14e édition 14th edition

2017



ENCYCLOPÉDIE DE LA RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM AU QUÉBEC 2017

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

THE ENCYCLOPAEDIA OF RESEARCH ON ALUMINIUM IN QUEBEC 2017

REGAL Students' Day
Aluminium Research Centre - REGAL

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

Économie, Science et innovation Québec

Association de l'aluminium du Canada
Aluminium Association of Canada

alu Québec Grappe de l'aluminium | CeAl

ENCYCLOPÉDIE DE LA RECHERCHE SUR L'ALUMINIUM AU QUÉBEC 2017

THE ENCYCLOPAEDIA OF RESEARCH ON ALUMINIUM IN QUEBEC 2017

Table des matières
Table of contents

Introduction / Introduction 6

Préface / Preface 7

Formation et conférencier invité / Formation & Invited speaker 8

Conférences / Lectures 9

AXE 1 : Production de l'aluminium / Aluminium Production 13

AXE 2 : Transformation et applications / Transformation and applications 45

Remerciements / Acknowledgements 82

Les textes et illustrations sont une reproduction fidèle et respectent en tous points les travaux des étudiants.
The texts and illustrations here in are accurate, faithful reproductions of the students' work.

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

Recherche au contenu / Content research
Valérie Goulet-Beaulieu
Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL

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 14e Journée des étudiants du REGAL / 14th 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.

© Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL, 2017
Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec, 2017 / *Copyright - Quebec National Library*
Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Canada, 2017 / *Copyright - Canadian National Library*
ISBN 978-2-9815930-2-3

14e journée des étudiants du REGAL

14th REGAL students' day













Myriam Brochu
Professeure titulaire
Présidente de la JER
2017

Ce fut avec beaucoup d'enthousiasme que le nœud REGAL de Polytechnique a organisé la 14e journée des étudiants du REGAL (JER) tenue le 27 septembre 2017. Il s'agissait de la première fois que la JER se tenait à l'École Polytechnique, bien que des professeurs de Polytechnique aient organisé cet évènement dans le passé. Comme autres nouveautés, une journée de formation ainsi qu'un souper réseautage ont permis de prolonger la période de rassemblement des acteurs de cet évènement, aux plaisirs de tous.

Grâce à la générosité de nos partenaires financiers, 26% des étudiants inscrits au concours d'affiches ont été récompensés par un prix. Cette année, le concours d'affiches scientifiques s'est étendu aux étudiants du baccalauréat et quatre étudiants ont saisi l'opportunité en présentant leurs travaux de stage. En plus des prestations étudiantes, le conférencier invité, Robert-Jan van Santen, a fait l'unanimité en traitant d'un sujet qui fait rêver : « Le design de façades contemporaines en aluminium ».

L'encyclopédie de la recherche sur l'aluminium au Québec recense un résumé des six présentations orales des représentants étudiants de chacune des institutions membres du REGAL ainsi que les 69 affiches scientifiques qui ont été présentées à la 14e JER. Cet ouvrage permet de garder une trace de l'évolution des recherches québécoises qui s'organisent dans le cadre du regroupement stratégique REGAL financé par le FRQNT.

Enfin, l'énergie des étudiants combinée à la passion pour l'aluminium des chercheurs ainsi que celle de nos partenaires industriels et financiers font de la JER une réussite annuelle. Néanmoins, la réussite de la 14e JER a été rendue possible grâce à l'implication sans limite de : Mario Fafard (directeur du REGAL), Claudia Hodonou (doctorante à Polytechnique Montréal), Valérie Goulet-Beaulieu (coordonnatrice du REGAL), Guillaume Gauvin (professionnel de recherche) et grâce aux professeurs et professionnels bénévoles ayant accepté de juger le concours d'affiches scientifiques et les présentations orales.

It was with great enthusiasm that REGAL-Polytechnique organised the 14th REGAL students' day (JER) held on September 27, 2017. JER was never held at Polytechnique, although professors from Polytechnique have organised this event in the past. As other novelties, a day of training and a networking dinner extended the gathering time and fun.

Thanks to the generosity of our financial partners, 26% of the students registered for the poster contest received a reward. This year, the scientific poster competition was open to undergraduate students. Four students seized this opportunity and presented their internship work in the form of a poster. In addition to the student presentations, the guest speaker, Robert-Jan van Santen, highlighted the day with a presentation on: «The design of contemporary aluminium facades».

The encyclopedia of research on aluminium in Québec provides a summary of the six oral presentations given by students selected from REGAL's institutions as well as a collection of the 69 scientific posters presented at the 14th JER. This document records the evolution of Quebec research organised in the framework of the REGAL strategic group funded by the FRQNT.

Finally, student energy combined with a passion for aluminium of researchers, industrial partners and financial partners make the JER an annual success. Nevertheless, the 14th JER success was made possible thanks to the unlimited involvement of: Mario Fafard (director of REGAL), Claudia Hodonou (doctoral student at Polytechnique Montréal), Valérie Goulet-Beaulieu (REGAL coordinator), Guillaume Gauvin (research professional) and the professors and professional who volunteered as jury members.





David Prud'homme
Directeur
Centre d'expertise
sur l'aluminium

Le savoir et le savoir-faire des étudiants et des chercheurs méritent toute notre reconnaissance. De ce fait, le **Centre d'expertise sur l'aluminium** (CeAl) ne peut qu'applaudir l'édition 2017 de l'*Encyclopédie de la recherche sur l'aluminium au Québec* et est fier d'y être associé. Cet ouvrage est le reflet des travaux et du talent des étudiants et chercheurs du Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL.

Reconnaître et encourager la recherche sur l'aluminium est, sans aucun doute, le gage de la performance future de notre industrie. C'est dans cet esprit qu'AluQuébec, la Grappe industrielle de l'aluminium au Québec, a récemment mis sur pied le CeAl qui se veut un centre d'expertise, de documentation, de développement et de diffusion sur l'aluminium. Le CeAl vise à être connu et reconnu comme une source crédible d'information et de références techniques auprès de ceux qui désirent faire un usage élargi de l'aluminium.

Pour accomplir son mandat avec succès, le CeAl compte sur l'engagement, le partage des connaissances et la synergie développés par les milieux universitaires, gouvernementaux et industriels. Des éléments essentiels au développement de l'industrie de l'aluminium québécoise qui souhaite continuer à accroître sa notoriété sur l'échiquier mondial.

À titre de directeur du CeAl, je félicite le savoir, l'excellence et la passion contenus dans l'*Encyclopédie de la recherche sur l'aluminium au Québec*, édition 2017.

The students and researchers deserve all of our gratitude for their knowledge and know-how. Hence, the *Centre d'expertise sur l'aluminium* (CeAl) can only applaud the 2017 edition of the *Encyclopaedia of Research on Aluminum in Québec* and is proud to be associated with this publication. It is a reflection of the work and talent of the students and researchers of the Aluminum Research Centre – REGAL.

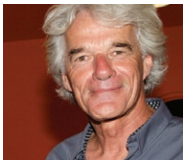
The recognition and encouragement of research on aluminum is without a doubt a guarantee of the future performance of our industry. It is in this spirit that AluQuébec, the Québec Aluminum industrial Cluster, recently established the Centre d'expertise sur l'aluminium (CeAl), a centre dedicated to the expertise, documentation, development, and diffusion focused on aluminum. The vision of the CeAl is to constitute a credible, widely known and recognized source of information and technical references for those seeking to make a more extensive use of aluminum.

In order to successfully accomplish its mandate, the CeAl is banking on the commitment, knowledge sharing and synergy developed by academic, government and industrial circles. These elements are essential to the development of Québec's aluminum industry which hopes to preserve and grow its notoriety, and thus, double the volume of grey metal processed on our territory.

As director of the CeAl, I wish to commend the knowledge, excellence and passion contained in the 2017 edition of the *Encyclopaedia of Research on Aluminum in Québec*.

Formation REGAL | 26 septembre 2017
Utilisation de l'aluminium dans le domaine maritime

Experts-formateurs :



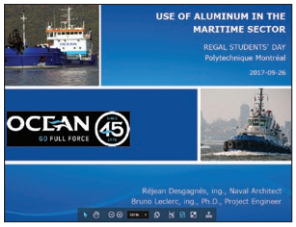
Réjean Desgagnés est un architecte naval, gradué de l'institut Maritime du Québec et a son Baccalauréat en architecture navale de l'Université du Michigan en 1978. Issu d'une famille de marin, il a travaillé sur les navires commerciaux et sur les navires de la Garde Côtière comme marin. M. Desgagnés a fondé en 1987 la firme Desgagnés Concept Naval inc, qui est une firme d'architecture navale et d'ingénierie maritime.



Après avoir obtenu son baccalauréat et maîtrise en génie mécanique, **Bruno Leclerc** poursuit ses études tout en occupant différents postes reliés à l'ingénierie dans différents domaines. Sa détermination et sa passion pour cette science le mènent à l'obtention d'un doctorat en génie mécanique de l'UdeS. Il est ingénieur de projet chez Groupe Océan depuis 2010.

Plan de la formation

1. Introduction
2. Grands principes de l'architecture navale
3. Court historique de la construction navale avec l'aluminium
4. Nuances d'aluminium et procédés d'assemblage
5. Normes et réglementations
6. Divers projets utilisant l'aluminium pour des Catamarans rapides
7. Projet « CATATUG »
8. Manutention et Découpe
9. Élongation (pont supérieur de paquebot)
10. Environnement de fabrication au chantier
11. Recyclage
12. Futur





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 de la JER | Robert-Jan van Santen
Le design de façades contemporaines en aluminium



Robert-Jan van Santen
Architecte fondateur
VS-A Ingénierie et design de l'enveloppe

Passionné par le dessin industriel et l'art, Robert-Jan van Santen a décidé d'aller à Montpellier en France pour suivre des cours de mathématiques techniques et étudier l'architecture. Il a terminé ses études à l'UPA3 de VERSAILLES en 1985.

Passionné par les façades et particulièrement par les enveloppes légères, Robert-Jan a décidé de créer sa société d'ingénierie de façade en France en 1989. Il a fondé le « Bureau d'études façade van SANTEN » en 1989, qui est devenu plus tard « Van SANTEN & Associés » en 1999 et finalement « VS-A » en 2010. L'agence s'est développée à l'international avec l'agence VS-A.HK à Hong-Kong en 2011 et VS-A.KR à Séoul en 2014. Le groupe compte maintenant plus de 30 spécialistes avec des nationalités diverses et a l'intention de s'étendre dans d'autres régions du monde.

Robert-Jan van SANTEN a été honoré de la Médaille d'Argent de l'Académie d'Architecture pour la Rechercher et la Technique en 2008. Il est aussi intervenant dans de nombreuses conférences à travers l'Europe et l'Asie et dans les écoles d'architecture.



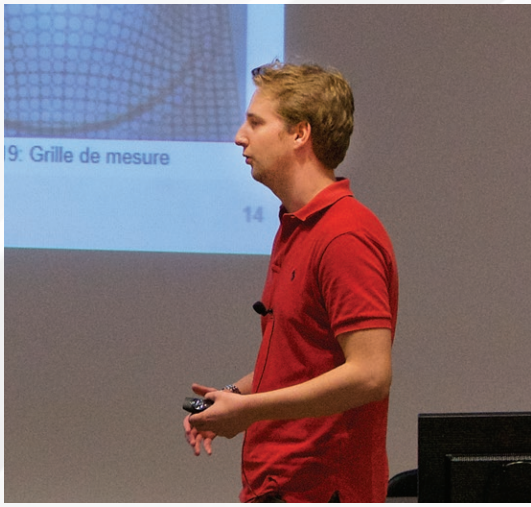


Photo de gauche : Robert-Jan van Santen accompagné de Mario Fafard, directeur du REGAL et Myriam Brochu, présidente de la JER 2017.

Conférences
Lectures















Mariem Zoghlami
École de Technologie Supérieure

Mohammad Jahazi
Victor Songmene
Hossein Monajati
École de Technologie Supérieure

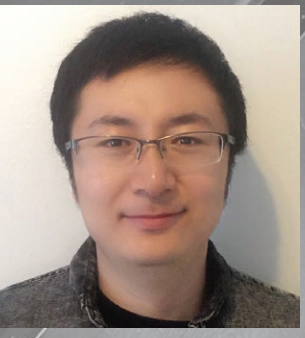
Étude des bandes alternées “onion rings” lors du procédé de soudage par friction-malaxage des alliages d’aluminium de la série 6000

Les bandes alternées, plus connues sous le nom de « onion rings», constituent un des phénomènes qui apparaissent dans la microstructure lors du soudage par friction-malaxage. Ces bandes consistent en une succession de couches de matière dans le noyau de la soudure visible au microscope optique. Les paramètres de soudage conduisant à leur apparition ainsi que leur effet sur la qualité du joint restent encore sujets à de multiples recherches dont les conclusions sont différentes. Dans ce cadre, l’objectif de cette recherche s’oriente, dans un premier temps, vers la caractérisation microstructurale des bandes alternées pour comprendre le mécanisme de leur formation. Des essais de soudage par friction-malaxage ont été réalisés avec différentes vitesses de rotation et d’avance et deux outils différents sur l’alliage d’aluminium 6082-T6. Une soudure réalisée avec une vitesse de rotation de 1750 rpm, une vitesse d’avance de 200 mm/min et un outil trigone a été sélectionnée pour une caractérisation plus détaillée. Une analyse EBSD a révélé que la différence de contraste entre les bandes était due à une alternance entre des bandes contenant des grains à joint d’angle élevé et d’autres contenant des grains à joint d’angle faible. Une étude des propriétés mécaniques des différentes zones de la soudure a été également menée avec un test de poinçonnage par cisaillement (shear punch test) dans le but de comprendre l’influence de ces bandes sur la qualité de la soudure.

Onion rings study during friction stir welding of 6000 series aluminum alloys

Onion rings are phenomena which appear in the microstructure during friction-stir welding. They consist of a succession of layers of material in the weld nugget visible under a light microscope. The welding parameters leading to their appearance as well as their effect on the quality of the joint are still subject to numerous research with different conclusions. In this context, the aim of this research is, initially, the microstructural characterization of the alternating bands in order to understand the mechanism of their formation. Friction-stir welds were carried out with different rotational and feed speeds and two different tools on the 6082-T6 aluminum alloy. A weld made with a rotation speed of 1750 rpm, a traverse speed of 200 mm/min and a trigonal tool were selected for a more detailed characterization. EBSD analysis revealed that the difference in contrast between the bands was due to an alternation between bands containing grains with high angle boundaries and others containing grains low angle boundaries. A study of the mechanical properties of the different areas of the weld was also carried out with a shear punch test in order to understand the influence of these bands on the quality of the weld.

ÉTS
Le génie pour l’industrie



Xiaoming Qian
Université du Québec à Chicoutimi

X-Grant Chen
Université du Québec à Chicoutimi

Nick Parson
RioTinto

1er prix Conférence AAC

Association de l’aluminium du Canada
Aluminium Association of Canada

Effet du traitement d’homogénéisation sur la malléabilité à chaud des alliages AA6060

L’effet de l’homogénéisation sur la malléabilité à chaud des alliages AA6060 a été étudié. Le microscope à balayage électronique (SEM) et la microscopie électronique à transmission (TEM) ont été utilisés pour l’observation microstructurale. L’analyse d’image a été utilisée pour quantifier le nombre de densité des dispersoïdes. La conductivité électrique a été utilisée afin d’évaluer le niveau de la solution solide. L’unité de test thermo-mécanique Gleeble3800 a été utilisée pour étudier la contrainte d’écoulement. Les résultats ont montré que les intermétalliques β-AlFeSi ont été fragmentés et transformés en particules α-Al (FeMn)Si arrondies pendant l’homogénéisation et le niveau de fragmentation a augmenté avec l’augmentation de la température d’homogénéisation et du temps de trempage. Les dispersoïdes de α-Al (FeMn)Si ont été formés à une basse température d’homogénéisation (520 ºC) et ont été dissous à une température supérieure (610 ºC). Le nombre de densité dispersioïde a diminué avec l’augmentation de la température d’homogénéisation et la taille des dispersoïdes a diminué avec l’augmentation de la température d’homogénéisation. La conductivité électrique des alliages expérimentaux a diminué avec l’augmentation de la température d’homogénéisation. La contrainte d’écoulement a augmenté avec l’augmentation de la température d’homogénéisation à cause de l’augmentation du niveau de la solution solide. L’effet du durcissement des dispersoïdes sur la contrainte d’écoulement n’était pas significatif.

Effect of homogenization treatment on the hot workability of AA6060 alloys

The effect of homogenization treatments on the hot workability of AA6060 alloys was investigated. Optical microscopy, scanning electrical microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) were used for microstructural observations. A sigmascope electrical conductivity tester was used to test the electrical conductivity. The image analysis was used to quantify the number density of dispersoids. A Gleeble3800 thermo-mechanical testing unit was used to investigate the flow stress. Results showed that the β-AlFeSi intermetallic fragmented and transformed into round-off α-Al(FeMn)Si particles during homogenization and the fragmentation level increased with increasing homogenization temperature and soaking time. α-Al(FeMn)Si dispersoids formed at a lower homogenization temperature (520 ºC) and dissolved at a higher temperature (610 ºC). The dispersoids number density decreased with increasing homogenization temperature and the size of the dispersoids decreased with increasing homogenization temperature. The electrical conductivity of experimental alloys decreased with increasing homogenization temperature. The flow stress increased with increasing homogenization temperature due to the increased solid solution level. The effect of dispersoids hardening on flow stress was not significant.

UQAC
Université du Québec à Chicoutimi

Fabrication Additive d'A356 via Déposition sous Énergie Dirigée (DED): Défis et Développements

La fabrication additive (FA) constitue une famille de procédés de mise en œuvre qui permettent de produire des pièces présentant des géométries complexes, voir uniques. Allant des polymères jusqu'aux métaux, en passant par les céramiques, 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 et prometteuses. En effet, grâce à son procédé unique de déposition, la DED permet notamment de réparer des pièces défectueuses ou qui se sont rompues en service, permettant ainsi de réaliser d'importantes économies. 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. Le but du projet est d'optimiser les propriétés mécaniques de pièces d'A356 réparées par DED et d'en prouver la viabilité. Cet exposé présentera les nombreuses problématiques rencontrées tout au long de la période de développement de la fabrication additive de composantes d'A356 avec la technologie de DED ainsi que les moyens développés pour les surmonter. Les différentes étapes de la stratégie de développement des paramètres d'impression pour l'A356 ainsi que les premiers résultats quant à la microstructure et les propriétés mécaniques des pièces obtenues par DED seront aussi abordés. Le premier lot d'éprouvettes de tractions présente notamment un excellent allongement à la rupture avec des valeurs moyennes de 12,4 %.

Additive Manufacturing of A356 by Directed Energy Deposition (DED): Challenges & Developments

Additive Manufacturing (AM) is a novel family of manufacturing processes that allows the creation of parts with complex geometries. Using polymers, metals and even ceramics, AM differs from conventional metal shaping processes by its approach based on successive deposition of layers of matter. Directed Energy Deposition (DED) is a sub-category within AM processes that offers promising and unique capabilities. Indeed, thanks to its clever deposition process design, this technology can be used to repair defective or broken parts, enabling significant cost savings. To this day, few studies have been carried out on additive manufacturing of aluminum components with DED. The goal of this project is to optimize the mechanical properties of A356 parts repaired with the DED technology and to prove the benefits of this approach in obtaining mechanical properties equal or greater than those of their original counterparts. This talk will present numerous problems encountered throughout the development period of the additive manufacturing of A356 by DED and the strategies devised to solve them. The numerous steps of the strategy used to develop the A356 process parameters as well as the first results regarding the microstructure and the mechanical properties of parts produced by DED will also be presented. The first batch of tensile specimens show great elongation properties having a mean value of 12,4%.

UNIVERSITÉ LAVAL



Louis Simoneau
Université Laval

Carl Blais
Université Laval

Alexandre Bois-Brochu
Centre de métallurgie du Québec

2ème Prix conférence REGAL

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

Caractérisation microstructurale et mécanique de l'alliage AlSi10Mg produit par Laser Powder Bed Fusion

La fusion laser à base de poudre (LPBF) est l'une des technologies de fabrication additive qui permet la fabrication de pièces tridimensionnelles (3D) grâce à l'utilisation d'énergie laser focalisée sur des lits de poudre directement à partir de modèles CAO définis par l'utilisateur. Généralement, cette technologie est considérée comme l'une des techniques de fabrication les plus prometteuses pour les matériaux métalliques en raison de sa capacité à produire des géométries complexes avec un design unique et une haute précision qui peuvent être utilisés non seulement pour l'étape de prototypage, mais aussi pour les petites productions en série. Au cours du processus, les poudres métalliques sont complètement fondues par une énergie laser hautement localisée, ce qui permet la production de pièces individuelles à haute densité et d'excellentes propriétés mécaniques.

Dans ce travail, l'enquête expérimentale sur la fabrication de pièces AlSi10Mg par le procédé LPBF a été menée. En particulier, les résultats obtenus à partir de cette étude ont été expliqués en termes de microstructure et de propriétés mécaniques des alliages et comparés à ceux obtenus à partir de procédés de fabrication classiques. De plus, le concept de triaxialité des contraintes a été introduit pour étudier le mécanisme de fracture des pièces AlSi10Mg en révélant différents états de contrainte lors de la déformation.

Microstructural and mechanical characterisation of AlSi10Mg alloy produced by Laser Powder Bed Fusion

Laser powder bed fusion (LPBF) is one of the additive manufacturing technologies, which allows the fabrication of three-dimensional (3D) parts through the use of focused laser energy onto powder beds directly from user defined CAD models. Generally, this technology is considered as one of the most promising manufacturing techniques for metallic materials due to its ability to produce complex geometries with unique design and high accuracy that can be used not only for the prototyping step but also for small series productions. During the process, the metallic powders are completely molten by highly localized laser energy, which enables the production of individual parts with high density and excellent mechanical properties.

In this work, the experimental investigation on fabricating AlSi10Mg parts by LPBF process was conducted. In particular, the results obtained from this study were explained in terms of microstructure and mechanical properties of the alloys and compared with those obtained from conventional manufacturing processes. In addition, the concept of stress triaxiality was introduced to investigate fracture mechanisms of AlSi10Mg parts by revealing different stress states during the deformation.

McGill



Flavio Peter Weinstein Silva
McGill University

Mathieu Brochu
McGill University



Charles Bianchetti
École Polytechnique
de Montréal

Myriam Brochu
Martin Lévesque
École Polytechnique
de Montréal

Les effets du grenaillage sur la vie en fatigue du AA 7050-T7451

Le grenaillage est un procédé qui consiste à projeter des billes sur une surface métallique. Le principal objectif est d'augmenter la vie en fatigue grâce à l'introduction de contraintes résiduelles de compression. Cependant, la nature stochastique du procédé implique une augmentation de la dispersion de la vie en fatigue après grenaillage. Le but de cette étude est d'analyser l'évolution des dispersions ainsi que des taux de survie à un intervalle de confiance de 95 %, d'échantillons testés en fatigue qui ont été grenaillés par rapport à leur état rugueux.

Effect of shot peening on the fatigue life of AA 7050-T7451

Shot peening consists of projecting high velocity particles onto metallic surfaces. Through the introduction of compressive residual stresses, it can increase fatigue life. However, shot peening is used without a full understanding of its effects on fatigue life. The goal of this study is to analyse the evolution of fatigue dispersions and survival rates given at a confidence interval of 95%, of samples fatigue tested that were shot peened when compared to the as-machined condition.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL



Francis Corriveau
Université de Sherbrooke

Alain Desrochers
Ahmed Maslouhi
Université de Sherbrooke

Conception et optimisation de composants structuraux en aluminium

Le présent travail académique est réalisé dans le cadre d'un projet de recherche ayant comme partenaire le Centre de Technologies Avancées (CTA), l'Université Laval (UL) et le département de génie mécanique de l'université de Sherbrooke (UdeS). L'objectif principal de ce projet est de concevoir un châssis de véhicule récréatif en alliage d'aluminium optimisé afin d'en réduire le poids, le nombre de pièces et le coût, tout en offrant de bonnes performances en matière de comportement sur la route et une bonne fiabilité. Le sujet du présent ouvrage s'inscrit donc dans ce projet de grande envergure et consiste à 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. De plus, les propriétés mécaniques des alliages, à la suite d'une élongation réalisée en température, seront quantifiées afin de caractériser les propriétés mécaniques d'une pièce ayant été formée en température.

Ces données serviront ensuite à l'établissement d'une nouvelle approche de conception multicritère pour des composants fabriqués en utilisant des procédés de mise en forme de tôlerie. Celles-ci seront également utilisées pour effectuer la conception d'un prototype d'un composant à titre de preuve de concept. Ces résultats pourront par la suite être utilisés afin de réaliser la conception de plusieurs autres pièces du châssis du véhicule récréatif.

Design and Optimisation of Structural Aluminium Components

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, its number of parts and cost while providing good performances and reliability on the road. The subject of this work is thus part of this large-scale project and consists of realizing 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 at high temperatures, 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 establish a new design approach with multiple criteria for components manufactured using sheet metal forming processes. These will also be used to design a prototype of a component as a proof of concept. These results will later be used to design several other parts of the recreational vehicle chassis.

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

AXE 1

Production de l'aluminium
Aluminium production



1er prix conférence AAC remis à Xiaoming Qian



2ème Prix conférence REGAL remis à Louis Simoneau



Prix AluQuébec remis à Jose Alberto Muniz Lerma



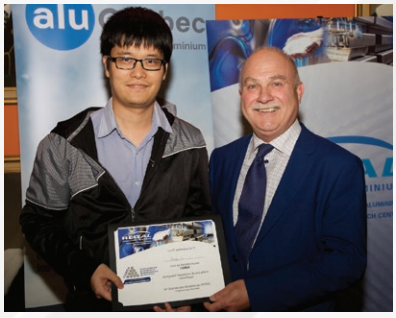
Prix Alcoa Innovation remis à Wei Xu



Prix Alcoa remis à Jean Nicolas Rousseau



Prix Alouette remis à Julie Bureau



Prix CQRDA remis à Zhen Li



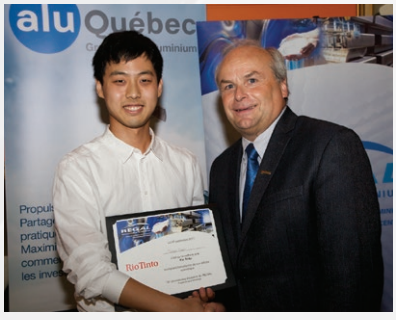
Prix Dynamic Concept remis à Simon-Olivier Tremblay



Prix Hatch remis à Francis Tremblay



Prix Metra aluminium remis à Mohammad Kavand



Prix RioTinto remis à Sinan Chen



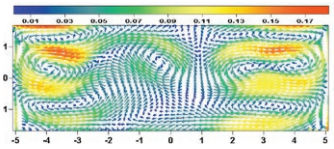
Mesure de la vitesse de l'écoulement dans la cuve d'électrolyse d'aluminium
In situ flow velocity measurement in Aluminum electrolysis cell

Samaneh Poursaman
Université Laval

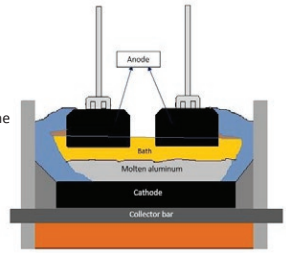
M. Baiteche - UL
D. Picard - UL
D. Ziegler - Alcoa
L. Gosselin - UL
M. Fafard - UL

Introduction

- Aluminum is the largest electric energy consumer of all manufactured products [1].
- Hydrodynamic behaviors of fluids through the Aluminum reduction cell (ARC) has remarkable impacts on its energy efficiency.
- Magnetohydrodynamic effects are responsible for the motion and the turbulence of the two liquids in the electrolysis cell [2].
- Measuring velocity in aluminum pots is a key factor to characterize turbulence and validate its corresponding models.
- The drag probe firstly used in wind velocity measurement has been undertaken to measure molten aluminum velocity



A velocity field simulation sample in the middle of the metal pad (m/s),Amperage=240kA[3]



Aluminum electrolysis cell

Problematic

Problematic	Objectives
No available data of instantaneous velocity in the electrolysis cell	Measuring instantaneous and local velocity in different locations in the molten metal pad
High temperature fluid up to 950°C	A validated turbulence model by velocity measuring, key factor to control stability in ARC
Aggressive chemical components	A stable aluminum-bath interface reduces electrical shorting [2]
Completely Opaque environment	The stable aluminum interface, the lower Cathode-Anode distance , the lower cell voltage [2]
Limited choice of material	
Limited choice of probe dimensions	

Methodology

1. Study and choose between applicable velocity measurement methods in Aluminum electrolysis cell
2. Choose suitable points for velocity measuring
3. Design a probe considering electrolysis cell environment and practical limitations
4. Probe calibration
5. Performe the experiments for selected points in the pot
6. Comparison between model and experimental results

Drag probe principles

- Measuring hydrodynamic drag force exerted on a submerged porous sphere
- Porosity of sphere: eliminate vortex shedding ,increase drag force
- Two perpendicular stainless steel beam to measure velocity direction
- Two strain gauges to measure force
- Governing equations between drag force (F) and velocity (U)[3]

$$F = K|U|^2 \qquad {F_x}/{\sqrt{F}} = KU_x$$



Schematic of porous sphere drag probe[4]



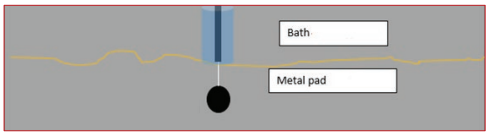
Schematic of two beam for measuring two drag force component [4]

Experimental set-up Design

- Material selection for sensing element, measuring device, connections and adhesives has been done
- Primary setup is ready for the calibration



First sample of the sphere drag probe



Schematic of drag probe position in the electrolysis cell

Conclusions

- Measuring local and instantaneous velocity in the electrolysis cell can be a new achievement to better understanding and controlling hydrodynamic behaviours of ARC.
- There are many developments in velocimetry methods, however specific situation in ARC like high temperature, aggressive chemicals, opacity and strong magnetic field are still effective limitations on this way.
- In this study, velocity measurement with the aim of drag probe will be conducted.
- The next step will be calibration of the designed porous sphere to be used in ARC. The graphite material and adhesive have been chosen to stand in turbulence fluctuations and specific mentioned properties of ARC environment.

Acknowledgement

The authors are grateful to the NSERC, Alcoa corporation, FRQNT and Laval University for the technical and financial support.

References

1. E. Efficiency, "Us energy requirements for aluminum production," 2007.
2. R. Moreau and J. W. Evans, (1984) "An analysis of the hydrodynamics of aluminum reduction cells," Journal of the Electrochemical Society, vol. 131, no. 10, pp. 2251–2259.
3. D.S. Severo, A.F. Schneider, E.C. V. Pinto, V.Gusberti, V.Potocnik,(2005) "Modeling magnetohydrodynamics of aluminum electrolysis cells with ANSYS and CFX" TMS Light Metals, pp. 475-480
4. A. Moros, (1986) "Drag anemometry for measuring velocities in electromagnetically driven flows," Journal of Physics E: Scientific Instruments, vol. 19, no. 12, p. 1050.

Le comportement hydrodynamique de la cuve d'électrolyse en aluminium a été étudié à travers des simulations numériques depuis des décennies. Cependant, il existe peu ou pas de données expérimentales disponibles pour valider les profils de vitesse de ces simulations numériques. L'environnement chimiquement agressif, opaque et à haute température sont les principales raisons pour lesquelles les mesures de la vitesse à l'intérieur de la cellule d'électrolyse sont pratiquement difficiles. Une nouvelle tentative a été entreprise pour mesurer la vitesse de l'aluminium en fusion à l'aide d'une sonde de traînée. Ce genre de dispositif a été éprouvé et utilisé pour la première fois dans la mesure de la vitesse du vent. Le principe de cette sonde de traînée est basé sur la mesure de la force de trainée hydrodynamique exercée sur une sphère poreuse immergée par le fluide en mouvement. Le nouveau montage est conçu pour minimiser le détachement de vortex, pour augmenter le coefficient de traînée et être applicable dans l'environnement susmentionné. Dans le ce travail, la sonde adaptée pour la cellule d'électrolyse est présentée.

Hydrodynamic behavior of flow in the aluminum electrolysis cell has been studied through numerical simulations for decades. However, there is little to no available experimental data to validate velocity profiles of these numerical simulations. Chemically aggressive, opaque and high temperature environments are the main reasons for making velocity measurements inside the electrolysis cell difficult. A new attempt has been undertaken to measure molten aluminum velocity with a drag probe based on a proved design device primarily used in wind velocity measurements. The principle of this drag probe is based on measuring the hydrodynamic drag force exerted on a submerged porous sphere by measuring the flow. The new device is designed to minimize vortex shedding, to increase the drag coefficient and to be applicable in the abovementioned environments. This study presents the probe adapted for the electrolysis cell.

Contrôle de la qualité des anodes industrielles crues et cuites en utilisant SERMA

Quality control of green and baked industrial anodes using SERMA

Abderrahmane Benzaoui
Université du Québec
à Chicoutimi

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

INTRODUCTION

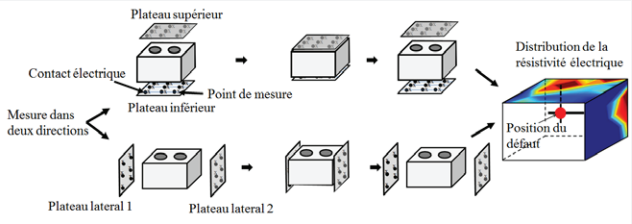
La qualité des anodes en carbone est d'une grande importance pour l'industrie de l'aluminium. Les méthodes courantes de contrôle de la qualité (inspection visuelle, carottage) fournissent des informations limitées sur cette dernière. Dans ce travail, une technologie appelée SERMA (Specific Electrical Resistance of Anodes), qui utilise une méthode non-destructive, est présentée. Elle est basée sur la détermination des distributions de la résistivité électrique des anodes crues et cuites dans deux directions. L'analyse des distributions permet de juger la qualité des anodes et de localiser les défauts. La méthode a déjà été testée sur des anodes de laboratoire. Il est donc important de la tester sur des anodes industrielles.

