m.s) & la densité de dislocation ↑
- L'état déformé à 10% selon 90°/RD montre: (D_v) ↑, (r.m.s) & la densité de dislocation ↓
- Cela peut être expliqué par le phénomène de relâchement des contraintes après le stade de striction dans la courbe contrainte-déformation de l'essai de traction.

- L'anisotropie plastique influe les paramètres microstructuraux.

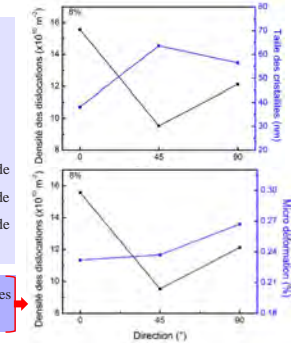


Fig. 5. Evolution des paramètres microstructuraux en fonction de l'anisotropie plastique.

Conclusion et perspectives

- L'évolution des paramètres microstructuraux de l'AA2024-T3 montre que l'évolution des paramètres microstructuraux dépend du niveau de la déformation appliquée et de l'anisotropie plastique et. Plus précisément, la taille des cristallites diminue tandis que la microdéformation et la densité des dislocations augmente avec la quantité de déformation.
- Dans le futur travail, des investigations de la microscopie à l'échelle nanométrique peuvent être utiles pour expliquer le phénomène observé.

Références
 [1] B. Mehdi *et al*, Acta Metallurgica Slovaca. 23, 313 (2017).
 [2] H. M. Rietveld, Acta Cryst. 22, 151 (1967).
 [3] G. Diniya *et al*, Mater. Sci. Eng. A. 527, 2759 (2010).

Remerciements Je remercie chaleureusement ÉTS, ENSMM, ESTHB et CRTI pour l'aide technique et financière.

Manel Houria
Métallurgie et Matériaux - ETS

Brahim Mehdi
Université Des Sciences et de La Technologie
Nedjoud Matougui
Métallurgie et Matériaux
Nabil Kherrouba
Research Center in Industrial Technologies
Mohammad Jahazi
École de Technologie Supérieure

Une tôle d'aluminium AA2024-T3 déformée à froid, est soumise à des tests de traction uniaxiale dans trois directions, par rapport à la direction de laminage (RD) de 0°, 45° et 90°, par trois niveaux de déformation de 4%, 8% et 10% par diffraction des rayons X en utilisant une méthode d'affinement de Rietveld, implémentée dans le logiciel MAUD (Materials Analysis Using Diffraction). L'évolution des paramètres microstructuraux (taille des cristallites, micro-déformation (r.m.s) et densité de dislocation) est analysée. L'évolution des paramètres microstructuraux de l'AA2024-T3 montre une diminution de la taille des cristallites en fonction de la déformation, ainsi qu'une augmentation de la micro-déformation et la densité de dislocation. Seul un point critique est noté dans l'état 10%, 90°, où la taille des cristallites augmente, le r.m.s, et la densité de dislocation diminuent.

The AA2024-T3 cold formed aluminium sheet is tested under uniaxial tensile test in three directions relative to the rolling direction (RD) (0°, 45° and 90°) for three strain levels of 4%, 8% and 10% by X-ray diffraction using a Rietveld refinement method implemented in the MAUD software (Materials Analysis Using Diffraction). The micro-structural parameters evolution (crystallite size, root means square strain (r.m.s) and dislocation density) is analyzed. The evolution of the micro-structural parameters of AA2024-T3 shows a decrease of the crystallite size as a function of the deformation, as well as an increase of the r.m.s and the dislocation density. Only one critical point is noted in the 10%/90° state, which showed an increase of the crystallite size and a decrease of the r.m.s and the dislocation density.

Développement des alliages entropiques et légers à base d'aluminium pour des applications à température élevée

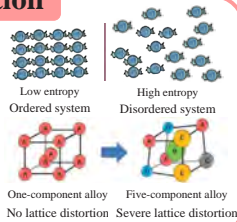
Development of aluminum-based lightweight entropic alloys for elevated temperature applications



Introduction

The mechanical properties of aluminum alloys are seriously declined at elevated temperature. Developing aluminum-based entropic alloys can be a potential way to overcome this problem.

A higher entropy helps the alloys to form disordered solid solution phases and induce strong lattice distortion, resulting in excellent mechanical behavior.



Objectives

1. Design a series of aluminum-based lightweight entropic alloys with a low density of no more than 4 g/cm³.
2. Examine the microstructure of the alloys.
3. Study the mechanical properties of the alloys at elevated temperature.

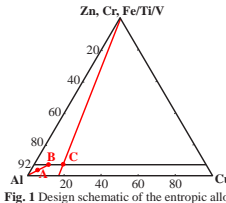
Experimental procedures

1. Alloy design

$$\Delta S_{mix} = -R \sum_{i=1}^n c_i \ln c_i$$

R: gas constant

c_i: content of the ith element



2. Alloy casting

Induction melting furnace was adopted.

Table 1. Density and entropy value of the six designed alloys.

Set	Alloy	ρ_{mix} , g/cm ³	ΔS_{mix} , J/mol/K
A	Alloy 1 (Al ₉₂ Cu ₄ Zn ₁ Cr ₁ Fe ₁)	3.04	3.03
	Alloy 2 (Al ₈₄ Cu ₁₁ Zn ₂ Cr ₁ Fe ₁)	3.49	5.38
	Alloy 3 (Al ₈₄ Cu ₁₀ Zn ₂ Cr ₂ V ₁)	3.39	5.04
B	Alloy 4 (Al ₇₇ Cu ₁₇ Zn ₃ Cr ₁ Fe ₁)	3.79	6.25
	Alloy 5 (Al ₇₇ Cu ₁₇ Zn ₃ Cr ₂ Ti ₁)	3.72	6.09
C	Alloy 6 (Al ₇₇ Cu ₁₇ Zn ₃ Cr ₂ V ₁)	3.73	6.09

3. Tests

Microstructure analysis:

SEM equipped with EDS, XRD and TEM.

Mechanical properties:

Compression test by Gleeble 3800, with a strain rate of 10⁻³ s⁻¹.

Results

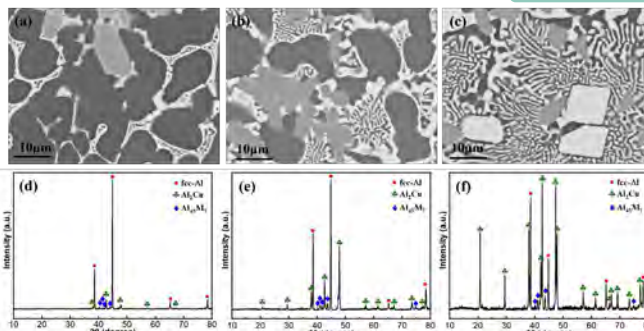


Fig. 2 SEM images and XRD patterns of the as-cast alloys: (a, d) Alloy 1, (b, e) Alloy 3, (c, f) Alloy 6. Wherein, fcc-Al, Al₃Cu, and Al₁₃M₇ corresponds to the black, white, and gray phases in the SEM images. Al₁₃M₇ has a monoclinic structure as the Al₁₃Cr₇, containing all five elements added into each alloy.

Table 2. Cu content in fcc-Al phase in the six alloys.

Alloy	Alloy 1	Alloys 2-3	Alloys 4-6
Cu content in fcc-Al (wt.%)	4.5	7	8

Higher solute atom content yields stronger solid solution strengthening.

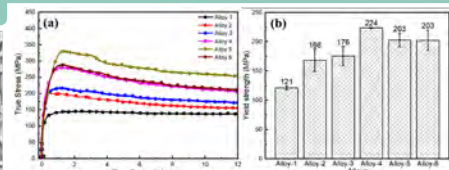


Fig. 3 Mechanical properties of as-cast alloys at 300 °C: (a) stress-strain curves, (b) yield strength.

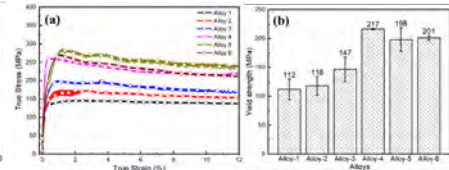


Fig. 4 Mechanical properties of thermal-exposed (300 °C/100h) alloys at 300 °C: (a) stress-strain curves, (b) yield strength.

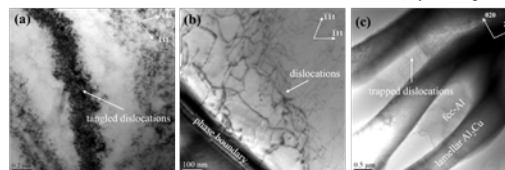


Fig. 5 Bright field TEM images of the dislocation distribution in (a, b) Alloy 1, (c) Alloy 5 after compression tests.

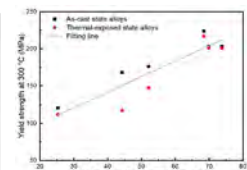


Fig. 6 Relationship between intermetallics volume fraction and yield strength.

Conclusions

1. The five-component lightweight entropic alloys had a relatively simple phase constitution.
2. The yield strength of the alloys was improved by increasing Cu solute atom content in fcc-Al phase, and growing intermetallics volume fraction.
3. Alloys 4-6 showed a high yield strength of more than 200 MPa at 300 °C, and excellent thermal stability.

Future work

1. The creep behavior of Alloys 4-6 will be examined.
2. Mechanical properties of Alloys 4-6 at higher temperatures (350-450 °C) will be tested.
3. More lightweight entropic aluminum alloys will be designed and studied.

Liyang Cui, Zhan Zhang
Université du Québec à Chicoutimi

X.-Grant Chen - UQAC

En raison de la demande croissante d'alliages légers dans les domaines du transport et des infrastructures, un intérêt est en hausse pour les alliages d'aluminium travaillant à température élevée. On a récemment rapporté qu'une catégorie innovante d'alliages appelés alliages à haute entropie (HEA) possède des performances mécaniques exceptionnelles à température élevée grâce à leurs valeurs d'entropie élevée, ce qui contribue à induire une forte distorsion du réseau cristallin. Dans ce travail, en appliquant le concept de haute entropie aux alliages d'aluminium conventionnels, on a conçu et produit six nouveaux alliages entropiques et légers à base d'aluminium avec une densité inférieure à 3,8 g/cm³. Une phase caractéristique a été trouvée dans les alliages : les alliages bruts de coulée contenaient une fraction atomique élevée de soluté Cu dans la matrice α -Al. La résistance augmentait avec l'augmentation de la fraction volumique des intermétalliques. Parmi les six alliages bruts de coulée, trois ont montré une limite d'élasticité élevée de plus de 200 MPa à 300 °C. Après une exposition thermique à 300 °C pendant 100 h, leur limite d'élasticité a à peine changé ce qui prouve leur excellente stabilité thermique.

Driven by the increasing demand for lightweight alloys in the transportation and infrastructure fields, great interest is rising in aluminum alloys working at elevated temperature. Recently, an innovative category of alloys named high entropy alloys (HEAs) has been reported to possess outstanding mechanical performance at elevated temperature due to their high entropy value, which helps to induce strong lattice distortion. In this work, by applying the high entropy concept into conventional aluminum alloys, six novel aluminum-based lightweight entropic alloys with density lower than 3.8 g/cm³ were designed and produced. A multi-phase feature was detected in the alloys: the as-cast alloys contained a high atomic fraction of Cu solute atoms in the α -Al matrix. A growing strength was found as the volume fraction of intermetallics increased. Among the six as-cast alloys, three of them showed a high yield strength of more than 200 MPa at 300 °C, and after thermal exposure at 300 °C for 100 h, their yield strength barely changed, indicating the excellent thermal stability.

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS



1. Motivation

High strength-to-weight ratio, excellent durability, corrosion resistance, and recyclability

Excellant candidate for both sustainable and aesthetically pleasing constructions involving relatively low maintenance over its lifecycle

For efficient structural design, it is important to recognize the key characteristics of aluminium alloys and to fully utilize them in design

Real behaviour

Non-linear material stress-strain response with strain-hardening effects

Existing design

Simplified elastic-perfectly plastic material

2. Objective

- Develop a robust numerical model and an innovative design approach for predicting the real behaviour of Aluminium profiles based on experimental data

3. Numerical parametric study

- 1 aluminium alloy: 6063-T6
- 8 different I - sections
- 2 load cases:
 - Pure compression
 - Pure major-axis bending
- 2 study cases:
 - Compare the resistances predicted by FEA with those calculated by CSA S157
 - Compare the real material law with a law using a plastic plateau at F_y

4. Results

The results shows that the resistances predicted through advanced tools (F.E.) are significantly higher than resistances predicted through the Canadian design code, CSA S157, with an average of 40% and a maximum difference of 60%.

4. Results

Design predictions ignore the substantial strain hardening reserves of the material, which can further increase the member capacity up to 25% benefit.

5. Conclusions

- Consideration of strain hardening significantly reduces design costs and gives aluminum the ability to challenge other traditional structural materials like steel
- Even for basic shapes we have issues, so how can we be accurate for complex realistic extruded shapes?

5. Ongoing work

Develop an innovative design approach:

- predict both the member and cross-sectional buckling resistances considering the strain hardening for any shape of aluminum alloy
- using the **Overall Interaction Concept (O.I.C.)**

Step 1: R_{pl} Load ratio to reach the plastic 'resistance' limit

Step 2: R_{cr} Load ratio to reach the critical 'instability' limit

Step 3: $\lambda_{int} = \sqrt{\frac{R_{pl}}{R_{cr}}}$

Step 4: $\chi = f^c(\lambda_{int})$

Step 5: $R_b = \chi \cdot R_{pl}$

Les alliages d'aluminium présentent une réponse matérielle contrainte-déformation non linéaire, marquée par un écrouissage important. Lorsqu'on traite de la résistance structurelle d'éléments en aluminium, il est essentiel de pouvoir tirer avantage de cette réserve de résistance, mais la plupart des spécifications existantes telles que l'Eurocode 9 ou la norme canadienne CSA S157 n'en tiennent presque pas compte. Un modèle numérique par éléments finis de coques non linéaires a été développé pour prédire le comportement réel des profilés en aluminium, tenant compte de l'écrouissage. Les résultats montrent que les résistances prédites par ces outils avancés sont significativement plus élevées que celles prédites par le code de conception canadien, CSA S157, avec une différence maximale de 60%. En conséquence, une méthode de conception adaptée basée sur l'Overall Interaction Concept est présentement en cours de développement, de manière à permettre de mieux représenter le comportement des éléments structuraux en aluminium.

Aluminum alloys exhibit a non-linear material stress-strain material response with significant strain-hardening effects. With respect to the resistance of structural members made in aluminum, these strains hardening resistance reserves must be accounted for, yet most existing design specifications such as Eurocode 9 and the Canadian Standards CSA S157 hardly considers them. A devoted shell non-linear finite element model has been developed for predicting the real response of aluminum profiles capable of including the influence of strain hardening effects. Results show that the resistance predicted through such advanced tools were significantly higher than those predicted by the Canadian Standards CSA S157, with a maximum difference of 60%. Accordingly, an original design approach based on the Overall Interaction Concept is currently being developed, so as to better account for the observed behavior of aluminum structural members.

Influence du traitement de recuit de détente sur l'alliage d'aluminium F357 fabriqué par fusion laser sur lit de poudre

Influence of stress relief annealing treatment on F357 aluminium alloy fabricated using laser powder bed fusion



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Introduction

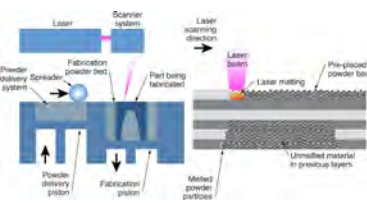


Fig 1: A schematic overview of selective laser melting process (Laser powder bed fusion process) both at the machine and powder scales [1].

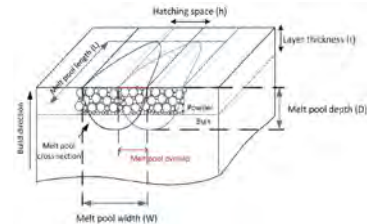


Fig 2: A schematic presentation of melt pool and related features [2].

Advantages of laser powder bed fusion (LPBF) additive manufacturing techniques:

- Complex shapes can be fabricated.
- Design freedom but not beyond certain limits.
- Ability to process different alloys.
- Rapid solidification is one of the critical aspects of LPBF which usually proves helpful in improving mechanical properties because of the resulting fine microstructure.

F357 aluminium alloy:

- This alloy has lesser iron content as compared to A356 and A357 aluminium alloys.
- Light weight, good mechanical properties and corrosion resistance.
- Can be processed using LPBF owing to its nearly eutectic composition and also it has good weldability and castability.
- Applications in automotive and aerospace industries.



Figure 3: Schematic of part production using LPBF. Images taken from reference [3] and [4].

Table 1: Chemical composition of F357 powder

Element	Al	Si	Mg	Ti	Zn	Fe	Cu	Mn
Wt%	Balance	6.7	0.50	0.10	0.01	0.06	0.001	0.006

Materials and methods

- F357 powder.
- Renishaw AM 400 is used for fabrication purpose.
- Powder characterization.
- Parameter optimization.
- Sample fabrication using 30 µm layer thickness (LT).
- Stress Relief Annealing (SRA) Treatment (300°C for 2 hours).
- Optical microscopy.
- Scanning electron microscopy.
- Microhardness measurements.

Results and Discussion

Powder Characterization

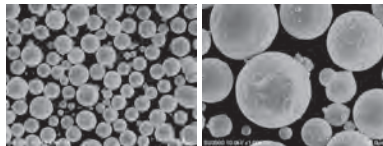


Figure 4: Scanning electron micrographs of F357 powder showing powder particle surface morphology.

