

15^e édition 15th edition

2018

ENCYCLOPÉDIE DE LA RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM AU QUÉBEC 2018

Journée des étudiants du REGAL
Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL

THE ENCYCLOPAEDIA OF RESEARCH ON ALUMINIUM IN QUEBEC 2018

REGAL Students' Day
Aluminium Research Centre - REGAL



ENCYCLOPÉDIE DE LA RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM AU QUÉBEC 2018

THE ENCYCLOPAEDIA OF RESEARCH ON ALUMINIUM IN QUEBEC 2018

Table des matières Table of contents

Introduction / Introduction	6
Préface / Preface	7
Formation et conférencier invité / Formation and Invited speaker	8
Conférences / Lectures	9
Affiches / Posters*	10
AXE 1 : Production de l'aluminium / Aluminium Production	13
AXE 2 : Transformation et applications / Transformation and applications	45
Remerciements / Acknowledgements	82

*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 2926
Québec (Québec) G1V 0A6
Canada
Téléphone : 418 656-2362
www.regal-aluminium.ca

Révision linguistique des résumés / Linguist

Valérie Goulet-Beaulieu et Samantha Rudinsky
Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL

Montage graphique / Graphic assembly

Service de reprographie de l'Université Laval

Coordination / Coordination

Valérie Goulet-Beaulieu
Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL

**Crédit photo de la 15^e Journée des étudiants du REGAL /
15th REGAL students' day photo credits**

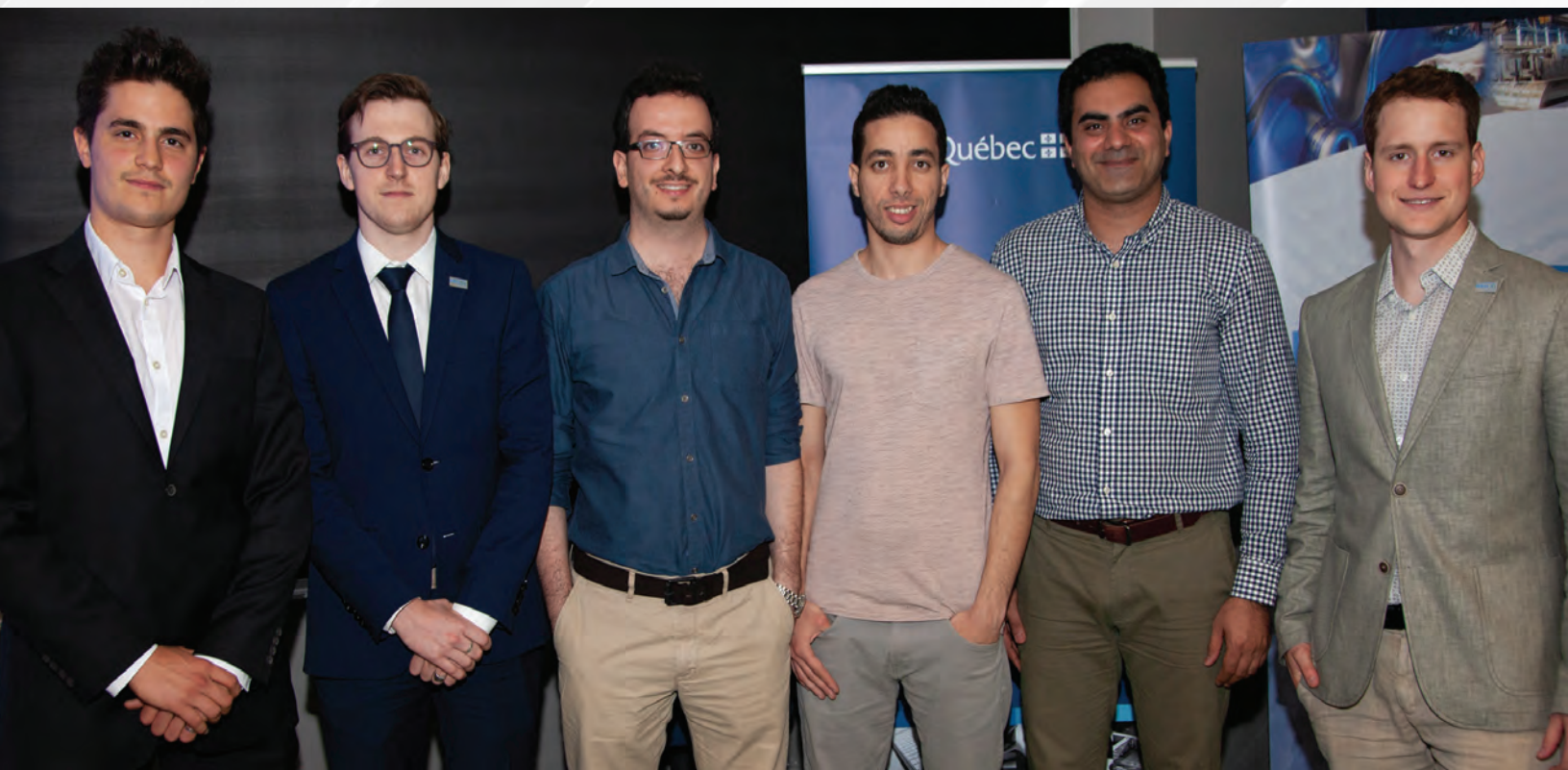
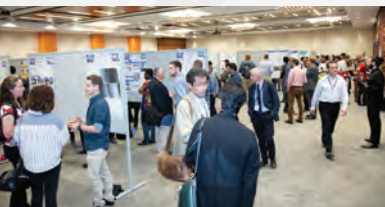
Christian Desjardins

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.

15^e journée des étudiants du REGAL

15th REGAL students' day





Florence Paray
Chargée de faculté
Présidente de la JER
2018

Déjà 15 ans ! C'est avec une grande satisfaction et un sentiment de mission accomplie que la pionnière du REGAL que je suis, a organisé et présidé la 15^{ème} Journée des étudiants du REGAL (JER2018). Au cours des années, de nombreuses personnes ont contribué au succès et au rayonnement de ce rendez-vous annuel.

Le Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL doit sa renommée et son influence importante au Québec, au Canada et dans le monde à la qualité de ses membres académiques et de ses étudiants. Cette réputation, acquise de haute lutte, est garante d'un avenir brillant et prometteur. La JER est une plate-forme exceptionnelle pour nos étudiants pour présenter le fruit de leur recherche. N'oublions pas que sans nos étudiants, il n'y aurait pas de recherche dans les institutions d'enseignement. Félicitations aux membres en formation du REGAL pour l'excellence de leur contribution. Vous êtes notre relève. Cette encyclopédie est une belle carte de visite pour tous et chacun et REGAL.

C'est avec une immense fierté que je dédie cette édition de l'Encyclopédie de la recherche sur l'aluminium au Québec 2018 à deux personnes Jacques Masounave et Mario Fafard. Je revois nos discussions animées pour fonder le REGAL. Jacques, le philosophe et le sage qui nous a quittés cette année et Mario, à qui REGAL doit beaucoup. Quand une vision devient un centre ! Mario, sans toi, le REGAL ne serait pas ce qu'il est devenu.

Il ne faudrait pas oublier la contribution importante de nos commanditaires et membres de l'industrie, qui nous ont permis encore cette année de tenir une JER, de haut renom qui se déroule maintenant sur deux jours et de récompenser les talents émergents. Que dire de la touche essentielle de Valérie Goulet-Beaulieu qui coordonne le tout !

Longue vie à la JER ! Un modèle de réseautage, d'échanges et de partages des données scientifiques dans le domaine de l'aluminium.

15 years already! It is with great satisfaction and a sense of mission accomplished that the pioneer of REGAL that I am, organized and chaired the 15th REGAL Students' Day (JER2018). Over the years, many people have contributed to the success and the influence of this annual meeting.

The Aluminium Research Centre - REGAL owes its renown and important influence in the province of Quebec, Canada and around the world to the quality of its academic members and its students. This reputation, acquired from high struggle, guarantees a bright and promising future. The JER is an exceptional platform for our students to present the fruit of their research. Let us not forget that without our students, there would be no research in the educational institutions. Congratulations to the members in formation of REGAL for the excellence of their contribution. You're our next generation. This encyclopedia is a nice business card for everyone and REGAL.

It is with great pride that I dedicate this edition of the Encyclopedia of Research on Aluminium in Québec 2018 to two people Jacques Masounave and Mario Fafard. I can see again our lively discussions to found REGAL. Jacques the philosopher and the sage who left us this year and Mario to whom REGAL owes a lot. When a vision becomes a centre! Mario, without you, REGAL would not be what it is today.

We should not forget the important contribution of our sponsors and members of the industry, which we have allowed again this year to hold a JER, high-renown that takes place now over two days and rewards emerging talents. What about the essential touch of Valérie Goulet-Beaulieu who coordinates the whole thing!

Long life to the JER! A model of networking, exchange and sharing scientific data in the field of aluminum.

Au nom d'ELYSIS, c'est un honneur pour moi de signer la préface de l'*Encyclopédie de la recherche sur l'aluminium au Québec*, une référence mondiale. Étudiants, professeurs, chercheurs et entreprises, vous êtes sans contredit les piliers de l'industrie de l'aluminium. Les yeux du monde entier sont tournés vers nous, inspirés par cette soif d'innover qui nous caractérise au Québec.

La naissance d'ELYSIS au cours de la dernière année est le reflet de ce savoir-faire québécois, jumelé à notre désir d'entreprendre et de bâtir une industrie de l'aluminium durable à l'échelle mondiale.

ELYSIS a choisi de s'ancrer au Québec pour développer un procédé technologique qui permettra d'éliminer les gaz à effet de serre lors de la production d'aluminium, pour les remplacer par de l'oxygène pur. Notre technologie réduira l'empreinte environnementale de milliers de produits courants, que l'on pense notamment aux téléphones intelligents, aux voitures et aux matériaux de construction.

Ce partenariat entre Alcoa, Rio Tinto, Apple, le gouvernement du Québec et le gouvernement du Canada est le fruit de la synergie unique de l'industrie de l'aluminium au Québec. Nous sommes enthousiastes d'ouvrir la voie vers de nouvelles possibilités et de renforcer, par le fait même, l'expertise québécoise en matière d'aluminium durable.

On behalf of ELYSIS, it is an honour for me to sign the foreword to the *Encyclopaedia of research on aluminium in Quebec*, a global reference. Students, teachers, researchers and companies, you are undoubtedly the pillars of the aluminum industry. The eyes of the world are turned toward us, inspired by our thirst for innovation, something that characterizes us in Quebec.

The birth of ELYSIS over the past year is a reflection of Quebec's know-how, combined with our desire to undertake and build a sustainable global aluminum industry.

ELYSIS has chosen to take root in Quebec to develop a technological process that will eliminate all greenhouse gases during the production of aluminum, generating pure oxygen instead. Our technology will reduce the environmental footprint of thousands of common products, including smartphones, cars and building materials.

This partnership between Alcoa, Rio Tinto, Apple, the Government of Quebec and the Government of Canada is the result of the unique synergy found in Quebec's aluminum industry. We are excited to pave the way for new opportunities, further strengthening Quebec's expertise in the production of sustainable aluminum.



Vincent Christ
Président-directeur général
Elysis

Formation REGAL | 19 juin 2018

Thermomechanical processing of Aluminium Alloys - Evolution in microstructure, texture and properties

Expert-formateur :



Professor **Knut Marthinsen** has been a professor at the Dept. of Materials Science and Engineering at NTNU since 1998. His research interests include quantitative electron diffraction and microscopy as well as characterization and modelling of materials nano-/microstructure and its relation to material properties. Current research activities are mainly related to the development and application of physically based computer models for the evolution of microstructure and texture during thermomechanical processing of aluminium alloys, including models for precipitation, work hardening, recrystallization and grain growth.

Plan de la formation

1. Introduction
2. Overview of thermomechanical processing of Al alloys
3. Overview of texture formation
4. Relationships between texture, microstructure and properties for Al alloys TMP
5. Case study: Al alloy extrusion
6. Case study: Rolling of Al alloys
7. Integration of results in industrial plants
8. Future trends in Al processing



Cette formation a été organisée avec la collaboration du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation et ce, en réponse aux mesures 12 et 20 de la Stratégie québécoise de développement de l'aluminium.

Économie, Science
et innovation
Québec



Conférencier invité | Vincent Christ Présentation de Elysis



Vincent Christ
Président-directeur-général
Elysis

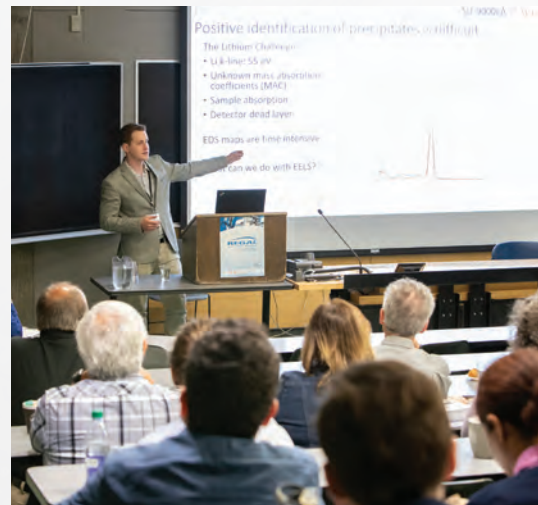
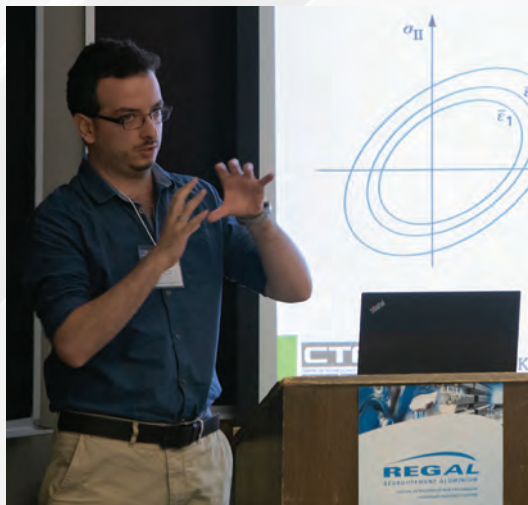
M. Christ a fait la présentation de Elysis, une coentreprise créée par Alcoa et RioTinto. L'entreprise a été lancée 1 mois avant la tenue de la Journée des étudiants du REGAL. Elysis aura comme objectif le développement à grande échelle une toute nouvelle technologie : un procédé d'électrolyse qui n'émet pas de gaz à effet de serre. Il s'agit d'un procédé révolutionnaire pour la fabrication de l'aluminium.



Vincent Christ (au centre) accompagné de son fils et de Mario Fafard (à droite), directeur du REGAL.

ELYSIS

Conférences Lectures





Mohsen Marani-Barzani
École de Technologie
Supérieure

Victor Songmene
École de Technologie
Supérieure

Usinabilité et propriétés mécaniques du composite *in situ* Al-Mg₂Si contenant du bismuth ou du baryum

Au cours des dernières années, les industries de l'automobile et de l'aérospatiale ont utilisé des composites à matrice métallique en aluminium renforcé de particules (CMM) en raison de leur faible poids spécifique, de leur résistance élevée à l'usure et de leurs propriétés mécaniques améliorées. Ce travail traite de l'effet de l'addition du bismuth (Bi) et du baryum (Ba) sur l'usinabilité, les émissions de particules pendant le fraisage et les propriétés mécaniques du composite à matrice d'aluminium *in situ* Al-20Mg₂Si. Les expériences ont été réalisées à sec en utilisant une fraiseuse CNC munie des outils en carbure non revêtus. Un spectromètre de mesure du diamètre aérodynamique des particules (APS) et un spectromètre à mobilité pour classer les particules (SMPS) ont respectivement été utilisés pour mesurer les émissions de microparticules et de particules ultrafines. Les résultats montrent que l'addition de Bi et du Ba améliore la résistance à la traction (UTS), l'élongation (E%) et la dureté. Ils indiquent aussi que la rugosité de surface et la force de coupe diminuent avec l'addition de 0,4% en poids de Bi et de 0,2% de Ba en raison du changement des tailles de particules de Mg₂Si. Il est aussi confirmé que les conditions de coupe et la microstructure des pièces ont un effet direct sur les émissions de poussières fines et ultrafines pendant le fraisage.

Machinability and mechanical properties of Al-Mg₂Si *in-situ* composite with bismuth or barium

In recent years, particulate reinforced aluminum metal matrix composites (MMCs) have been used by the automobile and aerospace industries because of their low specific weight, high wear resistance, and improved mechanical properties. In the present work, the effect of bismuth (Bi) and barium (Ba) addition on machinability, particle emission during milling, microstructure and mechanical properties of an Al-20Mg₂Si *in situ* metal matrix composite are investigated. Experiments were carried out using dry CNC milling by uncoated carbide tools. An aerodynamic particle sizer (APS) and a scanning mobility particle sizer (SMPS) were used to measure micro particle and ultrafine particle emissions, respectively. The results show that the addition of Bi and Ba improved the ultimate tensile strength (UTS), elongation (E%), and hardness values. The results indicated that surface roughness and cutting force decrease with addition of 0.4 wt.% Bi and 0.2% Ba due to changes in the Mg₂Si particle sizes. It is also confirmed that cutting conditions and microstructure of workpieces have a direct effect on dust emissions (fine and ultrafine particles) during the milling process.



Farid Redouane
Université du Québec
à Chicoutimi

Dilip Sarkar
Université du Québec
à Chicoutimi

**Sofiène Amira
David Levasseur**
Centre de métallurgie
du Québec

Étude des couches minces à base de zirconium pour la protection de l'aluminium contre la corrosion

La stabilité chimique, thermique et mécanique des revêtements à base de zirconium leurs confèrent un rôle important dans différents domaines, tels que l'aérospatiale, le nucléaire et la protection contre la corrosion. Des revêtements à base de zirconium ont été synthétisés sur des substrats de l'aluminium dans le but d'augmenter leurs résistances à la corrosion. Deux méthodes de préparation ont été adoptées : le procédé sol-gel et l'électrodéposition. Dans le procédé sol-gel, un précurseur de zirconium a été mélangé avec des molécules inorganiques, tandis que dans le processus d'électrodéposition, des molécules organiques ont été utilisées pour obtenir des revêtements hydrophiles et hydrophobes, respectivement. La présence de zirconium a été caractérisée par l'analyse dispersive en énergie (EDX) et FTIR. La microscopie MEB été utilisée pour étudier la morphologie de la surface des revêtements. L'étude du comportement anti-corrosion des couches minces été effectuée par l'analyse des courbes de de polarisation potentiodynamique et la spectroscopie électrochimique d'impédance (EIS). Les tests EIS montrent que la résistance au transfert de charges des substrats en aluminium, des revêtements hydrophobes et des revêtements superhydrophobes sont de l'ordre de 1 $k\Omega \cdot cm^2$, 100 $k\Omega \cdot cm^2$ et 10 $M\Omega \cdot cm^2$, respectivement. Ces résultats montrent que les revêtements superhydrophobes à base de Zirconium possèdent un énorme potentiel dans la protection de l'aluminium contre la corrosion.

Zirconium-based thin films for the corrosion protection of aluminum

Good chemical, thermal and mechanical stability of zirconium-based coatings makes them ideal materials for a large variety of applications in different fields such as aerospace, nuclear, and corrosion protection. Zirconium-based thin films were synthesised on aluminum substrates for corrosion protection using sol-gel and one-step electrodeposition processes. In the sol-gel process, a precursor of Zirconium was mixed with inorganic molecules and, in the electrodeposition process, organic molecules were used to obtain hydrophilic and hydrophobic thin films. The presence of Zirconium was characterized by energy dispersive X-ray (EDX) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) techniques. Scanning electron microscopy was used to investigate the surface morphology of these thin films. The corrosion behavior of the thin films on the aluminum substrates were characterized by potentiodynamic polarisation and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The charge transfer resistance of aluminum substrates, hydrophobic thin films and superhydrophobic thin films was found to be on the order of 1 $k\Omega \cdot cm^2$, 100 $k\Omega \cdot cm^2$ and 10 $M\Omega \cdot cm^2$, respectively. These results show that Zirconium-based superhydrophobic thin films have enormous potential to be used in the corrosion protection of aluminum.



Évaluation des mobilités d'interfaces de précipités d'alliages de fonderie Al-Cu par analyse cinétique en calorimétrie

La séquence de traitement thermique de durcissement structural par précipitation est connue pour avoir un effet non négligeable sur la nano/microstructure et les propriétés des alliages d'aluminium. Celle-ci se décompose en une mise en solution, une trempe et un sur-vieillessement artificiel. Elle conduit à la nucléation-croissance-coalescence de précipités nanométriques qui sont des obstacles aux futures dislocations. Dans l'alliage Al-Cu, la cinétique de précipitation après mise en solution et trempe a été caractérisée par analyses calorimétriques pendant le chauffage, par observations MET et par microduretés pour différentes conditions de vieillissement. Afin d'extraire les énergies d'activation des essais DSC non isothermes à différentes vitesses, la méthodologie Kissinger a été appliquée avec les équations cinétiques Lee-Kim-Starink-Zahra. Les paramètres cinétiques obtenus de l'approche théorique sont en accord avec les diagrammes DSC expérimentaux pour les processus combinés et successifs de nucléation/croissance et dissolution pendant le chauffage. L'approche isotherme a permis d'obtenir une estimation prévisionnelle des temps d'incubation pour la croissance des précipités. La confrontation des clichés MET et d'évolution de microduretés avec l'analyse cinétique isotherme a permis de valider la méthodologie développée. Enfin, pour la première fois, la combinaison d'analyse d'images avec les paramètres cinétiques et des bases de données thermodynamiques a permis l'évaluation de la mobilité d'interface pour la croissance des précipités.

Evaluation of the interfacial mobility of precipitates in Al-Cu cast alloys by calorimetric kinetic analysis

Heat treating for precipitation hardening is known to have a large effect on the nano/microstructure of cast aluminum alloys, and hence their properties. A T7 heat treatment is defined by solutionizing, quenching and artificial aging; it leads to nucleation-growth-coarsening of precipitates which are nanoscale obstacles to future dislocations. In an Al-Cu alloy, the precipitation kinetics after solutionizing and water quenching have been characterized by differential scanning calorimetry, transmission electron microscopy observations (TEM) and micro-hardness testing for different aging conditions. In order to extract activation energies from non-isothermal DSC runs at constant heating rates, the Kissinger methodology was applied with the Lee-Kim-Starink-Zahra (LKSZ) kinetic equations. The results fit well with the DSC diagrams showing combined and successive phase growth and dissolution during the heating. The isothermal approach allows predictions to be made of incubation times for precipitation. TEM results showed that the precipitate growth corresponds to the microhardness evolution and kinetic analysis from DSC data during isothermal aging. The size and density of precipitates at different aging times have been calculated from image analysis. Finally, values for interfacial mobility have been assessed from the kinetic parameters derived from DSC results, thermodynamic databases and TEM observations.



Pierre Heugue
Université Laval

Daniel Larouche
Université Laval

XG Chen
Université du Québec
à Chicoutimi

Rémi Martinez
Montupet

Francis Breton
Rio Tinto

Analyse d'alliage d'aluminium par spectroscopie en perte d'énergie d'électron à bas voltage

La spectroscopie par perte d'énergie d'électrons (EELS) est une méthode d'analyse élémentaire qui permet la détection d'éléments légers lors d'observation en microscopie électronique en transmission. Cette technique permet donc l'étude de la composition de précipités contenant des éléments de masse atomique faible, tel que le lithium, qui joue un rôle clé dans l'optimisation des propriétés mécaniques de certains alliages, tel l'Al2099. Un spectromètre EELS ainsi qu'un filtre en énergie ont été couplés à un microscope électronique en transmission à balayage à basse énergie. Le filtre en énergie de ce microscope permet d'obtenir des images de précipités à haut contraste grâce à l'excitation de différents modes de résonance de plasmons.

Low Energy EELS Analysis of Aluminium Alloys

Electron Energy Loss Spectroscopy (EELS) is an elemental analysis technique which enables the possibility of detecting light elements in a transmission electron microscope. EELS therefore can provide chemical analyses of light elements within precipitates, such as Lithium, which play a crucial role in the strength of aluminium alloys such as AL2099. An EELS spectrometer as well as an energy filter have been coupled to a low-energy scanning transmission electron microscope. The energy filtered imaging mode allows a rapid acquisition of high-contrast images of precipitates due to the local differences in plasmon resonance modes.

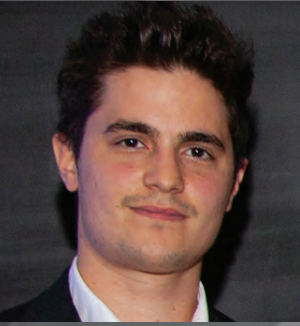


Frédéric Voisard
McGill University

**Nicolas Brodush
Hendrix Demers
Raynald Gauvin**
McGill University

Michel L. Trudeau
Institut de recherche
d'Hydro-Québec





Alexis Nossovitch
École Polytechnique
de Montréal

Aurélian Vadean
Myriam Brochu
École Polytechnique
de Montréal

Jean-Luc Bernier
CoupeSag

Prix Conférence

Association
de l'aluminium
du Canada
Aluminium
Association
of Canada



Aluminium anodisé antimicrobien pour combattre la légionellose dans les tours de refroidissement

Les tours de refroidissement sont utilisées partout dans le monde : par exemple, pour les systèmes d'air climatisé ou pour le refroidissement industriel des eaux qui ont été réchauffées par une source d'énergie quelconque. Celles-ci se trouvent à l'extérieur des bâtiments et forment un milieu propice pour le développement de bactéries dangereuses pour les humains. Une bactérie en particulier, *Legionella pneumophila*, cause la mort dans 15% des cas d'infection. Ainsi, au Québec, la régie du bâtiment du Québec force les entreprises à entretenir régulièrement les tours et à tenir un registre des nettoyages effectués. Les nettoyages sont coûteux et forcent un arrêt de la tour. Ainsi, l'objectif du projet est de développer un nouveau concept de tour de refroidissement en partenariat avec PCP Aluminium et COUPESAG, deux compagnies sœurs basées au Québec. L'idée est de minimiser le risque de développement de bactéries dangereuses en incorporant un aluminium anodisé antimicrobien breveté par la compagnie A3 surfaces. Pour déterminer si ce matériel peut être implémenté efficacement, il y a des contraintes de fabrication, de prix, d'échange de chaleur et de coût d'opération qui doivent être prises en compte. Ainsi, le design axiomatique est utilisé pour trouver le design ayant le meilleur compromis.

Anti-microbial anodized aluminum to prevent legionella in cooling towers

Cooling towers are heat exchangers that cool water by exchanging heat between water and air. They are omnipresent around the world and are commonly used in several industrial processes in which cooling is necessary, such as in the food industry, power plants and air conditioning. They are typically located outside and they are very susceptible to developing bacteria. *Legionella pneumophila* is one of the commonly found bacteria in cooling towers and it is a serious health hazard, leading to death in 15% of infection cases. In Quebec, companies must keep track of all cooling tower cleaning operations. Cleaning cooling towers forces the tower to stop functioning and can be expensive. The objective of this research project is to evaluate the possibility of incorporating anti-microbial anodized aluminum (patented by the company A3 surfaces) in cooling towers to create an anti-microbial tower and minimize the risk of legionella. The project is carried forward in partnership with PCP Aluminum and COUPESAG, two sister companies based in Quebec. To determine the best design, several constraints such as manufacturing limitations, manufacturing costs, heat exchange and operating costs must be taken into account. A design method called axiomatic design will be used to determine the optimal design solution given this set of constraints.



Mohamad Idriss
Université de Sherbrooke

Olivier Bartier
Xavier Hernot
Gérard Mauvoisin
LGCGM INSA-Rennes

Ahmed Maslouhi
Alain Desrochers
Université de Sherbrooke

Étude phénoménologique de l'influence du type d'écroissage dans le cas des tests d'indentation instrumentée et des essais de formabilité de Nakazima

Avec une tendance mondiale vers l'allègement des véhicules pour différentes raisons surtout économiques et écologiques, certaines nouvelles nuances de matériaux métalliques (p. ex. : alliages d'aluminium) sont venues remplacer les nuances classiques déjà utilisées (p. ex. : aciers emboutissables). Ces nouvelles nuances présentent des propriétés mécaniques particulières devant être étudiées profondément et prises en compte dans les calculs numériques. Entre autres, l'écroissage cinématique important que présente ces matériaux est l'un des facteurs pouvant entraîner des écarts importants entre les résultats des modèles numériques et les résultats expérimentaux lorsqu'il n'est pas pris en compte correctement dans les simulations numériques. Cette étude est divisée en deux parties. La première est une étude phénoménologique où l'influence de l'écroissage cinématique sur les courbes d'indentation instrumentée est étudiée. Des courbes numériques d'indentation sont comparées à des courbes expérimentales, ce qui nous a permis d'évaluer la part de chacun des types d'écroissage (cinématique et isotrope) dans le comportement plastique global des matériaux étudiés. Les résultats obtenus ont montré une très bonne concordance avec ceux obtenus par des essais de cisaillement cyclique. La deuxième partie est une étude préliminaire où l'influence de l'écroissage cinématique est étudiée dans le cas d'un essai de formabilité de Nakazima. Les résultats montrent qu'il est important de tenir en compte ce type d'écroissage dans les simulations numériques pour des résultats plus précis par rapport à l'expérimental.

Phenomenological study of the influence of the work-hardening type in the case of Instrumented Indentation and formability Nakazima tests

With a global trend leaning towards lighter vehicles for reasons such as economic and ecological, some new grades of metallic materials (Ex: Aluminum alloys) have replaced the classic grades already used (Ex: Deep Drawing Steels). These new grades have special mechanical properties that need to be studied deeply and taken into account in numerical calculations. Among other factors, the significant kinematic hardening of these materials leads to significant differences between numerical and experimental results when not taken into account correctly in numerical simulations. This study is divided into two main parts: The first part is a phenomenological study in which the influence of kinematic hardening on instrumented indentation curves is studied. Numerical indentation curves are compared to experimental curves which allowed us to evaluate the share of each type of work-hardening (kinematic and isotropic) in the overall plastic behavior of the studied materials. The obtained results showed a very good agreement with results obtained from cyclic shear tests. The second part is a preliminary study in which the influence of kinematic hardening is studied in the case of a Nakazima formability test. The results show that it is important to consider this type of work hardening in numerical simulations for greater precision when comparing to experimental results.

AXE 1

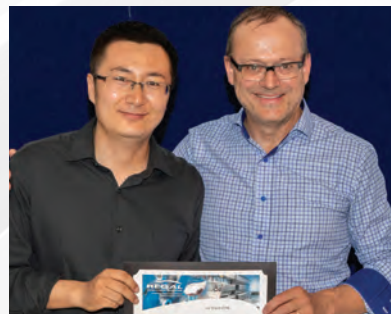
Production de l'aluminium Aluminium production



Prix Conférence AAC remis à Alexis Nossovitch



Prix Alcoa remis à Hadi Ghazanfari



Prix Alouette remis à Xiaoming Qian



Prix AluQuébec remis à Jose Alberto Muniz Lerma



Prix CRITM remis à Simon-Olivier Tremblay



Prix CQRDA remis à Louis Simoneau



Prix Metra aluminium remis à Olivier Lacroix



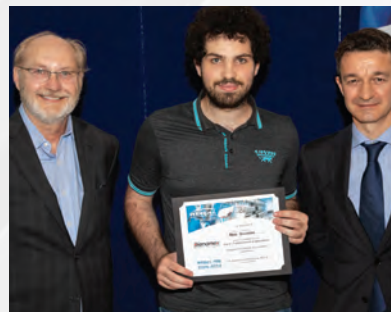
Prix Rio Tinto remis à Mohamed-Larbi Sentissi



Prix SAFI remis à Nicolas Wawrzyniak



Prix Axe 1-Hatch remis à Mohammad Kavand



Prix Axe 2-Dienamex remis à Léo Richard



Prix Relève CMQ remis à Jonathan Alarie

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.

Alarie, Jonathan* Mesure expérimentale des phénomènes influençant la dissolution de l'alumine.....	15	Morais, Brigitte Développement d'un test rhéologique pour déterminer l'aptitude de la pâte d'anode au formage.....	24
Amara, Belkacem Effets du taux de chauffage durant la calcination du biocharbon sur ses propriétés et celles des anodes de carbone fabriquées.....	16	Obambi, Philippe Vivie Propriétés rhéologiques de la matrice de brai et de liant.....	25
Benzaoui, Abderrahmane Utilisation de la technologie SERMA pour déterminer la qualité des anodes industrielles crues et cuites.....	17	Paris, Adéline Contrôle de la qualité des anodes de carbone à partir de méthodes statistiques multivariées.....	26
Chen, Bowen Evolution des propriétés des anodes pendant la cuisson.....	18	Rakotondramanana, Lovatiana Mesure de la résistance mécanique des radeaux d'alumine, formés dans le bain durant l'électrolyse d'aluminium.....	27
Kansoun, Zahraa Mise en forme des anodes - Quantification de l'effet de la vibro-compaction.....	19	Roger, Thomas Étude de la chute de particules d'alumine.....	28
Kaszás, Csilla Phénomènes interfaciaux liées à la dissolution de l'alumine dans les cuves d'électrolyse de l'aluminium.....	20	Rouget, Geoffroy Modélisation de la conductivité électrique de l'anode verte.....	29
Kavand, Mohammad* Un modèle de transfert de masse complet pour les réactions de gazéification des anodes de carbone.....	21	Sadeghi-Chahardeh, Alireza Modélisation de anodique par la méthode DEM de la pâte.....	30
Lacroix, Olivier* Analyse technico-économique de barres collectrices cylindriques sans fonte et avec insertions de cuivre.....	22	Tremblay, Simon-Olivier* Investigation <i>in situ</i> de la Distribution du Courant dans l'anode.....	31
Lu, Ying Interaction brai/coke (Effet du bio-brai sur la formulation de l'anode).....	23	Yaghoobi, Mohammad Synthèse de la céramique nanostructures de type La _{1.8} Sr _{0.2} NiO ₄ par broyage à haute énergie pour les diélectriques LSNO-Al/époxy.....	32

Développement d'un dispositif de mesure expérimental de la dissolution de l'alumine

Development of an experimental setup for the study of alumina dissolution

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi

CUR 2019
AI 13

GRIPS
Groupe de recherche en ingénierie
des procédés et systèmes

REGAL
REGROUPEMENT ALUMINIUM
CENTRE DE RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM
ALUMINIUM RESEARCH CENTRE

Problématique

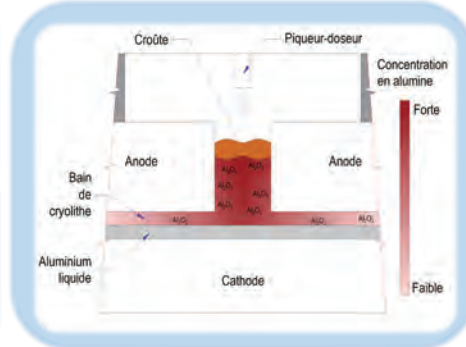
Afin de produire de l'aluminium, il est d'abord nécessaire de dissoudre l'alumine dans un bain de cryolithe fondu avant d'en faire l'électrolyse. Ainsi, la répartition spatiale de l'alumine dissoute dans la cuve influence le rendement de cette dernière en modifiant localement les conditions de l'électrolyse. L'augmentation du taux de dissolution et l'homogénéisation de la concentration d'alumine dissoute devient donc un enjeu de taille pour l'industrie avec l'accroissement de l'ampérage des cuves.

Objectif

Développer un appareil de mesure permettant de quantifier le taux de dissolution de l'alumine dans un bain de cryolithe. Le tout afin de caractériser diverses conditions de dissolutions.

Méthode

La masse apparente d'un échantillon plongé dans le bain est suivie en continue. Les variations enregistrées permettent notamment d'obtenir les informations à propos de la vitesse de dissolution.

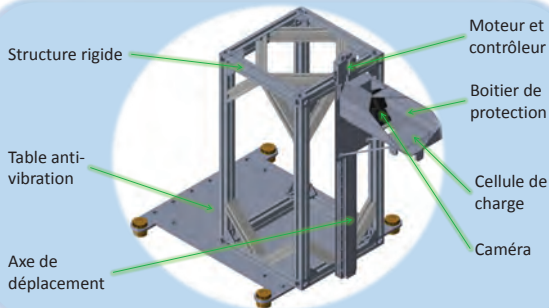


Fonctionnement

Le poids apparent d'un échantillon est enregistré lors de son insertion dans un bain cryolitique. Par la suite, cette information est suivie pendant la phase de dissolution de l'échantillon. Ainsi, une relation peut être établie entre la perte de poids apparent et la masse réelle de l'échantillon, tout au long de sa dissolution. L'appareil développé dispose donc d'un axe de déplacement et de capteurs, dont une cellule de charge, afin de réaliser les enregistrements nécessaires.

Résultats

Les résultats démontrent effectivement la diminution du poids apparent des échantillons. Cette observation est en accord avec les hypothèses de départ.

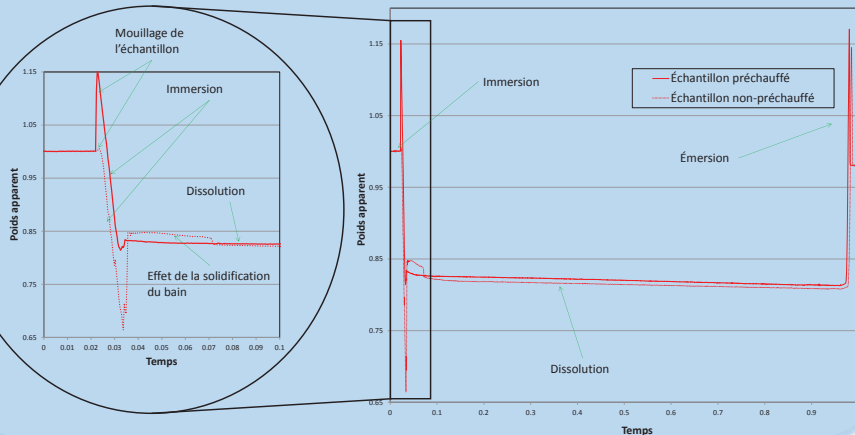


Conclusion

Selon les résultats obtenus, il est évident que plusieurs phénomènes influencent le poids apparent de l'échantillon. Il est donc possible de reconnaître l'influence de ces phénomènes et de cerner les informations concernant la dynamique de dissolution.

Travaux futurs

Utiliser la méthode et le système afin de déterminer les conditions chimiques et physiques des échantillons, de leur immersion et du bain influençant la dynamique de dissolution.



Remerciements

Ces travaux ont été rendus possibles grâce au soutien technique et financier de Rio Tinto et du CRSNG.

RioTinto

CRSNG
NSERC

Prix de la relève
Next generation
Award

CMQ
Centre de métallurgie du Québec

Jonathan Alarie
Université du Québec
à Chicoutimi

L. I. Kiss - UQAC
S. Poncsák - UQAC
T. Roger - UQAC

Dans le contexte actuel du marché mondial de l'aluminium, il est nécessaire d'optimiser les performances de production de première fusion. La production actuelle dans les cuves d'électrolyse implique une variation temporelle de la quantité d'aluminium, l'alumine passant régulièrement d'un manque à un surplus dans l'électrolyte. Ces variations influent sur le taux de production de métal liquide et cause parfois des effets indésirables, qui créent une diminution de l'efficacité de courant de la cuve. Ainsi, il est nécessaire de mieux contrôler l'apport d'alumine dissoute dans le bain de cryolithe fondu. Le projet présenté concerne donc le développement d'une méthode de mesure des phénomènes influençant la dissolution de l'alumine dans le bain de cryolithe. Cette technique repose sur la mesure de la variation du poids apparent d'un échantillon d'alumine plongé dans le bain liquide. Celui-ci varie selon l'évolution de la somme des forces affectant l'échantillon. Les principales forces étant la gravité, la poussée d'Archimède et la tension de surface. Il est ainsi possible d'observer la variation de ce poids en fonction des différentes conditions thermiques, mécaniques et chimiques imposées à l'échantillon. De plus, il est possible de remarquer quels effets sont dominants lors des étapes d'ajout d'alumine dans le bain.

Within the context of the current world economic climate, it is necessary to optimize aluminum production. An important aspect is the control of alumina feeding in the electrolytic tank to prevent over-feeding and under-feeding of alumina. By improving the control of this process, undesirable effects, such as those from anodic reactions or bottom sludge formation, can be prevented and the current efficiency can be enhanced. For this reason, it is important to know the optimal conditions of alumina dissolution in the bath.

The goal of this project is to develop a method that can measure the influence of the phenomena that affect a sample in the cryolitic bath. This can be achieved by following the variation of the apparent weight, which varies with changes in the sum of all the forces acting on the alumina samples inserted into the bath. Then, it is possible to follow the influence of buoyancy, surface tension and gravity on the apparent weight. In fact, these forces are affected by multiple thermal, mechanical and chemical phenomena. Finally, it is possible to note the predominance of a specific phenomenon during different steps of the sinking history.

Effets du taux de chauffage durant la calcination du biocharbon sur ses propriétés et celles des anodes de carbone fabriquées

Effect of the heating rate during the calcination of biocoke on its own properties and on those of the carbon anodes produced



Introduction et problématique

Matières premières
 $2 Al_2O_3 + 3C + \text{énergie électrique} \rightarrow 4Al + 3CO_2$

Réactivité de l'anode avec l'air et le CO₂

Dans ces dernières décennies, les alumineries ont rencontré plusieurs défis incluant la dégradation de la qualité du coke de pétrole. À cause de la croissance de la demande, l'industrie est en recherche des matières premières alternatives. Le biocharbon est un choix intéressant. Le coke de pétrole, une des matières premières majeures pour la fabrication des anodes, peut être remplacé partiellement par ce produit à l'origine du bois. Ce choix rendrait l'anode plus écologique et respectueuse de l'environnement en diminuant l'émission de GES.

Objectifs

- Caractériser le coke et les biocharbons produits sous différentes conditions,
- Étudier l'impact du taux de chauffage sur les propriétés du biocharbons,
- Déterminer l'effet de présence du biocharbon dans les anodes sur leurs propriétés,
- Déterminer le meilleur biocharbon en comparant l'impact de différents biocharbons sur la qualité des anodes fabriquées avec ces derniers.

Méthodologie

Résultats et discussion

Densité en vrac adimensionnelle du coke et du biocharbon

Évolution de l'angle de contact du coke et du biocharbon

Spectre FTIR du coke et du biocharbon

Conclusions

- ☐ Suite à une recherche bibliographique approfondie, une méthodologie a été établie pour déterminer l'impact des biocharbons produits sous différentes conditions sur les propriétés des anodes à fabriquer avec ces derniers.
- ☐ Le test de mouillabilité a donné des angles de contact semblable pour le biocharbon et le coke de pétrole.
- ☐ La densité tassée du biocharbon est environ deux fois plus faible que celle du coke de pétrole.
- ☐ La comparaison des spectres de FTIR du biocharbon et du coke démontre certaines différences des groupes fonctionnels à la surface.
- ☐ Le remplacement d'une partie du coke de pétrole par le biocharbon rendrait l'anode plus écologique en diminuant les émissions de GES.

Remerciements

Nous remercions:

- le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) pour le soutien financier, et
- Boisaco et Aluminerie Alouette pour les matériaux.

AXE 1 : PRODUCTION DE L'ALUMINIUM ALUMINIUM PRODUCTION

Amara Belkacem
 Université du Québec à Chicoutimi

D. Kocaefe - UQAC
Y. Kocaefe - UQAC
D. Bhattacharyay - UQAC

L'industrie de l'aluminium fait face à de nombreux défis, dont la conservation de la qualité des anodes de carbone et la réduction de gaz à effets de serre (GES). À cet égard, cette qualité est affectée par les différentes matières premières entrant dans sa composition. À cause de la croissance de la demande, l'industrie est en recherche des matières premières alternatives. Le biocharbon est un choix intéressant. Le coke de pétrole, une des matières premières majeures pour la fabrication des anodes, peut être remplacé partiellement par ce produit à l'origine du bois. Ce choix rendrait l'anode plus écologique et respectueuse de l'environnement en diminuant l'émission de GES. Dans ce projet, nous étudions l'effet de l'utilisation du biocharbon sur les différentes propriétés des anodes. Nous avons produit trois types de biocharbon en utilisant différents taux de chauffage durant la calcination. Plusieurs tests ont été réalisés afin de déterminer l'effet du taux de chauffage sur les propriétés du biocharbon. Aussi, des anodes ont été fabriquées en remplaçant une partie du coke de pétrole par ces biocharbons. On a déterminé le meilleur biocharbon suivant les propriétés que ces anodes ont présentées.

The aluminum industry is facing many challenges, among them are the conservation of the quality of carbon anodes and the reduction of greenhouse gases (GHG). In this respect, this quality is affected by the different raw materials that go into the anode's composition. Because of increasing demand, the industry is currently searching for alternative raw materials. Biocoke is an interesting choice. Petroleum coke, one of the major raw materials used in the production of anodes, can be partially replaced by this wood based product. This choice would make anodes more environmentally friendly by reducing their GHG emissions. In this project, the effects of the use of biocoke on different properties of anodes are studied. Three types of biocoke were produced by using different heating rates during calcination. Several tests have been carried out in order to determine the effects of heating rate on the biocoke properties. Also, anodes have been produced by replacing part of the petroleum coke with these biocoals. The best biocoke was determined based on the properties that the anodes exhibited.

Utilisation de la technologie SERMA pour déterminer la qualité des anodes industrielles crues et cuites

Use of SERMA technology to determine the quality of green and baked industrial anodes



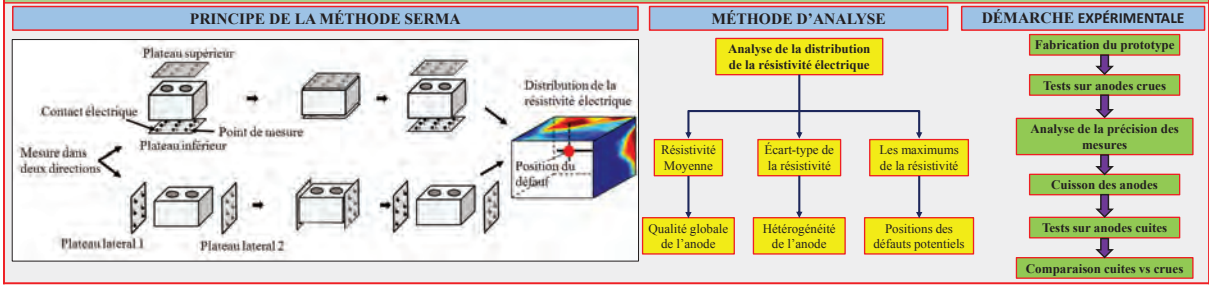
INTRODUCTION

Le contrôle de la qualité des anodes est très important pour l'industrie de l'aluminium. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser une technique non destructive assurant une inspection efficace et exhaustive des anodes fabriquées. La technologie SERMA (Specific Electrical Resistivity Measurement of Anodes) répond à ce besoin par la détermination puis l'analyse de la distribution de la résistivité électrique dans deux directions. Cette technologie a déjà été validée sur des anodes de laboratoire et industrielles crues et cuites. Pour pouvoir la déployer, il est nécessaire d'obtenir des mesures fiables dans un délai raisonnable. Dans ce travail, nous présentons les principes de la technologie SERMA ainsi que les résultats d'une nouvelle campagne de test sur des anodes industrielles crues qui nous permettront d'étudier la fiabilité des mesures pour différents niveaux de précision.

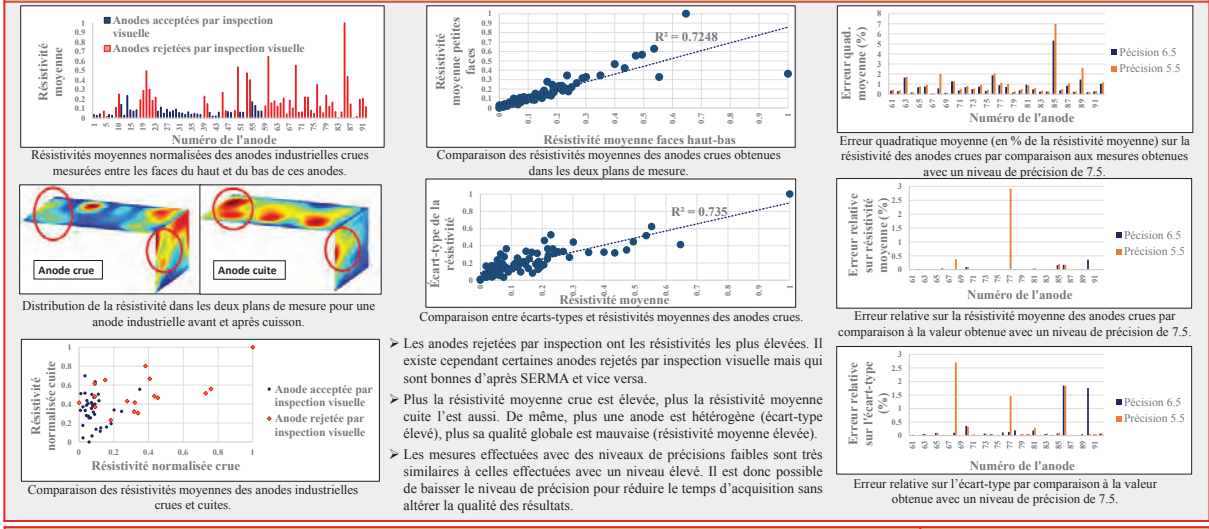
OBJECTIF

Montrer la capacité de SERMA à inspecter des anodes crues et cuites dans un délai raisonnable et approfondir l'analyse de la distribution de la résistivité électrique.