OBJECTIF

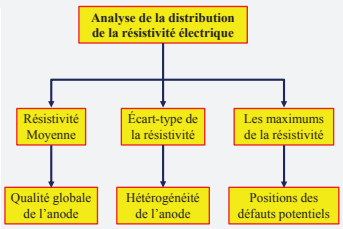
Tester SERMA sur des anodes industrielles crues et cuites et montrer sa capacité à détecter des mauvaises anodes avant leur cuisson.

MÉTHODOLOGIE

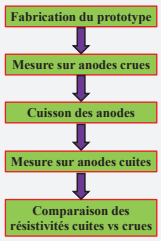
PRINCIPE DE LA MÉTHODE SERMA



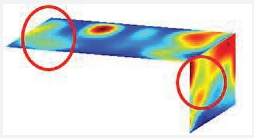
MÉTHODE D'ANALYSE



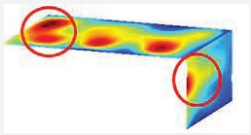
DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE



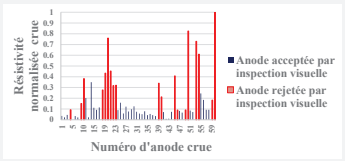
RÉSULTATS



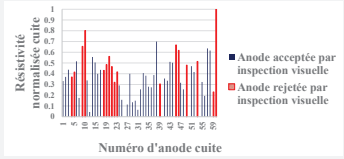
Distribution de la résistivité normalisée dans les deux plans de mesure pour une anode industrielle crue.



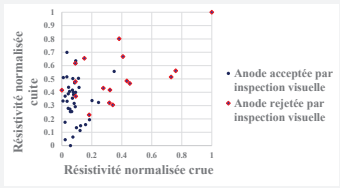
Distribution de la résistivité normalisée dans les deux plans de mesure pour une anode industrielle cuite.



Résistivités moyennes normalisées des anodes industrielles crues mesurées entre les faces du haut et du bas des ces anodes (les valeurs 0 et 1 indiquent, respectivement, les résistivités moyennes minimale et maximale sur toutes les anodes crues testées).



Résistivités moyennes normalisées des anodes industrielles cuites mesurées entre les faces du haut et du bas des ces anodes (les valeurs 0 et 1 indiquent, respectivement, les résistivités moyennes minimale et maximale sur toutes les anodes cuites testées).



Comparaison des résistivités moyennes normalisées des anodes industrielles crues et celles des anodes cuites. Ces résistivités sont mesurées entre les faces du haut du bas des anodes (sur l'axe des abscisses (respectivement sur l'axe des ordonnées), les valeurs 0 et 1 indiquent les résistivités moyennes minimale et maximale sur toutes les anodes crues (respectivement cuites) testées).

- Les anodes rejetées par inspection visuelles ou à cause d'une non-conformité dimensionnelle sont celles qui ont les résistivités les plus élevées,
- Il existe cependant certaines anodes rejetés par inspection visuelle mais qui sont bonnes d'après SERMA et vice versa,
- En général, plus la résistivité moyenne crue est élevée, plus la résistivité moyenne cuite l'est aussi. Il est donc possible de rejeter des anodes crues en se basant sur la résistivité mesurée par SERMA,
- Une mauvaise anode crue le sera après cuisson; mais, une bonne anode crue pourrait se détériorer si les conditions de cuisson sont défavorables.

CONCLUSIONS

Dans ce travail, on présente un essai industriel de la technologie SERMA de contrôle non-destructif de la qualité des anodes crues et cuites. Pour cela, un prototype appliquant cette méthode à l'échelle industrielle est construit. L'utilisation de ce prototype sur des anodes industrielles a permis de détecter celles ayant une mauvaise qualité que ce soit à l'état cru ou cuit. En outre, les résultats expérimentaux montrent qu'il est possible, grâce à SERMA, de rejeter les mauvaises anodes crues avant même de procéder à leur cuisson, ce qui permettra de réduire les coûts de fabrication.

REMERCIEMENTS

Le support du Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium (CQRDA), du Conseil de Recherche en Sciences Naturelle et en Génie (CRSNG) et de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) sont grandement appréciés. Nous remercions également Aluminerie Alouette Inc. pour la fourniture en anodes pour les tests. Par ailleurs, la fabrication du prototype et la réalisation des expériences ont été effectués chez Dynamic-Concept Inc. Nous tenons à remercier la compagnie pour son service et pour la disponibilité de ses ressources.

La qualité des anodes en carbone est d'une grande importance pour l'industrie de l'aluminium. Les méthodes courantes de contrôle de la qualité (inspection visuelle, carottage) fournissent des informations limitées sur cette dernière. Dans ce travail, une technologie appelée SERMA (*Specific Electrical Resistance of Anodes*), qui utilise une méthode non-destructive, est présentée. Elle est basée sur la détermination d'une distribution de la résistivité électrique des anodes crues et cuites dans deux directions. Ensuite, l'analyse de cette distribution permet de juger la qualité des anodes et de localiser les défauts. La méthode a précédemment été testée sur des échantillons de laboratoire. Il est donc important de la tester à l'échelle industrielle. Pour cela, un prototype à l'échelle industrielle est construit. L'utilisation de ce prototype sur des anodes industrielles a permis de détecter celles ayant une mauvaise qualité, que ce soit à l'état cru ou cuit. En outre, les résultats expérimentaux montrent qu'il est possible, grâce à SERMA, de rejeter les mauvaises anodes crues avant même de procéder à leur cuisson, ce qui permettra de réduire les coûts de fabrication.

The quality of carbon anodes is of great importance for the aluminum industry. Current practices of inspection (visual inspection, coring) provide limited information about the anode quality. In this work, a technology called SERMA (Specific Electrical Resistance of Anodes), which uses a non-destructive method, is presented. This method is based on the measurement of the electrical resistivity distributions of green and baked anodes in two directions. Analysis of these distributions allows the determination of the anode quality and the position of defects. The method was previously tested on laboratory anodes. It is thus important to test it on industrial anodes. For this purpose, an industrial-scale prototype was developed and the measurements were carried out on green and baked industrial anodes. The results show that it is possible to determine the defective ones before baking, which will help reduce the production cost.

Mise en forme des anodes - Quantification de l'effet de la vibro-compaction
Anode Manufacturing for Aluminum Smelters: Optimization of Vibro-Compaction Process

Zahraa Kansoun
Université Laval

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

Carbon Anodes and Aluminum production

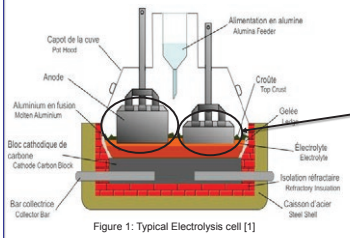


Figure 1: Typical Electrolysis cell [1]

Industrial objective:

Denser, and more homogeneous anodes.

Research objective:

Optimization of anode manufacturing process: **Vibrocompaction**

Description of Vibro-Compaction

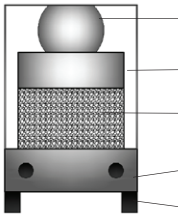


Figure 2: Diagram of a vibro-compactor

Parameters
- Dynamic load
- the time
- frequency
- amplitude

Phase I : Preliminary modeling of vibro-compaction

I. **Vibratory behavior** of the vibro-compactor

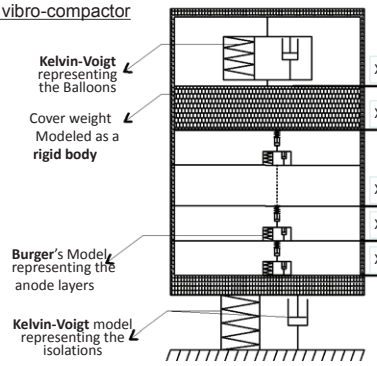


Figure 3: Idealization of the Vibro-compactor

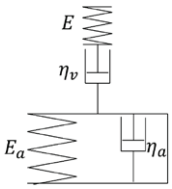


Figure 4: Green anode paste model

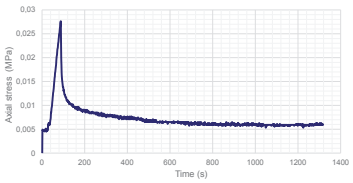
II. **rheological behavior** of the green anode paste

- Visco-elasticity
- Non-linearity

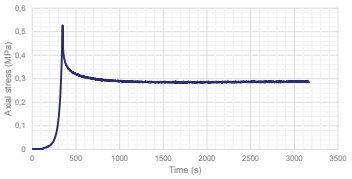
E, E_a, η_a *and* η_v are dependent on the density of the green anode paste.

Relaxation test = density is maintained constant → E, E_a, η_a *and* η_v are constant.

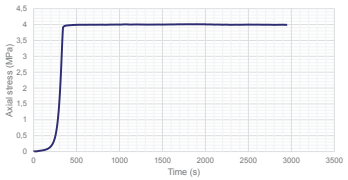
Phase II : Investigation of green anode paste behavior by means of relaxation test



Graph 1: relaxation test at density=1,008 g/cm^3



Graph 2: relaxation test at density=1,322 g/cm^3



Graph 3: relaxation test at density=1,485 g/cm^3

Future work :

- Identification of E, E_a, η_a *and* η_v as a function of the density.
- Coupling between the mechanical model of green anode paste and the vibro-compactor modeling .
- Numerical simulation of Vibro-compaction process followed by an experimental validation.
- Study the effect of Vibro-compacting parameters on the finale density of the paste.

1- Advanced Modelling of Electrolytic Cells and Energy Efficiency (MACE3), Industrial Research Chair, Laval university, http://mace3.fsg.ulaval.ca/en/recherche/chaire_mace3/

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 énergique. Les anodes de carbone sont consumées dans le processus d'électrolyse (procédé **Hall-Héroult**), d'où le besoin de les remplacer périodiquement. Ce remplacement perturbe la stabilité, la production et l'efficacité énergétique dans la cellule d'électrolyse. L'amélioration des caractéristiques thermiques, électriques et mécaniques des anodes, prolongera la vie de ces blocs dans la cellule d'électrolyse, donc les effets négatifs lors de leurs remplacements sont effectivement réduits.

En effet, le but de ce projet est d'améliorer les caractéristiques mécaniques des anodes (plus denses, plus homogènes). Pour atteindre cet objectif, le processus de vibro-compaction sera optimisé ; donc, le premier pas sera de le modéliser. Deux tâches principales doivent être combinées pour 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'une autre part, le comportement visco-élasto-plastique de la pâte doit être investigué expérimentalement et pris en considération lors de la modélisation.

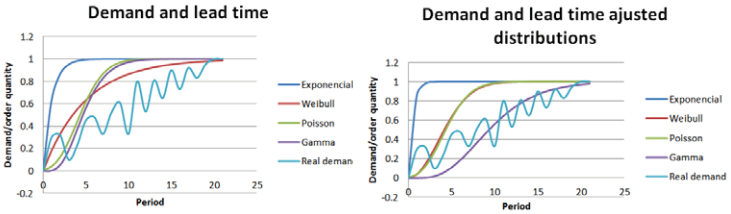
Après la modélisation, les résultats numériques seront validés par deux séries d'expériences. La première série se déroulera à l'Université Laval (échelle réduite) et la deuxième à l'aluminerie Alcoa de Deschambault (échelle réelle). Suite à la validation, la combinaison des facteurs de la vibro-compaction (fréquence, amplitude, durée des vibrations …) qui donne les anodes les plus denses et homogènes sera recherchée par des outils statistiques d'optimisation.

The supply chain of the aircraft industry is complex and dynamic. The combination of different materials and alloys like aluminum, and titanium, has an effect in the performance of operations. In this paper, we formulate a model a production plan to calculate an optimal inventory of cutting tools by forecasting the demand to track the trends of finished goods. In recent years, increasing supply uncertainty and market demand variability are becoming real challenges to optimize and sustain supply chain performance. Traditional procurement policies are subjective and make supply periodic. These politics are usually studied using simplified and non-realistic assumptions, as well as expected costs criterion, without considering finished goods inventories. In order to solve this problem, a more realistic model is proposed that considers the effect of life span of the tool and inventory costs on optimal safety stock levels. Hence, a unified framework is developed, allowing production and inventory planning to be considered jointly using robust forecasting technics and operational research to develop a procurement policy of cutting tools. The work reported looks for as a significant practical application to prevent unexpected failures of process and back logging costs. The objective of this project is to leverage advanced analytics to optimize inventory through a holistic inventory strategy.

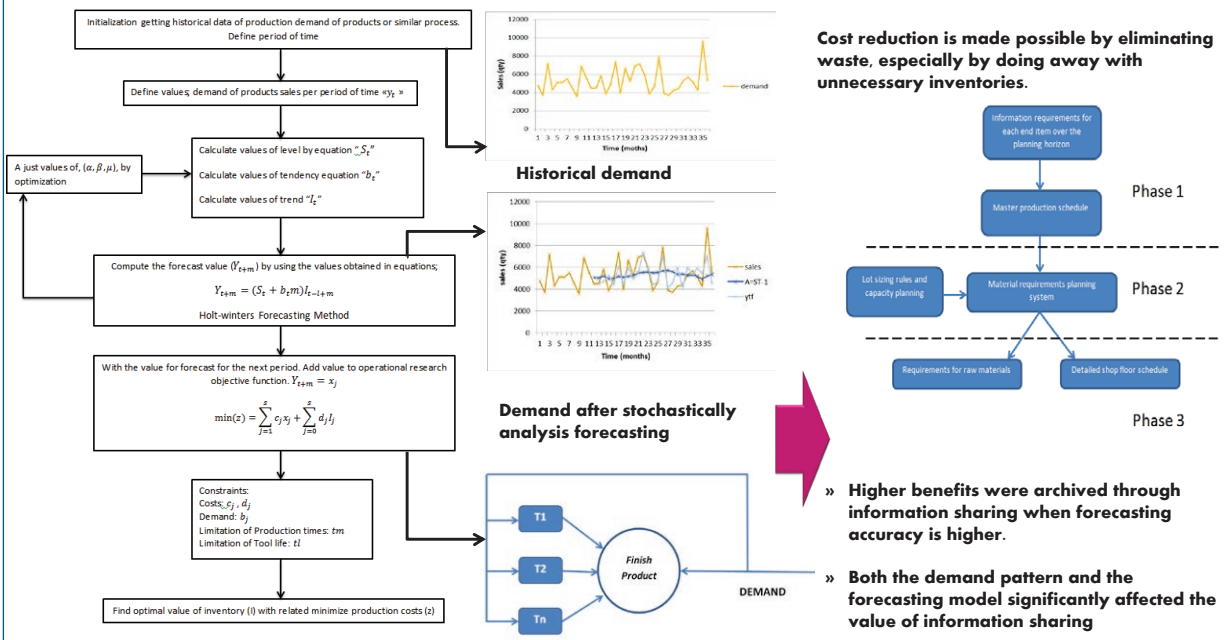
Détermination des outils de coupe optimaux sous une demande aléatoire
Determination of optimal cutting tools stock under random demand



How many cutting tool should a company have to buy? And when?



The traditional analysis of demand distributions with adjustment. That attempts to find the pattern of demand.



Forecasting involves making projections about future performance on the basis of historical and current data.

Using the operational research that we are looking for a model to optimize production, the inventory level and the demand for each period are related in each production study period.

Cost reduction is made possible by eliminating waste, especially by doing away with unnecessary inventories.

- **Higher benefits were archived through information sharing when forecasting accuracy is higher.**
- **Both the demand pattern and the forecasting model significantly affected the value of information sharing**
- **Increasing forecasting accuracy without sharing information might not improve supply chain.**
- **Bullwhip effect reduction of share of information.**

Francisco Gonzalez Pantoja
École de technologie supérieure

V. Songmene - ÉTS
J.-P. Kenné - ÉTS

La chaîne d'approvisionnement de l'avion est complexe et dynamique. La combinaison de différents matériaux et des alliages comme l'aluminium et le titane a un effet sur la performance de l'opération. Dans cet article, nous formulons un modèle pour planifier la production afin de calculer un inventaire optimal des outils de coupe en prévision de la demande pour suivre les tendances des produits finis. Au cours des dernières années, l'incertitude croissante de l'offre et la variabilité de la demande du marché sont de véritables défis pour optimiser et maintenir la performance de la chaîne d'approvisionnement. Les politiques d'approvisionnement traditionnelles sont subjectives et rendent l'offre périodique. Ces politiques sont habituellement étudiées selon des hypothèses simplifiées et non réalistes, ainsi que sur le critère des coûts attendus, sans tenir compte des surplus de produits finis. Afin de résoudre ce problème, un modèle plus réaliste est proposé dans cet article pour tenir compte de l'effet de la durée de vie de l'outil et des coûts d'inventaire pour le maintenir au niveau sécuritaire optimal. Par conséquent, un cadre unifié est développé. Cela permet de tenir compte de la planification de production et d'inventaire, en utilisant des techniques de prévision robustes et des recherches opérationnelles pour élaborer une politique d'approvisionnement en outils de coupe. Ce travail porte sur l'importance de l'application pratique pour éviter les pannes inattendues de matériel en diminuant au maximum le coût d'entreposage. L'objectif de ce projet est de tirer parti des analyses avancées pour optimiser les surplus grâce à une stratégie d'inventaire holistique.

The supply chain of the aircraft industry is complex and dynamic. The combination of different materials and alloys like aluminum, and titanium, has an effect in the performance of operations. In this paper, we formulate a model a production plan to calculate an optimal inventory of cutting tools by forecasting the demand to track the trends of finished goods. In recent years, increasing supply uncertainty and market demand variability are becoming real challenges to optimize and sustain supply chain performance. Traditional procurement policies are subjective and make supply periodic. These politics are usually studied using simplified and non-realistic assumptions, as well as expected costs criterion, without considering finished goods inventories. In order to solve this problem, a more realistic model is proposed that considers the effect of life span of the tool and inventory costs on optimal safety stock levels. Hence, a unified framework is developed, allowing production and inventory planning to be considered jointly using robust forecasting technics and operational research to develop a procurement policy of cutting tools. The work reported looks for as a significant practical application to prevent unexpected failures of process and back logging costs. The objective of this project is to leverage advanced analytics to optimize inventory through a holistic inventory strategy.

Effet de la topologie de l'interface aluminium/bain sur la distribution de la densité de courant dans la cuve d'électrolyse

Effect of aluminum/bath interface topology on current density distribution in electrolysis cell

Problematic

- Induced flow in the cell change the interface topology and Anode-Cathode Distance (ACD).
- Current density field varies according to ACD variation.
- Source of momentum varies according to current variation.

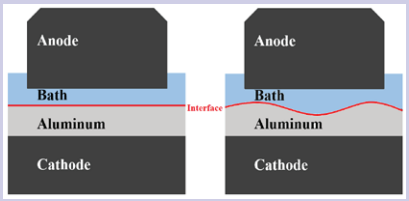


Fig 1. Schematic of aluminum/bath interface variation in the cell

Methodology

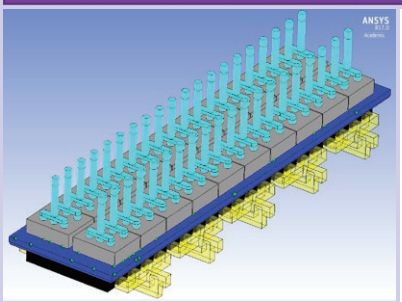


Fig 2. Electrolysis cell global model

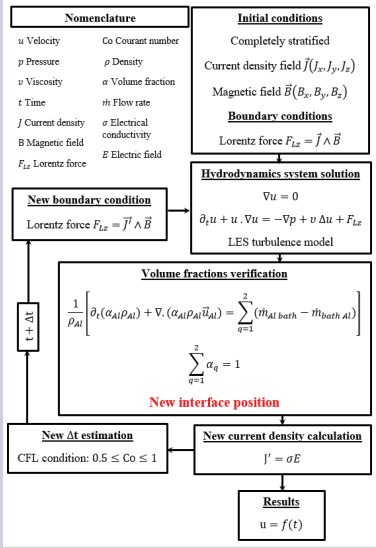


Fig 3. Global model organigram

Objectives

- Aluminum electrolysis cell global model geometry.
  - Hydrodynamic, Magnetic and Electric models.
- Transient velocity field fluctuation.
  - Aluminum/bath interface topology fluctuation and Anode-Cathode Distance variation .
- Current density field distribution variation.
  - For simplification, current density change according to ACD variation, electrical conductivity is considered constant.
- Lorentz force corrected according to the transient current density fluctuation.
  - Magnetic field is considered constant as first assumption.

Results

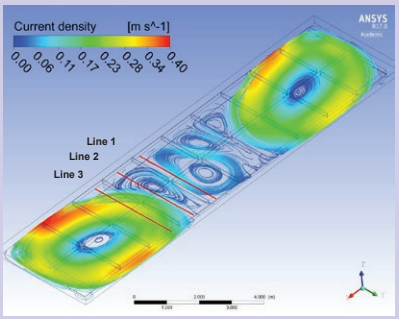


Fig 4. Aluminum pad velocity streamlines in the electrolysis cell. Lines : 1, 2, and 3 are located at anodes bottom surface.

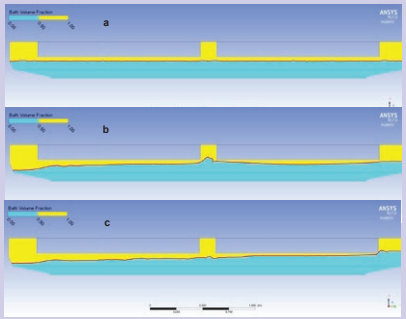


Fig 5. Aluminum/bath volume fractions contours and interface topology on line 1 at different time steps: a) $\Delta t = 0s$, $\Delta t = 120s$, $\Delta t = 240s$.

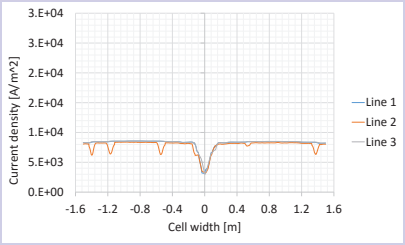


Fig 6. Initial current density field distribution at different positions (lines 1,2 and 3).

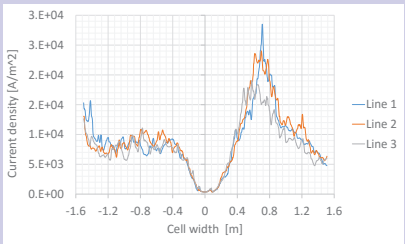


Fig 7. Current density field distribution at different positions (lines 1,2 and 3) at $\Delta t = 240s$.

Conclusions

- The global model of aluminum electrolysis cell takes into consideration an electrical model in addition to the hydrodynamic model.
- The solution of electric current field follows the transient variation of the anode/cathode distance (ACD).
- The source of motion that induces the MHD flow in the cell is calculated on the basis of local variations of current density field.
- In addition to current density, the magnetic field variation should be taken into consideration in the next step of the project,

Acknowledgement

The authors acknowledge the technical and financial support from NSERC, Alcoa, FQRNT and Laval University.

Prix
Award

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

AXE 1

Mounir Baiteche
Université Laval

M. Fafard - UL
S. M. Taghavi - UL
D. Ziegler - Alcoa
J. Tessier - Alcoa

Un modèle mathématique en 3D de la cuve d'électrolyse d'aluminium a été développé, afin d'étudier l'impact de la variation transitoire de l'interface entre le bain et l'aluminium sur la distribution de la densité de courant. Le modèle global contient les tripodes, les anodes en carbone, le bain et l'aluminium en fusion, la cathode en carbone et les collecteurs du courant électrique de la sortie. Les phénomènes considérés dans cette étude sont le modèle électrique et celui de la magnétohydrodynamique.

Un champ magnétique a été imposé comme conditions aux limites de la cuve ainsi qu'une densité de courant est imposée sur les tiges des tripodes. L'écoulement des fluides est induit par une source de mouvement qui est la force de Lorentz. Cette force est une fonction de la distribution et de l'intensité des vecteurs du champ magnétique et de la densité de courant. Cet écoulement provoque la variation de la distribution des fluides dans la cuve et modifie la distribution des différents vecteurs. Dans ce travail, un intérêt particulier est donné au vecteur champ de la densité de courant. Les résultats présentés montrent une différence très apparente de la distribution de la densité de courant à différentes positions de la cuve.

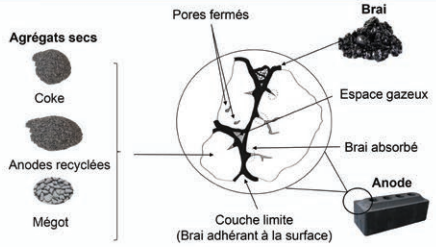
A 3D mathematical model of an aluminum electrolysis cell is developed in order to study the impact of transient bath/aluminum interface variation on current density distribution. The global model contains tripods, carbon anodes, the molten bath, the aluminum, the carbon cathode and collectors of the output current. The phenomena considered in this study are the electric phenomenon and magnetohydrodynamics.

A magnetic field has been imposed as boundary conditions of the cell and a current density is imposed on the tripod stems. The fluid flow is induced by a source of motion, which is the Lorentz force. This force is a function of distribution and intensity of the magnetic field vectors and current density. This flow causes fluid distribution variations in the cell and modifies the distribution of different vectors. In this work, particular interest is given to the current density vector field. The results presented show a very apparent difference in current density distribution at different positions of the electrolysis cell.

Étude de l'amélioration de la qualité des anodes par la modification du brai
Study on the Improvement of Anode Quality by Modification of Pitch

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi

1. Introduction et problématique

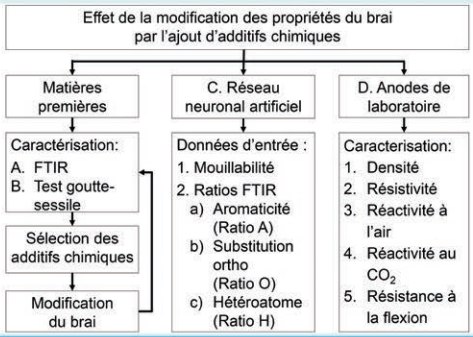


L'interaction chimique entre le brai et le coke dépend des groupements chimiques situés à la surface des matériaux. Actuellement, les qualités du coke et du brai sont variable et ne permettent pas toujours d'assurer leur compatibilité.

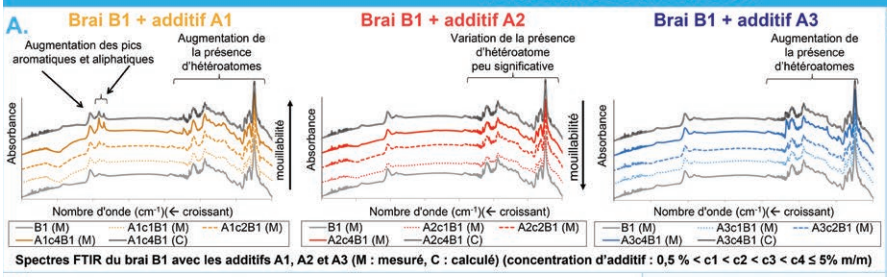
2. Objectifs

1. Améliorer la mouillabilité du coke par le brai ;
2. Comprendre les mécanismes sous-jacents entre les additifs chimiques et le brai ;
3. Déterminer si les additifs chimiques sélectionnés sont fiables et peuvent prévenir la contamination des anodes ;
4. Étudier l'impact des brais modifiés et non modifiés sur les propriétés des anodes ;
5. Produire des anodes de bonne qualité avec les matières premières disponibles.

3. Méthodologie

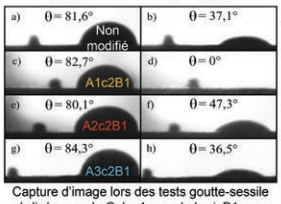


4. Résultats et discussion



Spectres FTIR du brai B1 avec les additifs A1, A2 et A3 (M : mesuré, C : calculé) (concentration d'additif : 0,5 % < c1 < c2 < c3 < c4 ≤ 5% m/m)

B.



Capture d'image lors des tests goutte-sessile réalisés avec le Coke 1 avec le brai: B1 pour a) et b); A1c2B1 pour c) et d); A2c2B1 pour e) et f) ; et A3c2B1 pour g) et h).

Pourcentage d'amélioration du temps de mouillage total par test goutte-sessile sur un lit du coke 1

Brai	Additif	Concentration	Amélioration (%)	CV*(%)
B1	A1	c2	42.01	0.22
		c3	66.64	0.75
		c4	82.14	2.42
	A3	c4	42.25	0.64
B2	A1	c3	51.98	0.80
	A3	c4	17.37	1.74
B3	A1	c3	65.74	0.89
	A3	c4	14.51	2.40
B4	A1	c2	50.22	5.52
	A3	c4	51.05	2.02

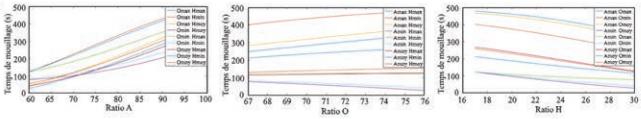
*CV: Coefficient de variation

(Améliorations similaires pour les cokes 2 et 3)

Sélection de l'additif chimique pour la fabrication des anodes à partir de l'analyse FTIR du coke et du brai:

- Coke contenant très peu ou pas d'hétéroatomes, la modification du brai par l'additif A1 est possiblement favorable. Le brai doit contenir peu de groupement amonium.
- Coke contenant davantage d'hétéroatomes, la modification du brai par l'additif A3 est préférablement favorisée.

C.

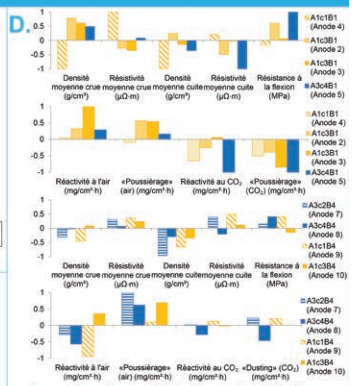


Analyses RNA de chacun des ratios en fonction du temps de mouillage
(A: Ratio A, O : Ratio O, H : Ratio H; min : minimum, max : maximum, moy : moyenne)

L'analyse RNA montre que la mouillabilité est favorisée lorsque:

- le Ratio A diminue,
- le Ratio O augmente, et
- le Ratio H augmente.

D.



Comparaison des propriétés des anodes fabriquées avec le Coke 1 et les brais B1 et B4 (données normalisées entre -1 et 1).

Impacts possibles des brais B1 et B4 modifiés comparativement à l'anode standard (basé sur : anode 1000 kg, courant 400 kA), «( )» indique une valeur négative).

Anode	4	2	3	1	5
Brai modifié	A1c1B1	A1c3B1	A1c3B1	---	A3c4B1
Énergie économisée (kWh)	(52)	124	6	std	253
Quantité de carbone économisé (kg)	31	(4)	(56)	std	36
Aluminium supplémentaire produit (kg)	77	(10)	(139)	std	89
Anode	**7**	**8**	**6**	**9**	**10**
Brai modifié	A3c2B4	A3c4B4	---	A1c1B4	A1c3B4
Énergie économisée (kWh)	(100)	51	std	(125)	(29)
Quantité de carbone économisé (kg)	14	45	std	44	(18)
Aluminium supplémentaire produit (kg)	35	110	std	108	(45)

5. Conclusions

La modification des brais a permis d'améliorer les propriétés des anodes produites au laboratoire avec ces brais comparativement à l'anode standard. L'ajout de l'additif A3 au brai est préférable à l'additif A1. Néanmoins, les additifs A1 et A3 possèdent des mécanismes d'action différents. L'ajout de ces deux additifs pourrait permettre un travail en synergie pouvant promouvoir davantage d'interactions entre le brai et le coke.

6. Remerciements

Nous tenons à remercier vivement le soutien du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC).

7. Références

1. Kocaefe et al. TMS Light metals, 2013 pp. 1045-1050
2. Rocha et al. Fuel, 2005 pp. 1550-1556
3. Bureau et al. The Canadian Journal of Chemical Engineering, DOI:10.1002/cjce.22947, 2017.

Prix
Award
ALOUETTE

Julie Bureau
Université du Québec
à Chicoutimi

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

La fabrication de l'aluminium par le procédé d'électrolyse nécessite l'utilisation d'anodes. Or, la qualité des anodes a un impact direct sur le coût du métal, la consommation d'énergie et les émissions environnementales. Une liaison satisfaisante entre le coke et le brai affecte fortement les propriétés finales de l'anode. Une des avenues les plus prometteuses pour améliorer cette liaison est la modification du brai. L'objectif de ce travail est d'améliorer la mouillabilité du coke par le brai, en modifiant le brai par l'ajout de produits chimiques. Des tensioactifs ou agents de modification de surface sont sélectionnés afin d'enrichir les groupements fonctionnels requis pour augmenter la mouillabilité. De plus, les produits chimiques sont choisis en fonction de l'impact économique de cet ajout d'additif au brai pour l'industrie et de l'impact environnemental. La méthodologie prévoit analyser la composition chimique des brais modifiés par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) afin d'évaluer l'enrichissement des groupements fonctionnels requis. Puis, l'interaction des brais, modifiés et non modifiés, avec le coke est vérifiée par la méthode goutte-sessile afin d'en évaluer la mouillabilité du coke par le brai. Une amélioration de la mouillabilité signifie une possible amélioration de l'interaction entre les deux matériaux. Ensuite, des anodes sont produites en utilisant des brais originaux et des brais modifiés. Enfin, les échantillons prélevés des anodes crues et cuites sont caractérisés et les résultats sont analysés afin d'évaluer l'amélioration de la qualité des anodes.