Particle size analysis		Flow rate of 50 g powder, s	Angle of repose, °	Apparent density, %	
D10	30 ± 0.4 µm				
D50	46.0 ± 1.0 µm	Hall	93.0 ± 3.0	28.0 ± 2.0	56.0
D90	72.0 ± 2.0 µm	Carney	11.0 ± 0.1	29.0 ± 0.2	56.0

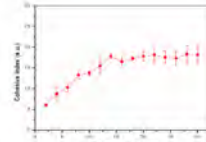


Figure 5: Cohesive index (Rotating drum experiment)

Part density results using optical microscopy

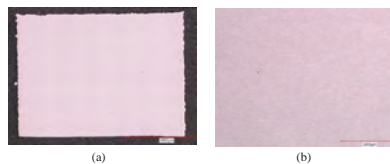


Figure 6: Optical micrographs of samples (a) 30 µm layer thickness (LT) sample (Density= 99.96 %) (b) Section of a sample

Microhardness measurements

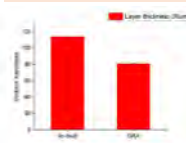


Figure 7: Microhardness variations

Impact Test Results

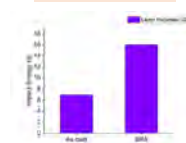


Figure 8: Impact Energy variations

Melt-pool and microstructural morphology

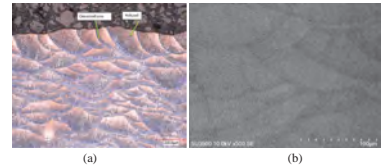


Figure 9: (a) Optical micrograph depicting melt-pool features (As-built) (b) SEM micrograph depicting melt-pool morphology

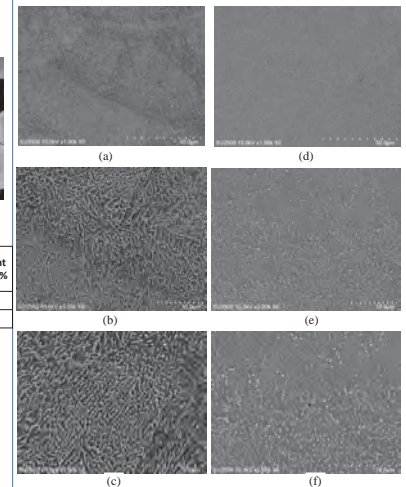


Figure 9: (a), (b) and (c) Microstructural features As-built sample. (d), (e) and (f) Microstructural features SRA (300 °C – 2h)

Conclusions

- Part density of nearly 100 % is achieved.
- Microhardness of as-built sample is higher than the samples subjected to SRA treatment.
- Impact energy doubled after SRA treatment.
- Cellular microstructure with continuous eutectic Si network around α-Al cells is observed in as-built samples which was disintegrated after SRA.

References

- King, W. et al. (2015). *Applied Physics Reviews*, 2(4), 041304.
- Letenneur, M., Kreitzberg, A., & Brailovski, V. (2019). *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3(1), 21.
- <https://www.royalmetalpowders.com/products/aluminum/>
- <https://www.soufiteo.com/en/materials/metals/sim-aluminum-material/>
- Guo, M. et. Al. (2019). *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(11), 6753-6760.
- Aboulkhair, N. T., Simonelli, M., Parry, L., Ashcroft, I., Tuck, C., & Hague, R. (2019). *Progress in Materials Science*, 106, 100578.

Les alliages d'aluminium fabriqués par le procédé de fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre (LPBF) attirent l'industrie vers une commercialisation en raison de leur légèreté et de la combinaison de bonnes propriétés mécaniques et anticorrosion. Dans cette étude, l'influence du traitement de recuit de soulagement des contraintes sur l'évaluation du comportement métallurgique et mécanique a été menée. Les caractéristiques examinées incluent les défauts, la densité, la signature du bain de fusion (y compris la largeur de la zone grossière), l'évolution de la microstructure et la microdureté. Les études du comportement mécanique de pièces sans recuit ont révélé des performances supérieures en termes de limite d'élasticité, de résistance ultime à la traction, d'allongement et de microdureté par rapport à leurs homologues coulés. Cependant, le recuit qui permet la relaxation des contraintes a conduit à la désintégration du réseau de silicium obtenu pendant la fabrication LPBF, ce qui a entraîné une baisse de la résistance à la traction et une augmentation significative de l'allongement.

Aluminum alloys processed by laser powder bed fusion (LPBF) additive manufacturing technique attracted industrial and research efforts striving from their lightweight advantages and combination of good mechanical and corrosion properties. In this study, the influence of stress relief annealing treatment on metallurgical and mechanical behavior assessment was conducted on F357 alloy. The examined features include defects, density, melt-pool signature (including width of the coarsened zone), microstructure evolution and micro-hardness. The as-built mechanical behavior studies revealed superior performance in terms of yield strength, ultimate tensile strength, percentage elongation and micro-hardness when compared to their cast counterparts. However, stress relief annealing led to disintegration of the silicon network produced during LPBF that resulted in a reduction of tensile strength, and significant increase in elongation.

L'effet du Mn sur le formage à chaud et la cartographie du processus des alliages Al-Mg-Mn

The impact of Mn on the hot workability and processing map of Al-Mg-Mn alloys



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS

Motivation

- The 5xxx (Al-5Mg-Mn) hot rolled sheets are increasingly used in the lightweight automotive manufacturing.
- Mn is an essential element to achieve the desired mechanical properties. However, it reduces the hot workability in the hot rolling process.
- This study was carried out to determine unsafe, safe, and optimum deformation conditions at different Mn contents.



Methodology

1 Alloys and Compositions

Alloy	%Mg	%Mn	%Fe	%Si	%Ti	%Al
0.1Mn	4.67	0.11	0.26	0.1	0.01	B
0.4Mn	4.65	0.4	0.28	0.09	0.01	B
0.7Mn	4.74	0.74	0.27	0.09	0.01	B
1Mn	4.7	1.05	0.27	0.09	0.01	B

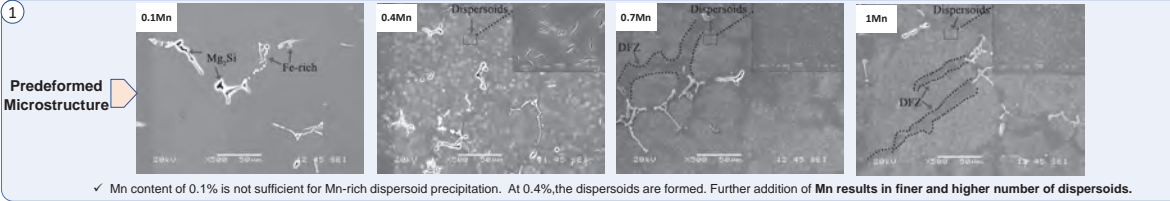
Analyzed by Scanning Electron Microscopy

2 Hot compression



Temperatures: 350, 400, 450, and 500°C
Strain rates: 0.001, 0.01, 0.1, and 1 s⁻¹
Hot compression by Gleeble 3800 and analysis by
1. Electron Backscattered Diffraction-EBSD
2. Transmission Electron Microscopy

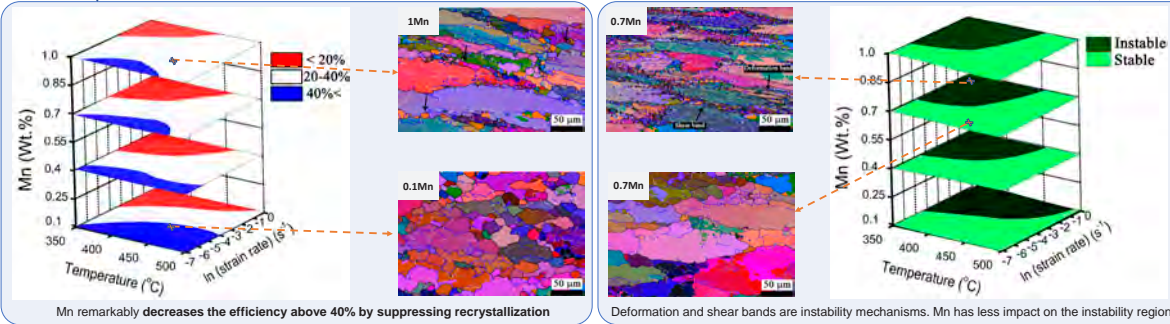
Results



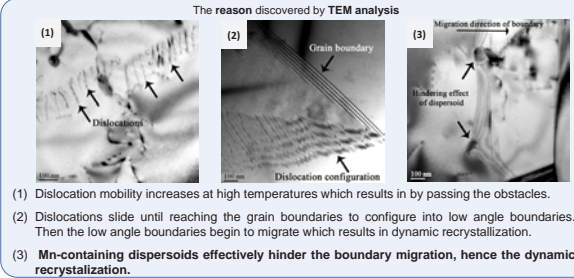
2 Dynamic Material Modeling From stress-strain curves, $m = \frac{\partial \ln \sigma}{\partial \ln \dot{\epsilon}}_{\epsilon, T}$ was calculated and employed in Prasad's Model*

Power dissipation efficiency (%): $\eta = \frac{2m}{m+1}$

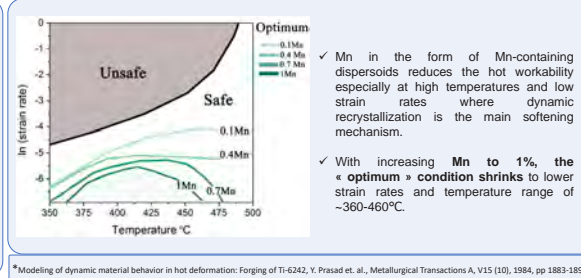
Instability criterion: $\xi(\epsilon') = \frac{\partial \ln[m/(m+1)]}{\partial \ln \epsilon'} + m < 0$



Discussion



Conclusion



*Modeling of dynamic material behavior in hot deformation: Forging of Ti-6242, Y. Prasad et al., Metallurgical Transactions A, V15 (10), 1984, pp 1883-1892.

Dans le présent travail, l'effet d'addition de Mn (0,1 à 1 %) sur le formage à chaud des alliages à base d'Al-Mg est étudié par des essais de compression à chaud. En homogénéisant les échantillons contenant 0,4 % de Mn ou plus, les dispersoïdes contenant du Mn ont été précipités. Les échantillons ont ensuite été déformés jusqu'à une déformation réelle de 0,8, à différentes températures (350-500 °C) et des vitesses de déformation entre 0,001 et 1 s⁻¹. Les courbes réelles et expérimentales (contrainte-déformation) ont été obtenues, et les cartographies associées ont été établies. L'évolution microstructurale a été caractérisée par la microscopie optique (MO), la diffraction des électrons rétrodiffusés (EBSD) et le microscope électronique à transmission (MET). Les plages de températures et de vitesses de déformation étudiées dans les essais de compression à chaud sont classifiées en fonction des mécanismes de réorganisation. Les mécanismes dominants étaient la restauration dynamique (DRV), la recristallisation dynamique (DRX) ou une combinaison des deux. Le (DRX) était remarquablement inhibé avec l'ajout de Mn. De plus, on a identifié pour chaque alliage dans la cartographie du processus les domaines de déformation critiques, non critiques et optimaux.

In the present work, the impact of Mn contents (0.1 to 1%) on the hot workability of Al-Mg based alloys was studied by hot compression tests. Mn-bearing dispersoids were precipitated out by homogenizing the samples containing 0.4% Mn or above. The samples were subsequently deformed up to a true strain of 0.8, at the temperature range of 350-500°C and strain rate varying from 0.001 to 1 s⁻¹. The true experimental stress-strain curves were obtained, and the associated processing maps were established. The microstructural evolution was characterized by means of optical microscopy (OM), electrons backscattered diffraction (EBSD), and transmission electron microscope (TEM). The studied temperatures and strain rates range, through which the hot compression tests were conducted, were classified based on the restoration mechanisms. The dominant restoration mechanisms were dynamic recovery (DRV), dynamic recrystallization (DRX) or a combination of both. It was seen that DRX was remarkably suppressed by increasing Mn content. Furthermore, the unsafe, safe, and optimum deformation domains in the process map were identified for each alloy.



Mohammadreza Mofarreh
University of Quebec
in Chicoutimi

Mousa Javidani - UQAC
X.Grant Chen - UQAC

L'effet de l'homogénéisation en deux étapes sur les dispersoïdes Al₃Zr et sur la contrainte d'écoulement des alliages Al-Mg-Si contenant du Zr

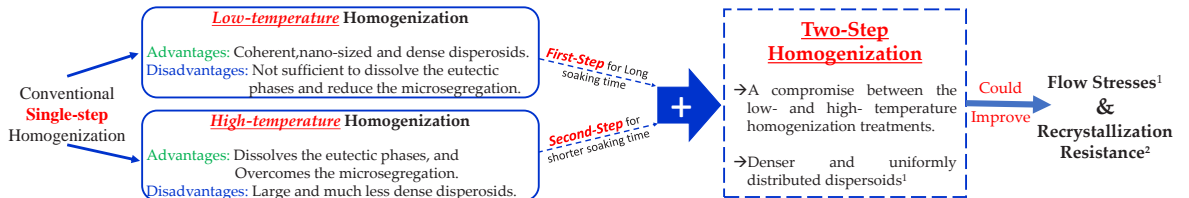
Effect of Two-Step Homogenization on Al₃Zr Dispersoids and Flow Stress in Zr-containing Al-Mg-Si Alloy

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi



RioTinto

1. INTRODUCTION



2. OBJECTIVES

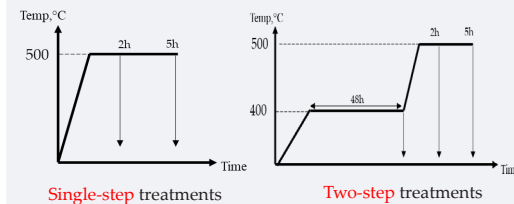
- Comparing the evolution of Zr-bearing dispersoids in the case of single-step and two-step homogenization treatments.
- Study the effect of two-step homogenization on the high-temperature flow stress.

3. METHODOLOGY

Alloy composition

Mg	Si	Fe	Zr	Ti	Al
0.40	0.35	0.18	0.15	0.13	Bal.

Homogenization



Microstructural characterization

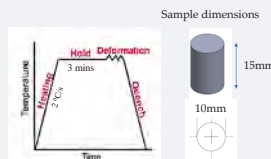
- Optical microscopy
- Transmission electron microscopy (TEM)

Compression test

Hot Compression parameters:

Temperature: 450°C

Strain rate: 0.01S⁻¹



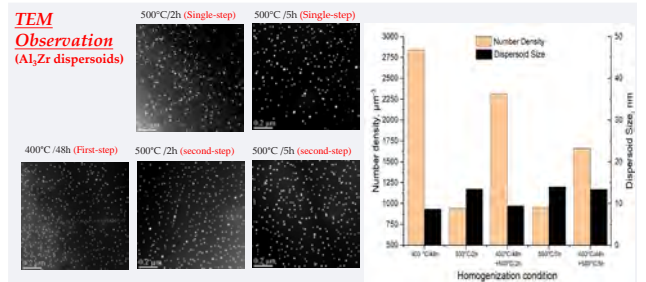
REFERENCES

- Elasheri, A., Elgallad, E. M., Parson, N., & Chen, X. G. (2021). Effect of two-step homogenization on the evolution of Al₃Zr dispersoids in Al-0.3Mg-0.4Si-0.2Zr alloy. In Proceedings of the 60th Conference of Metallurgists.
- Jia, Z., Hu, G., Forbord, B., & Solberg, J. K. (2008). Enhancement of recrystallization resistance of Al-Zr-Mn by two-step precipitation annealing. Materials Science and Engineering

4. RESULTS

TEM Observation

(Al₃Zr dispersoids)

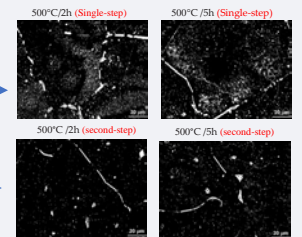


OM Observation

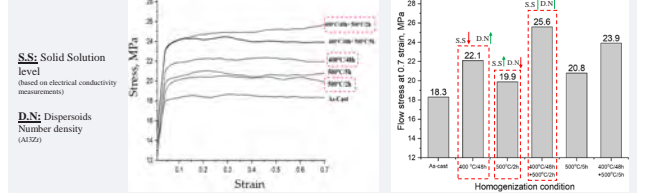
(Al₃Si)₂Zr dispersoids

After single-step homogenization, Large (Al₃Si)₂Zr dispersoids precipitated mainly adjacent interdendritic regions where Si segregate.

Homogenous distribution of (Al₃Si)₂Zr was observed after two-step homogenization with less density.



Flow stress



5. CONCLUSIONS

- Compared to the single-step high-temperature homogenization treatments, the two-step homogenization treatments significantly improved the Al₃Zr dispersoid characteristics in terms of the number density and size.
- Large (Al₃Si)₂Zr dispersoids were mainly precipitated near the interdendritic regions after the single-step homogenization at 500°C. However, the distribution of such dispersoids was more spatially homogeneous in the case of the two-step homogenizations.
- The two-step homogenization treatments displayed higher flow stresses compared to the single-step homogenization treatments due to the combination of fine uniform distributions of Al₃Zr and (Al₃Si)₂Zr dispersoids and comparable solid solution level.

Les dispersoïdes Al₃Zr peuvent améliorer les performances à haute température et la résistance à la recristallisation des alliages d'aluminium. Une étude de comparaison a été établie entre l'effet d'homogénéisation en deux étapes et le traitement d'homogénéisation classique en une seule étape sur la précipitation des dispersoïdes Al₃Zr dans l'alliage Al-0,3Mg-0,4Si-0,2Zr. Le traitement d'homogénéisation en deux étapes a été réalisé avec une première étape à 400 °C pendant 48 h suivie par la deuxième étape à 500 °C pendant 2 et 5 h. Les dispersoïdes contenant de Zr ont été observés avec des microscopes électroniques à balayage et à transmission. La contrainte d'écoulement a été déterminée en effectuant des essais de compression sous température élevée à l'aide d'un simulateur thermomécanique Gleeble 3800. Par rapport aux traitements d'homogénéisation en une seule étape, les traitements d'homogénéisation en deux étapes ont engendré des dispersoïdes Al₃Zr plus denses et une distribution homogène des dispersoïdes (Al₃Si)₂(Zr,Ti), ce qui a son tour a entraîné des valeurs plus élevées des contraintes d'écoulement sous température élevée.