MÉTHODOLOGIE



RÉSULTATS



CONCLUSIONS

Dans ce travail, nous présentons les résultats d'une campagne de mesure utilisant la technologie SERMA sur des anodes industrielles. L'analyse de ces résultats montre qu'il est possible de détecter les mauvaises anodes en se basant sur les valeurs de la résistivité électrique. De plus, étant donné la corrélation entre les résistivités crues et cuites, il est possible d'éliminer certaines mauvaises anodes avant même de procéder à leur cuisson. Par ailleurs, l'analyse de l'erreur de mesure montre que l'on peut obtenir des résultats suffisamment précis dans un délai d'acquisition raisonnable. Après l'automatisation incluant la manutention mécanique, la durée de l'analyse d'une anode est estimée à environ une minute, ce qui permettra l'intégration de SERMA en ligne de production.

REMERCIEMENTS

Le support du Centre québécois de recherche et de développement de l'Aluminium (CORDA), du Conseil de Recherche en Sciences Naturelle et en Génie (CRSNG) et de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) est grandement apprécié. Nous remercions également Aluminerie Alouette Inc. pour la fourniture en anodes pour les tests, ainsi que la Société de Valorisation (SOVAR) pour ses services et ses conseils avisés. Par ailleurs, la fabrication du prototype et la réalisation des expériences ont été effectués chez Dynamic-Concept. Nous tenons à remercier la compagnie pour son service et pour la disponibilité de ses ressources.

Abderrahmane Benzaoui
Université du Québec à Chicoutimi

D. Kocaefe - UQAC
Y. Kocaefe - UQAC
D. Bhattacharyay - UQAC

Dans l'industrie de l'aluminium, la qualité des anodes en carbone affecte directement le fonctionnement des cuves d'électrolyse et, par conséquent, le coût de production. Les méthodes d'inspection couramment utilisées fournissent des informations limitées sur cette qualité. Dans ce travail, les résultats d'une campagne de mesures sur des anodes industrielles en utilisant la technologie SERMA (*Specific Electrical Resistance Measurement of Anodes*) sont présentés. Cette dernière est basée sur une méthode non-destructive et permet de mesurer la distribution de la résistivité électrique dans des anodes crues et cuites. L'analyse de cette distribution aide à déterminer la qualité d'anode. La méthode a précédemment été validée à l'échelle de laboratoire puis à l'échelle industrielle grâce à un prototype qui a été développé pour cet effet. Cette validation a montré la capacité de SERMA de détecter des mauvaises anodes avant et après cuisson. Une nouvelle campagne de mesure sur des anodes industrielles a permis de mieux comprendre les indications fournies par SERMA et les relations existant entre certaines caractéristiques de la distribution de la résistivité. De plus, il a été montré la possibilité d'intégrer SERMA dans un processus de contrôle de qualité en ligne avec des temps d'acquisition raisonnables tout en maintenant une précision suffisante.

In the aluminum industry, anode quality has a direct effect on the performance of the electrolysis cells and thereby on the production cost. Current inspection practices give limited information on this characteristic. In this work, the results of a measurement campaign using the SERMA technology (*Specific Electrical Resistance Measurement of Anodes*) are presented. This technology is based on a non-destructive method which measures the electrical resistivity distribution of green and baked anodes. Analysis of this distribution helps determine the quality of the anode. The method was previously validated on a laboratory scale and then on an industrial scale using a prototype that was developed for this purpose. This validation showed the ability of SERMA to detect defective green and baked anodes. A new measurement campaign on industrial anodes provided a better understanding of the indicators provided by SERMA and the relationship between certain characteristics of the resistivity distribution. Moreover, it was shown that SERMA could conceivably be integrated into the process for on-line quality control with reasonable acquisition times while maintaining a sufficient precision level.

Évolution des propriétés de la pâte d'anode durant la cuisson

Anode paste properties evolution during baking process



Introduction

In the industrial aluminum production, anode baking is one of the most cost-intensive anode manufacturing processes. Excessive heat-up rate causes observable cracks on prebaked anode after its removal from furnace. This phenomenon is probably due to build-up pore pressure resulting from generated volatiles in anode porous space under loading confinement of upper anode. Hence, evolution of mechanical properties occupies an important position in design of anode block and its baking. In order to capture the evolutions of those properties, a numerical model is necessary and experimental data are required to calibrate its parameters. Unlike directly drilled samples from anode block, larger laboratory-scale samples with negligible inner density gradient are to be fabricated to identify those parameters.

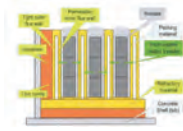


Figure 1 Anode baking furnace



Figure 2 Cracks on the surface

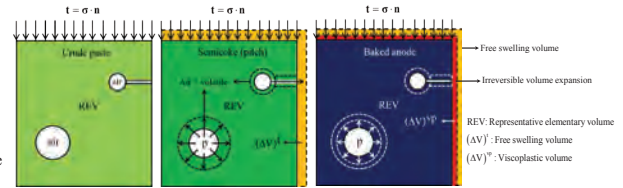


Figure 3 Baking process with swelling effect

The green anode used in aluminum production industry is made of petroleum coke aggregates, coal tar pitch and recycled butts. Porosity in anode paste includes different structural types (e.g. closed, transport, open and blind). Pore pressure induced by generated volatiles during the baking process from which unrecoverable volume expansion of pores suffers thus leads to a swelling of the entire block.

Kinematic description

During baking, anode paste is considered as a two-phase superimposed continuous media. In a representative elementary volume "REV", pitch carbonization takes place in the solid matrix. At the same time, porous structures change accompanying with devolatilization in the porous space.

Objective

The aim of this project is to develop a thermo-chemo-mechanical behavior model for the baking process of the anode paste by using theory of poromechanics in connection with mixture theory within thermodynamic framework.

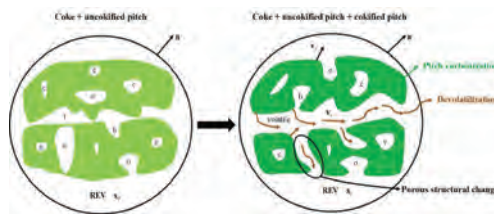


Figure 4 Representative elementary volume (o-open pores; c-closed pores; t-transport pores; b-blind pores)

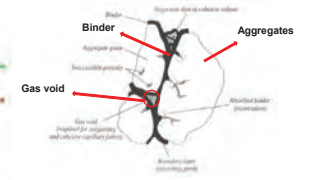


Figure 5 Carbon structure [D'Amour G., 2004]

Pitch binder bonds up the coke aggregates forming the intergranular porosity between them. Pyrolysis creates the voids in which provides the passage for outgassing

Anode baking process

Anode baking process goes through three major periods according to previous experimental observations: i) period in which material mainly undergoes phase change due to pitch melting, ii) devolatilization process when pitch pyrolysis taking place and iii) carbon graphitization where carbon starts to suffer from a microstructural rearrangement.

Characterization of mechanical properties

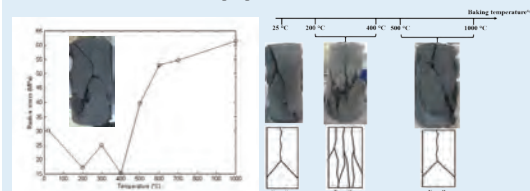


Figure 6 Compressive strength with temperature

Figure 7 Rupture mode (ASTM C39/C39M)

Compressive strength with temperature is obtained. As seen in Figures 6-7, the anode specimen yields a ductile rupture model between 200 °C and 400 °C and beyond which it ruptures in a fragile style. That would probably explain the lower value points from 200 °C to 400 °C than the others.

Young's modulus evolution is depicted in Figure 8, below 500 °C, Young's modulus increases with a decreasing strength, but there exists a fluctuation between 200 °C and 400 °C. Higher values of Young's modulus and compressive strength happening at 300 °C is probably caused by the effect of soaking time.

Future work

1. To interact with COMSOL equation-based modelling;
2. Dilatometric tests and permeability tests.

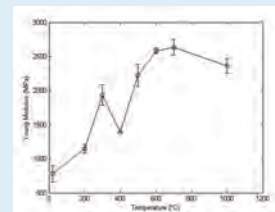


Figure 8 Young's modulus with temperature

Pycnometric measurement of real density

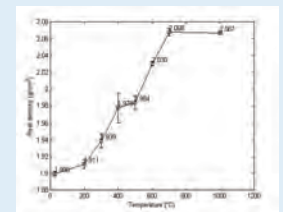


Figure 9 Pycnometric real density evolution of anode sample with temperature

Preliminary results for thermogravimetric analysis (TGA)

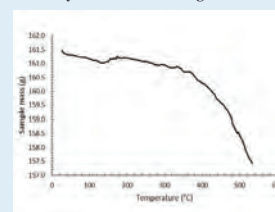


Figure 10 Weight loss evolution with temperature

Kinetics of pyrolysis

$$sS(s) \rightarrow rR(s) + vV(g)$$

Arrhenius law

$$\frac{d^2X}{dt^2} = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) (1-X)$$

E_a Activation energy factor

k_0 Pre-exponential factor

R Ideal gas constant

References

D'Amour G., 2004, Développement de lois constitutives thermomécaniques pour les matériaux à base de carbone lors du préchauffage d'une cuve d'électrolyse, Ph.D. Thesis, Laval University, Québec, Canada.

Bowen Chen
Université Laval

D. Picard - UL
S. Zaglafi - UL
H. Chaouki - UL
H. Alamdari - UL
M. Fafard - UL
D. Ziegler - Alcoa

Le but de ce projet est de développer un modèle de comportement thermo - chimio - mécanique basé sur la théorie des milieux poreux réactifs par O. Coussy (1995) et la théorie de mélange par R.M. Bowen (1972) pour le processus de cuisson de la pâte d' anode en tenant compte de l' effet de gonflement.

1. De faire des tests pour les propriétés physiques alternatives à haute température;
2. Pour définir les propriétés physiques sur la température, le taux de chauffage et réaction chimique;
3. Afin d'accumuler les lois de comportement en utilisant des modèles existants de la pâte de battage et une approche thermodynamique pour les milieux poreux;
4. Concevoir une énergie libre et de la fonction potentielle de dissipation;
5. Identification des paramètres à chaque température (Module d'Young, Coefficient de Poisson, les Coefficients de Biot, la viscosité, la perméabilité);
6. Essayer de prévoir l'évolution de la souche radiale à haute température en utilisant des données mesurables.

The goal of this project is to develop a thermo-chemo-mechanical behavior model based on the theory of reactive porous media by O.Coussy (1995) and the theory of mixture by R.M. Bowen (1972) for the baking process of anode pastes, taking into account the swelling effect.

1. To do tests for alternative physical properties at high temperatures;
2. To define the physical properties of temperature, heating rate and chemical reaction;
3. To build up constitutive laws by using some existing models for the ramming paste and thermodynamic approach for porous media;
4. To design a free energy and potential dissipation function;
5. Parameter identification at each temperature (Young's Modulus, Poisson's Ratio, Biot's Coefficients, Viscosity, Permeability);
6. Try to predict the evolution of radial strain at high temperatures using measurable data.

Mise en forme des anodes - Quantification de l'effet de la vibro-compaction

Anode Manufacturing for Aluminum Smelters: Optimization of Vibro-Compaction Process



Carbon Anodes and Aluminum production

Industrial objective:
Denser and more homogeneous anodes.

Research objective:
Optimization of anode manufacturing process: **Vibrocompaction**

Figure 1: Typical Electrolysis cell (from MACE³ website, Industrial Research Chair, Laval university)

Description of Vibro-Compaction

Parameters

- Dead weight
- time
- frequency
- amplitude

Figure 2: Diagram of a vibro-compactor

Densification of carbon paste

II. Effect of cycling on carbon paste: load path and result

- Flexible mold used to test the behaviour of carbon paste (ramming paste) at room temperature.

Figure 2: Flexible mold used for experimental work

Figure 5: Load cell displacement (mm)

Dynamic behavior of carbon paste

I. Vibrocompaction test on carbon paste

Figure 4: Vibrocompaction tests: density in function of number of cycles

II. Frequency effect on the quality of the carbon paste

Table 1: Rigidity test on vibrocompacted samples of carbon paste

Frequency of the vibrated sample (Hz)	Rigidity (kN/mm)
0,3	20,0725
2	20,243
4	19,987

Figure 7: uniaxial compression test to evaluate the rigidity

Frequency has no effect on the final rigidity of the vibrated sample, it influences only the time of vibrocompaction

Future Work

- Development of a behaviour law for the green anode paste at high temperature.
- Numerical simulation of Vibro-compaction process followed by an experimental validation.
- Development of a carbon paste at room temperature that matches the green anode paste at 150°C for experimental works.

AXE 1 : PRODUCTION DE L'ALUMINIUM

Zahraa Kansoun
Université Laval

M. Fafard - UL
H. Alamdari - UL
H. Chaouki - UL
D. Picard - UL
D. Ziegler - Alcoa

La qualité des blocs d'anode utilisés dans les fonderies d'aluminium constitue un facteur très important au niveau de la minimisation des coûts et de la maximisation de l'efficacité énergétique. L'amélioration des caractéristiques thermiques, électriques et mécaniques des anodes, prolongera la vie de ces blocs dans la cellule d'électrolyse et améliorera sa performance. En effet, le but de ce projet est d'améliorer les caractéristiques mécaniques des anodes (plus dense, plus homogène). Pour atteindre cet objectif, le processus de vibro-compaction sera optimisé, alors le premier pas sera de le modéliser. Deux tâches principales doivent être combinées pour pouvoir modéliser un processus assez compliqué. D'une part, un modèle dynamique doit être élaboré. Ce modèle permet de suivre les déformations de chaque constituant du vibro-compacteur. D'autre part, le comportement visco-élasto-plastique de la pâte doit être investigué expérimentalement et pris en considération lors de la modélisation. Après la modélisation, les résultats numériques seront validés par deux séries d'expériences. La première série se déroulera à l'Université Laval (échelle réduite) et la deuxième à l'Aluminerie Alcoa de Deschambault (vraie grandeur). Suite à la validation, la combinaison des facteurs de la vibro-compaction (fréquence, amplitude, durée des vibrations ...) qui donne les anodes les plus denses et homogènes sera recherchée par des outils d'optimisation statistiques.

The quality of anodes used in aluminum smelters is a very important factor in terms of minimizing costs and maximizing energy efficiency. Improving the thermal, electrical and mechanical characteristics of anodes will extend their life in the electrolysis cell and improve their performance. The goal of this project is to improve the mechanical characteristics of anodes, specifically density and homogeneity. To reach this goal, the Vibro-compaction process is optimized. The first step is to model this process. Two main components must be combined in order to model such a complicated process. On the one hand, a dynamical model should be developed to allow us to follow the deformation of each component of the Vibro-compactor, and on the other hand, we must consider the visco-elasto-plastic behavior of green anode paste in the model. Finally, we will validate the completed model by vibro-compaction tests. The first round of experiments will take place at Laval University (reduced scaled), and the second series at the Alcoa smelter in Deschambault (true scale). Following the validation, optimizing tools will be employed to search for an appropriate combination of factors of vibro-compaction (frequency, amplitude...) that give denser and more homogeneous anodes.

Phénomènes interfaciaux liées à la dissolution de l'alumine dans les cuves d'électrolyse de l'aluminium

Interfacial phenomena related to the dissolution of alumina in the aluminium electrolysis cells

UQAC

Université du Québec à Chicoutimi

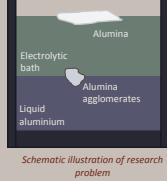
CUR AI 26,98

GRIPS
Groupe de recherche en ingénierie des procédés et systèmes

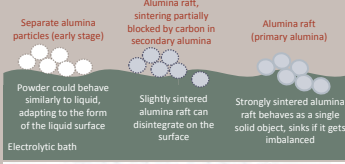
REGAL
REGROUPEMENT ALUMINIUM
CENTRE DE RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM
ALUMINIUM RESEARCH CENTRE

Introduction

The interactions between alumina and the surface of the electrolytic bath (and the bath metal interface - BMI) could influence significantly the dissolution rate of alumina. Prolonged flotation on the surface, and penetration of BMI could hinder the dissolution of alumina. This work summarizes these phenomena, based on a mathematical model and several experiments conducted in the cryolitic bath with alumina, and also in low temperature analog systems.



effect of impurities



Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to Rio Tinto and the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada for their financial support.

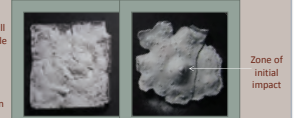
CSNG NSERC **ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTREAL** **RioTinto**

effect of humidity

Humidity rapidly evaporating from alumina blows apart the powder above the surface – while below the surface – it might prevent the formation of solid frozen bath layer, leading to faster infiltration

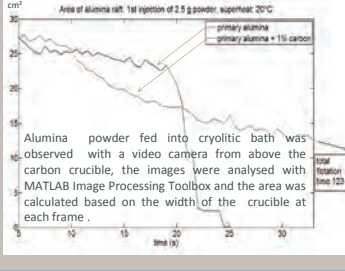
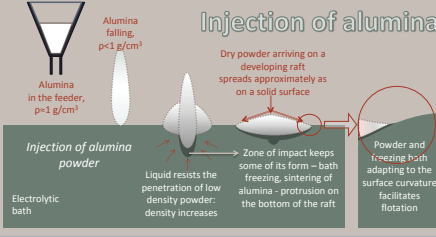
density decreases

Liquid resists the penetration of low density powder: density increases



Bottom of alumina raft, taken out after 45 sec in the bath; first: primary alumina, second: primary alumina dried at 550 C

Injection of alumina



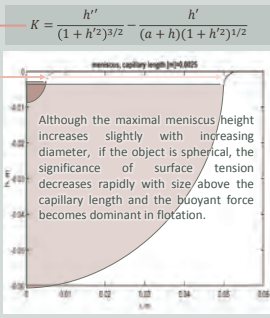
Mathematical model

For the mathematical model of alumina falling onto the bath surface, and agglomerate penetrating the bath-metal interface a bullet-shaped solid object was considered.

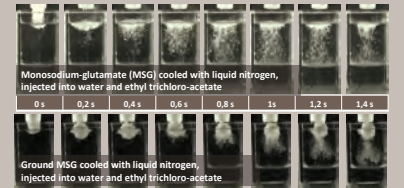
Forces acting upon solid object on interface:		L	10L
Gravitational force	$F_g = -mg$	$\sim L^3$	$\sim 10^3 L^3$
Resultant force of surface tension progress of wetting considered in the model, contact angle decreases until equilibrium contact angle is reached	$F_s = 2r\pi \cdot \gamma \cdot \cos \delta$	$\sim L$	$\sim 10L$
Buoyant force	$F_b = V \cdot \rho_l \cdot g$	$\sim L^3$	$\sim 10^3 L^3$
Displaced liquid due to surface curvature - added hydrostatic pressure due to interface meniscus	$h_{menisc} < \approx h_{menisc10}$	$\sim L^2$	$\sim 10^2 L^2$
Drag force	$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A$	$\sim L^2$	$\sim 10^2 L^2$
Drag coefficient considered constant in the model – underestimation at low Reynolds number - low velocities			

$a = \frac{\sum F}{m_{tot}} = \frac{dv}{dt}$ Added mass – liquid got into motion by object has a dampening effect according to the conservation of momentum

The shape of equilibrium liquid-fluid interface is governed by the Young-Laplace equation that relates the interface curvature to the capillary pressure. The liquid surface curvature around axisymmetric objects is described by the equation below [Starov et al: Wetting and Spreading dynamics]. The meniscus shape and height can be found by solving the differential equation numerically.



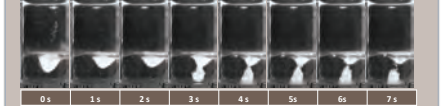
effect of particle size



Small particles have large specific surface area and small inertia, therefore the cohesive forces are more significant with decreasing particle size. Fine particles decrease flowability of the powder, increase tendency for clumping, leading to less spreading on a (liquid) surface. Fines decrease thermal conductivity, leading to prolonged freezing and warming up, delayed infiltration and disintegration.

penetration of interface not caused by initial velocity

A large piece of crust falling into the bath pierces the upper surface instantly and it has the chance to continue its downward travel through the bath-metal interface (BMI). But alumina can penetrate the BMI without high initial velocity as well.



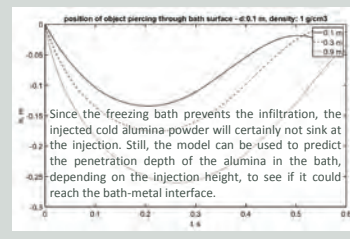
Undissolved alumina can accumulate on the interface, sinking into the BMI until its flotation limit is reached and the metal closes over it.

Another possibility is that due to the semi-solid nature of alumina agglomerates, the pressure distribution is uneven below the alumina and a sharp edged agglomerate, weighed down by high density agglomerates can penetrate the BMI anywhere – even if the weight of the accumulation as a whole could have been supported by the interfacial tension.

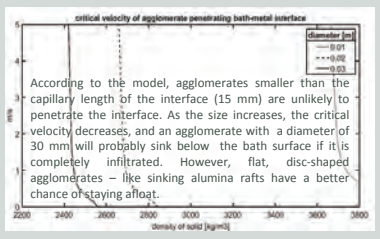
Accumulation until rupture (global overload)

Local rupture of BMI due to uneven pressure distribution (local overload)

Model results for the injection of alumina



Model results for interface penetration



Csilla Kaszás
Université du Québec à Chicoutimi

L. Kiss - UQAC
S. Poncsák - UQAC
J-F. Bilodeau - Rio Tinto
S. Guérard - Rio Tinto

Alors que la plupart des chercheurs étudient la dissolution de l'alumine, en se concentrant directement sur la dissolution elle-même, les interactions de l'alumine avec la surface du bain et l'interface métal-bain pourraient influencer significativement la vitesse de dissolution : elles pourraient même empêcher la dissolution pendant une longue période de temps. Ce travail, basé sur un modèle mathématique et plusieurs expériences menées dans le bain cryolitique avec de l'alumine, ainsi que dans des systèmes analogiques à basse température, résume ces phénomènes.

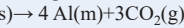
While most researchers studying the dissolution of alumina focus directly on the dissolution itself, the interactions of alumina with the bath surface and the bath metal interface could influence significantly the dissolution rate; they could even prevent the dissolution from occurring for a long period of time. This work, based on a mathematical model and several experiments conducted in a cryolitic bath with alumina and also in low temperature analog systems summarizes these phenomena.

Modèle de réaction de gazéification pour la plaque d'anode de carbone Gasification reaction model for carbon anode slab



1. Introduction and problem statement

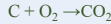
Electrolysis reaction in the Hall-Héroult process



Problem statement: Anode can also react with air and resulting CO_2 , that are undesirable reactions, because they result in an increase in net carbon consumption. Anode overconsumption about 15% (w/w) and it's cost reach around to 30 million US\$/year/mid-size smelter.

Air reactivity

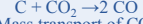
Chemical reaction,



Mass transport of O_2 (Diffusion)

CO_2 reactivity

Chemical reaction,



Mass transport of CO_2 (Diffusion + Convection)

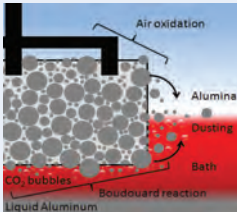


Figure 1. schematic of anode reactivity [4]

2. Hypotheses and objectives

The anode overconsumption is controlled by chemical reaction and mass transport phenomenon (diffusion and convection).

Objectives

- ❖ Modeling the gasification reaction of anode with CO_2
- ❖ Identifying the limiting phenomena
- ❖ Optimizing the model parameters

3. Methodology

Assumptions

1. Unsteady state condition
2. Mass transfer by convection and diffusion within the anode.
3. Non isothermal process
4. Porosity is changing by anode height.

Independent variables

1. Molar concentration of the gaseous species
2. Temperature of the gas, solid phase
3. Pressure of the gas
4. Porosity

C: Gas concentration (g/L)

ϵ : Porosity of anode

U: Gas velocity (m/s)

D: Diffusion coefficient (m^2/s)

ρ : Density (kg/m^3)

K_{eff} : Thermal conductivity coefficient (W/m.K)

Mass balance

$$\epsilon \frac{\partial C_{CO_2}}{\partial t} = -\nabla \cdot (C_{CO_2} U) + \nabla \cdot (D_{CO_2} \nabla C_{CO_2}) + 2R_{CO_2}$$

$$\epsilon \frac{\partial C_{CO}}{\partial t} = -\nabla \cdot (C_{CO} U) + \nabla \cdot (D_{CO} \nabla C_{CO}) - R_{CO}$$

Accumulation Convection Diffusion Chemical Reaction
 $R = F(C)(T)(S)$

Evolution void fraction

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{M_c}{1000 \rho V} R_{CO_2}$$

Energy balance

$$\rho_j \epsilon C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho(1-\epsilon) C_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\rho_j U \nabla \cdot T + \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + (1-\epsilon) \rho \sum \Delta H_{r,i}$$

Accumulation Accumulation Convection Conduction Heat of Reaction

Momentum equations

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U U) = w \quad U = -\frac{K}{\mu} \nabla P \quad K = \frac{196 \epsilon^3}{S^2(1-\epsilon)^2}$$

Moving boundary condition

Bottom side of anode start to consume after starting the process →
Control volume is changed → mesh deformation geometry

Mesh element quality:
Measures regularity
mesh element shapes
1: perfect regular quality
0: degenerated element



Figure 2. Mesh element quality plot



Figure 3. Fine configuration mesh



Figure 4. Deformed configuration mesh

CO_2 reactivity tests

Reaction of carbon anode

by CO_2 at 960°C

In different { gas flow rate
height of anode slab

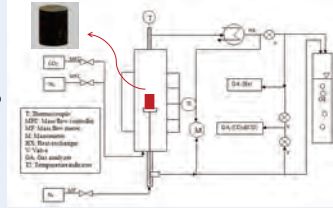


Figure 5. schematic of anode reactivity manipulation

4. Results and discussion

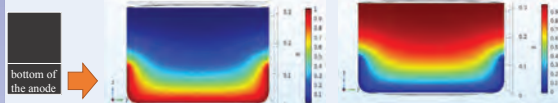


Figure 6. CO_2 concentration

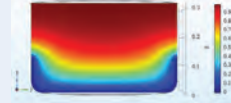


Figure 7. CO concentration

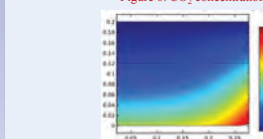


Figure 8. Porosity distribution

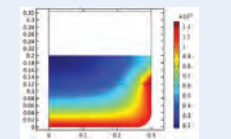


Figure 9. Reaction rate distribution

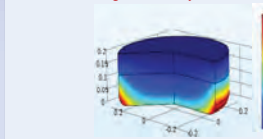


Figure 10. Permeability distribution

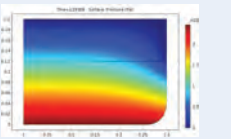


Figure 11. Pressure distribution

Distribution of structural parameters;

- ❖ Volume fraction of the anode ϵ (0.25-0.29)
- ❖ Bed permeability, specific surface area, and chemical reaction constants can be obtained as a result of model.

5. Conclusions and future works

- ❖ Gasification reaction of CO_2 in the large geometry has been modeled.
- ❖ ϵ , K, D, C_{CO_2} Are higher at the bottom and sides of the anode Reaction rate at the sides of the anode is higher and it is in agreement by industrial condition. It can be because of dusting phenomena.
- Future works
- ❖ Doing CO_2 reactivity test
- ❖ Validation of Experimental work by models

References:

- [1] U.S. Geological Survey, 2008, Copper statistics, in Kelly, T.D., and Matos, G.R., comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States Available: <http://pubs.usgs.gov/ds/2005/140/>
- [2] U.S. Geological Survey, 2012, Aluminum statistics, in Kelly, T.D., and Matos, G.R., comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: accessed on February 2013. Available: <http://pubs.usgs.gov/ds/2005/140/>
- [3] Azari K, Investigation Of The Materials And Plastic Relationships To Improve Forming Process And Anode Quality, Theses, Laval university, 2013
- [4] F. Hubschi, "Extractive metallurgy of aluminum", in Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy production and materials manufacturing, vol. 2, G. E. Totten and D. S. Mackenzie, Eds., first edition, New York, Marcel Dekker, 2003, 1-45.

Prix
Award

HATCH

AXE 1

Mohammad Kavand
Université Laval

R. Mollaabbasi - UL
F. Larachi - UL
H. Alamdari - UL
D. Ziegler - Alcoa

Le procédé Hall-Héroult est la façon la plus courante de produire de l'aluminium dans l'industrie, c'est-à-dire par des réactions électrolytiques. L'anode utilisée dans ce procédé peut réagir avec l'air et produire du CO_2 , lequel n'est pas souhaitable car il réagit avec la surface de l'anode, peut diffuser à travers la structure poreuse et ainsi, consommer l'intérieur de l'anode. Dans ce contexte, un modèle de transfert de masse complet, qui intègre la réaction chimique appropriée, a été utilisé pour décrire les réactions gaz-solide, telles que la réaction de gazéification du carbone anodique et le changement de la structure poreuse pendant la conversion. Ce modèle complet est capable de capturer pleinement les détails du mécanisme de transport et de développer un modèle de convection de film. La concentration de gaz et la conversion solide ont été calculées à n'importe quelle position et heure. Les ϵ , K, D et C_{CO_2} sont plus élevés au bas et sur les côtés de l'anode. Aussi, les résultats montrent que la vitesse de réaction sur les côtés de l'anode est plus élevée et ils sont en accord avec les conditions industrielles.

The Hall-Héroult process is the most common way to produce Al in industry using electrolytic reactions. In addition to electrolytic reactions, anodes can react with air and CO_2 , which is not desirable. The CO_2 reacts with the surface of the anode and also may diffuse through the porous structure, consuming the anode interior. With this in mind, a full mass transfer model incorporating the appropriate chemical reactions were used to describe gas-solid reactions, such as anode carbon gasification and the change in porous structures during conversion. This extensive model is able to fully capture the details of the transport mechanisms and develop a film-convection model. The gas concentration and solid conversion were calculated at various positions and time. The ϵ , K, D and C_{CO_2} are higher at the bottom and sides of the anode and also the results show that the reaction rate at the sides of the anode is higher, which is in agreement with industrial conditions.

Analyse technico-économique de barres collectrices cylindriques sans fonte et avec insertions de cuivre

Technico-economic analysis of cast iron free cylindrical collector bars with copper inserts



Problematic

- The cathode is responsible of nearly 10 % of the total cell voltage drop.
- Poor contact between the cast iron leads to increased energy losses.
- Higher current density near the edges of the cathode leads to increased cathode erosion, limiting the cell's lifetime.

Current density through the cathode assembly

Objectives

- Reduce the cathode voltage drop.
- Improve the current density uniformity to increase the cell's lifetime.
- Explore the use of cast iron less cylindrical collector bars using the finite element method.

Rectangular collector bar with a cast iron layer Cylindrical collector bar

Design advantages	Design challenges
<ul style="list-style-type: none"> Removal of the cast iron sealing operation simplifies manufacturing of the cathode and could reduce costs. Improved contact between the collector bar and the carbon block. 	<ul style="list-style-type: none"> New manufacturing process required. Precise diametral clearance between the bar and the block is necessary to ensure proper cathode performance.

Methodology

A	<ul style="list-style-type: none"> Thermo-electro-mechanical parametric FEM model in ABAQUS Dual symmetry Temperature dependent material properties Temperature and contact pressure dependent interface properties Cathode behavior is assumed to be uniform throughout the cell. <p>Meshed FEM model</p>
B	<ul style="list-style-type: none"> Drilled holes and milled holes are explored. The collector bar and the copper insert dimensions and position's influence on the cathode behavior are studied. The required diametral clearance and manufacturing tolerances are determined.
C	<ul style="list-style-type: none"> An economic analysis is used to compare the cylindrical collector bar and a benchmark model based on plant data. Voltage drop variation is converted into annual electrical savings or extras. Cell lifetime is estimated using the maximum current density on the top surface of the cathode. Relining costs (materials, labour etc.) are converted into annual fees over the estimated lifetime of the cell.
D	<ul style="list-style-type: none"> The cylindrical collector bar geometry is optimized using the economic analysis to minimise the annual cost of the cathode.

Preliminary results

Reference model	Equivalent cylindrical bar	Optimized cylindrical bar
<ul style="list-style-type: none"> Rectangular collector bar Geometry and performance similar to those encountered in the plant 	<ul style="list-style-type: none"> Milled hole Collector bar cross section and copper insert are similar to the reference model 	<ul style="list-style-type: none"> Milled hole Optimized bar diameter, insert diameter and position to maximize performance
Contact behavior		Surface current density
<p>Contact area</p> <p>+25%</p>	<p>Contact pressure</p> <p>+75%</p> <p>+120%</p>	<p>Maximum principal stress in the carbon block</p> <p>+19%</p> <p>+13%</p>
<p>Estimated cell life expectancy</p> <p>+6%</p>		<p>-19%</p>
Voltage drop		
<p>Cathode voltage drop</p> <p>-10%</p>	<p>Carbon block voltage drop</p> <p>-15%</p> <p>-25%</p>	<p>Collector bar voltage drop</p> <p>+2%</p> <p>-6%</p>
<p>Contact interface voltage drop</p> <p>-31%</p> <p>-36%</p>		

Conclusion and future work

- Removing the cast iron layer and improving the bar/block contact leads to significant voltage drop reduction.
- As shown by the equivalent cylindrical bar model, an improvement of the contact without a copper insert rework leads to greater current densities; a copper insert rework is necessary to improve performance.
- An increase in contact pressure leads to increased stress and greater chances of cracking in the carbon block.
- Initial economic analysis results show that the cylindrical collector bar could be cheaper than the rectangular collector bar with a cast iron layer.
- More work remains to be done on the diametral clearance and manufacturing tolerances to determine if the design could be viable or not.

Acknowledgment

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.

Le projet vise à réduire la consommation énergétique ainsi qu'à augmenter la durée de vie d'une cuve Hall-Héroult. La cathode est responsable d'environ 10 % de la chute de potentiel totale d'une cuve, et son érosion, localisée à ses extrémités, est une des causes principales de mise hors service d'une cuve. Afin de remédier à ces problèmes, le présent projet de maîtrise a comme objectif de réduire la résistivité électrique et d'uniformiser la densité de courant dans l'assemblage cathodique. Il étudie plus particulièrement l'utilisation de barres collectrices cylindriques ne nécessitant pas de fonte et dont le scellage s'effectue par expansion thermique au démarrage de la cuve. Une analyse thermoélectromécanique est réalisée pour différentes configurations afin d'optimiser la géométrie de la cathode. Une analyse technico-économique est également réalisée afin d'évaluer la rentabilité des différentes configurations. Les défis de fabrication, d'installation et d'utilisation que posent les barres cylindriques sont aussi traités dans le projet.

This project seeks to reduce energy consumption and increase life expectancy of a Hall-Héroult cell. Approximately 10 % of the total voltage drop of the cell occurs in the cathode. Additionally, local erosion near the edges of the cathode is one of the primary causes of early cell failure. This master's project aims to reduce the electrical resistivity and to equalize the current density throughout the cathode assembly. This project explores the use of cylindrical collector bars, relying on thermal expansion during the cell start-up to generate a contact surface between them and the block, thus removing the requirement of any cast iron sealing operation. A thermo-electro-mechanical analysis is performed on a multitude of designs in order to optimise the geometry. A technico-economical analysis is also performed to determine the cost-effectiveness of the different designs. The technical challenges associated with cylindrical collector bars, such as the manufacturing of the components, securing the bars inside the block during handling and installation and connecting the bars to the busbars are also addressed.



Olivier Lacroix
Université Laval

H. Chaouki - UL
L. Gosselin - UL
M. Fafard - UL
R. Beeler - Alcoa
D. Ziegler - Alcoa

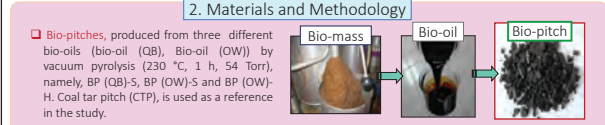
Intéraction du brai écologique et coke (Caractérisation du brai écologique et du brai de goudron)

Bio-pitch/coke interaction (Characterization of bio-pitch and coal tar pitch)

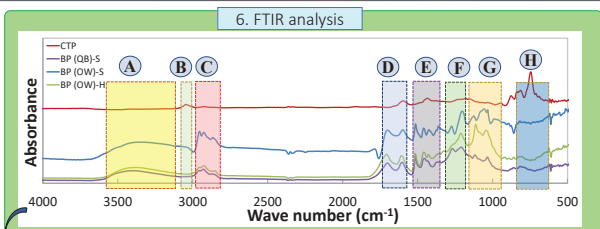


1. Introduction

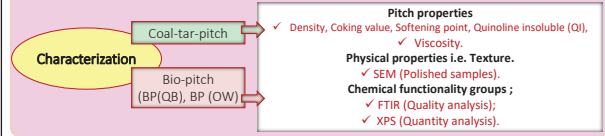
- Coal-tar-pitch is used as binder in anode production in aluminum industry. The price of CTP changes with its consumption, and the high quality of CTP also runs out. The general objective is to find alternative binder to replace CTP in anode manufacture without impairing its quality.
- Bio-oil obtained from bio-mass, is renewable, sulfur-free and low cost. Bio-pitch, produced from bio-oil, will be modified with different pyrolysis conditions and used as a renewable binder for anode manufacturing [1,2].
- Characteristics of bio-pitch, i.e. its chemical and physical properties, are important significantly to understand the bio-pitch/coke interaction as well as the effect of bio-pitch on the anode formulation.
- Wettability of pitch on the coke and penetration behaviors of pitch in to coke pores are the most important parameters to understand the interactions of the pitch and coke.



Bio-oil for bio-pitch	Bio-oil (QB)	Bio-oil (OW)
Pyrolysis type	Vacuum pyrolysis	Fast pyrolysis
Supplier	Pyrovac Inc. (Quebec)	CanmetENERGY (Ottawa)
Bio-mass type	Softwood	Softwood / Hardwood
Oxygen-containing	20.0%	46.0%
Water content	10.4%	20.1%
Bio-pitch name	BP (QB)-S	BP (OW)-S / BP (OW)-H



Region	Wave number (cm ⁻¹)	Assignment
A	3600-3100	Free moisture, and/or COOH
B	3010-3040	C-H stretch of aromatic groups
C	2940-2835	CH ₂ and CH ₃ stretch of aliphatic groups
D	1740-1700	C=O stretch
E	1460-1440	CH ₂ and CH ₃ bending
F	1275-1200	C-C/C-O/C-O stretch, C-O stretch in phenols, and/or asymmetric C-O-C stretch in alkyl aryl ethers
G	1115-1110	Asymmetric C-O-C stretch of aliphatic ethers, and/or C-O stretch in secondary alcohols
H	860-600	C-H stretch of aromatic groups



7. XPS analysis

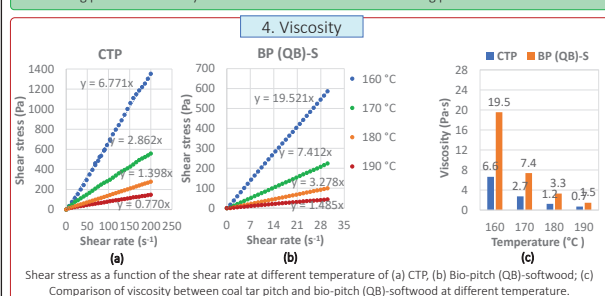
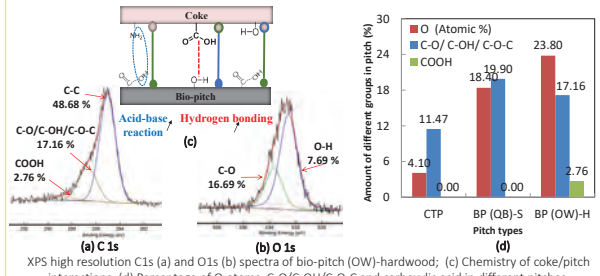
Atomic percentages of different components and carbon (C1s) & oxygen (O1s) functional groups of coal tar pitch and two bio-pitches.

Materials	C (Atomic %)	Carbon (C1s) functional groups (Atomic %)			O (Atomic %)	Oxygen (O1s) functional groups (Atomic %)		Si (Atomic %)
		285.1 eV	286.5 eV	288.8 eV		532.5 eV	533.7 eV	
CTP	95.30	83.83	11.47	NA	4.10	3.48	0.62	0.70
BP (QB)-S	77.90	57.99	19.90	NA	18.40	7.06	11.34	3.70
BP (OW)-H	68.60	48.68	17.16	2.76	23.80	16.69	7.11	7.60

4. Viscosity

Sample	Helium density (g/cm ³) (Helium gas pycnometer)	Coking value (%) (ASTM D4715)	Softening point * (°C) (MEL-TEMP)	QI (%) (ASTM D2318)
CTP	1.350	65.24	80-96	15.90
BP (QB)-S	1.250	35.27	94-100	0.07
BP (OW)-S	1.293	39.43	100-112	0.19
BP (OW)-H	1.355	45.30	102-130	0.49

*Softening point measured by the MEL-TEMP which is used for melting point determination.



8. Conclusions and Perspective

- The significant differences in properties of CTP and bio-pitches could affect the interaction of pitch/coke. High oxygen in bio-pitch results in low coking value.
- Rheological study results display both of CTP and bio-pitch are Newtonian fluids, and the viscosity of bio-pitch is higher than CTP. It is expected that high viscosity has negative effect on the penetration behaviors of bio-pitch into coke pores.
- The FTIR and XPS results show that CTP with high QI content contains high carbon, primarily is aromatic groups. Bio-pitches primarily contains aliphatic groups with high O-containing, contain more active chemical functional groups (C-O, OH, COOH,...), we do expect this contributes to chemistry of pitch/coke interactions and improve the wettability of bio-pitch on coke.
- The SEM results show the different textures and QI particles in CTP and bio-pitches. It is expected these different microstructures may affect the interaction of pitch/coke, however, it needs to be further studied.

5. SEM analysis

The content of QI as well as the size distribution of QI particles in CTP affects its wetting on coke [3].

9. Future work

- Study rheological properties and wettability of bio-pitch on coke.
- Modify bio-pitch properties by changing pyrolysis conditions and increase QI content by adding additives such as carbon black/bio-char in order to optimise bio-pitch properties.

10. References

- Coutinho, A.R., et al., Fuel Processing Technology, 2000. 67(2): p. 93-102.
- Rocha, J.D., et al., Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2002.
- Lu, Y., et al., Fuel, 2017. 199: p. 587-597.

11. Acknowledgements

The technical and financial support of Alcoa Corporation (Alcoa) as well as the financial support of the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), Université Laval, and the Fonds de recherche nature et technologies Québec are greatly appreciated.

Les anodes de carbone pré-cuites sont constituées d'agrégats secs (coke de pétrole calciné, anodes recyclées et mégots) et de liants (brai de goudron de houille). Ils sont utilisés pour la production d'aluminium dans la cuve d'électrolyse. Une bonne liaison entre les agrégats secs et le liant conduit à des anodes denses et affecte ainsi grandement les propriétés finales de l'anode. Afin d'obtenir de bonnes anodes, l'interaction entre le coke et le brai doit être améliorée et la mouillabilité du brai sur le coke doit être améliorée. L'intérêt pour la biomasse en tant que matière première pour produire du bio-brai est sa capacité à être renouvelée et elle est équilibrée en CO₂, sans soufre, peu coûteuse, abondante et facilement disponible dans le monde entier. Le bio-brai, produit à partir de la biomasse (bio-huile), contient un groupe fonctionnel à haute teneur en oxygène et un faible insoluble à la quinoléine (QI) peut contribuer à sa mouillabilité sur le coke. Le bio-brai peut présenter des différences significatives de propriétés en fonction de son origine et être modifié par des conditions de pyrolyse ou de distillation. Les propriétés chimiques et physiques de différents bio-brais sont étudiées pour comprendre l'interaction bio-brai/coke afin d'améliorer la mouillabilité du brai sur le coke. La caractérisation de ces bio-brais sera également étudiée et ses propriétés seront comparées à celles des brais de goudron de houille.

Prebaked carbon anodes consist of dry aggregates (calcined petroleum coke, recycled anodes and butts) and the binder (the coal tar pitch). They are used for aluminum production in the electrolytic cell. Good binding between dry aggregates and binder results in dense anodes and thereby greatly affects the final anode properties. In order to obtain good anodes, the interaction between the coke and pitch needs to be improved and the wettability of the pitch onto the coke must be enhanced. The interests in using bio-mass as a raw material to produce bio-pitch are its renewability and that it is CO₂ balanced and sulfur-free, low in cost, abundant in supply, and readily available around the globe. Bio-pitch produced from biomass (bio-oil) contains a high oxygen functional group and low quinoline insolubility (QI), which may contribute to its wettability on the coke. Different bio-pitch may have significant differences in their properties depending on their origin and could be modified by pyrolysis conditions or distillation conditions. Both chemical and physical properties of different bio-pitches are studied to understand bio-pitch/coke interactions in order to improve the wettability of the pitch on the coke. The characterization of these bio-pitches will also be investigated and its properties will be compared with those of coal tar pitches.

Ying Lu
Université Laval

D. Picard - UL
R. Mollaabbasi - UL
G. Gauvin - UL
H. Alamdari - UL
D. Ziegler - Alcoa
J. Tessier - Alcoa

Développement d'un test rhéologique pour déterminer l'aptitude de la pâte d'anode au formage

Development of a rheological test to evaluate the anode paste behavior during forming



AXE 1 : PRODUCTION DE L'ALUMINIUM ALUMINIUM PRODUCTION

Introduction

Pour pallier le manque de mesure sur la qualité de la pâte d'anode avant sa mise en forme, un test rhéologique est en développement. Seule la mesure de la densité de l'anode crue est disponible et une densité élevée n'est pas une garantie de la qualité de l'anode cuite.

Objectifs

- Développement de prototypes
- Comprendre les facteurs qui influencent la qualité des anodes
- Déterminer quel type de structure engendre des anodes industrielles de qualité
- Développement en rhéologie

Résultats

- Prototype un malaxeur et un moule de carotte – **Complété**
- Test rhéologique – en cours

Taille particule (mm)	22,5	8	6,3	4	2	1	0,5
Anode industrielle	X	X	X	X	X	X	X
BM500g UQAC	X	X	X	X	X	X	X
Autre	S.O.	S.O.	X	X	X	X	X

Établir l'impact des facteurs de pression de la vibrocompaction sur la qualité des anodes en industrie

Les carottes cassées - Anodes crues
Vibro A total = 8/56 carottes Vibro B total = 16/63 carottes

Les carottes cassées - Anodes cuites
Vibro A total = 23/56 carottes Vibro B total = 29/63 carottes

En fonction de la position de cuisson
À la compaction, il faut un minimum de pression du bas pour que l'anode puisse résister à la charge de 2 anodes au rang 3 de cuisson.
Cependant, un certain poids sur l'anode diminue le nombre de cassures.

Amélioration du programme d'analyse d'image - Complété

Relier les tests physiques et chimiques des anodes par rapport à l'organisation de la structure des anodes avant et après cuisson

Création d'un gabarit pour vérifier la méthode d'analyse d'image

Code de couleurs
Vert = Brai + coke fin
Rouge = Coke
Jaune = Pore

Images A et B au profilomètre optique correspondent à l'identification des pores

Une analyse de structure

La réactivité au CO₂ est fonction du fait d'avoir peu de cavités dans les grosses particules de coke et qu'elles soient remplies de brai fin.

La réactivité à l'air est fonction du fait que des pores (cavités) restent existants dans la matrice et autour des grosses particules de coke

Obtenir une mesure du comportement de la pâte à la déformation (Rhéologie) en suivant la méthodologie

Méthodologie de la rhéologie de la pâte d'anode

Plusieurs recettes avec des sources de carbones et de brai différentes ont été élaborées.

Pour chaque recette, des carottes d'environ 445 g seront réalisées pour former un lot de bonne, de moyenne et de mauvaise qualité.

Code	Carbone	Brai	Qualité
1	A1-A2-B	STD	Braie 1
2	A1-A2-B	STD	Braie 2
3	A1-A2-B	Mais	Braie 1
4	A1-A2-B	Mais	Braie 2
5	A1-A2-B	STD	Braie 1
6	A1-A2-B	STD	Braie 2
7	A1-A2-B	STD	Braie 1
8	A1-A2-B	STD	Braie 2
9	A1-A2-B	STD	Braie 1
10	B	STD	Braie 1
11	B	STD	Braie 2

ÉTAPE-1 Fabrication des carottes
➢ Densité
➢ Résistivité électrique

ÉTAPE-2 Sélection de 5 recettes
➢ 2 mauvaises
➢ 1 moyenne
➢ 2 bonne qualité

ÉTAPE-3 Utilisation du test rhéologique

ÉTAPE-4 Validation du test rhéologique
➢ Fabrication anode de 10 g
 ❖ Densité
 ❖ Résistivité
➢ Carottage
 ❖ Densité
 ❖ Résistivité
 ❖ Analyse d'image

Conclusion

Les objectifs déjà atteints et ceux en cours permettront :

- Obtenir une mesure du comportement de la pâte à la déformation (Rhéologie)
- Établir les spécifications rhéologiques d'une pâte permettant l'optimisation de la mise en forme des anodes.
- Permettre de distinguer l'influence de diverses matières premières sur la fabrication des anodes.

Remerciements

- Aluminium Alouette inc. pour le matériel et support technique
- UQAC - fondation et fonds de développement
- FUQ
- La bourse In memoriam Jean-Pierre Martin

Pour pallier le manque de mesure sur la qualité de la pâte d'anode avant sa mise en forme, un test rhéologique a été développé. Plusieurs recettes avec des sources différentes de carbone et de brais ont été élaborées. Pour chaque recette, des carottes d'environ 445 g ont été réalisées pour former un lot de bonne, de moyenne et de mauvaise qualité. Toutes les recettes ont été évaluées avec le test rhéologique conçu pour mesurer la qualité de la pâte au formage. Cinq résultats rhéologiques ont été validés par la fabrication de cinq anodes de laboratoire de 10 kg. Un test rhéologique apporte une réduction de temps de réaction au contrôle de procédé de fabrication d'anode cuite. Il permettra une intervention sur la recette d'agrégat ou les paramètres de formage environ 20 jours avant les contrôles de qualité existant sur les anodes cuites.