Aluminum production by the electrolytic process requires the use of anodes. Anode quality has a direct impact on the cost of metal, energy consumption, and environmental emissions. Good binding between coke and pitch strongly affects the final properties of anodes. One of the most promising venues to enhance this binding is the modification of the pitch. The objective of this work is to improve the wettability of coke by pitch by modifying the pitch through the addition of chemicals. Surfactants or surface-modifying agents were chosen to enrich the functional groups that would help increase the wettability. Also, the chemicals were chosen taking in to account the economic impact of this addition for industry and their effect on the environment. The methodology involves the analysis of the chemical composition of modified pitches by FTIR to evaluate the improvement of the functional groups. This was followed by a study of coke-pitch interactions using the sessile-drop method to assess the wettability of coke by non-modified and modified pitches. Improvement in wettability indicates possible enhancement of the interactions between the two materials. Then, anodes were produced using these pitches. Core samples taken from green and baked anodes were characterized and the results were analyzed to evaluate the improvement of anode quality.

Évolution des propriétés de la pâte des anodes durant la cuisson
Anode paste properties evolution during baking process

Bowen Chen
Université Laval

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

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.

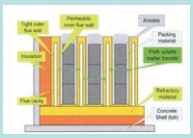
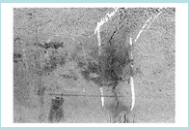


Fig.1 Anode baking furnace


Fig.2 Crack due to excessive heat-up rate

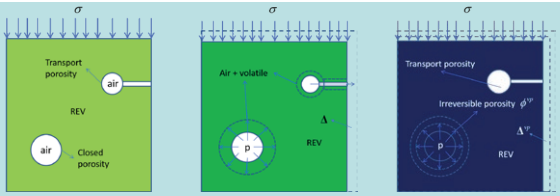


Fig.3 Swelling profile during



Green anode as one of engineered materials used in aluminum production industry is made of petroleum coke aggregates, coal tar pitch and recycled butts. Porous networks in anode paste include different structural types (e.g. closed, transport, open and blind). Pore pressure induced by generated volatiles during 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 which contains different constituent species in each phase and different porous networks: solid matrix (pitch binder and filler coke) and devolatilized gas (Tar, methane and hydrogen). "REV" is an abbreviation of representative elementary volume.

Objective

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 by revealing swelling mechanism.

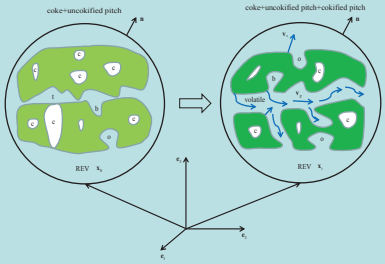
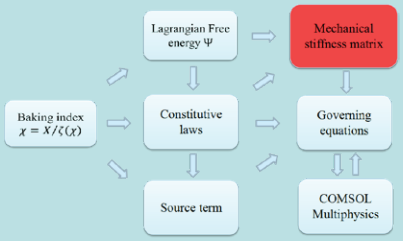


Fig.4 Geometrical interpretation of motion function

Modelling procedures



Methodology

Concept
- Redefining a new baking index to bridge this irreversible behavior;
- Integrating source term as a function of baking index into governing equations;
- Deriving Lagrangian free energy having coupling of solid-gas phase and carbonization;
- Reformulating mechanical stiffness matrix using defined free energy;
- Simulation by COMSOL equation-based modelling.

Physical scenarios
- Mechanical deformation;
- Thermal conduction and radiation;
- Chemical reactions;
- Mass transport driven by pore pressure gradient.

Lagrangian free energy

$$\Psi(\varepsilon^e,\varpi_k,\chi,T)(k=v,p,s)=\begin{cases}\Psi_{PM}(\varepsilon^e,\varpi_p,T), & t\in(0,t_{PM\to D}] \quad \text{Pitch transition}\\ \Psi_D(\varepsilon^e,\varpi_v,\chi,T), & t\in(t_{PM\to D},t_{D\to G}] \quad \text{Devolatilization}\\ \Psi_G(\varepsilon^e,\varpi_s,T), & t\in(t_{D\to G},\infty] \quad \text{Graphitization}\end{cases}$$

Anode baking process goes through three major periods according to previous experimental observations: 1. period in which material mainly undergoes phase change due to pitch melting; 2. devolatilization process when pitch pyrolysis taking place; 3. carbon graphitization where carbon starts to suffer from a microstructural rearrangement

Future work
- To interact with COMSOL equation-based modelling;
- Anode paste samples with appropriate apparent density.

Baking index

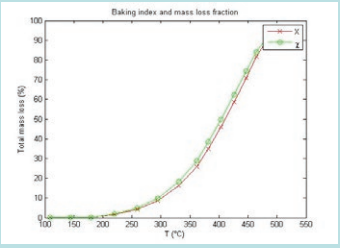


Fig.5 Comparison between baking index and fraction of mass loss. Data from Gundersen Ø. (1997,1998)

$$\chi = X/\zeta(\chi)$$

Baking index are correlated by a factor which varies with irreversible transformation of porous structure. The baking level at a specific controlling volume space is nonequal to the what have been observed on machinery devices. On the other hand, when baking index is incorporated in governing equations. Machinery observation will cause an significant underestimation of source term involved in equations.

Preliminary results for thermogravimetric analysis (TGA)

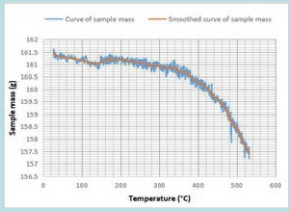


Fig.6 Sample mass evolution with temperature

Kinetics of pyrolysis

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

Arrhenius law

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

E_a Activation energy factor
k_o Pre-exponential factor
R Ideal gas constant

Acknowledgement
Financially supported by NSERC/Alcoa & CSC/UL joint scholarship.

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 alternatives physiques à haute température ;
2. Pour définir les propriétés physiques sur la température, le taux de chauffage et la 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 une 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 theory of mixture by R.M. Bowen (1972) for the baking process of the anode paste, taking into account the swelling effect.

1. To do tests for alternative physical properties at high temperatures;
2. To define the physical properties on the temperature, heating rate and chemical reaction;
3. To build up the constitutive laws by using some existing models for the ramming paste and a 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.

Étude de l'usinabilité des alliages d'aluminium à faible coefficient de dilatation thermique (CTE)

Machinability of low-CTE aluminum alloys

Oussama Chaieb
École de technologie supérieure

V. Songmene - ÉTS
M. Jahazi - ÉTS

Introduction

Les applications aérospatiales requière un contrôle géométrique et dimensionnel rigoureux lors de fonctionnement, surtout pour une variation thermique de 340 ºC en espace, telles que dans les réseaux de guides d'ondes (diplexer) des satellites de télécommunication. D'où l'idée d'utiliser un alliage aluminium à haut pourcentage de silicium, a faible coefficient de dilatation thermique au lieu de 6061-T6.

Problématique

- **Générale** : Sous l'effet de la variation thermique importante dans l'espace, le diplexer fabriqué avec l'alliage 6061-T6 subiet des problèmes de dilatation thermiques ce qui affecte l'efficacité du radar; cet inconvenant est dû au très élevé CTE de cet alliage CTE:23 m/[m*K]
- **Solution** : Changer l'alliage utiliser actuellement par un alliage AlSi de faible CTE



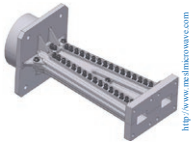
Contraintes

- **Industriels** : Par contre, avec l'ajout de silicium vient une diminution drastique de l'usinabilité du matériau et donc une hausse importante des coûts de fabrication.
- **Universitaires** : De plus, un important manque d'informations quant aux paramètres d'usinage optimaux dans littérature (fraisage); les exigences géométriques et dimensionnelles de la pièce ainsi que la dureté du matériau rendent son utilisation très complexe.



Objectif

- **Du projet** : Étudier l'usinabilité de cet alliage d'aluminium silicium en fraisage de manière à déterminer les paramètres d'usinage optimaux en termes de performance de procédé et de qualité de pièce finie.
- **De la recherche** : Générer des courbes et modèles expérimentaux en vu de faire des recommandations des paramètres de coupe optimaux.



Méthodologie

Procédé d'usinage: Contournage en opposition, phase de finition.

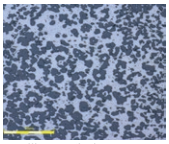
Outils: Outil avec revêtement de diamant et rayon de bec de l'outil 0,381mm et profondeur de passe maximale possible.

Outils	28147-C4	28190-C4	32415-C4	34815-C4	36215-C4
Diamètre de coupe	1,194	2,286	3,175	4,750	6,350
Rayon du coin	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381
Longueur de coupe	3,581	6,858	12,700	15,875	19,050
Profondeur de passe Radial	0,119	0,229	0,318	0,475	0,635
Profondeur de passe Axial	3,581	6,858	9,525	12,700	12,700

Plan d'expérience :

- Recommandation du fournisseur pour les paramètres de coupe
- Cinq diamètres pour couvrir une plage de 22 diamètres
- Variation de la vitesse de coupe et de l'avance par dent à cinq reprises avec une variation de 5% de la valeur recommandée (125 échantillons pour chaque matériau)

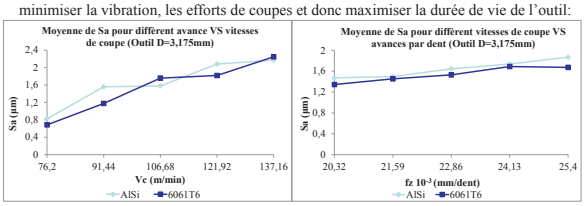
Matériau:
Alliages d'aluminium à très haut pourcentage de Si, fournie par une compagnie allemande et un alliage 6061-T6 standard.

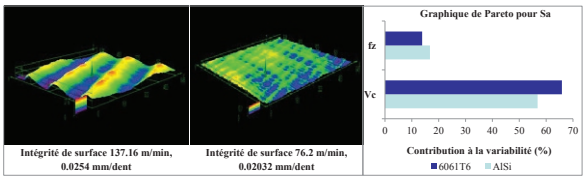

Alliage ALSi microstructure

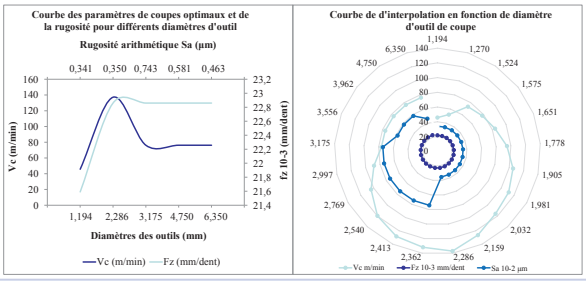
Mesure de la rugosité:
Rugosité arithmétique surfacique Sa et les paramètres d'amplitude (Sq, Sv, Sz, Sp, Ssk et Sku) par un microscope électronique (OLYMPUS OLS4100, LEXT)

Résultat, analyse

L'analyse des graphiques de la rugosité de deux matériaux en fonction des paramètres de coupes permet de déterminer les paramètres qui optimisent la morphologie de surface, minimiser la vibration, les efforts de coupes et donc maximiser la durée de vie de l'outil:







Conclusion

- Nous remarquons d'abord que les paramètres de coupe recommandés par le fournisseur ne sont pas optimaux. Cette étude nous a permis d'avoir la vitesse de coupe et l'avance pour 22 diamètres d'outil différents , avec une prédiction de l'état de surface.
- On n'a pas enregistré une grande différence au niveau de la rugosité entre l'alliage AlSi et 6061-T6. Par contre au niveau de la microstructure il y a des brulures sur 6061-T6 sous l'effet de la vitesse de rotation de la broche.

Références

Andrewes, Caroline J. E., Hsi-Yung Feng et W. M. Lau. 2000. « Machining of an aluminum/SiC composite using diamond inserts ». *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 102, nº 1–3, p. 25-29.

Bezerra, A. A., A. R. Machado, A. M. Souza Jr et E. O. Ezugwu. 2001. « Effects of machining parameters when reaming aluminium–silicon (SAE 322) alloy ». Journal of Materials Processing Technology, vol. 112, no 2–3, p. 185-198.

Les alliages aluminium à forte concentration de silicium sont utilisés dans le domaine aéronautique et aérospatial mais soulèvent des difficultés spécifiques en usinage. Cette étude propose d'analyser l'usinabilité de ces alliages. Trois aspects ont été explorés et des essais de fraisage instrumentés ont été réalisés avec examen de la morphologie des surfaces de coupes. Cette étude a permis d'entrevoir l'influence de différents paramètres de coupe sur l'usinabilité du matériau ainsi la rugosité de surface, la modification de la morphologie et le débit d'enlèvement de matière ont pu être mis en évidence. De plus, un important manque d'information existe concernant les paramètres d'usinage optimaux et même les fournisseurs d'outil ne fournissent pas de recommandations sur les paramètres pour leurs outils pour cette plage de silicium. Pour cela, un travail a été mené pour générer des courbes faisant une interpolation des paramètres optimaux de coupe, selon une plage des diamètres d'outil (PCBN), ce qui peut vraiment améliorer la recherche ainsi que la production industrielle avec cette famille d'alliages.

Silicon-based aluminum alloys are already used in aerospace applications but present machining difficulties such as poor machinability compared to other aluminum alloys resulting in higher manufacturing cost and a lack of information about optimal machining parameters. In this study different alloys were machined using a milling process with different diameters of PCBN diamond coated tools and a different combination of cutting parameters. The main objective of the study was to analyze the machinability by studying the effect of cutting parameters on the material removal rate, roughness evolution, surface morphology modification and cutting force. In addition, optimization of the cutting conditions was carried out in order to propose a range of optimum conditions using a different range of cutting tool diameters which lead to a good compromise between material removal rate and machined surface quality.

Techniques d'émission acoustiques pour mesurer les propriétés des particules de coke – une première approche

Acoustic emission techniques to measure the properties of coke particles – a first foray

Geoffroy Rouget
Université Laval

P. Manolescu - UL, Alcoa
D. Picard - UL
C. Duchesne - UL
H. Alamdari - UL
D. Kocaefe - UQAC

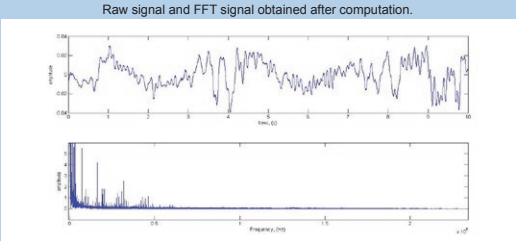
Presentation of the project

-Coke particles exhibit specific physical properties depending on their source and the way they have been processed (supplier dependent).
-Sound emission is a well known technique for characterizing materials, frequency of emission and travel speed may change depending the media.
-What if changing density or any mechanical properties of coke has an influence on its acoustic emissions?

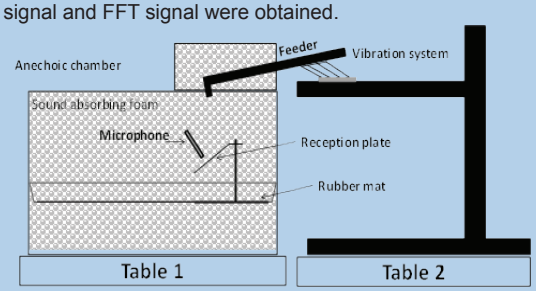
Sound acquisition, lab methodology

-An anechoic chamber was built using steel plates and sound absorbing foam (convoluted acoustic foam).
- A uni-directional microphone was oriented toward the reception steel plate, located inside the chamber.
- Particle feeder was placed on a separate table, outside the chamber, particles fall through a hole, onto the reception steel plate.

Raw signal and FFT signal obtained after computation.



-A rubber mat was place around the reception plate to reduce the noise emitted after landing beside the plate.
-Sound of particles contacting with the plate was recorded using a NI 9250cDAQ, computed using a home made Matlab code.
-Raw signal and FFT signal were obtained.

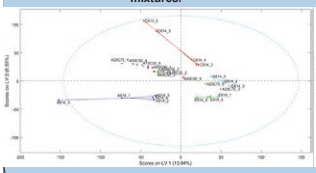


Scheme of the sound acquisition set up.

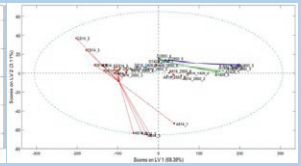
Data treatment, multivariate analysis

-Raw signal was analysed using the PLS Toolbox (Eigenvector Inc.) for Matlab.
-PCA, PLS and PLS-DA were used to observe and interpret the clustering of collected data.

Score plot of the PLS-DA model of single source and single size, and projections of source mixtures.



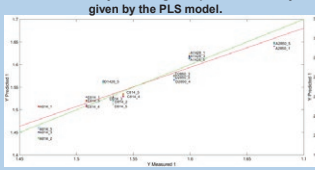
Score plot of the PLS-DA model of single source and single size, and projections of size mixtures.



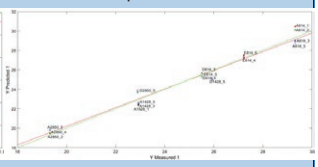
-Clustering of each coke source after PLS-DA analysis.

-Comparison of data measured VS predicted using PLS.

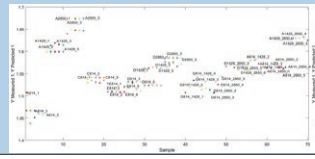
Measured density values against predicted density given by the PLS model.



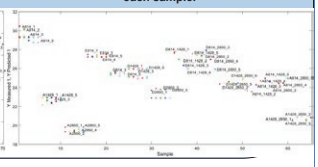
Measured porosity values against the PLS model predictions.



PLS measured and predicted values of density for all samples.



Measured porosity values and PLS predictions for each sample.



Conclusion

- The acoustic analyses appeared to be sensitive enough to distinguish different cokes obtained from different sources, density or porosity.
- PCA and PLS analysis are strong tools allowing to use efficiently the acoustic signature of each type of coke.

La performance du procédé de réduction de l'aluminium de Hall Héroult est fortement influencée par les fluctuations des propriétés des anodes de carbone cuites. Le déclin de la qualité et la variabilité croissante des matières premières constituant les anodes, le coke et le pitch, combinés avec les changements fréquents de fournisseurs par les fabricants d'anodes pour atteindre leurs spécifications et réduire les coûts d'achat rendent très difficile la production d'anodes avec des propriétés constantes. De plus, le plan de contrôle de qualité du coke, habituellement utilisé par les fonderies d'aluminium, implique des échantillonnages irréguliers du coke et la caractérisation du coke en laboratoire n'est pas adaptée pour suivre la variabilité de celui-ci lors de la formulation de la pâte d'anode, ni pour appliquer correctement en temps approprié les corrections nécessaires. Le développement de nouveaux senseurs rapides et non destructifs pour mesurer les propriétés clés du coke, tels que la densité et la porosité directement depuis les lignes de production est fortement souhaitable. Ce travail examine les possibilités d'utiliser les techniques d'émissions acoustiques pour mesurer les propriétés physiques et/ou mécaniques des particules de coke. Un montage a été développé pour enregistrer le son émis par les particules de coke lâchées sur une plaque métallique. Le potentiel de cette approche a été testé sur des échantillons de coke ayant différentes propriétés (plusieurs tailles et fournisseurs). La signature acoustique de chaque type de coke a été corrélée avec ses propriétés physiques en utilisant une analyse par régression.

The performance of the Hall-Héroult aluminium reduction process is strongly influenced by fluctuations of the baked carbon anode's properties. The currently decreasing quality and increasing variability of the anode raw materials, coke and pitch, combined with the frequent supplier changes by anode manufacturers to meet their specifications and reduce purchasing costs make it very challenging to produce anodes with consistent properties. Furthermore, the coke quality control scheme traditionally used by aluminium smelters involving infrequent coke sampling and characterization in the laboratory is inadequate for tracking coke variability when formulating the anode paste and applying timely corrective actions when necessary. Developing new rapid and non-destructive sensors for measuring key coke properties such as density and porosity directly from the production line is highly desirable. This work investigates the possibility of using acoustic emission techniques for measuring physical and/or mechanical properties of coke particles. A set-up was developed for recording the sound made by coke particles dropped on a metal sheet. The potential of the approach was tested on coke samples having different physical properties (several sizes and suppliers). The acoustic signature of each type of coke particle was correlated with their physical properties using regression analysis.

Effets de la géométrie et du traitement thermique sur le comportement mécanique des alliages Al-Si fabriqués de manière additive par fusion laser sélective

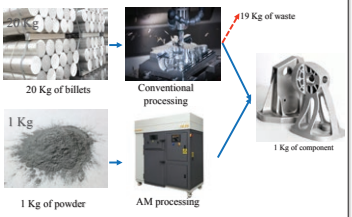
Effects of building geometry and heat treatment on the mechanical behavior of Al-Si alloys additively manufactured by selective laser melting

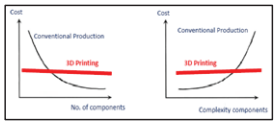
Anes Foul
McGill University

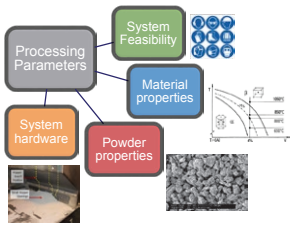
M. Trask - McGill
M. Brochu - McGill

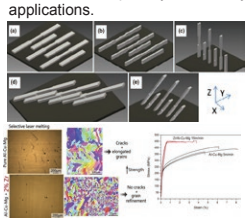
INTRODUCTION

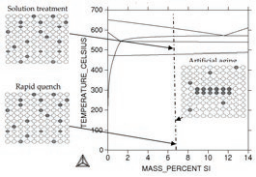
- Additive manufacturing (AM) Techniques have been attracting the attention of the aerospace and biomedical industries due to their advantages of producing prototypes and even finalized parts rapidly, cost-effectively, low buy to fly ratio, while providing accurate control and design of complex geometries.
- As opposed to conventional subtractive manufacturing methods, AM is a process of adding materials one layer at a time to make near-net-shaped objects from 3D computer models. Aluminum alloys are an important class of material used in aerospace, due to the relative strength to weight ratio. A356 is a workhorse alloy, used in many applications due to its high strength and castability.
  In order for AM of A356 to become adopted in industry, the mechanical response of the part must be able to be predicted.
  The use of AM technologies is rapidly developing and a considerable increase in the quantity and variety of applications.











OBJECTIVES

The objectives of this project are:
- To fill in knowledge gaps when it comes to the AM of Aluminum-Silicon alloys.
- Study the microstructure generated from different geometries.
- Apply different heat treatment cycles and pick the best mechanical properties

METHODOLOGY

Selective Laser Melting
Selective Laser Melting is a layer-by-layer process
Powder is completely melted and then rapidly solidified as the laser moves on
Microstructure is different from traditional casting due to fast cooling rate

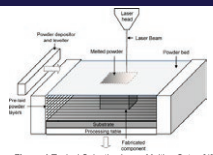


Figure 1 Typical Selective Laser Melting Setup [1]

Building orientations
Different building orientations are printed vertically, horizontally and with different shapes and thicknesses.

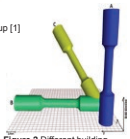


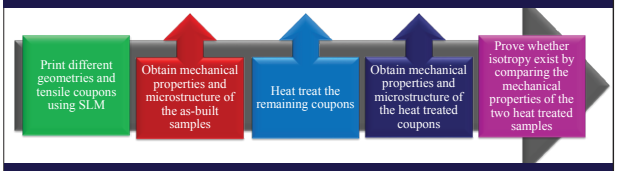
Figure 2 Different building orientations

Heat treatment
Different heat treatment cycles are applied on A356 alloy using a box furnace at different temperatures.



Figure 3 Box furnace used to heat treat the CP Ti samples.

METHODOLOGY



DISCUSSION

Selective Laser Melting (SLM) results in a microstructure that differs vastly from the traditional cast microstructure. This is because the solidification occurs rapidly, due to the use of a laser.

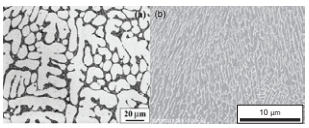
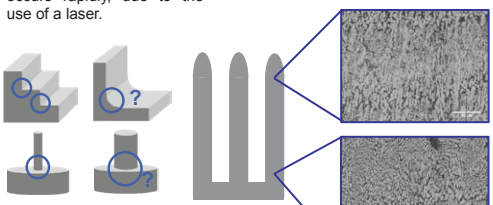


Figure 4 a) Al-7Si cast traditionally [2], b) Al-7Si SLM produced



Primary Dendrite Spacing = 2100 ± 400 nm

Primary Dendrite Spacing = 1200 ± 400 nm

The geometry could affect the microstructure, and it must be determined in what conditions this is the case. Some structures are known to cause problems (thin structures, 90° corners, etc.), heat treatment cycles are needed for the part to be mechanically accepted.

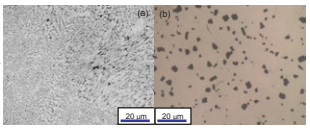


Figure 5 SLM Al-10Si a) as fabricated , and b) after T6

CONCLUSIONS

A356 aluminum alloy parts processed by selective laser melting faces different microstructure at different orientation areas. Also, the microstructure of the SLM part differs from the traditional cast microstructure. Heat treatment is needed to homogenize the microstructure and increase the mechanical properties of the printed part.

FUTURE WORK

1. Studying the different micro-alloying elements in Aluminum-Silicon alloys that could produce enhanced properties.
2. Apply heat treatment cycles at different temperatures to study the microstructure produced and hence the mechanical properites.
3. Print tensile coupons in the vertical and horizontal orientations
4. Test one of each orientation to determine anisotropic mechanical properties

ACKNOWLEDGEMENTS

Association de l'aluminium du Canada
Pratt & Whitney A United Technologies Company
Bell Helicopter A Textron Company
FusiA
RENISHAW apply innovation™

REFERENCES

1. Herzog, D., Seyda, V., Wycisk, E., & Emmelmann, C. (2016). Additive manufacturing of metals. Acta Materialia, 117, 371-392. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2016.07.019
2. Chou, R., et al. (2015). "Additive Manufacturing of Al-12Si Alloy Via Pulsed Selective Laser Melting." JOM 67(3): 590-596.
3. Li, X. P., et al. (2015). "A selective laser melting and solution heat treatment refined Al–12Si alloy with a controllable ultrafine eutectic microstructure…" Acta Materialia 95: 74-82.

Les techniques de fabrication d'additifs (AM) ont attiré l'attention des industries aérospatiales et biomédicales en raison de leurs avantages de produire des prototypes et même des pièces finalisées rapidement, de manière économique, avec un faible rapport achat / vol, tout en assurant un contrôle précis et la conception de géométries complexes. Contrairement aux méthodes de fabrication soustractives conventionnelles, AM est un processus consistant à ajouter des matériaux une couche à la fois pour fabriquer des objets en forme de réseau à partir de modèles informatiques 3D. Les alliages d'aluminium sont une classe importante de matériaux utilisés dans l'aérospatiale, en raison du rapport résistance / poids relatif. A356 est un alliage de cheval de bataille, utilisé dans de nombreuses applications en raison de sa coulabilité et sa résistance élevée. Pour que AM de A356 soit adoptée dans l'industrie, la réponse mécanique de la pièce doit pouvoir être prédite. L'utilisation des technologies AM se développe rapidement et une augmentation considérable de la quantité et de la variété des applications. La fusion sélective par laser (SLM) aboutit à une microstructure qui diffère considérablement de la microstructure traditionnelle. C'est parce que la solidification se produit rapidement, en raison de l'utilisation d'un laser. La géométrie pourrait affecter la microstructure. Des cycles de traitement thermique sont nécessaires pour que la pièce soit mécaniquement acceptée. Les pièces Aluminium-Silicium traitées par SLM font face à différentes microstructures dans différentes zones d'orientation. En outre, la microstructure des pièces construites SLM diffère de la microstructure traditionnelle. Un traitement thermique est nécessaire pour homogénéiser la microstructure et augmenter les propriétés mécaniques de la partie imprimée.

Additive manufacturing (AM) techniques have been attracting the attention of the aerospace and biomedical industries due to their advantages of producing prototypes and even finalized parts rapidly, cost-effectively, and with low buy to fly ratios, while providing accurate control and design of complex geometries. As opposed to conventional subtractive manufacturing methods, AM is a process of adding materials one layer at a time to make near-net-shaped objects from 3D computer models. Aluminum alloys are an important class of material used in aerospace due to the relative strength to weight ratio. A356 is a workhorse alloy used in many applications due to its high strength and castability. In order for AM of A356 to become adopted in industry, the mechanical response of the part must be able to be predicted. The use of AM technologies is rapidly developing and there is a considerable increase in the quantity and variety of applications. Selective Laser Melting (SLM) results in a microstructure that differs vastly from the traditional cast microstructure. This is because solidification occurs rapidly due to the use of a laser. The geometry could affect the microstructure. Heat treatment cycles are needed for the part to be mechanically accepted. Aluminum-Silicon parts processed by SLM face different microstructures at different orientation areas. Also, the microstructure of the SLM built parts differs from the traditional cast microstructure. Heat treatment is needed to homogenize the microstructure and increase the mechanical properties of the printed part.

Caractérisation thermomécanique de l'anode de carbone durant la cuisson
Thermomechanical characterization of the carbon anode during baking

Soufiane Zaglafi
Université Laval

D. Picard - UL
B. Chen - UL
D. Ziegler - Alcoa
M. Fafard - UL
H. Alamdari - UL

1. INTRODUCTION & PROBLEMATIC

In order to fulfill their energy transport functions and act as reducing agents in the electrolysis cell of the Hall-Heroult process, carbon anodes must acquire good thermomechanical properties. During the baking of the anodes, several physicochemical phenomena take place while affecting the structural features as well as the final quality of the anodes produced. Hence the importance of carrying out a study on the characterization of anode properties evolution during baking.

2. OBJECTIVE

Thermomechanical characterization of anode paste to identify the parameters of behavioral laws during baking.

3. MATERIAL & METHODOLOGY

- Green laboratory anodes (**16.2 % pitch**) are obtained by compaction using the Proctor automatic apparatus.
- Cylindrical samples were cored from the green anodes: **50x50 mm** for TGA and **50x100 mm** for compression test.
- Thermogravimetric analysis test (**TGA**) is carried out up to 525 ºC with a heating rate of 5 ºC/min.
- Compression test is carried out at room temperature.

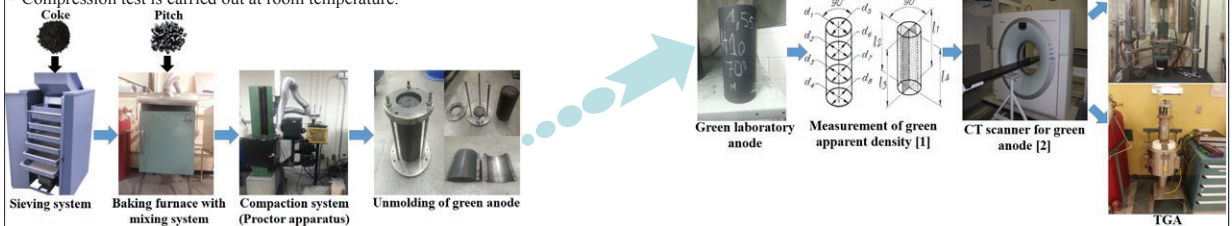


Figure 1: Production method of the green laboratory anode and experimental characterization methods

4. PRELIMINARY RESULTS

DENSITY DISTRIBUTION

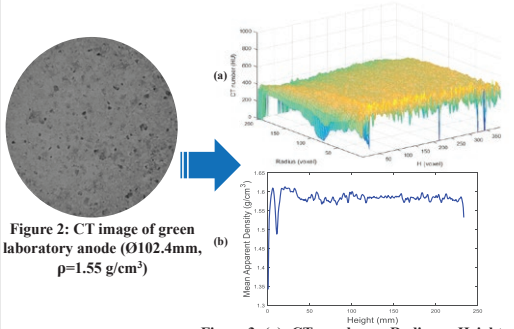


Figure 2: CT image of green laboratory anode (Ø102.4mm, ρ=1.55 g/cm³)

Figure 3: (a): CT-number vs Radius vs Height (b): Mean apparent density vs Height

TGA

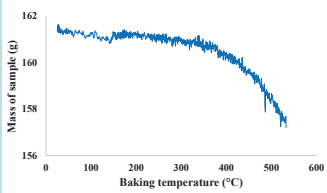


Figure 4: Thermogravimetric test for green laboratory anode

- The release of the volatiles began at about 270 ºC and the mass loss continued until 525 ºC.
- The mass loss until 525 ºC is about 4 %.

COMPRESSION TEST

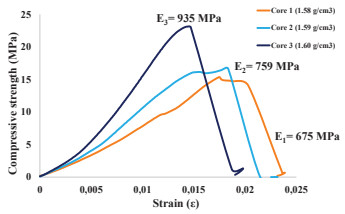


Figure 5: Compressive Strength vs Strain

- For all cores, the behavior at room temperature is elastic between 0 and 0.0035 of strain.
- Rupture strength is in the average of 17.9 MPa.