Al₃Zr dispersoids can improve the elevated-temperature performance and recrystallization resistance of aluminum alloys. The effect of two-step homogenization treatments on the precipitation of Al₃Zr dispersoids in Al-0.3Mg-0.4Si-0.2Zr alloy was investigated in comparison with conventional single-step homogenization treatment. The two-step homogenization treatments were conducted with the first step at 400 °C for 48 h followed by the second step at 500 °C for 2 and 5 h. The Zr-bearing dispersoids were observed with scanning and transmission electron microscopes. The flow stress was determined by conducting compression tests at high temperatures using a Gleeble 3800 thermomechanical simulator. Compared to the single-step homogenization treatments, the two-step homogenization treatments provided denser Al₃Zr dispersoids and homogeneous distribution of (Al₃Si)₂(Zr,Ti) dispersoids, which in turn, resulted in higher values of elevated-temperature flow stress.

L'effet du Si sur l'évolution des précipités et la stabilité à température élevée des alliages Al-Cu 224

Effect of Si on precipitate evolution and elevated-temperature stability in Al-Cu 224 alloys



Introduction

Al-Cu alloys are widely used in aerospace and automotive industry due to its high strength and toughness at both room and elevated temperatures. But with a high level of Cu, the alloys become very less resistance of hot tearing and solidification shrinkage compared with Al-Si alloys.

Si is usually considered as impurity in Al-Cu alloys but it is also recognized to be able to improve the castability. Therefore 224 alloys with various Si were designed to study its effect on the thermal stability, seeking for an acceptable trade-off.

Objectives

- Investigate the effect of Si on θ' precipitates evolution during thermal holding at 300°C.
- Investigate the effect of Si on thermal stability of mechanical properties.

Experimental procedure

Table 1. Chemical composition of experimental AA224 alloys

	Al	Cu	Si	Fe	Mn	Ti
0.1Si	Bal	4.24	0.13	0.17	0.11	0.098
0.25Si	Bal	4.13	0.26	0.17	0.11	0.106
0.5Si	Bal	4.24	0.48	0.17	0.11	0.098
0.8Si	Bal	4.36	0.77	0.19	0.10	0.098

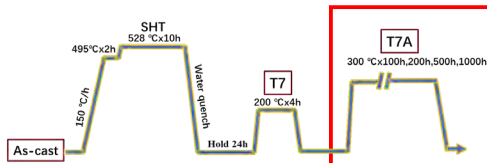


Figure 1. Schematic of heat-treatment.

T7A conditions are selected to present the evolution of microstructure and mechanical properties during thermal exposure.

- Cylinder samples (ϕ 10mm x 15mm) for creep and YS tests.
- Creep tests were processed at 300°C under the load of 30MPa.
- YS at RT & 300°C were measured by Geoble 3800 machine.
- TEM samples were prepared by polishing and twin-jet in -20°C~-30°C

Results

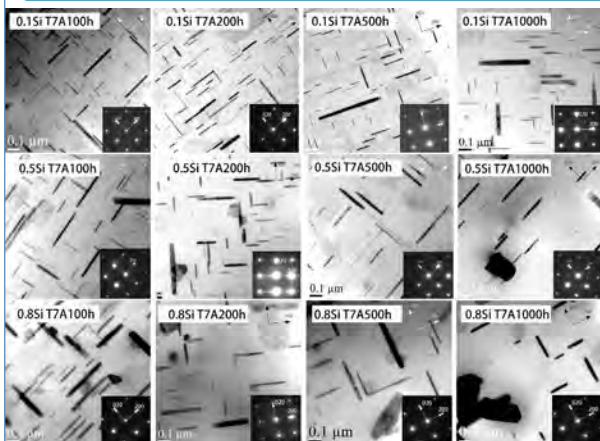


Figure 2. Evolution of precipitates during the thermal exposure with time and Si additions

Table 2. Evolution of precipitates during the thermal exposure with time and Si additions

Conditions	dt/nm	T7A100h			T7A500h			T7A1000h				
		dt/nm	Thickness/nm	Nv/ μm^3	dt/nm	Thickness/nm	Nv/ μm^3	dt/nm	Thickness/nm	Nv/ μm^3		
T7A100h	0.1Si	85.8	7.3	498	0.1Si	98.6	8.4	396	0.1Si	103.1	12.8	209
	0.5Si	104.7	10.3	239	0.5Si	116.7	12.9	98	0.5Si	134.8	15.8	58
	0.8Si	122.3	14.8	140	0.8Si	148.1	17.8	51	0.8Si	116.6	22.9	48
T7A200h	0.1Si	88.1	7.8	458								
	0.5Si	109.5	12.5	184								
	0.8Si	136.7	16.2	75								

average radius:

$$\bar{r} = \sqrt[3]{dt^2 * t}$$

LSW relation:

$$\bar{r}^3 - \bar{r}_0^3 = k(t - t_0)$$

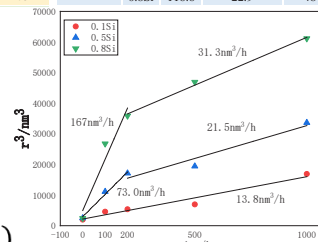


Figure 4. Coarsening rate simulation by LSW relationship

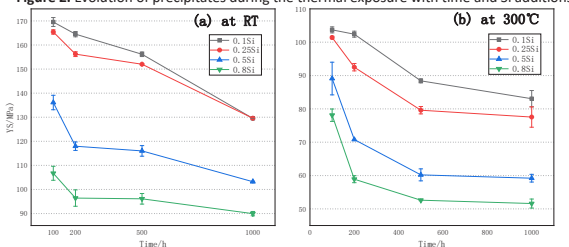


Figure 3. Compression YS of experimental alloys after different times of thermal holding at 300°C

Conclusion

- The addition of Si leads to a dramatic reduction of thermal stability and mechanical properties after thermal exposure at 300°C.
- The addition of Si significantly increases the coarsening rate of θ' precipitates, and the number density of θ' precipitates drops with Si and stays in a very low level during thermal holding.

Future work

- Enhancement of high temperature properties in high Si alloys by alloying and adjusting heat-treatment.

Pour étudier l'effet de Si sur l'évolution des précipités et la stabilité à température élevée des alliages Al-Cu 224, on a effectué des études expérimentales sur les précipités et les propriétés mécaniques des alliages Al-Cu 224 avec diverses teneurs en Si (0,1-0,8%) sous température de 300 °C pendant 100 - 1000 h. Dans toutes les conditions, le θ' était le précipité dominant de durcissement. Cependant, la teneur croissante en Si et le temps d'exposition thermique prolongé entraînait une taille plus grossière avec une densité numérique et une fraction volumique réduites de θ' , ce qui résulte en une réduction significative de la limite d'élasticité. Le comportement de grossissement de θ' est modélisé en utilisant la théorie (LSW). En combinaison avec les résultats MET, l'hypothèse proposée est que la ségrégation de Si dans θ' présente la clé de la cinétique de grossissement pendant le maintien thermique, ce qui influence par conséquent la stabilité thermique des alliages expérimentaux.

To investigate the effect of Si on precipitate evolution and elevated-temperature stability in Al-Cu 224 alloys, experimental studies on precipitates and mechanical properties in Al-Cu 224 alloy with various Si contents (0.1-0.8%) after the thermal exposures for 100-1000 h at 300°C are conducted. θ' is observed as the dominant strengthening precipitates in all conditions, but their size becomes coarser with reduced number density and volume fractions with increasing Si contents and prolonging thermal exposure time, resulting in a significant reduction of the yield strength. The coarsening behavior of θ' is modeled using LSW relation. Combining with TEM results, a hypothesis is proposed that the segregation of Si in θ' is the key to the coarsening kinetics during thermal holding, and therefore, influencing their thermal stability of the experimental alloys.

Zimeng Wang
University of Quebec
in Chicoutimi

Kun Liu - UQAC
Grant X. Chen - UQAC

Étude expérimentale du comportement d'érosion par gouttelettes d'eau des alliages d'aluminium

Experimental Investigation of Water droplet erosion behavior of Aluminum Alloys



Background

Repetitive high-speed liquid droplets impact on solid surface results in a gradual erosive wear commonly referred to as Water Droplet Erosion (WDE). In aviation, the structure of aircrafts often encounters cloud formation and rain precipitation, hence, becomes exposed to raindrop impacts. The forward facing surfaces are particularly susceptible to the impact of raindrops.



2xxx and 7xxx series of aluminum alloys still constitute a major part of aircraft body, especially the wings and fuselage structures. Hence, the aim of the present work is to understand the behavior of 2xxx and 7xxx aluminum alloys under droplet impact loading.

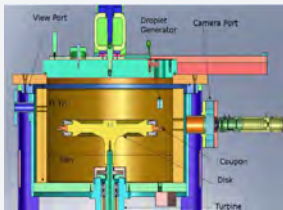
Objectives

- Study the behavior of 7075 and 2024 aluminum alloys under droplet impact loading.
- Understand droplet impact damage mechanisms in aluminum alloys.
- Evaluate endurance or threshold condition where aluminum alloys can resist erosion.

Methodology

Aluminum alloys investigated in this work are 7075-T6 and 2024-T4 alloys. Water droplet erosion test are performed according to ASTM standard G73 using an advanced erosion test rig at Concordia university, Montreal. Test parameters are shown in the table below.

Parameter	Value
Impact Velocity	250, 200, 175 and 150 (m/s)
Average Droplet Size	600 µm
Impact Angle	90°
Impact Area	8 mm ²
Number of droplets per revolution	4 droplets



Characterization

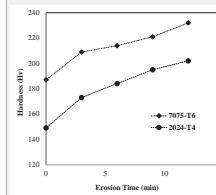
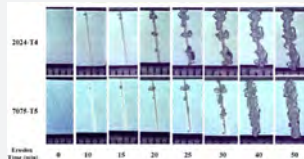
Weight measurements are carried out at several intervals during erosion tests, such that **erosion curve** is constructed.

The impacted area is also examined during erosion tests and **optical images** of the traces of droplet impacts (erosion line) are taken. This enables identifying different stages and **mechanisms** of the erosion damage progression. **Hardness** is also measured during the course of erosion tests.

Results

Damage Mechanisms

Optical images of erosion progression for the two alloys reveals that erosion damage starts by initial plastic deformation that causes an increase in surface roughness.

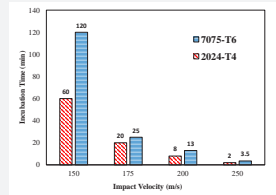
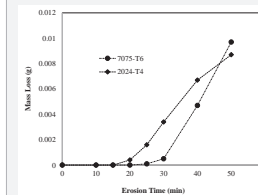


Hardness Evolution

The plastic deformation is evidenced by the increase in hardness during early stage of erosion. As the end of incubation period is approached, small pits emerges. Erosion pits then join together to form large erosion craters. The presence of these craters results in change in erosion rate due to change in deformation mechanism.

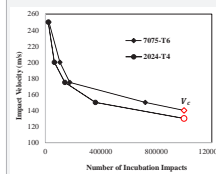
Erosion Curves

Erosion curves of 7075Al and 2024 alloys tested at 175m/s are shown below. Two important stages of erosion progression can be identified from the curves; incubation period and steady-state maximum erosion rate. Incubation periods of the two alloys at 4 different impact velocities are also shown.



7075-T6 alloys showed superior performance compared to 2024-T4. The reason behind this is presence of second phases such as the Mg(Zn₂,AlCu) M (or g) hexagonal phase, the S (Al₂CuMg) orthorhombic phase, which increase the strength of the alloy and hinder crack propagation.

Threshold Velocity



V-N erosion curves are constructed for the two alloys. the curves resemble fatigue S-N curve. The endurance condition are identified by the threshold impact velocity and found to be 130m/s and 120m/s for 7075 and 2024 respectively

A Prediction model for threshold velocity is developed. The model predicts threshold velocity values of 132m/s and 121m/s for 7075 and 2024 aluminum alloys respectively. The model enables the prediction of materials endurance without performing tests.

$$V_c = \left(\frac{\sigma_y K_{IC}^2}{2 \rho_l^2 E C_s d} \right)^{1/3}$$

Conclusions

Water droplet erosion behavior of 2024-T4 and 7075-T6 aluminum alloys.

7075-T6 alloy always showed superior performance compared to 2024-T4 in all test conditions due to its high hardness and strength properties.

A model to predict the threshold velocity of metallic materials is developed. The model predicted threshold velocity of aluminum alloys with remarkable accuracy.

Mohamed Ibrahim
Concordia University

Mamoun Medraj - UC

Les alliages d'aluminium sont largement utilisés dans l'industrie aéronautique grâce à leur rapport de résistance/poids élevé et de leur excellente résistance à la fatigue. En particulier, les alliages d'aluminium constituent une partie importante de la carrosserie de l'avion, notamment les ailes et les structures de fuselage. Ces parties de l'avion sont souvent soumises à l'impact de gouttes de pluie entrant en contact avec une grande vitesse. La longue exposition à celles-ci est connue pour causer des dommages dus à l'érosion. Ce phénomène est appelé, alternativement, l'érosion hydrique ou bien l'érosion par gouttelettes d'eau. Dans ce travail, le comportement d'érosion par gouttelettes d'eau des alliages d'aluminium, à savoir 2024-T4 et 7075-T6, a été étudié. Des tests d'érosion ont été effectués en utilisant des vitesses d'impact à 175 et 150 m/s avec des gouttelettes d'eau ayant une taille moyenne de 600 microns. La microscopie électronique à balayage (MEB) a été utilisée pour comprendre les mécanismes d'accumulation des dommages au cours des premiers stades de l'érosion. Un modèle semi-analytique pour prédire le seuil de la vitesse d'impact qui décrit la condition dans laquelle les alliages d'aluminium peuvent supporter les impacts de gouttelettes sans montrer de dommages dus à l'érosion a également été développé. Il a été constaté que le 7075-T6 a toujours montré des performances supérieures par rapport au 2024-T4 dans toutes les conditions de test en raison de ses propriétés de dureté et de résistance élevées. De plus, le modèle développé a prédit les vitesses de seuil des deux alliages d'aluminium testés avec une précision raisonnable par rapport aux valeurs mesurées expérimentalement.

Aluminum alloys are extensively used in the aerospace industry due to their high strength-to-weight ratio and their excellent fatigue resistance. In particular, aluminum alloys constitute a major part of the aircraft body, especially the wings and fuselage structures. These parts of aircraft are often subject to high-speed impingement of raindrops, the long exposure to which is known to cause erosion damage. The phenomenon is alternately referred to as rain erosion (RE) or water droplet erosion (WDE). In this work, water droplet erosion behavior of aluminum alloys, namely 2024-T4 and 7075-T6 was investigated. Erosion tests were performed using at 175 and 150 m/s impact velocities with water droplets having an average size of 600 microns. Scanning electron microscopy (SEM) was employed to understand the mechanisms of damage accumulation during the early stage of erosion. A semi-analytical model to predict the threshold impact velocity, which describes the condition in which aluminum alloys can endure droplet impacts without showing erosion damage, was also developed. It was found that 7075-T6 always showed superior performance compared to 2024-T4 in all test conditions due to its high hardness and strength properties. Moreover, the developed model predicted the threshold velocities of the two tested aluminum alloys with reasonable accuracy when compared to the experimentally measured values.

Développement d'une méthode de jonction pour les panneaux à âmes ouvertes ondulées en aluminium

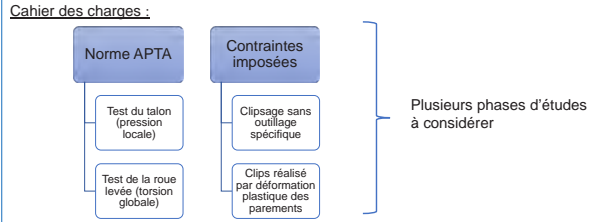
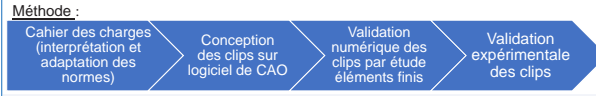
Design of joining method for aluminum open core corrugated panels

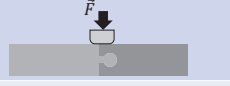



Objectif : Créer une jonction clipsable pour assembler 2 panneaux structuraux à âme ouverte en aluminium

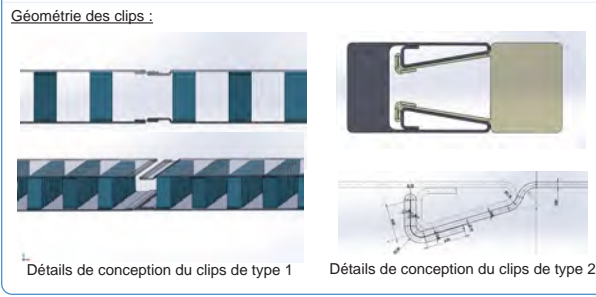
Contexte :



American Public Transportation Association



Phase d'étude	Test réalisé
Test du talon	
Déclipsage en torsion	
Clipsage axiale	
Déclipsage axiale	

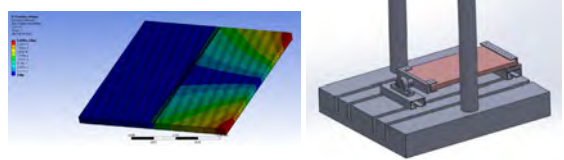


Déclipsage en torsion :

La rigidité en torsion est indépendante des propriétés de l'âme

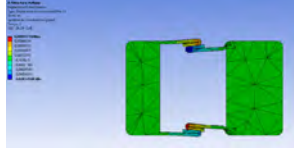
$$D_{xy} = 2 G J = G_1 t_1 h^2$$

Utilisation d'âme en mousse pour simplifier le modèle élément finis, réduire les coûts et temps de prototypage



Travail en cours sur le modèle par éléments finis

Clipsage axial :



Modèle analytique:

$$F_{clipsage} = \frac{E \text{ largeur } Ep^4}{8L^2}$$

L'effort de clipsage est raisonnable pour un clipsage sans outillage spécifique.

Déclipsage axial :

Identification du mode de déclipsage pour paramétrage du modèle éléments finis :

- dépliage du clips
- perte de contact par saut



Perte de contact par saut, reste à le paramétrer dans le modèle par éléments finis

Conclusion :

2 types de clips conçus mais seulement un des 2 a été exploité pour l'instant.

La phase d'étude de test du talon n'a pas commencé à ce jour, cependant cette phase ne consiste pas un gros enjeu car les panneaux résistent à ce test et la longueur des clips est inférieure à l'écartement entre 2 bandelettes d'âme.