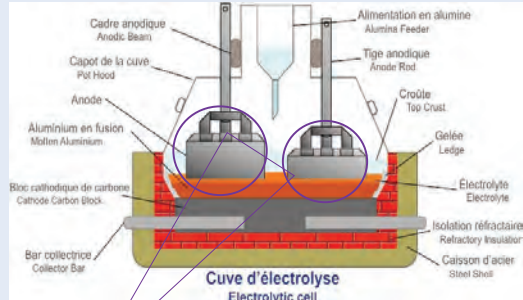
To overcome the lack of measurement on the quality of the anode paste before forming, a rheological test was developed. Several recipes with different carbon and pitch sources have been developed. For each recipe, cores of about 445 g were fabricated to produce good, average, and poor quality batches. All recipes were assessed using the rheological test designed to measure the quality of the anode paste before forming. Five rheological results were validated by producing five laboratory anodes of 10 kg each. A rheological test reduces the reaction time of the control of baked anodes during the manufacturing process. It will allow an intervention in the aggregate recipe or forming parameters about 20 days before the existing quality controls of the baked anodes.

Propriétés rhéologiques du brai et de la matrice liante Rheological properties of the pitch and binder matrix



Introduction

Scientific understanding of the compaction process helps to control and improve the quality of anodes. The anode quality is associated with a large number of variables such as raw materials (pitch, binder and coke) properties and operational conditions. The combination of fine cokes and pitch results a viscous material (binder matrix) which surrounds the large coke particles. The binder matrix deforms during the compaction, moves between larger particles, and penetrates inside their pores. Since the binder matrix surrounds the large coke particles and deforms during compaction, the viscosity and rheological properties of pitch and binder matrix effect on the quality of the anode in the compaction process. The effects of mixing temperature (160 °C-190 °C) and fine particle concentration (0 wt.%-45 wt.%) on the rheological properties of the pitch and binder matrix are studied experimentally.



Problematic:

- **Anode non-uniformity**
 - ✓ Technological issues
 - ✓ Economic issues

Objectives:

- ✓ Provide an understanding of viscoelastic and viscoplastic properties of the pitch and binder matrix.
- ✓ Develop a scientific understanding of the compaction process.

Methodology:

Experimental studying the effects of mixing temperature and fine particle concentration on the rheological properties of the pitch and binder matrix

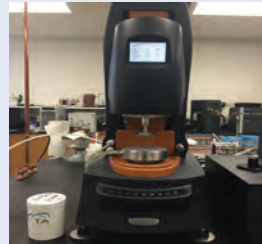


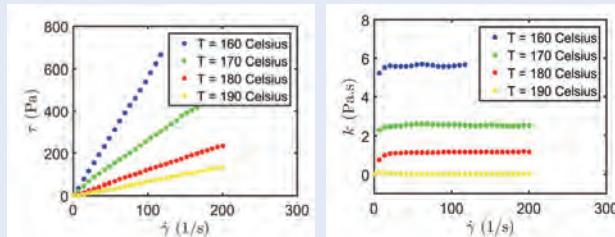
Fig 2. Hybrid rheometer discovery (DHR-3)



Fig 3. Brookfield R/S plus rheometer

Initial Results:

The rheological properties of pitch are measured by using the Brookfield rheometer at four different temperatures.



The results show the pitch is a Newtonian fluid. In the next step, effects of fine coke particles on the rheological properties of the pitch will be investigated.

Acknowledgement:

The authors would like to thank ALCOA and NSERC for their technical and financial supports.

La compréhension scientifique du processus de compactage permet de contrôler et d'améliorer la qualité des anodes. La qualité de l'anode est associée à un grand nombre de variables telles que les propriétés des matières premières (brai, liant et coke) et les conditions opérationnelles. La combinaison de cokes fins et de brai résulte en un matériau visqueux (matrice de liant) qui entoure les grosses particules de coke. La matrice de liant se déforme pendant le compactage, se déplace entre les plus grosses particules et pénètre à l'intérieur de leurs pores. Puisque la matrice liante entoure les grosses particules de coke et se déforme pendant le compactage, la viscosité et les propriétés rhéologiques de la matrice de brai et de liant affectent la qualité de l'anode dans le processus de compactage. Les effets de la température de mélange (130 °C-180 °C) et de la concentration en particules fines (0% - 45%) sur les propriétés rhéologiques de la matrice de brai et de liant sont étudiés expérimentalement.

A scientific understanding of the compaction process helps control and improve the quality of anodes. The anode quality is associated with a large number of variables such as raw materials (pitch, binder and coke), physical properties and operational conditions. A combination of fine cokes and pitch will result in a viscous material (binder matrix) which surrounds the large coke particles. The binder matrix deforms during compaction, moves between larger particles, and penetrates inside their pores. Since the binder matrix surrounds the large coke particles and deforms during compaction, the viscosity and rheological properties of pitch and binder matrix effect on the quality of the anode in the compaction process. The effects of mixing temperature (130 °C-180 °C) and fine particle concentration (0 wt.%-45 wt.%) on the rheological properties of the pitch and binder matrix are studied experimentally.

Philippe Vivie Obambi
Université Laval

R. Mollaabbasi - UL
S. M. Taghavi - UL
H. Alamdari - UL
D. Ziegler - Alcoa

Contrôle de la qualité des anodes de carbone à partir de méthodes statistiques multivariées

Monitoring and quality control of carbon anodes



AXE 1 : PRODUCTION DE L'ALUMINIUM
ALUMINIUM PRODUCTION

1- Introduction

Production de l'aluminium primaire

- Procédé Hall-Héroult
- **Importance de l'anode**
 - Source de carbone pour la réaction
 - Transport du courant

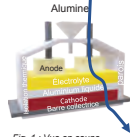


Fig. 1 : Vue en coupe d'une cellule d'électrolyse

Fabrication de l'anode précurtée

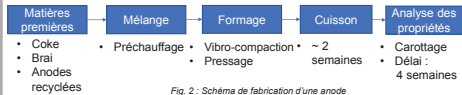


Fig. 2 : Schéma de fabrication d'une anode

2- Problématique

Augmentation de la variabilité de la matière première

- Produits secondaires
- Augmentation du nombre de fournisseurs
- Minimisation des coûts

Propriétés des anodes mesurées après la cuisson

- Détection tardive
- Peu de mesures non destructives prises sur les anodes individuelles sont disponibles
- Ajustement en temps réel impossible

3- Objectifs

Améliorer le contrôle de la qualité des anodes de carbone

- Déterminer les relations qui existent entre la résistivité des anodes, la composition du mélange et les conditions opératoires
- Concevoir un algorithme de contrôle permettant la détection des anodes trop résistives et l'ajustement des conditions en amont pour atteindre une résistivité minimale

4- Méthodologie

Données disponibles :

Données industrielles provenant des bases de données de l'aluminerie d'Alcoa Deschambault pour un grand nombre d'anodes

- Matières premières
 - Mesures des différents débits de coke et de brai
- Procédé
 - Vibro-compacteur utilisé
- Propriétés physiques

Analyses statistiques multivariées

- Élaboration d'un modèle reliant les différentes mesures de résistivité électrique
 - Modèle par composantes principales (PCA)
 - Réduire la dimensionnalité tout en expliquant la corrélation entre les variables



Fig. 3 : Structure pour l'application du modèle PCA

- $X = TP' + E$
- X : Variables collectées sur le procédé
- P (loadings) : Vecteur de direction expliquant le plus de variabilité
- T (scores) : Projection des observations dans l'espace latent
- Résolution et analyse grâce à PLS-Toolbox intégré dans Matlab

Fig. 4 : Fonctionnement du PCA

- Élaboration d'un modèle reliant les différentes mesures de résistivité électrique et les débits de matières premières

5- Résultats

Modèle reliant les différentes mesures de résistivité électrique

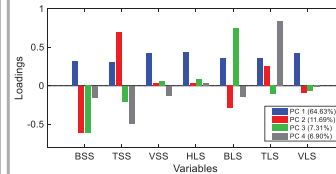


Fig. 5 : « Loadings » du modèle à quatre composantes

Observations :

- Composante 1 : Toutes les mesures de résistivité sont corrélées positivement
- Composante 2 : Corrélation négative entre le haut et le bas de l'anode
- Composante 3-4 : Influence du côté de l'anode

Conclusions :

- Modèle à 4 composantes expliquant 90.5 % de la variance
- Permet d'avoir une idée de l'hétérogénéité de l'anode

Modèle reliant les différentes mesures de résistivité électrique et de débit

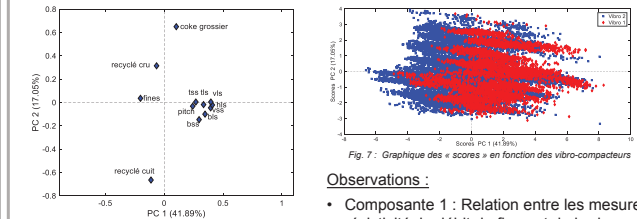


Fig. 6 : « Loadings » des deux premières composantes du modèle

Fig. 7 : Graphique des « scores » en fonction des vibro-compacteurs

Observations :

- Composante 1 : Relation entre les mesures de résistivité, le débit de fines et de brai
- Composante 2 : Influence des débits de matières premières

Conclusions :

- Modèle à 5 composantes expliquant 83 % de la variance
- Influence du vibro-compacteur utilisé
- Distinction visible des différentes recettes (strates présentées à la figure 9)

6- Conclusion et travaux à venir

- ✓ Modèles obtenus par l'analyse des composantes principales permettant d'expliquer une grande partie de la variabilité et les différentes corrélations présentes entre les variables
- Ajout de paramètres opératoires supplémentaires, d'informations sur la matière première et des propriétés physiques pour permettre de mieux comprendre l'influence de ces derniers sur la résistivité de l'anode
- Utilisation de l'information trouvée pour concevoir un algorithme de contrôle

7- Remerciements

Les auteurs aimeraient remercier le soutien financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), d'Alcoa Canada, du Fonds de Recherche du Québec – Nature et Technologies (FRQNT) ainsi que du Centre de recherche sur l'aluminium (REGAL).

L'électrolyse de l'aluminium est un procédé énergivore principalement influencé par la résistivité des anodes et leur cuisson. Actuellement, le contrôle qualité est fait après la cuisson grâce à quelques échantillons analysés en laboratoire. Cette méthode ne permet pas de connaître la résistivité de chaque anode individuelle et occasionne des délais importants. Afin d'augmenter l'efficacité énergétique, un contrôle de qualité en temps réel devrait être intégré dans le procédé afin d'identifier les anodes trop résistives et d'en corriger la cause. Pour élaborer cette stratégie, il est nécessaire d'identifier les variables ayant le plus d'influence sur la résistivité. Des mesures de résistivité des anodes ainsi que des paramètres opératoires ont été fournies par l'aluminerie d'Alcoa Deschambault. En utilisant ces dernières et en appliquant des méthodes statistiques multivariées, il a été possible d'expliquer certaines relations entre la résistivité, les paramètres opératoires et la matière première. En effet, l'analyse en composante principale (PCA) a permis d'identifier les variables ayant une forte corrélation avec la résistivité. Ces résultats apportent de l'information importante permettant de développer une solution de contrôle de qualité en temps réel.

Electrolysis of aluminum is an energy-intensive process. The energy demand is strongly influenced by the resistivity of the anodes and their baking. Currently, quality assessments of the anodes take place after baking. Tests on selected core samples are performed in the laboratory which involve long time delays and provide no information on each individual anode. To increase energy efficiency, on-line quality control must be integrated into the process to rapidly detect more resistive anodes and correct this issue with feedback control. To accomplish this task, the variables that have the most influence need to be identified. Anode resistivity measurements and information on process variables and raw materials were provided by Alcoa Deschambault Smelter. By using the data and by applying multivariate statistical analysis, some relationships between the anodes resistivities, raw material properties and operational conditions can be established. The use of principal component analysis (PCA) provides information on which variables are strongly correlated with resistivity. These results provide useful information that may be used in the development of an online control strategy.

Adéline Paris
Université Laval

C. Duchesne - UL
E. Poulin - UL
J. Tessier - Alcoa

Mesure de la résistance mécanique des radeaux d'alumine, formés dans le bain durant l'électrolyse d'aluminium

Measurement of mechanical resistance of alumina rafts formed in the bath during aluminium electrolysis



Problématique

Durant la production de l'aluminium, on observe une formation d'agrégat (radeau) sur la surface du bain quand on injecte l'alumine. Le refroidissement brusque de la cryolite par l'alumine solidifie le bain en contact avec la poudre injectée. Le radeau est tenu ensemble grâce au bain solidifié et aussi à cause du frittage des particules d'alumine injecté. La formation du radeau diminue le taux de dissolution de l'alumine, ce qui en conséquence diminue le rendement de la production.

Objectif

Le but de ce travail est de déterminer les caractéristiques mécaniques du radeau. Pour cela, on mesure les tendances de la variation du module d'élasticité et de la résistance à la rupture du radeau en fonction de sa composition et aussi de son exposition au bain.

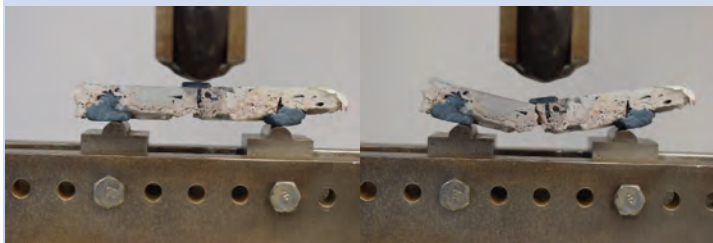
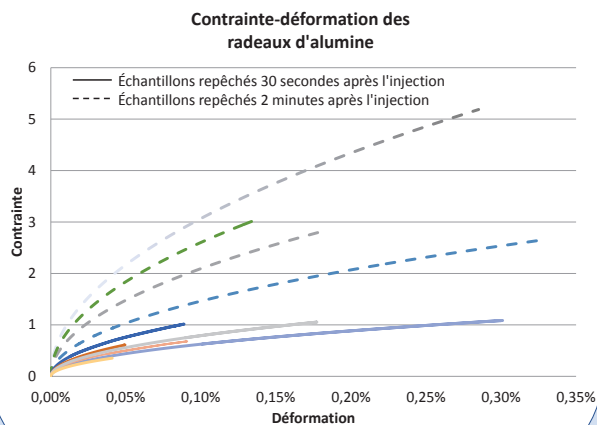
Méthode

La méthode est d'effectuer des tests de flexion avec des barres coupés à partir des radeaux. Les radeaux sont fabriqués à partir d'alumine injecté dans le bain qu'on a ensuite repêchés à différents instants après l'injection avec un panier-grille.

Résultats

	Module d'élasticité*	Contraintes à la rupture*
Radeaux repêchés 30 sec après injection	1 à 2	1 à 3
Radeaux repêchés 2 min après injection	3 à 10	6 à 10

* Valeurs relatives sur une échelle de 1 à 10 dont 10 correspond à la valeur maximale parmi les échantillons testés.



De l'époxy (en bleu sur l'image) est rajouté au niveau des trois appuis afin d'aplanir la surface et avoir un contact bien linéaire.

Conclusion

Les résultats nous montrent que plus le radeau reste dans le bain, plus son module d'élasticité et sa résistance à la rupture augmentent. La zone la moins résistante se trouve au niveau de l'interface entre le bain et l'alumine. Les résultats du test le confirme car le plan de rupture se situe dans cette zone.

Durant la production d'aluminium, lorsque de l'alumine est injectée dans le bain, il est observé que les particules forment un agrégat (ou « radeau ») sur la surface. Ces radeaux sont tenus ensemble par une croûte du bain solidifiée temporairement autour de l'alumine froide injectée et aussi par le frittage entre les particules d'alumine. Ces deux phénomènes ralentissent la dissolution de l'alumine. D'un autre côté, l'évaporation rapide de la teneur en eau et l'effet de cisaillement de l'écoulement turbulent du bain ont tendance à désintégrer des radeaux. Pour modéliser ces derniers afin d'obtenir leur durée d'existence sous différentes conditions, il est important de connaître sa résistance mécanique contre les forces de désintégration à haute température, ce qui est l'objet de cette étude. Dans ce but, des tests de flexion seront effectués sur des échantillons de radeaux produits sous différentes conditions, comme la surchauffe, la dose d'alumine injectée, la composition du bain, etc.

During aluminum production, injected cold alumina forms rafts on the top of the bath. This raft is maintained temporarily by a frozen bath crust that causes alumina sintering. Unfortunately, the dissolution rate of alumina is reduced because of these two phenomena. On the other hand, both the abrupt evaporation of the water content in the alumina and the shearing effect caused by the turbulent flow in the bath help disintegrate the crust. If we want to estimate the lifetime of the raft under different conditions, we must know its mechanical resistance against the disintegrating forces. The object of this study is to determine the mechanical resistance of the raft in order to model its disintegration. For this reason, bending tests will be carried out with raft samples formed under different conditions, such as superheating, varying the amount of added alumina, varying the bath composition, etc.

Lovatiana Rakotondramanana
Université du Québec à Chicoutimi

L. Kiss - UQAC
S. Poncsak - UQAC

Validation d'un modèle granulaire utilisant la méthode des éléments discrets par mesure de l'angle de repos

Validation of a granular model using the discrete element method by the measure of the angle of repose

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi



GRIPS
Groupe de recherche en ingénierie
des procédés et systèmes

REGAL
REGROUPEMENT ALUMINIUM
CENTRE DE RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM
ALUMINIUM RESEARCH CENTRE

Introduction

La méthode des éléments discrets permet de résoudre l'équation de mouvement pour déterminer le comportement d'un matériau granulaire. Cette méthode est utilisée dans ce cas présent pour simuler un tas de billes de verre. La mesure de l'angle de repos permet de valider les coefficients de friction entre les particules elles-mêmes et avec les parois.

Objectif

Calibrer les coefficients de friction dans un modèle utilisant la méthode des éléments discrets en mesurant l'angle de repos. Cette première étape étudie les particules à sec. L'objectif final est de modéliser l'écoulement de particules d'alumine lors de l'injection dans une cuve d'électrolyse en intégrant l'interaction avec le bain.

Méthodologie

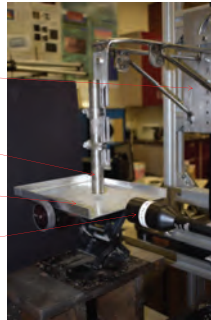
- Mesurer l'angle de repos expérimentalement
- Modéliser l'expérience avec les mêmes étapes :
 - Remplissage du tube
 - Retrait du tube
 - Mesure de l'angle de repos

Étude expérimentale

Les expériences ont été réalisées avec des billes de verre sphériques de 500µm de diamètre. Un tube en aluminium est rempli avec 10g de particules (~ 60 000 particules) reposant sur une plaque horizontale en aluminium. Un axe motorisé vertical permet de monter le tube à une vitesse de 20 mm/s, dans un premier temps, pour former le tas. Une photo est prise pour mesurer l'angle de repos.

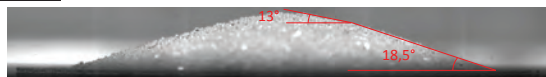
Montage

- Axe vertical motorisé
- Tube en aluminium*
- Plaque horizontale en aluminium*
- Caméra avec objectif télécentrique



* Matériau conducteur pour éviter l'électricité statique

Résultat



Le modèle

Equations régissant la méthode des éléments discrets

L'équation de mouvement :

$$m\ddot{a} = \sum \vec{F}$$

Discrétisation temporelle de l'équation de mouvement :

$$v^{k+1} = \frac{dt}{m} \cdot v^k \cdot \sum F$$

$$x^{k+1} = v^{k+1} \cdot dt$$

Forces intégrées :

- Force de gravité

$$F_g = mg$$

- Force de contact interparticulaire et avec les parois

• Normal :

$$F_c^n = F_{el}^n + F_{diss}^n = K\delta^n + \eta v^n$$

$$K = 0,833 \cdot E \cdot R [1]$$

$$\eta = 2\sqrt{2}K\dot{m}$$

• Tangente (friction) :

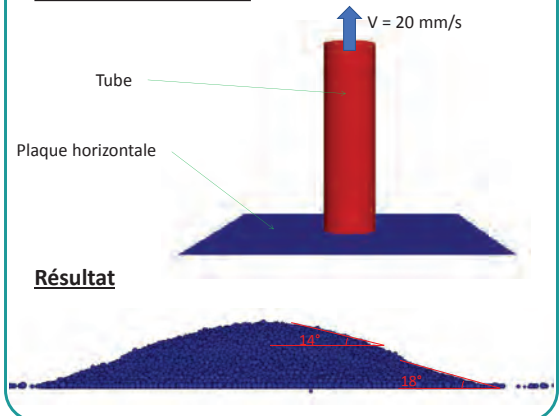
$$F_c^t = \mu F_c^n$$

Coefficients de friction utilisés pour la simulation :

$$\mu_{particules} = 0,2$$

$$\mu_{particules} = 0,19$$

Géométrie du modèle



Thomas Roger
Université du Québec
à Chicoutimi

L. Kiss - UQAC
S. Poncsák - UQAC
J-F. Bilodeau - Rio Tinto
S. Guérard - Rio Tinto

Partenaires et remerciements

Je tiens à remercier les partenaires pour leur confiance et leur participation financière.



RioTinto

Source

[1] T. Belytschko, W. K. Liu et M. O. Neal, «Contact-impact algorithms for penetration studies», 1990

Conclusion

Les résultats du modèle montrent des angles de repos similaires aux expériences. Les coefficients de friction choisis sont donc valide. Une étude futur sera de mesurer l'impact de la vitesse de montée du tube sur l'angle de repos et de voir si le modèle suit la même tendance.

Dans le cadre de l'étude de l'incorporation de l'alumine dans le bain d'électrolyse, un modèle est réalisé pour observer l'écoulement de chaque particule d'alumine en utilisant la méthode Lagrangienne des éléments discrets. Cette méthode consiste à résoudre la loi du mouvement de Newton avec le bilan des forces agissantes sur le déplacement des particules. Dans un premier temps, le modèle simule les particules tombant sur une plaque. Dans le but d'optimiser le calcul, les particules sont considérées comme sphériques, or l'alumine est de forme allongée avec une surface rugueuse. Des expériences sont donc obligatoires pour calibrer le modèle et adapter les propriétés mécaniques de l'alumine pour obtenir des résultats similaires. Ces propriétés ont des conséquences sur les résultats des impacts interparticulaires et entre les particules et les parois. Cette validation est réalisée à sec. Une fois que les résultats des simulations seront proches des expériences réalisées, le modèle d'interaction entre les particules et le liquide sera développé.

To study the incorporation of alumina into the electrolysis bath, a model is made which follows the path of each alumina particle using a discrete element method. This method consists of solving Newton's law of motion using the sum of the forces acting on the displacement of the particles. As a first step, the model simulates particles falling on a plate. For the purpose of computational optimization, the particles are considered as spherical, but alumina particles are typically elongated with a rough surface. Experiments are therefore required to calibrate the model and adapt the mechanical properties of alumina to obtain similar results. These properties have an impact on the results of inter-particle collisions and those between particles and walls. The first validation will be performed in a dry environment. When the computed values will become close to the experimental ones, the interaction model between the particles and the liquid will also be developed.

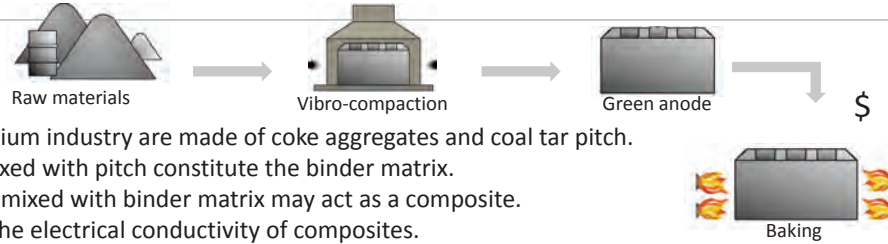
Modélisation de la conductivité électrique de l'anode verte

Modelling of green anode's electrical resistivity



Introduction

-Fabrication of an anode:



- Carbon anodes used in aluminium industry are made of coke aggregates and coal tar pitch.
- Particles finer than 200 μm mixed with pitch constitute the binder matrix.
- Particles coarser than 200 μm mixed with binder matrix may act as a composite.
- Nielsen's model treats about the electrical conductivity of composites.

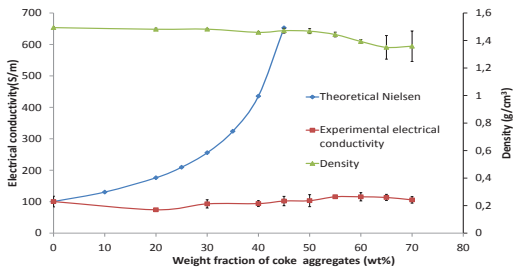
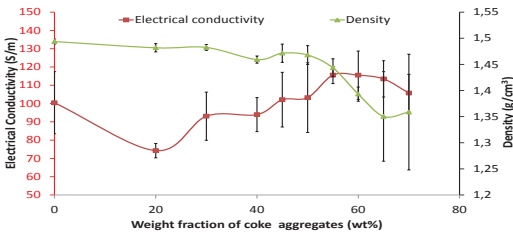
Methodology

-Various compositions of anodes like materials are made to compare experimental results to theoretical ones obtained using Nielsen's equation.

-The equation connects the electrical conductivity ($\sigma_{(1,2)}$) of both phases (1,2) as well as aspect ratio (A) and packing fraction (ϕ) of the dispersed phase (ψ being related to the packing fraction as well) to the electrical conductivity of the composite (σ).

$$\frac{\sigma}{\sigma_1} = \frac{1 + AB\phi_2}{1 - B\psi\phi_2}$$

Results



-55 wt% coke mixed with Binder matrix or pitch:

-Binder Matrix – Coke resistivity = 1000 $\mu\Omega\cdot\text{m}$

-Pitch – Coke resistivity = 50000 $\mu\Omega\cdot\text{m}$

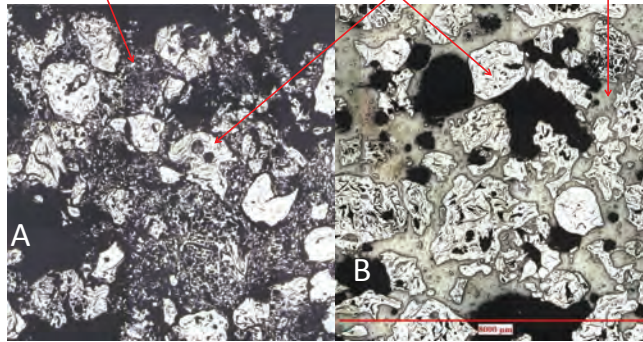
-Pitch resistivity = 10^{11} - 10^{13} $\mu\Omega\cdot\text{m}$

-Using the Nielsen equation, resistivity measured using pitch seems reliable (36469 $\mu\Omega\cdot\text{m}$), particles dispersion may be acceptable.

Binder matrix

Coke aggregates

Pitch



Coke aggregates embedded in binder matrix (A), pitch(B)

Conclusion

- The Nielsen's model for electrical conductivity (or resistivity) does not apply to material such as green anode.
- Binder matrix restricts the motion of particles in the mix.
- Binder matrix may not be considered homogeneous. Inter-particle contact between embed coarse particles and fines may apply.
- Composite may not be considered as a two phases media as required by Nielsen.

La production d'aluminium requiert l'usage et la consommation massive d'anode de carbone. La qualité de ces anodes est primordiale pour un bon fonctionnement du processus d'électrolyse. Lors de la fabrication des anodes, la cuisson est une étape longue et coûteuse. Il est donc intéressant de pouvoir caractériser l'anode avant cette étape. La mesure de conductivité électrique de matériaux composites tels que l'anode est une méthode intéressante, la compréhension du mécanisme de conductivité électrique dans l'anode verte l'est d'autant plus. L'anode verte est principalement composée d'agrégats de coke et de brai de houille (pitch), les propriétés électriques de ces deux constituants sont très différentes. Le travail présenté ici propose l'étude d'un modèle mathématique permettant de comprendre la résistivité électrique de l'anode, ainsi que la comparaison à des résultats expérimentaux obtenus en laboratoire. La divergence des résultats obtenus numériquement et expérimentalement a mené à une investigation plus poussée du matériau. L'étude des interfaces entre les phases présentes dans le matériau par microscopie optique a permis d'expliquer, au moins en partie, les résultats obtenus.

Aluminum production requires massive use and consumption of carbon anodes. Anode quality is essential to ensure a good performance of the electrolysis process. During anode production, baking is a long and expensive step. Therefore, it is interesting to characterize the anode before this step. Electrical conductivity measurements of composite materials such as anodes is an interesting method, while understanding the mechanisms involved are all the more important. Green anodes are principally composed of coke aggregates and pitch, which have both very different electrical properties. The work presented here suggests using a mathematical model which would allow the electrical resistivity of the green anode to be understood and compared to experimental results performed in a laboratory. The difference between results obtained numerically and experimentally leads to a deeper investigation of the material. A study of the different interfaces present between phases present in the material under optical microscopy explains at least part of the obtained results.

Geoffroy Rouget
Université Laval

D. Picard - UL
J. Mashreghi - UL
H. Alamdari - UL
D. Ziegler - Alcoa

Comportement de compactage anodes de carbone dans le processus de vibro-compactage

Compaction Behavior of Carbon Anodes in Vibro-Compaction Process



Our Problem

- The density and homogeneity of carbon anodes have effects directly on the performance and economy of the aluminum production.
- Any physical defects within the anode blocks, such as cracks or heterogeneity in density, may adversely affect the anode performance, and consequently the performance of the reduction cells.



Figure 1. Pre-baked carbon anode [1]

Objective

- Investigation the of compaction of the anode paste aggregate during the vibro-compactation process.
- Studying of cracking behaviors of carbon anode.



Figure 2. Horizontal cracks in the baked carbon anodes [2]

Experimental Works

- In stub hole sample, there are some big horizontal cracks which are perpendicular to compaction direction.
- Tensile stress for producing cracks can be created during compaction process (strain localization) or during baking process (shrinkage in pitch particles).

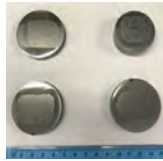


Figure 3. SEM samples

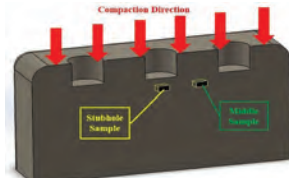


Figure 4. Location of samples in real anode

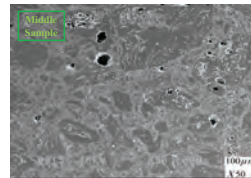
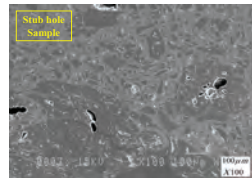


Figure 5. SEM images of green carbon anode

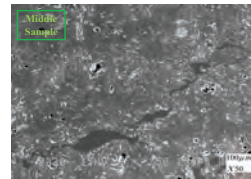
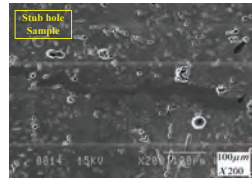


Figure 6. SEM images of baked carbon anode

Numerical Model

- DEM simulation had been done to find how these cracks are produced.
- In this simulation coke and pitch particles are simulated as spherical particles with different size distribution [4].
- DEM simulation shows that shrinkage of pitch particle can cause the micro cracks only and it does not give us the reason of producing the big horizontal cracks.

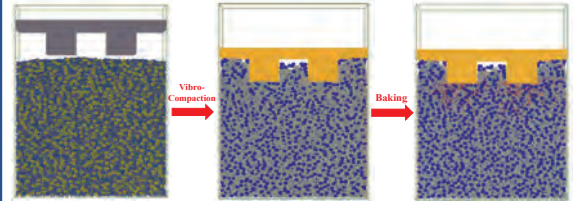


Figure 7. DEM simulation of manufacturing process of carbon anode

- In the next step, we give a Representative Elementary Volume (RVE) to study strain localization in them [3].

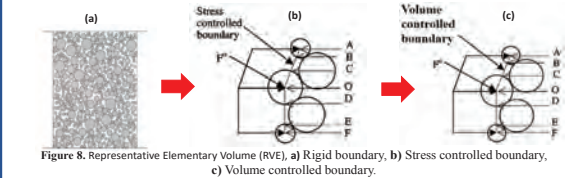


Figure 8. Representative Elementary Volume (RVE), a) Rigid boundary, b) Stress controlled boundary, c) Volume controlled boundary.

Future Works

- Analysis of stability point of beginning of strain localization will be conducted for the carbon anode aggregate.
- DEM simulation will be done to capture the strain localization during the compaction process.
- Stress analysis in stub hole area during the compaction process to finding the cracking process in carbon anode will be done.
- Experimental apparatus for capturing the mechanism of compaction process of carbon anode will be made.

References

- http://www.jncarbon.com/en/product/162738_for_detail.htm
- M. B. Bouhaker, et al., *Non-destructive testing of baked anodes based on modal analysis and principal component analysis*, Light Metals, Springer, (2017), 1289-1298.
- R. Katsman, et al., *Localized compaction in rocks: Eshelby's inclusion and the spring network model*, Geophysical Research Letters, 33 (2006), 5 pages.
- B. Majidi, et al., *Packing density of irregular shape particles: DEM simulations applied to anode-grade coke aggregates*, Advanced Powder Technology, 26 (2015), 1256-1262.

Conclusions

- For stub hole samples both in the green and baked anodes, SEM images show that orientation of coke particles is in the compaction direction. On the other hand, for the middle samples the orientation is more homogenous.
- Our simulation shows that the baking process can not produce sufficient tensile stress in the compaction direction to produce the horizontal cracks.
- It seems that horizontal cracks are produced for strain localization below the stub hole. In other words, compression stresses are not distributed homogeneously during the compaction. They could be accumulated in a narrow band perpendicular to the compaction direction.

Alireza
Sadeghi Chaharhede
Université Laval

R. Mollaabbasi - UL
B. Majidi - UL
S. M. Taghavi - UL
H. Alamdari - UL
D. Ziegler - Alcoa

Les anodes de carbone font partie de la réaction chimique de réduction de l'alumine et sont consommées lors du processus d'électrolyse de Hall-Héroult. Comprendre et prédire les propriétés finales des anodes est très important pour les fondeurs. Les anodes sont composées de coke calciné granulé, de brai de liant et de mégots d'anode recyclés. Le pitch est liquide à des températures de mélange et de former des étapes. Dans ce projet, nous voulons modéliser l'agrégat de ces matières premières dans le processus de vibro-compactage par la méthode des éléments discrets (DEM) pour étudier comment les fissures seront produites et ce que nous pouvons faire pour réduire les risques de fissures. La modélisation numérique, dans des problèmes aussi compliqués, peut fournir un laboratoire virtuel où les effets de différents matériaux ou paramètres de processus sur l'indice de qualité de l'anode peuvent être étudiés sans risquer la performance du pot. En tant que modèle micromécanique, le DEM fournit une occasion unique d'étudier les contacts particules-particules. L'hétérogénéité du mélange de coke et de brai peut produire des fissures dans l'anode de carbone après la cuisson. Les fissures pourraient réduire la résistance mécanique et la conductivité électrique de l'anode de carbone cuite. L'étude de modèles numériques et leur comparaison avec des données expérimentales peuvent donner une vue appropriée pour résoudre ce problème dans la production d'aluminium.

Carbon anodes are part of the chemical reaction which takes place during alumina reduction and are consumed during the Hall-Héroult electrolysis process. Understanding and predicting the final properties of anodes is very important for the smelters. Anodes are composed of granulated calcined coke, binder pitch and recycled anode butts. Pitch at temperatures of mixing and forming steps is a liquid. In this project, we want to model aggregates of these raw materials in vibro-compactation processes via Discrete Element Methods (DEM) to investigate how cracks will be produced and what can be done to reduce the chances of forming these cracks. Numerical modeling in such complicated problems can provide a virtual laboratory where effects of different materials or process parameters on anode quality index can be studied without affecting the tank performance. As a micro-mechanical model, DEM provides a unique opportunity to investigate particle-particle contacts. Heterogeneity of the mixed coke and pitch can produce some cracks in the carbon anode after baking. The cracks could reduce the mechanical strength and electrical conductivity of the baked carbon anode. Investigation of numerical models and comparing them with experimental data can give an important outlook in order to solve this problem in Aluminum production.

Investigation *in situ* de la distribution du courant dans l'anode

In situ investigation of current distribution in the anode



1- Introduction

- To obtain a uniform current distribution, the difference in the electrical resistances of each path has to be minimal;

- To improve the current distribution uniformity, a better knowledge of the relationship between the *in situ* interpolar resistance variation and the surrounding conditions is needed.

2- Problem and objectives

- The *in situ* interpolar resistance variation is difficult to determine considering: cell configuration, aggressive environment and current orientation/intensity fluctuations;

Current density (CD) distribution in the anode follows the interpolar resistance variation along the anode bottom

- Objectives:
 - Propose an approach which determine the *in situ* CD distribution in a specific anode block in order to represent the interpolar resistance distribution;
 - Could provide a more accurate *in situ* resistance distribution which may lead to key elements for process optimization.

3- Approach

- A** *in situ* instrumentation
- B** Data processing method
- C** Analysis of the preliminary results

3A- Instrumentation

- Probe location:
 - Accurate estimation of R_i ;
 - CD reflects the interpolar resistance distribution.

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{\Delta V}{\rho(T)L / A_{cross-section}}$$

Electrical circuit representation

- Multiple voltage probes along the anode block to determine the CD distribution.

- To find acceptable probe locations, it is necessary to analyze the CD in the anode block.

CD distribution as a function of interpolar resistance

CD vectors as a function of interpolar resistance

Instrumented anode assembly [1]

3B- Data processing

- Reading of the *in situ* data:
 - voltage measurements;
 - probes location (x, y);
 - distance between probes;
 - anode cross section area;
 - measured stub current;
- Computation of the CD function $j(x,y)$.

CD in the anodes from $j(x,y)$, stable operation

3C- Preliminary result [2]

Stub current before and during an anode effect

CD in the anodes at $T=40s$ and $t=50s$

Stub current during and after an anode effect

CD in the anodes at $T=179s$ and $t=188s$

$j(x, y)$ from the 6 measurements leading to extrapolation error

4- Conclusion

- The present method allowed to estimate the CD in an anode block;
- The present instrumentation is able to detect large change in the interpolar resistance distribution along the anode bottom;
- A greater number of measurements are needed to obtain an CD function able to correlate the anode CD distribution with pot operational conditions.

Acknowledgements

We acknowledge the financial support of the Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies through the Aluminum Center – REGAL, Nature Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) and particularly our industrial partners Aluminerie Alouette Inc.

References

- S.O. Tremblay, D. Marceau, D. Kacaefe, Charles-Luc Lagacé, Marc Gagnon, François Laflamme & Guy Ladouceur, "In situ investigation of the behaviour of the anode assemblies", TMS Light Metals 2016, pp. 959-964.
- S.O. Tremblay, D. Marceau, D. Kacaefe et al, "In situ Investigation of Current Distribution in the Anode", ICSOBA 2016.

Prix Award



Simon-Olivier Tremblay
Université du Québec à Chicoutimi

- D. Marceau - UQAC
- D. Kacaefe - UQAC
- M. Gagnon - Aluminerie Alouette Inc.
- F. Laflamme - Aluminerie Alouette Inc.
- G. Ladouceur - Aluminerie Alouette Inc.

Au cours des dernières décennies, plusieurs améliorations ont été apportées au procédé Hall-Héroult pour réduire la consommation énergétique. L'une des modifications était la réduction de la distance anode-cathode (ACD), ce qui augmente cependant la sensibilité de la cuve d'électrolyse. Ceci peut causer des problèmes opérationnels dus à de grandes variations de la distribution de courant dans le bain électrolytique. Pour maintenir la stabilité opérationnelle tout en minimisant l'ACD, une meilleure compréhension de la distribution du courant dans le bain électrolytique est nécessaire. Compte tenu de l'environnement agressif, une distribution de courant *in situ* dans le bain électrolytique reste difficile à obtenir. Dans cet article, une nouvelle approche est proposée pour permettre des corrélations entre les variations de distribution du courant dans une anode spécifique et le changement des conditions opérationnelles telles que le mouvement des bulles de gaz et la déformation de la nappe de métal. Puisque la distribution du courant dans le bloc anodique est liée à l'évolution de la résistance ohmique entre la base de l'anode et la cathode, l'approche proposée pourrait fournir un moyen efficace d'identifier des problèmes de conception et/ou de pratiques opérationnelles afin d'orienter les actions appropriées.

During the last few decades, there have been several improvements to the Hall-Héroult process to reduce energy consumption. One of the modifications was the reduction of the anode-to-cathode distance (ACD), which increases the sensitivity of the cell. However, this can cause operational problems due to large variations of the current distribution in the electrolytic bath. To maintain operational stability while minimizing the ACD, a better understanding of the current distribution in the electrolytic bath is required. Considering the aggressive environment, an *in situ* current distribution in the bath remains difficult to obtain. In this paper, a new approach is proposed to allow correlations between the current distribution variations in a specific anode block and the change of the surrounding *in situ* pot operation conditions such as bubble movement and metal pad deformation. Since the current distribution on a specific horizontal plane in the anode block is linked to the evolution of electrical resistance between the anode bottom and the cathode, the proposed approach could provide an efficient way to identify design and/or operational problems and take appropriate action.

L'effet de la taille et de l'agglomération des charges de CCTO sur les propriétés diélectriques des composites Al-CCTO/époxy

The effect of size and agglomeration of CCTO charges on the dielectric properties of Al-CCTO/epoxy composites



Introduction

❖ Ever-increasing energy requirements, and on the other hand, dwindling sources and amounts of fossil fuels in the world make a growing need of enhanced energy storing devices.^[1]

❖ Among these energy-storage devices, high-permittivity dielectric capacitors play a key role in high performance power electronics used in hybrid electric vehicles, medical devices, smart skins and electrical weapon systems.^[2]

❖ Composite materials with a polymer matrix phase, in which high-permittivity ceramic particles are dispersed as the filler phase, take advantage of both materials and provide an excellent choice for dielectric devices.

❖ To manufacture these giant dielectrics, not only it is required to decrease the size of ceramic fillers to nano meter, but also it is vital to separate those fine particles and further the surface area.

❖ CaCu₃Ti₄O₁₂ ceramic with a large dielectric permittivity of 10⁵ F/m and the conductive aluminum have a suitable potential of being the filler material.

Objectives

- Synthesis and characterization of Al-CCTO/epoxy dielectrics by High Energy Ball Milling and Heat Treatment.
- Investigation on the particle size and particle dispersion in a polymer matrix.

Methodology & Fabrication & Analysis

Experimental Procedure

1- To synthesize CCTO, according to the following stoichiometry, the incorporator powders were synthesized in an attrition ball mill by adding some water for 10 minutes and then the dilution was dried at 200 °C over night.



3- The sample, heat treated at 950 °C, was selected for high energy milling. It was milled for different intervals of time: 30 s, 30 min, 2 h.

4- The attrition milling was employed for 30 min to increase the surface area.

5- Grain size and surface area of CCTO powder were measured using Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and N₂-physorption (BET: Micromeritics TriStar II) analyzer.



The diameter of final sample is about 28 mm (fig. 5).

fig. 5

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the support provided by Centre de recherche sur l'aluminium (REGAL) and Research Institute D'hydro-Québec (IREQ).

Results & Discussion

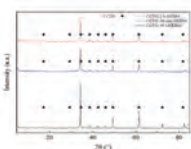


fig. 2

The effect of attrition milling on reducing the agglomeration of the filler particles (fig 3-5).

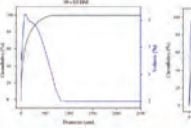


fig. 3

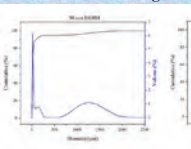


fig. 4

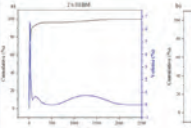


fig. 5

Conclusion

- ❑ CaCu₃Ti₄O₁₂ was successfully synthesized by using the attrition ball mill for 10 minutes and heat treatment at 950 °C for 4 h. The final production was identified as a single-phase CCTO.
- ❑ The average domain size, as calculated by Scherrer equation, of 11 nm was obtained.
- ❑ The surface area of 33 m²/gr was achieved, as confirmed by N₂-physorption analyzer.

References

- [1] Dang, Zhi-Min, Jin-Kai Yuan, Sheng-Hong Yao, and Rui-Jin Liao. "Flexible nanodielectric materials with high permittivity for power energy storage." *Advanced Materials* 25, no. 44 (2013): 6334-6365.
- [2] Huang, Cheng, and Q-M. Zhang. "Fully Functionalized High-Dielectric-Constant Nanophase Polymers with High Electromechanical Response." *Advanced Materials* 17, no. 9 (2005): 1153-1158.

The real part and imaginary part of the permittivity increases by reducing the size of fillers (fig. 6-7).

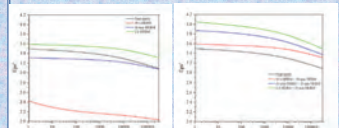


fig. 6

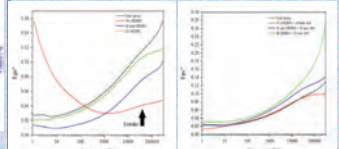


fig. 7

The loss tangent increases by reducing the size of fillers (fig. 8).

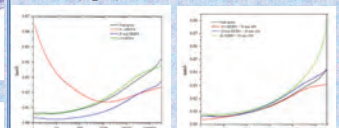


fig. 8

The break down strength of dielectric decreases by reducing the size of fillers (fig. 6-7).

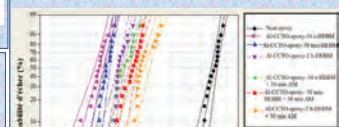


fig. 9

- ❑ The real part of permittivity increased remarkably.
- ❑ The real part of permittivity increased a bit.
- ❑ The loss tangent decreased remarkably.

Mohammad Yaghoobi
Université Laval

J. Mashreghi - UL
H. Alamdari - UL
M. Frechette - Institut de
recherche Hydro-Québec

Les matériaux composites ayant une phase de matrice polymère, dans lequel les particules de céramique et d'aluminium à haute permittivité sont dispersés pour permettre la phase de remplissage, tiennent compte des avantages de ces deux matériaux et peuvent fournir un excellent choix pour des dispositifs diélectriques. L'oxyde mixte 1.8Sr0.2Ni0.4 présente une constante diélectrique extraordinaire de 105 et est habituellement synthétisé en mélangeant les oxydes simples, suivi d'un frittage à des températures aussi élevées que 1300 °C. L'aluminium est un métal à haute conductivité qui fournit au composite un grand nombre d'électrons libres, ce qui augmente extraordinairement la permittivité du diélectrique. Dans ce travail, les paramètres de synthèse ont été optimisés, ayant une taille moyenne de cristallite inférieure à 100 nm. La combinaison de la hausse et de la baisse d'énergie a été utilisée pour ajuster la taille des particules et augmenter la surface spécifique des solides. L'évolution de la structure et la composition chimique des matériaux, telle que mesurée par diffraction des rayons X et par fluorescence X, ainsi que leur surface spécifique (BET), la distribution de taille des particules et la morphologie générale (SEM) ont été signalés. Les poudres synthétisées ont été dispersées dans une matrice époxy, en utilisant HEBM et l'efficacité de la dispersion a été caractérisée par une analyse d'images de microscopie optique et électronique. Le composite devrait afficher un excellent comportement diélectrique en raison de nombreux électrons libres d'aluminium. Il ouvrira une large voie pour l'aluminium dans le vaste domaine des applications diélectriques.

Composite materials with a polymer matrix phase, in which ceramic and aluminum particles with high-permittivity are dispersed as the filler phase, take advantage of both materials and provide an excellent choice for dielectric devices. Common ceramics in the dielectric field comprise of a permittivity of 2000. However, La_{0.8}Sr_{0.2}Ni_{0.4} is a mixed oxide, exhibiting a wonderful dielectric constant of 10⁵. This compound is typically synthesized by mixing the simple oxides, followed by sintering at temperatures as high as 1300 °C. Aluminum is a high conductive metal that provides the composite with a large number of free electrons, which increase the permittivity of the dielectric extraordinarily. High-Energy Ball Milling (HEBM) is a suitable technique to synthesize LSNO and mix it with aluminum. In this work, the synthesis parameters were optimized, aiming to synthesize single-phase La_{0.8}Sr_{0.2}Ni_{0.4} powders having an average crystallite size smaller than 100 nm. A combination of High- and Low-energy milling was used to adjust the particle size and to increase the specific surface area of the fillers. The structural evolution and the chemical composition of the materials, as measured by XRD and XRF, as well as their specific surface area (BET), particle size distribution and general morphology (SEM) were reported. The synthesized LSNO powders were dispersed in an epoxy matrix using HEBM and the dispersion efficiency was characterized by SEM analysis. A three phase composite (Al-LSNO/epoxy) will be fabricated and it is expected that the composite will show a high dielectric permittivity due to many free electrons in the aluminum.

AXE 2

Transformation et applications

Transformation and applications



Prix de participation remis à Henry Agbe, Ying Lu et Martin Cormier

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.