5. CONCLUSION

- ✓ Using the Proctor apparatus, the apparent density of the green anodes is between 1.50 and 1.60 g/cm³.
- ✓ Up to 525 ºC, the mass loss is due to the release of condensable gases.
- ✓ The green apparent density has an appreciable effect, hence the compression test is an excellent indicator of the good formulation of anode paste and its level of compaction.

6. FUTURE WORK

- **TGA** test: The baking cycle will be interrupted at 220, 360 and 620 ºC .
- **Compression, Creep and Dilatometry** tests:
  - ✓Green samples will be pre-baked at test temperatures from 200 to 1200 ºC.
  - ✓Studying the evolution of the mechanical properties (**E**, **σ**, **CTE**) at high temperature.

7. ACKNOLEDGEMENTS

- The authors are grateful to the **NSERC**, **Alcoa Corporation**, **FRQNT** and **Laval University** for the technical and financial support .

8.REFERENCES

[1] B. Amara, " Effet du soufre sur la réactivité des anodes en carbone ", Mémoire de Maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec, Canada, Avril 2017.
[2] D. Picard, H. Alamdari, D. Ziegler, Pierre-O, St-Arnaud, M. Fafard, "Characterization of a full-scale prebaked carbon anode using X-ray computerized tomography", Light Metals,2011,973-978.

Comme il est connu, lors de la production, les anodes de carbone passent à travers des étapes fondamentales avant d'être utilisées dans les cuves d'électrolyse. La cuisson constitue une étape primordiale dans laquelle l'anode acquiert les propriétés mécaniques et électriques désirées. Pour bien comprendre les effets des sollicitations thermiques engendrées par la cuisson sur la microstructure des anodes, une nouvelle méthodologie expérimentale a été développée à base d'une machine Proctor, laquelle permet de fabriquer des échantillons d'anode vertes représentatives de celles utilisées dans l'industrie en termes de matières premières et de densité apparente. Or, durant la cuisson, le brai de goudron entrant dans la fabrication de la pâte anodique, et utilisé comme liant entre les particules du coke de pétrole, se volatilise et libère des matières volatiles. Par conséquent, l'anode subit une perte de masse significative, ce qui constitue l'objet d'une caractérisation thermique par le biais d'une analyse thermogravimétrique. Ensuite, une caractérisation thermomécanique des échantillons d'anode est effectuée à travers un test de compression uniaxiale afin de déterminer l'évolution de leurs propriétés mécaniques durant la cuisson, tout en identifiant les paramètres des lois de comportement à savoir le module de Young et la résistance à la compression et ce, à différents niveaux de cuisson et taux de chauffage.

As it is commonly known, the production of carbon anodes passes through fundamental steps before being used in electrolysis cell. Baking is an essential step in which the anode acquires the desired mechanical and electrical properties. In order to understand the effects of the thermal stresses caused by baking on the structural features of the anodes, a new experimental methodology was developed based on a Proctor apparatus, which makes it possible to produce green anode samples similar to those used in the industry in terms of raw materials and apparent density. During baking, the coal tar pitch used in the anode paste recipe and as a binder between the petroleum coke particles releases volatile matter causing the anode to suffer a significant loss of mass. This constitutes the objective of a thermal characterization by a thermogravimetric analysis. Then, a thermomechanical characterization of the anode samples is carried out through a uniaxial compression test in order to determine the evolution of their mechanical properties during baking and to identify the parameters of the behavioral laws, namely the Young's modulus and the compressive strength, at different baking levels and heating rates.

Étude expérimentale du comportement en fluage / recouvrance des anodes en carbone durant la phase de cuisson

Experimental study of creep / recovery behavior of carbon anodes during baking phase

1 Introduction et problématique

Brai



Coke



Mégots et rejets d'anodes

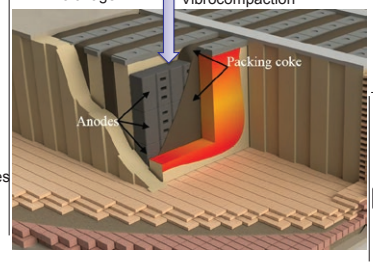




Malaxage



Vibrocompaction



Cuisson d'anode

- Augmentation de la température.
- Changement de viscosité.
- Matériau vulnérable à la déformation.
- Déformation d'origine thermique.
- Déformation d'origine chimique.

➧ Génération / propagation des fissures.

2 Objectifs

Caractérisation du comportement en fluage / recouvrance des anodes en carbone pendant la phase de cuisson.

3 Méthodologie

Campagne d'échantillonnage en usine

Cuisson des échantillons à différents niveaux

Identification des températures des tests

Caractérisation du comportement visqueux

Identification des paramètres du modèle de comportement*

* Doctorat de Pierre-Luc Girard : Développement et implémentation d'un modèle viscoélastoplastique thermo-réactif pour la simulation des anodes de carbone en cours de cuisson, UQAC.

4 Montages expérimentales

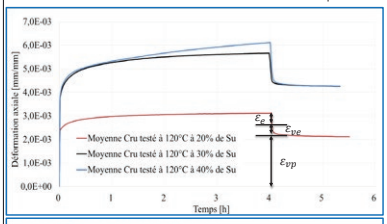


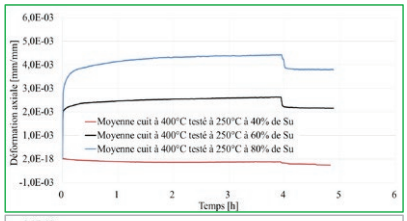
Presse Crims Modifiée

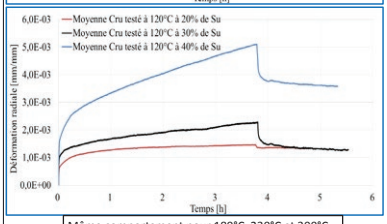
5 Tableau des essais de fluage/ recouvrance

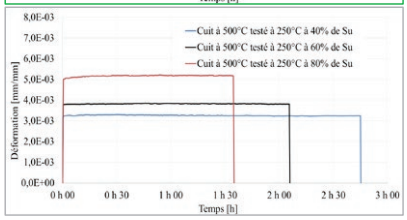
Température de cuisson [°C]	Contrainte appliquée [% de S_u]*	Température du test [°C]
Cru	20, 30, 40	25
Cru	20, 30, 40	120
Cru	20, 30, 40	180
Cru	20, 30, 40	230
300	20, 30, 40	250
400	40, 60, 80	250
500	40, 60, 80	250

*ASTM C469/C469M – 10



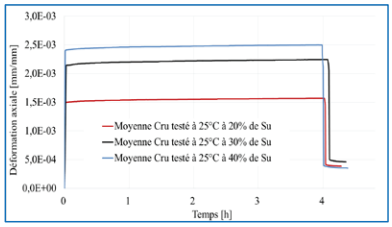


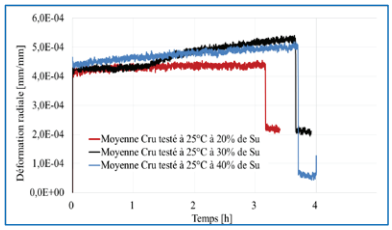




Même comportement pour 180°C, 230°C et 300°C.

6 Résultats et discussions





7 Conclusion

- Le mécanisme de fluage est bel et bien présent dans les anodes en carbone de la température ambiante jusqu'à 500° C.
- Au delà de 500° C, le mécanisme de fluage ne figure plus, ceci est dû au phénomène de cokéfaction.
- La phase primaire de fluage n'est pas seulement viscoélastique, mais aussi viscoplastique.

7 Remerciements

Nous remercions l'Aluminerie Alouette Inc. pour leurs contributions financières et techniques ainsi que le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), Développement Économique Sept-Îles, l'Université du Québec à Chicoutimi et la Fondation de l'Université du Québec à Chicoutimi pour leurs contributions financières.

Walid Kallel
Université du Québec à Chicoutimi

D. Marceau - UQAC
D. Kocaefe - UQAC
D. Racine - UQAC
P. Coulombe - Aluminerie Alouette inc.

Afin de conserver une production d'anodes de bonne qualité, il est indispensable d'obtenir des anodes ayant une résistivité électrique faible, ainsi qu'une bonne résistance mécanique à la génération/propagation des fissures. Dans cette optique, il est crucial d'assurer une bonne compréhension de l'évolution du comportement déformationnel du matériau durant sa cuisson. Durant cette phase, l'anode subit un changement de viscosité, ce qui pourra favoriser sa déformation dans le temps. Il a été démontré que les tests à haute température peuvent être réalisés à une température ne dépassant pas 250°C sans altérer leur comportement. Cette approche contredit les approches traditionnelles de caractérisation mécanique qui consiste à cuire les échantillons à des températures spécifiques et ensuite à effectuer les tests à température ambiante ou légèrement inférieure à celle du niveau de cuisson atteint. Notre nouvelle approche a été nécessaire pour assurer des mesures fiables, afin d'éviter que diverses réactions chimiques continuent à se produire durant le test. Les échantillons ont été récoltés à partir d'anodes industrielles crues, extraites directement de la chaine de production d'Aluminerie Alouette Inc. (AAI), puis cuites à différentes températures dans un four du CURAL. Des tests de fluage/ recouvrance ont été réalisés à différentes températures en utilisant une presse CRIMS capable de mesurer les déformations générées dans le temps, dans les directions axiale et radiale. Les résultats obtenus montrent que le mécanisme de fluage est bel et bien présent de la température ambiante jusqu'à 500°C, une température correspondante à un niveau de cokéfaction significatif empêchant le fluage de se manifester.

Good quality carbon anodes must not only have a low electrical resistivity, but also high mechanical resistance to crack generation/propagation. Therefore, good understanding of the evolution of their deformation behaviour during the baking phase is crucial. During this phase, anode viscosity changes, which may favor its deformation over a period of time. It was previously shown that high-temperature mechanical tests can be carried out at a temperature lower than 250 °C without affecting their behavior. This approach contradicts traditional mechanical characterization approaches which involve baking the anode samples to intermediate temperatures, followed by tests carried out at room temperature or a temperature slightly lower than the temperatures they were exposed to. Our new approach was taken to assure the reliability of mechanical property measurements by preventing the occurrence of various chemical reactions during these tests which can significantly affect the results. The anode cores were taken from industrial green anodes removed directly from the production line of Aluminerie Alouette Inc. (AAI), and then baked to different temperatures in a furnace from the CURAL laboratories. Creep and recovery tests were carried out at different temperatures using a modified CRIMS press, which can measure deformation generated as a function of time in both axial and radial directions. The obtained results showed that the creep mechanism is effectively present in the carbon anodes, from ambient temperatures to 500°C, a temperature corresponding to a significant level of coking which prevents creep from occurring.

Analyse Thermoélectrique d'une conception d'anode
Thermo-Electrical Analysis of an Anode Design

UNIVERSITÉ LAVAL
CRSNG NSERC
Alcoa
Fonds de recherche Nature et technologies Québec

Tuofu Li
Université Laval, China
Northeastern University

H. Chaouki - UL
W. Tao - China
Northeastern University
J. Hou - China
Northeastern University
Z. Wang - China
Northeastern University
M. Fafard - UL

Introduction

In modern aluminium reduction process, the anode voltage drop is ***over 300 mV***, according for ***7.5 %*** of all. The optimization of the anode design could help to power saving.

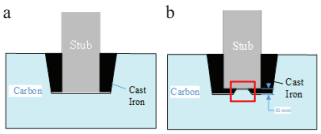


Figure 1 conventional design and new design

In a recent Chinese patent, ***a pin*** was added on the bottom of the stub hole, as shown in figure 1. Despite the simplicity of this design, it is expected that it could improve electrical contact resistance.

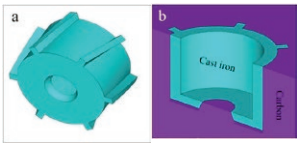


Figure 2 3D geometry of cast iron and the section of stub hole

This design can bring two potential contact interfaces, which would lead to a reduction of the contact voltage drop.
This work is to investigate the effect of such a design on the anode behavior. Several contact cases were considered.

Model and Descriptions

A thermo-electrical model was developed using ANSYS software, shown as figure 3. The dimensions of the model come from a Chinese smelter operating at 400 kA. The applied thermal and electrical boundary conditions are illustrated in figure 4.

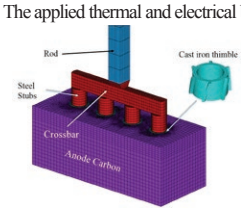


Figure 3 Finite element model

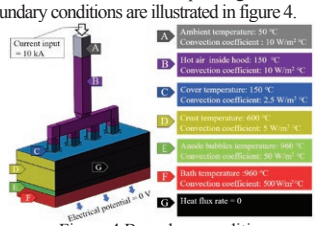


Figure 4 Boundary conditions

Table 1 Other model details

Items	Remarks
Electrical contact conductance	Temperature dependent Contact stress = 5 MPa
Thermal contact conductance	Pin top = 100 W/m²K Pin wall = 250 W/m²K
Physical properties	Temperature dependent

Simulation Results

- Firstly, a conventional design (***case 1***), without the pin was simulated and played a role of a reference.
- Secondly, the new design (***case 2 - 6***), with several cases for the different contact status at cast iron/pin interface, was simulated.

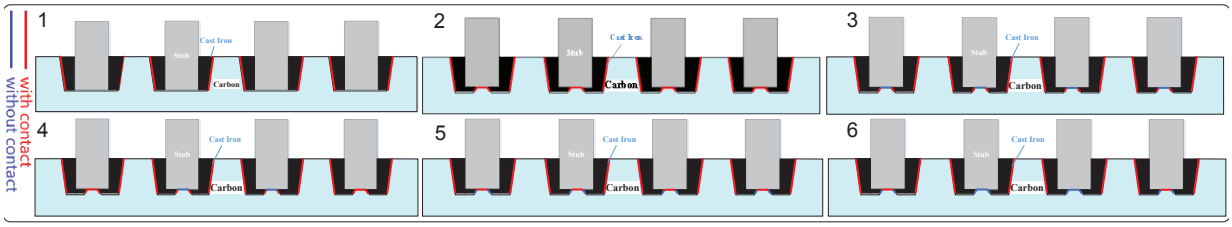


Table 2 Simulation results

No.	Anode voltage drop [mV]	Voltage drop reduction [mV]	Cost saving [CAD $ per year]
Case 1	365.316	-	-
Case 2	359.681	5.635	987,252
Case 3	361.878	3.438	602,338
Case 4	360.640	4.676	819,235
Case 5	360.586	4.73	828,696
Case 6	363.012	2.304	403,661

Cost saving calculation:

Assuming there is a smelter*:

- Annual capacity: 500,000 tons
- Cell number: 500
- Total power savings = 0.001 × 400,000 × 500 = 200,000 W
- Cost of electricity: 0.1 CAD dollars per kWh
- Electricity savings = 200 × 24 × 365 = 1,752,000 kWh per year
- Cost saving of 1 mV per year= $ 0.1 × 1,752,000 = $175,200 per year

**** Ref. Gunasegaram, D. R., and D. Molenaar. Journal of Cleaner Production 93 (2015): 174-192.***

Conclusion

This design, with pins on the bottom of the stub holes, can reduce the voltage drop from ***2.304*** mV to ***5.635*** mV.
This voltage drop improvement would lead to an annual cost saving estimated from ***402,960*** to ***981,120*** US dollars for a plant of 20,000 anodes and operating at 400 kA.

La conception de l'anode joue un rôle significatif au niveau de l'efficacité énergétique du procédé de production de l'aluminium. Ce travail porte sur l'étude de l'effet d'un design d'anodes, utilisé actuellement dans certaines alumineries chinoises, sur la chute de voltage de celles-ci via une analyse thermoélectrique. Dans ce design, une protubérance de forme conique en carbone est ajoutée à la base du trou anodique. Cette partie, initialement conçue pour améliorer le processus de coulage, peut mener à une réduction de la chute de voltage de l'anode et ce, à travers l'amélioration du contact entre la fonte et le carbone. À cet effet, un modèle thermoélectrique a été développé avec le logiciel ANSYS et différents scénarios de contact ont été considérés afin d'estimer la chute de voltage. Les résultats des simulations montrent que cette conception conduit à une réduction non-négligeable de la chute de voltage allant de 2.304 mV à 5.635 mV, laquelle est susceptible de générer des économies annuelles en énergie pouvant atteindre 1 million de dollars US.

Anode design has a significant effect on saving power in aluminium production. In this work, the effects of an existing anode design on the voltage drops of anodes have been investigated using thermo-electrical analysis. In this design, used currently in some Chinese smelters, a pin was added to the bottom of the centre of the stub hole. This part, originally designed for casting processes, could help reduce the anode's total voltage drop through improving the electrical contact resistance between the cast iron thimble and carbon. Consequently, a thermo-electrical model was developed using the software ANSYS and different contact scenarios were taken into account in order to estimate the anode's total reduction in voltage drop. Simulation results show that this design leads to a non-negligible voltage drop reduction ranging from 2.304 to 5.635 mV, which can reduce electrical costs up to nearly 1 million US dollars per year.

L'effet du Sc et du Zr sur les propriétés mécaniques et microstructure des alliages Al-Mn-Mg (3xxx)

The effect of Sc and Zr on mechanical properties and microstructure of Al-Mn-Mg (3xxx) Alloy

1. INTRODUCTION

To improve the mechanical properties at both room and elevated temperatures of AA3xxx alloys, Sc and Zr elements were introduced into Al-Mn-Mg alloys. Three experimental alloys were designed. Two populations of strengthening phases, α-Al(Mn,Fe)Si dispersoids and Al_3(Sc, Zr) precipitates were observed by TEM. The yield strength at 25 °C and 300 °C and the creep resistance at 300 °C were measured.

2. OBJECTIVES

To clarify the effect of Sc and Zr on mechanical properties and microstructure of 3xxx alloys.

1. To improve the yield strength at 25 °C and 300 °C and the creep resistance at 300°C.
2. To understand effect of Sc and Zr on α-Al(Mn,Fe)Si dispersoids.
3. To observe the distribution of α-Al(Mn,Fe)Si dispersoids and Al_3(Sc, Zr) precipitates.

3. EXPERIMENTAL PROCEDURES

1. Casting

Table 1 Chemical composition of the designed alloys

	Sc	Zr	Mn	Fe	Mg	Si	Al
DSZ0	0	0	1.23	0.60	0.97	0.24	Bal
DZS15	0.18	0.18	1.18	0.59	1.04	0.25	Bal
DZS30	0.29	0.17	1.19	0.57	1.01	0.25	Bal

2.Heat treatment

The samples were heated to 300°C and 375°C with a heating rate of 5 °C/min, The samples were quenched into water after holding at 300°C and 375 °C for 2h, 6h, 12h 24h, 36h and 48h.

3. Microstructure observation

TEM foils were prepared by twin-jet machine at -25°C, foil were observed by a transmission electron microscope (TEM, JEM-2100) operated at 200kV to observe the morphology of α-Al(Mn,Fe)Si dispersoids and Al_3(Sc, Zr) precipitates.

4. Mechanical properties

Compression yield strength tests were conducted at 25°C and 300°C by Gleeble 3800 machine, strain rate was $0.001s^{-1}$. Creep tests were performed at 300°C for 96 hours in compression condition with a load of 58MPa.

4. RESULTS

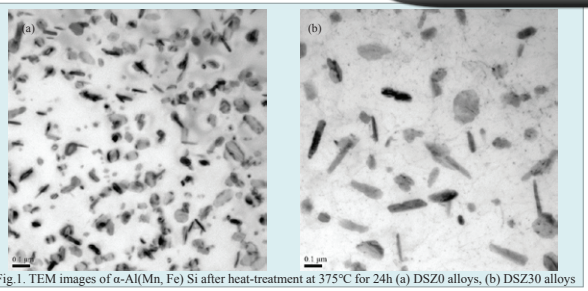


Fig.1. TEM images of α-Al(Mn, Fe) Si after heat-treatment at 375°C for 24h (a) DSZ0 alloys, (b) DSZ30 alloys

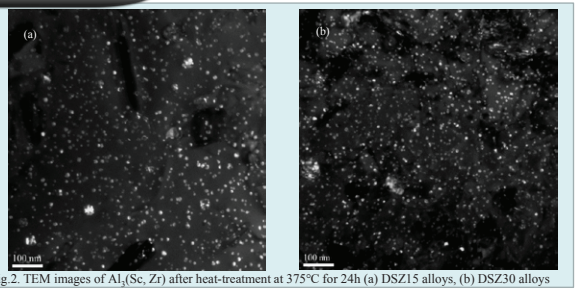


Fig.2. TEM images of Al_3(Sc, Zr) after heat-treatment at 375°C for 24h (a) DSZ15 alloys, (b) DSZ30 alloys

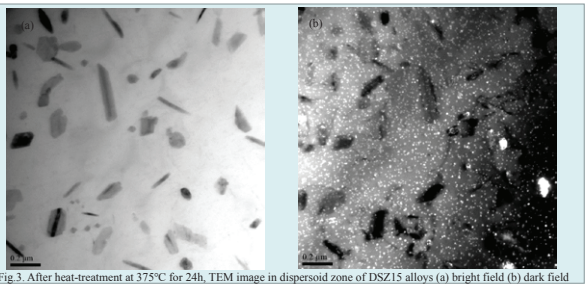


Fig.3. After heat-treatment at 375°C for 24h, TEM image in dispersoid zone of DSZ15 alloys (a) bright field (b) dark field

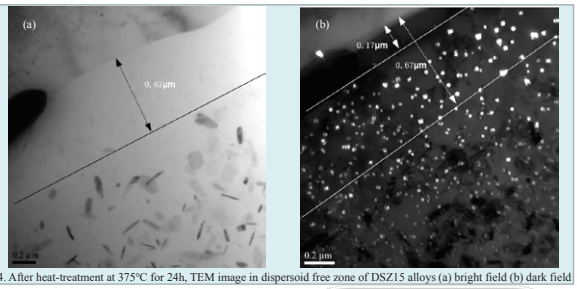


Fig.4. After heat-treatment at 375°C for 24h, TEM image in dispersoid free zone of DSZ15 alloys (a) bright field (b) dark field

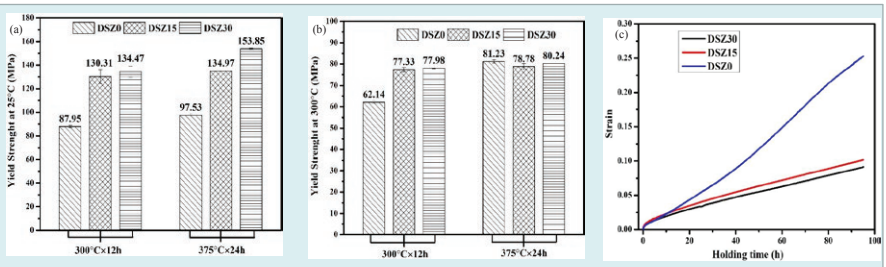


Fig. 5. (a) Yield strength at 25°C, (b) Yield strength at 300°C, and (c) Creep curve at 300°C

5. CONCLUSION

1. The density of α-Al(Mn,Fe)Si dispersoids decreased as the addition of Sc and Zr.
2. The precipitation of Al_3(Sc,Zr) significantly decreased the inter-space of strengthening phases in the dispersoid zone.
3. The width of the particle free zone observed by TEM decreased dramatically due to the precipitation of Al_3(Sc, Zr).
4. The addition of Sc and Zr increased yield strength at room temperature greatly because of the superior strengthening effect of Al_3(Sc, Zr) precipitates.
5. The yield strength at 300°C did not change due to the complex effect of two populations of strengthening phases.
6. The addition of Sc and Zr greatly improved the creep resistance at 300°C due to the reduction of the particle free zones.

Prix
Award

CQRDA Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium
DES IDÉES EN TRANSFORMATION

Zhen Li
Université du Québec à Chicoutimi

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

Dans la présente étude, les éléments Sc et Zr ont été ajoutés afin de renforcer les propriétés mécaniques des alliages AA3xxx. Deux populations de phases de renforcement ont été observées, les dispersoïdes *a*-Al(Mn,Fe)Si et les précipités Al3(Sc,Zr). L'effet des éléments Sc et Zr sur le comportement à la précipitation et la distribution des dispersoïdes *a*-Al(Mn,Fe)Si et des précipités Al_3(Sc, Zr) a été observé par le microscope électronique à transmission. La limite élastique à 25 oC et 300 °C et la résistance au fluage à 300 °C ont également été mesurées. Les résultats ont montré que la densité des dispersoïdes *a*-Al(Mn,Fe)Si a diminuée en ajoutant les éléments Sc et Zr. La limite d'élasticité à la température ambiante a augmentée considérablement à cause de la température ambiante supérieure renforçant l'effet du Al_3(Sc, Zr). La limite d'élasticité à 300 °C n'a pas beaucoup changée due à la complexité de l'effet des deux populations de phases du renforcement. La résistance au fluage à 300 °C s'est considérablement améliorée en raison de la réduction de particule des zones libres.

In the present study, Sc and Zr elements were added to strengthen the mechanical properties of AA3xxx alloys. Two types of strengthening phases, *a*-Al(Mn,Fe)Si dispersoids and Al3(Sc,Zr) precipitates, were observed. The effect of Sc and Zr on the precipitation behavior and distribution of *a*-Al(Mn, Fe)Si dispersoids and Al_3(Sc,Zr) precipitates were observed by transmission electron microscopy. The yield strength at 25 oC and 300 oC and the creep resistance at 300 °C were measured as well. The results showed that the density of *a*-Al(Mn,Fe)Si dispersoids decreased with the addition of Sc and Zr. The yield strength at room temperature increased greatly because of the superior room temperature strengthening effects of Al_3(Sc, Zr). The yield strength at 300 °C did not change much due to the complex effects of the two types of strengthening phases. The creep resistance at 300 °C improved greatly due to the the reduction of the particle free zones.

Caractérisation thermo-électromécanique de la pâte à brasquer et les effets du vieillissement sur ses performances

Thermo-electro-mechanical characterization of the ramming paste aging effects on its performance

Hanae Maali
Université Laval

D. Picard - UL
H. Alamdari - UL
J. Tessier - Alcoa
D. Ziegler - Alcoa
M. Fafard - UL

Introduction

The main role of the ramming paste is to :

- ✓ Prevent electrolyte bath and molten aluminum infiltration into the lining.
- ✓ Absorb the thermal expansion of cathode blocks.

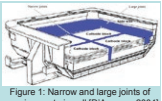


Figure 1: Narrow and large joints of ramming paste in cell [D'Amours, 2004]

Problematics

- ✓ The ramming paste properties change with time.
- ✓ New regulations impose the migration from standard to ecofriendly ramming paste.
- ✓ The ramming paste is compacted in several layers (delamination problem).

Objectives

- ✓ Characterize the effect of ramming pastes (standard and ecofriendly) aging on their physical properties.
- ✓ Study the junction between the layers.

Methodology

Compaction method

- ✓ The apparatus used for the compaction is the Proctor Mechanical Rammer (figure 2): The rammer with 50.8 mm (2 in) in diameter and 2.49 kg (5.5 lb) in weight falls freely from a height of 457.2 mm (18 in) over the paste repeatedly in a circular pattern.

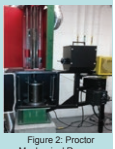


Figure 2: Proctor Mechanical Rammer.

Compaction using the feeding system

- ✓ The feeding system introduces the paste in the mold according to ten different rates.
- ✓ Sample dimension:101.6 mm (4 in) in diameter and 203.2 mm (8 in) in height.

Two layer compaction

- ✓ To obtain a density of 1.6 g/cm^3, for 1100 g of the ramming paste a 75 total number of impact was used.
- ✓ Sample dimension: 101.6 mm (4 in) in diameter and 183 mm (7.2 in) in height.

Table 1: The amount of the paste poured per second corresponding to each feeding rate.

Feeding rate	Amount of paste poured per second (g/s)
10	3.5
20	9.7
30	13.1
40	16.2
50	19.7
60	25.8
70	25
80	34.7
90	36.8
100	40.8

Sample Baking

- The samples were baked at temperature of 1000° C.
- The heating program was set according to ISO 20202.
- Inconel box containing 4 samples covered with coke to avoid oxidation.



Figure 3: Baking furnace.

Compression tests

- Samples compacted using the feeding system.
- Loading rate: 0.15 MPa/s (ISO 18151).



Figure 4: compression test.

Tensile tests

- Two layer compacted samples.
- Loading rate : 0.5 mm/min



Figure 5: tensile test.

Acknowledgement

Authors want to address their acknowledgements to ALCOA, NSERC and FQRNT for their financial and technical support

Results

Density

- ✓ The Apparent density is measured according to ASTM D5502-00

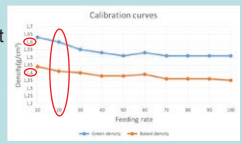


Figure 6: Green and baked apparent density versus the feeding rate for Standard ramming paste.

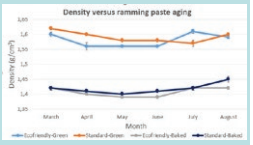


Figure 7: Green and baked apparent density versus aging for Standard and Ecofriendly.

- ✓ The density distribution of the baked samples is characterized using X-Ray computed tomography .

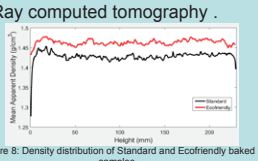


Figure 8: Density distribution of Standard and Ecofriendly baked samples.

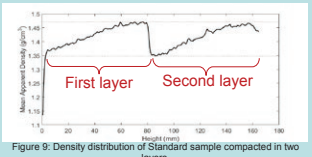


Figure 9: Density distribution of Standard sample compacted in two layers.

Mass loss and volumetric change

- ✓ The mass loss and volumetric change were measured according to ISO 20202 standard.

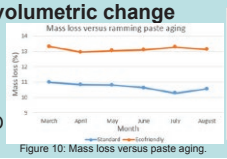


Figure 10: Mass loss versus paste aging.

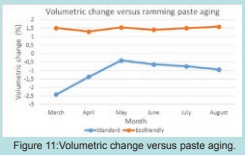


Figure 11:Volumetric change versus paste aging.

Compression tests-Green Samples

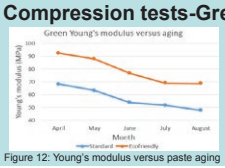


Figure 12: Young's modulus versus paste aging

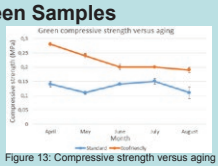


Figure 13: Compressive strength versus aging



Figure 14: Rupture mode for compression on green sample.



Figure 15: Rupture mode for compression on baked sample.



Figure 16: failure mode for tensile on baked sample

Compression tests-Baked Samples

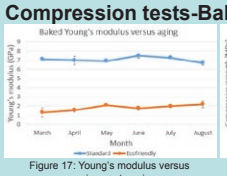


Figure 17: Young's modulus versus ramming paste aging.

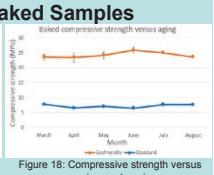


Figure 18: Compressive strength versus ramming paste aging.

Tensile tests

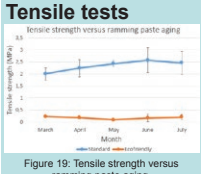


Figure 19: Tensile strength versus ramming paste aging.

Conclusion

- The physical properties of standard and ecofriendly ramming pastes were measured from the age of three to eight months.

Future Work

- Continue the characterization of the physical properties for both ramming pastes for the next four months.
- Perform Brazilian tests at room temperature for baked samples compacted with the feeding system at different pastes aging.
- Measure the thermal conductivity and the electrical resistivity.
- Investigate several problems of the ramming paste in the smelter: The clumping tendency and the cracking in the pot (Mitacs Program).

La pâte à brasquer est utilisée pour le scellement des blocs cathodiques dans la cuve d'électrolyse. Son rôle consiste, d'une part, à empêcher l'infiltration de l'aluminium liquide et du bain dans le revêtement et, d'autre part, à absorber une partie de l'expansion thermique des blocs cathodiques. En raison de l'évaporation des agents adoucissants du liant de la pâte à brasquer, les caractéristiques de cette dernière changent avec le temps. Pour connaître l'effet du vieillissement de la pâte sur ses propriétés physiques, des échantillons seront mis en forme via une procédure de compaction, basée sur une alimentation continue, qui permet d'obtenir des échantillons à densité homogène. Les échantillons compactés seront cuits et scannés à l'aide de la tomographie à rayon X afin d'étudier la distribution de la densité. Finalement, des essais de compression seront réalisés sur ces échantillons pour évaluer le module de Young, le coefficient de Poisson et la résistance à la compression. Toutefois, cette méthode d'alimentation en continu n'est pas utilisée dans les alumineries où la pâte à brasquer est compactée en plusieurs couches. Pour étudier le phénomène de délamination qui affecte ces couches, des échantillons seront compactés en deux couches, puis ils seront cuits et scannés. Des essais de traction seront réalisés sur ces échantillons pour déterminer leurs modes de rupture et leurs résistances à la traction.

En raison des nouvelles réglementations qui exigent le remplacement des composants jugés cancérigènes par d'autres moins dangereux et toxiques, une nouvelle pâte écologique sera étudiée en plus de la pâte standard.

Ramming paste is typically used to seal the cathode blocks in the electrolytic cell. The main role of the ramming paste is to prevent the infiltration of liquid aluminum and the bath into the lining. It also absorbs part of the thermal expansion from the cathode blocks. Due to volatile evaporated substances from the ramming paste in the binder, the paste properties change with time. To determine the effect of paste aging on its physical properties, samples will be produced using a compaction procedure based on a continuous feeding process, ensuring that the sample density is homogeneous. The compacted samples will be baked and scanned using X-ray tomography in order to characterize the density distribution. Finally, compression tests will be performed on these samples to assess the Young's modulus, Poisson's ratio and the crushing strength. However, such a continuous feeding process is not used in aluminum smelters, where the ramming paste is compacted in several layers. In order to study the delamination phenomenon that may affect these layers, samples will be compacted in two layers, then they will be baked and scanned. Tensile tests will be carried out on these samples to determine their failure modes and their tensile strength.