Une étude de faisabilité pour réaliser les clips (et les panneaux) par profilage sera réalisée. Cette méthode de déformation plastique à froid nécessite un investissement important (outillage spécifique) mais peut s'avérer plus économique que la presse plieuse pour la production en moyenne et grande série.

Le paramétrage des études par éléments finis est très long mais le modèle par éléments finis pourra ensuite être utilisé pour dimensionner les clips pour un autre cahier des charges. Ainsi, ces clips pourraient trouver d'autres applications dans le domaine des transports ou dans le domaine du génie civil.



Benoit Crépin
Université de Sherbrooke

Alain Desrochers
Université de Sherbrooke

Elijah Van Houten
Université de Sherbrooke

Dans l'industrie des transports, l'optimisation de la masse est une problématique majeure. La réduction de la masse d'un véhicule permet d'augmenter son efficacité énergétique, car il faut moins d'énergie pour le faire fonctionner et sa capacité de charge augmente. L'utilisation de panneaux à âmes ouvertes ondulées dans la conception de la structure des véhicules permet de répondre à cette problématique d'allègement des structures. Ces panneaux sont constitués de 2 tôles appelées parements séparées par des bandelettes de tôles pliées qui maintiennent un écartement constant entre les parements. Le principal avantage de ces panneaux est leur très bonne rigidité en flexion, c'est pourquoi ils peuvent être utilisés pour la réalisation de planchers de bus, de train ou de remorques par exemple. De plus, grâce à leur architecture ouverte, ces panneaux permettent le passage des services (réseau électrique, pneumatique, hydraulique) ou le stockage de cellules de batteries électriques directement à l'intérieur du plancher. L'objet de cette étude porte sur un système de clips, directement réalisés par déformation plastique des parements, l'assemblage de ces panneaux est alors simplifié et plus économique que l'assemblage de panneaux par soudure ou collage. L'objectif est de concevoir des clips nécessitant un outillage limité pour réaliser l'assemblage.

In the transportation industry, mass optimization is a major issue. Reducing the mass of a vehicle increases its energy efficiency because less energy is required to move it and the load capacity is increased. The use of open core corrugated panels in the design of vehicles structures allow to answer this problem of reducing the weight of the structures. These panels are made of 2 sheets called facings separated by strips of folded sheets that maintain a constant distance between the facings. The main advantage of these panels is their very good flexural rigidity, that is why they can be used for the realization of bus, train or trailer floors, for example. Moreover, thanks to their open architecture, these panels allow the passage of services (electric, pneumatic, hydraulic network) or the storage of electric battery cells directly inside the floor. The object of this study focused on a system of clips, directly fabricated by plastic deformation of the facings, to simplify the assembly of these panels and make them cheaper than the assembly of panels by welding or gluing. The objective is to design clips which requires few tools to get assembled.

Les conducteurs électriques en alliages d'aluminium à haute performance pour applications à température élevée

High Performance Aluminum Electrical Conductor Alloys for Elevated Temperature Applications



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Introduction

A new generation of electrical conductor aluminum alloys is being developed. Alloying additions of Si, Zr, and Sc are used individually and in combination. In addition, various thermo-mechanical processing routes, including different combinations of heat treatments, hot rolling and wire drawing are being explored.

Objective

To develop electrical conductor Al alloys with AT4 grade that combines high thermal-resistant property (at 310 °C for 400 h) with excellent electrical conductivity (58 %IACS).

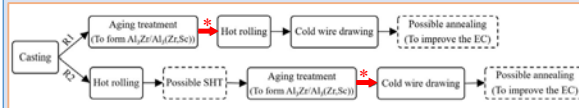
Experimental

1. Alloys

Table 1. Chemical compositions of alloys

Alloy	Si	Fe	Zr	Sc	Al
EC 1	0.04	0.24	0.17	0.00	Bal.
EC 2	0.26	0.27	0.14	0.00	Bal.
EC 3	0.03	0.27	0.08	0.07	Bal.
EC 4	0.24	0.28	0.11	0.07	Bal.

2. Thermo-mechanical processing



* refers to the current stage of study.

Fig. 1 Thermal-mechanical processing routes

Table 2. Heat treatments

Alloy	Solution heat treatment	Aging
EC1 and EC2	N/A	450°C, 500°C, 550°C for 6h to 96h
EC3 and EC4	600°C for 8h	350°C, 400°C, 450°C for 6h to 48h

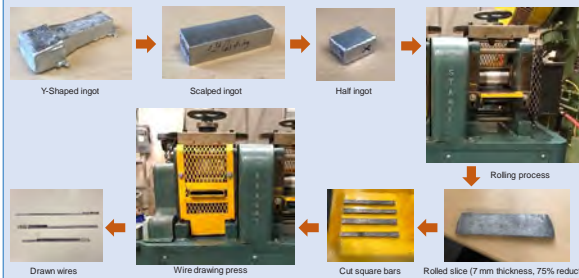


Fig. 2 Casting, rolling, machining and wire drawing processes

Results

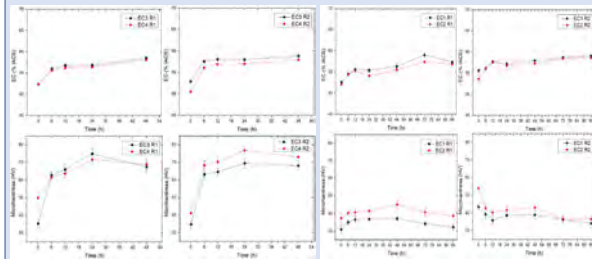


Fig. 3 Evolution of electrical conductivity and microhardness after aging at 350 °C

Fig. 4 Evolution of electrical conductivity and microhardness after aging at 450 °C

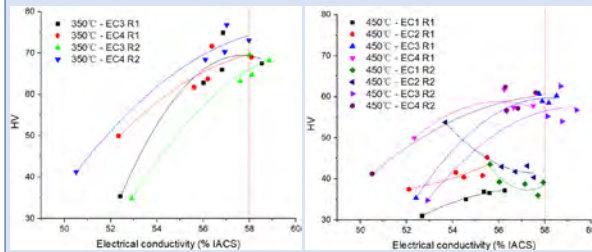


Fig. 5 Electrical conductivity vs microhardness of alloys after aging treatment at 350 °C

Fig. 6 Electrical conductivity vs microhardness of alloys after aging treatment at 450 °C

Preliminary conclusions

1. The addition of Si improved the age hardening of Zr-containing alloys.
2. The combined addition of Zr and Sc resulted in much better combinations of microhardness and electrical conductivity compared with the single addition of Zr.

Ongoing and future works

- Conducting wire drawing;
- TEM observations;
- Examining the thermal-resistant property;
- Improving the age hardening behavior of the alloys with individual Zr.

Q. Shao
University of Quebec
in Chicoutimi

E. M. Elgallad - UQAC
A. Maltais - Rio Tinto
Aluminum
X.-G. Chen - UQAC

Une série de conducteurs électriques en alliages d'aluminium à hautes performances est en cours de développement avec l'intention d'aller au-delà du type (AT4) qui combine une excellente résistance thermique et une conductivité électrique élevée. Dans ce travail, en gardant le même but, les ajouts d'alliages de Si, Zr et Sc sont utilisés individuellement et en combinaison afin d'améliorer les performances de ce type de conducteur. De plus, des méthodes développées de traitement thermomécanique, y compris les différentes techniques de traitements thermiques, sont en cours d'étude. Les résultats préliminaires montrent que l'ajout de Si a accéléré la précipitation des précipités thermiquement stables d'Al₃Zr. L'ajout combiné de Zr et Sc résulte en une combinaison de microdureté et de conductivité électrique meilleures que l'alliage avec l'ajout du Zr seul, ce qui montre que les alliages Al-Zr-Sc pourraient être adoptés comme alternatives prometteuses avec de meilleures propriétés pour les conducteurs électriques de type AT4.

A series of high-performance aluminum electrical conductor alloys is being developed with the intention of going beyond the AT4 grade that combines between excellent thermal-resistant property and high electrical conductivity. In keeping with this goal, alloying additions of Si, Zr, and Sc are used individually and in combination. In addition, developed thermo-mechanical processing routes, including different heat treatments practices, are being conducted. Preliminary results show that the addition of Si accelerated the precipitation of thermally stable Al₃Zr precipitates. The combined addition of Zr and Sc resulted in a much better combination of microhardness and electrical conductivity compared with the single addition of Zr, which reveals that Al-Zr-Sc alloys could be adopted as promised alternatives with better properties for AT4 grade electrical conductors.



1. Introduction

Additive Manufacturing (AM) is gaining attention due to its capability to produce complex shape and a reduce waste footprint. With respect to AM of aluminum alloys, most of the work has been focused on laser powder bed fusion, with little work on binder-based processes because of the added difficulty of sintering aluminum powders. As a starting point, powder characterization plays an important role to avoid superficial issues.

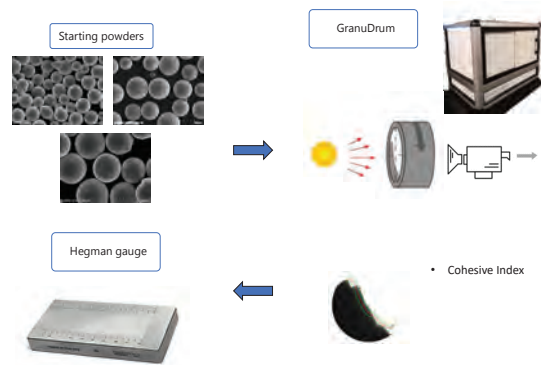
2. Problematic

- Owing to mainly contact forces between powder particles, carbon contamination and residual water after debinding, it is difficult to sinter AISi10Mg.
- It is necessary to find a range of properties that could avoid problems such as agglomeration, in aluminum powders for binder-based processes.

3. Objective

- Characterize physically the AISi10Mg powder (PSD, flowability, contact forces, dispersion).

4. Methodology



5. Results

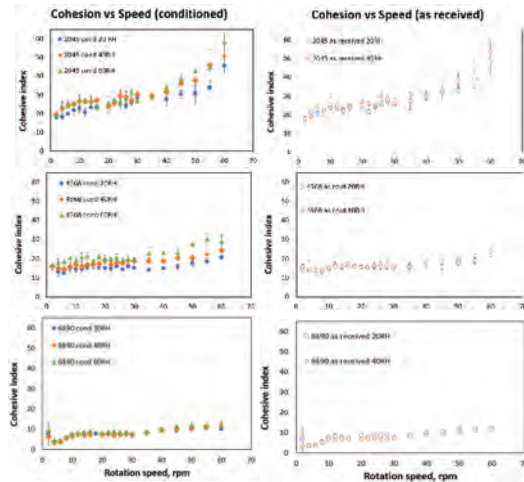


Figure 1. GranuDrum tests results for AISi10Mg powder. Cohesive index vs rotation speed for three different PSDs: a) 20-45, b) 45-68, and c) 68-90 µm.

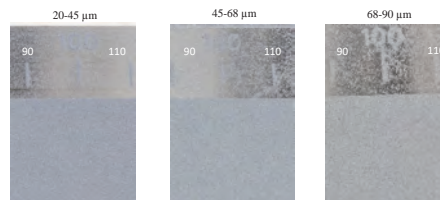


Figure 2. Hegman grind gauge dispersion measurement for three different PSDs of AISi10Mg.

6. Conclusions

- From the GranuDrum results, cohesive index decreases from 20-45 µm to 45-68 µm to 68-90 µm. Furthermore, it can be said that there is a dependence of the PSD with the cohesiveness.
- The dispersion of the powder particles resulted to be affected by the PSD; the smaller the particle, it seems to have lower dispersion quality in the scale between 90 and 110 µm.

Au cours de la dernière décennie, la fabrication additive (FA), qui est une nouvelle voie de fabrication pour produire des pièces métalliques, a attiré l'attention grâce à la possibilité de produire des formes complexes et de réduire l'empreinte des déchets. En ce qui concerne la FA des alliages d'aluminium, la plupart des travaux ont été concentrés sur la fusion laser sur lit de poudre, avec peu de travaux sur les procédés à base de liants en raison de la difficulté supplémentaire de frittage des poudres d'aluminium. Cette présentation montrera les principales interactions concurrentielles à résoudre pour faciliter l'impression 3D d'alliages d'aluminium à l'aide de procédés à base de liants. Cette étude de cas sera réalisée sur l'alliage AISi10Mg.

Over the last decade, Additive Manufacturing (AM), which is a new fabrication route to produce metallic parts, is gaining attention from the possibility to produce complex shape and a reduce waste footprint. With respect to AM of aluminum alloys, most of the work has been focused on laser powder bed fusion, with little work on binder-based processes from the added difficulty of sintering aluminum powders. This presentation will show the main competitive interactions to be solved to facilitate the 3D printing of Al alloys using binder-based processes. This case study will be carried out on AISi10Mg alloy.

Emilio Galindo
 McGill University

Mathieu Brochu - McGill
Milan Maric - McGill

Optimisation de la pratique d'affinage des grains dans les alliages d'aluminium corroyés

Optimization of the grain refinement practice in aluminum wrought alloys



1. INTRODUCTION

- ✓ Enhancement of the mechanical properties in aluminum wrought alloys.
- ✓ More uniform response to surface treatments.
- ✓ Reducing the major cast defect in 6111 aluminum alloys : the hot tearing susceptibility.

3. EXPERIMENTAL PROCEDURE

```

        graph LR
        A[Melting] --> B[Degassing + skimming]
        B --> C[Refiners Addition]
        C --> D[2 min contact + Stirring]
        D --> E[Pouring T=720°C]
    
```

4. RESULTS

4.1. The refinement potency comparison of three different types of refiners

Figure 1. The effect of the refiners on the grain size in the presence of Ti as a solute in the 6111 alloy (0.004%Cr), CR=0.4°C/s (a) and CR=4°C/s (b).

4.2. The effect of Chromium on the grain refinement

Figure 2. Variation of the grain size in 6111 alloys with/without Cr, CR=4°C/s

2. OBJECTIVES

- ✓ Find out the most suitable refiner for the aluminum wrought alloys 6111, taking in account the industrial DC cast parameters (cooling rate, alloying elements (Ti, Cr)).
- ✓ Study the grain refinement effect on the hot tearing severity.

Depth of the analysed sample surface = 25mm

- Electro-etching
- Optical microscope
- Grain size measurements

Constrained Rod Casting (CRC) mold

- Calculation of the hot tearing susceptibility indexes
- Microstructure Analysis

4.3. The effect of grain refinement on the hot tearing susceptibility

6111 alloy (0.004%Cr)	Average grain size	Grain structure	Hot Tearing Susceptibility Index
-No grain refiner -No Ti addition	338 μm	Columnar Dendritic grains	32
5/1 Ti:B (1Kg/T) + 200ppm Ti	170 μm	Equiaxed Dendritic grains	18
5/1 Ti:B(2Kg/T) + 200ppm Ti	80 μm	Cellular grains + Some Globular grains	8
5/1 Ti:B (3Kg/T) + 200ppm Ti	71 μm	Globular grains	15

5. Conclusions

- The 5/1 Ti:B master alloy is found to be the best grain refiner compared to the 3/1 Ti:B and 3/0.15 Ti:Cr master alloys.
- The presence of the Cr element with higher concentration has a poisoning effect on the grain refinement, resulting in a coarser grain structure in the samples treated with the three types of grain refiners.
- The grain refinement could influence both grain size and morphology, which in turn affect the hot tearing susceptibility.
- The grain refinement decreases the hot tearing severity to a certain extent. However, an excessive grain refinement increases the hot tearing susceptibility.

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Chaima Hajji
Université du Québec à Chicoutimi

Zhan Zhang - UQAC
Paul Rometsch - Rio Tinto
X. Grant Chen - UQAC

L'affinage des grains est un facteur clé pour améliorer les propriétés des pièces moulées et réduire la fissuration à chaud. Ce travail vise à optimiser l'utilisation des raffineurs des grains pour les alliages AA6111, tout en tenant compte des paramètres industriels (vitesse de refroidissement, éléments d'alliage, type de raffineur). La taille des grains est mesurée par microscopie optique. L'effet d'affinage des grains sur la fissuration à chaud est évalué par le moule CRC qui simule les forces de contraction pendant la solidification. Les résultats ont montré que le raffineur Al-5Ti-1B était le plus efficace en termes de réduction de la taille des grains, ce qui revient principalement à la distribution granulométrique et la densité numérique des particules dans ce raffineur par rapport aux autres. On a trouvé que le Cr peut inhiber le mécanisme d'affinage, résultant en une structure de grain plus grossière. De plus, l'affinage a influencé à la fois la taille et la morphologie des grains, qui à leur tour contrôlent la fissuration à chaud. L'affinage a diminué la fissuration à chaud dans une certaine limite. Cependant, un affinage excessif a augmenté de nouveau la fissuration à chaud.

The grain refinement practice is an important key factor to improve the castings properties and reduce the hot tearing susceptibility. The aim of this work is to optimize the use of grain refiners for AA6111 aluminum wrought alloys, considering the industrial cast parameters (cooling rate, alloying elements, refiner type). Grain size measurements were performed using optical microscopy. The grain refinement effect on hot tearing was evaluated using a constrained rod mould, which simulates the contraction forces during solidification. The results showed that greater grain size reduction was achieved by the Al-5Ti-1B master alloy, this refinement potency mainly depends on the size distribution and number density of the particles in this refiner compared to other refiners. It is also found that the Cr had a poisoning effect, resulting in a coarser grain structure. Moreover, the grain refinement could influence both grain size and morphology, which in turn affect the hot tearing susceptibility. The grain refinement decreased the hot tearing severity to a certain extent. However, an excessive grain refinement increased the hot tearing susceptibility.

1. Introduction

The increased engine operating temperature (~300 °C) limits the application of Al-Cu alloys due to the rapid coarsening of the strengthening phase and severe creep deformation at elevated temperatures. Therefore, it is necessary to improve their creep resistance at elevated-temperature for engine performance. In the present work, the influence of Mg addition on the creep resistance at 300 °C of 224 cast alloys was studied.

2. Objectives

- Study the influence of Mg addition on the creep behavior of Al-Cu 224 cast alloys;
- Reveal the creep mechanisms.