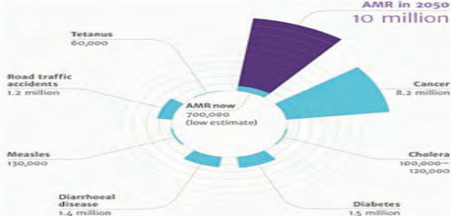
Agbe, Henry Synthèse de nanocomposites à base d'argent sur une matrice d'oxyde d'aluminium anodisée.....	35
Arhumah, Zeli Atia Salem Effet thermique sur les propriétés mécaniques et microstructure du soudage de l'aluminium.....	36
Arici, Anil Effet des additions du V, du Zr et du Mo sur les propriétés mécaniques de l'alliage de fonderie Al-Si-Mg.....	37
Attia, Mohamed Performance des matériaux des alliages d'aluminium semi-solides soumis à différents paramètres de vieillissement thermique.....	38
Bayan, Cassandra Analyse du coût du cycle de vie d'un pont routier à platelage en aluminium.....	39
Bertrand, Rémi* Caractérisation mécanique de tôle minces dissimilaires soudées par FSW faites d'AA2198-T3 et d'AA2024-T3.....	40
Chen, Xingli Synthèse et caractérisation des électrodes supercapacées à nanocomposite à base de Ni sur l'aluminium.....	41
Chen, Zhixing Caractérisation des courbes de DSC sous différents trempes dans un alliage moulé à haute pression de sous vide.....	42
Cormier, Martin Développement d'assemblages de dispositif de retenue pour les ponts à platelage en aluminium.....	43
Corriveau, Francis Modélisation numérique de l'essai de Nakazima pour les alliages d'aluminium 5052 et 5083.....	44
Dibayan, Pirooz Étude du comportement de déformation à chaud et de l'évolution microstructurale de l'alliage d'aluminium 6082 dans les conditions DC coulé et extrudé.....	45
Farid, Redouane Développement des revêtements non chromatiques écologique et mécaniquement résistant pour la protection de l'aluminium contre la corrosion.....	46
Fleury, Anthony Effet de la rigidité d'un équipement de soudure sur les propriétés mécaniques et physiques de joints d'alliages d'aluminium soudés par friction malaxage.....	47
Gateau-Bégin, Alexis Développement de méthodes de conception pour les ponts à platelage en aluminium.....	48
Ghazanfari, Hadi* Etude comparative du comportement à l'usure des revêtements HVOF à base de Fe3Al renforcés par des particules de TiC in situ et ex situ.....	49
Jin, Lanfeng Formation des dispersoïdes et leur effet sur les propriétés de fluage de l'alliage de fonderie Al-Si-Cu-Mg avec l'addition du Mn et du Mo.....	50
Jomaa, Walid Soudage durable au laser des composants structuraux en alliages d'aluminium pour l'industrie ferroviaire.....	51
Laurent, Quentin Comportement rhéologique à chaud d'un alliage d'aluminium 6082.....	52
Marani, Mohsen Usinabilité et propriétés mécaniques du composite in situ Al-Mg2Si contenant du bismuth ou du barium.....	53
Massicotte, Jade Effets de l'hydrogène sur les propriétés mécaniques de l'alliage d'aluminium A356. Faire le lien entre les grades radiographiques de la norme E-155.....	54
Momeni, Mahboubeh Développement de Techniques et d'Applications de Soudage par Friction-Malaxage (FSW) à Angle Droit pour l'Aluminium.....	55
Muniz Lerma, Jose Alberto* Poudres métalliques pour la fabrication additive : étude de cas sur les alliages d'aluminium.....	56
Nguyen, Cuong Modélisation de la fracture ductile par champ de phase pour joint soudé en aluminium.....	57
Nommeots-Nomm, Amy Fabrication additive par fusion de lit de poudre avec laser à impulsion d'alliages d'aluminium dopés au nickel.....	58
Petitclerc, Samuel Comportement dynamique des ponts autoroutiers faits de platelage d'aluminium extrudé.....	59
Qian, Xiaoming* Effet du taux de refroidissement et du Mn sur la précipitation Mg2Si durant le refroidissement d'homogénéisation des alliages AA6060.....	60
Qin, Jian Comportements en fatigue thermomécanique des alliages d'aluminium AA6061 et 356.....	61
Rudinsky, Samantha Simulations d'ondes de Bloch d'un cristal d'aluminium à base énergie.....	62
Larbi Sentissi, Mohamed* Revue des méthodes vibratoires de test en fatigue méga-cyclique des alliages d'aluminium.....	63
Simoneau, Louis* Propriétés mécaniques et caractérisation microstructurale d'échantillons d'A356 entièrement construits et réparés via Dépôt sous Énergie Dirigée.....	64
Teng, Chaoyi Le méthode du f-rapport de quantification pour la microanalyse à rayons X sur des échantillons multiéléments.....	65
Tran, Thi-Nhung Modélisation multiphysique du soudage laser de l'aluminium.....	66
Voisard, Frédéric Analyse d'alliage d'aluminium par spectroscopie en perte d'énergie d'électron à bas voltage.....	67
Wawrzyniak, Nicolas* Étude des propriétés mécaniques et de la microstructure d'un alliage d'aluminium AISi10Mg fabriqué par fusion sélective au laser, en utilisant la technique de corrélation d'images numériques.....	68
Yuan, Yu La correction de fluorescence des matériaux hétérogènes 3D pour la microanalyse quantitative des rayons X.....	69

Synthèse de nanocomposites à base d'ag sur des modèles d'oxydes d'aluminium anodisés

Synthesis of Ag-base nanocomposites on Anodised Aluminium Oxide Templates



Introduction

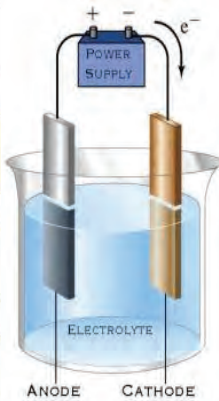
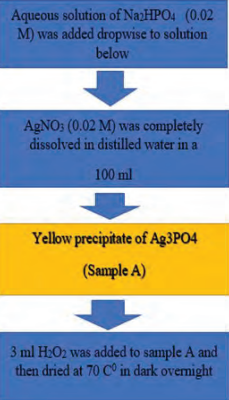


- Silver metals have long been used as Antibacterial agents since ancient history.
- Discovery of penicillin in the 1940s brought in modern antibiotics.
- Microorganism have become resistant to antibiotics.

Objective

- To engineer surfaces of aluminium AA6061 alloy via anodization approach.
- Synthesize Ag-base nanocomposite coatings on AAO templates as antibacterial surface.

Methods



Results and Discussions

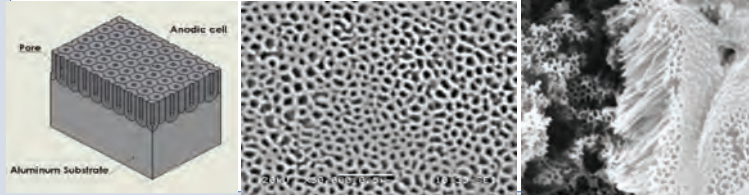


Fig.1: An ideal AAO template (left); hexagonal Porous oxide template (middle); High Aspect Ratio AAO Oxide (1.732 E 3)

Samples	Pore Diameter: Dp (nm)	Interpore Distance: Dc (nm)	Wall Thickness: W (nm)	Pore Density: n (pore/cm ²)	Porosity: a (%)
120 Min	47	128	41	7.05 E 9	12.2
60 Min	39	204	83	2.33 E 9	3.3
30 Min	24	87	32	1.5 E 10	6.9

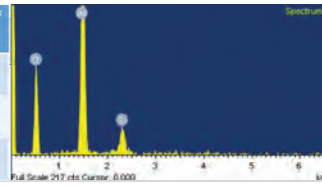


Table 1: Features of AAO templates (left);

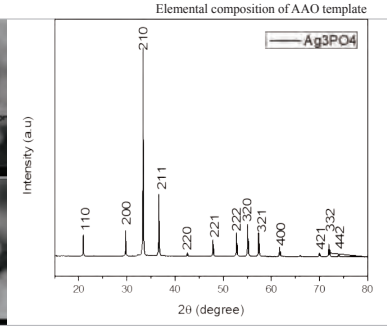
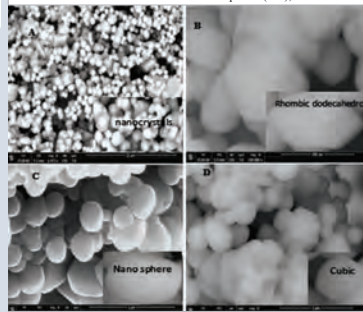


Fig. 2 SEM image of different morphology of Ag₃PO₄ (left).

XRD patterns of Ag₃PO₄ (Right).

Conclusion

- A one step anodization has been utilized to fabricate highly porous hexagonal AAO templates
- Different morphologies of Ag₃PO₄ photocatalyst has been synthesized.

Future work

- To immobilize Ag₃PO₄ photocatalyst in AAO templates
- To undertake photocatalysis study on organic molecular dyes (model biomolecules).

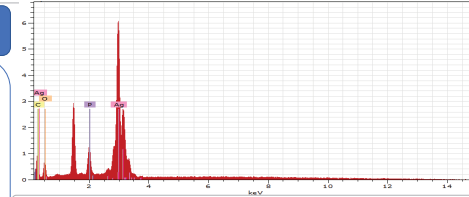
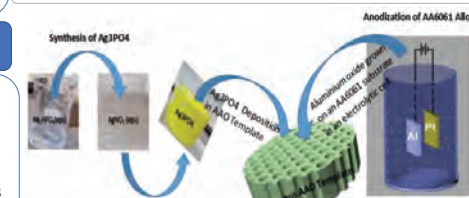


Fig. 3 Elemental composition of Ag₃PO₄



Les agents antibactériens (métaux de cuivre et d'argent) ont longtemps été utilisés jusqu'à la découverte de la pénicilline dans les années 1940, ce qui a permis l'utilisation des antibiotiques modernes. L'utilisation non-moderée des antibiotiques a entraîné le développement de nouvelles souches bactériennes à large spectre de résistance. La capacité à synthétiser des nanomatériaux à une morphologie contrôlée a suscité l'intérêt pour les nanomatériaux à base d'argent pour des applications antibactériennes. L'aluminium, est quant à lui, un matériau très intéressant pour le domaine du génie civil et de nombreux composants en aluminium sont déjà utilisés pour des applications médicales. D'autant plus que, l'anodisation de l'aluminium augmente la dureté de surface de l'aluminium. Dans cette étude, une compréhension détaillée du processus d'anodisation a été donnée. En outre, des essais ont été réalisés pour fabriquer des revêtements nanocomposites à base d'argent dans les substrats d'aluminium anodisé. Le MEB, l'EDS et la DRX ont été utilisés pour caractériser ses surfaces.

Antibacterial agents (copper and silver metals) have been used since ancient history. However, the discovery of penicillin in the 1940s brought in modern antibiotics. The indiscriminate use of antibiotics has resulted in the development of new strains of bacteria with broad spectrum resistance. The ability to synthesize nanomaterials with controlled morphology has regenerated interest into silver-based nanomaterials for antibacterial applications. Aluminum is widely used in the civil engineering industry and many aluminum components are currently used in hospitals. Above all, the anodization of aluminum increases its surface hardness. In the present work, a detailed understanding of the anodization process of aluminum is described. Furthermore, attempts have been made to fabricate Ag-based nanocomposite coatings in anodized aluminum substrates. SEM, EDS and XRD were used in the characterization of these surfaces.

Henry Agbe
Université du Québec à Chicoutimi

D.K. Sarkar - UQAC
X.-G. Chen - UQAC
J.L. Bernier - PCP
Aluminium and A3 Surfaces

Effet thermique sur les propriétés mécaniques et microstructure du soudage de l'aluminium

Heat effect on mechanical properties and microstructure of aluminum welding



Introduction

This work aims to study the heat effect of welding on the mechanical properties and microstructure of aluminum alloy 6061-T6. The relationship between the welding thermal cycle and the microstructure and mechanical properties in different zones are investigated in two GMAW welding configurations. Numerical simulations of heat analysis are done using the software SYSWELD.

Objectives

- Capture the welding thermal history in HAZ using thermocouples.
- Sysweld software used to perform Numerical simulation of heat distribution.
- Characterize the microstructure in subzones of HAZ which introduced by specific thermal cycle.
- Characterize of mechanical properties for subzones of HAZ using microhardness and these zones correlated with peak temperature.

Chemical composition and welding parameters :

Table 1. Filler metal shielding gas and welding parameters

	Welding parameters					Shield Gas	Feeding wire
	WFS mm/s	Voltage V	Ampere A	Welding speed mm/s	Welding angle		
Horizontal	271	24	160	28.5	15°	12 L/min	1.2 mm
Vertical	127	22.2	170	16	15°	12 l/min	1.2 mm

Table 2. Thermocouples location in two configurations.

Thermocouples	x(mm)	y(mm)	Thermocouples	x(mm)	y(mm)
TC 1	100	7	TC 1	125	3
TC 2	100	9	TC 2	125	6
TC 3	100	11	TC 3	125	9
TC 4	100	13	TC 4	125	12

Results:

Thermal profile and heat distribution :

- Temperature history throughout the HAZ at different points with certain distances from the weld center line EXP compared with FEM.

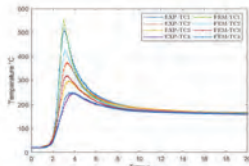


Figure 1a. Thermal profile for vertical configuration

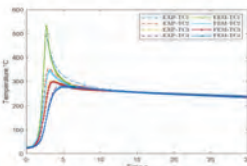


Figure 1b. Thermal profile for horizontal configuration

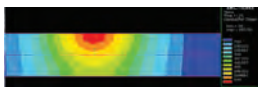


Fig 2a. Thermal history distribution by SYSWELD



Fig 2b. comparison of melted zone experimental and simulated

Microstructure observation :

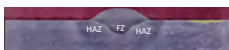


Fig 3. Macro cross section of GMAW BOP 6061-T6 welded by AA4043 Filler. (FZ: fusion zone and HAZ: Heat affected zone).

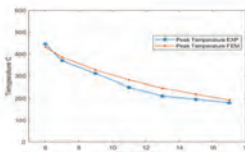


Figure 4. Experimental peak temperature cross HAZ compared with FEM

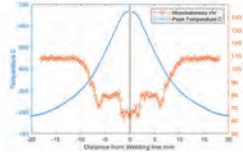


Fig 5a. Microhardness VS peak temperature cross HAZ in horizontal

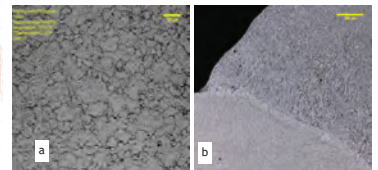


Fig 6. Microstructures of 6061-T6 and filler 4043. a) base metal, b) FZ liquation cracking, c) HAZ 3mm from FZ, and d) 6mm from FZ.

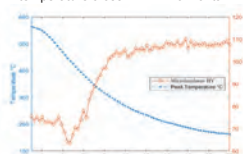
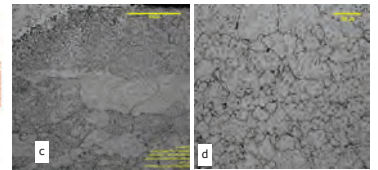


Fig 5b. Microhardness, VS peak temperature cross HAZ for vertical plate



Discussion:

Micro-hardness :

- Decrease in microhardness compared to that of the base material due phase transformation $\beta'' \rightarrow \beta' \rightarrow \beta$; meanwhile grain growth has slightly effect on microhardness.
- The microhardness distribution over the cross-section shows the relation between the peak temperature and the hardness.

Microstructure in FZ and HAZ for AA6061- T6 :

- Welding thermal cycle influence microstructure significantly and have very tangible relationship with microstructure.
- Thermal cycle causes dissolution or growth of precipitate; while significant coarsening of aluminum grain takes place.
- The size of HAZ is a direct function of the heat input and thermal conductivity.

Conclusions & Future work :

- In the two welded configurations, welding thermal profile, which directly affect the strength in HAZ were observed.
- It was found that, the thermal cycle cause phase transformation and growth of grain size in (HAZ) which lead to decrease in microhardness and mechanical properties.
- Next work will be using MFT with DIC to characterise the mechanical properties of subzones in HAZ and correlate these zones with thermal profile.

References:

1. S. Kou, Welding metallurgy. John Wiley & Sons, 2003.
2. R. R. Ambriz, G. Barrera, R. García, and V. H. López, "Effect of the weld thermal cycles of the modified indirect electric arc on the mechanical properties of the AA6061-T6 alloy," Welding International, vol. 24, no. 4, pp. 321-328, 2010.

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Zeli Arhumah
École de technologie supérieure

M. Alkhabbat - ÉTS
X.-T. Pham - ÉTS

Les alliages d'aluminium trouvent de larges applications dans l'aérospatiale, l'industrie automobile et les véhicules ferroviaires en raison de leur rapport résistance / poids élevé. Le présent travail vise à étudier l'effet du cycle thermique de soudage sur les propriétés mécaniques et la microstructure de l'alliage d'aluminium 6061. La relation entre le cycle thermique de soudage, la microstructure et les propriétés mécaniques dans différentes zones sera étudiée pour deux différents types de joints soudés à l'aide de GMAW. Les simulations numériques d'analyse thermique sont réalisées à l'aide du logiciel SYSWELD. Les propriétés mécaniques et la microstructure sont évaluées à l'aide des essais de traction, de la microdureté et de l'analyse fractographique.

Aluminum alloys have wide applications in the aerospace, automobile and railway industries due to their high strength to weight ratio. The present work aims to study the heat effect of welding on the mechanical properties and microstructure of the aluminum alloy 6061. The relationship between the welding thermal cycle and the microstructure and mechanical properties in different zones are investigated in two GMAW welding configurations. Numerical simulations of heat analysis are done using the software SYSWELD. The mechanical properties and microstructures are evaluated using tensile tests, microhardness measurements and fractographic analyses.

Effet du Zr, V et du Mo sur les propriétés mécaniques des alliages Al-Si-Mg moulés sous pression

Effect of Zr, V and Mo on mechanical properties of Al-Si-Mg Foundry Alloys



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS

Introduction

Proper alloying elements and heat treatment process are the critical step for foundry alloys to ensure high mechanical properties. In this study, V, Zr and Mo elements are added to Al-Si-Mg alloy to investigate the effect of transition elements and heat treatment processes on the mechanical properties.

Objectives

- To improve the mechanical properties of Al-Si-Mg foundry alloys

Experimental Details

1. Chemical Composition

Tab.1. Chemical composition of the alloys.

Alloy	Si	Fe	Mn	Mg	Ti	B	Sr	V	Zr	Mo
Base-8	8.15	0.13	0.52	0.39	0.09	0.021	0.011	-	-	-
HPD-803	7.68	0.14	0.51	0.30	0.05	0.006	0.012	0.25	0.19	0.15

2. Permanent Mold Casting

- Copper mold
- Dimensions: 100 x 80 x 4mm

4. Property Evaluation

- Tensile
- Hardness

5. Heat Treatment

Temperature	Holding Time		
500°C	2h	4h	8h
540°C	2h	4h	8h

Water Quench + Aging at 170 °C for 4 hours

3. Microstructure Analysis

- Optical Microscope
- SEM

Results

b) Heat treated microstructure and mechanical properties

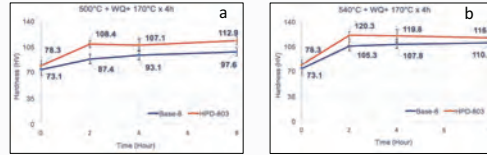


Fig. 4. Hardness comparison of heat treated alloys at 500 °C (a) and 540 °C (b) + aged at 170 °C for 4h.

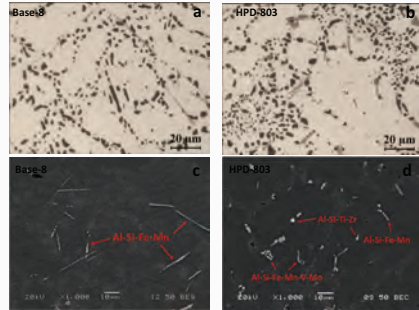


Fig. 5. OM and SEM images of Base-8 (a,c) and HPD-803 (b,d) alloys on T6 treated condition (540 °C x 2h + WQ + Aging).

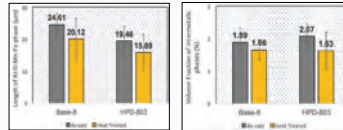


Fig. 6. Effect of T6 treatment on length of Fe-rich phase in both Base-8 and HPD-803 alloys.

Table 3. Effect of T6 treatment on intermetallic phases in both Base-8 and HPD-803 alloys.

Alloy	Calculated Phases from SEM / EDS	Response during T6 heat treatment
Base-8	Eutectic Silicon	Spheroidized
	Mg ₂ Si	Dissolved
	Al-Si-Fe-Mn	Partially dissolved
	Eutectic Silicon	Spheroidized
HPD-803	Mg ₂ Si	Dissolved
	Al-Si-Fe-Mn	Partially dissolved
	Al-Si-Ti-Zr	Partially dissolved
	Al-Si-Fe-Mn-V-Mo	Partially dissolved

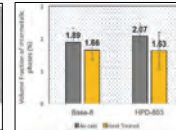


Fig. 7. Volume fraction of intermetallic phases after T6 treatment.

Results

a) As-cast microstructure and mechanical properties

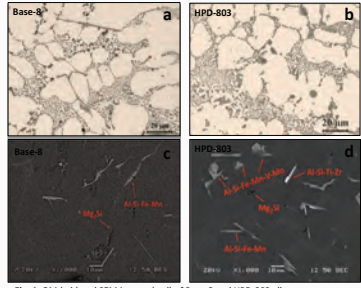


Fig. 1. OM (a,b) and SEM images (c, d) of Base-8 and HPD-803 alloys on as cast condition.

Table 1. Phases in microstructure of the alloys.

Alloy	Phases	Morphology
Base-8	Mg ₂ Si	Chinese script
	Al-Si-Fe-Mn	Needle-like
	Mg ₂ Si	Chinese script
HPD-803	Al-Si-Fe-Mn	Needle-like
	Al-Si-Ti-Zr	Rod-like
	Al-Si-Fe-Mn-V-Mo	Irregular plate
	Mg ₂ Si	Chinese script

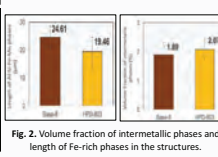


Fig. 2. Volume fraction of intermetallic phases and length of Fe-rich phases in the structures.

Table 2. Effect of V, Zr and Mo additions on mechanical properties.

Property	Increase (%)
Hardness (HV)	7
YS (MPa)	13
UTS (MPa)	29
Elongation (%)	133

Fig. 3. Mechanical properties and electrical conductivity of Base-8 and HPD-803 alloys.

Base-8 → HPD-803

Conclusions

- The mechanical properties of the Al8SiMg alloy are remarkably improved by the Zr, V and Mo additions on as-cast and T6 conditions.
- Heat treatment process at 540°C for 2h followed by aging at 170°C for 4h was found to be optimal due to short holding time and high mechanical properties.
- The addition of Zr, V and Mo reduces the length of Fe-rich phases and increases the volume fraction of intermetallic phases. In addition, it is favor to the partial dissolution of intermetallic phases during T6 treatment.

Future work

- Tensile tests will be done for heat treated alloys.
- TEM observation will be performed in order to evaluate precipitation potential of the alloys.

Anil Arici
Université du Québec à Chicoutimi

Z. Zhang - UQAC
X.-G. Chen - UQAC

Des éléments d'alliage mineurs de V, de Zr et de Mo ont été ajoutés dans l'alliage de fonderie Al-Si-Mg pour améliorer les propriétés mécaniques d'un alliage de fonderie. La microstructure de la coulée permanente du moule a été étudiée dans des conditions de coulée à travers OM et SEM pour comprendre le mécanisme de renforcement. Les essais de microdureté et de traction ont été réalisés pour évaluer les propriétés mécaniques des alliages. Les traitements de la solution ont été réalisés à 500 °C et 540 °C pendant différents temps de conservation afin de déterminer le processus de traitement thermique optimal. Les résultats indiquent que la condition optimale de traitement thermique est la solution à 540 °C pendant 2 h, puis le trempage à l'eau et suivi par le vieillissement à 170 °C pendant 4 h sur la base des résultats de la microdureté. En comparaison avec l'alliage de base, l'alliage avec l'addition de V, de Zr et de Mo présente une amélioration remarquable de la microdureté et des propriétés de traction à la fois dans les conditions de coulée et aussi de traitement thermique T6.

Minor alloying elements of V, Zr and Mo were added into an Al-Si-Mg foundry alloy to improve the mechanical properties of the foundry alloy. The microstructure of the permanent mold casting was investigated in the as cast condition through OM and SEM to understand its strengthening mechanisms. Microhardness and tensile tests were carried out to evaluate the mechanical properties of the alloy. Solution treatments were performed at 500 °C and 540 °C for various holding times to determine the optimal heat treatment process. The results indicated that the optimum heat treatment condition is a solutionization at 540 °C for 2 h, then a water quench followed by aging at 170 °C for 4 h. In comparison with the base alloy, the alloy with additions of V, Zr and Mo exhibits a remarkable improvement of microhardness and tensile properties under both as cast and T6 heat treated conditions.

Performance des matériaux des alliages d'aluminium semi-solides soumis à différents paramètres de vieillissement thermique

On the materials performance of Aluminum semi-solid alloys subjected to various thermal aging parameters

UQAC
Université du Québec à Chicoutimi

CUR 30-98
AI 13

REGAL
REGROUPEMENT ALUMINIUM
CENTRE DE RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM
ALUMINIUM RESEARCH CENTRE

- LOCATED IN AUTOMOTIVE SUSPENSION.
- MATERIAL USED: A357.0 SSM (AL- 6.5% SI- 0.6% MG SEMI-SOLID CASTING ALLOY USING SEED TECHNIQUE).
- SUBJECTED TO DYNAMIC LOADING DUE TO BRAKING AND ACCELERATION. TYPE OF FAILURE: FATIGUE FAILURE.

CONDENSATION • CONTEXT • AIM • METHODOLOGY

LOWER CONTROL ARM

- RESULTS OF SIMULATION SHOWS CONSISTENCY WITH THE REAL FATIGUE TESTING THAT SHOWED 2MM FOR 7000N OF FORCE.
- PLANS B AND C OF HEAT TREATMENT SHOWS IMPROVEMENT IN STRENGTH RESULTS COMPARED TO PLAN A.
- REGARDING TO MULTIPLE THERMAL AGING CONDITIONS; PLANS A SHOW A CONTINUOUSLY INCREASE IN THE DUCTILITY VALUES IN CONTRARY TO PLANS C THAT SHOW A CONTINUOUSLY DECREASE IN DUCTILITY VALUES.
- MULTIPLE THERMAL AGING HAS AN EFFECT ON PRODUCING DIFFERENT PRECIPITATE SIZES.

TOTAL OF 13 HEAT TREATMENT PLANS

SEM IMAGING WITH EDX SHOWING DIFFERENT PHASES

TENSILE TEST ACCORDING TO ASTM E-8 STANDARD

FATIGUE SIMULATION USING DETERMINED S-N CURVE

HIGH CYCLIC FLEXURE TO GET S-N CURVE

TEM IMAGING OF HEAT TREATED SAMPLES

REAL PART FATIGUE

RESULTS OF TENSILE TESTING

WC3
WB5

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS
TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Mohamed Attia
Université du Québec à Chicoutimi

K. Ragab - UQAC
X.-G. Chen - UQAC

La présente étude vise à analyser la réponse des alliages d'aluminium semi-solides A357 à des cycles de vieillissement multiples et interrompus des trempes T4/T6/T7. Les caractérisations mécaniques, principalement la micro-dureté et les propriétés de traction de ces alliages ont été étudiées. Les phases de la microstructure ont été caractérisées par microscopie électronique. Le but de l'application de cycles de vieillissement à des températures multiples est d'améliorer les propriétés mécaniques et d'avoir des valeurs de compromis par rapport à celles obtenues par le traitement thermique standard T6. Les cycles de vieillissement appliqués ont montré des résultats compétitifs par rapport à ceux obtenus par un traitement de vieillissement standard. Les mesures de conductivité électrique ont été appliquées dans cette étude pour analyser les caractéristiques des phases de durcissement formées en raison des différents cycles de vieillissement appliqués aux alliages étudiés.

The current study is aimed at analyzing the response of semisolid A357 aluminum alloys to multiple and interrupted aging cycles of T4/T6/T7 tempers. The mechanical properties, mainly micro-hardness and tensile properties, of such alloys were investigated. The microstructure of each phase was characterized using electron microscopy. The aim of applying multi-temperature aging cycles is to improve the mechanical properties and to have similar values compared to those obtained by a standard T6 heat treatment. Applying aging cycles showed comparable results to those obtained using standard aging treatments. Electrical conductivity measurements were used in this study to analyze the characteristics of hardening phases formed due to different aging cycles applied to the alloys investigated.

Analyse du coût du cycle de vie d'un pont à platelage en aluminium

Life-cycle cost analysis of a bridge with an aluminium deck



PROBLÉMATIQUE

L'utilisation de l'aluminium dans le domaine des ponts routiers pourrait, en considérant la durée de vie de l'ouvrage, présenter de nombreux avantages tant environnementaux qu'économiques. Cependant, son prix initial d'achat élevé constitue un frein majeur à son exploitation. En effet, les prises de décision sont systématiquement basées sur le seul coût de construction, oubliant ainsi les avantages d'une conception dans une logique de développement durable dont les bénéfices ne seront par essence visibles que dans la durée. Une nouvelle approche pour évaluer objectivement la rentabilité économique des ponts est alors nécessaire.

SOLUTION PROPOSÉE

Pour répondre à cette problématique, des ponts déjà existants (bois, béton) seront comparés à ceux en aluminium grâce à une analyse des coûts réalisée sur l'ensemble du cycle de vie de la structure (ACCV). Ces quatre conceptions sont réparties en deux scénarios couvrant une même réalité fonctionnelle (débit, action composite ou non, pont etc.) afin qu'une comparaison soit pertinente. Cette méthode d'arbitrage holistique, allant de l'extraction des matériaux, en passant par la maintenance jusqu'à la fin de vie, permettra ainsi de tenir compte de toutes les activités économiques liées à la structure et d'éviter le déplacement problèmes.

MILIEU RURAL DJMA 1000



BOIS
poutres d'acier



ALUMINIUM
poutres d'acier



BETON
poutres d'acier



ALUMINIUM
poutres d'acier

MILIEU URBAIN DJMA 4000

MÉTHODOLOGIE

I. Conception des quatre ponts selon les exigences des scénarios et de la norme CAN/CSA 56-14

II. Analyse du coût sur un cycle de vie de 75 ans :
 ✓ Définition du champ d'étude
Fonction, unité fonctionnelle, frontières du système, règles d'affectation, décomposition en processus élémentaires (recevant et émettant des flux).
 ✓ Compilation et quantification de tous les échanges (intrants/extrants) entre le système de produits et la technosphère sur les 5 étapes du cycle de vie présentées dans la figure 1.
Etablissement des scénarios de maintenance avec le MTMDT
Estimation des coûts des usagers et des coûts environnementaux
 ✓ Actualisation des coûts :
Pour comparer les coûts apparaissant à différents moments de la vie de la structure, on les convertit à l'aide d'un taux de substitution entre le futur et le présent (taux d'actualisation). Les coûts sont ainsi tous ramenés à l'année initiale de construction. (Norme ISO 1586-5)

$$LCC = C_0 + \sum_{t=1}^N \frac{C_{m,i}(t_i)}{(1+r)^t} - \frac{V_{résiduelle}}{(1+r)^T}$$

III. Interprétation
 ✓ Analyses de sensibilité aux intrants : données collectées et taux d'actualisation
Tout au long de l'analyse, il est impératif de garder un regard critique au vu des hypothèses et incertitudes inhérentes à ce type d'analyse.

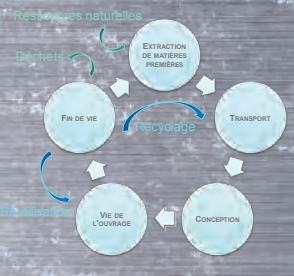


Figure 1

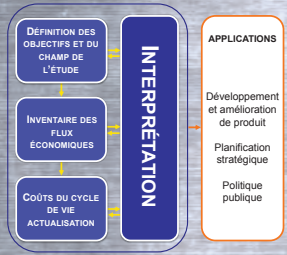
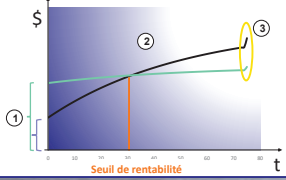


Figure 2

RÉSULTATS ATTENDUS

En sommant tous les coûts économiques rencontrés sur le cycle de vie de la structure, on distinguera trois phases principales :

- 1) La phase de construction initiale, défavorable à l'aluminium
- 2) La phase de maintenance (coûts actualisés faibles pour l'aluminium) où les courbes devraient se croiser définissant ainsi une année à partir de laquelle l'aluminium devient plus avantageux économiquement
- 3) La fin de vie où le recyclage de l'aluminium et sa durabilité lui conféreront encore un avantage supplémentaire



Une phase d'interprétation (Figure 2) s'en suivra pour évaluer la qualité et la robustesse des résultats obtenus à l'aide d'analyses de sensibilité et d'incertitudes.

Ainsi, une approche probabiliste sera utilisée pour traiter les incertitudes liées aux nombreux intrants de la phase d'inventaire.

Enfin, le taux d'actualisation, directement responsable de l'inclinaison des courbes et donc de l'année du seuil de rentabilité potentiel, sera soumis à une variation en pourcentage pour corroborer les conclusions obtenues.

CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS

- ✓ L'optimisation des conceptions en aluminium se heurte à l'expertise encore récente et très sécuritaire de la norme CAN/CSA 56-14 pour les ponts en aluminium.
 - Des dimensionnements alternatifs moins sécuritaires, basés sur des résultats par éléments finis ont également été réalisés et seront soumis à l'ACCV
- ✓ Une analyse du cycle de vie (ACV), complémentaire à ce projet, sera réalisée

REMERCIEMENTS

- ✓ Dominic Fortin, ing. M.Sc., Direction de la conception des structures, Direction générale des structures (MTMDT)
- ✓ Le Fonds de recherches du Québec - Nature et technologies (FRQNT) via le REGAL
- ✓ Le Ministère des Transports, Mobilité durable et Électrification des transports

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS

Cassandra Bayan
Université Laval

L. Sorelli - UL
M. Fafard - UL
V. Desjardins - UL

L'objectif global de ce projet est de mettre en exergue les avantages économiques d'un pont à platelage en aluminium. Si l'utilisation de l'aluminium présente de nombreux avantages telle une excellente durabilité, un inconvénient majeur demeure : le prix d'achat initial particulièrement élevé. Or, la prise de décision repose trop souvent sur une analyse incomplète et biaisée, ne considérant que les coûts de construction. Afin d'éviter ce biais, une nouvelle méthode d'arbitrage sera utilisée pour évaluer objectivement quatre conceptions, couvrant deux réalités de débit journalier moyen annuel. Ainsi, en milieu urbain, la conception en aluminium sera comparée à celle déjà existante d'un pont à dalle de béton sur poutres d'acier. En milieu rural, il s'agira d'opposer l'aluminium à un pont en acier-bois. La méthode que nous proposons analyse l'ensemble des coûts de la structure sur l'intégralité de son cycle de vie : « du berceau à la tombe ». Dans cette approche holistique, toutes les étapes engendrant des coûts seront ainsi couvertes : l'extraction de matériaux, le transport, la construction, l'entretien, l'exploitation et enfin la gestion en fin de vie. Les premières études de conception sont en cours et les résultats sont attendus pour juillet 2018.

The overall objective of this project is to highlight the economic benefits of an aluminum deck bridge. While the use of aluminum has many advantages, such as excellent durability, a major disadvantage remains: the initial purchase price is particularly high. However, decision-making is too often based on an incomplete and biased analysis, considering only construction costs. To avoid this bias, a new method of arbitration will be used to objectively evaluate four designs, covering two realities of annual average daily throughput. Thus, in an urban environment, the aluminum design will be compared with the existing one of a bridge with concrete slabs on steel beams. In rural areas it will be a matter of comparing aluminum to a steel-wood bridge. The method we propose analyzes the entire cost of the structure over its whole life cycle: "from cradle to grave". In this holistic approach, all cost-related steps will be covered: material extraction, transport, construction, maintenance, operation and end-of-life management (demolition, recycling). The first design studies are in progress and the results are expected for July 2018.

Soudage FSW dissimilaire Analyse expérimentale et numérique Dissimilar welding FSW Numerical and experimental analysis



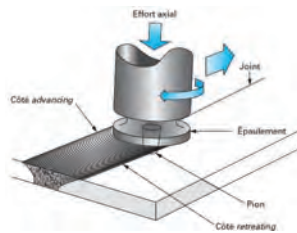
LOPFA
Laboratoire d'Organisation des Processus de Fabrication en Aérospatiale



But de l'étude

- Valider la **faisabilité** du soudage FSW dissimilaire d'alliages d'aluminium 2XXX et la **tenue en fatigue** des joints
- Fiabiliser le modèle thermique FSW existant sur des **tôles minces et épaisses**
- Création de **nouveaux modèles FSW** (Contraintes résiduelles/distorsions, microstructure/dureté, fatigue)

Le soudage FSW

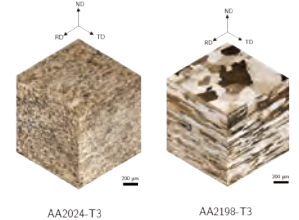


- En phase **solide** (80% du point de fusion)
- Sans métal d'apport
- Assemblage de matériaux différents
- Principe: **malaxage et mélange** des matériaux par un **outil**

Matériaux et démarche

Matériaux et soudage:

- Tôles d'alliages d'aluminium de la série 2000: **2024-T3 et 2198-T3**
- Soudage bout-à-bout par bras robotisé (KUKA)
- Fenêtre de paramètres (vitesses de soudage) définie

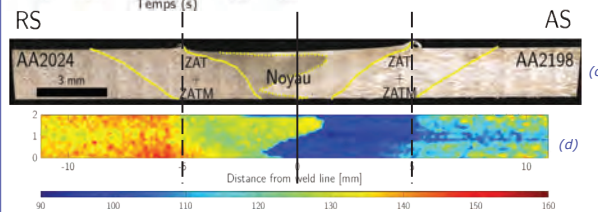
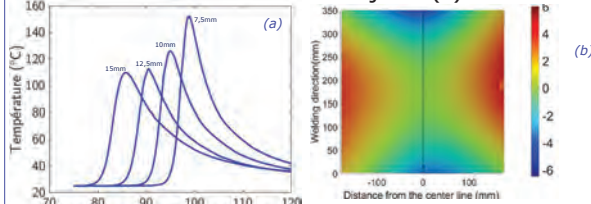


Moyen d'essais et de caractérisation:

- Mesures de températures au cours de soudage (Thermocouples type K)
- Macroscopies et microscopies (LEXT OLS4100)
- Mesures de duretés (Clemex CMT)

Résultats expérimentaux

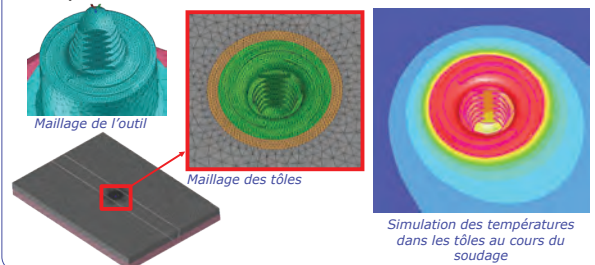
- Mesures thermiques lors du soudage (a)
- Mesures de distorsions (b)
- Evolution de la microstructure dans le joint (b)
- Champ de duretés dans le joint (c)



→ mise en relation thermique-propriétés mécaniques du joint

Simulation numérique

- Maillage mobile avec formalisme **ALE** (Arbitrairement Lagrangien Eulérien), adapté aux **outils complexes**
- Lois de comportement des tôles: **Norton-Hoff**
- Validation des simulations avec les résultats expérimentaux



Conclusions et perspectives

- Soudures obtenues exemptées de défauts
- Essais mécaniques (traction et fatigue) et simulation numérique thermique en cours
- Vers la création de modèles de microstructure/duretés et de contraintes résiduelles/distorsions



AXE 2

Rémi Bertrand
ÉTS, ÉNISE

L. Richard - ÉTS, ÉNISE
Y. Zedan - ÉTS
P. Bocher - ÉTS

Des tôles soudées par FSW faites d'AA2198-T3 et d'AA2024-T3 ont été caractérisées. Ces soudures ont été réalisées avec différentes vitesses d'avance et de rotation d'outil. Leur macrostructure et leur microstructure ont pour chacune d'entre elles été analysées et comparées considérant chaque condition. Des profils de contraintes résiduelles ont aussi été mesurées en surface dans le sens longitudinal et transverse au joint. Pour l'ensemble des conditions, des cartes de dureté en 2D ont été faites. Finalement, des essais de traction ont été réalisés dans chaque cas et les performances du joint en traction ont été confrontées au champ de dureté précédemment obtenu. Tous ces résultats serviront ensuite de base à des essais de fatigue qui seront réalisés ultérieurement.

FSW plates made of AA2198-T3 and AA2024-T3 have been characterized. Various advancing and rotational speeds of the tool were used to make these welds. The macrostructure and microstructure have been analysed and compared between each welding condition. Top surface residual stress profiles were made for longitudinal and transverse directions of the joint. For every condition, 2D hardness maps were generated. Finally, tensile tests were done for each weld, and the joint performance was compared to the previously obtained hardness map. All these results will be used to calibrate future fatigue tests.

Synthèse et caractérisation des électrodes supercapacées à nanocomposite à base de Ni sur l'aluminium

Synthesis and characterization of Ni based nanocomposite supercapacitor electrodes on aluminum



1. Introduction

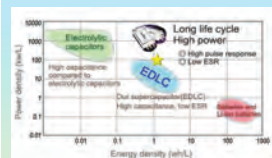


Fig.1 Ragone plots



Fig.2 Applications of supercapacitors

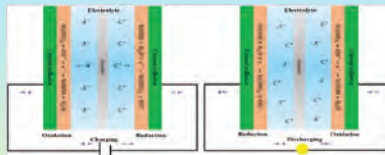
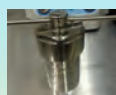


Fig.3 Sketch of electrical charge storage in FC.

2. Objective

1. Fabricate Ni(OH)₂ and NiAl LDHs with nanostructures;
2. Prepare working electrodes by using the above materials and observe their electrochemical behavior;
3. Explore the addition of Al³⁺ how to effect the nanostructures, crystallinity and electrochemical results.

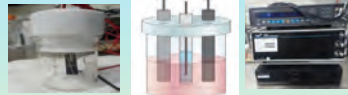
3. Experimental procedure



Material preparation:
Hydrothermal method: 120°C for 20h.



Working electrode (WE) preparation:
Ni(OH)₂ or NiAl-LDHs samples; carbon black; PVDF=80wt%; 15wt%; 5wt%



Electrochemical measurements a three-3-electrode setup: Platinum wire - counter electrode (CE); Al/AICl₃ - reference electrode (RE); working electrode.

4. Results

Part 1: Physical characterization

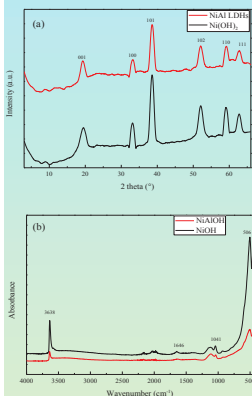


Fig.4 (a) XRD pattern, (b) FTIR analysis of pure Ni(OH)₂ and NiAl-LDHs

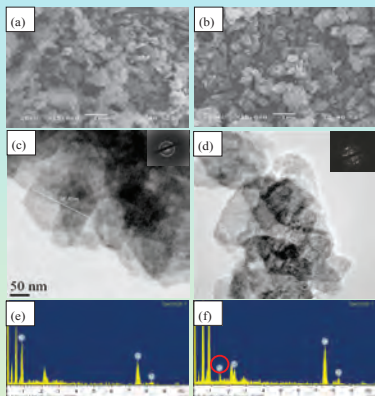


Fig.5 SEM, TEM and EDX images of sample (a, c, e) NiOH and (b, d, f) NiAl LDHs

Part 2: Electrochemical tests

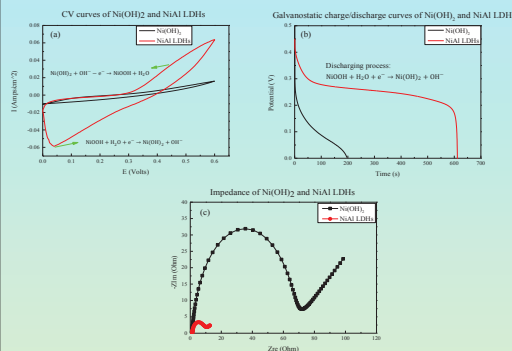


Fig.6 CV curves of (a) Ni(OH)₂ and NiAl LDHs at scan rate of 20mV/s. Galvanostatic charge/discharge curves of (b) Ni(OH)₂ and NiAl LDHs at current density of 1A/g. Impedance of (c) Ni(OH)₂ and NiAl LDHs.

5. Conclusions

1. Ni(OH)₂ and NiAl LDHs nanoplates both with high crystallinity fabricated by hydrothermal method show high electrochemical activity and desirable morphology to improve ion diffusion kinetics and reduce charge transfer resistance;
2. NiAl LDHs electrode delivers remarkably high specific capacitance of 1360F/g at 1 A/g, compared to 400 F/g at 1 A/g of Ni(OH)₂ owing to the smaller charge transfer resistance.

6. Future work



1. Study how to charge LED;
2. Find the optimal addition of Al

Xingli Chen
Université du Québec à Chicoutimi

D. Sarkar - UQAC
X.-G. Chen - UQAC

La détérioration rapide de l'état de l'environnement et l'épuisement des combustibles fossiles nécessitent l'exploration des nouvelles sources d'énergie propres et renouvelables, ainsi que des systèmes de conversion/stockage d'énergie plus efficaces. Les supercondensateurs attirent actuellement de l'attention en raison de leurs caractéristiques qui permettent d'obtenir une puissance supérieure à celle des batteries et une densité d'énergie plus élevée que celle des condensateurs conventionnels. Plusieurs matériaux tels que les matériaux carbonés, les oxydes et les hydroxydes de métaux de transition et les polymères conducteurs peuvent être employés comme matériaux d'électrode pour les supracondensateurs. Le double hydroxyde de nickel-aluminium a été synthétisé par la voie chimique avec une surface spécifique et d'excellentes propriétés microstructurales. La diffraction des rayons X (DRX), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IR-TF) et la microscopie électronique à balayage (MEB) ont été utilisées pour analyser la composition chimique et les propriétés morphologiques de ces matériaux. Les tests électrochimiques tels que les courbes de voltampérométrie cyclique (CV), les tests de charge/décharge galvanostatiques et les mesures de la spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) sont utilisés pour déterminer la capacité et la densité de puissance des supercondensateurs.

With the rapid deterioration of the environment and the depletion of fossil fuels, it is important to explore more clean and renewable energy sources as well as more efficient energy conversion/storage systems. Supercapacitors have received increasing attention due to such features as delivering higher power than batteries and a higher energy density than conventional capacitors. Generally, candidates for electrode materials for supercapacitors include carbonaceous materials, transition metal oxides and hydroxides and conducting polymers. A nickel-aluminum double hydroxide has been chemically synthesized and has been found to have large surface areas and excellent microstructural properties. XRD, FTIR and SEM have been used to analyze the resulting chemical compositions and morphological properties of these materials. Electrochemical tests such as cyclic voltammetry (CV) curves, galvanostatic charge/discharge tests and EIS measurements are used to determine the capacitance and power density of the supercapacitors.

Caractérisation des courbes de DSC sous différents trempes dans un alliage moulé à haute pression de sous vide

Characterization of DSC curves under various tempers in high pressure vacuum die casting alloy



INTRODUCTION

Aural-2 alloys are produced by HPVDC. They are heat treatable and weldable, changing the situation that they can be used as structural parts in, for example, automobile industrial application.

To make quick problem diagnostics and solving, it is necessary to know the different heat treatment conditions of alloys. Therefore, the goal is to establish a fingerprint database to identify various tempers.

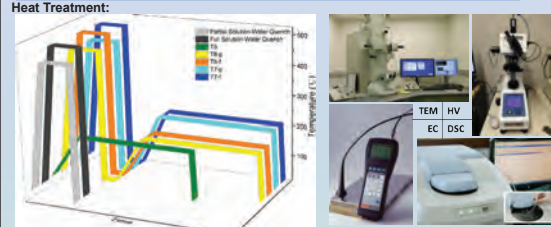
Differential scanning calorimetry (DSC) can be used for analysis of solid state reactions. Different alloys and tempers can be determined by the unique curves and the peaks. So, we can establish a database for the alloys under various tempers.



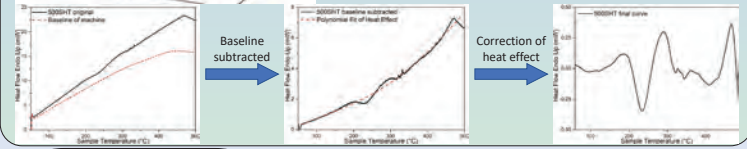
EXPERIMENTAL

Material Composition:

Alloy	Al	Si	Mg	Mn	Fe	Ti	Sr
Aural-2	Bal.	10.63	0.315	0.53	0.17	0.05	0.014



- ### OBJECTIVES
- Perform DSC tests on alloys under various heat treatment to determine their characteristics.
 - Establish a fingerprint database to identify various tempers of the alloy.