Due to new regulations that require carcinogenic components to be replaced by less hazardous and toxic ones, a new ecofriendly ramming paste will be studied in addition to the standard ramming paste.

Étude par éléments finis du comportment thermomécanique d'un mégot
Numerical investigation of the thermomechanical behaviour of anode butt

1- Introduction

- Prebaked anodes are consumed until a critical thickness of carbon;



Anode butt after extraction [1]

- Anode assembly are removed from the pot to be recycled for further use;
- **The design of the anode assembly has to allow the cleaning process to efficiently and properly separate the different materials.**

2- Problem statement

- Cleaning process becomes less efficient when carbon cracks and breaks during the covering material separation step;



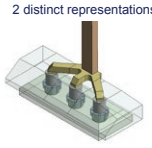
Carbon cracking observed on anode butt

- **Need to determine the thermomechanical behaviour at the origin of the cracking;**
- **Necessary to define the corrective measures to be adopted in the development of a new anode assembly.**

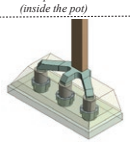
3- Approach

1- Discretization: FE model

- 2 distinct representations:

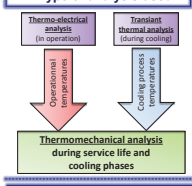


In operation (inside the pot)



During cooling (outside the pot)

2- Type of analysis used



3- Model validation

- Mesh Independence;
- Boundary conditions based on previous measurement campaign [2].



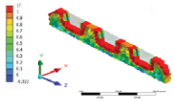
In situ instrumentation [2]

4- Failure criterion

- Mohr-Coulomb ratio (M-C ratio):

$$\sigma^* < 1 \qquad \sigma^* = \frac{\sigma_1}{S_{ut}} + \frac{\sigma_3}{S_{uc}}$$

5- Probability of carbon cracking

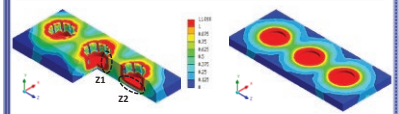


M-C ratio of the selected volume

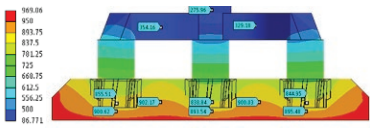
$$Damaged\ \% = \frac{\sum Vol_{Ratio\ M-C \geq 1}}{\sum Vol_{Selected}}$$

4- Results and interpretation

Thermomechanical behaviour in operation

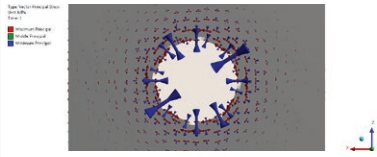


a) M-C ratio and critical zones — *b) M-C ratio and critical zones at $P_{y=-120mm}$*



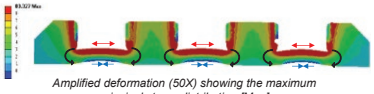
Temperature distribution at the end of operation [°C]

➢ **Behaviour associated to zone #1 in operation**



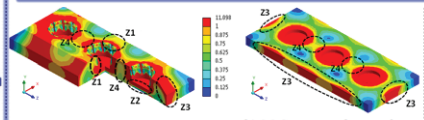
Vector principal stress in operation

➢ **Behaviour associated to zone #2 in operation**

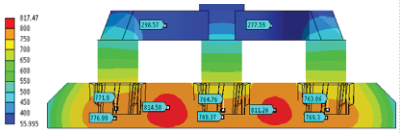


Amplified deformation (50X) showing the maximum principal stress distribution [Mpa]

Thermomechanical behaviour during cooling



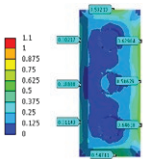
a) M-C ratio and critical zones — *b) M-C ratio and critical zones at $P_{y=-120mm}$*



Temperature distribution after 4800 s of cooling [°C]

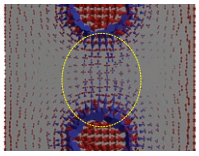
➢ Behaviour associated to **zone #1-2 during cooling**
- Same behaviour as 'in operation';
- Higher M-C ratio due to higher radial thermal expension difference between the stub and carbon.

➢ **Behaviour associated to zone #3 during cooling**



Thermal shock effect on the M-C ratio after 4800 s of cooling

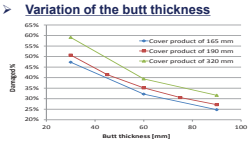
➢ **Behaviour associated to zone #4 during cooling**

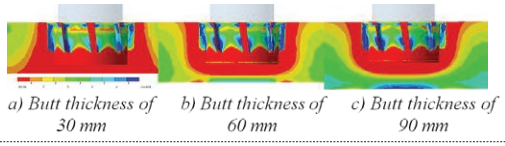


Vector principal stress during cooling

Sensitivity study

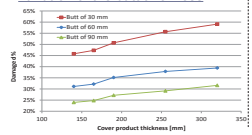
➢ **Variation of the butt thickness**





a) Butt thickness of 30 mm — *b) Butt thickness of 60 mm* — *c) Butt thickness of 90 mm*

➢ **Variation of the butt thickness**



➢ Results show that:
- the thermomechanical behavior at the origin of the carbon cracking comes from the cooling of the butt;
- the carbon cracking potential is particularly sensitive to the butt thickness;
- the carbon cracking may occur when the ambient temperature is low and the stubs used are new.

➢ Changes in the design of the anode assembly can decrease significantly the cracking potential of the anode butt.

Ackowledgements

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

References

1. Vedanta, Smelting, http://www.balcoindia.com/Operations/smelting/;
2. 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.

Prix Award

Simon-Olivier Tremblay
Université du Québec à Chicoutimi

D. Marceau - UQAC
D. Kocaefe - UQAC
P. Coulombe - Aluminerie Alouette inc.
J. Côté - Aluminerie Alouette inc.

Dans le procédé Hall Héroult, l'anode précuite est consommée jusqu'à l'atteinte d'une épaisseur critique de carbone. À ce stade, l'ensemble anodique comprenant le mégot et le produit de couverture sont retirés de la cuve pour être recyclés pour utilisations ultérieures. Pour ce faire, le processus de nettoyage se doit de séparer efficacement les différents matériaux. Cependant, il a été observé que cette étape devient moins efficace lorsque le carbone se fissure et se brise pendant l'étape de séparation du produit de couverture. Dans cette étude, le comportement thermomécanique d'un mégot est étudié pour identifier l'origine de la fissuration du carbone. Le modèle ANSYS est calibré à l'aide de mesures in situ et fournit l'évolution de la distribution des contraintes dans le mégot à la fin de sa durée de vie et à son refroidissement. Les résultats suggèrent que la fissuration du carbone se produit pendant la phase de refroidissement et est particulièrement sensible à l'épaisseur du mégot et du produit de couverture. L'identification du comportement problématique permettra de définir les mesures correctives à adopter en étudiant différents paramètres tels que l'épaisseur du mégot, l'épaisseur du produit de couverture et l'optimisation de la conception de l'assemblage anodique.

In the Hall Héroult process, the prebaked anode is consumed until a critical thickness of carbon is reached. At this point, the anode assembly and covering material is removed from the pot and recycled for further use. To do so, the cleaning process should have the ability to efficiently and properly separate the different materials. However, it has been observed that this step becomes less efficient when the carbon cracks and breaks during the covering material separation step. In this study, the thermomechanical behaviour of the anode butt is investigated to identify the origin of carbon cracking. An ANSYS model is calibrated using in situ measurements and provides the evolution of stress distribution in the anode butt during the end of its life and its cooling phase. The results suggest that carbon cracking mainly occur during the cooling phase and are especially sensitive to the thickness of the anode butt and covering material. The identification of this problematic behaviour will allow the definition of corrective measures to be adopted by studying various parameters such as the anode butt thickness, the anode cover material thickness and the design of the anode assembly.

Croissance en mode mixte des précipités ellipsoïdaux dans les alliages multi-éléments

Mixed-mode growth of ellipsoidal precipitates in multicomponent alloys

Tohid Naseri
Université Laval

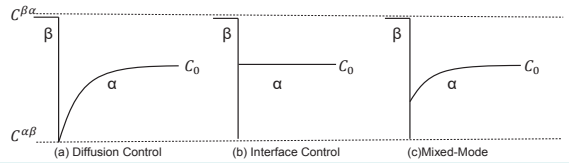
R. Martinez - Montupet
F. Breton - Rio Tinto
D. Larouche - UL

Project Outline

Although engine components of vehicles have historically been manufactured in cast iron, governmental regulations regarding fuel economy and reduction in emissions causes replacement of cast iron with lighter metals, specially Al–Si foundry alloys. Meanwhile, to boost engine's efficiency, maximum operation temperature and pressure in vehicles' engine have been increased. As a result, softening in Al–Si alloys should be considered, so it is necessary to enhance the thermomechanical fatigue (TMF) performance of these alloys by optimising the chemical composition and heat treatment. For that reason, engine producers are interested in the development of predictive tools which can assist the design and production of new engines. To predict the mechanical properties based on numerical investigation one should simulate the evolution of the microstructure and notably the evolution the precipitates.

Scientific and technical issues

Growth Mechanisms:

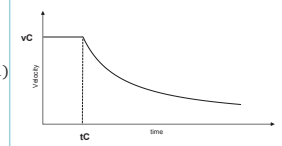


Velocity of Interface:

interface between α as a matrix and β as a growing phase:

$$velocity = \frac{MRT \times DrivingForce}{Vm} \quad (1)$$

M: mobility of interface,
Driving Force: Difference between equilibrium value and composition at the interface,
Vm: = molar volume, T = temperature



To simplify the calculation → **Usually, local equilibrium at the interface is assumed** → **For this matter, mobility is considered infinity**

In fact, assumption of local equilibrium at the interface which is used for diffusion-controlled growth, makes some limitations against study of multicomponent precipitates.

That is why numerical models of precipitates mainly are limited to binary alloys, while industry works on ternary alloys and beyond that.

Growth Model

To model a multicomponent precipitate (as an example B_xC_y, where B and C are supposed to be solutes) inside a matrix which is reach in A:

Boundary conditions	Three	1- Mass Conservation of solute B
		2- Mass Conservation of solute C
		3-Relation of velocity of interface and Mobility
Unknown Variables	Three	1-Length of precipitate (a_1)
		2- concentration of B at the interface, c_B^*
		3- concentration of C at the interface, c_C^*

BC No1- Mass Conservation for solute B [1]:

$$\frac{da_1}{dt} = \frac{D}{a_1^2.\sqrt{1-e_{12}^2}\sqrt{1-e_{31}^2}}.\frac{(c^*-\bar{c})}{(c_\beta^*-c^*)}.\frac{exp(-\frac{K^2\xi_0^2}{4D})}{\int_\infty^{\xi_0}(\xi^2-H_3^2)^{-1/2}(\xi^2-H_2^2)^{-1/2}\exp\left(-\frac{K^2\xi^2}{4D}\right)d\xi}\Bigg)_{for\ B\ solute} \quad (2)$$

BC No2- Mass Conservation for solute C [1]:

$$\frac{da_1}{dt} = \frac{D}{a_1^2.\sqrt{1-e_{12}^2}\sqrt{1-e_{31}^2}}.\frac{(c^*-\bar{c})}{(c_\beta^*-c^*)}.\frac{exp(-\frac{K^2\xi_0^2}{4D})}{\int_\infty^{\xi_0}(\xi^2-H_3^2)^{-1/2}(\xi^2-H_2^2)^{-1/2}\exp\left(-\frac{K^2\xi^2}{4D}\right)d\xi}\Bigg)_{for\ C\ solute} \quad (3)$$

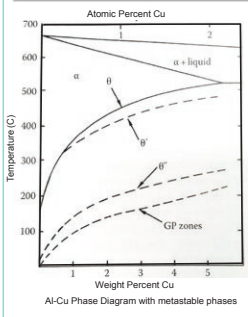
Growth Model

BC No3- Relation between the velocity of interface and the driving force:

$$V = \frac{da_1}{dt} = \frac{MRT}{V_m}\left(c_{\beta,Mg}^*.\ln\frac{c_{Mg}^*}{c_{eq,Mg}^\infty} + c_{\beta,Si}^*.\ln\frac{c_{Si}^*}{c_{eq,Si}^\infty} - \frac{2V_m\gamma}{RTa_3}\right) \quad (4)$$

The BC No3, reveals the role of the interfacial mobility in the velocity equation. As there are three unknowns (size of the precipitates and the two interfacial concentrations) and three equations, we can easily solve the equations to simulate the growth of multicomponent precipitates.
Otherwise, by assuming equilibrium at the interface (Diffusion-Controlled), instead of *BC No3*, two new boundary conditions setting the interfacial concentrations for solute B and C will be added. In that case, for three unknowns there are four boundary conditions, which clearly makes the solution too complex.

Shape of Precipitate	Ellipsoidal Coordinates	Disk	High Accuracy
		Needle	
		Sphere	
Growth Mechanism	Mixed-Mode	Not Considering equilibrium at the interface	High Accuracy, specially at the initial stage of growth
Precipitate Size	Same Size Precipitates		High Calculation Performance
Thermodynamic Parameters	From MatCalc Database[2]	Possibility to study stable and metastable phases	High Diversity in Precipitates' modelling



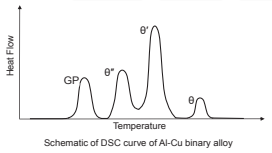
Al-Cu Phase Diagram with metastable phases

Sequence of Theta precipitate (θ) formation in binary alloy:
Super saturated solid solution is followed by:

GP zone → θ″ → θ′ → θ

Mobility Comparison

very high	very high	high	low



Schematic of DSC curve of Al-Cu binary alloy

Considering the interfacial mobility as a variable can provide one more excellent possibility which is related to the sequence of precipitate's evolution. In fact, we are able to model more than one kind of precipitate at the same time, where each precipitate has its own interfacial mobility.

As an example, in the Al-Cu binary alloy, θ′ has higher mobility than θ, so with using mobility as a variable in the model, we expect θ′ growing faster than θ. Therefore θ′ will achieve its equilibrium state sooner than θ. Afterwards, we expect dissolution of θ′ and which is accompany with more growth of θ.

Eventually, one of the great superiority of this model can be the possibility of working with complex multicomponent industrial Al alloys by considering nucleation, growth, and also dissolution of different types of precipitates simultaneously.

References

[1] D. Larouche, Mixed mode growth of an ellipsoidal precipitate: Analytical solution for shape preserving growth in the quasi-stationary regime, Acta Materialia 123 (2017) 188-196.
[2] E. Povoden-Karadeniz, Thermodynamic Data from MatCalc Database 'mc_al.Tdb', version 2.030, (2015).

Ces dernières années, du fait de l'augmentation de la température et la pression de fonctionnement dans le moteur des véhicules pour augmenter leur efficacité, le comportement mécanique à hautes températures des alliages Al-Si se révèle avoir un rôle limitant dans l'industrie automobile. Par conséquent, il est nécessaire d'améliorer les performances de ces alliages en fatigue thermomécanique (TMF). Comme le durcissement par précipitation joue un rôle essentiel dans l'amélioration des propriétés mécaniques de ces alliages, l'étude numérique peut être un outil souhaitable pour modéliser l'évolution de la microstructure et notamment l'évolution des précipités. Cette étude présente un modèle de croissance en mode mixte de précipités ellipsoïdaux. Contrairement à de nombreuses études qui assument l'équilibre local à l'interface de ceux-ci, nous considérons la mobilité de l'interface comme une variable dans le modèle. Cette variable nous permet, non seulement d'étudier l'évolution des précipités dans les alliages multicomposants, mais aussi d'accélérer la vitesse de calcul. En outre, l'autre aspect positif de ce modèle est la possibilité de travailler avec des alliages industriels complets multicomposants en considérant la nucléation, la croissance et la dissolution de différents types de précipités simultanément.

Because the maximum operation temperatures and pressures of vehicle engines have increased in recent years to boost engine efficiency, the mechanical behavior of Al–Si alloys at high temperatures have become a limiting factor in the automobile industry. Therefore, it is necessary to improve the thermomechanical fatigue (TMF) performance of these alloys. Because precipitation hardening plays a vital role in the improvement of the mechanical properties of these alloys, numerical simulations can be a helpful tool to model the evolution of microstructure and precipitates. This study presents a model for mixed-mode growth of ellipsoidal precipitates. Unlike many studies which assume local equilibrium at the interface, we consider its mobility as a variable in the model. This variable not only provides us with the possibility of studying the precipitates' evolution in multicomponent alloys, but it can also accelerate the speed of calculations. Moreover, another advantage of this model is the possibility of working with complex multicomponent industrial Al alloys by considering nucleation, growth, and dissolution of different types of precipitates simultaneously.

Mesure de l'angle de contact entre alumine et bain cryolitique
Contact angle measurements between alumina and cryolitic bath

Introduction

The infiltration of a powder by a liquid, such as the infiltration of alumina powder by the cryolitic bath in an electrolysis cell, can be strongly influenced by the wettability. While it is expected that the electrolyte wets the alumina, the contact angle between the two substances has not been found in the literature.

Methodology

Several methods are known to measure the contact angle, but the high temperature of molten cryolitic bath adds quite a challenge to any of these techniques.
Possible methods to measure contact angle:

- Sessile drop method
- Pendant drop method
- **Wilhelmy method**
- **Capillary rise method**

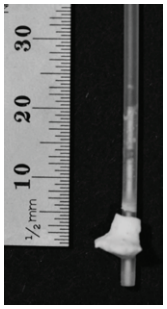
Optical methods, good lateral view needed, problematic

The cryolitic bath was melted in a carbon crucible; the free surface of the bath was 3x3 inch square with rounded corners. The depth of the bath was 5 cm. The prepared bath contained 83 % cryolite, 11.5 % AlF_3 and 5.5 % CaF_2 but due to impurities, the initial alumina concentration was already 3.5%. The control temperature of the carbon crucible was set to 980° C.

Capillary rise

Alumina tubes with small internal diameter were inserted vertically into the molten bath. The tubes had to be heated to avoid freezing in the capillary. After a sufficient amount of time – long enough to warm up the alumina tube, but not so long that the bottom of the tube would dissolve and the liquid in the tube flowed back into the crucible – the heating was turned off. After the bath froze, the tube was taken out and the capillary height was measured.





Sapphire: a form of Al_2O_3 translucent, visible capillary rising

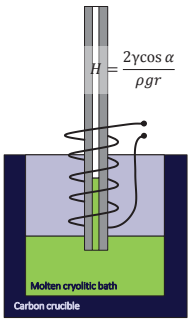
Bath stopped at the top of resistance wire

Tube material	Internal diameter [mm]	Measured capillary rise [mm]	Corresponding contact angle [°]
sapphire	0.685	18, 23	64, 56
alumina	0.64	27, 29	52, 49
alumina	0.26	55	59

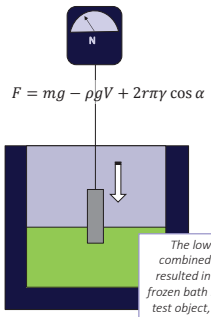
It should be noted that the surface tension and the density of the bath vary with the temperature – and while the temperature of the carbon crucible was measured during the experiments, it is under consideration to install a thermocouple into the capillary tube.

Experimental setup

$$H = \frac{2\gamma\cos\alpha}{\rho g r}$$



Gravimetry

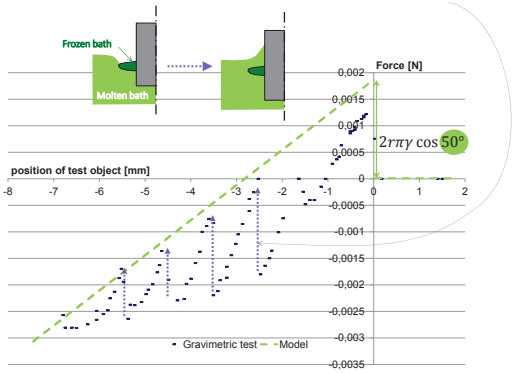


An alumina rod was hanged from a scale and lowered gradually into molten cryolitic bath. The position and the apparent weight of the test object were registered simultaneously.

The setup has been already completed with resistance heating of the test object, and in the following weeks (or by the time this poster came out), the experiments would be completed, with this disturbance eliminated.

The low temperature of the test object and the low superheat combined with a considerable heat loss on the surface of the bath resulted in the solidification of the bath at the surface. The collar of frozen bath held back the front of the wetting; instead of rising on the test object, pulling it downwards, increasing its apparent weight, the surface bent downwards as the object descended – up until the point when it lost its stability and jumped back to the alumina.

Results



Conclusion

Although the extreme conditions limit the precision of the measurement techniques, both methods gave similar results, a contact angle around 50 degrees.

Acknowledgements

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

Csilla Kaszás
Université du Québec
à Chicoutimi

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

L'infiltration d'une poudre par un liquide, comme l'infiltration de l'alumine par le bain cryolitique dans une cuve d'électrolyse, est fortement influencée par la mouillabilité. Bien qu'il soit attendu que l'électrolyte mouille l'alumine, l'angle de contact entre les deux ne se trouve pas dans la littérature.

Il y a plusieurs méthodes pour mesurer l'angle de contact, mais la température élevée de la cryolite fondue impose un grand défi. Dans nos expériences, l'angle de contact entre l'alumine et l'électrolyte était mesuré avec la méthode de montée capillaire et la méthode Wilhelmy. Même si la précision des mesures sous les conditions actuelles est limitée, les résultats obtenus par les deux différentes méthodes sont comparables.

The infiltration of a powder by a liquid, such as the infiltration of alumina powder by the cryolitic bath in an electrolysis cell, can be strongly influenced by wettability. While it is expected that the electrolyte wets the alumina, the contact angle between the two substances is not present in the literature.

Several methods are known to measure the contact angle but the high temperatures of molten cryolitic baths cause challenges in any of these processes. In our experiments, the contact angle between alumina and the electrolyte has been measured with both capillary rise and Wilhelmy methods, and although the precision of these measurements under the actual conditions is limited, the results are comparable.

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

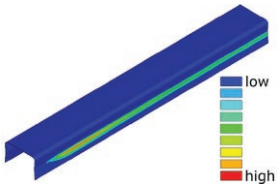
Technico-economic analysis of cast iron free cylindrical collector bars with copper inserts

Olivier Lacroix
Université Laval

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

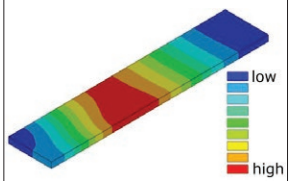
Problematic

The cathode voltage drop represents approximately 10 % of the total cell voltage drop. A significant amount of that voltage drop is due to poor contact between the cast iron layer and the carbon block. Limited contact area and low contact pressure between the materials leads to greater energy losses.



Contact pressure at the carbon and cast iron interface [1]

The cells are usually relined once the carbon of the cathodes has been eroded up to the collector bars. Higher current density on the block's top surface near the edges of the cell is responsible for higher carbon erosion rate. This results in limited cell life expectancy and more frequent relinings.



Current density on the top surface of the cathode [1]

Improving the contact area and increasing the contact pressure between the collector bars and the carbon block could reduce the cathode voltage drop and improve the current density uniformity on the top surface.

Objective

Investigate the technical and economical feasability of cast iron less cylindrical collector bars to improve the cathode's performance and reduce production costs.

Design features and challenges

Contact is generated by thermal expansion of the materials at cell startup, without a cast iron layer between the bar and the block.

Precise diametral clearance between the bar and the block at ambient temperature is necessary to ensure proper cathode performance.

The hourglass groove used with a rectangular bar is replaced by a circular cavity in the carbon block.

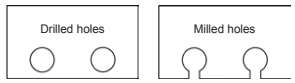
New manufacturing processes for the block and the bar might be needed.

Copper insert dimension and position redesign due to a new contact distribution between the materials.

New way to secure the bar inside the block during handling, new busbar connector.

Methodology

Two designs are being explored numerically: a drilled hole and a milled hole with a groove underneat the circular cavity.



Thermal-electrical-mechanical finite element modeling with contact interfaces between the materials.

The required initial gap and manufacturing tolerances for the bar and the block are to be determined.

Influence of geometrical parameters, such as the bar's position inside the block, the bar's size as well at the copper insert's size and position is being investigated.

Optimisation for both designs is performed using response curves and surfaces to minimise the cathode's operating cost.

Economic analysis

A reference model based on the actual geometry, with an hourglass groove and a cast iron layer, is used for comparison.

Relining costs are based on materials volume, labour work and estimated manufacturing costs.

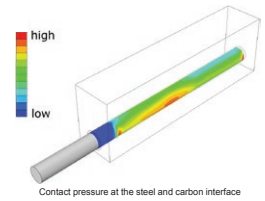
Life expectancy of the cell is estimated based on the maximum current density on the top surface of the carbon block.

The reduction in voltage drop is converted in electrical cost savings, while a voltage drop increase is converted in additionnal electrical costs.

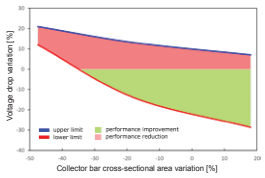
Both electrical and relining costs are converted into yearly savings or additional costs.

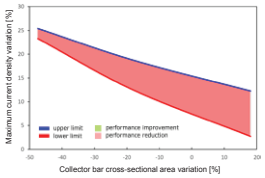
Preliminary results

Drilled hole

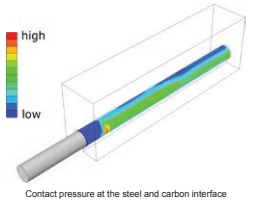


Contact pressure at the steel and carbon interface

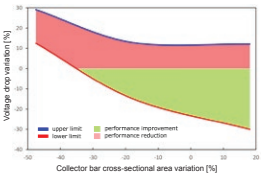


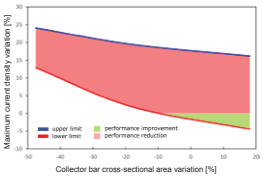


Milled hole



Contact pressure at the steel and carbon interface





Conclusion and future work

Early results show a significant reduction of the cathode's voltage drop. However, this reduction in voltage drop results in an increase of the maximum current density on top of the block. It is too early to tell if the trade-off between the lower voltage drop and reduced life expectancy is advantageous.

The economic analysis, taking both parameters into account, will be necessary to determine if the trade-off will lead to actual cost savings.

Optimisation of the geometry and position of the copper insert might also help reduce the maximum current density and improve performance.

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.

References

[1] Mathieu Gagnon, " Optimisation of the cathode collector bar in a Hall-Héroult cell ". MS Thesis, Québec, Université Laval, 2013.

Le projet vise à diminuer 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 d'une cuve, et son érosion, localisée à ses extrémités, est la principale cause 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 la cathode. Il étudiera 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 sera réalisée pour différentes configurations afin d'optimiser la géométrie de la cathode. Une analyse technicoéconomique sera également réalisée afin d'évaluer la rentabilité des différentes configurations. Les défis de fabrication, d'installation et d'utilisation que posent les barres cylindriques seront aussi traités dans le projet.

This project seeks to reduce the energy consumption and increase the life expectancy of a Hall-Héroult cell. Approximately 10 % of the total potential 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 electrical resistivity and to even the current density throughout the cathode. This project will explore the use of collector rods, relying on thermal expansion at the cell start-up to generate a contact surface between it and the block, thus removing the requirement of any cast iron sealing operations. A thermal-electrical-mechanical analysis will be performed on a multitude of designs in order to optimise geometry. A technico-economic analysis will also be performed to determine the cost-effectiveness of the different designs. The technical challenges associated with the design, such as manufacturing of the blocks, securing the bars inside the block during handling and installation and connecting of the bars to the busbars will also be addressed.

Modélisation de la dissolution d'un échantillon en alumine dans le bain d'électrolyse

Modelling of the dissolution of an alumina sample in the electrolytic bath

Introduction :

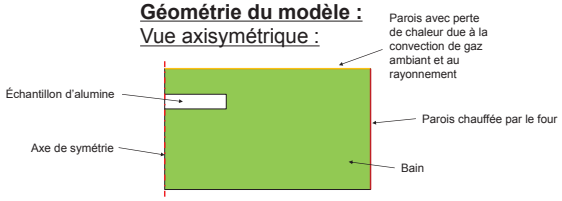
Comprendre la dissolution de l'alumine dans le bain d'électrolyse est la première étape avant de vouloir l'optimiser. La modélisation est un outil permettant de passer l'inconvénient des conditions d'opération dans un bain (haute température, corrosion importante, formation de gelée). Mais un modèle nécessite une validation pour le considérer fiable.

Objectifs

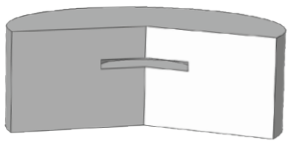
1- Comprendre la dissolution de l'alumine
2- Obtenir la valeur du coefficient de transfert de masse pour les travaux futurs (modélisation d'agrégats d'alumine)

Géométrie du modèle :

Vue axisymétrique :



Vue 3D en coupe:



Physiques et équations du modèle

Écoulement laminaire régie par la convection naturelle

Éq. de Navier-Stokes $\rho\frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u\cdot\nabla)u = -\nabla P + \rho g + \mu\nabla^2 u$

Équation de continuité $\rho\nabla\cdot u = 0$

Transfert de chaleur

Équation de la chaleur $\rho C_p\frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u\cdot\overrightarrow{grad}(T) = div(\lambda\overrightarrow{grad}(T))$

Transport d'espèces dilués (dissolution, convection, diffusion)

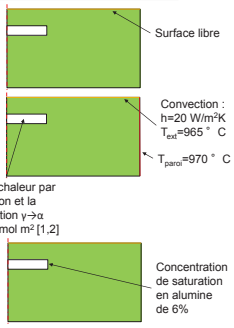
Équation de transport $\frac{\partial c_i}{\partial t} + \nabla\cdot(-D_i\nabla c_i) + u\cdot\nabla c_i = R_i$

Masse volumique variable

$$\rho(T, c_{Al2O3}) = 2{,}64 - 0{,}0008.T(°C) + 0{,}18.\left(wt\ ratio\frac{NaF}{AlF3}\right) - 0{,}008.(wt\ \%Al2O3) + 0{,}005.(wt\%\ CaF2) + 0{,}008.(wt\ \%\ MgF2) - 0{,}004(wt\ \%\ LiF) \quad [1]$$

$wt\ ratio\frac{NaF}{AlF3} = 1{,}11$ et $wt\%\ CaF2 = 5{,}5$

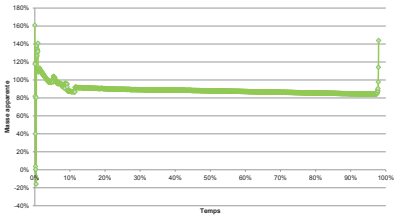
Conditions aux frontière:



Expériences

Échantillon en alumine:
Diamètre – 12,5 mm
Épaisseur – 3,5 mm
Masse volumique – 3800 kg/m³

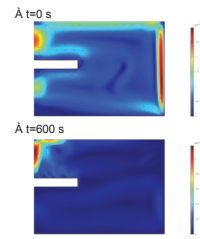




Flux de dissolution (mg/m².s)	- 470

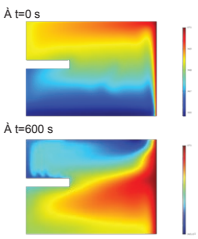
Résultats

Vitesse



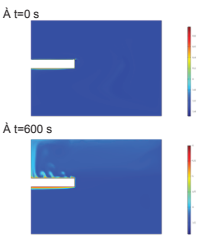
L'écoulement est instable et varie beaucoup avec les variation de concentration

Température



La température est quasi homogène et proche de celle maintenu lors des expériences

Concentration



La concentration est plus importante sur la partie supérieure car la densité est plus faible

Conclusion

Les résultats présentés se rapprochent des valeurs obtenues lors des expériences. Les paramètres utilisés pour définir l'écoulement (pertes par convection en surface et température de paroi latérale) ont un impact important sur l'écoulement et donc sur le flux de dissolution. Les pertes par convection sont très difficiles à déterminer de par la configuration du four et par le rayonnement que peut recevoir un thermocouple à cet emplacement. Les résultats sont prometteurs pour modéliser la dissolution avec plusieurs particules de l'alumine.

Partenaires et remerciements

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

Bibliographie

[1] Thonstad, J. & al., « Aluminium Electrolysis, Fundamentals of the Hall-Héroult Process », Aluminium-Verlag, 3rd Edition, 2001
[2] Dassylva-Raymond, V. « Analyse et modélisation du comportement des agrégats d'alumine dans le procédé Hall-Héroult », Thèse de Doctorat, 2015

Thomas Roger
Université du Québec à Chicoutimi

L. I. Kiss - UQAC
S. Poncsák - UQAC
C. Kaszás - UQAC
J. Alarie - UQAC
J-F. Bilodeau - RioTinto
S. Guérard - RioTinto

La dissolution de l'alumine dans le bain est une étape importante du processus de fabrication de l'aluminium par électrolyse. Les conditions d'opération limitent fortement les observations d'où l'importance de réaliser un modèle mathématique.