3. Experimental Procedures

1. Materials

Table 1. Chemical composition of 224 cast alloys (wt.%).

Alloys	Cu	Mn	Mg	Si	Fe	Ti	V	Zr	Al
0Mg	4.68	0.34	0.01	0.04	0.11	0.17	0.21	0.14	Bal.
0.24Mg	4.71	0.36	0.24	0.04	0.08	0.15	0.18	0.14	Bal.

T7A heat treatment:
Solid solution: 495 °C/2 h +523 °C/10 h; Water quench;
Ageing: 200 °C/4 h; Thermal exposure: 300 °C/100 h.

2. Creep test

Cylindrical specimens: $\phi 10 \times 15$ mm Constant temperature: 300 °C
Applied stress: Low stress regime (LSR): 45-75 MPa
High stress regime (HSR): 90-100 MPa

3. Microstructure characterization
SEM & TEM

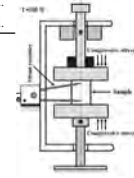


Fig. 1 Schematic diagram of compressive creep test.

4. Results

Creep behavior

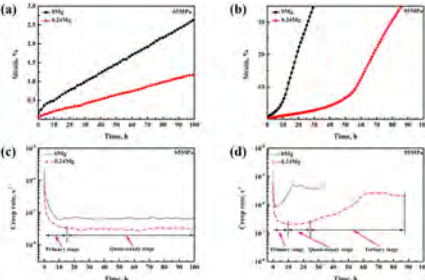


Fig. 2 Typical creep curves (a, b) and creep rate curves (c, d) of experimental alloys at: (a, c) 65 MPa and (b, d) 95MPa.

Microstructure evolution

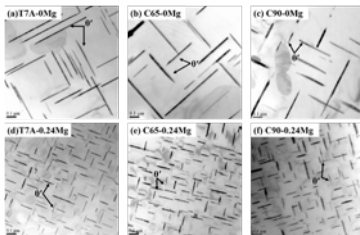


Fig. 4 Bright field TEM images viewed along <001>_{α-Al} of the experimental alloys at different states.

Table 2. Characters of θ' precipitates at different states.

Alloy	Particles	State	Length (nm)	Thickness (nm)	Number density (nm ⁻³)
0Mg	T7A		286.2±149.0	14.7±4.8	8.4×10 ⁻⁸
	C65		324.1±139.4	16.6±6.6	4.0×10 ⁻⁸
	C90		359.1±180.9	19.8±7.9	3.5×10 ⁻⁸
0.24Mg	T7A		97.6±34.5	9.2±2.8	7.1×10 ⁻⁷
	C65		101.5±37.8	9.9±3.5	4.2×10 ⁻⁷
	C90		120.0±53.1	12.7±4.6	3.7×10 ⁻⁷

Creep mechanism

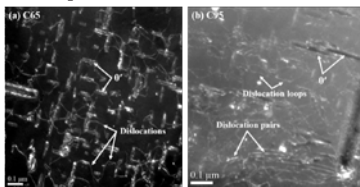


Fig. 5 Weak-beam TEM images viewed along <001>_{α-Al} of 0.24Mg crept samples quenched at the steady-state stage of (a) 65 MPa (LSR) and (b) 95 MPa (HSR).

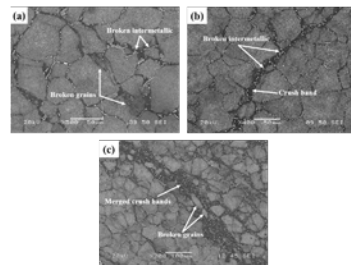


Fig. 6 The microstructure of crept 0Mg alloy quenched at (a) 15%, (b) 25% and (c) 35% strain deformation under 95 MPa.

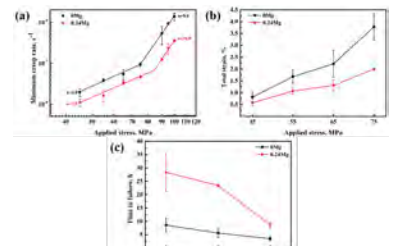


Fig. 3 Evolution of (a) minimum creep rate, (b) total strain and (c) steady time with applied stress.

LSR (45-75 MPa): Dislocation climbing
HSR (90-100MPa): Orowan looping

5. Conclusions

- The 0.24Mg alloy displayed a finer and denser θ' after T7A heat treatment which yielded a better creep behavior at 300 °C.
- The stress exponent n in power law is changing from 3 in LSR to 9-10 in HSR, indicating the different creep mechanisms: dislocation climbing in the LSR and Orowan looping in the HSR.

6. Future Work

- Study the influence of Mg on the fatigue behavior of 224 cast alloys.
- Study the influence of transition elements on the elevated-temperature properties and fatigue behavior of 224 cast alloys.

La température élevée de fonctionnement d'un moteur (~300 °C) limite l'application des alliages Al-Cu à cause du grossissement rapide de la phase durcissante et la déformation par fluage sévère sous une température élevée. Alors, afin d'améliorer la performance des moteurs fabriqués avec cet alliage, il est nécessaire d'améliorer leurs résistances au fluage. Dans ce travail, le comportement et les mécanismes au fluage des alliages Al-Cu 224 à (0 et 0,24 %Mg) sont examinés. Les résultats montrent que la résistance au fluage sous 300 °C augmente avec le Mg. Les courbes de fluage montrent un changement de pente notable entre le régime à faible contrainte (LSR) et celui à forte contrainte (HSR). L'exposant de contrainte dans la loi puissance est ~3 en LSR, mais il est beaucoup plus élevé (9-11) en HSR. Le mécanisme de fluage dans (LSR) est dû à la montée de dislocation, mais se transforme en boucle d'Orowan dans (HSR), ce qui est confirmé par l'interaction dislocation-précipités observée par MET. Les précipités fins et denses θ' avec meilleure stabilité thermique dans l'alliage contenant Mg génèrent une résistance plus élevée au mouvement des dislocations ce qui améliore la résistance au fluage dans l'alliage contenant Mg.

The increased engine operating temperature (toward ~300°C) limits the application of Al-Cu alloys due to the rapid coarsening of the strengthening phase and severe creep deformation at elevated temperatures. Therefore, it is necessary to improve their creep resistance for engine performance. In this work, the creep behavior of Al-Cu 224 cast alloys with two Mg contents (0 and 0.24 wt.%) was studied and the creep mechanisms were explored. The results showed that the creep resistance at 300 °C is increasing with Mg addition. The creep curves showed a pronounced break between the low-stress regime (LSR) and the high-stress regime (HSR). The stress exponent in the power law is ~3 in LSR below the break, whereas it is much higher (9-11) in HSR above the break. The creep mechanism in the LSR is believed to be the dislocation climbing, while it transformed into the Orowan looping in the HSR, which was confirmed by the interaction between dislocation and precipitates observed by TEM. The fine and dense θ' precipitates with better thermal stability in the Mg-containing alloy generated higher resistance on the motion of dislocations, hence improving the creep resistance in the Mg-containing alloy.

Peng Hu
University of Quebec
in Chicoutimi

Kun Liu - UQAC
X.-Grant Chen - UQAC

L'effet des ajouts d'Ag et de Cu sur la dureté et la conductivité électrique des alliages Al-Mg-Si en utilisant le traitement thermomécanique conventionnel et modifié

Effect of Ag and Cu additions on the strength and electrical conductivity in Al-Mg-Si alloys using conventional and modified thermomechanical treatment

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi



1. INTRODUCTION

- Al-Mg-Si conductor alloys are increasingly used in the transmission power line.
- The effect of Ag and Cu additions on the strength and electrical conductivity in the Al-Mg-Si alloys are barely studied.
- Based on the ASMT standard ⁽¹⁾, the maximum level of copper in Al-Mg-Si conductor alloys should be **0.1 wt.%**

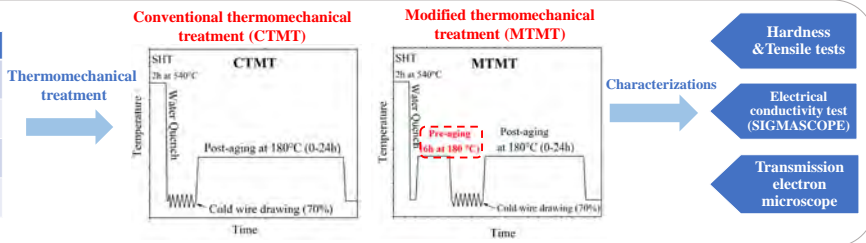


2. OBJECTIVES

- To improve the strength and electrical conductivity simultaneously via modifying the thermomechanical treatment.
- To maximize the strengthening effect of the Ag and Cu additions via modifying the thermomechanical treatment above the minimum required electrical conductivity (52.5 %IACS).

3. EXPERIMENTAL

Alloy	Mg	Si	Ag	Cu	Fe	Al
Base	0.67	0.43	Trace	Trace	0.09	Bal.
Ag5	0.63	0.38	0.53	Trace	0.11	Bal.
Cu3	0.63	0.37	Trace	0.28	0.10	Bal.
Ag3Cu1	0.66	0.38	0.32	0.15	0.16	Bal.



4. RESULTS

MTMT maximize the effect of Ag and Cu additions on the improvement of hardness and electrical conductivity

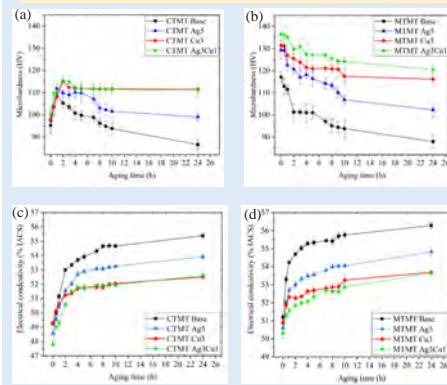


Figure 1. Hardness vs aging time for (a) the CTMT alloys (b) the MTMT alloys; Electrical conductivity vs aging time for (c) the CTMT alloys (d) the MTMT alloys

MTMT showed the higher hardness (~20 HV) and higher electrical conductivity (~1 %IACS) compared to CTMT

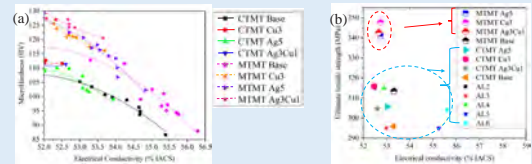


Fig.2 (a) Hardness vs electrical conductivity above minimum required electrical conductivity (52 %IACS) (b) comparison of strength/electrical conductivity in this study with the EN 50183 standard (AL2-AL6)² above 52 %IACS

Densities of the strengthening precipitates in Ag/Cu-added alloys under MTMT are three times higher than those in CTMT

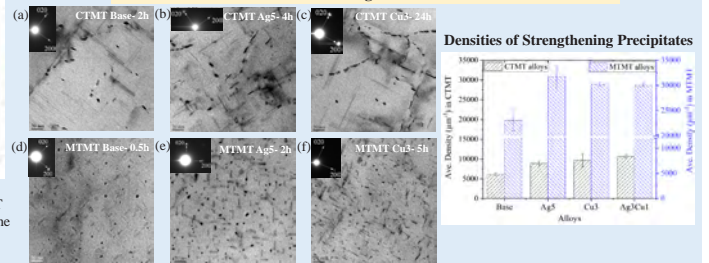


Figure 3. TEM micrographs for strengthening precipitates in (a-c) the CTMT alloys in (d-f) the MTMT alloys.

5. Conclusions

- The conventional thermomechanical treatment (CTMT) showed the relatively low impact of the Ag and Cu additions on the strengths and electrical conductivity.
- The modified thermo-mechanical treatment (MTMT) led to maximizing the effect of Ag and Cu additions on strengths and electrical conductivity.
- The densities of the strengthening precipitate for Ag-Cu-added alloys under MTMT are three times higher than those under CTMT.

6. Future work

- Applying the pre-aging at 120-150 °C in MTMT to study the evolution of the strength and EC.

7. References

- ASTM Standards: Electrical Conductors. Section 2.
- E. Standard, EN 50183. Conductors for overhead lines.

Les effets des ajouts d'Ag et de Cu sur la dureté et la conductivité électrique (CE) des alliages conducteurs Al-Mg-Si ont été étudiés par le traitement thermomécanique conventionnel et modifié. Dans le traitement thermomécanique conventionnel (traitement de mise en solution, trempe, tréfilage et vieillissement), les ajouts d'Ag et de Cu ont pu augmenter légèrement la dureté (~110 HV) par rapport à l'alliage de base (~105 HV), tout en respectant le minimum requis en conductivité électrique (52,5 % IACS). Cependant, la modification du traitement thermomécanique (traitement de mise en solution, trempe, pré-vieillessement, tréfilage et post-vieillessement) a pu maximiser l'effet positif des ajouts d'Ag et de Cu sur les duretés (121-126 HV) avec des valeurs de (CE) qui dépassent (52,5 % IACS). Tous les alliages ont montré une dureté et une conductivité électrique supérieures avec le traitement thermomécanique modifié par rapport au traitement thermomécanique conventionnel en raison de la précipitation favorisée. L'analyse par microscopie électronique à transmission a montré que les densités numériques des précipités dans les alliages avec Ag-/Cu ajoutés sous le traitement thermomécanique modifié sont plus de trois fois supérieures à ceux sous traitement thermomécanique conventionnel.

The effects of Ag and Cu additions on strength and electrical conductivity (EC) of Al-Mg-Si conductor alloys were investigated using conventional and modified thermomechanical treatment. In the conventional thermomechanical treatment (solution treatment, quenching, wire drawing, and aging), the additions of Ag and Cu could slightly increase the strength (~110 HV) compared to the base alloy (~105 HV), while fulfilling the minimum required electrical conductivity (52.5%IACS). However, the modification of thermomechanical treatment (solution treatment, quenching, pre-aging, wire drawing, and post-aging) could maximize the positive effect of Ag and Cu additions on the strengths (121-126 HV) with EC values above 52.5%IACS. All alloys under the modified thermomechanical treatment showed superior strength and electrical conductivity compared to the counterparts under the conventional thermomechanical treatment owing to promoting precipitation. The transmission electron microscopy analysis showed that the precipitate number densities in Ag-/Cu-added alloys under the modified thermomechanical treatment are more than three times higher than those under conventional thermomechanical treatment.

Prix
Award



Siamak Nikzad Khangholi
University of Québec
at Chicoutimi

Mousa Javidani - UQAC
Alexandre Maltais
Rio Tinto
X.-Grant Chen - UQAC

Définition de systèmes de prédiction assistée du comportement en fatigue d'assemblage de pièces d'aluminium

Proposition for an assisted prediction system for the fatigue life of assembled aluminium pieces



Contexte :

- Ce projet fait partie du programme ATLAS, un programme d'envergure ayant pour but de développer de nouveaux prototypes de châssis en alliage d'aluminium, dédiés à l'industrie du véhicule récréatif.
- Pour la conception de ces châssis, la phase d'étude des méthodes d'assemblage est primordiale, et parmi les sollicitations envisagées, la fatigue tient une place importante. Mais les tests de fatigue sont coûteux et chronophages.
- On s'intéresse ici donc à des moyens de prédire ce phénomène de fatigue, appliqués aux assemblages soudés au laser. Deux approches de la durée de vie seront prises en compte : l'amorce de la fissuration (obtenue par émission acoustique) et la rupture.

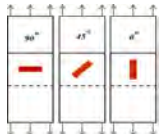


Figure 1 : Orientations possibles des cordons de soudure

Log10	1 Thème	15	15	20
Log10	1 Thème	14	14	16
Log10	1 Thème	15	15	15
Log10	1 Thème	16	15	16

Figure 2 : Répartition des échantillons testés sur les 12 configurations

Objectifs :

- Objectif principal :**
- Proposer un système de prédiction de la durée de vie basé sur des algorithmes à réseaux de neurones, prenant en compte les caractéristiques de soudage (orientation et taille des cordons, nombre de passes, présence de gap) et les courbes SN expérimentales et analytiques.
- Objectifs secondaires :**
- Construire une base de données rassemblant les caractéristiques et résultats d'essais de fatigue des différentes configurations étudiées.
 - Etablir des courbes de fatigue prédites à l'aide de réseaux de neurones
 - Etendre la méthode aux courbes probabilistes
 - Déployer les modèles développés pour la prédiction de la durée de vie pour des cordons ayant une géométrie plus complexe.