RESULTS

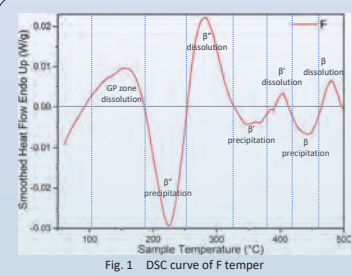


Fig. 1 DSC curve of F temper

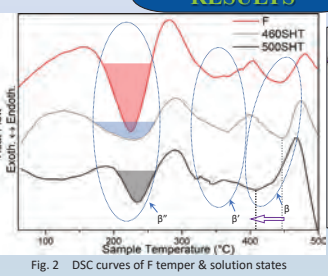


Fig. 2 DSC curves of F temper & solution states

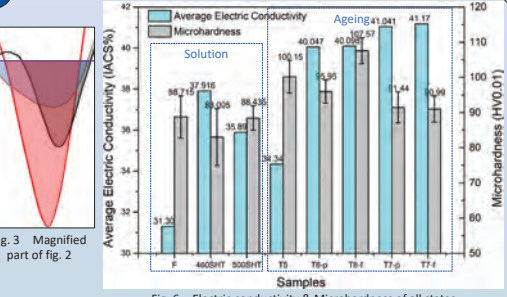


Fig. 3 Magnified part of fig. 2

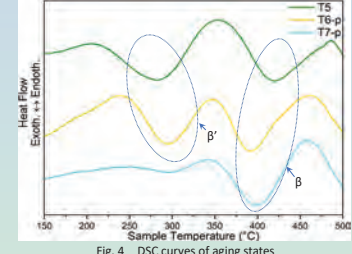


Fig. 4 DSC curves of aging states

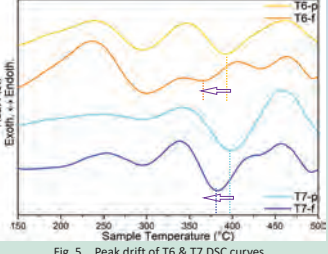


Fig. 5 Peak drift of T6 & T7 DSC curves

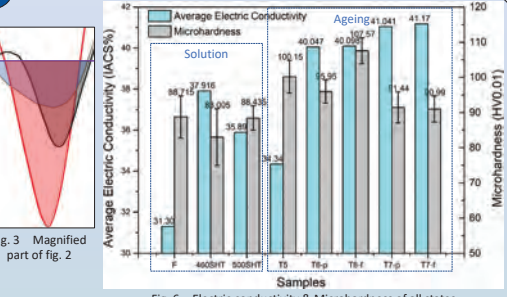


Fig. 6 Electric conductivity & Microhardness of all states

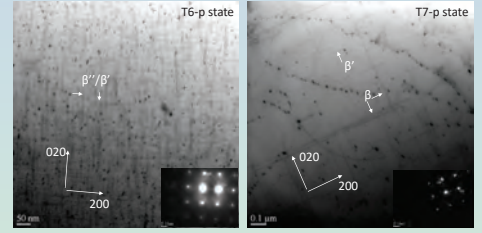


Fig. 7 TEM results of aging states

CONCLUSIONS

- Various tempers can be identified from the peak number, peak area or peak shift in Aural-2 alloy:
 - Peak number: solution states, peak aging, and over aging by the peak existence of β'' , β' , β ;
 - Peak area: F temper, partial solution, full solution by peak area of β'' ;
 - Peak shift: partial or full solution by the peak temperature of β (to be confirmed).
- DSC curves of different tempers of HPVDC Aural-2 alloy were characterized and the precipitates are verified by TEM;
- The different precipitation behaviors obtain from the DSC curves under various tempers are further supported by the evolution of electric conductivity and microhardness test.

FUTURE WORK

- Further observation on microstructure using TEM to identify the phases of the alloy under different tempers;
- Quantifying the DSC peak with phase volume to find the relationship between DSC and microstructure;

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Zhixing Chen
Université du Québec à Chicoutimi

K. Liu - UQAC
X.-G. Chen - UQAC

En raison de la capacité de production massive et de la haute performance des propriétés, les produits moulés sous haute pression (HPVDC) sont de plus en plus utilisés dans l'application des industries automobiles. Ils sont aptes au traitement thermique et au soudage, ce qui rend leurs propriétés attrayantes pour les composants structuraux critiques. Afin de diagnostiquer rapidement le problème de production lié au traitement thermique, les tests de calorimétrie différentielle à balayage (DSC) sont des outils utiles, dans lesquels des pics uniques peuvent être produits pour chaque trempé. Dans ce présent travail, l'alliage Aural-2 a été traité avec différents trempes et caractérisé par DSC. Les différents pics qui sont apparus sur les courbes DSC ont été analysés pour identifier les processus de précipitation/dissolution des différents précipités. Les résultats montrent que le nombre de pics et la surface des pics varient en fonction du trempé, indiquant leurs différents comportements de précipitation/dissolution. Pendant ce temps, la microstructure, la conductivité électrique et la microdureté sous divers trempes sont également étudiées. Leurs résultats peuvent bien supporter les changements des courbes DSC. Par conséquent, les conditions de traitement thermique des alliages HPVDC peuvent être identifiées avec succès avec la base de données DSC établie.

Due to their massive production capability and high property performance, high pressure vacuum die casting (HPVDC) products are increasingly being used in automobile industries. They are heat treatable and weldable, which gives them attractive properties for use in critical structural components. Differential scanning calorimetry (DSC) testing is a useful tool to rapidly diagnose production problems related to the heat treatment, in which unique peaks can be produced for each temper. In the present work, the Aural-2 alloy, one of the most widely used HPVDC alloys, has been treated with different tempers and characterized by DSC. Various peaks appeared on the DSC curves and were analyzed to identify the precipitation/dissolution processes of different precipitates. Results show that both the peak number and peak area vary with tempers, indicating different precipitation/dissolution behaviors. Meanwhile, the microstructure, electric conductivity and microhardness under various tempers were also investigated. Their results support the changes of DSC curves. Therefore, in this work, it was shown that the appropriate heat treatment conditions of HPVDC alloys can be successfully identified with an established DSC database.

Développement d'assemblages de dispositif de retenue pour les ponts à platelage en aluminium

Development of a generic connector system for attaching conventional traffic barrier to aluminium decks



1 - INTRODUCTION

La dégradation des infrastructures, particulièrement des ponts routiers, est un sujet de plus en plus préoccupant au Québec. L'aluminium étant un matériau léger et résistant, ces atouts pourraient être mis à profit dans la réhabilitation d'un pont avec dalle en béton. L'utilisation d'un platelage en aluminium en remplacement de la dalle permettrait une réduction considérable de la charge morte de la structure et ainsi augmenter la capacité structurale. Le développement même du platelage d'aluminium, l'évaluation structurale, le développement de l'action composite, etc. font l'objet de plusieurs autres projets de recherche. Un aspect important restant à évaluer est la possibilité d'y connecter un dispositif de retenue.

2 - OBJECTIFS

- ❖ Développer un assemblage permettant de fixer un dispositif de retenue sur un platelage en aluminium constitué d'extrusions multicellulaires soudées entre elles. Le dispositif de retenue sélectionné sera standardisé et accrédité par un organisme de certification reconnu (i.e. déjà crash-testé).
- ❖ Les extrusions du platelage ne doivent subir aucune déformation permanente sous l'effet de l'impact d'un véhicule.
- ❖ En utilisant l'approche du dimensionnement à la capacité, concevoir une pièce sacrificielle permettrait de dissiper l'énergie de l'impact et ainsi permettre aux autres éléments de la structure de demeurer dans le domaine élastique.

3- MÉTHODOLOGIE

A - Analyses statiques :

- ❖ Développer de façon statique l'assemblage à l'aide du logiciel de modélisation par éléments finis Siemens NX. (Figure 1.)
- ❖ Utilisations des charges statiques prescrites par la norme CAN/CSA S6-14 qui permettent d'apporter des modifications aux ancrages de dispositifs de retenues ayant fait l'objet d'essais de collision à grandeur réelle.
- ❖ Permet de vérifier si l'assemblage n'apporte aucune plastification du platelage et si son mode de rupture est sécuritaire et efficace.

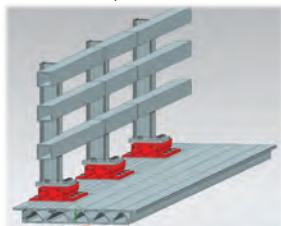


Figure 1. Modélisation sur Siemens NX du dispositif de retenue, du platelage en aluminium ainsi que l'élément sacrificiel (rouge)

B - Analyses dynamiques :

- ❖ Effectuer des essais de collisions numériques à l'aide du logiciel LS-DYNA. Démontrer que les changements apportés sur les ancrages n'affectent pas l'interaction entre le dispositif et le véhicule.
- ❖ À partir des procédures de vérification et validation établies par le *National Cooperative Highway Research Program*, NCHRP, faire des vérifications sur la conservation de l'énergie totale, faire des comparaisons avec des accéléromètres enregistrés au centre de gravité du véhicule lors d'un réel essai de collision ainsi que des vérifications de l'intégrité structurale. (Figure 2.)



Figure 2. Illustration de la méthode de vérification et validation d'un modèle dynamique à partir des données de l'essai de collision à grandeur réelle d'après Martin et al. (2014)

4 – RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DES ANALYSES PAR ÉLÉMENTS FINIS

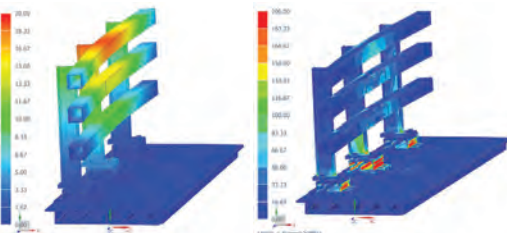


Figure 3. Distribution du déplacement

Figure 4. Contrainte von Mises

**Toutes les déformations sont représentées 5 x absolu*
 figure 3 : Les déplacements demeurent sécuritaires même avec l'ajout de flexibilité dans les ancrages.

figure 4 : Tel qu'attendu, la concentration de contrainte se situe sur la pièce sacrificielle, alors qu'il n'y a aucune plastification du platelage (alliage 6005A-T61, Fy = 240 MPa).

figure 5 : Les parois sont plastifiées et la pièce a atteint sa capacité. (déformation maximale de 1%)

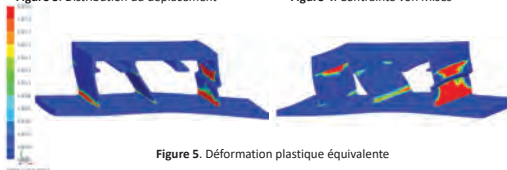


Figure 5. Déformation plastique équivalente

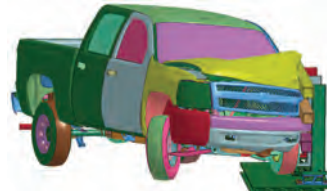


Figure 6. Résultats préliminaires de l'analyse dynamique

5 - CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS

- ❖ L'ajout d'une pièce sacrificielle semble a priori une bonne stratégie pour éviter de grandes sollicitations sur le platelage.
- ❖ L'ajout d'excentricité dans l'extrusion sacrificielle augmente la dissipation d'énergie et la redistribution plastique.
- ❖ Connecter cette pièce à l'aide de boulon permet un remplacement advenant un impact avec un véhicule.
- ❖ Des analyses dynamiques seront effectuées afin de valider le comportement sécuritaire de la modification de l'ancrage.

6 - REMERCIEMENTS

- ❖ Dominic Fortin, Ing. M. Sc., Direction de la conception des structures, Direction générale des structures
- ❖ Le Fonds de recherches du Québec - Nature et technologies (FRQNT) via le REGAL

7 - RÉFÉRENCES

1. Ray, M., Mongiardini, M., Plaxico, C., & Anghileri, M. (2010). Procedures for Verification and Validation of Computer Simulations Used for Roadside Safety Applications. NCHRP Web-Only Document 179: National Academy of Sciences.
2. Martin, Y., 2014, « Conception d'une glissière de sécurité adaptée à une dalle en acier orthotrope », mémoire de maîtrise, département de génie civil, Université Laval

Martin Cormier
Université Laval

C.-D. Annan - UL
M. Fafard - UL
V. Desjardins - UL

Ce projet se concentre sur la possibilité de connecter un dispositif de retenue sur un platelage en aluminium. L'objectif est de développer un assemblage permettant de fixer un dispositif de retenue standardisé ayant fait l'objet d'essais de collision sur un platelage de pont usuel et accrédités par un organisme de certification reconnu. De plus, une extrusion de rive doit être développée afin de permettre l'assemblage du dispositif. Cette extrusion, ainsi que le reste du platelage, doivent être conçus de façon à ne subir aucune déformation permanente sous l'effet de l'impact d'un véhicule. Pour ce faire, le projet, qui sera réalisé entièrement de façon numérique, se divise en deux grandes parties majeures. Une première partie consiste à développer l'assemblage à l'aide du logiciel de modélisation par éléments finis Siemens NX ainsi que les charges statiques recommandées par la norme CAN/CSA S6-14. Les déformations ainsi que les contraintes y seront étudiées. Ensuite, la deuxième partie consiste à faire des vérifications dynamiques sur l'interaction entre le dispositif et le véhicule à l'aide du logiciel LS-DYNA. Un système qui comporte une bonne résistance ainsi qu'une bonne dissipation d'énergie et qui nécessite un assemblage simple peut constituer une bonne solution pour ce projet.

This project focuses on the possibility of connecting a traffic barrier to aluminum decks. The purpose is to develop an assembly for fixing a standardized traffic barrier that has been subjected to collision tests on a common bridge deck (concrete, wood or steel) and accredited by a recognized certification organization. In addition, an edge extrusion must be developed in order to allow the traffic barrier to be assembled. This extrusion and the rest of the aluminum deck must be designed so that they do not undergo any permanent deformation under the impact of a vehicle. The project, which will be entirely numerical, is divided into two major parts. The first part consists of developing the assembly using Siemens' NX finite elements modeling software and static loads recommended by CAN/CSA S6-14. Deformations and constraints will be studied. The second part consists of performing dynamic checks on the interaction between the traffic barrier and the vehicle using LS-DYNA software. The best performing system, which has good resistance to impact loads, good energy dissipation, requires simple assembly and limits the propagation of loads, can be a good solution to this project.

Modélisation numérique de l'essai de Nakazima pour les alliages d'aluminium AA5052 et AA5083

Numerical simulation of the Nakazima test for the AA5052 and the AA5083 aluminum alloys



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
- Ceci 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

- Développer des outils de simulation numérique permettant de faciliter la conception de pièces structurales optimales en tôles minces à base d'aluminium
- Sélection et caractérisation mécanique des alliages à l'étude
- Évaluer les propriétés de mise en forme des alliages 5052-O, 5052-H36 et 5083-O à l'aide de l'essai de Nakazima et tracer leur diagramme de formabilité (FLD)
- Développer un modèle permettant de simuler l'essai de Nakazima de manière numérique
- Développer et fabriquer un prototype pour valider expérimentalement le modèle numérique

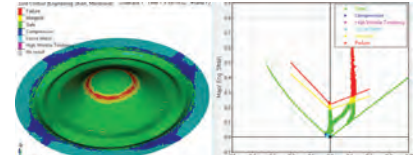


Figure 2 : Exemple de l'évaluation de la formabilité d'une pièce

Méthodologie globale du projet

- Caractérisation et identification des propriétés des alliages
 - Caractérisation des propriétés mécaniques (limites élastique et ultime, coefficient d'anisotropie, courbe des contraintes vraies, etc.) de certains alliages prometteurs
 - Détermination des paramètres entrant des analyses numériques
- Évaluation expérimentale de la formabilité des alliages
 - Caractérisation des paramètres sécuritaires de la formabilité des alliages retenus par la méthode des diagrammes de formabilité
 - Évaluation des résultats expérimentaux par corrélation d'images et par la méthode des ellipses
- Modèles numériques
 - Élaboration d'un modèle permettant de simuler les essais expérimentaux
 - Élaboration d'un modèle permettant de simuler l'emboutissage d'une pièce
 - Validation expérimentale du modèle numérique



Figure 4 : Diagramme de formabilité



Figure 5 : Grille de mesure

Caractérisation et identification des propriétés des alliages

- Essais de traction simple
 - Analyses des propriétés mécaniques des alliages 5052 et 5083
 - Détermination des lois d'érouissage des alliages à l'étude : loi de Voce
 - État des déformations en traction par la technique de corrélation d'image
- Essais de compression plane
 - Caractérisation du comportement des alliages sous des déformations importantes

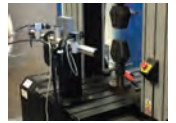


Figure 6 : Montage des essais de traction

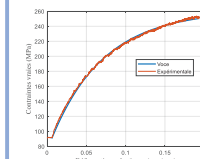


Figure 7 : Courbe d'érouissage du 5052-O à 0° (traction)

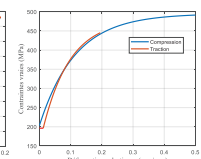


Figure 8 : Courbes d'érouissage du 5083-O à 45°

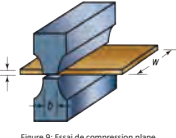


Figure 9 : Essai de compression plane

Évaluation expérimentale de la formabilité des alliages

- Réalisation d'essais de formabilité selon la méthode de Nakazima avec suivi par corrélation d'image
- Élaboration des diagrammes de formabilité des alliages à l'étude
- Comparaison des résultats obtenus à certains modèles analytiques

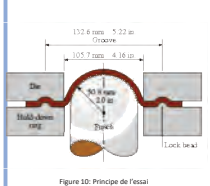


Figure 10 : Principe de l'essai

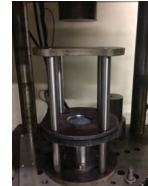


Figure 11 : Montage expérimental

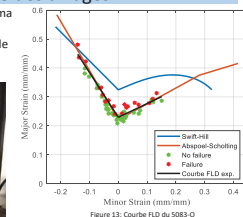


Figure 13 : Courbe FLD du 5083-O

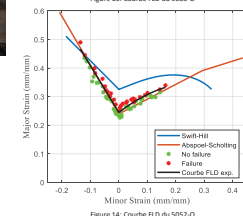


Figure 14 : Courbe FLD du 5052-O



Figure 12 : Échantillons typiques

Modèles numériques

- Simulations numériques de la formabilité avec le solveur Radioss d'Altair
 - Comparaison de certains critères de plasticité disponible (Hil48, Barlat3)
 - Élaboration des diagrammes de formabilité de manière numérique
- Simulation de l'emboutissage complet d'une pièce formée à froid
 - Application des connaissances acquises pour déterminer la formabilité d'une pièce

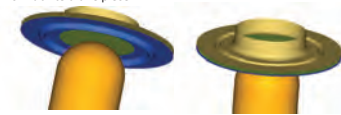


Figure 15 : Modèle numérique

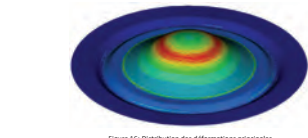


Figure 16 : Distribution des déformations principales

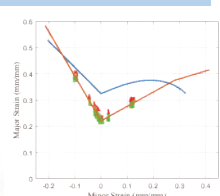


Figure 17 : Diagramme FLD du 5083-O numérique

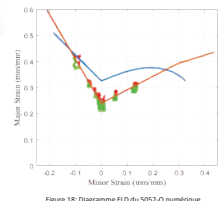


Figure 18 : Diagramme FLD du 5052-O numérique

Conclusion

- Caractérisation mécanique des alliages en traction simple et en compression plane
- Détermination de la loi d'érouissage la mieux adaptée aux alliages étudiés
- Réalisation d'un montage pour des essais de formabilité
- Évaluation expérimentale de la formabilité de certains alliages d'aluminium
- Détermination des paramètres optimaux pour la simulation numérique d'un essai de Nakazima
- Évaluation numérique de la formabilité des alliages à l'étude
- Conception d'outils utilisés dans une application d'emboutissage à froid
- Validation expérimentale du modèle numérique

Francis Corriveau
Université de Sherbrooke

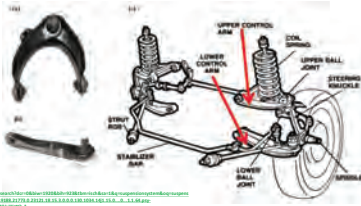
A. Desrochers - UdeS
A. Maslouhi - UdeS

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 travail s'inscrit donc dans ce projet de grande envergure et consiste à réaliser la conception et l'optimisation de composants fonctionnels à la fois structuraux et esthétiques en aluminium. Pour ce faire, les travaux de recherche traiteront principalement de la formabilité de certains alliages d'aluminium. En outre, il sera question de vérifier la capacité de mise en forme de ces derniers. Ces données serviront ensuite à l'établissement de modèles numériques permettant de simuler le comportement lors d'un procédé de formage des alliages d'aluminium 5052 et 5083. Pour ce faire, l'influence du choix de la loi d'écoulement (Holomon, Voce, Chaboche) sera étudiée afin de corréler les modèles aux résultats expérimentaux.

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 aluminum alloy recreational vehicle chassis to reduce its weight, number of parts and cost while providing good performance and reliability on the road. The subject of this work is thus part of a large-scale project and consists of developing the design and optimization of functional, structural and aesthetic aluminum components. To achieve this goal, research will focus on the formability of certain aluminum alloys. Moreover, the mechanical properties of the chosen alloys, following an elongation carried out in high temperature, will be quantified in order to characterize the mechanical properties of a part that has been formed using a hot-forming process. This data will then be used to simulate the forming behaviour of aluminum alloys 5052 and 5083. In order to achieve this goal, the influence of the choice of the flow laws (Holomon, Voce, Chaboche) will be studied in order to correlate the models to the experimental results.

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS
TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Context of the project



Control arms in suspension system of car are under severe FATIGUE conditions

- ❑ The automotive industry paying attention to produce more fuel-efficient cars by using light weight aluminum parts. The application of aluminum alloys extended in safety-critical parts like "control arms".
- ❑ "Control arms" are mostly formed by hot forging and then undergone T6 age hardening treatment to optimize their fatigue properties.
- ❑ As shown in the table, the cast-homogenized-extruded Al-6082 forge stock is the current raw material for hot forging these products.
- ✓ In industry, there is a great interest to replace the current raw material with a cheaper alternative that directly comes from casting process while bringing down the cost but without compromising the quality.
- ✓ This means extrusion step would be omitted from the process of alternative raw material, but to keep the same forge-ability in it and fatigue properties in final T6 products, it may be needed to redesign the whole process of raw material i.e. exploiting cast billet made from new (Direct Chill) casting technologies and/or including a suitable homogenization cycle to reach desired microstructure before hot forging process.

Research objectives

To study hot deformation behavior and microstructural evolution of hot forged Al-6082 control arm, we simulate the control arm forging process with a series of hot compression tests using current and alternative raw materials and...

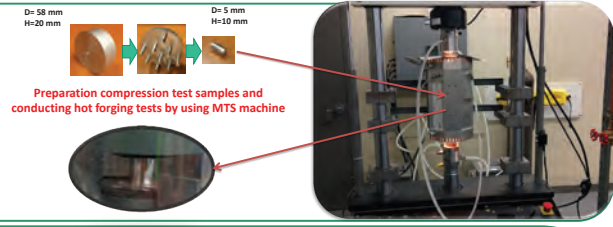
- ✓ Develop a method to quantify the effect of the process of raw material (DC cast, homogenization and or extrusion) on microstructural characteristics (grains, particles, defects) of hot forged samples.
- ✓ Calculate constitutive law, simulate the material flow and predict the microstructural characteristics of hot forged samples made from current and alternative raw materials.
- ✓ Predict fatigue performance of hot forged-T6 products made from alternative raw materials
- ✓ Suggest a new efficient raw material to the industry.

Current process for manufacturing hot forged control arms:

Raw material (forge stock) steps			Hot forming & Heat treatment steps	
Conventional (DC) cast technology	Homogenization	Extrusion	Hot forging	(T6 age hardening)
Alternative process:				
Possibility of using billets made from new (DC) cast technologies	??	Extrusion	Same	Same

Methodology

- MTS machine: To conduct hot compression tests in the range of industry, to obtain the stress-strain curve, and the data base for calculating constitutive law, and the hot forged microstructure in different conditions (raw material, temperature, strain rate & strain).
- "FORGE" software: To model the forging process of current & alternative raw materials.
- Optical, SEM, EBSD Microscopy, XRD: To analyse quantitatively the microstructural evolution during hot forging and T6 treatment of current and alternative raw materials.
- Micro-hardness machine: to evaluate the mechanical properties of samples after T6 treatment



Preparation compression test samples and conducting hot forging tests by using MTS machine

Preliminary results (microstructure of alternative raw materials , their stress-strain curves, defects at hot forged microstructure

Optical particle microstructure: Conventional DC cast technology raw material in as cast and homogenized states; after homogenization the primary intermetallic particles becoming more rounded & discrete, and lots of tiny dark secondary dispersoid precipitate in bright matrix within the grains (metallography with 5%HF, with this technic the particles are more observable)

Optical grain microstructure: New DC cast technology vs. conventional DC cast technology raw material in as cast state; both have dendritic grain structure but the grain size with new DC cast tech. (302.4 μm) is half comparing with conventional (825.7 μm) one (metallography with Barker, electro-etched & using polarized light, with this technic grains are more observable)

Hot forged stress-strain curves: Conventional DC cast in as cast and homogenized states; in general, higher flow stresses come with lower temperatures. The flow stresses of as cast microstructures are higher than homogenized counterparts. The plateau shape with homogenized curves show an stable hot deformation behavior in contrast with as cast curves

Hot forged stress-strain curves: New DC cast raw material vs. conventional one both in as cast non homogenized state; in general, higher flow stresses come with lower temperature. The flow stresses of conventional DC cast microstructures are higher than the new DC cast counterparts. In both the inclined curves show an unstable hot deformation behavior so in all these conditions happening defects in microstructure during hot deformation are highly probable

happening crack-defects mostly at grain boundaries during hot forging

Mg₂Si phase (Black particles)

AlFeMnSi phase (white particles)

SU35015 00kV x200 BSE-COMP

SEM microstructure as cast raw material made from new DC cast technology hot forged at temperature 500°C, strain rate 0.1/s & strain 0.2. In this condition during hot forging lots of cracks happening at grain boundaries. The composition of both white and black particles were identified by EDX technic.

Pirooz Dibayan
ÉTS
Q. Laurent - ÉTS
V. Demers - ÉTS
P. Bocher - ÉTS

L'industrie d'automobile a le souci de produire des voitures écoénergétiques par l'utilisation des matériaux plus légers. L'utilisation des alliages d'aluminium a récemment été élargie, ils sont maintenant utilisés dans les composants de sécurité comme les bras de contrôle du système de suspension. Ils sont généralement fabriqués par le forgeage à chaud. L'alliage Al-6082 DC moulé-homogénéisé-extrudé est le produit brut typique pour ces produits. Dans l'industrie, il y a une grande tendance à remplacer ce type de matériau par un autre moins coûteux qui vient directement du processus DC moulé. Il s'agit d'éliminer l'étape de l'extrusion du processus sans affecter les propriétés mécaniques du produit final, ce qui conduit à la nécessité de revoir le processus, incluant l'homogénéisation. En simulant le processus de forgeage à chaud du bras de contrôle au moyen des tests de séries de compressions à chaud en utilisant les deux types (DC coulé sélectionné et matériau brut extrudé courant) et considérant le contrôle des principaux paramètres (température, vitesse de déformation et déformation) impliqués à la simulation, plusieurs aspects des demandes industrielles applicables au comportement de déformation à chaud et l'évolution microstructurale de l'alliage Al-6082 peuvent être étudiés et, conséquemment, le comportement en fatigue du bras de contrôle peut être optimisé.

The automotive industry moved towards producing to produce more fuel-efficient cars by using light weight aluminum alloys. Recently, the application of aluminum alloys has been extended to safety-critical components like "control arms" in suspension systems. They are mostly formed by hot forging. Cast-homogenized-extruded 6082 aluminum alloy forge stock is the typical raw material for these products. In the automotive industry, there has been a great interest in replacing the current forge stock with a cheaper type that directly comes from the cast process while bringing down cost and without compromising quality. This means extrusion must be excluded from the process without affecting the mechanical properties in final products, which means the entire process including homogenization must be redesigned. By simulating the hot forging process of a control arm with a series of hot compression tests, which would be done on current extruded and alternative cast materials, and controlling the main parameters (temperatures, strain rates and strains) involved in the simulation, the aspects of industrial demands applicable to hot deformation behavior and microstructural evolution of alternative cast materials would be predicted and hence the fatigue behavior of the pressed control arm can be optimized.

Développement des revêtements non chromatiques écologique et mécaniquement résistant pour la protection de l'aluminium contre la corrosion

Development of mechanically durable ecological and corrosion resistance non-chromate coatings for aluminum



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Introduction

Sources of chromium

- Textile manufacturing
- Aircraft manufacturing
- Metal finishing
- Photography industry

Health effects

Ecologic coatings

Objectives

1. Synthesis of non-chromate coatings with optimum preparation conditions on aluminum substrate.
2. Analysis of the corrosion behavior of Zr based coatings and Na based coatings on aluminum substrates using EIS and polarization technics.

Results

Chemical composition

Surface morphology

Corrosion study

Sample	Polarisation resistance R_p (k Ω .cm 2)	Corrosion current density i_{corr} (nA.cm 2)	Corrosion potential E_{corr} (mV)	Charge transfer resistance R_{ct} (k Ω .cm 2)
Zr-Organic molecules	932	43	-676	1046
Na-Inorganic molecules	340	79	-974	92
Zr-Inorganic molecules	72	388	-722	62
As received Aluminium	23	422	-687	51

Experimental

Samples synthesis

Aluminum substrates were degreased using soap water in ultrasound bath and then rinsed with distilled water and ethanol, the substrates were dried in the oven for night. Three different method were used to prepare the Zr and Na based coatings.

Electro-deposition

Dip coating

Spin coating

Zr-Organic molecules

Zr-Inorganic molecules

Na-Inorganic molecules

Ecologic coatings

Samples analysis

Characterization of coatings
The morphology of samples was studied using scanning electron microscopy (SEM), the chemical composition was analysed by Fourier transform spectroscopy.

Corrosion study

The corrosion resistance properties of samples was investigated via polarization experiments and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) in 3.5% NaCl solution.

Conclusion

- Non-chromate coatings were successfully fabricated on aluminum substrates for corrosion protection.
- Zr-Organic molecules shows the best corrosion properties with a polarization resistance of 932 k Ω .cm 2

Redouane Farid
Université du Québec à Chicoutimi

D. Sarkar Kumar - UQAC
S. Amira - CMQ
D. Levasseur - CMQ

Les revêtements à base de chrome sont couramment utilisés pour le traitement de surface des alliages dans nombreux plusieurs domaines. Cependant, , mais récemment des nouvelles récentes législations dans de nombreux pays interdisent l'emploi de ces matériaux en raison de leur toxicité. Dans ce travail, des couches minces préparées à partir du sodium-molécules inorganiques, du zirconium-molécules organiques et inorganiques ont été développées. Les procédés d'électrodéposition une étape et sol-gel étaient adoptés pour la synthèse des revêtements. La présence du zirconium, du sodium et des molécules inorganiques a été caractérisée par EDX et FTIR. La microscopie (MEB) été utilisée pour étudier la morphologie des revêtements. La résistance à la corrosion a été caractérisée par la polarisation potentiodynamique et la spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS). La résistance à la polarisation des revêtements de sodium-molécules inorganiques s'est révélée beaucoup plus élevée que celle des substrats d'aluminium avec une valeur de l'ordre de 100 k Ω .cm 2 et 1 k Ω .cm 2 , respectivement. La résistance au transfert de charge des substrats en aluminium, des couches minces de zirconium-molécules inorganiques et organiques est de l'ordre de 1 k Ω .cm 2 , 100 k Ω .cm 2 et 10 M Ω .cm 2 , respectivement. Ces résultats montrent que les films minces sans chrome préparés dans ce projet présentent un énorme potentiel de protection de l'aluminium contre la corrosion.

Chrome coatings are most commonly used for surface treating alloys in many fields, but emerging legislation prohibits their use in many countries due to their high toxicity. In this work, zirconium-inorganic molecule, zirconium-organic molecule, and sodium-inorganic molecule thin films were developed as chrome less coatings. Zirconium-inorganic molecule, zirconium-organic molecule, and sodium-inorganic molecule thin films were synthesised using sol-gel and one-step electrodeposition processes. The presence of zirconium, sodium, and inorganic molecules was characterized by energy dispersive X-ray (EDX) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) techniques. Scanning electron microscopy was used to investigate the surface morphology of the thin films. The corrosion behavior of the thin films on an aluminum substrate was characterized by potentiodynamic polarisation and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The polarisation resistance of sodium-inorganic molecule thin films was found to be much higher compared to aluminum substrates with values on the order of 100 k Ω .cm 2 and 1 k Ω .cm 2 , respectively. The charge transfer resistance of aluminum substrates, zirconium-inorganic molecule and zirconium-organic molecule thin films are found to be on the order of 1 k Ω .cm 2 , 100 k Ω .cm 2 and 10 M Ω .cm 2 , respectively. These results show that the chrome less thins films prepared in this project have an enormous potential in the corrosion protection of aluminum.

Effet de la rigidité d'un équipement de soudage sur les propriétés mécaniques et physiques de joints d'aluminium soudés par friction malaxage

Effect of welding equipment rigidity on mechanical and physical properties of friction stir welded aluminum alloys



Introduction

Many applications use friction stir welding (FSW). This solid state joining process produces good quality welds that makes it attractive to multiple industries. The nature behind this process is that a rotating tool penetrates in two pieces. When the tool shoulder is in contact with working pieces, friction generates heat. Material can then be deformed easily and tool probe mix the two pieces together. As the tool moves forward, consolidation of the joint is made.

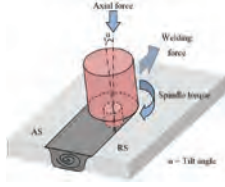


Figure 1 – Forging forces in FSW

Specialized equipment, such as a gantry or a robot as shown in figure 2, is quite expensive. That makes FSW hardly available for small industrials. Fortunately, alternative equipment exists. For instance, a universal milling machine can be adapted to perform FSW joints.



Figure 2 – Welding equipment a) MTI gantry b) Fanuc robot M-900/600IA c) Millac 5VA universal milling machine

Properties of two joints made by two different equipment are expected to be different, even using the same welding parameters and conditions. The stiffness of the equipment can cause this situation. Since FSW involves high forging forces, the equipment structure undergoes deformations and movements, which are proportional to its flexibility.

Tough studies have never focused on equipment stiffness, some effects of this singularity have already been thought. Flexion in the equipment structure can create a tool tilt angle that affects joint properties, especially surface finish. Striations, present on every weld, are surface discontinuities favorable to fatigue crack nucleation. It induces notch effect and stress concentration sites that decrease fatigue strength. Some observations have been listed concerning striation [1, 2].

- Spacing between striation is constant for a constant welding speed
- Spacing tends to increase when increasing welding speed for a constant rpm
- Amplitude of a striation can depend on the tool shoulder's features
- High cycle fatigue tends to lightly increase when increasing welding speed

Understanding the origin of striation would give a better control over this surface defect. Also, comparing equipment performances would give easier accessibility to FSW for small industrials, as long as non-specialized equipment gives similar quality joints than specialized ones.

Objectives

- Study the effect of welding equipment stiffness on:
 - 1) Surface striations
 - 2) Tensile properties
 - 3) General quality of a joint
- Develop knowledge on the origin of striations
- Assign a performance degree to specialized and non-specialized welding equipment
- Promote FSW technology among small industrials with low investment

Experimental work

- 1) Determination of welding parameters and conditions
- 2) Joint fabrication using a universal milling machine, a MTI gantry and a robot incorporated with a FSW unit
- 3) Specimens preparation
- 4) Tensile characterization, metallography and roughness characterization of the welds
- 5) Results analysis and welding equipment performance definition

Results

For every welds made by each equipment, ultimate tensile strength (UTS) of the FSW joints have been measured. Figure 3 presents the mean UTS and the standard deviation for tensile tests specimens. Due to overheating or overloading issues, the MTI and the robot have not been able to produce some parameter combination.

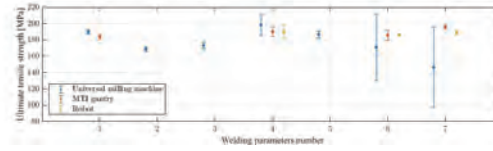


Figure 3 – Tensile test results for different equipment

Surface roughness of a weld have been measured using a cut 2D longitudinal section, as shown in figure 4. Pictures and measurements have been performed by optical microscope incorporated with the Clemex-Vision image analysis software.

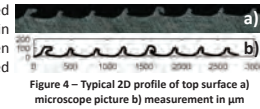


Figure 4 – Typical 2D profile of top surface a) microscope picture b) measurement in µm

Figure 5 compares surface roughness measurements of three welds made with the same parameters by each equipment.

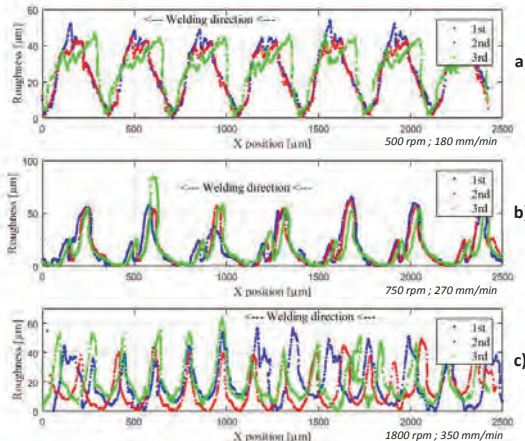


Figure 5 – Surface roughness of 3 welds made by a) universal milling machine b) MTI gantry c) robot

Conclusions

- 1) Repeatability of the universal milling machine is not always good. Thus, to get a good quality weld with this equipment, larger optimisation work than the specialized equipment has to be done
- 2) Spacing between striations depends only on the welding parameters
- 3) Forging forces generate tool tilt angle greater for flexible equipment like the robot and insignificant for stiff equipment like the MTI gantry
- 4) Striations amplitude and shape are related to the equipment stiffness that influences deformation and movement of its own structure

References

[1] L. St-Georges and L. I. Kiss, Le soudage par friction malaxage : principes et applications. Les Presses de l'Aluminium, 2016.
 [2] S. Lomolino, R. Tovo and J. dos Santos, "On the fatigue behaviour and design curves of friction stir butt-welded Al alloys," International Journal of Fatigue, vol. 27, pp. 305-316, 2005.

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS
TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Anthony Fleury
Université du Québec à Chicoutimi

L. St-Georges - UQAC
A. Rahem - UQAC

L'utilisation du soudage par friction malaxage (SFM) se répand continuellement dans diverses industries, telles que l'aéronautique et la construction en génie civil. Bien qu'un joint SFM soit de qualité supérieure à un joint soudé par procédé de fusion, des phénomènes indésirables peuvent altérer ses propriétés. En effet, le passage de l'outil lors de la fabrication d'un joint laisse des stries en surface, propices à l'amorçage des microfissures de fatigue. La rigidité d'un équipement de soudage, qui affecte les déformations et les mouvements des éléments de la machine, peut causer ce type de défauts. Elle peut aussi avoir d'autres répercussions, comme sur la taille du joint. L'objectif de cette étude est donc de déterminer les conditions de soudage qui produisent des joints intègres en fonction de cette rigidité. Les travaux porteront notamment sur l'analyse des propriétés mécaniques et physiques de joints d'alliages d'aluminium soudés par différents équipements. Dans l'ensemble, une comparaison entre des soudures réalisées avec des équipements spécialisés SFM et non spécialisés permettra d'évaluer leur potentiel et l'effet de leur rigidité sur l'état des joints. À ce propos, la fabrication d'un joint de qualité comparable pour tout équipement pourrait convaincre les petits industriels à implanter cette technologie sans investissement majeur.

Friction stir welding (FSW), a solid state joining process perfectly adapted for aluminum alloy, is being increasingly used in multiple industries. Even though the FSW process produces better and more sustainable joints than fusion welding, undesirable phenomenon can occur which alter the mechanical properties of the material. For instance, during processing, the moving and rotating tool leaves striations on the surface finish, which are favourable for fatigue crack nucleation. The welding equipment's rigidity, which affects the movement and deformation of equipment parts, might be the cause of this issue, along with other effects such as weld size. The main objective of this work is to study the effect of this rigidity on the weld quality. This research project will cover especially the analysis of mechanical and physical properties of aluminum alloy joints welded by different FSW equipment. Overall, the goal is to study the effects of equipment rigidity on a post-welded aluminum alloy joint in order to evaluate the equipment potential and to minimise defects. A comparison between welds made by FSW specialized and non-specialized equipment will allow us to reach this goal. In this regard, producing comparable quality joints with specialized equipment or non-specialized equipment might convince small industrials to implement this technology without major investments.

Vérification et validation de méthodes de conception pour les ponts à platelage en aluminium

Verification and validation of design methods for aluminum decking bridges



1 - INTRODUCTION

Avantages de l'utilisation de l'aluminium dans les ponts routiers

- Légèreté : permet de réduire la charge morte
- Durabilité : bonne résistance à la corrosion
- Malléabilité : possibilité de créer de multiples formes complexes grâce au procédé d'extrusion



Fig. 1 : Extrusions en aluminium

Problématique principale

- Aucune norme pour le calcul de la résistance en flexion des ponts à platelage en aluminium
- Calcul simple dans le cas de pont à poutres sur dalle de béton (méthode du bloc de compression)
- Ce calcul devient plus ardu dans le cas d'un platelage dont la section est alvéolée



Fig. 2 : Section alvéolée d'un platelage en aluminium

3 - MÉTHODOLOGIE

Étape 1 : revue de la littérature

- Inventaire des méthodes de calcul de résistance ultime déjà disponibles pour différents types de ponts (tablier orthotrope en acier sur poutres en acier, dalle en béton sur poutres en acier, madriers de bois sur poutres en acier) des différentes normes existantes (norme S6, AASHTO, Eurocodes)
- Revue des articles, mémoires et thèses sur les théories du calcul de résistance ultime pour différents types de ponts
- Sélection des méthodes de calcul possédant un potentiel d'applicabilité dans le cas des ponts en aluminium

Étape 2 : études par éléments finis

- Création de plusieurs modèles de ponts à platelage en aluminium de diverses configurations dans le logiciel ABAQUS
- Analyse de la résistance aux états limites ultime et d'utilisation des modèles sous les charges prescrites par le Code canadien de conception des ponts routiers

Étape 3 : validation des méthodes de calcul

- Comparaison des valeurs de résistance obtenues à partir des résultats des essais numériques avec ceux des calculs réalisés selon les méthodes de conception sélectionnées
- Analyse des résultats

Étape 4 : développement de nouvelles équations

- Développement de nouvelles équations à partir des méthodes de calculs déjà connues ou adaptation des équations existantes
- Simplification des équations afin qu'elles puissent être implémentées dans la norme de conception des ponts



Fig. 4 : Exemple de modélisation d'un pont à platelage en aluminium sur poutres d'acier

5 - TRAVAUX FUTURS

- La poursuite de la revue de la littérature permettra d'examiner l'applicabilité des méthodes de conception de ponts sur les ponts à platelage en aluminium
- La création des modèles aux éléments finis et l'analyse des résultats permettront de développer des outils de calculs simples permettant d'améliorer les règles de dimensionnement de ponts à platelage en aluminium.

2 - OBJECTIFS

- Examiner l'applicabilité des méthodes de conception de ponts sur les ponts à platelage en aluminium
- Développer des outils de calculs simples permettant d'améliorer les règles de dimensionnement de ponts à platelage en aluminium.



Fig. 3 : Exemple d'un pont à platelage en aluminium

4 - REVUE DE LA LITTÉRATURE

- Le calcul de la résistance ultime d'une poutre mixte à dalle en béton passe par plusieurs étapes dont :

- Calculer la largeur effective de la dalle
- Trouver la position de l'axe neutre
- Déterminer les contraintes dans les sections en compression
- Calculer les bras de levier de chaque bloc de compression et effectuer une sommation des moments
- Chacune de ces étapes est bien décrite dans la norme. Or, dès qu'il s'agit d'aluminium, aucune formule n'est disponible

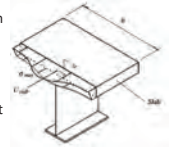


Fig. 5 : Efforts de compression dans une dalle en béton

Calcul de la largeur effective

- Le calcul de la largeur effective d'une dalle en béton se fait de manière très simple. Dans le cas d'un platelage en aluminium, peu d'étude ont été réalisés afin d'obtenir une méthode simple de calcul.
- Comme la section d'un platelage en aluminium en alvéolée, St-Gelais (2018), propose la notion d'aire effective. Ainsi, l'aire effective d'un platelage en aluminium sur poutres en acier se situerait entre 0,65 et 0,7 fois l'aire tribulaire

Position de l'axe neutre

- Possibilité de transformer la section effective du platelage en aluminium en une poutre équivalente (même aire, même inertie flexionnelle)



Fig. 6 : Transformation de la section effective en poutre équivalente

- Ensuite il devient possible de calculer le moment résistant à l'aide de la méthode des blocs de compression.

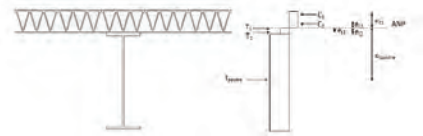


Fig. 7 : Méthode des blocs de compression

REMERCIEMENT

- Fonds de recherche du Québec – Nature et technologie

RÉFÉRENCES

1. Lynch. Custom Aluminum Extrusions. Repéré à <http://lynchmetals.com/custom-extrusions>
2. AlumaBridge. AlumaBridge Demonstration Project Benefits. Repéré à <http://www.alumabridge.com/AlumaBridge-Demonstration-Project.htm>
3. Aluminium Association of Canada. Aluminium Infrastructure and Bridges. Repéré à <https://aluminium.ca/en/aluminium/infrastructure-and-bridges>
4. Chen et al. (2007). Proposed Effective Width Criteria for Composite Bridge Girders. *Journal of bridge engineering*
5. St-Gelais, C. (2017) *Réhabilitation de ponts par l'introduction d'un platelage en aluminium*. (Mémoire de maîtrise inédit) Université Laval
6. Leclerc, J. (2017). *Utilisation innovatrice de l'aluminium dans les ponts : Effets de la variation de la température sur le comportement structural d'un tablier à platelage d'aluminium sur poutres d'acier, à action composite* (Mémoire de maîtrise inédit). Université Laval.

Alexis Gateau-Bégin
Université Laval

C.-D. Annan - UL
M. Fafard - UL

L'aluminium est un matériau renfermant plusieurs propriétés intéressantes en construction civile. Le haut rapport résistance/densité ainsi que la durabilité de l'aluminium par rapport aux matériaux traditionnels comme le béton ou l'acier permettent de conclure qu'une solution de pont en aluminium offre un énorme potentiel pour la construction de ponts routiers modernes avec une capacité accrue aux charges de trafic, ayant une durée de vie prolongée et permettant une construction rapide de celui-ci. Toutefois, l'application d'une conception structurelle et l'optimisation d'une nouvelle solution de pont en aluminium restent encore une tâche ardue. Un exemple concret est lié au calcul du moment plastique ou ultime qui permet d'établir la résistance du pont en flexion. Pour des ponts béton / acier, ce calcul est simple, car la section de béton est pleine (méthode du bloc de compression). Or, comme la section d'un platelage est alvéolée, ce calcul devient ardu. C'est une tâche non triviale qui rend difficile la mise en œuvre de la méthode simplifiée spécifiée acceptée par le code afin de déterminer le moment ultime de la section composite en aluminium. L'exemple ci-dessus n'est qu'une des questions qui doivent être examinées dans le cahier des charges de conception existante. L'objectif principal de cette recherche est donc de développer des outils de calcul simples permettant d'améliorer les règles de dimensionnement de ponts en aluminium et de ses composantes.

Aluminium is a material with several interesting properties for construction. Aluminium's superior strength-to-weight ratio and durability (i.e. resistance to atmospheric corrosion) compared to traditional materials, like steel and concrete, mean that an aluminium bridge solution offers tremendous potential for building modern vehicular bridges with increased traffic load capacity, extended service life and rapid construction. However, the structural design application and optimisation of a new aluminium bridge solution still remains a daunting task. For example, considering that an optimal aluminium bridge deck solution consists of a multi-cellular section made from extrusions, and that the determination of the bending moment resistance of a section requires engineers to calculate the plastic moment, it becomes a non-trivial task to implement the simplified methodology specified by the design code to determine the ultimate moment capacity of aluminium deck sections. The above example is only one of the issues that need to be examined in existing design specifications. The purpose of this research is to develop simple calculation tools for the design of aluminium bridges that could be implemented in the Canadian Highway Bridge Design Code.



Introduction

Deposition of proper coatings to enhance wear and corrosion resistance is a common industrial need. Iron Aluminide intermetallics are considered as superb competitors to stainless steels for corrosion resistant applications because of their low production cost and good corrosion resistance [1,2]. It has been proven that incorporation of hard ceramic particles such as TiC into the Iron Aluminide matrix can improve its mechanical properties especially its wear resistance [3,4]. Iron Aluminide intermetallics reinforced with TiC particles have been recently produced by mechanical alloying. However to increase the production rate, other methods such as combustion synthesis should be used. [5]

Problem Statement

- Poor ductility at room temperature ✓ Addition of 2 at.% Cr
- Low wear resistance at room temperature ✓ Addition of TiC particles
- Low production rate of recently used methods ✓ Using Combustion synthesis

Goals

- Development of Fe₃Al powder reinforced with TiC particles by combustion synthesis
- Deposition of produced powder on metal substrate using the HVOF process
- Study the tribological behavior of reinforced iron aluminide coatings

Methodology

The mixtures of (Fe-Al-Ti-C-Cr) are mixed to prepare Fe₃Al-50TiC at different temperature

Step 1

- XRD
- If it is produced → SEM → The size and distribution of TiC particles
- If it is not produced → The mixture is milled for different times → XRD

Step 2

- Fe₃Al-50TiC produced at step 1
- Fe₃Al with different TiC
- Fe₃Al(TiC-TiB₂)

HVOF → Tribological behavior → Wear rate, Hardness

	Milling time	Pressure	Temperature	Time at furnace
Fe ₃ Al-50TiC	No milling	200 MPa	900 °C	5 min
	15 min	300 MPa	1000 °C	10 min
	30 min	300 MPa	1100 °C	10 min

Results & Discussion

30-50-70 mol.% TiC

Cross section of coatings

Results & discussion

Comparing the present study and previous work

Sample	Hardness of feedstock powders HV _{0.1}	Hardness of coatings HV _{0.1}	Amiriyari et al. coatings HV _{0.1}
Fe ₃ Al-30 TiC	370 ± 40	550 ± 30	450
Fe ₃ Al-50 TiC	560 ± 30	650 ± 30	520
Fe ₃ Al-70 TiC	880 ± 40	900 ± 30	630

Conclusion

- The final products contained Fe₃Al and TiC without any residual raw materials or non-stoichiometric phases indicating that the reactions took place completely.
- The wear mechanism changed from adhesive wear to abrasive by decreasing the TiC content and increasing the sliding speed
- Fe₃Al-TiC powders produced by combustion synthesis offer significant benefits in terms of final dry-sliding wear properties (1.5 to 20 time higher wear resistance) and cost over powders of identical composition obtained by high-energy ball milling. Therefore, the former can be considered as a source of feedstock for the coating or large industrial infrastructure such water turbines.