Le modèle réalisé sous *Comsol Multiphysique* permet de comprendre les mécanismes d'écoulement du bain engendré par la convection naturelle. Le facteur influent sur la convection est la variation de la densité avec les variations de la température et de la concentration en alumine. Le modèle réalisé représente une expérience de dissolution d'un échantillon en alumine réalisé en laboratoire pour valider les résultats. Le critère de validation se base sur la comparaison du flux moyen de dissolution à l'interface échantillon-bain. Après validation, le modèle pourra permettre de représenter la dissolution de particule d'alumine afin de comprendre les mécanismes physiques interparticulaires.

Les résultats montrent une légère différence sur la valeur du flux de dissolution, mais restent dans le même ordre de grandeur. La difficulté dans la réalisation de ce modèle est de déterminer les conditions limites. Mesurer le flux par convection sur la surface du bain est très complexe de par la configuration du four. Les pertes en surface ont un impact direct sur la vitesse d'écoulement du bain par convection naturelle.

Ce modèle permettra de représenter les mécanismes physiques entre les particules et pourra donner une base de comparaison pour le modèle en éléments discrets réalisé par la suite.

The dissolution of alumina in the bath is an important step in the process of manufacturing aluminum by electrolysis. The conditions of operation greatly limit the possibility of observation so it is important to build a mathematical model.

The model developed using *Comsol Multiphysics* makes it possible to understand the mechanisms of flow of the bath generated by natural convection. The main factor influencing convection is the variation in density, which changes with temperature and alumina concentration. The model reproduces a dissolution experiment of an alumina sample carried out in a laboratory to validate the results. The validation criterion is based on comparing of the average dissolution flow at the sample-bath interface. After validation, the model will make it possible to reproduce dissolution of alumina particles in order to understand interparticle physical mechanisms.

The results show a slight difference in the dissolution flux value, but remain in the same order of magnitude. The difficulty in the development of this model is determining the boundary conditions. Measuring the flow by convection on the surface of the bath is very complex with the configuration of the furnace. Surface losses have a direct impact on the flow rate of the bath by natural convection.

Estimation de l'épaisseur du bain solidifié sous une nouvelle anode par un modèle conductif

Estimation of the solidified bath thickness under a new anode by conductive model

Mamadou Alpha Sow
Université Laval

L. Gosselin - UL
M. Fafard - UL
J. Tessier - Alcoa
D. Ziegler - Alcoa

Introduction

- Dans les cuves d'électrolyse modernes, on change en moyenne une paire d'anode par cuve quotidiennement.
- Les nouvelles anodes introduites à la température ambiante dans un bain électrolylitique de 950°C provoque une solidification du bain autour de celles-ci.
- Le bain solidifié empêche alors le courant de passer à travers les nouvelles anodes dû à la forte résistivité électrique du bain solidifié. Le courant passe alors par les anodes environnantes.
- La distribution de la densité du courant est modifiée, ce qui change la distribution de l'énergie générée par effet Joule
- Un calcul tenant compte des vitesses du bain et de la convection augmente considérablement le temps de calcul.

- **Objectifs**: Calcul de l'épaiseeur du bain solidifié autour des nouvelles anodes d'une cuve d'électrolyse par un modèle enthalpique avec un coeffcicent de conduction effectif sans résoudre l'équation du mouvement.

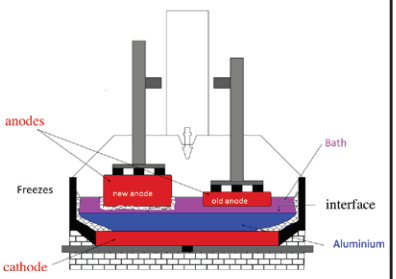


Figure 1 : Modèle 2D de cuve à 2 anodes

Méthodologie

- Deux moèles furent dévéloppés, un modèle 2D d'une cuve à 2 anodes et un autre modèle 3D d'une cuve à 40 anodes, dans le code commercial FLUENT.
- Les deux modèles resolvent uniquement les équations d'énergie et du potentiel électrique. Le coefficient de conduction dans l'équation d'énergie a été modifié pour tenir en compte la convection.

✓ $$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{j^2}{\sigma}-\frac{\partial(\rho f\lambda)}{\partial t}$$

$$k_x = k-\frac{\rho c_p uT}{\partial T/\partial x} \qquad k_y = k-\frac{\rho c_p uT}{\partial T/\partial y}$$

✓ Avec k_x et k_y des conductivités convectives

- La conductivité électrique du bain solidifié a été modifié pour réduire d'avantage le passage du courant
- Les résultats des modèles devront être validés par des donnés d'usine.

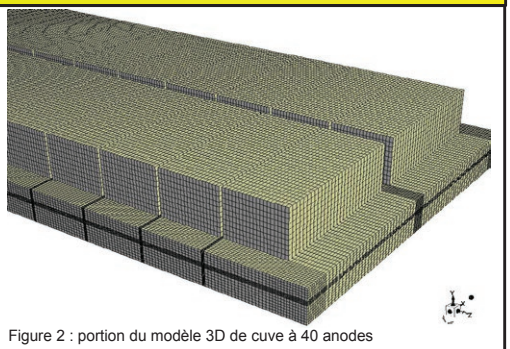


Figure 2 : portion du modèle 3D de cuve à 40 anodes

Résultats et conclusions

Résultats

.

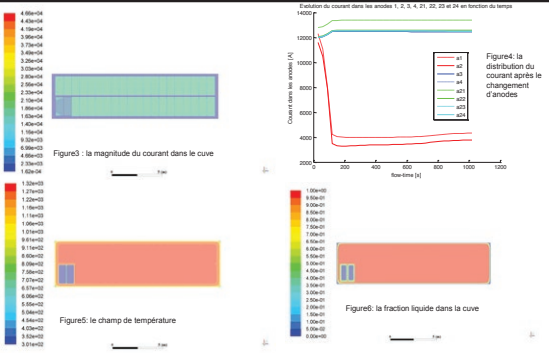
Figure3 et 4: la distribution du courant est perturbée après le changement d'anodes. Le courant est dévié vers les anodes avoisinantes

Figure 5 : la température des nouvelles anodes ne s'uniformise avec celle des autres anodes qu'après la fusion du bain solidifié.

Figure 6: la solidification du bain sous l'anode peut atteindre l'épaisseur maximale de 5 cm

Conclusions

Les calculs doivent continuer jusqu'à la fusion totale du bain et à l'atteinte du régime premanent. À ce stade, il est toute fois possible de constater qu'on peut simuler les phénomènes de changement de phase dans une cuve d'électrolyse par uniquement les équations d'energie et du potentiel électrique



De nos jours, la production industrielle de l'aluminium s'effectue dans les cuves d'électrolyse Hall-Héroult. Le bain électrolytique, dans lequel est dissoute l'alumine, est à 960°C. Les anodes en carbone participent à la formation de l'aluminium par la réaction de l'alumine au carbone. Les anodes se consument et nécessitent, en moyenne, un changement quotidien d'une paire. L'introduction d'une nouvelle anode à température ambiante provoque la solidification du bain autour d'elle. Ce bain solidifié constitue une résistance électrique et empêche le passage du courant qui est dévié vers les anodes avoisinantes. Ce phénomène modifie la distribution de la densité de courant dans la cuve et celle de la génération de chaleur par effet Joule.

Un modèle magnétohydrodynamique complet d'une cuve d'électrolyse à 40 anodes nécessite un temps de calcul très long. Pour permettre alors de simuler plusieurs physiques pour un faible temps de simulation, nous avons utilisé un modèle de changement de phase enthalpique conductif avec un coefficient de conduction effectif. Ce coefficient tient compte des différents coefficients de convection et des vitesses et fluctuations du bain.

Les résultats nous montrent qu'il est possible d'utiliser simplement les équations de l'énergie et du potentiel électrique pour simuler les phénomènes de changement de phase et ceux thermoélectriques dans une cuve d'électrolyse. L'épaisseur du bain solidifié ainsi que le champ de température dépendent aussi de la valeur du k effectif.

Nowadays the industrial production of aluminum is carried out in Hall-Héroult electrolysis cells. The electrolytic bath in which the alumina is dissolved is at a temperature of 960°C. The carbon anodes participate in the formation of aluminum by a reaction between the alumina and the carbon which constitutes the anode. Anodes are consumed by this reaction and the anodes in the cell must be changed daily on average. The introduction of a new anode at room temperature causes solidification of the bath around it. This solidified bath constitutes an electrical resistance and prevents the passage of current which is deviated to the neighboring anodes. The joule heating distribution is thus also affected.

A complete transient magneto-hydrodynamic model of a 40-anode electrolysis cell requires a very long computational time. To simulate several physics with a short computational time, we developed a phase-change enthalpy model with an effective conductivity coefficient. This coefficient takes into account the different coefficients of convection and also the velocities and fluctuations in the bath.

The results show that it is possible to use the energy and potential equations to simulate phase change phenomena and thermoelectrical phenomena in an electrolysis cell. The thickness of the solidified bath as well as the temperature field also depend on the value of the effective thermal conductivity.

Étude de la surface spécifique du coke calciné
Study on the specific surface area of calcined coke

Brigitte Morais
Université du Québec
à chicoutimi

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

Problématique
Les causes des réactivités des anodes ne sont pas toutes connues

Objectif
Déterminer le lien entre les réactivités de coke et ses propriétés structurales

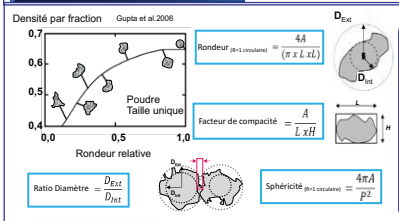
Méthode
Utiliser les facteurs de forme, l'essai BET et l'analyse des pores



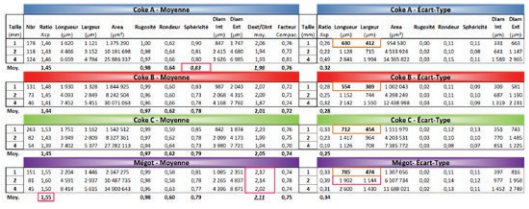
Résultats et discussions

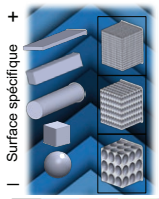
Qualité de l'anode = $f_{Pâte}$(Formage, Ajout Brai)

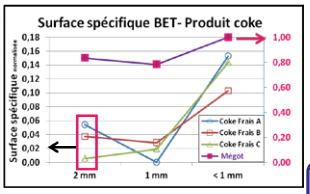
Légende : Valeur élevée, valeur basse, formules et SP= Surface spécifique. = Coke A = Coke B = Coke C = Mégot A et B : Même type

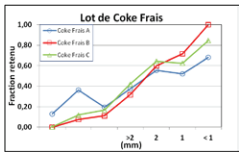


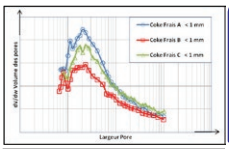
Analyse
- ✓Particule plus allongée que sphérique
- ✓Mégot est le plus long
- ✓La diminution de la taille apporte moins de variation de la dimension et fait tendre vers une plus grande sphéricité
- ✓Outre la longueur, peu de différence entre les types de particules – même facteur de compacité
- ✓Un nouveau facteur pourrait-il être en cause dans les résultats de réactivité?











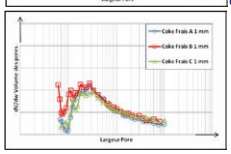
Analyse
- ✓1 mm, tous les cokes sont semblables
- ✓Le coke A à plus de volume de pores (VP) dans le < 1mm et 2 mm que les autres cokes
- ✓2 mm, le coke A possède plus de VP, les cokes B et C sont semblables
- ✓Qu'est-ce que cela représente ?

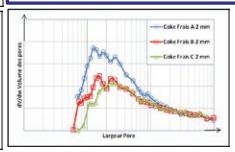
Taille	Coke A	Coke B	Coke C	Mégot
1 mm	0	0,028	0,019	0,783
Moy.		0,016		

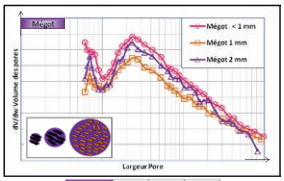
Surface Spécifique BET

	Nbr	Max	Min	Moy.	Écart-type
Coke Frais C	4	0,058	0,000	0,023	0,026
Mégot	3	0,835	0,737	0,774	0,053

Analyse
- ✓2 mm devrait avoir une SP plus basse Après vérification, une variation existe et la moyenne peut égaler à 1mm
- ✓Lots de coke différents en quantité pour les tailles de ≤ 2 mm

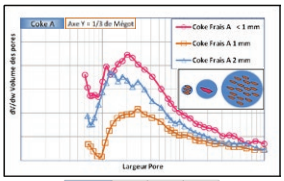




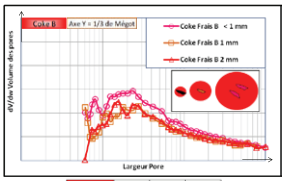


Mégot	< 1 mm	1 mm	2 mm
Vol+Suf pore	XXTG	XXTG	XXTG
Taille pore	M	M	XXXP

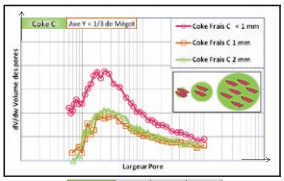




Coke A	< 1 mm	1 mm	2 mm
Vol+Suf pore	XTG	XP	XTG
Taille pore	XXP	XTG	XXXP



Coke B	< 1 mm	1 mm	2 mm
Vol+Suf pore	XP	XP	P
Taille pore	M	P	XTG



Coke C	< 1 mm	1 mm	2 mm
Vol+Suf pore	XTG	M	M
Taille pore	XTG	XXTG	XTG

Pore taille	XXXP	P	M	XTG

	Réac. l'air	Réac. CO2	Densité vrac	Densité réelle	Lc	S_{total}	Si	P	V	Na	Ca	Ni	BET Moyenne Math.	BET Pondéré/Taille
Coke Frais A	0,13	0,22	0,19	0,00	0,31	0,67	1,00	1,00	0,00	0,11	0,50	0,33	0,02	0,024
Coke FraisB	0,00	0,00	0,00	0,21	0,03	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,000
Coke FraisC	0,03	0,01	0,00	0,08	0,00	1,00	0,29	0,09	1,00	0,05	0,08	1,00	0,00	0,003
Mégot	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,29	0,73	0,10	1,00	1,00	0,00	1,00 ¤	1,000

Type de tests	Coke Frais A			Coke Frais B			Coke Frais C			Mégot		
	< 1mm	1 mm	2 mm	< 1mm	1 mm	2 mm	< 1mm	1 mm	2 mm	< 1mm	1 mm	2 mm
SP BET	0,15	0,00	0,05	0,10	0,03	0,04	0,14	0,02	0,01	1,00	0,78	0,83
MicroPores Mét-t	0,27	0,90	0,33	0,12	0,10	0,43	0,08	0,58	1,00	0,00	0,35	0,58
Surface Externe Mét.-t	0,17	0,00	0,07	0,13	0,06	0,05	0,17	0,03	0,00	1,00	0,78	0,82
Surface cumul. Pores BJH	0,23	0,10	0,18	0,16	0,00	0,13	0,22	0,11	0,11	1,00	0,81	0,88
Volume cumul. Pores BJH	0,10	0,00	0,04	0,05	0,00	0,03	0,14	0,03	0,01	1,00	0,79	0,67
Diamètre moyen Pores BJH	0,15	0,58	0,05	0,32	0,27	0,53	0,54	1,00	0,55	0,34	0,34	0,00

Conclusions

►La nouvelle approche par l'analyse de la surface spécifique et la caractérisation des pores expliquent les résultats obtenus pour les réactivités à l'air et au CO_2 du coke frais. Malgré la présence de facteurs reconnus pour faire augmenter les réactivités, la structure du coke peut aussi les réduire ou les augmenter.

► Un pas de l'avant est fait dans la compréhension des paramètres pouvant affecter la qualité de la pâte d'anode sur le résultat final à la consommation de carbone en cuve d'électrolyse.

Qualité de l'anode = $f_{Pâte}$(Formage, Ajout Brai, Structure)

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement la contribution en ressource matériel et technique d'Aluminerie Alouette Inc. ainsi que le soutien financier de la Fondation de l'Université du Québec à Chicoutimi (FUQAC) et du Fonds de développement de l'Université du Québec à Chicoutimi.

L'effet des propriétés physiques et mécaniques des matériaux bruts (coke et pitch) sur les propriétés finales des anodes cuites doivent être étudiées. Dans ce travail, la pâte d'anode est modélisée par le moyen de la Méthode des Élément Distincts (DEM) couplée avec de l'imagerie 3D par YADE ; un code DEM sous licence libre. La forme, la taille et la distribution de taille des agrégats de coke ont déjà été évaluées et considérées dans le modèle. Un modèle DEM de particules de coke a été vérifié expérimentalement. Le Pitch est modélisé avec un modèle visco-élastique de Burger. Les paramètres du modèle de Burger seront obtenus par Dynamic Shear Rheometry pour être implémentés dans le modèle. Le modèle tri-dimensionnel DEM de la pâte d'anode est utilisé pour simuler les processus de vibro-compaction et de cuisson. Le modèle prédit avec succès les fissures horizontales après cuisson.

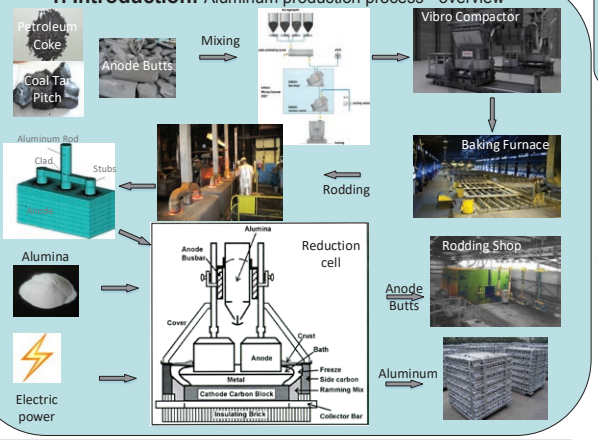
Effects of physical and mechanical properties of raw materials (coke and pitch) on final properties of baked anodes need to be investigated. In this work, anode paste is modeled by means of a Discrete Element Method (DEM) coupled with 3D imaging by YADE; an open-source DEM code. Shape, size and size distribution of coke particles have been evaluated previously and considered in the model. The DEM model of coke particles has been verified experimentally. Pitch is modeled with viscoelastic Burger's model. The Burger's model parameters will be obtained from Dynamic Shear Rheometry to be input into the model. A three dimensional DEM model of anode paste is used to simulate the vibro-compaction and baking processes. The model can successfully predict horizontal cracks in anodes after baking.

Spécifications multivariables pour les propriétés des anodes cuites
Establishing multivariate specification regions for baked anode properties

Petre Manolescu
Université Laval,
Alcoa

C. Duchesne - UL
J. Tessier - Alcoa

1. Introduction: Aluminum production process - overview



2. Problem statement

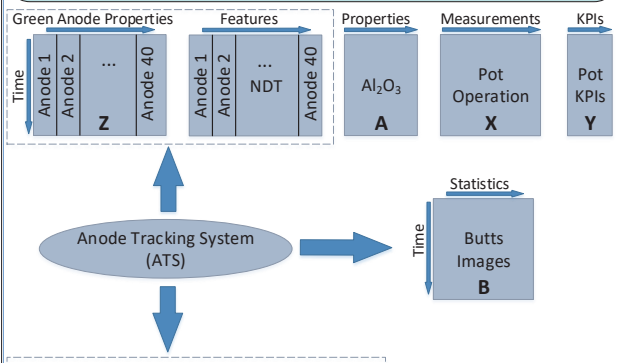
- Degradation/variation in anode raw materials affect cell performance.
- Adapting the aluminum production process to maintain cell performance is required.

3. Objectives

- Quantify how the anodes populating a cell affect reduction performance.
- Build a statistical model and use it to determine in which cells the fresh anodes would best fit prior to setting them.

4. Methodology

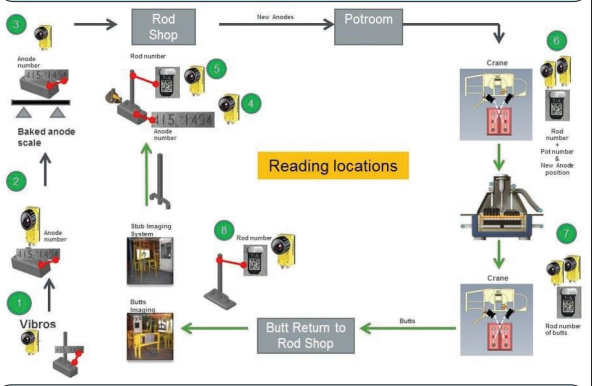
Establish a relationship between data blocks [**Z A X C B**] and **Y** by using multivariate analysis techniques (PCA – principal component analysis, PLS – projection to latent structures)
Z = Green anode properties; **A** = Alumina properties; **X** = Pot operation data; **C** =Coke properties; **B** =Butt imaging data; **Y** = Key Process Indicators (KPI); NDT = Modal analysis and acoustic methods, currently under development



- Raw material properties (coke, pitch)
- Paste plant data
- Baking data
- Core sample characterization

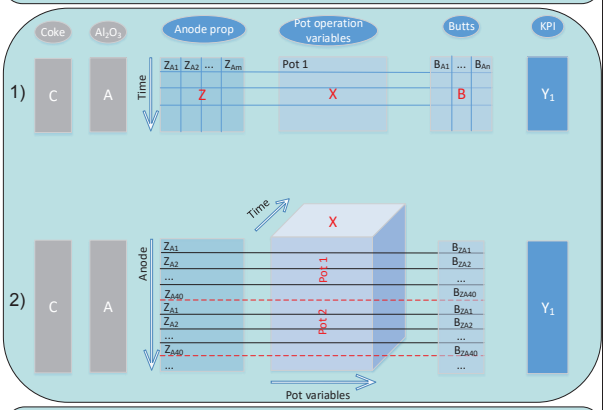
5. Data collection – Anode Tracking System (ATS)

Each anode is marked and traced throughout the process with cameras at the Alcoa Deschambault, Quebec, smelter.
Schematic drawing of the camera system below is courtesy of Alcoa.



6. Data analysis structure (2 methods)

1) Cell wise: The performance of each cell is analyzed with respect to all anodes populating it.
2) Anode wise: Each anode is traced from its formation until recycling and analyzed with respect to the cell performance during its lifetime.



7. Expected benefits

- Better link between anode properties and cell performance
- Increased pot stability and energy efficiency
- Decreased cell voltage
- Decreased net carbon consumption (NCC)

8. Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the financial support of the Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC), Fonds de Recherche du Québec – Nature et Technologies (FRQNT), Alcoa and the Aluminum Research Centre – REGAL.

La performance des cellules d'électrolyse est affectée par la qualité et la variabilité des matières premières dans les anodes en carbone. Ce projet de doctorat vise à limiter ces impacts en utilisant un modèle statistique qui combine les données de fabrication des anodes ainsi que celles mesurées sur les procédés d'électrolyse. Dans un premier temps, il est indispensable de mieux comprendre comment la performance des cuves est affectée par les populations d'anodes ainsi que la façon dont elles sont consommées. Ces résultats seraient ensuite utilisés pour établir des régions de spécifications multivariées pour les propriétés des anodes cuites. Ces travaux permettraient, par exemple, de déterminer dans quelles cellules les anodes fraîches seront les mieux adaptées et dans quelle position elles devraient être installées dans les cuves. Ces mesures aideraient à réduire au minimum les perturbations affectant les cellules électrolytiques tout en maintenant des performances optimales. Les avantages attendus des outils de modélisation comprennent la réduction des coûts, des déchets, et la consommation de carbone ainsi que l'augmentation de l'efficacité énergétique. Ces avantages aideront à maintenir la compétitivité et le positionnement de leader de l'industrie canadienne de l'aluminium dans le monde entier.

Declining quality and increased variability of anode raw materials affect aluminum reduction cell performance. This PhD project seeks a way to mitigate their impact by using statistical modelling that combines data from anode manufacturing and the electrolysis process. Firstly, the scope is to better understand how the anodes populating a cell affect its performance as well as how individual anodes are consumed. These findings would subsequently be used to establish multivariate specification regions for baked anode properties in order to determine in which cells the fresh anodes would best fit prior to setting them and, additionally, the position of the anodes within the reduction cell. These measures would minimize the disturbance of the electrolytic cell while maintaining optimum performance. The expected benefits from these modelling tools include cost savings, waste reduction, lower carbon consumption, and higher energy efficiency, in addition to helping maintain the competitiveness and leadership position of the Canadian aluminum industry worldwide.

Effet du Zr et du V sur les propriétés mécaniques des alliages Al-Si-Mg (Aural-2) moulés sous pression
Effect of Zr and V on Mechanical Properties of Al-Si-Mg (Aural-2) Die Casting Alloys

Anil Arici
Université du Québec à Chicoutimi

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

Introduction

It is well known, the addition of alloying elements and heat treatment process is a critical step for structural die casting alloys to ensure high mechanical properties. In this study, V and Zr elements are added to Al-Si-Mg (Aural-2) alloy to investigate effect of the addition elements and heat treatment processes on the mechanical properties.

Objective

- To improve the mechanical properties of Al-Si-Mg (Aural-2) die casting alloys

Experimental

1. Chemical Composition

Tab.1. Chemical composition of the alloys.

Alloy	Si	Fe	Mn	Mg	Ti	B	Sr	V	Zr
Aural-2	10.20	0.16	0.52	0.31	0.08	0.015	0.011	-	-
HDP-101	10.17	0.16	0.48	0.36	0.08	0.015	0.011	0.19	0.27

2. Permanent Mold Casting

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

3. Microstructure Analysis

- Optical Microscope
- SEM

4. Property Evaluation

- Tensile
- Hardness
- Electrical Conductivity

5. Heat Treatment

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

Water Quench + Aging at 170 °C for 4 hours

Results

a) As-cast microstructure and mechanical properties

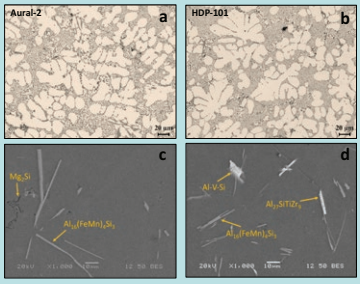


Fig. 1. Optical microscope images (a, b) and SEM images (c, d) of Aural-2 and HDP-101 in as cast condition respectively.

Tab. 1. Phases in structure of the alloys.

Alloy	Phases
Aural-2	Mg_2Si
	$Al_{15}(FeMn)_4Si_3$
HDP-101	Mg_2Si
	$Al_{15}(FeMn)_4Si_3$
	$Al_{27}SiTiZr_9$
	Al-Si-V

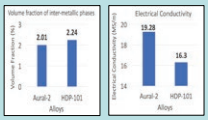


Fig. 2. Electrical conductivity and inter-metallic volume fraction of the alloys in as cast condition.

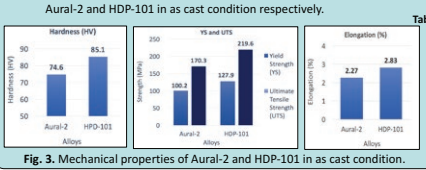


Fig. 3. Mechanical properties of Aural-2 and HDP-101 in as cast condition.

Tab. 2. Effect of addition elements (V, Zr) on mechanical properties.

Property	Increase (%)
Hardness (HV)	14
YS (MPa)	27
UTS (MPa)	29
Elongation (%)	25

Aural-2 ➡ HDP-101

Results

b) Heat treated microstructure and mechanical properties

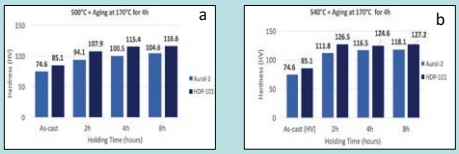


Fig. 4. Hardness comparison of heat treated alloys at 500 °C (a) and 540 °C (b) + aged at 170 °C for 4h.

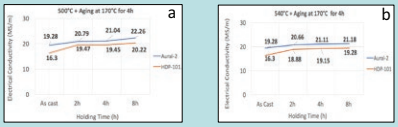


Fig. 5. Electrical conductivity comparison of the heat treated alloys at 500°C (a) and 540°C (b)+ aged at 170 °C for 4h.

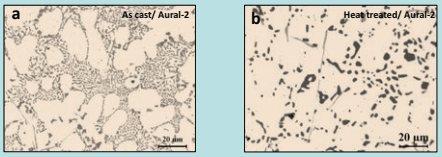


Fig. 7. OM images of Aural-2 in as cast (a) and heat treated condition at 540 °C for 2h and aging at 170 °C for 4h (b).

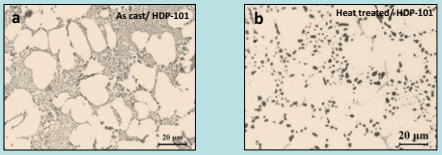


Fig. 8. OM images of HDP-101 in as cast condition (a) and heat treated at 540 °C for 2h and aging at 170 °C for 4h (b).

Conclusions

- Addition of V and Zr to the Aural-2 can increase the hardness, yield strength, ultimate tensile strength and elongation of the alloy.
- Amount of the solutes in the matrix increased by addition of V and Zr elements.
- After addition of V and Zr, four phases has identified in the microstructure and two of new phases $Al_{27}SiTiZr_9$ and Al-Si-V were present in the HDP-101.
- Heat treatment process at 540 ℃ for 2h and immediately aging at 170℃ for 4h was found to be optimal according to short holding time and high hardness results.

Future work

- Quantitative analysis will be performed for the experimental alloys.
- Tensile tests will be done for heat treated alloys.
- Phase observation and identification will be studied through SEM for heat treated alloys.
- TEM observation will be performed in order to obtain precipitation behavior of the alloys.

Afin de pouvoir améliorer les propriétés mécaniques des alliages Al-Si-Mg (Aural 2) moulés sous pression, les éléments V et Zr ont été ajoutés dans l'alliage Al Si Mg (HDP 101). Les microstructures des Aural 2 et HDP 101 moulés sous pression du moule permanent ont été étudiées comme condition de fonte par l'OM et la SEM. Des tests de micro-dureté et de traction ont été effectués pour évaluer les propriétés mécaniques des alliages. En plus de la condition de fonte, le traitement thermique a été effectué à 500 °C et 540 °C avec différents temps d'attente. Avec l'ajout du V et du Zr à l'alliage (HDP-101), ce dernier présente une micro-dureté, une limite d'élasticité, une résistance à la traction et un allongement améliorés en comparaison avec l'alliage Aural 2. Les résultats des alliages traités thermiquement ont indiqué que la condition de traitement thermique optimale est la solution qui a été traitée à 540 °C pendant 2 h, puis immédiatement vieilli à 170 °C pour 4 heures en fonction de leur faible temps de maintien et aussi de leur dureté élevée. Après le traitement thermique, la micro-dureté des alliages Aural 2 et HDP 101 a été augmentée respectivement de 37 % et 33 %.

To improve the mechanical properties of Al-Si-Mg (Aural-2) die casting alloys, V and Zr were added into an Al-Si-Mg alloy (HDP-101). The microstructures of Aural-2 and HDP-101 permanent mold die castings were investigated in the as-cast condition through OM and SEM. Microhardness and tensile tests were performed to evaluate mechanical properties of the alloys. In addition to the as-cast condition, heat treatments were performed at 500 °C and 540 °C with various holding times. In comparison with the Aural-2 alloy, the alloy (HDP-101) with addition of V and Zr exhibits an improved microhardness, yield strength, ultimate tensile strength and elongation in the as-cast condition. The results of the heat treated alloys indicated that the optimum heat treatment condition is to solutionize at 540 °C for 2h and then immediately age at 170 °C for 4h based on the short holding time and high hardness. After heat treatment, the microhardness of Aural-2 and HDP-101 alloys was increased by 37% and 33% respectively.

Interaction brai/coke (Effet du bio-brai sur la formulation de l'anode)
Pitch/coke interaction (Effect of bio-pitch in anode formulation)

Ying Lu
Université Laval

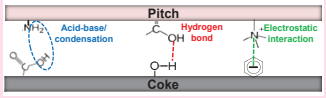
H. Alamdari - UL
M. Fafard - UL
D. Ziegler - Alcoa
J. Tessier - Alcoa

1. Introduction

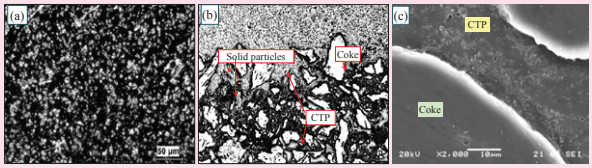
- Coal-tar-pitch (CTP) is used as binder in anode production. Replacing coal-tar-pitch by bio-pitch, produced from biomass, can decrease CO_2 emission and carbon footprint of the aluminum production process.
- The properties of bio-pitch need to be modified to meet the requirement as binder for anode making.
- Characteristics of bio-pitch, i.e. its interaction with coke, are determined by source of bio-mass and pyrolysis process technique.
- Therefore, the properties of bio-pitch, produced with different raw materials and different techniques, need to be characterized in order to identify the suitable bio-pitch for making good quality anode.

2. Literature review

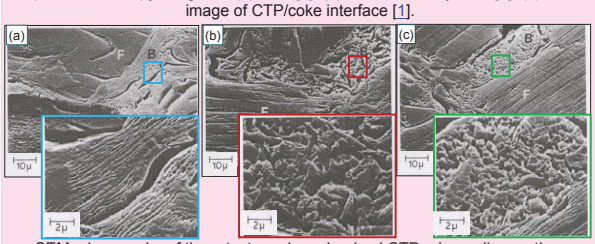
- Both chemical and physical properties of pitch contribute to the wettability of coke by pitch [1,2].



Chemistry of coke/pitch interactions [7].