Base de données (BDD) :

Identifiant	Configuration	Orientation	Nombre de passes	Longueur cordon	Aire cordon	Forme cordon	Gap	Contrainte max	Etat de surface	Matériau	Essai	Paramètres	Résultats
1	1	90°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_EA_10	10000
2	1	90°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_EA_50	50000
3	1	90°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_EA_90	90000
4	1	90°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_R_10	10000
5	1	90°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_R_50	50000
6	1	90°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_R_90	90000
7	1	45°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_EA_10	10000
8	1	45°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_EA_50	50000
9	1	45°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_EA_90	90000
10	1	45°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_R_10	10000
11	1	45°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_R_50	50000
12	1	45°	1	15	15	1	0	10	1	AA5052-H36	SN	N_R_90	90000

Figure 3 : Extrait de la base de données à exploiter

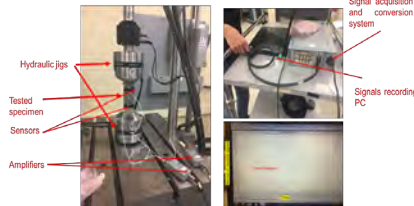


Figure 4 : Acquisition par un système d'émission acoustique [1]

- Nécessité de prendre en compte l'aspect aléatoire de la fatigue
- La base de données permet de générer des courbes SN à exploiter
- On échantillonnera ces courbes SN à différents niveaux de contrainte pour générer plus de données

Perspectives :

- Prédire et compléter les données manquantes de la BDD
- Ajouter à la BDD des configurations d'assemblages soudés par MIG, collés et rivetés.
- Tester la fiabilité de cette méthode sur des systèmes complexes (combinaison de méthodes d'assemblages, sollicitations complexes)



Figure 7 : Courbes de distribution des contraintes en fonction de la durée de vie en fatigue [2]

Méthodologie :

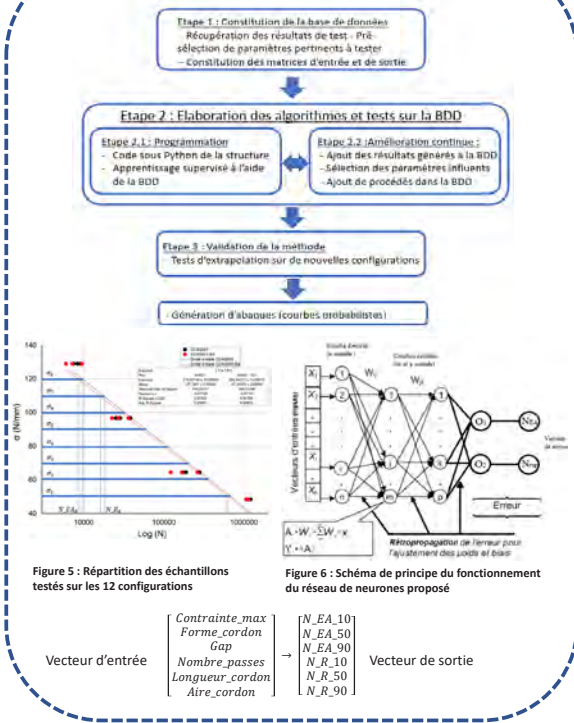
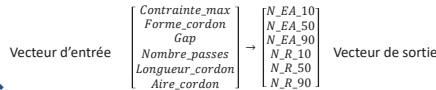


Figure 5 : Répartition des échantillons testés sur les 12 configurations

Figure 6 : Schéma de principe du fonctionnement du réseau de neurones proposé



Références :

- [1] : M. IDRIS, A. DESROCHERS, A. MASLOUHI, Effect of stitch-weld shape, gap bridging and second welding pass on the fatigue behavior of AA5052-H36 laser welded single lap joints
- [2] : G. BARBIER, "Fatigue biaxiale à grand nombre de cycles : étude expérimentale et modèle d'endommagement à deux échelles probabiliste." (Thèse de doctorat, ENS Cachan, 2009).

Prendre en compte le comportement en fatigue est primordial dans la conception d'une pièce, tant il affecte les choix de matériaux, de mise en forme et d'assemblage. Mais les multiples tests de fatigue sont chronophages. Pour pallier cela, nous allons proposer des méthodes numériques de prédiction assistée de la fatigue de pièces complexes. L'entraînement d'algorithmes à réseaux de neurones nous permet aujourd'hui, d'après la littérature, de prédire la durée de vie d'une pièce formée dans un matériau donné. L'objectif sera ici de travailler sur des pièces assemblées, par soudage, collage ou rivetage. On prendra en compte les caractéristiques d'assemblage, telles que la forme et la taille du cordon de soudure. Nous utiliserons comme modèle à entraîner le perceptron multicouche, qui permettra, à partir des résultats d'essai déjà réalisés, d'extrapoler sur de nouvelles configurations et prédire des comportements en fatigue. Les variables d'entrée seront issues de la pièce et de l'essai de fatigue. Les variables de sortie seront les nombres de cycles de sollicitation à l'amorce de la fissure, obtenue par émission acoustique, et la rupture de la pièce. On se basera sur des essais générés précédemment par d'autres étudiants afin de créer une base de données sur laquelle s'appuyer.

When designing a mechanical component the fatigue life must be considered because of its impact on the choices of material and method of shaping and assembling the parts. However, the many fatigue life tests are time-consuming. To mitigate this, we will suggest new ways to forecast the fatigue life of assembled aluminum parts, using predictive algorithms. The training of neural networks allows us, according to the literature, to predict the fatigue life of samples of material. Our aim here will be to work on welded, riveted and adhesively bonded parts. We will consider the assembling traits, like the shape and size of the weld bead. In this project, we will work with the multi-layer perceptron model, which, based on previous fatigue test data, allows us to generalize results on new patterns and to predict fatigue life. The input values will come from the parts' features and the fatigue test. The output values will be the number of cycles before the initiation of the crack, generated thanks to acoustic emissions, and the number of cycles to failure. We will work with a database created with data previously generated by other students.

Valentin Walter
Sherbrooke University

Ahmed Maslouhi
Sherbrooke University

Alain Desrochers
Sherbrooke University

Comparaison du comportement des supercondensateurs de l'aluminium revêtu de polypyrrole et de la mousse de nickel revêtu d'oxyde de nickel

Comparison of supercapacitor behavior of the polypyrrole coated aluminum and nickel oxide coated nickel foam

1.0 Introduction

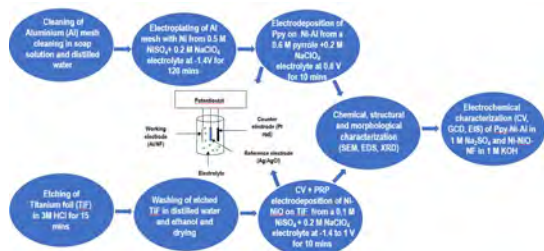


- Pseudocapacitor materials are conducting polymers (e.g. Polypyrrole) and metal oxides (eg. NiO (2580 F/g))
- Electrode Substrate (e.g. titanium foil, stainless steel wire mesh, carbonized textile fabrics etc.) should be conductive and stable in the electrolyte.
- Aluminium has high electrical conductivity, low density, high tensile strength, low cost but the presence of a passive insulating oxide layer hinders its use as a current collector.
- Coating with a conductive material can improve the conductivity aluminium.
- Interaction between electrolyte, substrate and electrode material affects the capacitance, energy and power densities.

2.0 Objectives

- Modification of aluminium (Al) mesh with nickel (Ni) by electrodeposition.
- Electrodeposition of polypyrrole (Ppy) thin film on the nickel-modified aluminium mesh.
- Electrodeposition of Ni-NiO on titanium foil (TiF).
- Supercapacitor performance evaluation of the polypyrrole coated-nickel-modified aluminium mesh (Ppy-Ni-Al) and Ni-NiO coated titanium foil (Ni-NiO-TiF) electrodes.

3.0 Methods



4.1 Ppy coated-Ni modified-aluminium (Ppy-Ni-Al) mesh

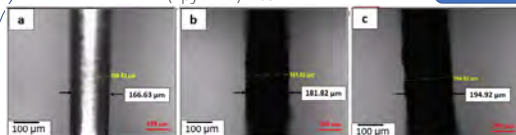


Figure 4.11 Optical microscope images of a micro-rod from (a) a cleaned aluminium (Al) mesh, (b) a Ni modified-aluminium (Ni-Al) mesh, (c) Ppy coated-Ni modified-aluminium (Ppy-Ni-Al) mesh



Figure 4.12 SEM images of (a) Ni-modified aluminium (Ni-Al) mesh, (b) Ppy coated Ni modified-aluminium (Ppy-Ni-Al) mesh, (c) EDS of (i) Ni-Al mesh and (ii) Ppy-Ni-Al mesh.

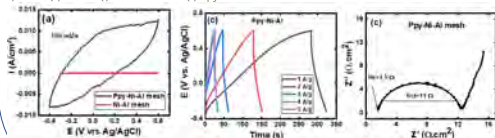


Figure 4.13 Electrochemical performance of Ppy coated-Ni modified-aluminium (Ppy-Ni-Al) mesh electrode in 1 M Na₂SO₄ (a) Cyclic voltammetry curve at 100 mV/s, (b) Galvanostatic charge-discharge profiles at different specific currents, (c) Nyquist plot

4.0 Results

4.2 Ni-NiO thin film coated titanium foil (Ni-NiO-TiF)

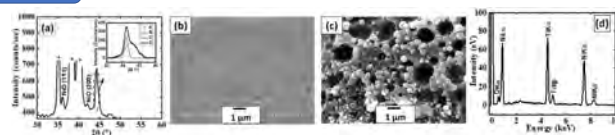


Figure 4.21 (a) XRD spectrum of the Ni-NiO thin film on Ti-foil represented by * (Inset of A-experimental data, B-fitted Ti (200) peak of substrate, C-fitted Ni (111) peak, D-smoothed data), (b,c) SEM images of bare Ti-foil (TiF) and the Ni-NiO thin film coated Ti-foil (Ni-NiO-TiF) (d) EDX spectrum of sample in Fig. 1 (c)

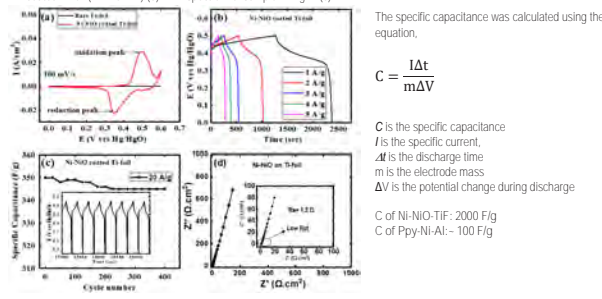


Figure 4.22 (a) CV curves of Ti-foil (TiF) and the Ni-NiO thin film coated Ti-foil (Ni-NiO-TiF), (b) Charge-discharge curves of one cycle at different specific currents, (c) Cycling performance after 400 cycles at 20 A/g, (d) Nyquist plot of Ni-NiO-TiF with inset of zoom-in of the high frequency region in 1 M KOH

The specific capacitance was calculated using the equation,

$$C = \frac{I \Delta t}{m \Delta V}$$

C is the specific capacitance
I is the specific current
 Δt is the discharge time
 ΔV is the potential change during discharge

C of Ni-NiO-TiF: 2000 F/g
C of Ppy-Ni-Al: ~100 F/g

5.0 Conclusion

- Aluminium mesh has been successfully modified with nickel and used as a substrate for the deposition of polypyrrole thin film as a supercapacitor electrode.
- Ni-NiO coated titanium foil electrode exhibited a superior electrochemical performance with a specific capacitance of 2000 F/g compared to that of polypyrrole coated-nickel modified-aluminium mesh electrode (~100 F/g) at a specific current of 1 A/g in 1 M KOH and 1 M Na₂SO₄ respectively, as result of a desirable morphology which plays a significant role in increasing the electrolyte ion diffusion and a smaller charge transfer resistance (R_{ct}).

Rania Afia Nuamah
Université du Québec
à Chicoutimi

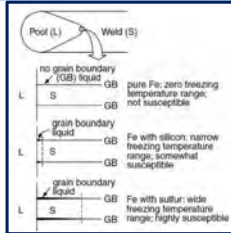
Saleema Noormohammed
UQAC
Dilip Kumar Sarkar
UQAC

En raison de sa capacité théorique élevée, NiO a été déposé sur un substrat d'aluminium et la performance électrochimique a été évaluée dans un électrolyte KOH. Cependant, comme Al a réagi avec KOH en enlevant instantanément le revêtement NiO, deux approches différentes ont été stratégiquement utilisées pour étudier les performances électrochimiques: Étude de (1) mousse de nickel revêtu de NiO (NF) dans l'électrolyte KOH et (2) Al revêtu de polypyrrole (Ppy) ainsi sous forme d'Al revêtu de Ni dans l'électrolyte Na₂SO₄. Les deux systèmes étudiés ont été caractérisés par MEB/EDS, FTIR et XRD pour suivre les cinétiques d'évolution physique et morphologique. La capacitance expérimentale obtenue sur le NiO était d'environ 2000 F/g et sur le Ppy était d'environ 100 F/g, à une charge de courant appliquée de 1 Ag⁻¹. Les deux systèmes ont présenté une bonne cyclabilité, ce qui montre que l'Al a un bon potentiel pour être utilisé comme matériau de collecteur de courant à condition qu'il soit exposé à un électrolyte approprié pour éviter la dissolution électrolytique de l'aluminium lui-même. Cette étude a également démontré la dépendance des performances électrochimiques sur les caractéristiques morphologiques, cristallographiques et chimiques et ces détails ont été élaborés dans ce travail.

Due to its high theoretical capacitance, NiO was deposited on an aluminium substrate and the electrochemical performance were evaluated in a KOH electrolyte. However, since Al reacted with KOH removing the NiO coating instantly, two different approaches were strategically employed to investigate the electrochemical performance: Study of (1) NiO coated nickel foam (NF) in KOH electrolytes and (2) polypyrrole (Ppy) coated Al as well as Ni coated Al in Na₂SO₄ electrolytes. Both systems studied were characterized using SEM/EDS, FTIR and XRD to monitor physical and morphological evolution kinetics. The experimental capacitance obtained on the NiO was ~2000 F/g and on the Ppy was ~100 F/g, respectively, at an applied current load of 1 Ag⁻¹. Both systems presented good cyclability showing that Al has good potential to be used as current collector material provided it is exposed to appropriate electrolytes to avoid electrolytic dissolution of aluminium itself. This study has also demonstrated the dependence of the electrochemical performance on the morphological, crystallographic and chemical characteristics and these details have been elaborated in this work.

I. Background

- ✓ Among various additive manufacturing process, Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) has proven successful in manufacturing medium strength aluminum alloys.
- ✓ The next challenge is now to further the reach of L-PBF for printing of high strength aluminum alloys.
- ✓ The factor responsible for making these alloy non weldable is the solidification cracking.
- ✓ Solidification cracking is amplified for high cooling rate and small pool size, both typical of L-PBF processing.



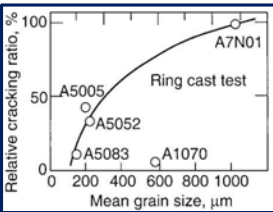
#Factor 1: Solidification on temperature range [1]

- ✓ Energy density is defined in terms of Volumetric energy density (VED) as

$$VED = \frac{P \times ET}{HD \times PD \times LT}$$

Where,
P is Power
ET is exposure time
LT layer thickness
HD is hatch distance
PD is Point Distance

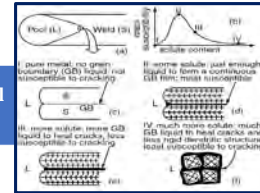
- ✓ By varying the process parameter which leads to variation in solidification parameter i.e., thermal gradient (G) and growth rates (R) across the melt pool.



#Factor 4: Grain size effect [1]

III. Factors Effecting Solidification Cracking

#Factor 2: Terminal liquid amount [1]

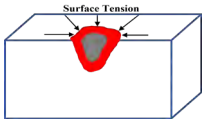


II. Objective

- ✓ To find processing windows to eliminate cracking during Laser Powder Bed Fusion of high strength aluminum alloys.

IV. Proposed Approach

- ✓ Energy density plays a major role in deciding the shape and size of the molten pool.



Schematic representation of the melt pool shape and size during L-PBF

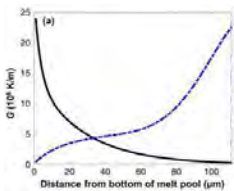
#Factor 3: Surface tension of molten metal [1]

V. Summary & Future Direction

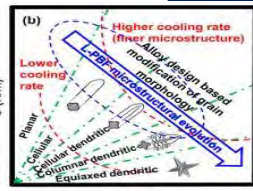
- ✓ During L-PBF of high strength and non weldable aluminum alloys, solidification cracking can be eliminated either through Discrete point scanning strategy or texture control method.
- ✓ Implementing the above method on Al 6061 and then high strength 7XXX alloys which are non weldable.

VI. References

1. Sindo Kou, "Welding metallurgy", John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2002.
2. Mishra et al., "Design approaches for printability-performance synergy in Al alloys for laser-powder bed additive manufacturing", Materials and Design 204 (2021) 109640.
3. Mata et. al., "Dependence of mechanical properties on crystallographic orientation in nickel-based superalloy Hastelloy X fabricated by laser powder bed fusion", Journal of Alloys and Compounds 865 (2021) 158868
4. Martin et al., "3D printing of high-strength aluminium alloys", Nature 549 (2017) 365–369.
5. Thijs, L., et al., Fine-structured aluminium products with controllable texture by selective laser melting of pre-alloyed AlSi10Mg powder, Acta Mat. 61, 5 (2013) 1809.



Varying thermal gradient and growth rate as function of melt pool depth during L-PBF [2]



Mark the boundaries between different growth regimes (planar, cellular, cellular dendritic, columnar dendritic, and equiaxed dendritic) [2]

La fabrication additive (MA) a récemment atteint une grande popularité dans les applications industrielles de pointe dans les domaines de l'aérospatiale, du biomédical et de l'automobile, en raison de sa capacité à fabriquer des structures complexes, des conceptions sur mesure, etc. Parmi les différentes techniques de fabrication additive, la fusion laser sur lit de poudre (LPBF) a fait ses preuves dans la fabrication d'alliages à base d'aluminium de résistance moyenne, principalement pour la famille Al-Si. Le principal défi consiste maintenant à étendre la portée de la LPBF pour l'impression d'alliages à haute résistance. Cependant, les cycles thermiques complexes sont inhérents au procédé LPBF, ce qui entraîne le développement de contraintes résiduelles, ainsi que la présence d'un film liquide à la fin de la solidification, deux facteurs favorisant la fissuration de solidification. Dans la présente étude, de nouvelles stratégies pour contourner ce problème de fissuration sont étudiées.

Additive manufacturing (AM) has recently reached high popularity in high-end aerospace, biomedical and automotive industrial applications owing to its ability to manufacture complex structures, tailored designs, etc. Among various AM techniques, laser powder bed fusion (LPBF) has proven successful in manufacturing medium-strength aluminum-based alloys, mainly for the Al-Si family. The main challenge is now to further extend the reach of LPBF for the printing of high strength alloys. However, inherent to LPBF is the complex thermal cycles, resulting in the development of residual stresses, as well as the presence of liquid film at terminal solidification, both factors favoring solidification cracking. In the present study, new strategies to circumvent this cracking issue are studied.

Anubhav Kumar Singh
McGill University

Mathieu Brochu - McGill

La faisabilité de la production des alliages d'aluminium à haute dureté par le procédé de fabrication additive fusion au laser sur lit de poudre

Feasibility of production of high strength aluminum alloys by laser powder bed fusion as an additive manufacturing process

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi



RioTinto

I. INTRODUCTION

The additive manufacturing process has been widely used among high-strength metals due to the possibility of the production of complex shape components in industries. The number of aluminum alloys that can be processed by AM is limited to the Al-Si system, which can tolerate the challenges of the rapid solidification nature of additive manufacturing. However, the mechanical properties of such alloys after AM is limited. Most efforts about AM of AAs have been attracted in optimization of high strength alloys for AM. The AAs' behavior in AM can be physically simulated by a laser remelting process. In this study, the microstructure and mechanical properties of A224 and HPDC AlSi10Mg0.5Mn aluminum alloys have been investigated after the laser remelting process to measure the feasibility of AM.