References

- Stoloff, N. Materials Science and Engineering: A, 1998, 258(1), p. 1-14.
- Liu, C. and K. Kumar, JOM, 1993, 45(5), p. 38-44.
- Altman, D.E., et al., Wear, 2001, 251(1), p. 875-884.
- Morris, D.G., M. Munoz-Morris, C. Baudin, Acta materialia, 2004, 52(9), p. 2827-2836.
- Amiriyari, M., et al., Wear, 2015, 342-343, p. 154-162.



Hadi Ghazanfari
 Université Laval

C. Blais - UL
 H. Alamdari - UL
 M. Gariépy - Wartsila
 S. Savoie - Institut de recherche Hydro-Québec
 R. Schulz - Institut de recherche Hydro-Québec

Des revêtements de Fe₃Al-TiC contenant diverses fractions volumiques de particules de TiC renforcées ont été déposées sur un substrat en acier doux en utilisant la technique HVOF. Les poudres de charge ont été produites par synthèse de combustion. Des revêtements de Fe₃Al, contenant différentes fractions volumiques de particules de TiC sub-micrométriques (30% en moles, 50% en moles et 70% en moles) ont été préparés. La résistance à l'usure des revêtements a été évaluée par des essais d'usure par glissement à sec (pin-on-disk) à température ambiante en utilisant diverses vitesses de glissement, allant de 0.04 m/s à 0.8 m/s. Il a été constaté qu'une augmentation de la teneur en TiC de 30% molaire à 50% molaire augmente la résistance à l'usure de 11% et 75% pour des vitesses de glissement de 0.1 m/s et 0.8 m/s, respectivement. En outre, une augmentation supplémentaire de la teneur en TiC jusqu'à 70% en moles a fourni des revêtements avec des taux d'usure d'un ordre de grandeur inférieurs à ceux mesurés pour les revêtements Fe₃Al-50 mol.% TiC. Les mécanismes d'usure dominants pour de tels revêtements et conditions d'essai ont été identifiés comme étant l'usure abrasive, l'usure de l'adhésif, l'usure par fatigue et l'oxydation. Les résultats ont montré que, lors de l'utilisation de poudres de matières premières produites par synthèse de combustion, les revêtements HVOF présentaient une résistance à l'usure environ 1.5 à 20 fois plus élevée que la charge avec une composition identique produite par broyage à billes à haute énergie.

Fe₃Al-TiC coatings containing various volume fractions of reinforcing TiC particles were deposited on a mild steel substrate using the high-velocity oxy-fuel (HVOF) technique. The feedstock powders were produced by combustion synthesis. Fe₃Al coatings, containing different volume fractions of sub-micrometer TiC particles (30 mol %, 50 mol %, and 70 mol %), were prepared. Wear resistance of the coatings was evaluated by dry sliding wear tests (pin-on-disk) at room temperature using various sliding speeds, ranging from 0.04 m/s to 0.8 m/s. It was found that an increase in the TiC content from 30 mol % to 50 mol % increases wear resistance by 11% and 75% for sliding speeds of 0.1 m/s and 0.8 m/s, respectively. Moreover, a further increase in TiC content to 70 mol % provided coatings with wear rates one order of magnitude lower than those measured for Fe₃Al-50 mol % TiC coatings. The dominant wear mechanisms for such coating and test conditions were identified to be abrasive wear, adhesive wear, fatigue wear and oxidation. Results showed that, when using feedstock powders produced by combustion synthesis, HVOF coatings exhibited about 1.5 to 20 times higher wear resistance compared to the feedstock with identical composition produced by high-energy ball milling.

Formation des dispersoïdes et leur effet sur les propriétés de fluage de l'alliage de fonderie Al-Si-Cu-Mg avec l'addition du Mn et du Mo

Formation of dispersoids and their effect on creep property of Al-Si-Cu-Mg foundry alloy with additions of Mn and Mo

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi



1. INTRODUCTION

Al-Si-Cu-Mg aluminum alloy is one of widely used foundry alloys due to its good castability. It has moderate strength, but elevated temperature properties are often compromised by over-ageing. Mn, Mo have been used in different alloys to precipitate different dispersoids, and studies shows that elevated-temperature properties are improved due to large quantity of thermally stable Mn, Mo containing dispersoids.

2. OBJECTIVES

1. Figure out the optimal heat treatment conditions to maximize dispersoids precipitation in 319 cast alloys.
2. Study strengthening effect of dispersoids at elevated temperature in terms of yield strength and creep properties.

3. EXPERIMENTAL

Chemical composition of experimental alloys

Alloy	Si	Cu	Mg	Ti	Fe	Mo	Mn	Al
A(Base)	5.39	3.19	0.08	0.10	0.28	0	0	Bal.
B	6.03	3.42	0.08	0.10	0.22	0	0.24	Bal.
C	6.02	3.42	0.09	0.14	0.31	0.32	0	Bal.
D	6.07	3.45	0.09	0.08	0.32	0.29	0.25	Bal.

Heat treatment: 500 °C for various holding time.

OM and TEM: characterize dispersoids.

Mechanical properties: Micro hardness; Yield strength; Creep resistance.

4. RESULTS

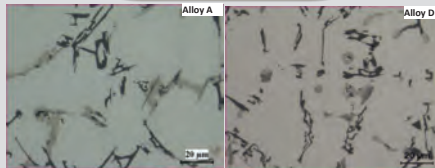


Fig.1 Optical images of As-cast microstructure of experimental alloys

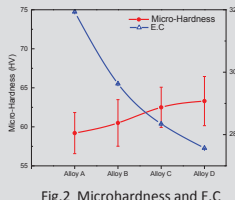


Fig.2 Microhardness and E.C of as cast alloys

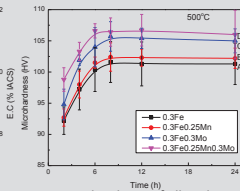


Fig.3 Microhardness of alloys heat-treated at 500 °C

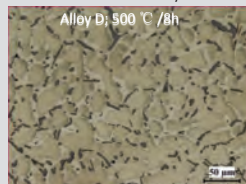


Fig.4 Typical Dispersoid Zone and DFZ in Alloy D

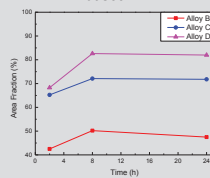


Fig.5 Evolution of Dispersoid Zone

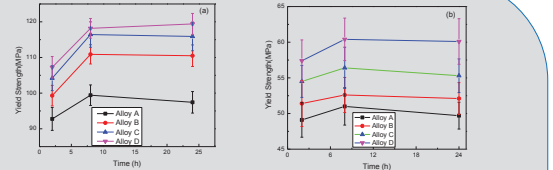


Fig.6 Evolution of YS for experimental alloys, tested at 25 °C (b)300 °C

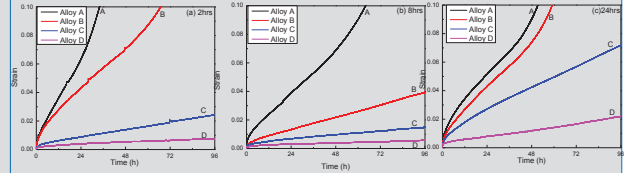


Fig.7 Creep compression test at 300°C (alloys heat-treated at 500 °C +aged 5hrs@155 °C +soaking at 300 °C for 100hrs.)

Table.2. Creep properties in experimental alloys

Treatment	Properties	A	B	C	D
2h	Total Strain	0.24	0.17	0.0025	0.0076
	Minimum creep rate(s ⁻¹)	6.5E-07	5.0E-07	6.1E-08	1.8E-08
8h	Total Strain	0.17	0.040	0.015	0.0057
	Minimum creep rate(s ⁻¹)	5.5E-07	1.0E-07	3.1E-08	1.1E-08
24h	Total Strain	0.20	0.17	0.072	0.022
	Minimum creep rate(s ⁻¹)	7.1E-07	1.7E-07	6.0E-07	5.5E-08

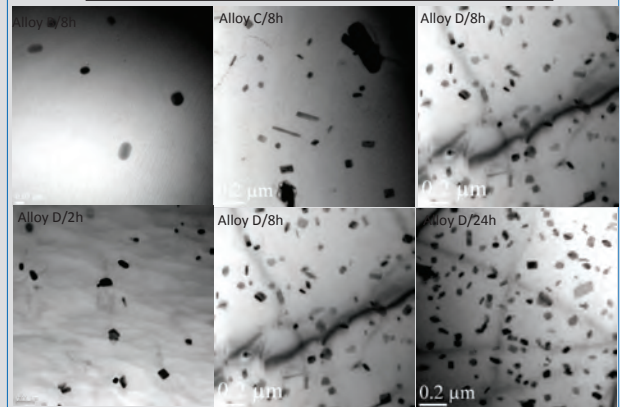


Fig.8 Evolution of dispersoid distribution in alloy B,C and D. (Treated@500 °C)

5. CONCLUSIONS

1. Compared with base alloy free of Mo and Mn, alloys with Mo or Mn addition promotes dispersoids formation upon 500 h treatment.
2. 500 °C /8h is confirmed to be the optimal heat treatment condition characterized by the largest micro-hardness and maximum dispersoids zone.
3. Generally, Alloy with combined addition of Mo and Mn exhibits the highest YS and the best creep resistance, due to a large number of thermally stable dispersoids. Prolonged holding time leads to deterioration of properties due to coarsening of dispersoids.

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Lanfeng Jin
Université du Québec
à Chicoutimi

K. Liu - UQAC
X.-G. Chen - UQAC

Afin de pouvoir répondre à la demande croissante de l'industrie automobile, les dispersoïdes thermostables renforcés en alliage d'aluminium ont continuellement attiré l'attention des ingénieurs pour leurs excellentes propriétés à haute température. Dans cette étude, la formation des dispersoïdes dans l'alliage de fonderie Al-Si-Cu-Mg 319 avec différents ajouts de Mn et de Mo a été étudiée. Leur effet sur la propriété de fluage a été évalué au moyen du taux minimal de fluage, de la contrainte de seuil et de l'exposant de contrainte. Les résultats montrent que les additions individuelles et combinées de Mn et de Mo pourraient favoriser la formation des dispersoïdes. La densité en nombre des dispersoïdes augmente de l'addition individuelle de Mn à l'addition individuelle de Mo et atteint les valeurs maximales avec l'addition combinée de Mn et de Mo. Le même exposant de contrainte de fluage (~ 4) indique que la déformation de fluage est principalement contrôlée par le mécanisme de dislocation. Par conséquent, la contrainte de seuil de fluage augmente dans le même ordre que l'évolution des dispersoïdes puisque l'interaction entre les dispersoïdes et les dislocations joue un rôle important dans la résistance au fluage.

In response to increasing demands from the automotive industry, thermal-stable dispersoid strengthened aluminum alloys have continuously drawn attention from engineers for their excellent elevated-temperature properties. In this study, the formation of dispersoids in an Al-Si-Cu-Mg 319 foundry alloy with different Mn and Mo additions was investigated. Their effect on creep properties was evaluated by means of the minimum creep rate, threshold stress and stress exponent. Results show that both individual and combined additions of Mn and Mo could promote dispersoid formation. The number density of dispersoids increases from individual additions of Mn to individual additions of Mo, and reaches maximum values with a combined addition of Mn and Mo. The similar creep stress exponent (~4) indicates that creep deformation is principally controlled by dislocation mechanisms. Therefore, the creep threshold stress increases in the same order with the evolution of dispersoids since the interaction between dispersoids and dislocations plays a significant role on the creep resistance.

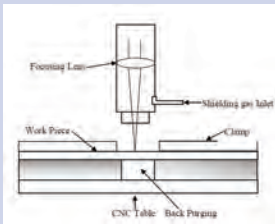
Soudage durable au laser des composants structuraux en alliages d'aluminium pour l'industrie ferroviaire

Sustainable Laser beam welding to manufacture structural aluminum components for railway industry



Abstract: Traditionally, the assembly of railway car's components made of aluminum alloys is performed with gas metal arc welding (GMAW) process. However, several studies have shown that although its simplicity, GMAW is still suffering of several drawbacks. In particular, significant loss in the mechanical characteristics of GMAW joints are often observed, limiting the structures' quality and performance. In the present study, the authors investigated the cold wire laser beam welding (LBW) of the 6005-T6 aluminum alloys' structures as an alternative to the conventional GMAW.

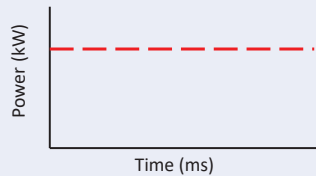
Cold wire laser welding technology



Laser welding setup

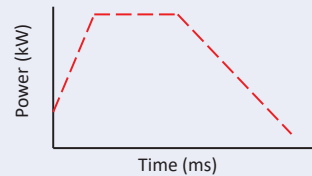
- Single pass laser cold-wire welding of thick AA6005-T6 aluminum plates was carried out in the butt joint configuration
- Laser beam can offers high welding speed and deep penetration in a single pass

Continuous wave (CW) mode



- The input energy is continuously applied
- Higher feed rates and keyhole welding led to a higher risk of hot cracking because of higher cooling rates

Pulsed wave (PW) mode



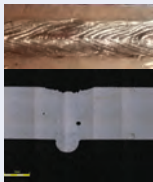
- Rectangular laser pulses may led to hot cracking due to high cooling rates
- To avoid this issue, a ramp-up and ramp-down shape is adopted
- The laser power is linearly decreased during a cooling duration to achieve moderate cooling rates during solidification

Macroscopic defects

CW mode

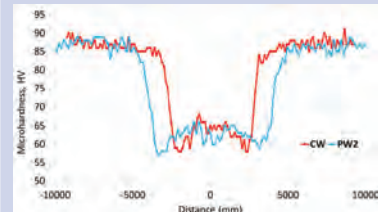


PW mode



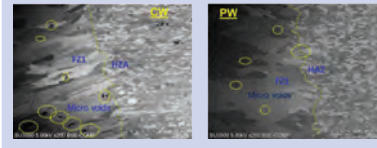
- The CW joint experience severe under fill and minor undercut at the bottom
- Both CW and PW joints generate macroscopic porosity

Micro-hardness profiles



- The microhardness of the pool is roughly higher in the case of the PW
- The heat affected zone is also higher in the case of the PW mode

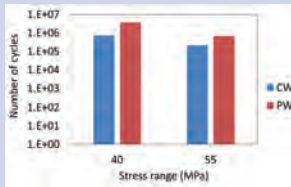
Microstructure



Microstructure at the fusion/heat affected zones interface for a) CW and b) PW modes

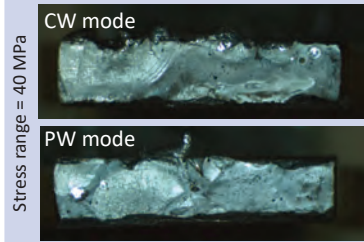
- The CW mode generates high number of microvoids as compared to the PW mode

Fatigue life

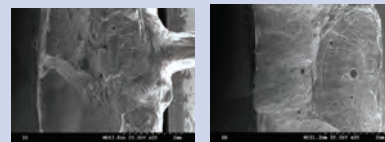


- The PW results in better fatigue life than the CW mode
- This can be explained by the better surface integrity induced by the PW mode in terms of induced-defects

Fractographic analysis



Stress range = 40 MPa



(a) CW mode (b) PW mode

- Multiple crack initiation sites for both CW and PW modes
- The main initiation sites were lack of fusion, surface irregularities, and droplets

Conclusions: In the present work, the cold wire laser welding was successfully applied to a thick plate made of aluminum alloy 6005-T6. In particular, the pulsed mode laser welding performed better than the continuous mode in terms of macro- and microscopic defects, and fatigue life. Thanks to its flexibility, simple automation, and lower energy consumption, the laser beam welding can be a reliable and sustainable alternative of the conventional GMAW process.

Walid Jomaa
ÉTS

F. Atmani - ÉTS
Y. Zedan - ÉTS
V. Demers - ÉTS
P. Bocher - ÉTS

L'assemblage des structures en alliages d'aluminium des voitures de trains est généralement réalisé par soudage à l'arc électrique (GMAW). Cependant, plusieurs études de recherche ont montré que malgré la simplicité de sa mise en œuvre, le procédé GMAW souffre de plusieurs inconvénients. En particulier, il résulte à des pertes considérables des caractéristiques mécaniques, limitant ainsi la performance des structures et leurs qualités. C'est dans ce cadre qu'on propose des nouvelles techniques d'assemblage basées sur le soudage par faisceau laser (LBW) comme une alternative au procédé classique GMAW. La présente étude a montré des résultats pertinents en termes d'intégrité de soudure (microstructure, défauts, résistance mécanique, etc.) et de durée de vie en fatigue. De plus, sa grande flexibilité, aptitude à l'automatisation et faible énergie consommée permettent au procédé LBW de se placer parmi les meilleures alternatives fiables et durables pour remplacer le procédé conventionnel GMAW.

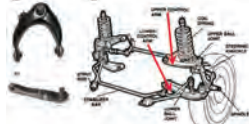
Traditionally, the assembly of railway car components made of aluminum alloys is performed with gas metal arc welding (GMAW). However, several studies have shown that although it is simple, GMAW is still suffering from several drawbacks. In particular, significant losses in the mechanical characteristics of GMAW joints are often observed, limiting the structures' quality and performance. Thus, the authors propose a novel assembly technique using laser beam welding (LBW) for aluminum alloy structures as an alternative to the conventional GMAW. Results show that advanced surface characteristics in terms of microstructure, defects, and mechanical characteristics combined with high cycle fatigue life can be achieved using LBW techniques. Additionally, thanks to its flexibility, simple aromatization, and lower energy consumption, the LBW can be a reliable and sustainable alternative to the conventional GMAW process.

Comportement rhéologique à chaud d'un alliage d'aluminium 6082 Hot rheological behaviour of a 6082 aluminium alloy



Introduction

Au cours des dernières décennies, les alliages d'aluminium ont vu leur utilisation dans l'industrie considérablement augmenter de part leurs nombreux avantages tel qu'un très bon ratio caractéristiques mécaniques/poids et une bonne résistance à la corrosion. De plus la fabrication par forge donne de meilleures propriétés mécaniques.



Afin d'optimiser le procédé de forge d'une suspension automobile, il est important de caractériser ces alliages en étudiant leurs comportements rhéologiques à chaud afin de pouvoir définir leur loi de comportement.

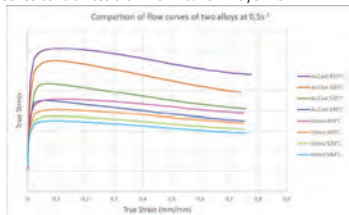
Résultats

Les tests de compression ont permis de tracer les courbes de contrainte-déformation pour les quatre alliages étudiés. Dans un premier temps la friction est étudiée en fonction du taux de renflement et corrigé en prenant compte de la déformation avec :

$$\sigma = \frac{\sigma_a}{1 + \bar{m} \frac{R_0}{\sqrt{3} * H_0} e^{\frac{3+\bar{\epsilon}}{2}}}$$

Avec \bar{m} le coefficient de friction dépendant du renflement, σ_a la friction apparente, R_0 et H_0 les dimensions initiales et $\bar{\epsilon}$ la déformation.

Le type de procédé d'obtention du brut d'alliage influe sur la taille de grain, ainsi les alliages obtenus par le procédé « DC Cast » conventionnel ont des grains plus gros que ceux obtenus par le nouveau procédé. Et on peut voir ci-dessous que l'homogénéisation d'un alliage abaisse les contraintes d'environ 40% en moyenne.



A partir des ces données, on peut trouver les lois de comportement voulues tel que la loi d'Arrhenius (1) pour avoir l'énergie d'activation et la loi de Hansel Spittel (2).

$$Z = \dot{\epsilon} e^{\frac{Q}{RT}} = A [\sinh(\alpha\sigma)]^n \quad (1)$$

With R : Perfect Gas Constant : 8,31415 (J.mol⁻¹.K⁻¹)
Q : Activation energy (J.mol⁻¹)
T : Temperature (K)

$$\sigma = A e^{m_1 T} \dot{\epsilon}^{m_2} \dot{\epsilon}^{m_3} e^{\frac{m_4}{\dot{\epsilon}}} \quad (2)$$

Objectif

Analyse inverse sur les courbes de contrainte-déformation dans le but de :

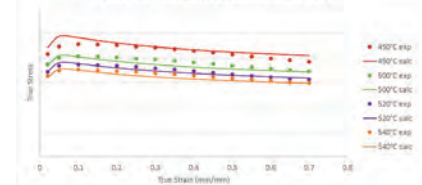
1. Minimiser l'erreur entre les données expérimentales et les données issues des simulations.
2. Prédire les courbes de contrainte-déformation obtenues expérimentalement avec les données de simulation.

Méthodologie

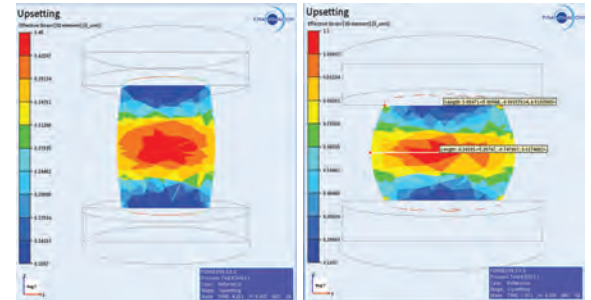
Une série de tests de compressions à chaud uni-axiaux ont été effectués afin d'obtenir les courbes de contrainte-déformation qui sont corrigées en friction en tenant compte des effets impactants. De ces données, les paramètres de la loi de comportement sont trouvés et utilisés pour les simulations. L'analyse de ces dernières permet de revenir sur les hypothèses de compression uni-axiales et obtenir de nouveaux les courbes de contraintes-déformations.

Afin de confirmer la cohérence entre les expériences et les lois de déformations trouvées, la comparaison montre qu'il n'y a que 5% d'erreur en moyenne.

Courbes expérimentales et calculées avec la loi de Hansel Spittel pour une vitesse de déformation de 0.5s⁻¹



Les simulations par éléments finis montrent bien que les déformations locales ne sont pas uniformes : elles dépassent parfois la déformation globale allant jusqu'à 1,1 mm/mm pour une déformation globale de 0,8 mm/mm.



Déformation globale de 0,4

Déformation global de 0,8

Conclusions

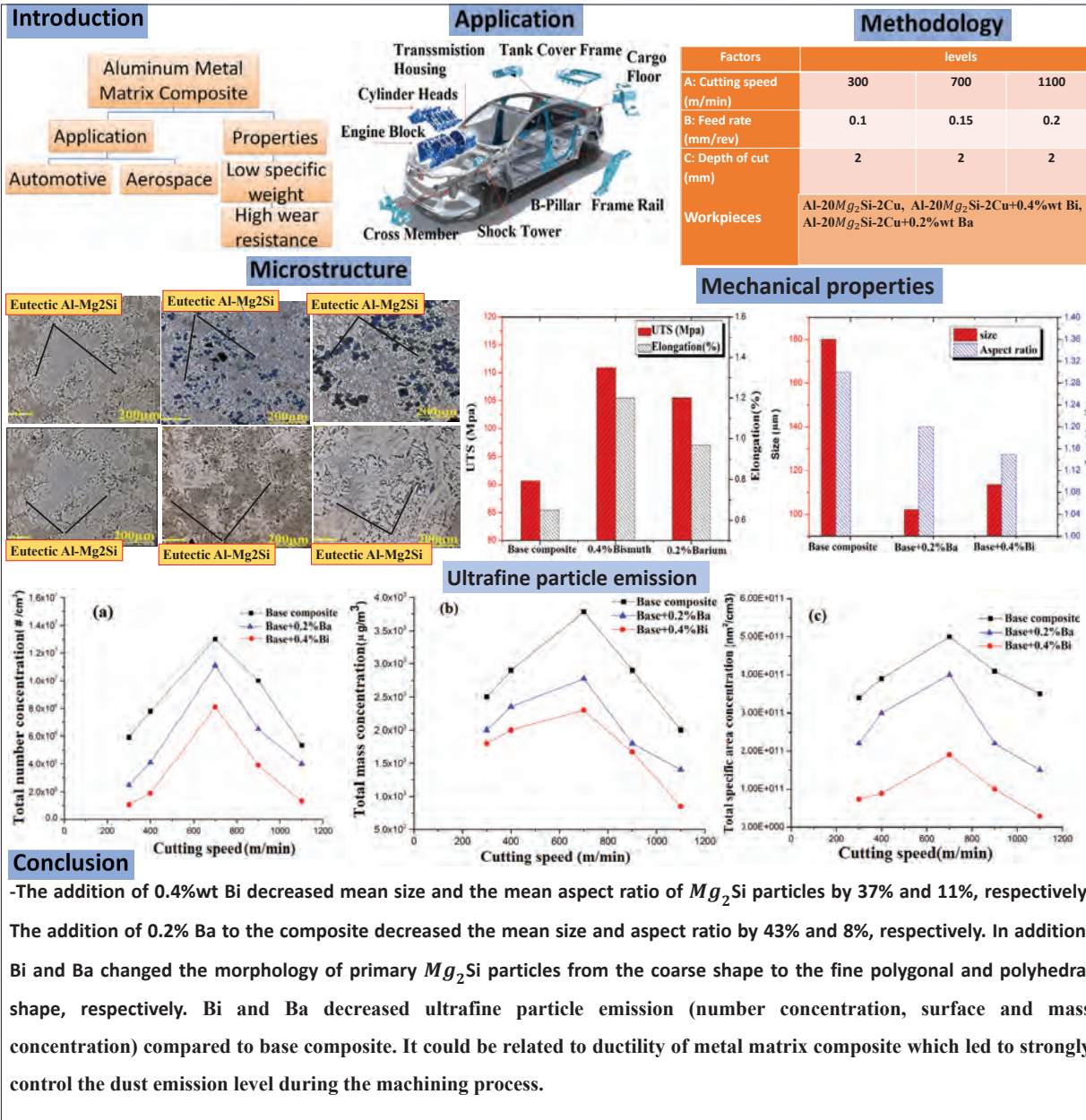
- La correction de la friction prend en compte non seulement la déformation et également le renflement de l'échantillon.
- Les essais de simulations montrent bien que les hypothèses de compression uni-axiale ne sont pas vérifiées en réalité. La déformation n'est pas uniforme sur l'ensemble de l'échantillon à cause de l'effet de renflement.
- L'analyse des données macroscopiques de compression issu des simulations va permettre de déduire les lois de comportement et de les comparer avec les lois issues des expériences.

Quentin Laurent
ÉTS

P. Dibayan - ÉTS
Y. Zedan - ÉTS
P. Bocher - ÉTS
L. Hacini - ÉTS,
Neuman Aluminium
H. Blanchette -
Neuman Aluminium

Au cours des dernières décennies, les alliages d'aluminium ont vu leur utilisation dans l'industrie considérablement augmenter, notamment dans celles aéronautique et automobile. En effet, les alliages d'aluminium présentent de nombreux avantages tels qu'un très bon ratio caractéristique mécanique/poids et une bonne résistance à la corrosion. De plus, la fabrication par forge donne de meilleures propriétés mécaniques. Afin d'optimiser le procédé, il est important de caractériser ces alliages en étudiant leur comportement rhéologique à chaud, afin de pouvoir leur définir une loi de comportement et ce, en vue d'optimiser la conception de certaines pièces. L'objectif de la présente étude est de prédire les courbes de contraintes de déformation obtenues expérimentalement, afin de pouvoir dans un second temps retrouver la loi de comportement réel lors de la forge des pièces réelles. Pour cela, des tests en compression ont été effectués afin d'obtenir des courbes de contraintes-déformations et d'en tirer la loi de comportement définissant l'alliage. Cette dernière sera utilisée pour simuler des tests de compressions afin de valider les hypothèses faites lors de l'analyse des courbes expérimentales.

Within the last decades, the utilisation of aluminum alloys in industry has sustained a rapid and strong growth, especially in the aerospace and automotive industry. Aluminum alloys have many advantages such as a very good strength-to-weight ratio and good resistance to corrosion. Furthermore, fabrication by forging methods can result in higher mechanical properties. However, it is important to characterize these alloys by studying their hot rheological behavior to define a constitutive law so that we can optimize the design of certain parts. The objective of the present study is to predict the stress-strain curves obtained experimentally in order to be able to find the a behavioural law when the real parts are forged. To do this, we performed compression tests through which we obtained stress-strain curves, which were used to define the alloy's behavioral law. This law will be used to simulate compression tests in order to confirm the hypothesis done during the analysis of the experimental curves.



Mohsen Marani
ÉTS

V. Songmene - ÉTS

Au cours des dernières années, les industries de l'automobile et de l'aérospatiale ont utilisé des composites à matrice métallique en aluminium renforcé de particules (CMM) en raison de leur faible poids spécifique, de leur résistance élevée à l'usure et de leurs propriétés mécaniques améliorées. Ce travail traite de l'effet de l'addition du bismuth (Bi) et du baryum (Ba) sur l'usinabilité, les émissions de particules pendant le fraisage et les propriétés mécaniques du composite à matrice d'aluminium *in situ* Al-20Mg₂Si. Les expériences ont été réalisées à sec en utilisant une fraiseuse CNC munie d'outils en carbure non revêtus. Un spectromètre à mobilité pour classer les particules (SMPS) a été utilisé pour mesurer les émissions de particules ultrafines. Les résultats montrent que l'addition de Bi et du Ba améliore la résistance à la traction (UTS), l'élongation (EI%) et la dureté. Ils indiquent aussi que la rugosité de surface et la force de coupe diminuent avec l'addition de 0,4% en poids de Bi et de 0,2% de Ba en raison du changement des tailles de particules de Mg₂Si.

In recent years, particulate reinforced aluminum metal matrix composites (MMCs) have been used by automobile and aerospace industries because of their low specific weight, high wear resistance, and improved mechanical properties. In the present work, the effect of bismuth (Bi) and barium (Ba) addition on machinability, particle emission and mechanical properties of an Al-20Mg₂Si metal matrix composite are investigated. Experiments were carried out using dry CNC milling by uncoated carbide tools. A scanning mobility particle sizer (SMPS) was used to measure ultrafine particle emissions. The results show that the addition of Bi and Ba improved the ultimate tensile strength (UTS), elongation (EI%), and hardness values. The results indicated that surface roughness and cutting force decrease with addition of 0.4 wt.% Bi and 0.2% Ba due to changes of the Mg₂Si particle size.

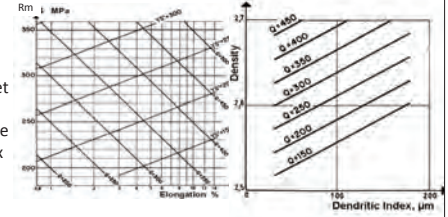
Effets de l'hydrogène sur les propriétés mécaniques de l'alliage d'aluminium A356. Faire le lien entre les grades radiographiques de la norme E-155

Effects of hydrogen on mechanical properties of AlSi7Mg aluminium alloy and make a bond with reference grade in radiography of E-155



INTRODUCTION

Dans ce projet, on s'intéresse aux alliages d'aluminium A356, le but est de faire le lien entre le taux d'hydrogène de la coulée et les propriétés mécaniques telles que la résistance ultime en traction (Rm), le pourcentage d'allongement (A%), la limite élastique (LE), l'indice de qualité (Q) en passant par les grades radiographiques de la norme ASTM E-155. L'indice de qualité est étroitement lié à la résistance maximale et au % d'allongement d'où la formule $Q = R_m \text{ (MPa)} + 150 \log(A\%)$. Il dépend également de la densité du matériau ($\text{density} = 2.675 * (1 - \text{porosité})$) et de la vitesse de refroidissement qui a un effet direct sur la finesse dendritique du matériau. Donc pour réaliser ce projet, trois blocs à gradins ont été coulés avec des niveaux de gazages différents (Gazé-normal-dégazé), des radiographies des blocs ont été prises pour avoir le grade radiographique, des éprouvettes de tractions ont été usinées et tractionnées puis une micrographie a été faite dans le but d'obtenir le pourcentage de porosité.



PROCÉDURES EXPÉRIMENTALES

Préparation du moule

Coulée

Test d'hydrogène

Radiographie

Identification des échantillons

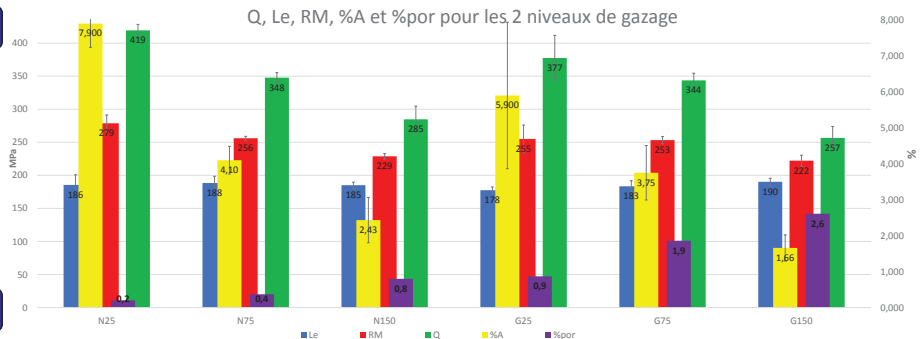
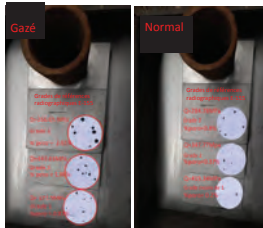
Usinage des éprouvettes

Traction

Polissage

Nettoyage à l'ultrason

Résultats



Conclusion

- > 95% des limites élastiques se situent entre 179 +/- 19 MPa c'est donc la preuve que la limite élastique ne dépend pas de la porosité dans les échantillons contrairement à la résistance ultime en traction, le pourcentage d'allongement et l'indice de qualité.
- > L'indice de qualité, qui dépend du pourcentage de porosité et de la finesse dendritique, est meilleur dans les petites sections puisque le pourcentage de porosité est plus bas et les dendrites plus fines. De plus, en diminuant le niveau de gazage, on augmente l'indice de qualité.
- > Il est aussi possible de faire un lien entre le pourcentage de porosité dans l'échantillon et les grades radiographiques de la norme E-155.

Jade Massicotte
Cégep de Trois-Rivières

L. Forget -
Cégep de Trois-Rivières

J.-F. Blackburn -
Cégep de Trois-Rivières

F. Chiesa - CMQ

Dans ce projet, un bloc à gradins comportant 3 épaisseurs a été coulé en alliage d'aluminium A356. Avec un appareil Alscan, nous avons mesuré 3 niveaux différents de gazage, soit 10, 18 et 32 mL Hydrogène/100g et coulé 3 blocs à gradins. Des radiographies, selon la norme ASTM E155, ont été réalisées. Des essais de traction ont permis de déterminer les propriétés mécaniques. Un examen microscopique a complété cette étude.

In this project a step casting (6mm, 19mm, 38mm) was poured using an AlSi7Mg (A356) aluminum alloy. Three levels of Hydrogen (10, 18 and 32 ml/100g) were measured by Alscan directly in the crucible before pouring; reduced pressure test sample densities were also measured (2.61, 2.48 and 2.35). Tensile tests per ASTM E8 were removed from each step and the mechanical properties, radiographic inspections per ATM E155 and microscopic examination were performed.

Reconception et analyse environnementale de la fabrication d'une pièce structurale

Redesign and environmental analysis of manufacturing an aluminum aircraft's structural part



Résumé: Le soudage par friction-malaxage est un procédé d'assemblage de métal à l'état solide avec de nombreux avantages par rapport aux techniques de soudage par fusion. Pour faciliter l'industrialisation, l'équipe PI2/REGAL à l'Université Laval ont récemment développé une technique de soudage par friction et malaxage à angle droit (RAFSW) plus économique. Les objectifs principaux du présent projet sont donc de caractériser et d'optimiser, de vérifier la fiabilité et la robustesse, ainsi que de développer des applications utilisant la RAFSW. Cela jouerait un rôle crucial pour amener les utilisateurs potentiels à profiter du FSW au lieu de méthodes de soudage conventionnelles. À cette fin, d'abord, une étude a été faite pour acquérir une connaissance approfondie de l'effet des paramètres du procédé RAFSW sur les forces générées et sur les propriétés mécaniques du AA6061-T6 utilisant la méthode Taguchi et la modélisation neuronique. Ensuite, une recherche a été faite sur l'effet de traitement thermique post-soudure sur récupération de propriétés mécaniques des soudures optimisées. Plus tard, la technique sera développée pour différentes applications de joints à recouvrement de panneaux de camion, pour faciliter l'assemblage d'extrusions et pour introduire une nouvelle technique de fabrication additive-soustractive.

Introduction

- In recent decades, friction stir welding (FSW) is remarked as one of the most considerable developments among metal joining processes.
- FSW is a solid-state metal joining process which provides users with many advantages over fusion welding methods like MIG welding.
- During FSW, the material undergoes intense plastic deformation at elevated temperatures using a non-consumable rotating tool.
- The tool is consists of a designed shoulder and a pin.
- During the process, the pin plunges into the abutting edge of the workpiece and traverse along the joint line.

- Advantages of FSW over conventional fusion welding methods**
- Higher energy efficiency
 - Environmental friendly
 - Better mechanical and fatigue properties
 - Lower distortion and residual stresses
 - Less sensitivity to the corrosion
 - Porosity-free and crack-free joints
 - Weld non-weldable alloys
 - Weld dissimilar alloys
 - Excellent metallurgical properties in the joint area

Problem statement

- High Machines costs
- High process forces
- Need for powerful loading and fixturing
- Lack of guidelines regarding efficient working window of process parameters
- Majority of the available data is for low welding speeds, so high speed techniques applicable for thicker materials is needed to be developed
- Need to validate the reliability of the techniques
- Lack of data regarding the effect of PWHT
- Lack of data regarding fatigue behavior
- Need to be developed for different geometries
- A lot of room to develop new manufacturing processes based on FSW

Objectives

- To deal with the mentioned problems, PI2/REGAL team at Laval University has recently developed a low-cost FSW technique operated at right angle (RAFSW) applicable for industrial use [1].
- The advantages of the RAFSW technique:
- Applicable on low-cost 3-axis CNC machines without modifying
 - Low generated force during the process
 - The possibility of welding thicker plates at lower forces than available FSW methods
 - No need for expensive fixtures and clamping
 - The possibility of using the CNC machine for machining, simultaneously
- Therefore, developing different aspects of the introduced RAFSW technique [1], could pave the way to make the FSW process feasible for industrial widespread use.
- Hence, in this work, we are going to:
- To gain a deep insight through the effect of RAFSW process parameters on generated forces and mechanical properties of AA6061-T6 welded plates
 - To investigate the tolerance of joint fit-up variation
 - To characterize the mechanical and physical properties of the sound, defect-free joints
 - To evaluate the effect of post weld heat treatment (PWHT)

Experiments

Planning the experiments based on Taguchi design of experiments

Variables in DOEs

- Tool rotational speed
- Tool traverses speed
- Tool plunge depth
- Gap (as a joint fit-up variation)

Examines

- Bending test
- Tensile test
- Macro-etching
- Micro-etching and microscopic observations
- Vickers's micro-hardness test

Conducting the experiments based on some DOEs to study the effect of process parameters on axial force and tensile strength of the welds

Utilizing artificial neural network modeling

Generated axial force during the RAFSW process

6.35mm thick AA6061-T6 plates

Future works

To study the fatigue behavior of the RAFSW joints. It is expected that as there is not any depression in the RAFSW joints, the fatigue properties boost.

To develop the RAFSW technique for lap joint applications to truck panels

To develop extrusion profile joints adapted to RAFSW technique, to make the FSW process more industrial by eliminating a lot of clamping and fixturing

To introduce a new hybrid manufacturing technique based on utilizing proposed RAFSW technique by 3-axis CNC milling machines to manufacture complex components

In Province of Quebec 5 or 6 FSW machines

While, many thousands of CNC milling machines capable of performing the proposed RAFSW technique

Generally, the future works would focus on different aspects to provide the potential users with a reliable and cheap FSW technique, applicable for different kind of joints and geometries

Abstract: FSW is a solid-state metal joining process with many advantages over fusion welding techniques. To make the process cost-effective, PI2/REGAL team at Laval University has recently developed a low-cost FSW technique at right angle (RAFSW) applicable for industrial use. In this regard, the main objectives of the present project are characterizing and optimizing, verifying reliability and robustness, and developing applications of the proposed RAFSW. This would play a crucial role in pushing the potential users to go beyond their comfort zone and take advantage of FSW instead of conventional welding methods. To this end, at first, a full study was done to gain a deep insight through the effect of RAFSW process parameters on generated forces and mechanical properties of AA6061-T6 welded plates using Taguchi method and artificial neural network modeling. Afterwards, a research was done on effect of post weld heat treatment on recovery of mechanical properties of the optimized welds. Later, the technique will be implemented for different applications from lap joints in truck panels to adapted joints making easier the welding of extrusions. Finally a new additive-subtractive manufacturing technique on CNC machine is also being developed.

Results

The correlation of the RAFSW process parameters and generated force and tensile strength of the welds are modeled utilizing artificial neural network modeling

Axial forces during RAFSW, F_x vs tool rotational ω , and transverse speed, V_t at constant tool plunge depth, P_D , of 6.15mm.

Characterization of sound, defect-free weld made by recently developed RAFSW technique at a traverse speed as high as 540mm/min for 6.35mm thick butt-joints

Micro-hardness profile around the joint at its center-line made by RAFSW at found optimal condition

Advancing side Retreating side

Macrograph and microstructure of a sound, defect-free weld made at optimal condition at a traverse speed as high as 540mm/min

Studying the effect of post weld heat treatment (artificial aging at 160 °C for 18h) on recovery of tensile properties of RAFSW welds

	Tensile Strength (MPa)	Joint Efficiency
AA6061-T6	355	-
RAFSW joint	253	71%
PWHT-RAFSW joint	300	85%

Ultimate tensile strength, UTS, vs tool rotational ω , and transverse speed, V_t at constant tool plunge depth P_D , of 6.15mm.

The correlation of the RAFSW tool plunge depth, gap between the abutting edges and tensile strength of the welds

Ultimate tensile strength, UTS, vs gap between the abutting edges of the plates, and tool plunge depth, P_D , at tool rotational speed of 3500rpm and transverse speed of 540mm/min.

Conclusion

- The relationship between the RAFSW process parameters and generated downward axial force is obtained at high traverse speeds. It demonstrates that the generated force during the RAFSW process is considerably less than FSW techniques at tilt angle.
- The relationship between the RAFSW process parameters and tensile strength is accomplished. Using the low models for axial force and tensile strength, one could select the process parameters so that the force be in minimum levels and the UTS be in the maximum levels.
 - The amount of tolerable gap between the abutting edges during the RAFSW technique is represented in a model. It is demonstrated the more plunge depth, the more gap is tolerable.
 - Metallographic observations demonstrate a defect-free joint has a narrow HAZ with elongated grains, a TMAZ zone with distorted grains, and a NZ zone with equi-axed grains.
 - The Vickers's micro-hardness profile of a sound, defect-free RAFSW weld, made at a speed as high as 540mm/min, indicates a w-shape profile which is common among the FSW joints.
 - The joint efficiency of the PWHT joint is as high as 85%.
 - Thus, the RAFSW technique is characterized in terms of the effect of process parameters, tolerable joint fit-up and metallographic aspects.

Reference:
[1] Inani Y (2015) Development of friction stir welding techniques for multi-axis machines. Laval University, Canada, Quebec.

Le soudage par friction-malaxage est un procédé d'assemblage de métal à l'état solide avec de nombreux avantages par rapport aux techniques de soudage par fusion. Pour faciliter l'industrialisation, l'équipe PI2/REGAL à l'Université Laval a récemment développé une technique de soudage par friction et malaxage à angle droit (RAFSW) plus économique. Les objectifs principaux du présent projet sont donc de caractériser et d'optimiser, de vérifier la fiabilité et la robustesse, ainsi que de développer des applications utilisant la RAFSW. Cela jouerait un rôle crucial pour amener les utilisateurs potentiels à profiter du FSW au lieu de méthodes de soudage conventionnelles. À cette fin, d'abord, une étude a été faite pour acquérir une connaissance approfondie de l'effet des paramètres du procédé RAFSW sur les forces générées et sur les propriétés mécaniques du AA6061-T6 utilisant la méthode Taguchi et la modélisation neuronique. Ensuite, une recherche systématique a été faite sur l'effet de traitement thermique post-soudure sur récupération de propriétés mécaniques des soudures optimisées. Plus tard, la technique sera développée pour différentes applications de joints à recouvrement de panneaux de camion, pour faciliter l'assemblage d'extrusions et pour introduire une nouvelle technique de fabrication additive-soustractive.

FSW is a solid-state metal joining process with many advantages over fusion welding techniques. To make the process cost-effective, the PI2/REGAL team at Laval University has recently developed a low-cost right angle FSW technique (RAFSW) applicable for industrial use. In this regard, the main objectives of the present project are characterizing and optimizing, verifying reliability and robustness, and developing applications of the proposed RAFSW. This would play a crucial role in pushing the potential users to go beyond their comfort zone and take advantage of FSW instead of conventional welding methods. To this end, at first, a full study was done to gain a deep insight through the effect of RAFSW process parameters on generated forces and mechanical properties of AA6061-T6 welded plates using the Taguchi method and artificial neural network modeling. Afterwards, a systematic research was done on the effects of post weld heat treatment on recovery of mechanical properties of the optimized welds. Later, the technique will be implemented for different applications from lap joints in truck panels to adapted joints making welding of extrusions easier. Finally, a new additive-subtractive manufacturing technique on a CNC machine is also being developed.

Mahboubeh Momeni
Université Laval
M. Guillot - UL

Poudres métalliques pour la fabrication additive : étude de cas sur les alliages d'aluminium

New Approaches to Characterize Metal Powders for Additive Manufacturing Applications: A Case Study on Aluminum Alloys



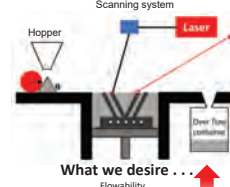
Introduction

In powder bed fusion additive manufacturing, powder feedstock quality is of paramount importance since thin layers of powders are used to be selectively melted to produce the final object [1]. Conventional powder assessment for additive manufacturing, are restrained to particle morphology, size distribution, apparent density and flowability [2]. However, recent results are showing that conventional assessment methods may not be the most appropriate. This is exasperated when studying aluminium powders due to their complex cohesive behaviour affecting their flowability [3]. The present study, will suggest a novel quality assessment methodology for additive manufacturing powder feedstock focussing upon aluminium powders. We suggest a new way to study and characterise the powder and discuss the novel insights that have been gained

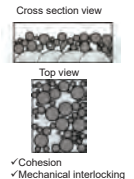
Feedstock characteristics



Process

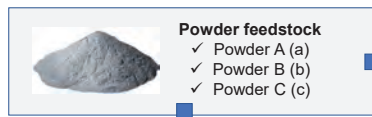


Powder bed quality

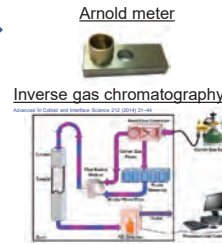


What we desire . . .
Flowability
Power bed density

Methodology

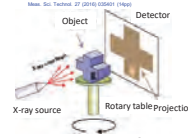


- Traditional characterization techniques**
- ✓ Scanning Electron Microscopy
 - ✓ Particle size distribution
 - ✓ Flowability: Carney funnel
 - ✓ Apparent density: Carney funnel

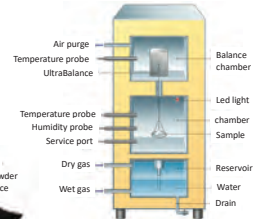


Non-conventional characterization techniques

X-ray microscopy



Dynamic vapor sorption

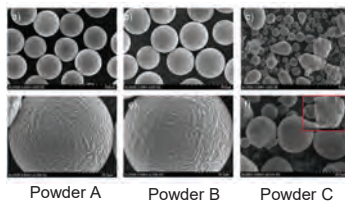


Dynamic angle of repose



Results

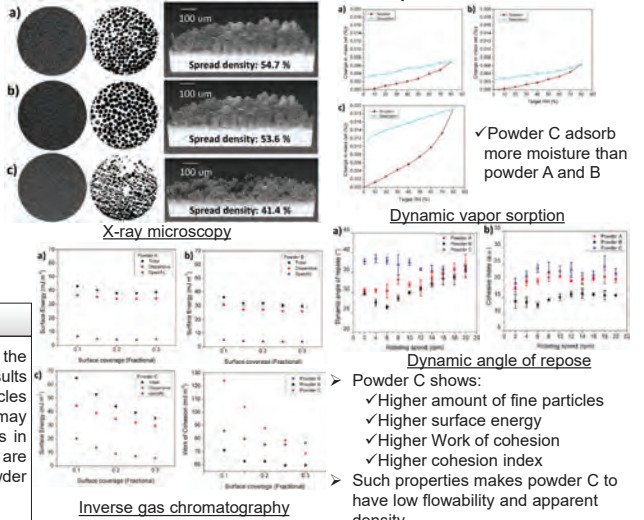
Traditional characterization techniques



Powder	Hall flow (s/50 g)	Carney flow (s/50 g)	Carney apparent density (%)	Arnold apparent density (%)
Powder A	33.0 ± 0.4	6.1 ± 0.1	55.5 ± 0.1	56.3 ± 0.1
Powder B	32.7 ± 0.7	6.1 ± 0.1	54.8 ± 0.1	55.8 ± 0.1
Powder C	No flow	15.3 ± 0.4	51.6 ± 0.4	52.7 ± 0.2

✓ powder C has a wide distribution

Non-conventional characterization techniques



Conclusions

Quantitative powder characterization techniques were used to evaluate the properties of different AlSi7Mg powders produced by different routes. The results have suggested that the presence of a PSD with high number of fine particles facilitates water absorption and powder cohesion. Such characteristics may hinder the powder spreading of uniform layers, which might lead to defects in AM parts. In contrast, when a narrow PSD and particles larger than 48 µm are present, water absorption and powder cohesion is decreased improving powder flow and apparent density.