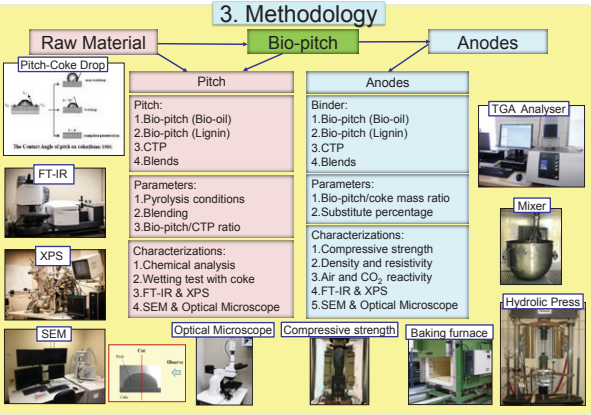


Optical microscopy images of (a) CTP [1]; (b) coke wetted by CTP [2], (c) SEM image of CTP/coke interface [1].



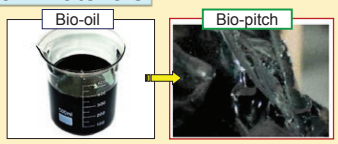
SEM micrographs of three textures in carbonised CTP, depending on the characteristics of the CTP [3,4] (a) lamellar, (b) intermediate, and (c) granular.

3. Methodology

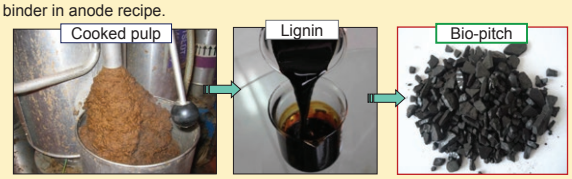


4. Raw Materials

- Bio-pitch, produced from bio-oil, will be modified with different pyrolysis conditions and used as a renewable binder for anode manufacturing [5,6].



- Lignin, abstracted from pulp and pyrolyzed to obtain bio-pitch, will be applied as binder in anode recipe.



5. Objectives

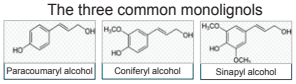
The general objective is to use bio-pitch to replace some portion of coal tar pitch to produce anode without impairing its quality. The focus will be made on bio-pitch/coke interaction.

Pitch/coke interaction (Improve the wettability)

Coal-tar-pitch
(Characterize the coal-tar-pitch and its wettability with coke)
Done during my Master project

Bio-pitch
(Characterize the bio-pitch and its wettability with coke)
Bio-oil, Lignin

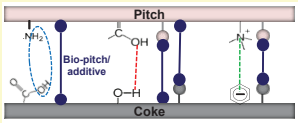
The three common monolignols



- The methoxy content may affect the lignin binder behavior [8].

Advantages:
1. Renewability and sulfur-free ;
2. High oxygen in bio-oil for better wettability;
3. Low cost.

Parameters:
1. Raw material source;
2. Effect of oxygen-containing;
3. Viscosity.



Chemistry of coke/pitch interactions after blending.

Bio-pitch/coke interaction (wettability of bio-pitch on coke):
- ✓ If improve, anode making;
- ✓ If not improve, blends bio-pitch with CTP or additives.

6. Future work

1. Study bio-pitch wettability and relate wetting properties to anode quality.
2. Modifying bio-pitch properties by changing pyrolysis conditions and using additives as well as blending with coal-tar-pitch.
3. Produce anodes using bio-pitch as the binder.
4. Compare the differences in the textures of carbonized bio-pitch as well as the interface between the bio-pitch binder and coke particles in anodes with the traditional anodes.
5. Relate structure of carbonized binder (coal-tar-pitch and bio-pitch) to anode properties.

7. References

1. Lu, Y., et al., Fuel, 2017. 199: p. 587-597.
2. Lu, Y., et al., Light Metals 2016, 2016: p. pp 871-876.
3. Hays, D., et al., Fuel, 1983. 62(9): p. 1079-1083.
4. Hays, D., et al., Fuel, 1983. 62(8): p. 946-952.
5. Coutinho, A.R., et al., Fuel Processing Technology, 2000. 67(2): p. 93-102.
6. Rocha, J.D.,et al., Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2002.
7. Ozturk, S., Regal 2016 presentation.
8. Lumadue, M.R., et al., Fuel, 2012. 97: p. 869-875.

8. 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.

Le brai de houille à base de pétrole (CTP) est utilisé comme liant dans la production d'anodes. Le remplacement du brai traditionnel par du bio-brai, produit à partir de la biomasse, pourrait réduire les émissions de CO2 et l'empreinte carbone du processus de production de l'aluminium. Par conséquent, les propriétés du bio-brai, produit avec différentes matières premières et différentes techniques, doivent être caractérisées afin d'identifier le bio-brai approprié pour la fabrication d'une anode de bonne qualité. Les caractéristiques du bio-brai, c'est-à-dire son interaction avec le coke, sont déterminées en fonction du type de matières premières (sources de biomasse) et leurs paramètres de pyrolyse. L'objectif principal de ce projet est d'étudier la faisabilité d'utiliser du bio-brai pour remplacer une partie du brai de houille dans les anodes de carbone sans diminuer leur qualité (tout en répondant aux exigences des alumineries). Tout d'abord, la mouillabilité du coke par le bio-brai sera étudiée et ses propriétés mouillantes seront liées à la qualité de l'anode. Deuxièmement, les propriétés du bio-brai seront modifiées en optimisant les conditions de pyrolyse et en y ajoutant des additifs ou encore du brai de houille. Troisièmement, des anodes seront produites en utilisant différentes proportions de bio-brai et de brai de houille. Les textures et la structure du bio-brai carbonisé ainsi que l'interface entre ce liant et les particules de coke dans les anodes seront caractérisées et comparées aux anodes faites de brai traditionnel.

Coal-tar-pitch (CTP) is used as a binder in anode production.Good binding between coke and pitch results in dense anodes. Bio-pitch properties could be modified by pyrolysis conditions, possibly improving its interaction with coke. Replacing coal-tar- pitch by bio-pitch produced from biomass, could also decrease CO2 emissions and the carbon footprint of the aluminum production process. Characteristics of bio-pitch, i.e. its interaction with coke, are determined by the bio-mass source and pyrolysis process technique. The properties of bio-pitch, produced with different raw materials and different techniques, need to be characterized in order to identify the suitable bio-pitch for making good quality anodes. The general objective of the project is to use bio-pitch to replace some portion of coal-tar-pitch to produce anodes without impairing their quality. The focus will be on bio-pitch/coke interactions. One objective of this work is to study the bio-pitch wettability on coke and its wetting properties related to anode quality. The bio-pitch properties will be modified by changing pyrolysis conditions and using additives as well as blending with coal-tar-pitch. This study involved the investigation of anodes produced using bio-pitch as the binder. Moreover, the differences in the textures of carbonized bio-pitch as well as the interface between the bio-pitch binder and coke particles in anodes will be compared with traditional anodes. Furthermore, the structure of carbonized binders (coal-tar-pitch and bio-pitch) will be related to anode properties.

Effet du soufre sur la réactivité des anodes en carbone
Effect of sulphur on carbon anode reactivity

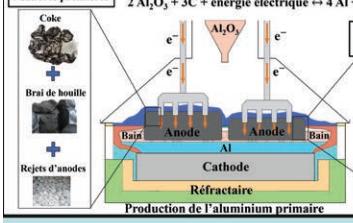
Belkacem Amara
Université du Québec
à Chicoutimi

D. Kocaefe - UQAC
Y. Kocaefe - UQAC
D. Bhattacharyay - UQAC
P. Coulombe -
Aluminerie Alouette Inc.

Introduction et problématique

Matières premières

$2\,Al_2O_3 + 3C + \text{énergie électrique} \leftrightarrow 4\,Al + 3\,CO_2$



Production de l'aluminium primaire

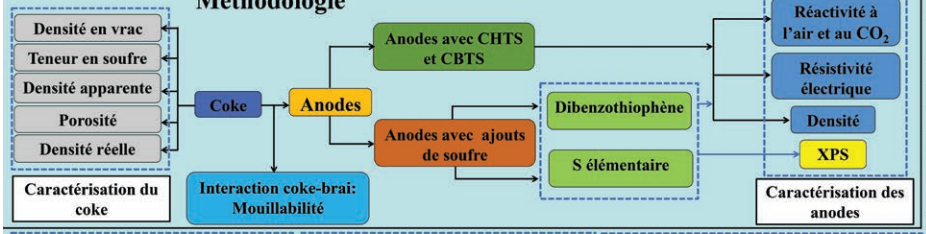
$O_2 + 2C = 2\,CO$
ou
$O_2 + C = CO_2$
$CO_2 + C = 2\,CO$

- La réactivité des anodes peut être affectée par plusieurs paramètres comme température de cuisson, température de calcination du coke et la qualité du brai aussi bien que la quantité et le type des impuretés.
- La présence d'impuretés (Na, Fe, V, Ni et Ca) cause une surconsommation de l'anode, ce qui réduit sa durée de vie,
- **Le soufre est un inhibiteur des réactions catalytiques des impuretés métalliques.**

Objectifs

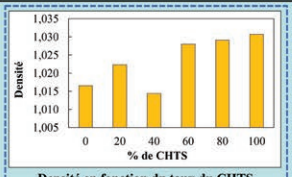
- Faire une étude comparative entre deux séries d'anodes de laboratoire: a) anodes fabriquées avec un mélange de deux coke CHTS (coke de haute teneur en soufre) et CBTS (coke de basse teneur en soufre), b) anodes fabriquées uniquement avec du CBTS auquel du soufre élémentaire ou du DBT (dibenzothiophène) est ajouté;
- Étudier l'effet du soufre sur la réactivité à l'air et au CO_2 des anodes précuites;
- Déterminer l'effet de la forme du soufre ajouté sur les différentes propriétés des anodes.

Méthodologie

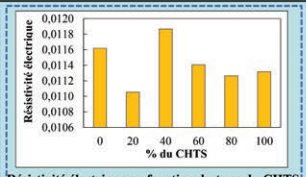


Résultats et discussion

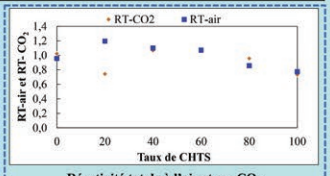
Propriété \ Coke	CHTS	CBTS
Densité réelle	1,35	1,37
Densité apparente	1,04	0,90
Densité en vrac	0,55	0,53
Porosité (%)	21,31	32,41
Teneur en soufre (%)	3,34	0,73
Angle de contact à t=1200 s (°)	37	58



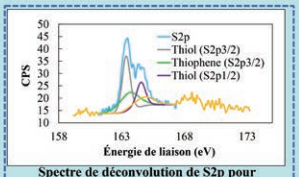
Densité en fonction du taux du CHTS



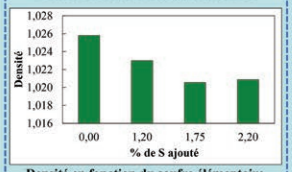
Résistivité électrique en fonction du taux du CHTS



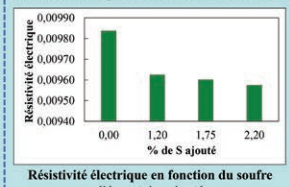
Réactivité totale à l'air et au CO_2



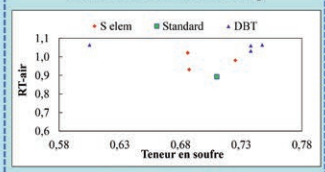
Spectre de déconvolution de S2p pour l'échantillon de l'anode standard



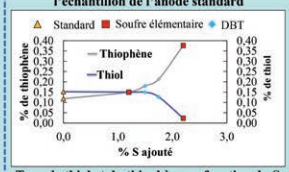
Densité en fonction du soufre élémentaire ajouté



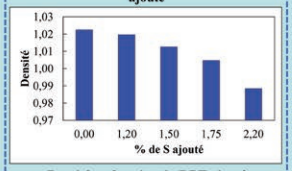
Résistivité électrique en fonction du soufre élémentaire ajouté



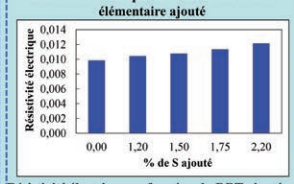
Réactivité totale à l'air



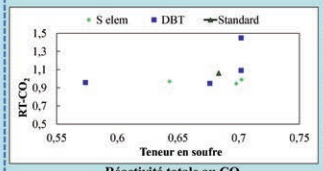
Taux de thiol et du thiophène en fonction du S ajouté



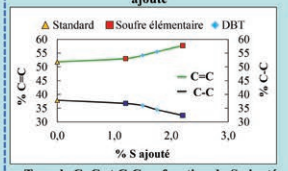
Densité en fonction du DBT ajouté



Résistivité électrique en fonction du DBT ajouté



Réactivité totale au CO_2



Taux de C=C et C-C en fonction du S ajouté

Densité | Résistivité électrique | Réactivité à l'air et au CO_2 | XPS

Conclusions

Ce projet consiste à étudier l'effet du soufre sur la réactivité des anodes en carbone. Pour cela, nous avons examinés deux types de coke ayant des teneurs en soufre différentes. Plusieurs tests ont été réalisés dans le but de déterminer toutes les paramètres ayant un effet sur la réactivité. Ces résultats montrent que le soufre modifie la réactivité en agissant sur l'interaction coke-brai et sur l'effet catalytique des impuretés métalliques. Le soufre, quelque soit sa forme, cause une modification chimique de certains composants de l'anode d'après les résultats de l'XPS. Des tests similaires nécessitent d'être effectués sur des anodes industrielles pour pouvoir généraliser ces résultats.

Remerciements

Nous remercions pour:
- Le support technique et financier de l'Aluminerie Alouette Inc., et
- Les soutiens financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), du Développement Économique Sept-Îles, de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), et de la Fondation UQAC (FUQAC).

La réactivité des anodes peut être affectée par plusieurs paramètres comme la température de cuisson, la température de calcination du coke, la qualité du brai aussi bien que la quantité et le type des impuretés. La présence d'impuretés (Na, Fe, V, Ni et Ca) cause la surconsommation des anodes, ce qui réduit leur durées de vie dans la cuve. Il est bien connu qu'une teneur en soufre suffisante permet d'inhiber partiellement les réactions catalytiques conduisant à cette surconsommation. Ce projet consiste à étudier l'effet du soufre sur la réactivité des anodes de laboratoire en carbone. Pour cela, nous avons examiné deux types de coke ayant des teneurs en soufre différentes. Plusieurs tests ont été réalisés dans le but de déterminer les paramètres ayant un effet sur la réactivité. Ces résultats montrent que le soufre modifie la réactivité d'anode en agissant sur l'effet catalytique des impuretés métalliques. D'après les résultats obtenus par XPS, le soufre, quel que soit sa forme, cause une modification chimique de certains composants de l'anode. Des tests similaires nécessitent d'être effectués sur des anodes industrielles pour pouvoir généraliser ces résultats.

The reactivity of anodes can be affected by several parameters such as baking temperature, coke calcination temperature, the quality of the pitch as well as the quantity and the type of impurities. The presence of impurities (Na, Fe, V, Ni and Ca) causes overconsumption of the anodes, reducing their life inside cells. It is well-known that a sufficient amount of sulfur makes it possible to inhibit partially the catalytic reactions leading to this overconsumption. This project focuses on studying the effect of sulfur on the reactivity of laboratory carbon anodes. Two types of coke with different sulfur contents were investigated. Several tests were carried out in order to determine the parameters which have an effect on the reactivity. The results show that sulfur modifies the anode reactivity by reducing the catalytic effect of the metallic impurities. According to XPS results, sulfur, regardless of its form, chemically modifies certain components of the anode. Similar tests need to be carried out on industrial anodes in order to generalize these results.

Utilisation du charbon de bois densifié dans les anodes de carbone
Densified charcoal for anodes in aluminum industry

Asem Hussein
Université Laval

H. Alamdari - UL
D. Ziegler - Alcoa
J. Tessier - Alcoa

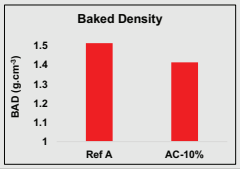
Introduction

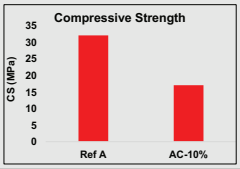
In aluminum industry, calcined petroleum coke is considered as the major component in anode recipe. There is a trend of falling quality of petroleum coke as the level of impurities is increasing. Wood charcoal is an attractive alternative for petroleum coke in production of carbon anode. However, using charcoal in anode production is a big challenge since it does not meet the specifications required for anode making. In this work, densified charcoal was used to replace 10% of coke in the anode recipe. The final anode properties were measured and compared with reference anodes.

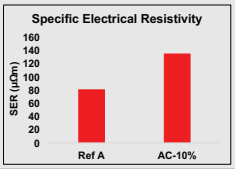
Conventional wood charcoal in anode recipe

Conventional charcoal is produced industrially by pyrolysis of wood at 450 ºC. Using this material in the anode recipe resulted in general deterioration in the density, electrical and mechanical characteristics of the produced anode [1-3].







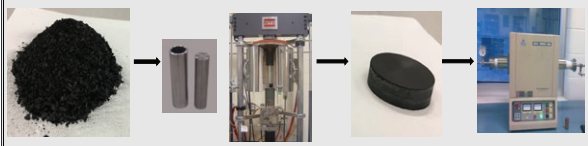


Objectives

- ❑ To increase the density of charcoal in order to improve its strength and electrical conductivity.
- ❑ To use the densified charcoal to partially replace coke particles in the anode recipe.

Methodology

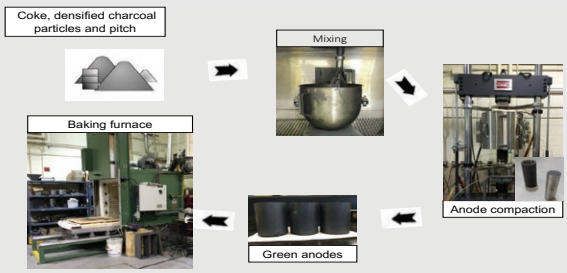
❑ Charcoal densification



Raw charcoal — Densification — Charcoal pellet — Calcination

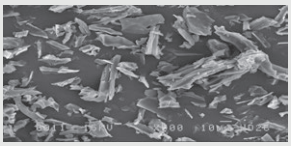
➢ Charcoal pellets were crushed then classified according to their particle size. These particles were used to replace 10% of coke in the anodes recipe.

❑ Production of anodes containing densified charcoal particles

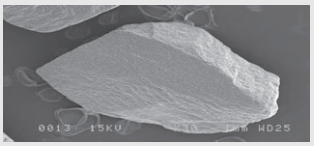


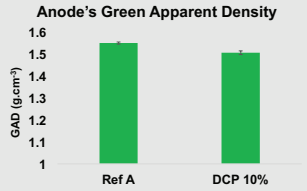
Results

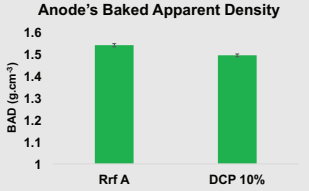
Raw charcoal

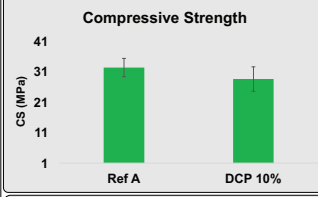


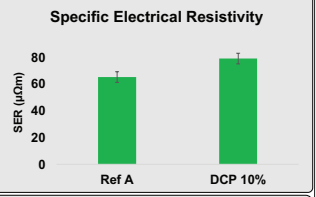
Densified charcoal











Conclusions

- ❑ Densified charcoal particles have better density and mechanical properties than the raw charcoal.
- ❑ Anodes containing densified charcoal showed better density, electrical and mechanical properties comparing to those containing raw charcoal.

References

[1] Monsen, Bodil E.; Ratvik, Arne Petter; Lossius, Lorentz Petter Light Metals 2010 Pages: 929-934.
[2] Asem Hussein, Mario Fafard, Donald Ziegler, Houshang Alamdari, Effects of charcoal addition on the final properties of carbon anodes, Metals 2017, 7 (3), 98.
[3] Asem Hussein, Faical Larachi , Donald Ziegler, Houshang Alamdari, Effects of heat treatment and acid washing on properties and reactivity of charcoal, Biomass and Bioenergy 2016 (90) 101-113.

La réactivité des anodes peut être affectée par plusieurs paramètres comme la température de cuisson, la température de calcination du coke, la qualité du brai aussi bien que la quantité et le type des impuretés. La présence d'impuretés (Na, Fe, V, Ni et Ca) cause la surconsommation des anodes, ce qui réduit leur durées de vie dans la cuve. Il est bien connu qu'une teneur en soufre suffisante permet d'inhiber partiellement les réactions catalytiques conduisant à cette surconsommation. Ce projet consiste à étudier l'effet du soufre sur la réactivité des anodes de laboratoire en carbone. Pour cela, nous avons examiné deux types de coke ayant des teneurs en soufre différentes. Plusieurs tests ont été réalisés dans le but de déterminer les paramètres ayant un effet sur la réactivité. Ces résultats montrent que le soufre modifie la réactivité d'anode en agissant sur l'effet catalytique des impuretés métalliques. D'après les résultats obtenus par XPS, le soufre, quel que soit sa forme, cause une modification chimique de certains composants de l'anode. Des tests similaires nécessitent d'être effectués sur des anodes industrielles pour pouvoir généraliser ces résultats.

The reactivity of anodes can be affected by several parameters such as baking temperature, coke calcination temperature, the quality of the pitch as well as the quantity and the type of impurities. The presence of impurities (Na, Fe, V, Ni and Ca) causes overconsumption of the anodes, reducing their life inside cells. It is well-known that a sufficient amount of sulfur makes it possible to inhibit partially the catalytic reactions leading to this overconsumption. This project focuses on studying the effect of sulfur on the reactivity of laboratory carbon anodes. Two types of coke with different sulfur contents were investigated. Several tests were carried out in order to determine the parameters which have an effect on the reactivity. The results show that sulfur modifies the anode reactivity by reducing the catalytic effect of the metallic impurities. According to XPS results, sulfur, regardless of its form, chemically modifies certain components of the anode. Similar tests need to be carried out on industrial anodes in order to generalize these results.

Modèle de réaction à échelle multiple pour les réactions de gazéification des anodes de carbone
Multi Scale Reaction Model For Gasification Reactions Of Carbon Anodes

1. Introduction & Problem Statement

electrolysis reaction in the Hall-Heroult process

$$2\,Al_2O_3(diss)+3C(s)\rightarrow 4\,Al(m)+3CO_2(g)$$

Air reactivity

Chemical reaction,
$C + O_2 \rightarrow CO_2$
Mass transport of O_2
(Diffusion)

CO_2 reactivity

•Chemical reaction,
$C + CO2 \rightarrow 2\,CO$
•Mass transport of CO_2
(Diffusion + Convection)

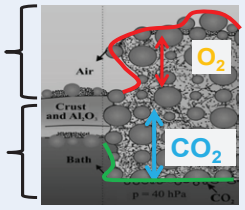


Figure 1: schematic of anode reactivity [4]

2. Objectives

- The anode overconsumption is controlled by chemical reaction and mass transport phenomenon (diffusion and convection)
- Modeling the gasification reaction of anode with CO_2
- Identifying the limiting phenomena
- Optimizing the model parameters

3. Methodology

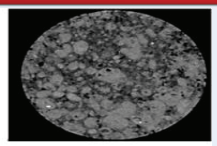


Figure2.Global image; Slices in the middle of anode(SEM)

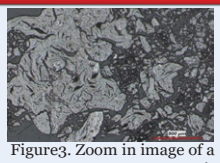


Figure3. Zoom in image of a particle in the anode(SEM)

The structure considered as a a bed of particles. Here, the porosity inside the particle represent the small pores, the voids between the particles represents the large pores.

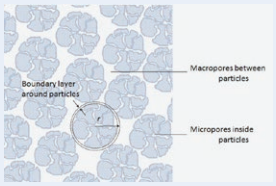


Figure4. schematic of the macro and micro pores in the anode

Multi scale model

Species transport and reaction occur in dimensions of different orders of magnitude

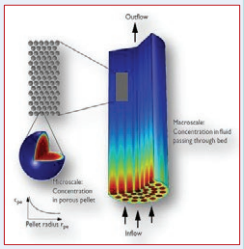


Figure 5. multi scale model illustration

Mass balance in the bed;

$$\varepsilon_b \frac{\partial C_i}{\partial t} + u.\nabla C_i + \nabla.(-D_b \nabla C_i) = R_i$$

Mass balance in a spherical particle;

$$\frac{\partial C_p \varepsilon_p}{\partial t} = \nabla.(D_p.\nabla C_p) - R_p$$

Energy balance in the bed

Solid phase

$$(1-\varepsilon_b)(\rho_p c_p)\frac{\partial T}{\partial t} = (1-\varepsilon_b)\nabla.(k_s \nabla T) + (1-\varepsilon_b)\rho_p \sum \Delta H_{r,i} R_i$$

Gas phase

$$\varepsilon_b (\rho c_p)_g \frac{\partial T}{\partial t} + (\rho c_p)_g u.\nabla T = \varepsilon_b \nabla.(k_g \nabla T)$$

Energy balance in a particle

$$(1-\varepsilon_p)(\rho_p c_p)\frac{\partial T}{\partial t} = (1-\varepsilon_p)\nabla.(k_s \nabla T) + (1-\varepsilon_p)\rho_p \sum \Delta H_{r,i} R_i$$

Momentum balance

$$\frac{\partial(\varepsilon\rho)}{\partial t} + \nabla.(\rho u) = 0 \quad u = \frac{-K}{\mu}\nabla P \quad K = \frac{196.\varepsilon^3}{S^2(1-\varepsilon)^2}$$

CO_2 reactivity

Reaction of carbon anode by CO_2-960 ^{0C}

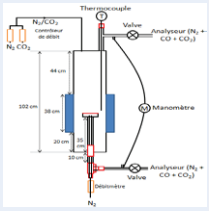


Figure 5. schematic of anode reactivity manipulation

4. Results and discussion

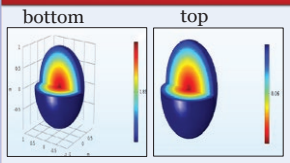


Figure 6: CO_2 concentration in a particle

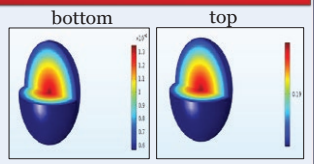


Figure 7: CO concentration in a particle

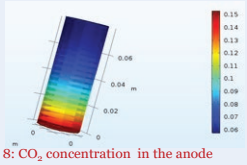


Figure 8: CO_2 concentration in the anode

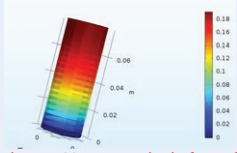


Figure 9: CO concentration in the anode

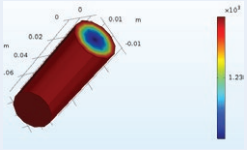


Figure10.Temperature distribution

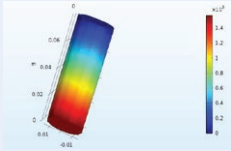


Figure11.Pressure distribution

Distribution of structural parameters;

- Volume fraction of large pores in the bed ε_b (0.4- 0.42)
- Volume fraction of small pores in particles ε_p (0.25-0.29)
- Bed permeability K, specific surface area, and
- chemical reaction constants can be obtained

5. Conclusions & Future works

- and multi scale model has been done
- ε, K, D, C_{co2} 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.
- Doing CO_2 reactivity test
- Validation of Experimental work by models

6. 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 Paste Relationships To Improve Forming Process And Anode Quality, Thèse, Laval university, 2013
[4] F. Habashi, "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

METRA ALUMINIUM

Mohammad Kavand
Université Laval

D. Ziegler - Alcoa
H. Alamdari - UL

Dans ce contexte, un modèle de réaction multi-échelle a été développé pour la gazéification anodique. La masse différentielle, la conservation de la chaleur et des équations de momentum ont été utilisées pour décrire cette réaction. Le défi est que le transport et la réaction des espèces se produisent dans des dimensions de différents ordres de grandeur et que la structure poreuse se déroule dans les deux échelles d'anode (grand domaine et petit domaine de particules) pendant la conversion. La concentration de gaz et la conversion solide ont été calculées à n'importe quel position et temps. ε, K, D, C_{co} sont plus élevés en bas et sur les côtés de l'anode. Les résultats montrent que la vitesse de réaction sur les côtés de l'anode est plus élevée et est conforme aux conditions industrielles. Cela peut être dû aux phénomènes de dépoussiérage.

In the context of this work, a multi scale reaction model has been developed for anode gasification. differential mass, and heat conservation. Momentum equations were also used to describe this reaction, The challenge is that the transportation of the species and their reactions occur on scales of different orders of magnitude and the change in porous structure take place in the two scales of the anode (large domain and particle small domain) during conversion. Gas concentrations and solid conversions were calculated at various positions and times. ε, K, D, C_{co} are higher at the bottom and sides of the anode. The results shows that reaction rate at the sides of the anode are higher and the results are in agreement with industrial conditions. This can be because of dusting phenomena.

Caractérisation des anodes de carbone protégées par de très faibles teneurs en bore

Characterization of carbon anode protected by low boron level

Ramzi Ishak
Université Laval

G. Laroche - UL
J-F. Lamonier - UCCS, Université de Lille
D. Ziegler - Alcoa
H. Alamdari - UL

1. Introduction

Oxidation of carbon anode with air and CO_2 occurs during the electrolysis of alumina in Hall-Héroult cell, resulting in a significant overconsumption of carbon and dusting. Boron is well known to decrease the rate of this reaction for graphite.

2. Objectives

- To investigate boron efficiency as inhibitor of air reaction of baked anode.
- To identify the protection mechanism: **physical or chemical protection?**

3. Materials and method

- Anode particles were impregnated in a solution of boric acid with two different concentrations (62 and 312 ppm of boron).
- TGA analyses were performed on the impregnated anode particles under chemical regime in order to evaluate the kinetic parameters of the reaction.
- ToF-SIMS Surface analyses were performed to identify chemical forms of boron on the anode.

4. Results and discussion

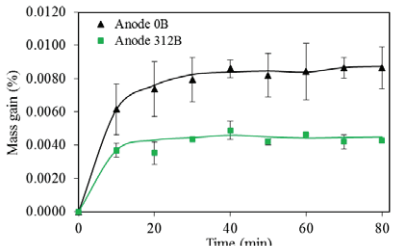
Results from the application of Arrhenius formula to the three samples at 20% of gasification

Sample	Activation Energy (kJ/mol)	Pre-exponential factor, ln A	Correlation coefficient
Anode 0B	156	19.1	0.9999
Anode 62B	156	18.8	0.9995
Anode 312B	148	17.3	0.9995

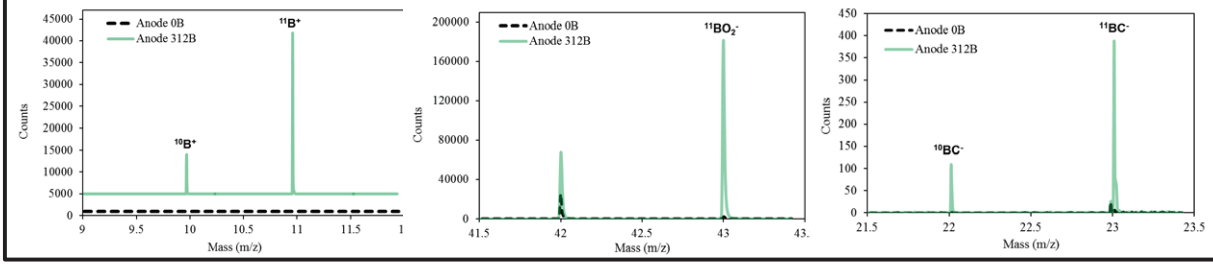
Specific Surface Area (BET Method) of untreated anode and anode 312B samples before and after the TGA Experiments

Conditions	Specific Surface Area (m^2/g)	
	Anode 0B	Anode 312B
Dried sample	14.2 ± 0.1	5.8 ± 0.6
HT at 525 °C	13.4 ± 0.2	12.5 ± 0.3

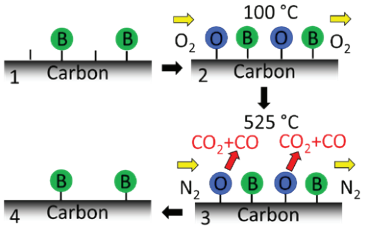
Mass gain as a function of reaction time (under pure O_2) of the anode 0B and anode 312B samples



Partial positive and negative ToF-SIMS spectra of the anode 0B sample (dashed line) and anode 312B sample (green line)



Blocking carbon active sites



5. Conclusions

- ✓ **The kinetic analysis revealed that when the boron loading increases, the pre-exponential factor decreases, indicating that the rate of interactions between oxygen and the carbon active sites decreases.**
- ✓ **TGA analyses confirm ToF-SIMS analysis results, showing the decrease in oxygen adsorption on the treated anode.**
- ✓ **The presence of boron–carbon interactions (BC^- ions) on the impregnated samples is a strong indication that the carbon sites are occupied by boron, preventing their participation in oxidation reactions.**

Plusieurs réactions chimiques sur les anodes de carbone ont lieu lors de l'électrolyse de l'alumine dans le procédé Hall-Héroult, engendrant une surconsommation importante du carbone anodique. L'oxydation du carbone avec l'oxygène de l'air est l'une de ces réactions. Cette réaction peut être inhibée en appliquant des couches protectrices sur l'anode, réduisant ainsi la consommation du carbone. L'imprégnation par le bore semble être un bon inhibiteur de cette réaction. Dans cette étude, une très faible teneur en bore a été imprégnée sur des anodes (62 et 312 ppm), puis ont été caractérisées en utilisant de nombreux instruments analytiques (Raman, DRX, XRF et ATG) afin de comprendre le mécanisme de protection. Des tests de réactivité à l'air des anodes imprégnées de bore ont été effectués à des températures entre 400 et 600 °C. Les analyses thermo-gravimétriques (ATG) ont révélé que le nombre total d'interactions entre les atomes d'oxygène et les sites actifs du carbone ont été réduits par rapport à l'anode non protégée, diminuant ainsi le facteur pré-exponentiel dans la loi d'Arrhenius. La spectrométrie de masse ionique secondaire du temps de vol (ToF-SIMS) a été utilisée comme méthode de caractérisation de surface car celle-ci est extrêmement sensible et ce, dans le but d'identifier les espèces chimiques de l'élément bore sur l'anode. Il a été confirmé que le bore bloque les sites actifs de carbone en créant des liaisons bore-carbone (BC), réduisant ainsi la réaction chimique entre le carbone et l'oxygène.