II. OBJECTIVES

To understand the behavior of two different aluminum alloys during AM, the process is simulated by using the laser remelting process. The objectives of this study are:

- 1- Feasibility of production of high-strength aluminum alloys by using AM.
- 2- Investigation the reason for any possible imperfection in the final product and study the solutions for mitigating those imperfections.
- 3- Optimal heat treatment condition for obtaining the maximum mechanical properties after AM for each aluminum alloy.

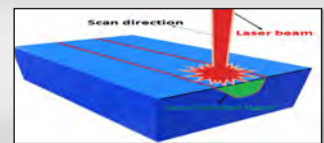
Chemical composition of experimental alloys

Aluminum alloy 224							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	V	Zr
0.04	0.11	4.69	0.34	0.12	0.17	0.21	0.15
HPDC AlSi10Mg0.5Mn							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Sr	
10.4	0.2	0.01	0.51	0.56	0.05	0.0111	

III. EXPERIMENTAL PROCEDURE

- Laser remelting process:
Power 370W, Scan speed 500 mm/s, spot size 100 μm
- OM and SEM in order to investigate the microstructure
- Microhardness measurements
- Heat treatment: Aging treatment directly after laser at 160°C and 180 °C from 2 hrs to 20 hrs

Schematic of laser remelting process



IV. RESULTS

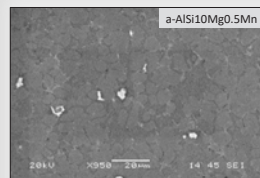


Fig.1 As-cast microstructure.

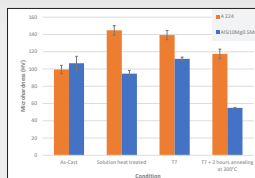
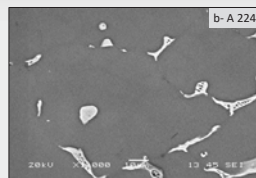


Fig.2 Microhardness of two alloys before laser remelting process.

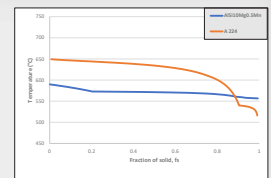


Fig.3 Solidification curves for Al224 (orange) and AlSi10Mg0.5Mn (blue).

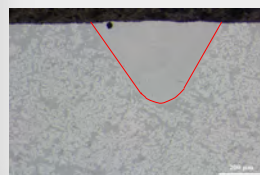


Fig.4 Perfect solidification of laser's pool for AlSi10Mg0.5Mn (without major imperfection).

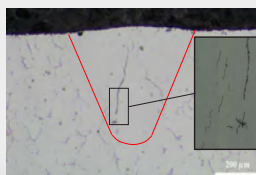


Fig.5 Laser's pool for A224 with macrocracks.

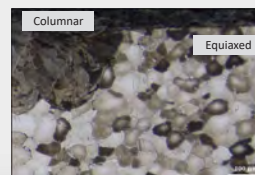


Fig.6 Grain structure of A224 (equiaxed structure in base and columnar structure in the laser's pool)

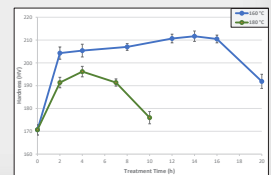


Fig.7 Microhardness of AlSi10Mg0.5Mn after aging at 180°C and 160°C after laser remelting process.

V. CONCLUSIONS

1. The mechanical behavior of the high silicon aluminum alloy improves significantly, after laser remelting process.
2. The A224 cracks during laser remelting process due to columnar solidification..
3. The microhardness of AlSi10Mg0.5Mn aluminum alloy reaches 211 HV and 195 HV after aging at 160°C/14hrs and 180°C/4hrs.

VI. FUTURE WORK

- Modifying the solidification behavior of 224 aluminum alloy during the rapid solidification nature of the laser remelting process.
- Detailed discovery of the formation and distribution of dispersoids under various heat treatments with TEM for AlSi10Mg0.5Mn.

E. Pourkhorshid
University of Quebec
in Chicoutimi

P. Rometsch - Rio Tinto
X.-G. Chen - UQAC

La faisabilité de la production des alliages d'aluminium à haute résistance par fusion au laser sur lit de poudre est explorée pour aller au-delà des propriétés mécaniques de la catégorie Al-Si. Dans le présent travail, on a simulé physiquement le comportement de l'alliage au cours du procédé de fabrication additive à travers la refusion de surface par laser. L'alliage Al-Cu 224 et l'alliage HPDC AlSi10Mg0.5Mn ont été refondus en surface par balayage à point laser. Après divers traitements thermiques, la microstructure et la dureté ont été caractérisées par des microscopies optiques et électroniques à balayage et des mesures de microdureté. Les résultats préliminaires ont montré que l'alliage 224 était très sensible à la fissuration. Ces fissures se sont produites au dernier stade de la solidification rapide à cause de la structure grossière et colonnaire des grains. Par contre, l'alliage AlSi10Mg0.5Mn a présenté une microstructure parfaite. De plus, des valeurs de dureté exceptionnelles dépassant 211 HV et 195 HV ont été obtenues après vieillissement à 160 °C/14 h et 180 °C/4 h, qui sont des valeurs supérieures à celles de l'alliage AA7075 sous condition T6.

The feasibility of production of high-strength aluminum alloys by laser powder bed fusion is explored to go beyond the mechanical property of the Al-Si grade. In the present work, the alloy behavior during additive manufacturing process is physically simulated by the surface laser remelting. Al-Cu 224 alloy and HPDC AlSi10Mg0.5Mn alloy were remelted on the surface by laser spot scanning. The microstructure and strength after various heat treatments were characterized by optical and scanning electron microscopy and microhardness measurement. Preliminary results show that the 224 alloy was very susceptible to cracks, which produced in the final stage of rapid solidification, due to the coarse and columnar grain structure. On the other hand, the AlSi10Mg0.5Mn alloy obtained a perfect microstructure. In addition, an outstanding hardness values, exceeding 211 HV and 195 HV, were achieved after aging at 160°C/14 h and 180°C/4h, which are higher than the values of the T6-AA7075 alloy.

Objectives

- Develop a precise technique for measuring Young's modulus dependence on temperature to be used in modeling
- Provide empirical equations to predict Young's modulus of alloy AA6111 especially above solidus temperature.

Introduction

Young's Modulus Measurement Techniques¹

Static Method			Dynamic Method		
Tensile Test ASTM E8	Hardness Test	Three-point Bending Test	Ultrasonic Pulse	Natural Frequency Vibration	Free Resonance

Challenges of Semisolid Young's Modulus Measurement

Thermal Gradient

Creep Effects

Liquid Fraction

Repeatability

Effect of Temperature on Young's Modulus of different Al-Mg-Si-Cu Alloys²

Results

Young's Modulus vs Temperature

Fig.1: Young's Modulus of AA6111 vs temperature based on different techniques

Technique	Temperature Range	Linear Fit Equation	R ²	P-value
Mondolfo Empirical Formula ³	25 < T < 500 °C	$E = 79.7 - 0.027 - 2.5 \times 10^{-5} T^2$	0.998	< 0.001
Digital Image Correlation (DIC)	25 < T < 500 °C	$E = 74.9 - 0.05T$	0.998	< 0.001
Extensometer	25 < T < 550 °C	$E = -2002.64 + 8.32T - 0.00847T^2$	0.998	< 0.001

Young's Modulus vs Liquid Fraction

Fig.2: Young's Modulus of AA6111 in semisolid zone

Fig.3: Liquid Fraction evolution with temperature predicted by Scheil Model

Methodology

Sample Design

Tensile Test Conditions

Stress Measurement

Strain Measurement - Digital Image Correlation (DIC)

Subset Size	33 x 33 Pixels
Step Size (Pixel Distance)	12 Pixels
GOM software Resolution	0.01 Pixels
Capture Frame Rate of Camera	20 Frames/s

Conclusion

- Young's modulus measured using digital image correlation technique is more accurate than that measured using extensometer.
- Digital image correlation eliminates the effect of both thermal gradient and liquid fraction on Young's modulus because of its small measuring field 33x33 pixels which corresponds to 0.09 mm²
- Young's modulus showed polynomial relation with liquid fraction.
- DIC method detected a change in Young's modulus vs temperature relationship from linear to polynomial above solidus temperature.

Future Work

Find the relationship between Young's modulus and temperature for alloy 5182 and compare it with that for alloy AA6111

Acknowledgment

"We acknowledge the financial support from Fonds de recherche du Québec Nature et technologies (FRQNT) under Grant no. 2018-LU-252831 as well as the material and technical support from Rio Tinto Aluminium"

References

- S. Amir Khanlou and S. Ji: *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.*, 2020, vol. 45, pp. 171-86.
- C.Y. Jeong: *Mater. Trans.*, 2013, vol. 54, pp. 588-94.
- L.F. Mondolfo, Butterworth & Company, London, UK (1976).

Les alliages Al-Si-Mg AA6111 sont largement utilisés dans l'industrie automobile. Malgré leur résistance élevée, ces alliages sont sensibles à la fissuration à chaud (HTS). La mesure fiable du module de Young (E) dans la zone pâteuse semi-solide présente une des caractéristiques critiques pour modéliser la (HTS). Cependant, la mesure fiable de E à haute température et dans la région semi-solide présente un défi à cause du gradient thermique inévitable tout au long de l'échantillon. Le gradient thermique influence remarquablement les valeurs de déformation mesurées par l'extensomètre conventionnel. Pour minimiser l'effet du gradient thermique, la technique de corrélation d'image numérique (DIC) est choisie dans cette étude pour mesurer la déformation localisée au point chaud des échantillons de traction AA6111. À température ambiante, les deux techniques de mesure de déformation ont fourni la même valeur E (74 GPa). Cependant, en augmentant la température, les résultats par technique DIC étaient plus cohérents. En augmentant la température du solide 496 °C à 552 °C, E des AA6111 mesurés par DIC a diminué de 50 à 20 GPa, ce qui est probablement attribué à la formation d'un film liquide le long des joints de grains.

Al-Si-Mg AA6111 alloys are widely used in automotive industry. Despite the high strength, these alloys suffer from hot tearing susceptibility (HTS). Accurate data of Young's modulus (E) in the semi-solid mushy zone is one of the critical characteristics required in modeling of hot tearing. However, the accurate measurement of E at high temperature and in the semi-solid region is a challenging issue, owing to the unavoidable thermal gradient across the sample length. The thermal gradient remarkably affects the strain values measured by the conventional extensometer. To minimize the thermal gradient effect, in this study, the digital image correlation (DIC) technique was adopted to measure localized strain at hot spots of AA6111 tensile samples. At room temperature, the two strain measurement techniques provided similar E values (74 GPa). However, by increasing temperature, the results achieved by DIC technique were more consistent. By increasing the temperature from solidus temperature 496 °C to 552 °C, E of AA6111 samples measured by DIC method decreased from 50 to 20 GPa, which is likely attributed to the liquid film formation along grain boundaries.

Mohamed Cassem
University of Quebec
in Chicoutimi

Daniel Larouche - UL
Mousa Javidani - UQAC
Josée Colbert - Rio Tinto
X.-Grant Chen - UQAC

Estimation quantitative des paramètres de solidification des alliages d'aluminium en fabrication additive

Quantitative estimation of solidification parameters for Al alloys in additive manufacturing



McGill

P² [AM]² Lab

Introduction

Solidification parameter is a crucial part in the cycle of Additive Manufacturing process, however, obtaining solidification parameters remains remarkable challenges.

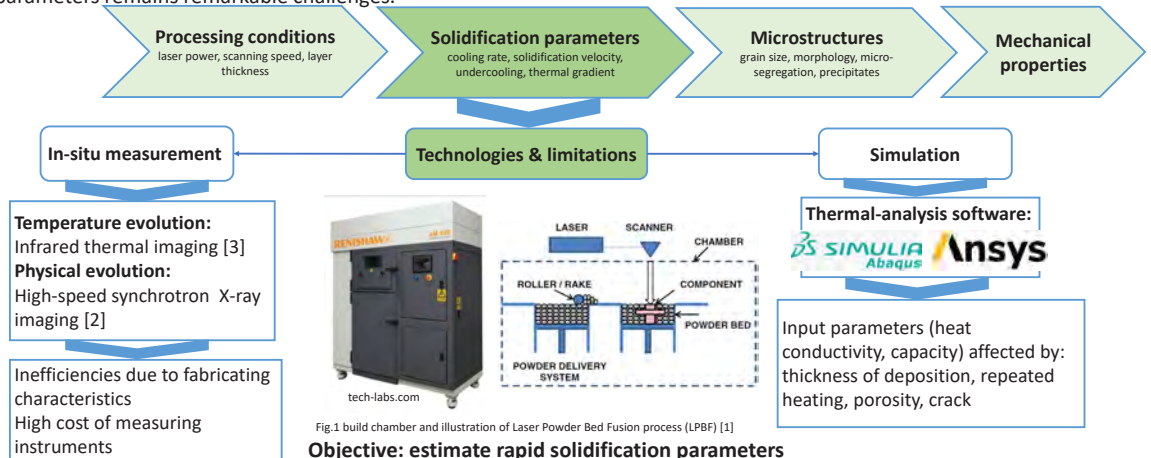
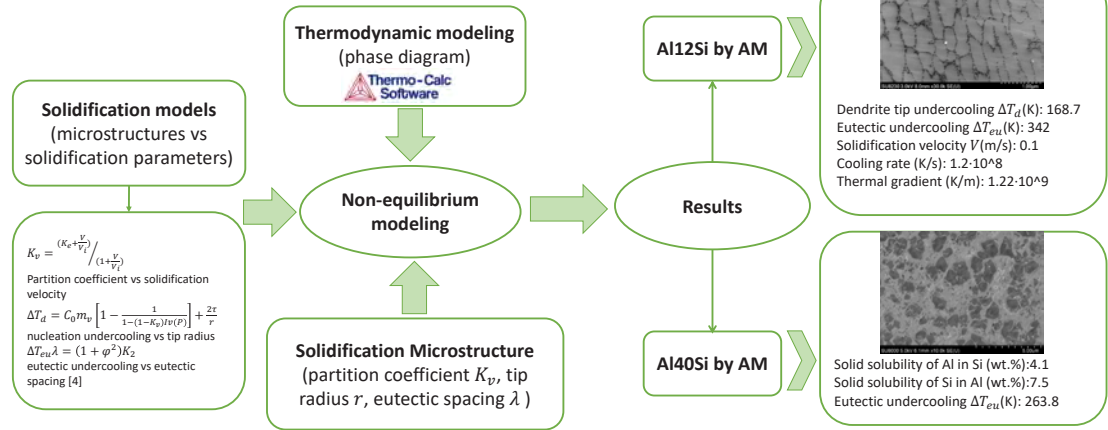


Fig.1 build chamber and illustration of Laser Powder Bed Fusion process (LPBF) [1]

Objective: estimate rapid solidification parameters through non-equilibrium modeling process

Investigation methodologies & Results



Acknowledgements



References

- [1] Frazier, William E. "Metal additive manufacturing: a review." *Journal of Materials Engineering and performance* 23.6 (2014): 1917-1928.
- [2] Zhao, Cang, et al. "Real-time monitoring of laser powder bed fusion process using high-speed X-ray imaging and diffraction." *Scientific reports* 7.1 (2017): 1-11.
- [3] Farshidianfar, Mohammad H., Amir Khajepour, and Adrian P. Gerlich. "Effect of real-time cooling rate on microstructure in laser additive manufacturing." *Journal of Materials Processing Technology* 231 (2016): 468-478.
- [4] Kurz, W., B. Giovanola, and R.J.A.m. Trivedi, Theory of microstructural development during rapid solidification. 1986. 34(5): p. 823-830.

Dans la fabrication additive (FA), les caractéristiques microstructurales telles que la taille des grains, la morphologie et la ségrégation élémentaire sont considérablement influencées par les paramètres de solidification qui incluent la vitesse de refroidissement, la vitesse de croissance, la surfusion et le gradient de température. Afin d'adapter la microstructure avec les propriétés mécaniques souhaitées, il est nécessaire d'acquérir les paramètres de solidification pertinents à partir du processus de fabrication. Cependant, la mesure in situ des paramètres est confrontée à des défis notables, en raison de la solidification rapide, de la restriction géométrique de la machine FA et de l'instrument de mesure efficace. Pour surmonter ces défis, l'estimation des paramètres de solidification par la modélisation de non-équilibre, selon le processus de solidification rapide du processus FA, est proposée et développée dans cette recherche. Avec cette méthodologie étudiée, tous les paramètres de solidification pertinents peuvent être calculés correspondant à la microstructure solidifiée. Cette recherche a été appliquée avec succès aux alliages binaires Al-Si fabriqués par FA, de plus, elle sera étendue à différents alliages avec de multiples ajouts d'alliages.

In Additive Manufacturing (AM), the microstructural features such as grain size, morphology and elemental segregation are considerably influenced by the solidification parameters which include cooling rate, growth velocity, undercooling and temperature gradient. In order to tailor the microstructure with desired mechanical properties, it is necessary to acquire the relevant solidification parameters from the manufacturing process. However, in-situ measurement of the parameters faces noticeable challenges due to rapid solidification, geometrical restriction of AM machines and efficient measuring instruments. To overcome these challenges, the estimation of solidification parameters through non-equilibrium modeling, according to rapid solidification of AM process, is proposed and developed in this research. With this investigated methodology, all the relevant solidification parameters can be computed corresponding with the solidified microstructure. This research has been successfully applied to binary Al-Si alloys fabricated by AM, moreover, it will be extended to different alloys with multiple alloy additions.