[1] E.O. Olabisi, R.F. Cochrane, K.W. Dalgle, A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminum alloy powders: Processing, microstructure, and properties, Prog. Mater. Sci., 74 (2015) 401-477.
 [2] Sprengle AB, Voelgin M, Bauer T, Wegener K (2016) Powder flowability characterisation methodology for powder-bed-based metal additive manufacturing. Progress in Additive Manufacturing 1 (1) 9-20. doi:10.1007/s40964-015-0001-4
 [3] J.A. Muniz-Lerma and Mathieu Brochu, Characterisation of Aluminum Alloy Powders for Laser Powder Bed Application, Conference proceeding Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference, Berlin, 2018

The authors would like to acknowledge Rui Tahara for assistance with X-ray microscopy scans.

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS
TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Prix Award



Jose Alberto Muniz Lerma
McGill University

K. Waters - McGill
M. Brochu - McGill

Additive manufacturing is a novel processing method to build objects layer upon layer from a 3D CAD model, rather than a traditional subtractive technique. In powder bed fusion, one of the most used systems within the additive manufacturing modalities, powder feedstock quality is of paramount importance since thin layers of powders are used to be selectively melted to produce the final object. Conventional powder quality assessment for additive manufacturing applications are restricted to particle morphology, particle size distribution, apparent density and flowability where the accepted characteristics for high quality powders are spherical in morphology with high flowability and apparent density. However, recent results are showing that conventional quality assessment methods may not be the most appropriate. This is exasperated when studying aluminium powders due to their complex cohesive behaviours affecting their flowability. The present study, will suggest a novel quality assessment methodology for additive manufacture feedstock focussing on aluminium powders. We suggest a new way to study and characterise the powder and discuss the novel insights that have been gained.

Modélisation de la fracture ductile par champ de phase pour joint soudé en aluminium

Implementing phase-field ductile fracture model for aluminum welded joint



Objective

- Develop an efficient model to capture the fracture mechanism in aluminum welded joint
- Include elasto-plastic property of aluminum

Plane stress J2 plasticity

- A linear elastic behavior and splitting stress, strain $\sigma = D_L : \epsilon^e$
- $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}^e + \dot{\epsilon}^p$
- Yield function and plastic evolution $f(\sigma, \sigma_y) = q - 2\sigma_y^2/3 \Rightarrow \dot{\epsilon}^p = \dot{\gamma} \sqrt{2q} \sigma / 3, q = \sigma^T P \sigma$
- Return-mapping algorithm for plastic deformation

```

Input:  $\epsilon_n^e, \epsilon_n^p, \Delta \epsilon$ 
Output:  $\epsilon_{n+1}^e, \epsilon_{n+1}^p, \Delta \gamma$ 

STEP 1 - Assume the strain is only of elastic
 $\epsilon_{n+1}^{trial} = \epsilon_n^e + \Delta \epsilon, \sigma_{n+1}^{trial} = D^e \epsilon_{n+1}^{trial}$ 
 $\dot{\epsilon}_{n+1}^{trial} = \dot{\epsilon}_n^e, q_{n+1}^{trial} = (\sigma_{n+1}^{trial})^T P \sigma_{n+1}^{trial}$ 

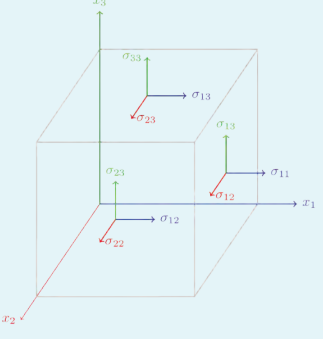
STEP 2 Evaluate the trial yield function:
 $f_{n+1}^{trial} = q_{n+1}^{trial} - \frac{2}{3} \sigma_y^2(\epsilon_{n+1}^{trial})$ 

if  $f_{n+1}^{trial} \leq 0$  then
    STEP 3a - Set trial step to be next step
else
    STEP 3b - Find  $\Delta \gamma$  by Newton-Raphson method
     $f_{n+1} = 0 \Rightarrow \Delta \gamma$ 
    STEP 3c - Apply plastic corrector:
     $\sigma_{n+1} = A \sigma_{n+1}^{trial}, \epsilon_{n+1}^p = \epsilon_n^p + 2 \Delta \gamma \sqrt{2q_{n+1}} / 3$ 
    
```

Consistency tangent operator $D_{ep} = \frac{d\sigma_{n+1}}{d\epsilon_{n+1}} = E - a(EP^a \sigma_{n+1}) \otimes (EP \sigma_{n+1})$

$$E = [D_e^{-1} + 2\Delta\gamma P^a]^{-1}, a = \frac{1}{\sigma_{n+1}^T P^a EP \sigma_{n+1} + \frac{2H_{n+1}}{3-4H_{n+1}}}$$

Plane stress condition $\sigma_{13} = \sigma_{23} = \sigma_{33} = 0 \Rightarrow s_{13} = s_{13} = 0, \epsilon_{13}^e = \epsilon_{23}^e = \epsilon_{33}^e = 0$



Numerical implementation

- Utilizing OOP Matlab code
- Meshing is done by open source GMSH program
- After concept model is working in Matlab, full application would be implemented in High Performance Computing (HPC) system of Calcul Quebec

Phase field model for ductile fracture

- Free energy functional of the solid $\Psi_I = \int_{\Omega} (g \Psi_c^+(\epsilon^e) + \Psi_w^-(\epsilon^e) + \Psi_p(\alpha)) dV + G_c \int_{\Omega} (\frac{1}{4l} (1-\phi)^2 + l |\nabla \phi|^2) dV$
- ϕ - crack-field parameter varies from 0 to 1
- $g(\phi, p) = \phi^{2p} + \eta$: stress degradation function
- $\Psi_c(\epsilon^e) = \frac{1}{2} K (tr \epsilon^e)^2 + \mu (\epsilon^e : \epsilon^e) + \frac{1}{2} K (tr \epsilon^e)^2$

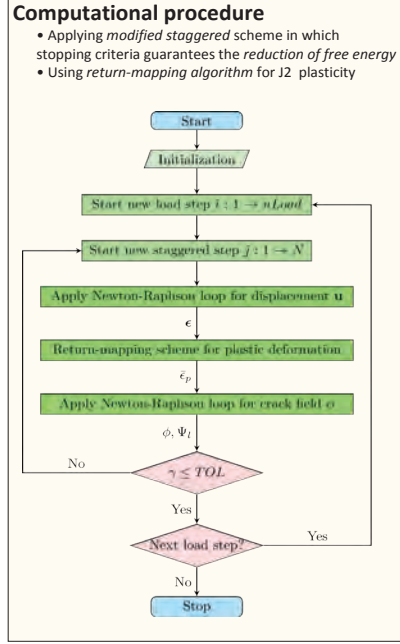
(a) Sharp crack (b) Smeared crack

Strong forms of the model

$$\text{div } \sigma = 0 \text{ in } \Omega, \sigma = g(\phi, p) \frac{\partial \Psi_c^+(\epsilon^e)}{\partial \epsilon^e} + \frac{\partial \Psi_w^-(\epsilon^e)}{\partial \epsilon^e} \quad (1)$$

$$\dot{f}(\sigma, \sigma_y) = q - 2\sigma_y^2/3 \leq 0, q = \sigma^T P \sigma$$

$$\dot{\epsilon}^p = 2\dot{\gamma} P^a \sigma, \dot{p} = 2\dot{\gamma} \sqrt{2q}/3$$

$$2l \Delta \phi + \frac{1-\phi}{2l} = \frac{2\phi^{2p-1}}{G_c} p H \text{ in } \Omega \quad (2)$$


Results and discussions

- Benchmark test: plate with a hole at the center

$l = 36 \text{ mm}, w = 20 \text{ mm}, r = 5 \text{ mm}$
Material parameters: $E = 70 \text{ GPa}$
Linear isotropic hardening rule:
 $\sigma_y(\epsilon_p) = \sigma_0 + H \epsilon_p,$
 $\sigma_0 = 243 \text{ MPa}, H = 200 \text{ MPa}$

- Mesh includes 5520 quads
- The largest horizontal deformations recorded at the edge where load is applied
- Plastic deformation occurred at the other side in conjunction with the curved edge

Displacement distribution

Load (kN) vs Displacement at the edge (mm) $\cdot 10^{-2}$

- Load-displacement curve indicates an agreement with the theory and previous results
- The next step is to combine with the calculation of the crack field; then analyze the crack initialization and propagation in single-edge notched test

Acknowledgement

We gratefully acknowledge the financial support of REGAL, Aluminum Research Center, without which the present study could not have been carried on.

References

- Ambati, M., T. Gerasimov, and L. De Lorenzis. 2015. "Phase-field modeling of ductile fracture". *Comp. Mech.*, vol. 55, no. 5, p. 1017-1040
- Simo, J. C. and Taylor, R. L. 1986. "A return mapping algorithm for plane stress elastoplasticity". *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, 22: 649-670.
- de Souza Neto, E. A., D. Peric, and D. R. J. Owen, 2008. *Finite Elements in Small-Strain Plasticity Problems*, p. 191-263. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 9780470694526
- Miehe, C., F. Welschinger, and M. Hofacker. 2010. "Thermodynamically consistent phasefield models of fracture: Variational principles and multi-field FE implementations". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 83, no. 10, p. 1273-1

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

Cuong Nguyen
ÉTS

X.-T. Pham - ÉTS
M. Jahazi - ÉTS

L'objectif de cette étude est d'étudier le mécanisme de fracture des joints bout-à-bout de soudure en aluminium. Les développements récents sur l'approche de champ de phase (*phase field*) pour la fracture ont démontré certaines fonctionnalités très attractives, telles que leur efficacité et fiabilité sur la capture de la propagation de fissures aussi bien que l'ouverture de fissures des solides. Il est bien remarqué que l'aluminium et ses alliages s'exposent souvent comme rupture prolongée dans les joints de soudure, c'est-à-dire que la déformation plastique joue des rôles considérables dans des comportements de fracture de ces matériaux. Pour cette étude, nous mettons en œuvre un modèle de champ de phase pour la fracture ductile, dans lequel l'énergie plastique est prise en compte pour l'ouverture de la fissure. Suite à l'identification des propriétés du matériau et des paramètres du modèle, nous réalisons un certain nombre d'évaluations numériques, par exemple l'essai d'entaille à un seul bord et à double bords, sur un joint de soudure bout-à-bout afin de trouver la trajectoire de la fissure et les réponses mécaniques du joint de soudure.

The main purpose of this study is to investigate the fracture mechanisms of aluminum butt-joint welds. Recent developments in phase field approaches for fractures have a number of attractive features such as their efficiency and reliability on capturing crack propagation as well as crack openings in solids. It is also a well-accepted fact that aluminum and its alloys expose themselves as prolonged ruptures when they undergo failure, i.e. plastic deformation plays a considerable role in the fracture behaviors of materials. For this study, we implement a phase field model for ductile fractures, in which plastic energy is taken into account for the opening of the crack. Following the identification of the material properties and model parameters, we carry out a number of numerical assessments, e.g. the single-edge notch test and double-edge notch test, on the butt-joint geometry in order to find out the crack path and the mechanical responses of the welding joint.

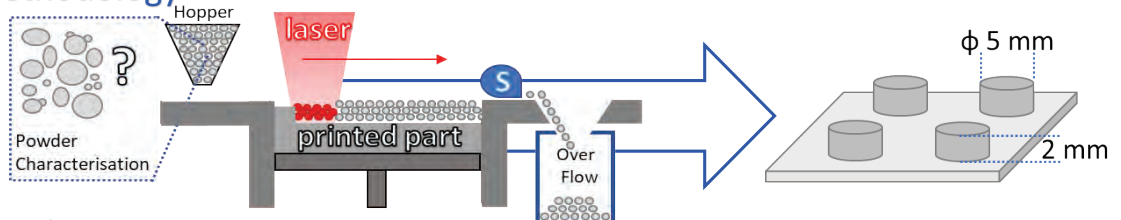
Fabrication additive par fusion de lit de poudre avec laser à impulsion d'alliages d'aluminium dopés au nickel

Pulse Laser Powder Bed Fusion Additive Manufacturing of Nickel doped Aluminium Alloys

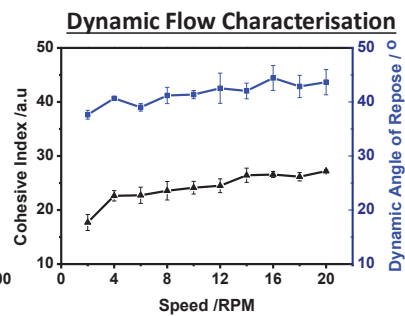
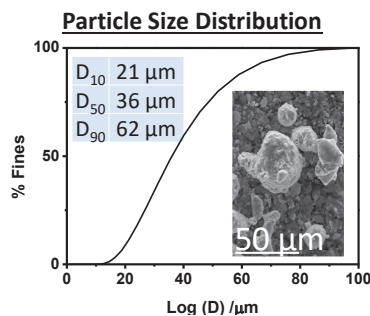


Introduction Pulse layer powder bed fusion (PL-PBF) is an additive manufacturing (AM) method which fuses a feedstock powder into a pre-designed 3D object. To do this, layers of powder are spread across a build plate, which are then selectively fused by a laser. This process is repeated sequentially in the build direction until the desired part geometries are obtained. One of the opportunities associated with the rise of AM of aluminium alloys is to research effective and affordable grain refiners. Grain refinement of aluminum can facilitate the production of parts with enhanced mechanical properties. In this study we evaluate the printability of gas atomised aluminium powders doped with 1% nickel.

Methodology



Results

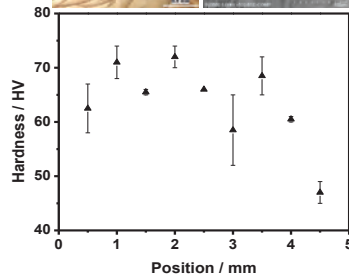
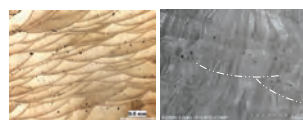


Particles had an irregular morphology with some satellites present

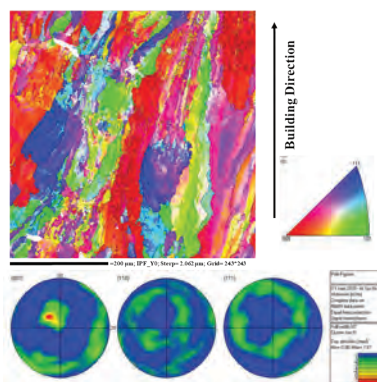
Dynamic Flow testing showed the powder had poor flowability and shear thickening behaviour

The printed parts had strong epitaxial columnar growth in the preferred crystallographic direction $\{001\}$ corresponding with the build direction

Grain Morphology



EBSD



The hardness was found to be 47-74 HV, suggesting nickel can act as a grain refiner

Conclusions

Irregular aluminium 1% nickel powders can be successfully printed under the correct conditions. The incorporation of nickel increased the hardness of the printed parts suggesting that nickel can act as a successful grain refiner.

Amy Nommets-Nomm
McGill University

S. Atabay - McGill
M. Brochu - McGill
P. Bishop - Dalhousie
University

Pulse Layer powder bed fusion (PL-PBF) is an additive manufacturing (AM) method which fuses a feedstock powder into a pre-computer aided designed 3D object. In powder bed fusion thin layers of feedstock powder are evenly distributed across a build plate, and selectively fused by a laser. This process is repeated sequentially in the build direction until the desired part geometries are obtained. One of the opportunities associated with the AM of aluminum alloys is to research effective and affordable grain refiners. Grain refinement of aluminum can facilitate the production of parts with enhanced mechanical properties. In this study we evaluate the printability of gas atomised Aluminum powders doped with 1% nickel. The feedstock powders particle size distribution and dynamic flow properties have been studied as well as the printed parts densities, microstructure and microhardness. We discuss the role of nickel as a grain refiner in PL-PBF AM.

1 - Introduction

- L'aluminium possède diverses caractéristiques très intéressantes pour une utilisation structurale, notamment son excellent rapport rigidité-poids, sa résistance à la corrosion et sa possibilité d'être extrudé.
- L'utilisation de l'aluminium dans les ponts routiers est une alternative durable et innovatrice aux traditionnelles dalles de béton.
- La légèreté généralement très avantageuse de l'aluminium peut devenir un inconvénient lorsqu'on s'intéresse plus particulièrement au comportement de l'ouvrage face aux charges dynamiques.
- Cette préoccupation est particulièrement importante dans le cas des ponts routiers, puisqu'ils seront majoritairement sollicités par des charges dynamiques au cours de leur vie utile, que ce soit les charges de vents ou les surcharges routières.



Figure 1: Exemple de pont à platelage d'aluminium extrudé, le pont Saint-Ambroise [1]

2 - Problématique

- Afin d'encourager l'utilisation de l'aluminium dans les ponts, il est important que la méthode de conception simplifiée du *Code canadien sur le calcul des ponts routiers* (CAN/CSA S6) puisse être appliquée.
- Pour l'aspect particulier du comportement dynamique, le Code propose d'appliquer un coefficient de majoration dynamique (CMD) aux charges statiques pour tenir compte de l'effet dynamique de ces charges.
- Les valeurs du CMD actuellement prescrites par le code sont basées sur des études réalisées sur des ponts en bois, en béton et en acier, qui ont certainement un comportement dynamique différent de l'aluminium.
- Il est donc impératif de vérifier que les valeurs du CMD prescrites par le Code soient applicables aux ponts à platelage d'aluminium extrudé.

3 - Objectifs

- Évaluer l'importance des effets dynamiques dus à une surcharge routière sur les ponts à platelage d'aluminium
- Vérifier l'applicabilité du coefficient de majoration dynamique de la norme CAN/CSA S6-14 aux ponts à platelage d'aluminium et proposer des recommandations au besoin

4 - Méthodologie

Qu'est-ce que le coefficient de majoration dynamique (CMD)?

- Le CMD se calcule à l'aide de l'équation (1), où la différence entre la réponse dynamique et la réponse statique du système est divisée par la réponse statique.

$$(1) \quad CMD = \frac{R_{dyn} - R_{stat}}{R_{stat}}$$

- Les réponses nécessaires au calcul du CMD seront obtenues grâce à des analyses par éléments finis.
- Puisque les analyses numériques nécessaires à la réalisation de ce projet sont d'une envergure considérable, des simplifications doivent être appliquées au platelage et au camion afin de limiter le temps de calcul nécessaire.

Modélisation du platelage

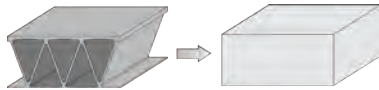


Figure 2: Transformation du platelage réel en plaque orthotrope équivalente

- La géométrie complexe du platelage sera remplacée par une plaque orthotrope équivalente.
- Cette méthode de simplification consiste à modéliser le platelage initial par une dalle pleine ayant le même comportement.
- L'une des difficultés majeures à surmonter lors de cette étape de la modélisation est que la plaque équivalente doit être capable de reproduire autant le comportement en flexion que l'effet de membrane du platelage.
- L'autre difficulté majeure est que l'orthotropie de la plaque est de nature géométrique et non matérielle comme c'est généralement le cas pour les plaques orthotropes équivalentes présentées dans la littérature.

Modélisation du camion

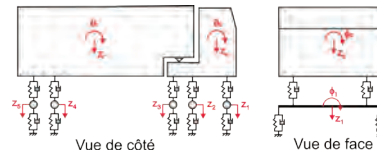


Figure 3: Modèle de camion proposé [Reproduit de Liu et al. 2002]

- Modèle de camion basé sur le modèle utilisé par Liu et al. (2002) et adapté pour se conformer au camion CL-625 prescrit dans la norme CAN/CSA S6-14.
- Modèle à 16 degrés de liberté permettant de prendre en compte tous les mouvements du camion et de la remorque.
- Les pneus et les systèmes de suspension sont modélisés par des systèmes de ressorts et d'amortisseurs.
- Les pneus de gauche et de droite sont reliés entre eux par un élément rigide permettant de prendre en compte l'effet de l'essieu et l'excentricité entre le système de suspension et le pneu

5 - Travaux futurs

- Identifier les paramètres des modèles simplifiés présentés précédemment.
- Confirmer la validité de chacun des modèles en comparant les comportements des modèles simplifiés aux comportements réels.
- Évaluer l'influence des facteurs suivants sur le CMD:
 - La portée du pont
 - La vitesse des véhicules
 - La rugosité de la surface de roulement

6 - Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et Génie du Canada (CRSNG) et le Fonds de Recherche du Québec sur la Nature et les Technologies (FRQNT) pour leur soutien financier.

7 - Références

- <https://aluminium.ca/fr/aluminium/infrastructure-et-ouvrage-d-art>
- CSA. (2016). *CAN/CSA S6-14, Code canadien sur le calcul des ponts routiers*. Ontario, Canada: CSA International.
- Liu, C., Huang, D., et Wang, T.-L. 2002. « Analytical Dynamic Impact Study Based on Correlated Road Roughness ». *Computers & Structures*, **80**(20): 1639–1650.

L'utilisation de platelages d'aluminium extrudés dans les ponts routiers présente de nombreux avantages, mais comporte aussi des défis particuliers pour la conception. En effet, malgré l'introduction de dispositions permettant aux ingénieurs d'utiliser l'aluminium pour la construction de ponts dans le Code canadien sur le calcul des ponts routiers CAN/CSA-S6, la conception et l'optimisation de ponts en aluminium reste une tâche ardue, principalement en raison de l'absence d'une méthodologie de conception claire, comme c'est le cas pour les autres matériaux traditionnels, tel le béton, le bois et l'acier. L'aluminium étant plus léger que les matériaux de construction conventionnels, il est attendu que le comportement dynamique des ponts en aluminium soit différent de celui de ponts conventionnels. Dans la méthodologie de conception habituelle, des coefficients de majoration dynamique (CMD) sont imposés pour prendre en compte les effets dynamiques de la surcharge routière. Ce projet de recherche vise à vérifier l'applicabilité des CMD imposés par la norme aux ponts d'aluminium et de proposer des modifications, si nécessaire. Ce projet se base sur la méthode des éléments finis pour évaluer l'augmentation de la réponse de la structure des ponts à platelage d'aluminium sous les effets dynamiques des véhicules et l'impact sur cette augmentation de diverses caractéristiques du pont et des véhicules.

The use of extruded aluminum decks in highway bridges has many advantages, but also comes with its peculiar design challenges. Despite the recent introduction of provisions in the Canadian Highway Bridge Design Code CAN/CSA-S6, which allows engineers to use aluminium for the construction of bridges, the design and optimisation of aluminium bridges remains a difficult task due to the absence of clear provisions and methodology as is the case with traditional construction materials such as steel, concrete and timber. Because aluminium is much lighter than its traditional counterparts, the dynamic behavior of aluminium bridges is expected to be quite different from bridges made from other materials. In the conventional design procedure, dynamic load factors are prescribed for use in a simplified design methodology to account for traffic-induced dynamic effects. This research project seeks to verify whether or not the values of the dynamic load allowance prescribed by the design standards are applicable to aluminum deck bridges, and to propose correction factors if necessary. This project uses the finite element method to evaluate the amplification due to dynamic effects of moving vehicles on aluminum deck bridges, and the influence of varying bridge and vehicle characteristics on this amplification.

Samuel Petitclerc
Université Laval

C.-D. Annan - UL
N. Boissonnade - UL
M. Fafard - UL

Effet du taux de refroidissement et du Mn sur la précipitation Mg₂Si durant le refroidissement d'homogénéisation des alliages AA6060

Effect of cooling rates and Mn on the Mg₂Si precipitation during homogenization cooling of AA6060 alloys



1 Introduction

AA6060 alloys are widely used as architectural sections, heat sink and trim applications that require moderate strength combine with good anodizing characteristics.

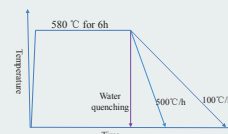


Homogenization of DC cast billets is critical on improving the hot workability of AA6060 alloys.

Homogenization cooling rates and Mn play important roles on the Mg₂Si precipitation and subsequent extrusion and aging process.

2 Experimental Methods

Homogenization regimes



Microstructural observation

Scanning electron microscope (SEM) and Transmission Electron Microscope (TEM) were used to obtain the microstructures images.

3 Objective

Investigating the effect of cooling rates and Mn on the Mg₂Si precipitation during homogenization cooling of AA6060 alloys.

4 Results

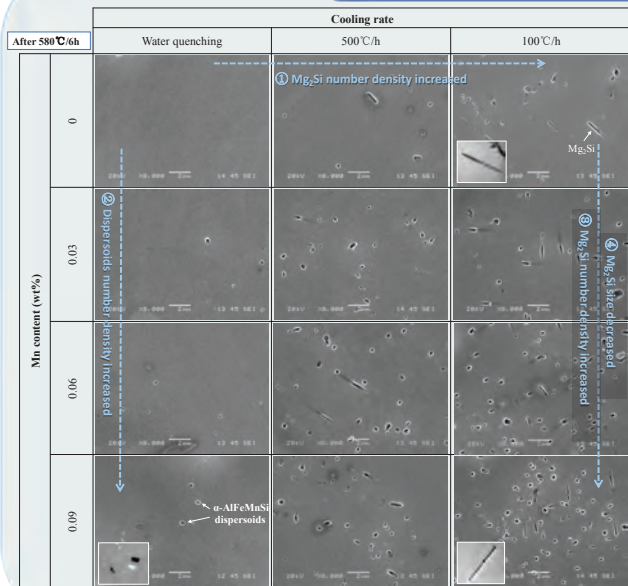


Fig. 1 Microstructures after homogenization of 580°C/6h with different cooling rates.

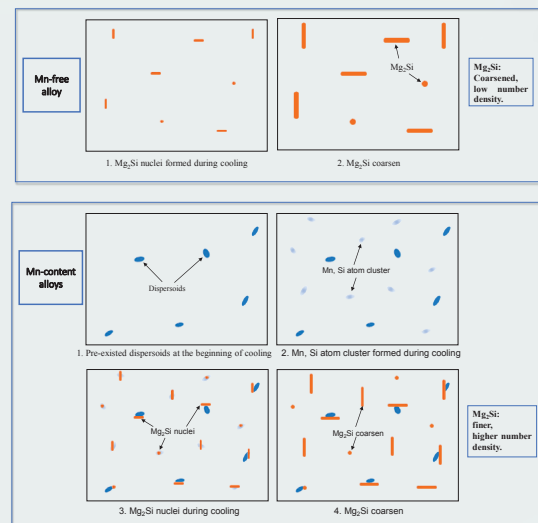


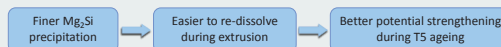
Fig. 2 Schematically of Mg₂Si precipitation in different alloys.

5 Industrial aspect

★ In aspect of productivity, coarsen and more Mg₂Si precipitation after homogenization are desirable:



★ In aspect of extrusion and aging, fine Mg₂Si are desirable:



★ Mn addition produced high number density of fine Mg₂Si, gave a good balance between the trade-off of lower extrusion flow stress and potential ageing strengthening.

L'effet du taux de refroidissement et du Mn sur la précipitation de Mg₂Si au cours du refroidissement d'homogénéisation des alliages AA6060 a été étudié. Le microscope électronique à balayage (SEM) et le microscope électronique à transmission (TEM) ont été utilisés pour l'observation microstructurale. L'analyse d'image a été utilisée pour quantifier la densité en nombre et la taille de la précipitation. Les résultats ont montré que la précipitation des particules de Mg₂Si a été favorisée par la réduction du taux de refroidissement et par l'augmentation de la teneur en Mn dans les alliages. La densité en nombre du Mn contenant des dispersoïdes a augmentée avec l'augmentation de la teneur en Mn dans les alliages portant du Mn. La taille et la densité en nombre des particules de Mg₂Si augmentent avec la diminution du taux de refroidissement. Un modèle de précipitation de Mg₂Si au cours du refroidissement par homogénéisation a été donné. Le Mn contenant des dispersoïdes et le groupe d'atomes Mn-Si a agi en tant que sites de nucléation où le Mg₂Si pouvait facilement se former dans les alliages portant le Mn.

The effect of cooling rate and Mn addition on Mg₂Si precipitation during homogenization cooling of AA6060 alloys was investigated. Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) were used for microstructure observation. Image analyses were used to quantify the number density and size of the precipitation particles. Results showed that the precipitation of Mg₂Si particles was promoted by a reduced cooling rate and increased Mn content in the alloys. The number density of Mn-containing dispersoids increased with increasing Mn content in the Mn-bearing alloys. The size and number density of Mg₂Si particles increased with decreasing cooling rate. A model of precipitation of Mg₂Si during homogenization cooling was given. The Mn-containing dispersoids and the Mn-Si atom clusters acted as nucleation sites where the Mg₂Si could easily form in the Mn-bearing alloys.



Xiaoming Qian
Université du Québec à Chicoutimi

X.-G. Chen - UQAC
N. Parson - Rio Tinto

Comportements en fatigue thermomécanique des alliages d'aluminium AA6061 et 356

Thermo-Mechanical Fatigue Behaviors of AA6061 and 356 Aluminum Alloys



AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS

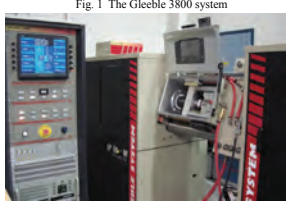
Introduction

The thermo-mechanical fatigue (TMF) behaviour becomes increasing important to evaluate the elevated-temperature properties of materials used as the critical components in automotive and aerospace industries. During the cycles of start-up and shutdown of the engines, these components undergo a complex change of loading. Meanwhile, a dramatic temperature gradient exists on the components due to the cooling system. Therefore, the cyclic changes of load and temperature can give rise to the TMF and may limit the use life of such components. Hence, performing the TMF tests to precisely simulate the cyclic changes of load and temperature to understand the TMF behaviours of materials is playing a significant role in the safety design of these components. The Gleeble thermal-mechanical simulator system is reported to be a useful tool and has excellent capacities to simultaneously control the temperature, stress and strain over the testing sample, which is the essential for different kinds of thermal or thermo-mechanical fatigue tests. However, limited research for its application in TMF tests of metals and alloys has been performed.

Objectives

1. Develop the new procedure using the Gleeble system to measure the TMF behaviour of Al alloys.
2. Measure TMF properties of AA6061 and 356 Al alloy under cyclic temperatures (60-300 °C) and at various strain amplitude (0.2%-0.6%).
3. Characterize their TMF behavior by the typical hysteresis loops, cyclic stress/strain response and TMF life assessment.

GLEEBLE SYSTEM FOR TMF TESTING



1. Accurate temperature control;
2. Adequate heating and cooling capacity in a relatively short cycle;
3. Accurate measurement of strain and stress;
4. Stable and repeatable loop control for temperature, strain and stress over a long period of time.

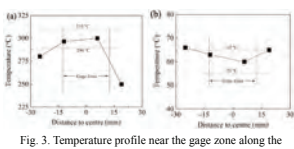
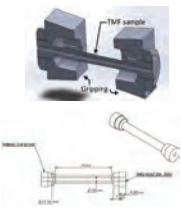
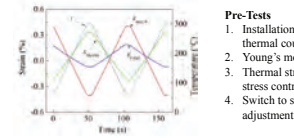
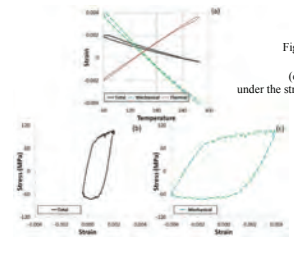


Fig. 3 Temperature profile near the gage zone along the sample long axis at (a) 300 °C and (b) 60 °C.



- Pre-Tests**
1. Installation of sample, includes sample cleaning, thermal coupling welding.
 2. Young's modulus test to validate installation.
 3. Thermal strain measurement is carried out in 0 stress control mode.
 4. Switch to strain control mode for 0 stress adjustment



$\epsilon_{total} = \epsilon_{therm} + \epsilon_{mech}$

Fig. 5 (a) temperature-strain curves, (b) total strain-stress curve (c) mechanical strain-stress curve under the strain amplitude of 0.4% during the 2nd cycle.

The TMF test is terminated when a predefined criterion is reached, e.g. a pre-set number of cycles or a drop of 30-50 % in initial min/max stress.

Extruded AA6061 Al alloy and permanent mold cast 356 Al alloy were used for TMF tests.

A series of TMF tests were performed at temperature between 60 and 300 °C and three mechanical strain amplitudes (0.2%, 0.4% and 0.6%).

Results

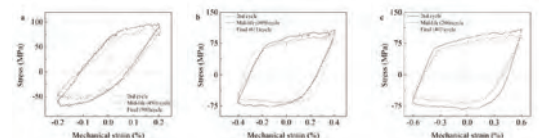


Fig. 6 Stress-strain hysteresis loops at various mechanical strain amplitudes of 6061 Al alloy: (a) 0.2%, (b) 0.4% and (c) 0.6%.

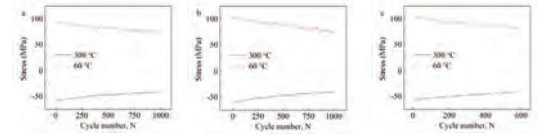


Fig. 7 Variation of maximum and minimum stress of 6061 Al alloy from tests under: (a) 0.2%, (b) 0.4% and (c) 0.6% strain amplitude vs. number of cycles.

The cyclic softening is generally observed in all strain amplitudes studied, in which the maximum tensile stress decreases while the minimum compressive stress increases with increasing cycles.

At the cycle when sharp drop on the stress curve during TMF test, or the stress falls by 30% below the initial min/max stress was defined as the TMF life.

Accordingly, the TMF life of studied AA6061 alloy at 0.2%, 0.4% and 0.6% strain amplitude are 900, 611 and 493 cycles, respectively, showing the decreasing TMF life with increasing strain amplitude.

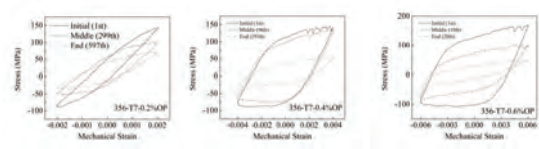


Fig. 8 Stress-strain hysteresis loops at various mechanical strain amplitudes of 356 Al alloy: (a) 0.2%, (b) 0.4% and (c) 0.6%.

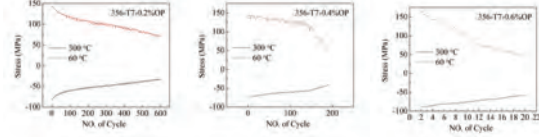


Fig. 9 Variation of maximum and minimum stress of 356 Al alloy from tests under: (a) 0.2%, (b) 0.4% and (c) 0.6% strain amplitude vs. number of cycles.

Accordingly, the TMF life of studied 356 alloy at 0.2%, 0.4% and 0.6% strain amplitude are 597, 191 and 20 cycles, respectively.

Conclusions

Gleeble 3800 system was successfully adapted to develop a reliable procedure to measure the TMF properties of aluminum alloys. The results show that the Gleeble system with modified setup and newly designed program can reliably perform the TMF tests. The strain-controlled OP TMF tests of an AA6061 and 356 alloys under cyclic temperatures (60-300 °C) and various strain amplitudes (0.2-0.6%) were successfully performed. Their TMF behaviors were characterized by the typical hysteresis loops, cyclic stress-strain response and the TMF life assessment.

Jian Qin
Université du Québec à Chicoutimi

D. Racine - UQAC
K. Liu - UQAC
X.-G. Chen - UQAC

Avec une large application des alliages d'aluminium dans l'industrie automobile, les comportements en fatigue thermomécanique (TMF) de ces derniers jouent un rôle important dans la conception des moteurs, en particulier les blocs et les culasses. Pendant le service, ces composants subissent des contraintes cycliques et des conditions de température. La conception d'un nouveau programme ainsi qu'une configuration modifiée ont été développés en utilisant le système de Gleeble 3800. Ce système peut simuler avec précision les profils cycliques de température et de contrainte mécanique. La procédure comprend la mesure de contrainte thermique, le réglage de la force à zéro et le suivi des cycles TMF. Une série de tests TMF hors phase de deux alliages d'aluminium (l'alliage forgé AA6061 et l'alliage de fonderie 356) à des températures cycliques (60-300 °C) et diverses amplitudes de déformation (0.2-0.6%) ont été réalisées. Leurs comportements TMF ont été caractérisés par les boucles d'hystérésis typiques et la réponse cyclique contrainte-déformation.

With Al alloys being widely applied in the automobile industry, thermo-mechanical fatigue (TMF) behaviours of Al alloys play an important role in engine design, especially blocks and cylinder heads. During service, these components will undergo cyclic stress and temperature conditions. A modified setup together with a new design program were developed with the Gleeble 3800 system which can precisely simulate the cyclic profiles of temperature and mechanical strain. The procedure includes thermal strain measurements, zero force adjustments and the following of TMF cycles. A series of out-phase TMF tests of two aluminum alloys (AA6061 wrought alloy and 356 foundry alloy) under cyclic temperatures (60-300 °C) and various strain amplitudes (0.2-0.6%) were performed. Their TMF behaviours were characterized by typical hysteresis loops and cyclic stress-strain responses.

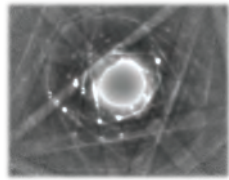
Simulation d'ondes de Bloch d'un cristal d'aluminium à base énergie Bloch wave simulation of Al single crystal at low energy



INTRODUCTION

- Electron microscopy for microstructure characterization is essential in the development of new Al alloys with improved mechanical properties.
- Crystallographic information can be obtained by diffraction pattern imaging using a transmission or scanning electron microscope (TEM or SEM).
- Effects such as absorption and thermal diffuse scattering will affect diffraction patterns and images causing difficulty in analysis.

Crystallographic information is obtained by diffraction.
 $2d \sin \theta = n\lambda$.



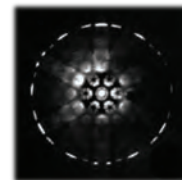
Absorption results from ionization of the atoms in the material. If an electron is absorbed, it does not reach the detector and the resulting image lacks certain intensities.

Other effects such as TDS result from atomic vibrations.

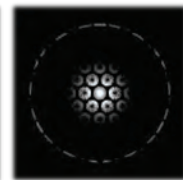


Currently, image simulations can account for these effects only at high energy.

Example: Multislice simulations at 100 keV in TEM



Experiment



No TDS



With TDS

OBJECTIVES

- Develop an image simulation model for low energy electron imaging which takes into account effects such as absorption, X-ray emission, and TDS.
- Using a Bloch wave simulation method capable of producing the electron wave function in conditions similar to those in an SEM.

THE MODEL

All thin film is modeled using a periodic potential calculated with a parametrization of scattering factors.

$$V(\mathbf{r}) = \sum_i V_g e^{2\pi i \mathbf{g} \cdot \mathbf{r}}$$

Absorption is incorporated by adding an imaginary term to the Fourier coefficients of the potential.

$$V_g = V_g + iV_g'$$

$$V_g' = \frac{1}{2\lambda\sigma}$$

where λ is the mean free path and $\sigma = \frac{e}{\hbar v}$

The electron beam is simulated by using a Bloch wave representation of the wave function,

$$\Psi(\mathbf{r}) = \psi_g e^{2\pi i \mathbf{g} \cdot \mathbf{r}}$$

$$\text{where } \psi_g(z) = \sum_j \alpha_j C_{gj} e^{2\pi i \nu_j z}$$

and C and ν are obtained by solving an eigenvalue problem.

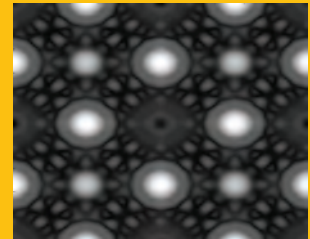
RESULTS

Bloch wave simulation was constructed to simulate a parallel beam passing through a 240 nm Al thin film at 30 keV.

No absorption



With absorption



When absorption is not considered, the intensity across the crystal is uniform. If absorption is included, channeling effects through the atom columns can be distinguished.

CONCLUSIONS

- The Bloch Wave method can be used at low accelerating voltage to simulate the electron wave function.
- Without absorption, the atomic configuration assumes a uniform carpet.
- With absorption, column effects can be distinguished.

ACKNOWLEDGEMENTS AND REFERENCES

Bruker NANO: Daniel Goran
Hitachi High-Tech Japan: Kazutoshi Kajii, Dr. Eng. Takeshi Sunaoshi
Kirkland, J. Advanced Computing in Electron Microscopy Springer US, 2010
Rudinsky et al. Journal of Chemical Physics, 2017, 146, 104702

Samantha Rudinsky
McGill University

R. Gauvin - McGill

La microscopie électronique est un outil couramment utilisé pour la caractérisation de microstructures. Pour des matériaux tels que les alliages d'aluminium, la caractérisation de ces microstructures peut mener à l'amélioration du développement d'alliages avec de meilleures propriétés mécaniques. L'imagerie en transmission a la capacité de déterminer des traits tels que la structure cristalline et la localisation des défauts et des précipités. Cette méthode est essentielle pour le développement d'alliages pour une variété d'applications. Par ailleurs, les patrons de diffractions et les images en transmission sont difficiles à analyser et doivent être couplés avec des simulations pour bien être utilisés. Pour des hautes énergies, des méthodes de simulations telles que le multislice applique l'approximation paraxiale ce qui est seulement valable à ~100 keV. À de basses énergies, d'autres méthodes doivent être utilisées. L'approche des ondes de Bloch est un algorithme couramment utilisé qui n'est pas restreint à des hautes énergies. Par ailleurs, il n'est pas souvent utilisé dans le régime des énergies utilisé en microscopie à balayage. Nous démontrons alors la simulation d'images à 30 keV en utilisant la méthode des ondes de Bloch et la possibilité d'incorporer la génération de rayons X en sachant la fonction d'onde à chaque épaisseur.

Electron microscopy (EM) is a widely used experimental tool for characterizing microstructure. In materials such as aluminum alloys, the characterization of such microstructures can lead to improvements in alloy development and mechanical properties. Transmission imaging of thin films has the capacity to determine features such as crystal structure and the locations of defects and precipitates. This method of characterization is a crucial step in the development of alloys for any application. However, transmission images and diffraction patterns are difficult to analyze and require simulations to compare to. At high energies, simulation methods, such as multislice, which rely on the paraxial approximation are typically used, however low energy simulations require a different approach. The Bloch wave approach is a widely used algorithm which, although neglecting backscattering, is not restricted to the high-energy range. However, it is not commonly used for transmission imaging at low energies. Here, we show image simulations of an Al single crystal using the Bloch wave approach at 30 keV. The advantage of this approach over solving the Schrodinger equation directly is an increase in computational efficiency. Furthermore, X-ray generation can still be obtained once the wave function is known throughout the entire specimen.

Revue des méthodes vibratoires de test en fatigue méga-cyclique des alliages d'aluminium

Review of vibration based VHCF testing methodologies of aluminum alloys



Introduction And Objective

The determination of the very high cycle fatigue life (VHCF) of metals, in circumstances where the material is subject to oscillating stress states, is a central design issue that is routinely encountered in various systems. In this context, the present work aims to present the results of a systematic review of vibration based fatigue testing methodologies. More precisely, we describe and compare these techniques with more classical approaches based on standard cycling machine testing. The speed of VHCF testing, as well as the stress states that can be generated and the implementation complexity of each method are discussed. The long term objective of this research project is to understand the fatigue behavior of aluminum alloys used to manufacture structural components.

1. Methodology: Test Duration And Frequency

Standard fatigue testing machines don't allow for much more than a few hundred Hz at maximum [2], and are often limited to a few dozen Hz. Resonance based methods, on the other hand, can move up to 20 kHz and over. This allows for gigacyclic fatigue testing in ~14h. High frequencies reduce testing time [3] and allow for direct investigations into the frequency effects on fatigue life of metals [4, 5]. Figure 1 illustrates two differently sized specimens with distinct resonance frequencies.

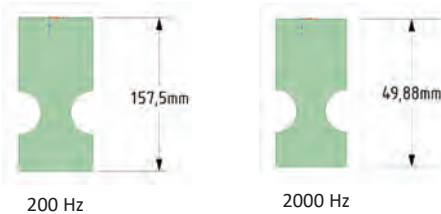


Figure 1: Two different-sized samples. The geometry is conserved.

3. Methodology: Complexity And Setup Cost

Development of a specialized machine for each desired complex stress state is costly [1, 2]. In addition, not exploiting resonance leads to much higher power consumption to run each test. Vibration based methods using a shaker, on the other hand, require the careful design of a control loop only [6], and use different specimens and different base excitation patterns to obtain fatigue results for diverse stress states at varying frequencies in a timely manner at an extremely low additional cost.

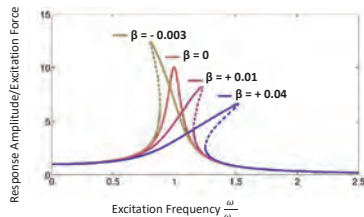


Figure 3: Duffing oscillator frequency response. Non-linearity β moves the peak and breaks curves' symmetry [9].

Figure 3 shows the narrow non-linear frequency peaks that the control algorithm must stabilize and stay within [6].

References

- [1] George, T. (2004). Development of a novel vibration-based fatigue testing methodology. *International Journal of Fatigue*, 28(6), 477-486.
- [2] Piersol, A. G., & Paetz, T. L. (2010). *Harris shock and vibration handbook*. New York: McGraw-Hill.
- [3] Mayer, H. (2015). Recent developments in ultrasonic fatigue. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 39(1), 3-29.
- [4] Nicholas, T. (1981). Tensile testing of materials at high rates of strain. *Experimental Mechanics*, 21(5), 177-185.
- [5] Papakyriacou, M., Mayer, H., Pypen, C., Plenk, H., & Stanzi-Tschegg, S. (2001). Influence of loading frequency on high cycle fatigue properties of b.c.c. and h.c.c. metals. *Materials Science And Engineering: A*, 308(1-2), 143-152.

2. Methodology: Stress States

Ultrasonic testing methodologies, although quick, are generally limited to uniaxial stress states: either uniaxial bending or uniaxial tension/compression [1, 3]. In many applications, such as turbines, high order bending can occur [1].

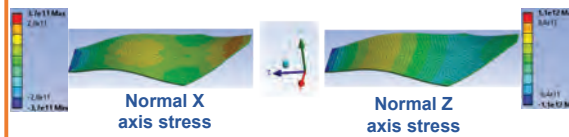


Figure 2: Normal stress in the biaxial bending mode of this sample geometry.

Therefore, test specimens must ideally be subjected to more complex stress states such as biaxial bending. This can be achieved with vibration based methods using a shaker that excites a specimen at its base at its resonance frequency. Such a specimen and normal stresses are shown in Figure 2. With vibration based methods, no complex machine is required to achieve the complex pattern of displacement corresponding to the mode shown in Figure 2.

4. Conclusion

An additional advantage of this methodology is that the control algorithm can automatically detect crack propagation [7]. This is because a crack alters the specimen stiffness, thereby moving the resonance frequency. This frequency shift is then detected by the control system. Thus, it is possible to stop the test before destroying the specimen under study. Such a specimen with a visible superficial crack is shown in Figure 4.

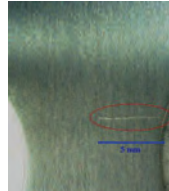


Figure 4: Example of visible crack [8].



Figure 5: Shaker setup [10].

The precise effects of stress gradients that occur during the lifetime of certain turbine components remain poorly understood [1]. Frequency effects on fatigue also remain understudied for many materials. Vibration based methodologies offer an appealing experimental path for the efficient exploration of these effects.

Prix
Award

RioTinto

Mohamed Larbi Sentissi
École Polytechnique
de Montréal

M. Brochu - École
Polytechnique de Montréal
A. Ross - École
Polytechnique de Montréal

La détermination de la résistance en fatigue méga-cyclique des métaux, dans des circonstances où le matériau est soumis à des états de contraintes périodiques, est un enjeu central de conception qui se présente de manière très commune dans divers systèmes. Dans ce contexte, la présente communication constitue le résultat d'une revue de littérature concernant les méthodes de test en fatigue des matériaux basées sur des excitations vibratoires d'échantillons. On tente, en particulier, de décrire et de comparer les caractéristiques de ces techniques face aux méthodes de détermination de résistance en fatigue par machine non-vibratoire. Les durées relatives des tests pouvant être conduits, la variété des états de contraintes produits et la complexité de mise en oeuvre sont abordées.

The determination of the very high cycle fatigue life (VHCF) of metals, in circumstances where the material is subject to oscillating stress states, is a central design issue that is routinely encountered in various systems. In this context, the present work aims to present the results of a systematic review of vibration based fatigue testing methodologies. More precisely, we describe and compare these techniques with more classical approaches based on standard cycling machine testing. The speed of VHCF testing, as well as the stress states that can be generated and the implementation complexity of each method are discussed.