An Fu
McGill University

Satish Tumulu - McGill
Mathieu Brochu - McGill

Développement d'alliages d'aluminium extrudés de la série 6xxx avec des propriétés mécaniques améliorées

Development of extruded 6xxx series aluminum alloys with improved mechanical properties



UNIVERSITÉ
LAVAL



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS

Introduction

Al-Mg-Si or AA6xxx series aluminum alloys are considered as vital materials in the automotive industry [1]. These medium-strength heat treatable alloys have significant advantages such as high strength to weight ratio, excellent extrudability and corrosion resistance, making them a good choice for automobile parts [2,3]. One of the main applications of extruded Al-Mg-Si alloys is in the design of automobile crash management systems, which can reduce accident aggressiveness. Currently, the extrusions for the absorption boxes, side reinforcements and bumpers of cars are designed in 6000 series alloys and rarely produced using 7000 series (Al-Zn). In the present work, all of these three types of parts aimed to be produced from AA6xxx since AA7xxx alloys are difficult to recycle [4]. The objective of this project is to develop a new generation of 6000 series alloys that will be used to manufacture extrusions for the fabrication of occupant protection devices for the automotive industry. In comparison with conventional alloys (6082 and 6008), these developed extruded alloys presented higher mechanical properties and superior corrosion resistance. Consequently, yield strength of about 400 MPa and elongation of more than 12% were achieved.

Methodology (part 1): Optimizing the lab scale extrusion machine

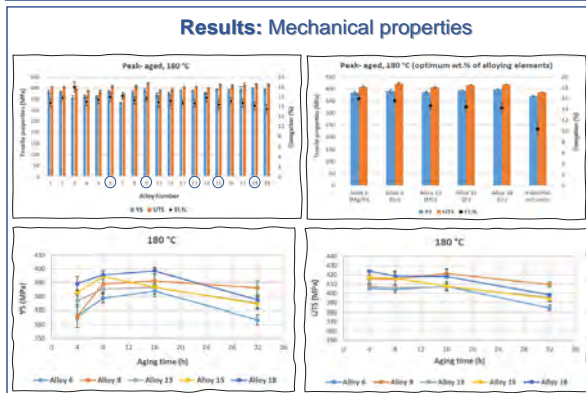
Methodology (part 2)

Composition of aluminum alloys

Alloy ID	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zr	Ti	B	wt. %
1										Reference (Ref)
2-19	Ref + 0.4	Ref	Ref + 0.3	Ref + 0.12	Ref + 0.25	Ref + 0.2	Ref + 0.2	Ref	Ref	Max
	Ref - 0.3		Ref - 0.15	Ref - 0.26	Ref - 0.25	Ref + 0.05	Ref + 0.05			Min

Microstructural characterization

Surface finish of extruded material



Conclusions

- Extrusion of 19 alloys was performed successfully at Laval University.
- Five best alloys were determined according to their peak aged properties at 180 °C. Alloy 18 with the optimum wt.% of Cr shows the highest yield strength near 400 MPa and elongation of 14.2 %.
- The effective factor is related to coherent phases that can control the recrystallization and grain structure. Moreover, fine Al₃Zr dispersoids can enhance alloy strength by pinning grain boundaries in the structure.
- The material structure is highly elongated in the extrusion direction and does not show signs of recrystallization also, no peripheral coarse grain (PCG) layer was observed.

As future works, optimizing the aging conditions and more microstructural analyses including TEM will be done for the best final alloys.

References

[1] Hashimoto, Kobelco Technology Review 2017 (35) 69.
 [2] Davis, ASM International 1993 (271) 31.
 [3] Troeger, et al., Materials Science and Engineering: A 2000 (277) 102.
 [4] Bauser, et al., Aluminum-Verlag 2006 (2) 195.

Les alliages d'aluminium de la série Al-Mg-Si ou AA6xxx sont considérés comme des matériaux vitaux dans l'industrie automobile. Ces alliages de résistance moyenne pouvant être traités thermiquement présentent des avantages significatifs tels qu'un rapport résistance/poids élevé, une excellente extrudabilité et résistance à la corrosion, ce qui en fait un bon choix pour les pièces automobiles. L'une des principales applications des alliages extrudés Al-Mg-Si réside dans la conception de systèmes de résistance aux impacts, qui peuvent réduire la gravité des accidents. Actuellement, les extrusions pour les caissons d'absorption, les renforts latéraux et les pare-chocs des voitures sont conçues en alliages de la série 6000 et rarement produites en utilisant la série 7000 (Al-Zn). Dans le présent travail, l'ensemble de ces trois types de pièces visait à être réalisé à partir d'AA6xxx, car les alliages AA7xxx sont difficiles à recycler. L'objectif de ce projet est de développer une nouvelle génération d'alliages de la série 6000 qui seront utilisés pour fabriquer des extrusions pour la fabrication de dispositifs de protection des occupants pour l'industrie automobile. En comparaison avec les alliages conventionnels (6082 et 6008), ces alliages extrudés développés devraient présenter des propriétés mécaniques plus élevées et une résistance à la corrosion supérieure.

Al-Mg-Si or AA6xxx series aluminum alloys are considered as vital materials in the automotive industry. These medium-strength heat treatable alloys have significant advantages such as high strength to weight ratio, excellent extrudability and corrosion resistance, making them a good choice for automobile parts. One of the main applications of extruded Al-Mg-Si alloys is in the design of automobile crash management systems, which can reduce accident aggressiveness. Currently, the extrusions for the absorption boxes, side reinforcements and bumpers of cars are designed in 6000 series alloys and rarely produced using 7000 series (Al-Zn). In the present work, all of these three types of parts aimed to be produced from AA6xxx since AA7xxx alloys are difficult to recycle. The objective of this project is to develop a new generation of 6000 series alloys that will be used to manufacture extrusions for the fabrication of occupant protection devices for the automotive industry. In comparison with conventional alloys (6082 and 6008), these developed extruded alloys should present higher mechanical properties and superior corrosion resistance.

Farzaneh Vahidi Mayamey
Laval University

Justin Plante - UL
rancis Caron - Alcoa
Guy Laliberté - Alcoa
Xinyan Yan - Alcoa
Nicolas Giguère - Centre de Métallurgie du Québec
Carl Blais - UL

Comportement en fatigue thermomécanique des alliages de fonderie Al-Si 319 et 356

Thermo-mechanical fatigue behavior of Al-Si 319 and 356 foundry alloys



INTRODUCTION

Thermal-mechanical fatigue (TMF) behavior is becoming more important in the materials elevated-temperature properties, especially for the critical components in automotive industries. Their service conditions, such as the high operation temperature and dramatic temperature gradient by cooling system, lead to a complex cyclic changes of load and temperature and cause the fatigue failure, limiting their service life of such critical components. In the present work, the TMF behaviors of two most often used of automobile engine Al-Si Alloys (319 and 356) are investigated.

OBJECTIVE

Perform TMF tests on 319 and 356 alloys under various mechanical strains and characterize their TMF behaviors by the typical hysteresis loops, cyclic stress/strain response and microstructure.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Alloy	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Ti	Sr	Al
319	5.93	3.34	0.12	0.284	0.307	0.11	0.0106	Bal.
356	7.27	0.60	0.34	0.206	0.109	0.21	0.0113	Bal.

Heat treatment: T7

319: 495°C/4h+515°C/2h, water quench, aged at 200°C for 5h
 356: 500°C/4h+540°C/2h, water quench, aged at 200°C for 5h

Thermal-Mechanical Fatigue Test:

TMF mode: Out of phase (OP) on Gleeble 3800;
 Temperature range: 60-300°C with 5°C/s as the heating/cooling rate;
 Mechanical strain: 0.2%, 0.4%, 0.6% ;

Microstructure observation:

Observed and analyzed by OM, SEM, TEM

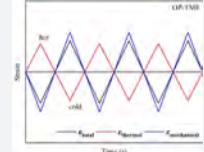


Fig.1 Distribution of temperature and mechanical strain during OP-TMF cycles

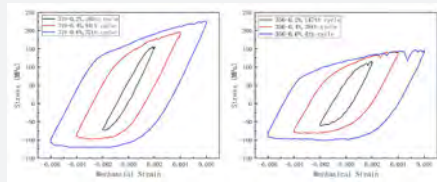


Fig.2 Stress-Strain hysteresis loops at middle-life cycle

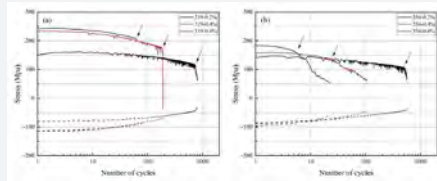
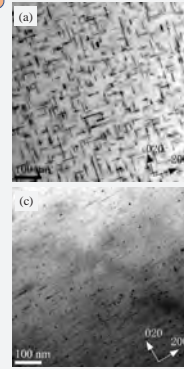


Fig.3 Evolution of stress for 319 and 356 alloys

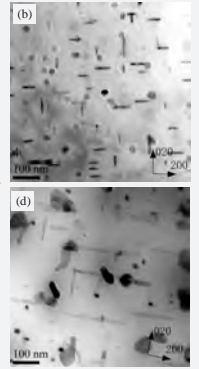
RESULTS

- asymmetrical hysteresis loops with tensile mean stress for both 319 and 356 alloys.
- Higher maximum tensile strength but lower plastic strain in 319 alloys than 356 alloys
- Cyclic softening for both 319 and 356 alloys
- Later inflection point (arrows marked on Fig.3) in 319 alloys than 356 alloys.

Before TMF



After TMF



319

0.4% TMF

356

Fig.5 Evolution of precipitates during TMF under 0.4% of 319 (a, b) and 356 (c, d) alloys

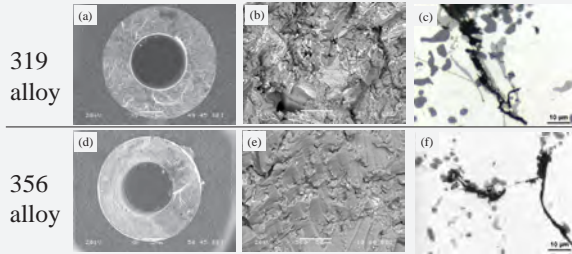


Fig.4 Fracture surface of 319 (a-c) and 356 (d-f) alloys after TMF

Table 1 Parameters of precipitates of 319 and 356 alloys

Alloy	Status	Precipitates 1/2 length (nm)	Coarsening rate k	Number Density (μm ⁻³)
319	Before TMF	24.05	-	4451.2
	After 0.2%	57.94	3.45	501.4
	After 0.4%	41.97	6.22	789.8
356	Before TMF	35.01	-	19144.8
	After 0.2%	165.54	43.85	191.1
	After 0.4%	102.38	87.32	253.7
	After 0.6%	102.4	463.01	394.0

LSW equation:

$$L^2 - L_0^2 = k * t$$

- L Average 1/2 length after TMF
- L_0 Average before TMF
- k Coarsening rate constant
- t Number of TMF cycles

CONCLUSION

1. Both 319 and 356 alloys under T7 treatment show cyclic softening behavior under OP-TMF.
2. The size of precipitates increase while the number density of precipitates significantly decrease after TMF, the coarsening rate of precipitates increase with increasing the strain amplitude.
3. 356 alloy shows higher coarsening rate than 319 alloy, leading to a higher and earlier drop on strength and hence resulting in its shorter TMF lifetime.

FUTURE WORK

- Further study on influence of Mo on TMF behaviors in 319 and 356 alloys.
- Establish the model to predict the TMF life of Al-Si cast alloys

Shuai Wang, Kun Liu
 University of Quebec
 at Chicoutimi

X.-Grant Chen - UQAC

Les alliages de fonderie Al-Si sont largement utilisés dans les moteurs en industrie automobile. Ils sont exposés aux contraintes mécaniques et changements de température cycliques, ce qui entraîne souvent une rupture par fatigue thermomécanique (FTM). Cependant, peu de travaux ont été réalisés sur les comportements au (FTM) des alliages de fonderie Al-Si. Dans ce travail, le comportement (FTM) des alliages de fonderie Al-Si sous (T7) à savoir Al-Si-Cu 319 et Al-Si-Mg 356 a été étudié en mode déphasé dans une plage de température cyclique 60-300 °C et diverses amplitudes de déformation mécanique 0,2%-0,6%. Les résultats montrent que 319 et 356 présentent un adoucissement cyclique sous toute amplitude de déformation étudiée, mais 319 a une résistance et une durée de vie en fatigue plus élevées que 356. Pendant (FTM), 356 présentait un taux de dommages beaucoup plus faible que 319, mais l'initiation précoce de microfissures a limité sa durée de vie. Pendant ce temps, la densité numérique des précipités dans les 319 et 356 a considérablement diminué après (FTM), mais le taux de grossissement de θ' dans 356 est supérieur à θ' dans 319, ce qui explique la résistance inférieure en fatigue des alliages 356.

Al-Si foundry alloys are widely used as engine components in automobile industry which often exposed them to cyclic mechanical stress and cyclic temperature change. This results in the fatigue failure, especially the thermal-mechanical fatigue (TMF) failure. However, limited work has been performed on the TMF behaviors of Al-Si foundry alloys. In the present work, the TMF behavior of two typical Al-Si cast alloys under T7 condition, namely Al-Si-Cu 319 and Al-Si-Mg 356, has been investigated in the out-of-phase mode under cyclic temperature range of 60-300°C and various mechanical strain amplitudes of 0.2%-0.6%. Results showed that both 319 and 356 alloys present cyclic softening under all studied strain amplitudes, but 319 alloy has higher fatigue strength as well as longer fatigue life than 356 alloy. During TMF, 356 alloy shows much lower damage rate than 319 alloy but the early initiation of micro cracks limited its TMF life. Meanwhile, the number density of precipitates in both 319 and 356 alloys significantly decreased after TMF, while the coarsening rate of θ' in 356 alloys is higher than θ' in 319 alloys, explaining the lower fatigue strength of 356 alloys.



REMERCIEMENTS

ACKNOWLEDGEMENTS



Remerciements Acknowledgements

La mise en œuvre de l'ensemble des projets présentés dans cette encyclopédie nécessite des investissements majeurs et ce, tant au niveau des milieux universitaires et gouvernementaux que de la part des secteurs industriels concernés. C'est en parcourant cet ouvrage que vous réaliserez le dynamisme et l'ingéniosité de ces étudiants et professeurs, chercheurs passionnés, visant non seulement l'excellence, mais le développement d'un pôle québécois de recherche sur l'aluminium reconnu au niveau international.

Le Centre de recherche sur l'aluminium – REGAL tient à remercier les participants de la Journée des étudiants du REGAL qui, en acceptant la reproduction de leurs affiches, ont permis la création de cette encyclopédie.

The realization of the projects presented in this synopsis required major funding from key players working in the aluminium industry, including university, governments and various industrial sectors. When reading through this work, you will realise how dynamic and ingenious these passionate students, professors, and researchers are. They not only aim to excel, they wish to develop an internationally-recognised aluminium research hub in Quebec.

Aluminium Research Centre – REGAL would like to thank the participants of the REGAL Students' Day who, by accepting to have their posters reproduced, made the creation of this synopsis possible.

Commanditaires / Sponsors

Aluminium



Alumine



Bauxite



Cégep de Trois-Rivières / CMQ

Béland, A. Levasseur, D.
Bois-Brochu, A. Chiesa, F.
Gambou-Bosca, A. Rouget, G.

Université Laval

Shadvar, N. Gauvin, H.
Laliberté-Riverin, S. Plante, J.
Alamdari, H. Tuyizere Flora, M.-A.
Sadeghi Chahardeh, A. Tremblay, M.-L.
Hussein, A. Lacroix, O.
Gakwaya, A. Fichter, P.
Aulagnier, C. Lombarkia, R.
Rodrigues, D. Dahboul, S.
Vahidi Mayamey, F. Coderre, T.

École de technologie supérieure

Houria, M. Pot, C.

École Polytechnique de Montréal

Brochu, M. Balit, Y.
Sushitskii, V.

McGill University

Singh, A. Dhillon, J. S.
Fu, A. Dumaresq, N.
Cheng, C.C. Galindo Ramirez, P. E.
Ross Espiritu, E. Tumulu, S. K.
Paray, F. Li, Z.

Université Concordia

Bily, A. Ibrahim, M.

Université de Sherbrooke

Chehrzad, S. Corriveau, F.
Maslouhi, A. Nodeh, M.
Desrochers, A. Ben Slimen, S.
Crépin, B. Walter, V.

Université du Québec à Chicoutimi

Chen, Z. Cazenave, L.
Algendy, A. Dion, L.
Ahmed, M. St-Georges, L.
Alari, J. Tiwari, M. M.
Elashery, A. Qassem, M.
Bakr, A. Dabaghi, M.
Fassadi chimeh, A. Mofarreh, M.
Rastegari, A. Javidani, M.
Amara, B. Saeidi, O.
Cloutier, C. Shao, Q.
Marceau, D. Karthikeyan, R.
Kocaefe, D. Nuameh, R.
Elgallad, E. E. Wang, S.
Pourkhorshide, E. Nikzad Khangholi, S.
Hajji, C. Richer, T.
Hu, P. Chen, S-G.
Bureau, J. Kocaefe, Y.
Proulx, J. Zhang, Z.
Kiss, L. Wang, Z.
Cui, L. Roger, T.
Lecointre, L.

Alcoa

Tessier, J.
Lauzon-Gauthier, J.
Lavoie, P.

AluQuébec

Chapdeleine, A.
Buzatu, P.
Archambault, Y.

CRITM

Pouliot, J.-F.
St-Cyr, J.-F.

Elysis

Kobtseva, L.

RioTinto

Breton, F.
Langlais, J.

Hatch

Schneider, A.-P.
Richard, D.

Le Centre de recherche sur l'aluminium – REGAL tient également à remercier l'ensemble de ses collaborateurs qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de cet ouvrage.
Aluminium Research Centre – REGAL would also like to thank every one of their collaborators who, near or far, contributed to the production of this work.

Membres du bureau de direction du REGAL / Members of REGAL Steering Committee

Houshang Alamdari, directeur REGAL, Université Laval
Daniel Marceau, directeur adjoint REGAL, UQAC
X-Grant Chen, UQAC
Florence Paray, McGill University
Mamoun Medraj, Université Concordia

Myriam Brochu, École Polytechnique de Montréal
Victor Songmene, École de technologie supérieure
Ahmed Maslouhi, Université de Sherbrooke
Gheorghe Marin, Cégep de Trois-Rivières
Carl Duchesne, Université Laval



Le Centre de recherche sur l'aluminium – REGAL est financé par le FRQNT