Propriétés mécaniques et caractérisation microstructurale d'échantillons d'A357 entièrement construits et réparés via Déposition sous Énergie Dirigée

Tensile Properties and Microstructural Characterization of entirely built vs. repaired A357 specimens made by Directed Energy Deposition



UNIVERSITÉ
LAVAL



Introduction

- La Déposition sous Énergie Dirigée (DED) est une technologie de Fabrication Additive (FA) qui permet de créer des pièces métalliques en 3 dimensions à l'aide d'une source d'énergie concentrée et de matériel d'apport [1]
- Sources d'énergie concentrée
 - Faisceau d'électrons
 - Faisceau laser
 - Arc électrique
- Avantages
 - Pièces à géométrie quasi-finale
 - Réparation de pièces [2]
 - Pièces à gradient de composition chimique [3]
- A357 [4]
 - Alliage de fonderie (7% Si, 0,6% Mg)
 - Sensible au durcissement structural (Mg_2Si)
- Matériels d'apport
 - Poudre
 - Fil
- Inconvénients
 - Géométries limitées
 - Anisotropie mécanique
 - Faible résolution vs. autres technologies de FA
- ↑ Résistance spécifique +
↑ Résistance à la corrosion =
Allègement de structure dans
l'industrie du transport

Objectifs

- Caractériser les propriétés mécaniques et la microstructure de pièces d'A357 entièrement construites et réparées avec un système DED

Matériaux et méthodes

- Système DED laser/poudre LENS 450
- Poudre d'A357 [45 – 150 μm]

Tableau 1: Paramètres d'opération utilisés

P (W)	Fibre/D (μm)	V (mm/s)	\dot{V} (g/min)	HD (μm)	LT (μm)
750/800	200	21,17	3,04	381	305

- Impression d'éprouvettes de traction le long des axes X et Z
- Réparation de pièces d'A357 coulées par fonderie
- Caractérisation mécanique et microstructurale



Fig. 2: Dans l'ordre; demi-pièce coulée, réparation par DED, pièce complète coulée

Résultats

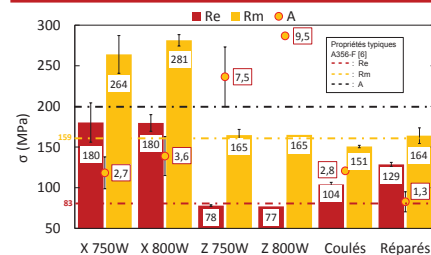


Fig. 3: Propriétés mécaniques moyennes des échantillons d'A357 entièrement construits et réparés par DED dans leur condition tel que fabriqués ainsi que ceux coulés par fonderie

Références

- ASTM F3187-16, Standard Guide for Directed Energy Deposition of Metals, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- Liu, D., Lippold, J.C., Li, J., Rohitkin, S.R., Voltbrecht, J., Grylls, R. Laser Engineered Net Shaping (LENS) Technology for the Repair of Ni-Base Superalloy Turbine Components. Metallurgical and Materials Transactions A (2014) 45, pp. 4454-4469, 2014.
- Hofmann, D., Kolodziejska, J., Roberts, S., Otis, R., Dillon, R., Suhr, J., ... Borgonia, J. Compositionally graded metals: A new frontier of additive manufacturing. Journal of Materials Research, 29(17), pp. 1899-1910, 2014.

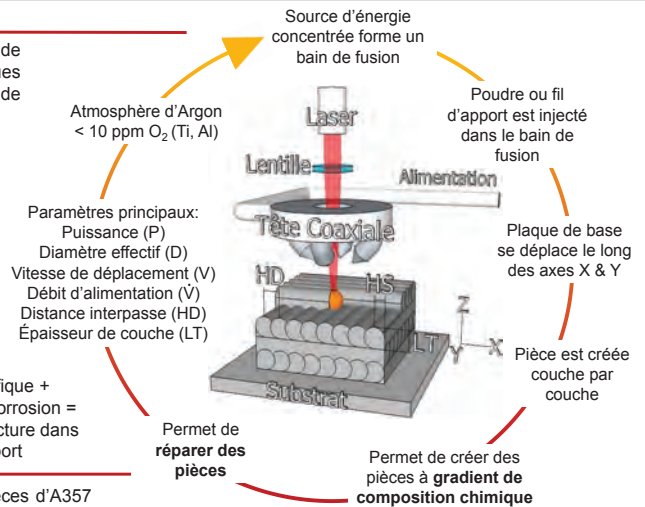


Fig. 1: Représentation simplifiée d'un système DED laser/poudre [5]

Résultats (suite)

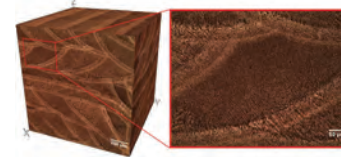


Fig. 5: Microstructure typique des échantillons d'A357 produits par DED (Réactif Weck)

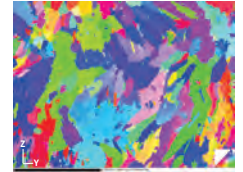


Fig. 6: Image EBSD du plan YZ

Discussion

- Les propriétés mécaniques (PM) des échantillons entièrement construits par DED sont fortement anisotropes :
 - $Re_x \approx 2,3 Re_z$ $Rm_x \approx 1,6 Rm_z$ $A_z \approx 2,8 A_x$
- Re_x et Rm_x sont supérieures aux valeurs typiques d'A356 tel que coulé*
- A_z est supérieur à l'allongement typique d'A356 tel que coulé*
- Les PM des réparations sont semblables aux pièces coulées :
 - $Re_z > Re_c$ $Rm_z > Re_c$ $A_z < A_c$
- L'anisotropie des PM peut être expliquée par la microstructure hétérogène; cellulaire au centre et dendritique en périphérie des passes déposées, et par l'orientation préférentielle des grains selon l'axe Z
- La région analysée à l'EBS est présente des grains d'un diamètre moyen de 60 μm

* Les PM des échantillons d'A357 construits, réparés et coulés ont été comparés aux PM typiques de l'A356 dans sa condition tel que coulé puisqu'il n'a pas été possible de trouver ces mêmes valeurs pour l'A357 en consultant la littérature

Conclusion

- La technologie de FA de DED permet de construire et de réparer des pièces faites d'A357 de manière efficace
- Un post traitement thermique adapté permettrait d'éliminer les problèmes d'anisotropie des propriétés mécaniques et d'améliorer l'allongement des pièces

- Davis, J. Alloying: Understanding the Basics: Aluminum and Aluminum Alloys, 2001, pp. 351-357.
- Gibson, I., Rosen, D.W., and Stucker, B. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, 2010, p. 237-258.
- ASM International, Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, pp. 544-1992.

Louis Simoneau
Université Laval

C. Blais - UL
A. Bois-Brochu - CMQ

La fabrication additive (FA) constitue une famille de procédés de mise en œuvre qui permettent de produire des pièces présentant des géométries complexes, voire uniques. Celle-ci se distingue des procédés conventionnels par son approche basée sur la déposition successive de couches de matière. La déposition sous énergie dirigée (DED) forme un sous-groupe de technologies de la FA destinée à des applications uniques. En effet, grâce à son procédé singulier de déposition, la DED permet notamment de réparer des pièces défectueuses. Bien que l'aluminium et ses alliages présentent de nombreux avantages, notamment pour l'allègement de structures, peu d'études ont été menées quant à son utilisation en DED. Dans ce projet de recherche, deux applications ont été étudiées : 1) la construction complète d'échantillons d'A356 et 2) la réparation de demi-éprouvettes de traction d'A356 coulées. Les échantillons ont été caractérisés en termes de propriétés mécaniques en traction, de microstructure, de textures cristallographiques ainsi que de taille de grains à l'aide de MEB, d'EBS et d'analyse d'images. Les résultats montrent que les réparations présentent des propriétés mécaniques égales ou supérieures à celles d'A356 coulé. La microstructure des régions déposées est constituée d'un mélange entre des grains de type cellulaires, équiaxes et colonnaires.

Additive Manufacturing (AM) is a novel family of manufacturing processes that makes the production of parts with complex geometries possible. Using polymers, metals and even ceramics, AM differs from conventional metal shaping processes by its approach based on a successive deposition of layers of materials. Directed Energy Deposition (DED) is a sub-category of AM processes that offers promising and unique capabilities. Thanks to its clever deposition process design, this technology can be used to repair defective or broken parts, resulting in significant cost savings. To this day, few studies have been carried out on additive manufacturing of aluminum components with DED. In this research project, two different applications were studied: 1) the complete construction of samples made of A356 and 2) the repair of tensile half-specimens made of cast A356. Samples were characterized in terms of tensile properties, microstructure, crystallographic textures and grain size using SEM, EBSD and image analysis. Results show that repaired specimens exhibit equal or higher tensile properties than typical cast A356. The microstructure of the deposited regions is a mix of cellular, equiaxed and columnar type grains.

Prix
Award



Louis Simoneau
Université Laval

C. Blais - UL
A. Bois-Brochu - CMQ

Le méthode du f-rapport de quantification pour la microanalyse à rayons X sur des échantillons multiéléments

The f-ratio Quantification Method for X-ray Microanalysis on Multi-Elements Specimen



Background

- SEM/EDS : popular for elemental analysis and chemical characterization due to its quick analysis and easy operability.
- EDS standardless analysis : the fastest and most convenient quantification technique, but accuracy is unsatisfied as it uses the experimental database rather than real standards.
- EDS standard-based analysis : Its accuracy is comparable with WDS, but standard samples are required for every acquisition, increasing the workload of the quantification. Furthermore, it requires the samples to be analyzed at an operating condition identical to the standards, which is difficult to be achieved in a field emission SEM.
- Therefore, there is a need to develop a quantification method for a field emission SEM, which is simple and efficient as EDS standardless analysis but has an improved accuracy.

Introduction

The *f-ratio* method based on the SEM/EDS system has become an effective alternative¹, and it is defined using the equation below in a multi-element system,

$$f_i = \frac{I_i}{I_i + \sum_{j \neq i} A_{i-j} I_j}$$

where I_i represents the net X-ray intensity of element i , and A_{i-j} represents the calibration factor between any two elements in the unknown sample. It incorporates the traditional EDS experiments and Monte Carlo simulations, and calibration factors are calculated with standard samples to eliminate the differences between experiments and simulations.

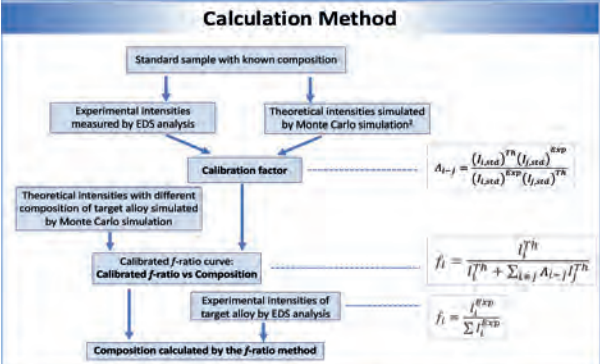
- If a compound standard, which contains all the target elements is available, the *f-ratio* is calculated with the X-ray intensities from one spectrum, and the impacts of beam current can be cancelled out.
- A pure-element (PE) standard is theoretically allowed as long as the experimental situations can be correctly simulated.

Objective

- To validate the *f-ratio* method with PE standards on a field emission SEM.

Hitachi SU8000 Hitachi SU8230

- Apply the *f-ratio* method in a multiple-element system with Python scripts.

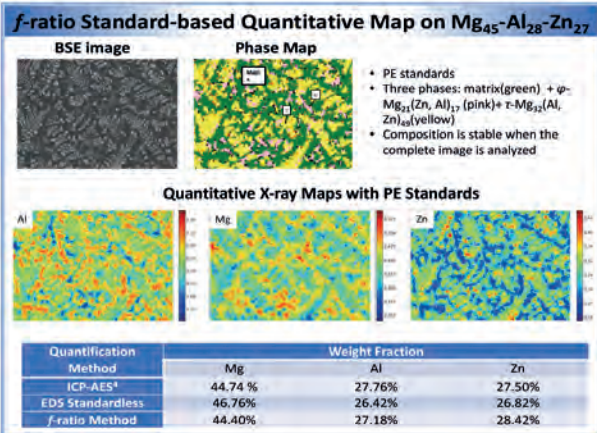
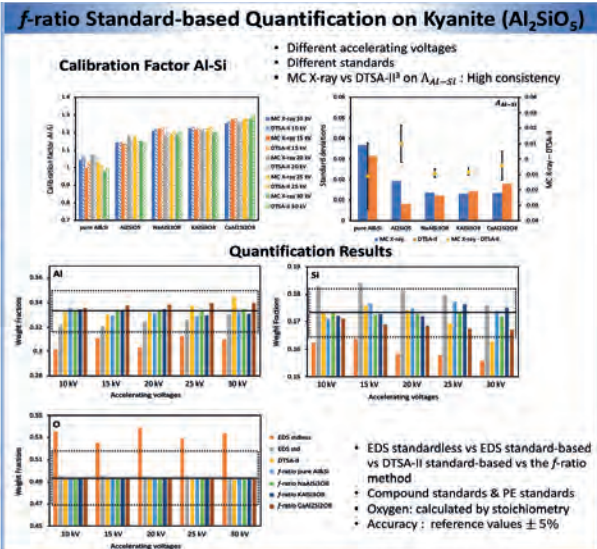


References

- P. Homy, Ph.D thesis, McGill University (2006).
- R.Gauvin, 2009, IS(SupplementS2): p. 488-489.
- Ritchie, N.W., Microscopy and Microanalysis, 2009, 15(3): p. 454-466.
- J.J. Le Berre et al, Final Report Submitted to Carl D. Fuerst (2007).

Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support from NSERC and Avalon through the Collaborative Research and Development Grant program (Grant # 4309-4453/2-12).



Conclusion

- The *f-ratio* method is helpful for operating EDS standard-based quantitative X-ray microanalysis with a field emission SEM.
- The accuracy of the *f-ratio* method for major elements can reach within an error of $\pm 5\%$.
- Compound standards and PE standards both can be applied for the *f-ratio* method.
- The impacts of the beam current can be cancelled out in the *f-ratio* method, so a standard-based quantitative mapping with a long acquisition time and an unstable current can be achieved.

AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS

Chaoyi Teng
McGill University

R. Gauvin - McGill
H. Demers - Hydro-Québec

Un système de microscopie électronique à balayage (SEM) / spectroscopie à dispersion d'énergie (EDS) est devenu un instrument polyvalent pour la microanalyse quantitative par rayons X grâce à son fonctionnement simple et rapide. Avec la méthode du K-ratio, l'analyse EDS standard peut atteindre une précision comparable au microanalyseur à sonde électronique (EPMA) / au spectromètre à rayons X à dispersion de longueur d'onde (WDS), cependant, des échantillons standard sont requis pour chaque acquisition. De plus, la méthode du k-ratio nécessite que les échantillons soient analysés dans une condition de fonctionnement EDS identique aux normes, ce qui est difficile à obtenir dans une SEM à émission de champ, en particulier pour le courant du faisceau d'électrons. Ainsi, pour éliminer l'influence du courant de faisceau, une nouvelle méthode de quantification, qui est réalisée sur la base de la technique EDS de routine, a été développée pour une SEM à émission de champ.

A scanning electron microscope (SEM) / energy dispersive spectroscopy (EDS) system has become a general-purpose instrument for quantitative X-ray microanalysis due to its simple and fast operation. With the k-ratio method, standard-based EDS analysis can achieve an accuracy comparable to the electron probe microanalyzer (EPMA) / wavelength-dispersive X-ray spectroscopy (WDS). However, standard samples are required for every acquisition and this increases the workload associated with quantification. Moreover, the k-ratio method requires that samples be analyzed at an EDS operating condition identical to the standards, which is difficult to achieve in a field emission SEM, particularly for the electron beam current. Thus, to eliminate the influence of beam current, a new quantification method, which is performed based on the routine EDS technique, was developed for a field emission SEM.

Modélisation multiphysique du soudage laser de l'aluminium

Multi-physics modeling of aluminium laser welding process

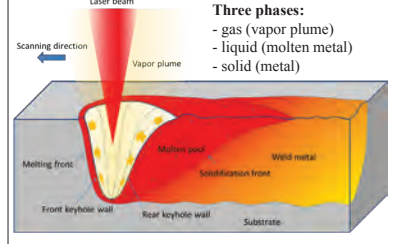


AXE 2 : TRANSFORMATION ET APPLICATIONS TRANSFORMATION AND APPLICATIONS

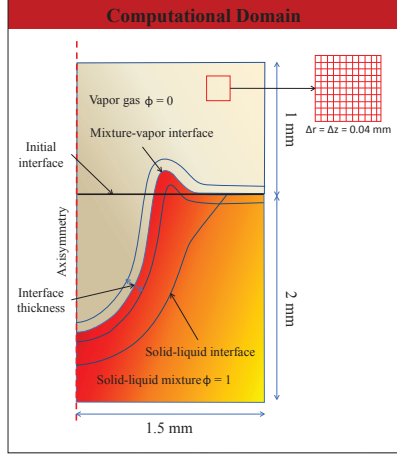
Introduction

Model the multi-physics phenomena in the high-intensity laser welding of aluminium alloys

- The mixture model is used to couple the solid and liquid phases of the matter
- The level set is used to capture the interface between the mixture and vapor phases
- The COMSOL Multiphysics software is used to do simulation



- ### Assumptions
- Assumptions:
 - Incompressible Newtonian fluids
 - Laminar flows
 - Gaussian distribution of laser heat source
 - Taking into account:
 - Temperature-dependent physical properties
 - Phase changes: evaporation, molten and solidification
 - Complex behavior of keyhole wall: breaking interface (e.g. spatter)
 - Surface tension with Marangoni effect
 - Recoil pressure



Mathematical Formulation [1], [2], [3], [4]

Level set equation

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi + \frac{\dot{m}}{\rho} \delta(\phi) = \gamma \nabla \cdot \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right)$$

Momentum equation

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \rho \mathbf{g} - \rho \beta (T - T_s) \mathbf{g} + \mathbf{K} \mathbf{u} + \mathbf{f}^s$$

Continuity equation

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = \dot{m} \delta(\phi) \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho} \right)$$

Energy equation

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + (\dot{q}_{LW} - \dot{m} L_s) \delta(\phi)$$

Stress tensor

$$\boldsymbol{\sigma} = -p \mathbf{1} + 2\mu \boldsymbol{\varepsilon}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2} (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)$$

Recoil pressure

$$\mathbf{f}^s = \nabla \cdot (\sigma (1 - \mathbf{n} \cdot \mathbf{n}) \delta(\phi)), \quad C_p = C_p + L_s \delta(T)$$

Surface energy

$$K = -C \left(\frac{(1 - f_l)^2}{f_l^2 + b} \right), \quad \dot{m} = \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} p_{sat}(T) (1 - \beta_s)$$

Phase indicator

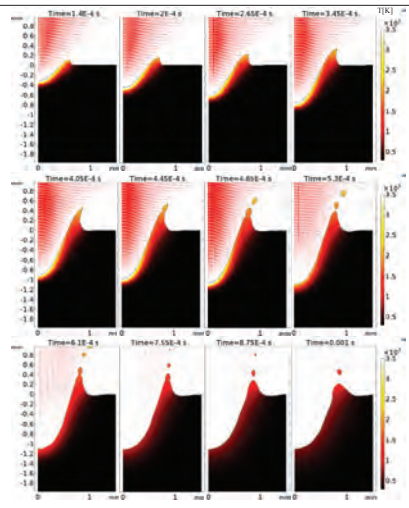
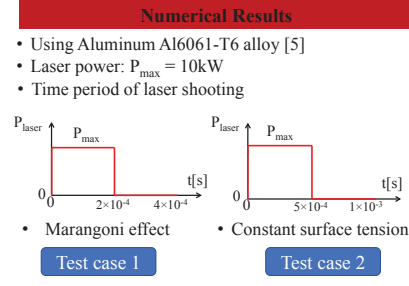
$$f_l = \begin{cases} 0 & \text{for } T < T_s \\ \frac{T - T_s}{T_l - T_s} & \text{for } T_s < T < T_l \\ 1 & \text{for } T > T_l \end{cases}, \quad \phi = \begin{cases} 0 & \text{in vapor} \\ 0.5 & \text{at the interface} \\ 1 & \text{in solid-liquid} \end{cases}$$

Surface tension

$$p_{sat}(T) = p_{s0} \exp\left(\frac{L_s M}{RT} \left(1 - \frac{T_s}{T}\right)\right), \quad \dot{q}_{LW} = \frac{P_{laser}}{\pi R_s^2} \exp\left(-\frac{r^2}{R_s^2}\right) f(z, r)$$

Temperature distribution

$$\delta(T) = \frac{2}{(T_l - T_s) \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{(T - T_m)^2}{(T_l - T_s)^2}\right)$$



Test case 2: The keyhole formation is simulated. The spatter phenomenon occurs because of the oscillation of the keyhole.

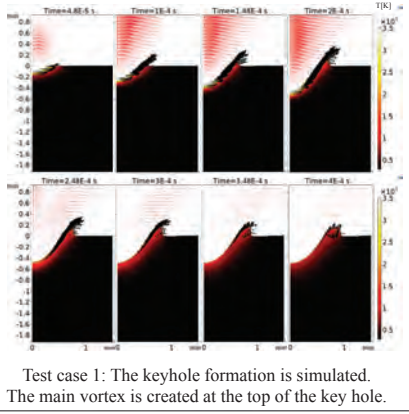
Conclusion

We built a new model with some contributions

- Physical properties of the material are depended on the temperature.
- Marangoni effect is considered, so the surface tension is now a function of temperature
- The oscillation of the interface leads to spatter phenomena

References

1. Bennon, W.D. and F.P. Incropera, *A continuum model for momentum, heat and species transport in binary solid-liquid phase change systems—I. Model formulation*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1987, **30**(10): p. 2161-2170.
2. Courtois, M., et al., *Guidelines in the experimental validation of a 3D heat and fluid flow model of keyhole laser welding*. Journal of Physics D: Applied Physics, 2016, **49**(15): p. 155503.
3. Olsson, E. and G. Kreiss, *A conservative level set method for two phase flow*. Journal of Computational Physics, 2005, **210**(1): p. 225-246.
4. B. Lafaurie, C. Nardone, R. Scardovelli, S. Zaleski, and G. Zanetti, *Modelling Merging and Fragmentation in Multiphase Flows with SURFER*. J. Comput. Phys., vol. 113, no. 1, pp. 134-147, 1994.
5. K.C. Mills, *Recommended Values of Thermophysical Properties for Selected Commercial Alloys*, National Physical Laboratory and ASM International, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2002



Test case 1: The keyhole formation is simulated. The main vortex is created at the top of the key hole.

Cette recherche se concentre sur la modélisation des phénomènes multiphysiques du soudage laser de l'aluminium. Sous l'action du laser à haute intensité, le mode *keyhole* du soudage laser se produit. La cause principale de la formation du *keyhole*, appelée la "pression de recul", est considérée. Premièrement, le modèle de mélange est utilisé pour coupler les phases solide et liquide de la matière. Ensuite, l'équation de l'interface (*level set*) est incorporée avec des équations de conservation du mélange et de la vapeur pour construire un modèle de champ unique en utilisant la méthode d'interface diffuse. Ce modèle permet de prendre en compte l'interaction dynamique et thermique ainsi que les changements de phase entre les trois phases du métal : solide, liquide et vapeur. En implémentant le modèle dans le logiciel COMSOL Multiphysics, une impulsion de laser sur un échantillon d'A6061-T6 avec la configuration axisymétrique est réalisée. Quelques premiers résultats numériques de l'évolution du *keyhole*, des projections ainsi que du comportement de transfert de chaleur telles que la vitesse de chauffage et la vitesse de refroidissement sont présentés.

This research focuses on modeling the multiphysics phenomena in laser welding of aluminium alloys. Under the high intensity laser power, the keyhole laser welding mode is activated. The important driving force of keyhole formation, the so-called recoil pressure, is considered. Firstly, a mixture model is used to couple the solid and liquid phases of the matter. Then, the tracking interface level set equation is incorporated with conservation equations of the mixture and vapor phases to build a single-field model using the well-known diffused interface method. This model allows taking into account dynamic and thermal interactions as well as phase changes between three phases: metal-solid, metal-liquid and vapor. By implementing the model in the COMSOL Multiphysics software, a laser pulse on a sample of AA6061-T6 in the axisymmetric configuration is performed. Some first numerical results of the evolution of the keyhole, spatter formation as well as heat transfer behavior such as the heating rate and the cooling rate are presented.

Thi-Nhung Tran - ÉTS
C.-C. Nguyen - ÉTS
X.-T. Pham - ÉTS



Introduction

Les alliages d'Al-Li-Cu ont d'excellentes propriétés mécaniques en raison du réseau complexe de précipités qui se forment lors des processus de traitement thermique[1]. Il est donc primordial de pouvoir mesurer la taille et la répartition des différents précipités dans la matrice d'aluminium. Les microscopes électroniques en balayage (MEB) sont surtout reconnus pour leurs capacités à produire des images de surfaces nettes. Les avancées technologiques récentes des microscopes ont grandement agrandi le champ de compétences de ces instruments. Il est maintenant possible d'effectuer des mesures qui étaient au paravent le domaine exclusif des microscopes électroniques en transmission (MET).

Méthodes

STEM à bas voltage :

Le SU9000EA est un microscope électronique à balayage en transmission (MEB-T) à tension d'accélération de 30 kV. Contrairement à la plupart des MEB, le SU9000EA est doté d'un porte-échantillons intra-lentille, ce qui permet d'obtenir des images à facteur de grossissement de 100,000,000X. Comme ce microscope est surtout utilisé en transmission, un spectromètre permet de récolter le signal de pertes d'énergie d'électrons (EELS).

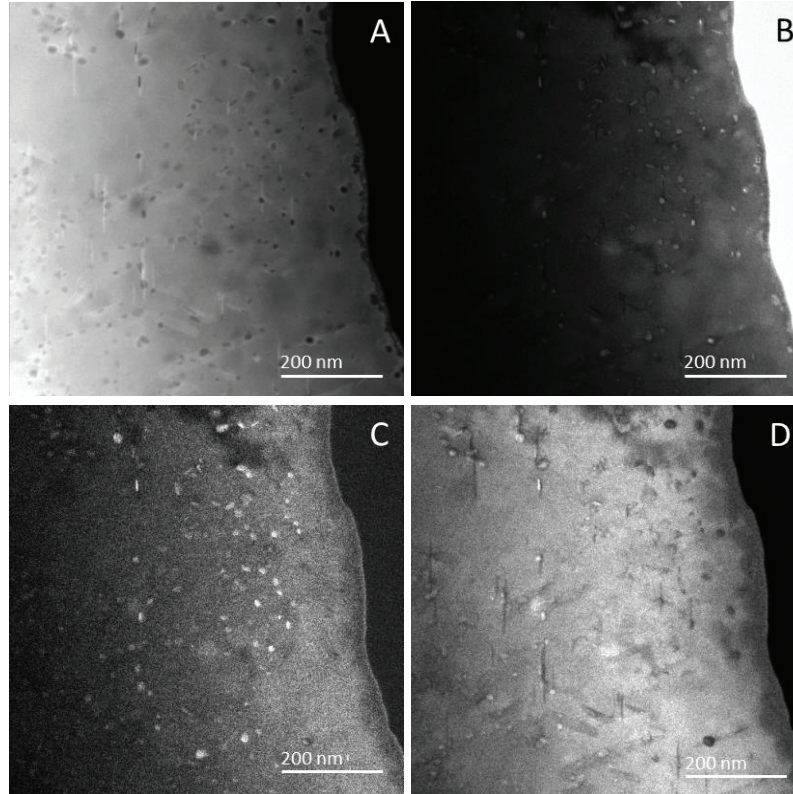
Spectroscopie de pertes d'énergie d'électron (EELS) :

En interagissant avec un spécimen, les électrons du faisceau d'un microscope perdent de l'énergie. Pour les échantillons minces, deux phénomènes rentrent en jeu: l'ionisation et les plasmons [2].

Références

- [1] M. A. Muñoz-Morris and D. G. Morris, "Severe plastic deformation processing of Al-Cu-Li alloy for enhancing strength while maintaining ductility," *Scr. Mater.*, vol. 63, no. 3, pp. 304-307, Aug. 2010.
- [2] R. F. Egerton, *Electron energy-loss spectroscopy in the electron microscope*, Third edition. New York: Springer, 2011.
- [3] N. Brodusch, F. Voisard, and R. Gauvin, "About the contrast of δ' precipitates in bulk Al-Cu-Li alloys in reflection mode with a field-emission scanning electron microscope at low accelerating voltage," *J. Microsc.*

Résultats



La série d'images ci-dessus a été acquise à l'aide d'un SU9000EA, à l'Université McGill. L'échantillon est une lame mince d'Al-2099, un alliage Al-Li-Cu [3]. Les quatre images ont été prises lors d'une seule acquisition de 80 secondes, avec quatre capteurs différents: a) image en champ foncé, b) pic de perte nul (-4 à 3 eV), c) plasmon de surface (4 à 10 eV) et D) le plasmon de l'aluminium (11 à 18 eV).

Conclusion

Les avancées technologiques récentes des MEBs permettent l'imagerie de précipités dont une dimension est moins de 5 nm [3]. De plus, grâce au spectromètre EELS, chaque mode enregistré observé met en valeur un différent type de précipité.

La spectroscopie par perte d'énergie d'électrons est une méthode d'analyse élémentaire qui permet la détection d'éléments légers lors d'observation en microscopie électronique en transmission. Cette technique permet donc l'étude de la composition de précipités contenant des éléments de faible masse atomique, telle que le lithium, qui joue un rôle clé dans l'optimisation des propriétés mécaniques de certains alliages, tel l'Al2099.

Electron Energy Loss Spectroscopy (EELS), is an elemental analysis technique which enables the detection of light elements in a transmission electron microscope. EELS therefore creates the possibility of performing chemical analysis of light elements, such as lithium, within precipitates, which play a crucial role in the strength of aluminium alloys such as AL 2099.

Frédéric Voisard
McGill University

N. Brodusch - McGill
R. Gauvin - McGill
M. L. Trudeau -
Hydro-Québec

Etude des propriétés mécaniques et de la microstructure d'un alliage d'aluminium fabriqué par fusion sélective au laser, en utilisant la technique de corrélation d'images numériques

Evaluating tensile properties and microstructure of an AlSi10Mg aluminium alloy manufactured by laser power bed fusion, using digital image correlation method



INTRODUCTION

Additive manufacturing allows the rapid production of complex metallic parts. Laser Powder Bed Fusion (LPBF) consists in exposing successive metallic powder layers to a high power laser [1]. Aluminum properties such as reflectivity, thermal conductivity, and surface oxide formation have made the use of this process a real challenge [2]. The originality of this project resides in its integration in a wide effort to further the industrialization of the additive manufacturing of aluminum alloys.

OBJECTIVE :

The objective of the study is to determine the tensile properties of LPBF produced AlSi10Mg samples, and to inspect the microstructure resulting from the additive manufacturing process. Digital Image Correlation will be used as a preparation for future studies.

1. EXPERIMENTAL PROCEDURE

1.1 Materials

The material studied was LPBF produced AlSi10Mg alloy.

The samples were machined into subsized specimens for tensile tests, with their long dimension parallel to the building direction Z.

1.2 Tensile tests

Subsize specimens (ASTM E8 [3]) (Figure 1)

- Cross head speed: 0,047±0,009 mm/min
- Blade extensometer: 25 mm

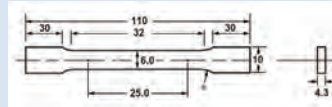


Figure 1. Subsize specimen for tensile tests [3]; all measurements are in millimeters

1.3 Digital image correlation

The samples were sprayed white, and a black speckle pattern was applied, as seen in Figure 2. These speckles are then traced by the Digital Image Correlation (DIC) system VIC3D during the tensile test to calculate the deformation field.



Figure 2. Experimental setup featuring extensometer and speckle pattern on the sample

2. RESULTS

2.1 Tensile tests

The DIC method gave results comparable to those obtained using the blade extensometer (Table 1).

Table 1. Average tensile properties

	Blade extensometer	DIC
E (GPa)	66.2	65.2
UTS (MPa)	321.3	321.3
YS (MPa)	173	172
A (%)	5.6	5.6

2.2 Microstructure

The samples showed a "fish scale" type of structure, inherited from the passing of the melt pool (Figure 3.a and 3.b). This aspect is due to grains being bigger near the melt pool border.

A columnar grain structure oriented along the building direction was observed (Figure 4). This suggests a potential anisotropy in the mechanical properties.

A uniform distribution of porosities, with an average diameter of 5 µm, was noted. These pores were largely present on the fracture surfaces (Figure 5).

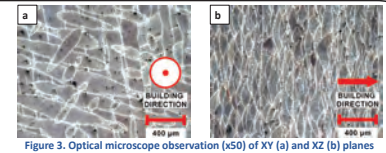


Figure 3. Optical microscope observation (x50) of XY (a) and XZ (b) planes

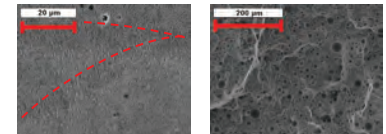


Figure 4. SEM image of the XZ plane; red dotted lines indicate melt pools limits

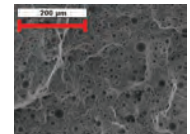


Figure 5. SEM image of a fracture surface

3. DISCUSSION

3.1 Fish scale structure and elongation

Though the DIC method showed continuous elongation along the samples, the heterogeneous grain sizes distribution (Figure 6) might be responsible for variations in the deformation field at the scale of the melt pool. The speckle pattern used during this study was not thin enough to distinguish those.

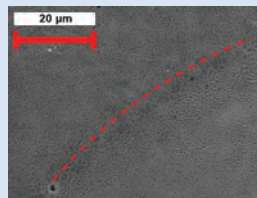


Figure 6. SEM image of the XY planes; the red dotted line indicates the limit of a melt pool

3.2 Impact of the virtual extensometer length

Elongations at break measured with the DIC method were found to be dependent on the length of the virtual extensometer used (Figure 7). This is due to stress concentration around the breaking area in the case of materials with a large field of plastic deformation. This could lead to overestimation of the elongation at break when using the DIC.

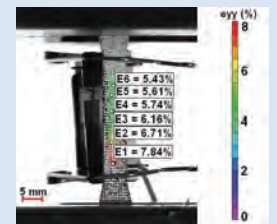


Figure 7. Differences of elongation on the last image before break using various virtual extensometer lengths

CONCLUSION

- Mechanical properties comparable to those of die cast aluminum were found for LPBF produced AlSi10Mg.
- A better control of the LPBF process parameters or a post-process heat treatment would improve these properties by decreasing the volume fraction of porosities.
- A dendritic structure and a heterogeneous distribution of grain sizes were noted, leading to a potential anisotropy of the samples.
- DIC is a reliable option to replace a blade extensometer, and allows to visualize the deformation field along the sample.

[1] Eleftherios Louvis, P. F. Christopher J. Sudkamp (2011), "Selective laser melting of aluminum components," Journal of Materials Processing Technology 211(2): 275-284

[2] Lore Thijs, K. K., Jean-Pierre Kruth, Jan Van Humbeeck (2013), "Fine-structured aluminum products with controllable texture by selective laser melting of pre-alloyed AlSi10Mg powder," Acta Materialia 61(5): 1809-1819

[3] ASTM (2016), E8/E8M - 15a, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.

Cette étude s'est intéressée à la caractérisation des propriétés mécaniques en traction et à la microstructure de l'alliage AlSi10Mg mise en forme par fusion laser sélective de lit de poudres. La méthode de corrélation d'images numériques (DIC) a été utilisée dans le but éventuel d'étudier le comportement aux interfaces des pièces réparées par fabrication additive. Il a été montré que les valeurs des propriétés mécaniques (module de Young, limite d'élasticité à 0,2 % et allongement à la rupture) obtenues par corrélation d'images sont comparables à celles obtenues lors d'un suivi de la déformation à l'aide d'un extensomètre à lames. La microstructure de type « écailles de poisson », typique de la mise en forme par fabrication additive a été observée au microscope électronique à balayage. Des porosités de 5 µm de diamètre moyen, réparties de façon uniforme, sur les coupes XY et XZ ont été observées à l'aide du microscope optique. L'analyse fractographique des échantillons de traction a aussi révélé la présence des porosités. Ces défauts nuisent à la ductilité du matériau. Une amélioration des propriétés mécaniques est attendue, si la fraction volumique des pores peut être réduite.

Characterization of the tensile properties and microstructure of AlSi10Mg parts manufactured by laser powder bed fusion was performed in this study. A digital image correlation (DIC) method was used to study the behavior at the interfaces of parts repaired by additive manufacturing. It was shown that the values of the mechanical properties (Young's modulus, yield strength at 0.2% and elongation at fracture) obtained by digital image correlation are comparable to those obtained using a blade extensometer. The microstructure of the "fish scale" type was observed using a scanning electron microscope. Uniformly distributed pores with an average diameter of 5 µm were observed on the XY and XZ sections using an optical microscope. Fractographic analyses showed the presence of pores on the fracture surface. These defects are detrimental to the ductility of the material. A decrease in pore volume fraction would improve the mechanical properties.

Prix
Award



Nicolas Wawrzyniak
École Polytechnique
de Montréal

M. Pushkareva - École
Polytechnique de Montréal
Myriam Brochu - École
Polytechnique de Montréal
Mathieu Brochu - McGill

Introduction

In quantitative x-ray microanalysis, energy dispersive spectroscopy (EDS) is used together with scanning electron microscope (SEM) to detect characteristic x-ray intensities, which is related to chemical composition of certain elements. One of the most important factor need to be considered during the calculation is the fluorescence factor. The fluorescence effect is the increase of detected characteristic x-ray intensity because of secondary emission induced from x-rays instead of electrons [1]. It is normally ignored during the simulation because of its small magnitude. However, when dealing with complicated geometry, it could be large. A new method for fluorescence correction for 3D heterogeneous materials is developed based on MCx-ray.

Methodology

MCx-ray [2] is used to simulate the primary x-ray intensity and three dimensional x-ray distribution. The generated x-ray intensity (both characteristic and bremsstrahlung) in each voxel is obtained.

Figure in the bottom shows the scheme for the derivation of the secondary fluorescence correction. With the known of generated x-ray intensity for each voxel, the fluorescence x-ray intensity from one voxel to the other is calculated first. Then the numerical integral is applied over all the voxels to get the total fluorescence intensity. A consist equation for characteristic fluorescence and bremsstrahlung fluorescence is developed. For bremsstrahlung, an integral over the energy of emitting x-ray need to be applied.

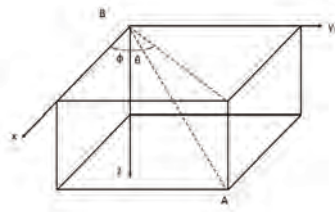


Figure 1 The scheme for the derivation of the secondary fluorescence correction

Conclusion

A program is developed to calculate the fluorescence x-ray intensities for 3D heterogeneous materials. It can be used for both characteristic and bremsstrahlung fluorescence correction. This work will contribute to accurate prediction of composition using EDS.

References

- [1] J. Goldstein, D. Newbury, and D. Joy, "SEM and X-Ray microanalysis," ed: New York: Springer Science, 2003.
- [2] R. Gauvin and P. Michaud, "Microscopy and Microanalysis, 15 (2009) 489-499.
- [3] Ritchie, N. W. (2017), "Efficient Simulation of Secondary Fluorescence Via NIST DTA-II Monte Carlo," "Microscopy and Microanalysis 23(3): 618-633.
- [4] Llovet, X., et al. (2012), "Secondary fluorescence in electron probe microanalysis of material couples," "Journal of Physics D: Applied Physics 45(22): 225301.

Result

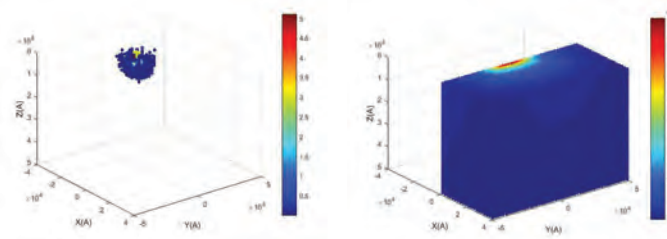


Figure 2 a) Cu Kα primary intensity

3D x-ray intensity distribution

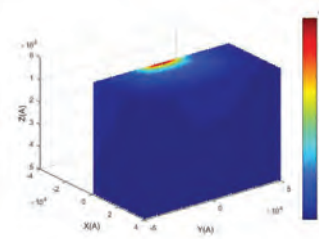


Figure 3 X-ray intensity in 2D plane for a) $x = 1.1 \mu\text{m}$, b) $y = 0.1 \mu\text{m}$, c) $z = 0$

- 3D x-ray intensity distribution when the distance between the electron beam and the interface of sample is $1 \mu\text{m}$. The secondary fluorescence has much larger interaction volume and much smaller magnitude than the primary electron-induced x-ray emission.

2D projection of x-ray intensity distribution

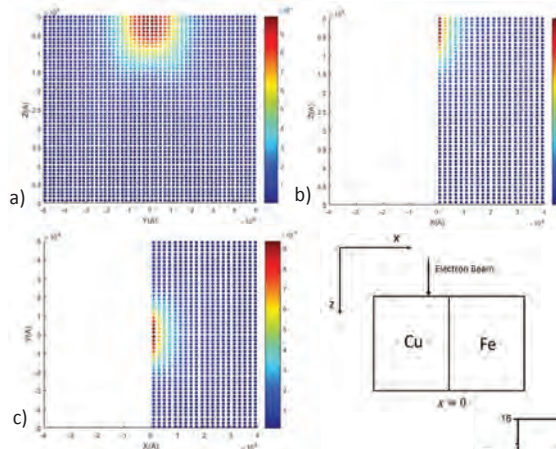
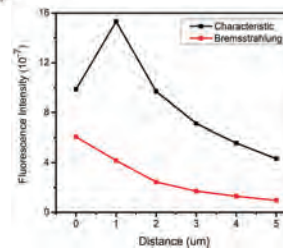


Figure 4 The sample geometry for Cu and Fe with interface at $x = 0$

- It is observed that the Fe Kα can only be emitted at Fe Region (at $x > 0 \mu\text{m}$) and the descending trend when the voxel position get away from Cu region

Secondary fluorescence intensity VS Distance

- Figure 5 The variation of fluorescence intensity of Fe Kα in the whole sample versus the distance between electron beam and sample interface.
- The bremsstrahlung fluorescence intensity decreases. The characteristic intensity increases first and then decrease. The increase of intensity is due to the primary Cu Kα intensity increases.



Dans la microanalyse quantitative de rayons X, la spectroscopie dispersive d'énergie (EDS) est utilisée avec le microscope électronique à balayage (SEM) pour détecter les intensités caractéristiques des rayons X, ce qui est lié à la composition chimique de certains éléments. L'un des facteurs les plus importants devant être pris en considération lors du calcul est le facteur de fluorescence. L'effet de fluorescence est l'augmentation de l'intensité des rayons X caractéristique détectée en raison des émissions secondaires induites par les rayons X au lieu des électrons. Il est normalement ignoré lorsque la simulation Monte Carlo est effectuée en raison de sa faible amplitude. Cependant, lorsqu'il s'agit d'une géométrie compliquée comme les matériaux multicouches, les joints de grains ou les précipités dans les alliages. La correction de fluorescence des matériaux multicouches a été calculé avant d'utiliser MCx-ray pour obtenir des courbes précises de distribution des rayons X et un modèle analytique pour obtenir l'équation. Dans ce travail, un programme est développé pour calculer la correction de fluorescence pour les matériaux hétérogènes 3D en utilisant des intégrales numériques. Plusieurs exemples sont montrés pour les joints de grains et les particules. Les résultats simulés sont comparés aux données expérimentales et à la simulation d'autres logiciels.

In quantitative X-ray microanalysis, energy dispersive spectroscopy (EDS) is used together with scanning electron microscopy (SEM) to detect characteristic X-ray intensities, which are related to the chemical composition of certain elements. One of the most important factors which needs to be considered during X-ray intensity calculations is the fluorescence factor. The fluorescence effect is an increase of detected characteristic X-ray intensities due to secondary emission induced from other X-rays instead of electrons. It is normally ignored when Monte Carlo simulations are performed because of its small magnitude. However, when it comes to samples with complicated geometries such as multilayer materials, grain boundaries, or precipitates in alloys, its effect can become non-negligible. A fluorescence correction for multilayer materials has been computed previously using MC X-ray by obtaining accurate X-ray depth distribution curves and using an analytical model to derive the equation. In this work, a program is developed to calculate fluorescence correction for 3D heterogeneous materials using numerical integrals. Several examples are shown for grain boundaries and particles. The simulated results are compared with both experimental data and simulations from other software.

Yu Yuan
McGill University

R. Gauvin - McGill



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



Université Laval

H. Alamdari	Y. Lu
C.-D. Annan	B. Majidi
C. Bayan	J. Mashreghi
C. Blais	R. Mollaabbasi
N. Boissonnade	Z. Kansoun
A. S. Chahardeh	A. Paris
H. Chaouki	D. Picard
B. Chen	S. Petitclerc
M. Cormier	E. Poulin
V. Desjardins	P. V. Obambi
C. Duchesne	G. Rouget
M. Fafard	L. Simoneau
A. Gateau-Bégin	L. Sorelli
G. Gauvin	S.M. Taghavi
H. Ghazanfari	M. Yaghoobi
L. Gosselin	S. Zaglafi
M. Kavand	

École Polytechnique de Montréal

M. Brochu	A. Ross
M. Larbi Sentissi	N. Wawrzyniak
M. Pushkareva	

École de technologie supérieure

M. Alkhabbat	Q. Laurent
Z. Arhumah	M. Marani
F. Atmani	M. Momeni
R. Bertrand	C. Nguyen
P. Bocher	C.-C. Nguyen
V. Demers	X.-T. Pham
P. Dibayan	L. Richard
M. Guillot	V. Songmene
M. Jahazi	T.-H. Tran
W. Jomaa	Y. Zedan

Cégep de Trois-Rivières / CMQ

S. Amira	L. Forget
J.-F. Blackburn	D. Levasseur
A. Bois-Brochu	J. Massicotte
F. Chiesa	

Université du Québec à Chicoutimi

H. Agbe	O. Lacroix
J. Alarie	F. Larachi
A. Arici	K. Liu
M. Attia	D. Marceau
A. Belkacem	B. Morais
A. Benzaoui	S. Poncsak
D. Bhattacharyay	J. Qin
X. Chen	X. Qian
X.-G. Chen	D. Racine
Z. Chen	K. Ragab
R. Farid	A. Rahem
A. Fleury	L. Rakotondramana
L. Jin	T. Roger
C. Kaszas	D. K. Sarkar
K. Kiss	L. St-Georges
D. Kocaeffe	S.-O. Tremblay
Y. Kocaeffe	Z. Zhang

Université de Sherbrooke

F. Corriveau
A. Desrochers
A. Maslouhi

Alcoa

R. Beeler	D. Ziegler
J. Tessier	

Rio Tinto

J.-F. Bilodeau	N. Parson
S. Guérard	

Wartsila

M. Gariépy

Institut de recherche Hydro-Québec

H. Demers	R. Schulz
M. Frechette	M. L. Trudeau
S. Savoie	

Aluminerie Alouette Inc.

M. Gagnon	F. Laflamme
-----------	-------------

Neuman Aluminium

L. Hacin	H. Blanchette
----------	---------------

PCP Aluminium and A3 Surfaces

J. L. Bernier

Dalhousie University

P. Bishop

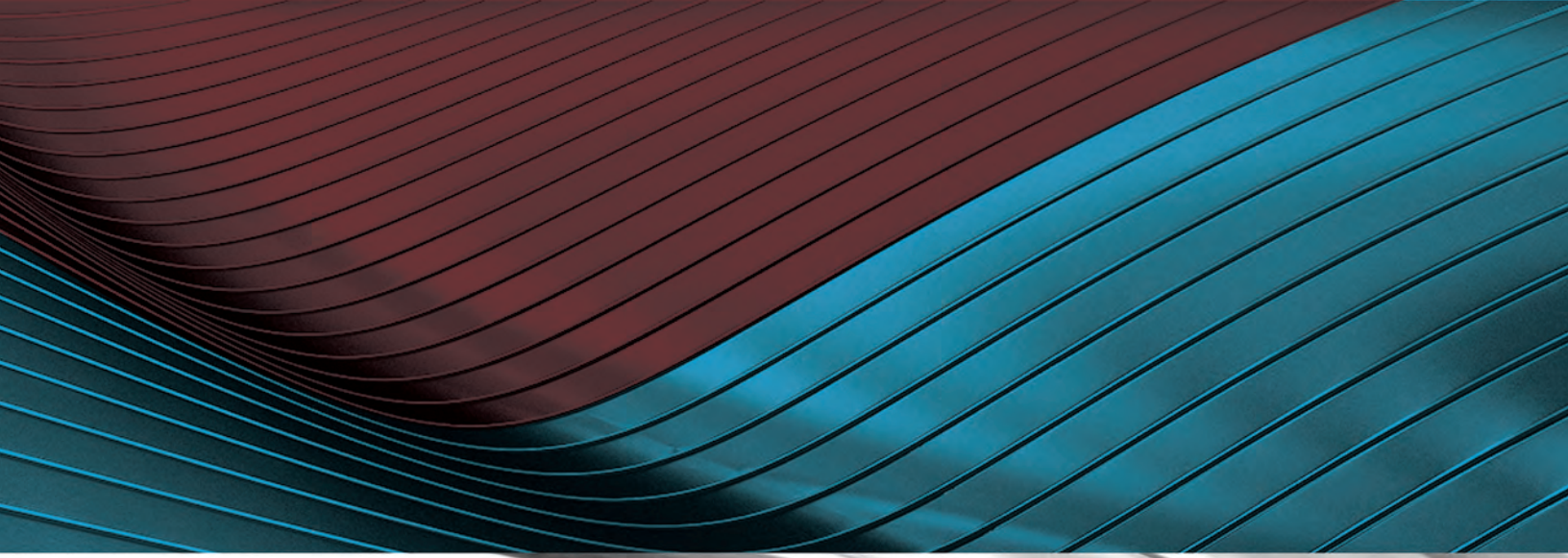
Le Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL tient également à remercier l'ensemble de ses collaborateurs qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de cet ouvrage. Aluminium Research Centre - REGAL would also like to thank every one of their collaborators who, near or far, contributed to the production of this work.

Membres du bureau de direction du REGAL / Members of REGAL Steering Committee

Mario Fafard, directeur REGAL, Université Laval
Daniel Marceau, directeur adjoint REGAL, UQAC
X-Grant Chen, UQAC

Houshang Alamdari, Université Laval
Florence Paray, McGill University
Myriam Brochu, École Polytechnique de Montréal

Victor Songmene, École de technologie supérieure
Ahmed Maslouhi, Université de Sherbrooke
Gheorghe Marin, Cégep de Trois-Rivières



Le Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL est financé par le FRQNT