Several chemical reactions occur during the electrolysis of alumina in the Hall-Héroult process resulting in a significant overconsumption of carbon anodes. Carbon oxidation with oxygen is one of these reactions. The inhibition of this reaction by applying protective layers on the anode can be an effective technique to reduce carbon consumption. Boron impregnation was shown to suppress this reaction. In this study, very low boron content has been deposited onto the anode and several characterization methods have been performed to understand the protection mechanisms of such low boron concentrations during the oxidation reaction of anodes. An air reactivity test of boron-impregnated anodes has been performed at temperatures between 400-600 °C. The samples were characterized using Raman spectroscopy, XRD, XRF, porosimetry, and thermogravimetric analysis (TGA). TGA analysis revealed that the total number of interactions between oxygen atoms and carbon active sites were reduced, decreasing the pre-exponential factor. Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry (ToF-SIMS) has been employed as a highly sensitive surface characterization method to identify chemical forms of boron on the anode. It has been confirmed that boron blocks active sites of carbon by creating boron-carbon bonds, thus reducing the interaction of carbon active sites with oxygen.

Développement d'un dispositif pour la mesure de la dissolution de l'alumine
Development of an experimental setup for the study of alumina dissolution

Problématique

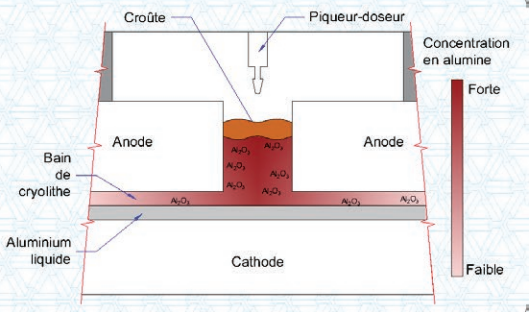
Lors de la production d'aluminium, la répartition aléatoire de la concentration d'alumine dans la cuve influence la productivité et le rendement du procédé Hall-Héroult. L'homogénéisation de la concentration devient donc un enjeu de taille et dépend du taux de dissolution de l'alumine.

Objectif

Développer un appareil capable d'évaluer le taux de dissolution de l'alumine dans un bain de cryolithe.

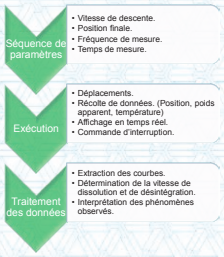
Méthode

Suivi du taux de dissolution par la mesure en continue du poids apparent d'un échantillon plongé dans le bain.



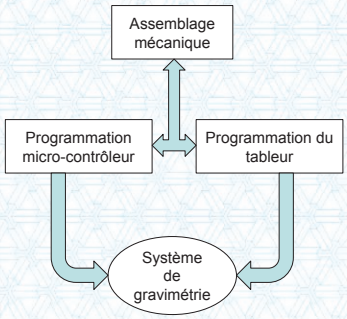
Fonctionnement

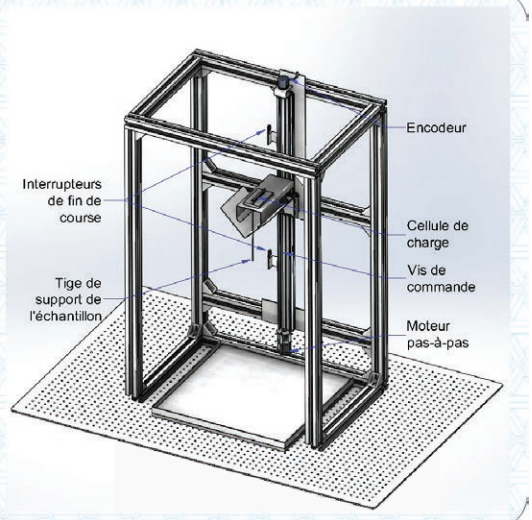
L'appareil développé permet de suivre en temps réel la perte de poids apparent d'un échantillon plongé dans un bain de cryolithe. La courbe ainsi obtenue démontre le poids apparent en fonction du temps ou de la position. Cette relation contient plusieurs informations, dont le taux de dissolution de l'alumine.



Conception

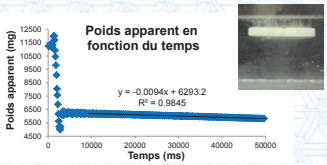
La confection du système de mesure a nécessité l'harmonisation des systèmes mécaniques et électroniques, tout en assurant la communications entre le micro-contrôleur et le tableur.





Résultats prélimminaires

Les résultats prélimminaires démontre qu'il est possible de suivre le poids apparent d'un échantillon lors de sa dissolution.





Conclusion

À la lueur des résultats obtenus, la méthode de gravimétrie pourrait nous permettre de caractériser les mécanismes de dissolution de l'alumine. De plus, elle nous aidera à identifier les paramètres et conditions optimales à cette réaction.

Remerciements

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

Travaux futurs

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

Jonathan Alarie
Université du Québec à Chicoutimi

L. I. Kiss - UQAC
S. Poncsák - UQAC
C. K. Kaszás - UQAC
T. Roger - UQAC

La performance des cuves d'électrolyse dépend directement de la concentration d'alumine dans le bain. Il est important de pouvoir déterminer les conditions influençant la dissolution de la matière première injectée dans le procédé. À cette fin, nous avons développé un appareil capable de suivre la variation du poids apparent de l'alumine dans un bain de cryolithe. Cet appareil utilise donc un microcontrôleur dans le but de contrôler le système et d'acquérir les données de position, de poids apparent, de temps et de température. Ainsi, il est possible d'envoyer des paramètres de déplacements (vitesse de déplacement et position finale), de fréquence de mesure (temporelle ou positionnelle) et de temps d'arrêt à une position. Ces informations sont envoyées au microcontrôleur via le tableur. Par la suite, l'appareil effectue les opérations des séquences de paramètres et enregistre les données, pour finalement les retourner au tableur. Le résultat final consiste en une courbe de variation du poids apparent en fonction du temps ou de la position, selon les paramètres et conditions étudiées.

The performance of electrolysis cells depends on the alumina concentration in the bath. To improve pot operation, it is important to know the conditions influencing alumina dissolution. To achieve this goal, we developed an experimental device that can follow the variation of the apparent weight of alumina in a cryolite bath. The apparatus and the measurement process is controlled by a microcontroller that collects data of apparent weight, time, position and temperature to compile them in a spreadsheet. To operate this unit, we simply send parameters of the path follow (such as speed and final position), measurement frequency (time or position) and waiting time at a specific position. This information is sent to the microcontroller by a spreadsheet. After that, the device begins to execute the command sequence and log data, to finally send them back to the spreadsheet. Final results are presented in the form of an apparent weight curve as a function of time or position.

Fabrication et optimisation de la méthodologie de production d'échantillons d'anodes en carbone

Making and optimization of the methodology for the production of carbon anode samples

Alexis Gateau-Bégin
Université Laval

B. Chen - UL
S. Zaglafi - UL
M. Fafard - UL
D. Picard - UL
D. Ziegler - Alcoa

Introduction

- Le Canada est le troisième plus grand producteur d'aluminium primaire au monde avec 2,8 millions de tonnes en 2014 [1]
- Son procédé de fabrication demande beaucoup d'énergie, soit environ 13,5 MWh par tonne. [2]
- Des simulations numériques doivent être réalisées afin d'optimiser l'efficacité énergétique de ce procédé nommé *procédé Hall-Héroult*
- Les propriétés mécaniques des matériaux de ce procédé doivent préalablement être déterminées en laboratoire

La pâte d'anode

La pâte d'anode est constituée de sept différentes fractions de granulats de coke de pétrole calciné. Le diamètre maximal des fragments varie de 0 à 4,7 mm. De la brai de goudron de houille est ajouté au mélange et agit comme liant. Dans le procédé Hall-Héroult, les anodes en carbone agissent à titre d'électrode positive. Comme elles se font consommer pendant la réaction d'électrolyse de l'aluminium, elles doivent être remplacées après 25-30 jours d'utilisation.

Fabrication des échantillons

1. Les granulats sont concassés à l'aide d'un broyeur à rouleau puis séparés en six fractions
2. Une certaine proportion de chaque fraction est chauffée dans un four à 180 ºC pendant 4 h 30 min
3. Après ce temps, le goudron est ajouté au mélange et chauffé durant 30 min supplémentaires, puis malaxé pendant 10 min
4. Le mélange est finalement transféré vers un réchaud
5. Une vis sans fin achemine le mélange dans un moule ou il est compacté à l'aide d'une dame Proctor

Résultats

- Modification de la méthodologie :
  - Augmentation du temps de compactage
  - Diminution du taux d'alimentation de la vis sans fin
  - Diminution de la quantité initiale de mélange
- Fabrication d'échantillons :
  - 6 échantillons non conformes
  - 11 échantillons conformes



Objectifs

- Fabriquer des échantillons d'anodes en carbone afin qu'ils puissent ensuite être analysés
- Vérifier la masse volumique apparente moyenne des échantillons
- Vérifier la distribution de la masse volumique apparente
- Modifier la méthodologie de fabrication des échantillons s'ils ne sont pas conformes





- Four
- Moteur
- Réchaud
- Vis sans fin
- Dame Proctor
- Four

Conclusion

Afin d'évaluer certaines propriétés physiques des anodes en carbone présentes dans les cuves d'électrolyse de l'aluminium, une dizaine d'échantillons représentatifs ont été produits en laboratoire. Leur méthodologie de fabrication qui avait été développée antérieurement dans le cadre d'un projet de recherche a été modifiée. Ces échantillons pourront être analysés et les données récoltées permettront de réaliser des simulations numériques qui aideront à optimiser l'efficacité énergétique du procédé Hall-Héroult.

Références
[1] Minéral Info. (s.d.). BE3M. Récupéré sur Minéral Info : Le portail français des ressources minérales non énergétiques: www.mineralinfo.fr/be3m/graph
[2] Kvande, Halvor, and Warren Haupin. "Inert anodes for Al smelters: Energy balances and environmental impact." Jom 53.5 (2001): 29-33.

Afin de bien évaluer le comportement des anodes de carbone dans les cuves d'électrolyse lors du procédé Hall-Héroult, leurs propriétés mécaniques doivent être étudiées sur des échantillons façonnés en laboratoire. Ces données expérimentales permettront d'effectuer des simulations numériques qui serviront à optimiser l'efficacité énergétique du procédé de production de l'aluminium primaire. Pour assurer leur représentativité, les échantillons doivent avoir une masse volumique apparente uniforme et comparable à celle des anodes de grandeur réelle. Le but de ce projet est donc de confectionner des échantillons d'anodes en carbone qui seront par la suite caractérisés dans le cadre d'un autre projet étudiant. Les échantillons sont produits selon une méthodologie qui consiste à cuire un mélange de différentes fractions de granulats de coke de pétrole calciné et de brai de goudron de houille et de l'acheminer vers un moule cylindrique où le mélange est compacté à l'aide d'une dame Proctor. La masse volumique apparente de l'échantillon est ensuite déterminée par tomographie axiale calculée aux rayons X et la méthodologie est modifiée si le résultat n'est pas adéquat. Le projet a permis de produire une dizaine d'échantillons convenables après optimisation de la méthodologie.

In order to evaluate the behaviour of carbon anodes inside electrolysis tanks during the Hall-Heroult process, the mechanical properties of laboratory samples must be analyzed. These experiments will provide data to be used in constructing numerical models that will help optimize the energetic efficiency of primary aluminum production processes. To ensure the representativeness of these samples, they must have a uniform apparent density comparable to that of the full-scale anodes. The goal of this project is thus to fabricate carbon anode samples which will be characterized as part of a master's study. The sample production methodology has been partially developed and consists of baking a mixture of various calcined coke aggregate fractions and coal tar pitch and to put the mixture into a cylindrical mould where the mixture is compacted using a Proctor hammer. The apparent density of the samples is then obtained using X-ray computed tomography and the methodology is modified if the apparent density is not suitable. This project produced eleven good samples after optimisation of the methodology.

AXE 2

Transformation et applications

Tranformation and applications



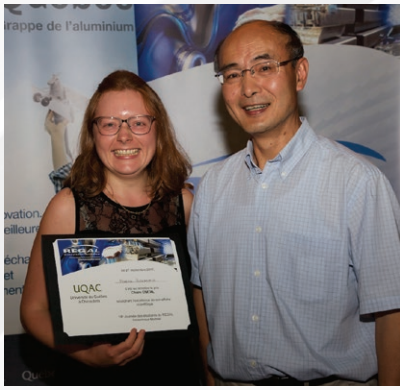
Prix Relève remis à Tommy Gélinas



Prix Chaire Mace3 remis à Claudia Hodonou



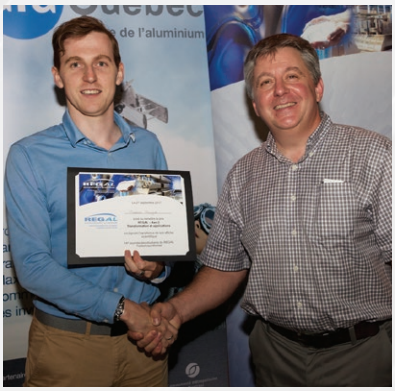
Prix Axe 1 remis à Mounir Baiteche



Prix Chaire CIMTAL remis à Marina Pushkareva



Prix Axe 2 ex aequo remis à Hadi Ghazanfari



Prix Axe 2 ex aequo remis à Pierre Heugue



Prix Cural remis à Samantha Rudinsky



Prix de participation remis à Cassandra Bayan

Étude de pré-faisabilité : convertir une pièce forgée vers une pièce moulée en sable

Pre-feasability study for the conversion or a forging to a sand casting

Tommy Gélinas
Collège de Trois-Rivières

B. Duchesne - Collège de Trois-Rivières
B. Tougas - Centre de Métallurgie du Québec
L. Hénault - Motion Composites

Prix de la relève
Next generation Award

MISE EN SITUATION

La compagnie Motion Composites fabrique des fauteuils roulants parmi les plus légers au monde. Les pièces de ces fauteuils sont composées de fibre de carbone et d'alliage d'aluminium de qualité aéronautique. La pièce faisant l'objet de cette étude est un ajusteur de hauteur du siège. L'ajusteur est fabriqué à partir d'un alliage d'aluminium 6061T6 forgé et usiné par contrôle numérique.



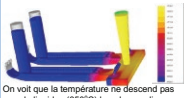


OBJECTIF

Le but ultime de ce travail est d'obtenir un ajusteur de hauteur du siège en A206.0 par le procédé de moulage au sable dont les propriétés mécaniques de limite élastique sont comparables à celles du 6061T6 soit 280 MPa et d'au moins 8% d'allongement à la rupture. Ce travail étant réalisé à l'intérieur d'un cadre académique, nous le compléterons par une étude métallurgique approfondie.

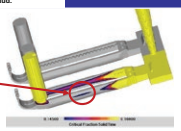
PREMIÈRE ITÉRATION

Remplir la cavité. Espérer que les pièces ne fissurent pas à chaud.



On voit que la température ne descend pas sous le liquidus (650ºC) lors du remplissage

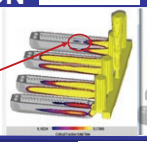
Premiers résultats: La moyenne des limites élastiques sur 12 éprouvettes traitées à l'état T4 est de 240MPa donc légèrement faible et les allongements sont inférieurs à 3%. Explication possible: La progression de la fraction critique solide laisse des zones non alimentées donc présentant des retraits de solidification.

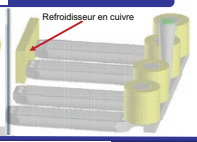


SECONDE ITÉRATION

Mettre en évidence l'influence d'un refroidisseur en cuivre

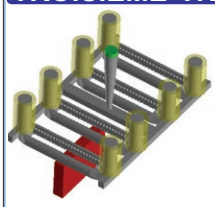
Les limites élastiques et les %A ont légèrement augmenté (277MPa et 7,1%) mais les résultats sont toujours inférieurs aux attentes. La simulation numérique nous montre que le refroidisseur a joué son rôle mais des zones, mises en évidence par l'évolution de la fraction critique solide, demeurent mal alimentées.





TROISIÈME ITÉRATION

Mettre en évidence l'influence d'un nouvel emplacement du refroidisseur en cuivre ainsi qu'un nouveau système d'alimentation



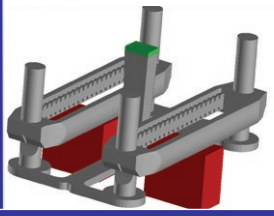
T4	Le (MPa)	Rm (MPa)	%A
Avec refroidisseur	277	370	8,7
Sans refroidisseur	277	357	7,1

Pour le plaisir, un traitement thermique T7 a été réalisé, comme prévu par l'équation du "Tensile potentiel" **TP (MPa) = Le (MPa) + 260 Log A(%)** on y perd de l'allongement. Ici Le TP avec refroidisseur est de 520MPa.

T7	Le (MPa)	Rm (MPa)	%A
Avec refroidisseur	350	383	4,8
Sans refroidisseur	357	380	3,3

QUATRIÈME ITÉRATION

Mettre en évidence l'influence d'une nouvelle approche d'alimentation: "vortex gating"



Étant donné la complexité du moulage, nous avons utilisé l'appareil de fabrication additive EXONE du CMQ

Le moule est composé de 4 parties. Le bassin de coulé est imprimé directement dans la 1er partie du moule.

On distingue, dans la 4e partie, l'entrée tangentielle qui engendre un vortex et fait perdre de l'énergie cinétique au métal liquide.

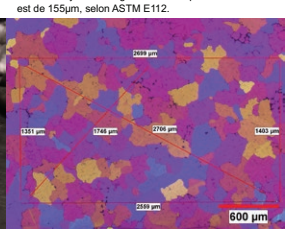


PRINCIPAUX RÉSULTATS

La pièce brut de coulée. Une poussée d'Archimède révèle qu'il y a 1,07% de vide dans les éprouvettes de traction.



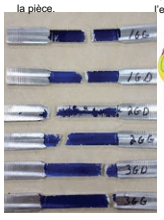
La taille moyenne des grains affectés par le refroidisseur est de 155µm, selon ASTM E112.



La radiographie se classe niveau 2 "Gas porosity" selon ASTM E155



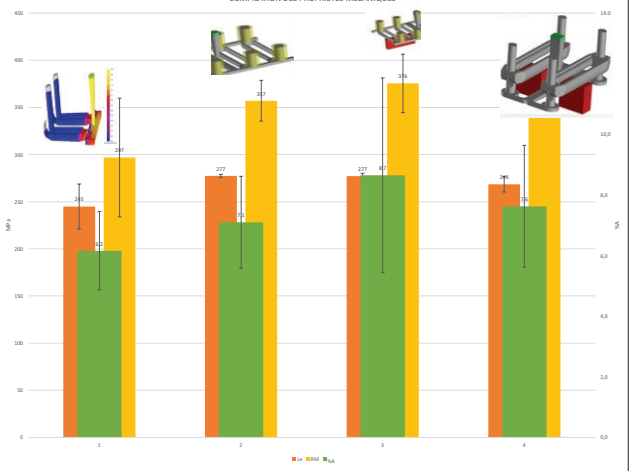
Barreaux typiques de traction excisés à même la pièce.



Extrait de la simulation de remplissage rehaussant l'effet vortex.



COMPILATION DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES



CONCLUSION

En se basant sur la limite élastique, ce projet démontre que l'on peut convertir une pièce forgée par un procédé moins coûteux qu'est la fonderie par moulage au sable. L'utilisation des refroidisseurs en cuivre est obligatoire si l'on veut atteindre les valeurs d'allongement à la rupture de 8%. Le procédé "vortex" pourtant prometteur n'apporte rien aux propriétés mécaniques. Un test statistique sur l'égalité des moyennes de l'allongement obtenu par le procédé "vortex" et le procédé conventionnel nous dit, avec 5% des chances de se tromper, que les 2 moyennes sont égales. Les prochaines étapes sont: optimisation du dessin de la pièce en profitant de toutes les libertés accordées par le procédé de fonderie; validation des propriétés mécaniques statiques; validation de la tenue en fatigue sur banc d'effort asservi.

Il s'agit d'une étude de préfaisabilité basée sur l'obtention de propriétés mécaniques similaires. Une pièce servant à ajuster le siège d'un fauteuil roulant est fabriquée par un procédé de forgeage à chaud, à partir d'un lopin en alliage d'aluminium 6061 T6. Ce projet vise à fabriquer cette pièce en alliage d'aluminium de type 206 par le procédé de moulage au sable.

This is a pre-feasability study based on obtaining similar mechanical properties. A part designed for adjusting a wheel chair seat is produced by hot forging an aluminum 6061 blank, which was subsequently subjected to a T6 heat treatment. This project aims at producing the same part in sand cast aluminium 206 T4.

Analyse dynamique des ponts à platelage d'aluminium sous l'effet des surcharges routières

Dynamic analysis of aluminum deck bridges under traffic loads

Samuel Petitclerc
Université Laval

C.-D. Annan - UL
M. Fafard- UL
F. A. Tchitembo Goma - UL

1 - Introduction

Divers projets d'étude s'intéressant à différents défis reliés à la conception et la mise en place d'un platelage d'aluminium extrudé dans les ponts sont en cours à l'Université Laval, et l'un de ces défis est de déterminer le comportement dynamique de ce nouveau matériau. Ce comportement est très important puisque les ponts sont soumis à diverses charges dynamiques, notamment le vent, les séismes et la surcharge routière. Afin de simplifier le processus de conception, la norme CAN/CSA S6-14 utilise diverses méthodes permettant de considérer ces charges dynamiques comme des charges statiques. Dans le cas de la surcharge routière, la manière de faire est de majorer la charge statique causée par les véhicules par un coefficient de majoration dynamique (CMD) pour prendre en compte les effets dynamiques dus aux déplacements des véhicules.

2 - Problématique

Les valeurs du CMD proposées par la norme canadienne se base sur des études réalisées sur des ponts en béton, en acier et en bois. Ces matériaux ont un comportement différent de l'aluminium en raison, entre autre, de leur poids plus élevé. Avant de pouvoir faire des conceptions de pont basées sur ces valeurs, il est impératif de vérifier qu'elles sont aussi applicables à un platelage d'aluminium extrudé.

3 - Objectifs

- Déterminer l'importance des effets dynamiques dus à la surcharge routière sur les ponts à platelage d'aluminium.
- Comparer les résultats obtenus avec les recommandations de la norme CAN/CSA S6-14 pour le coefficient de majoration dynamique et proposer des facteurs de correction si nécessaire.

4 - Méthodologie

Le coefficient de majoration dynamique se définissant comme la majoration devant être appliquée à une charge statique pour obtenir une réponse équivalente à la sollicitation dynamique, il est calculé selon l'équation 1

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

où R_{dyn} et R_{stat} sont respectivement la réponse dynamique et la réponse statique du système.
Pour obtenir ces réponses, des analyses par éléments finis seront réalisées en variant divers paramètres pour évaluer leur impact sur le CMD. Pour limiter le temps de calcul des analyses, des modèles simplifiés seront utilisés pour le véhicule et pour le pont.

Modélisation du camion

Le véhicule qui sera utilisé dans les analyses est basé sur le modèle de camion utilisé par Liu et al. (2002) et présenté à la Figure 1. Ce modèle possède actuellement 16 degrés de liberté et sera adapté pour se conformer au camion CL-625 prescrit dans la norme CAN/CSA S6-14. Ce modèle permet de prendre en compte la rigidité et l'amortissement du système de suspension du véhicule et des pneus au moyen de systèmes de ressort-amortisseur en série.

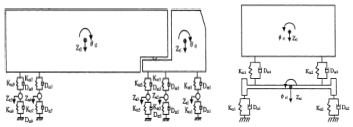


Figure 1 : Modèle de camion proposé pour le projet (Liu et al. 2002)

Modélisation du pont

La littérature regorge de méthodes de modélisation des platelage complexes, allant des modèles les plus simples, tel que la méthode du grillage, jusqu'aux plus complexes, où la forme réelle du platelage est modélisée, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients. Puisque le présent projet ne s'intéresse pas aux effets locaux mais bien au comportement global du platelage, la méthode des plaques orthotropes équivalentes a été retenue. Cette méthode permet de représenter un platelage complexe par une dalle pleine dans laquelle les propriétés du matériau sont ajustées pour obtenir le même comportement que le platelage réel. Cette transformation est illustrée par la Figure 2.

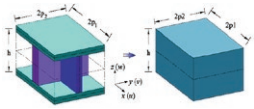


Figure 2 : Transformation du platelage réel en plaque orthotrope équivalente (Mandal et Chakrabarti 2015)

Facteurs ayant le plus d'influence sur le CMD

Une revue de la littérature a permis de cibler certains des facteurs semblant avoir le plus d'influence sur le CMD. L'importance des facteurs suivants sera donc évaluée dans le présent projet:

- La portée du pont;
- La vitesse de passage des véhicules;
- La rugosité de la surface de roulement; *
- Taux d'amortissement critique du pont.

* La rugosité de la surface sera générée de manière aléatoire au moyen d'une fonction de puissances de densité spectrale.

5 – Travaux futurs

Les prochaines étapes du projet consisteront à mettre en application les concepts ici présentés et à tenter de modéliser le véhicule et le pont de la manière la plus efficace possible, en trouvant un équilibre entre la précision des résultats et le temps de calcul.

6 - Références

Liu, C., Huang, D., et Wang, T.-L. 2002. « Analytical Dynamic Impact Study Based on Correlated Road Roughness ». *Computers & Structures*, **80**(20): 1639–1650.

Mandal, B., et Chakrabarti, A. 2015. « Equivalent Orthotropic Plate Model for Fibre Reinforced Plastic Sandwich Bridge Deck Panels with Various Core Configurations ». *Advances in Structural Engineering*. Springer, New Delhi. pp. 43–53.

L'introduction d'un platelage d'aluminium extrudé dans les ponts routiers présente de nombreux défis dus en grande partie aux connaissances limitées sur l'utilisation de l'aluminium comme matériel de construction dans le domaine du génie civil. L'un des domaines particulièrement importants où il existe un manque crucial d'information est l'étude du comportement dynamique de ces platelages. L'aluminium étant beaucoup plus léger que les matériaux traditionnels, il aura fort probablement un comportement dynamique différent de ces derniers suite à l'application des chargements dynamiques tels que les surcharges routières. L'approche utilisée par le Code canadien sur le calcul des ponts routiers (CAN/CSA S6-14) pour considérer les effets dynamiques des charges de véhicules consiste à appliquer un coefficient de majoration dynamique (CMD) à la charge statique produite par ces véhicules. Or, les valeurs proposées par la norme pour le CMD sont tirées de diverses études réalisées sur des ponts en béton, en acier et en bois. Avant d'utiliser ces valeurs pour une conception réelle de platelage en aluminium, il est donc impératif de les valider et de proposer des coefficients ou facteurs de correction, si nécessaire. Le présent projet se base donc sur des analyses par éléments finis pour évaluer la majoration des efforts due à l'effet dynamique des charges dans les ponts à platelage d'aluminium et l'influence sur cette augmentation de divers paramètres, tels la vitesse des véhicules, la portée du pont et l'état de la surface de roulement.

The introduction of aluminum decks made by extrusion in highway bridges comes with many challenges, largely due to the limited knowledge on the subject of aluminum as a construction material in civil engineering. One of the most important areas, which requires special attention, is the dynamic behavior of this type of deck, since aluminum is known to be much lighter than traditional materials and is therefore expected to behave differently under dynamic excitation such as moving traffic loads. The dynamic load allowance prescribed by the Canadian standard for bridge design, CAN/CSA S6-14, to account for dynamic effects of vehicle loads is based on several studies of the dynamic behavior of concrete, steel and timber bridges. For bridge decks made from extruded aluminum sections, it is therefore imperative to verify whether or not the values prescribed by the design standard are applicable to aluminum decks and to propose correction factors if necessary. This project uses finite element analysis to evaluate the amplification due to dynamic effects of passing vehicles on aluminum deck bridges and the influence on this amplification on different factors, such as vehicle speed, bridge span and road roughness.

Effet de la précipitation dynamique sur l'énergie d'activation de la déformation à chaud des composites Al-B_4C contenant du Sc et du Zr

Effect of dynamic precipitation on hot deformation activation energy of Al-B_4C composites

Jian Qin
Université du Québec
à Chicoutimi

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

Introduction

Al-B_4C composites as neutron absorber materials have been widely used for the transport and storage of spent nuclear fuels in the nuclear industry. Sc and Zr have been introduced into the Al–B_4C composite to form coherent precipitates offering the strengthening at elevated temperature. Al-based metal matrix composites are subjected to hot forming processes such as rolling, extrusion and forging. Activation energy of material for hot deformation represents the energy required for dislocation slipping which can be derived by constitutive equations. The majority of research works had treated activation energy as a constant for all applied hot deformation conditions. However, there are many factors can affect dislocation slipping behavior. Several investigations found that dynamic precipitation (DPN) occurred during hot deformation in 2xxx, 6xxx and 7xxx series Al alloys. The precipitation and subsequent coarsening can affect the flow curve and increase the flow stress level. But information about the DPN during hot deformation and its effect on hot deformation behaviors is limited. Hence, it's quite necessary to study the evolution of hot deformation activation energy and DPN under various deformation conditions. Moreover, the effect of DPN on hot deformation activation energy should be investigated.

Objectives

- Describe the evolution of activation energy under various hot deformation conditions.
- Study dynamic precipitation behavior of Al_3Sc and Al_3ScZr in Al–B_4C composites .
- Study the effect of dynamic precipitation on activation energy.

Experimental

1. Sample Preparation

Table 1. Nominal chemical composition of experimental composites.

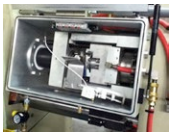
Composite	Element				
	B_4C	Ti	Sc	Zr	Al
1100+B_4C	15 vol.%	1.5 wt.%	–	–	Bal.
S40	15 vol.%	1.5 wt.%	0.4 wt.%	–	Bal.
SZ40	15 vol.%	1.5 wt.%	0.4 wt.%	0.24 wt.%	Bal.

2. Heat treatment

Table 2. Pre−heat treatment procedure of the composites.

Composite	Heat treatment	
1100+B_4C	–	–
S40	640°C×24h	Water quench
SZ40	640°C×96h	Water quench

3. Hot compression test



Gleeble 3800 system
Temperature: 300~500 °C
Strain rate: $1x10^{-3}$–1 s^{-1}

4. Microstructure characterization

TEM observation

Conclusions

- During hot deformation, dynamic precipitation of Al_3Sc and Al_3ScZr occurred.
- Activation energies of Al-B_4C composites containing Sc and Zr can be treated a function of hot deformation conditions.
- A new approach, the activation energy map under various hot deformation conditions, is presented.
- Activation energy increases with increasing of precipitates' amount and coarsening.

Results

1. Constitutive analysis

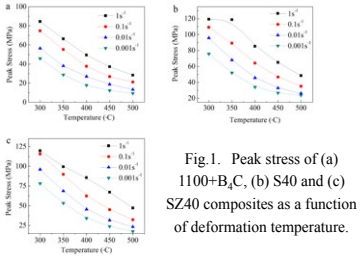


Fig.1. Peak stress of (a) 1100+B_4C, (b) S40 and (c) SZ40 composites as a function of deformation temperature.

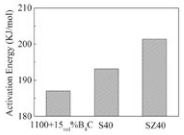


Fig. 2. Average activation energies of the composites.

$$\dot{\varepsilon}\exp\left(\frac{Q}{RT}\right) = A\left[\sinh(\alpha\sigma)\right]^n$$

The majority of research works had treated activation energy as a constant for all applied hot deformation conditions.

Calculation of Q can be found in my previous work
Ref.[J. Qin, Z. Zhang, X. G. Chen, Journal of Materials Engineering and Performance, DOI: 10.1007/s11665-017-2622-x]

2. Effect of dynamic precipitation on activation energy

If we treated Q as a function of deformation temperature and strain rate

$$Q = R\left[\frac{\partial \ln \dot{\varepsilon}}{\partial \ln\left[\sinh(\alpha\sigma)\right]}\right]_T \left[\frac{\partial \ln\left[\sinh(\alpha\sigma)\right]}{\partial(1/T)}\right]$$

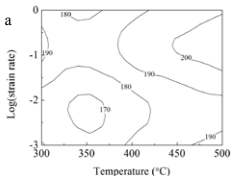


Fig. 3. Evolution of Q value (kJ/mol) as a function of deformation temperature and strain rate, (a) 1100+B_4C, (b) S40 and (c) SZ40 composites

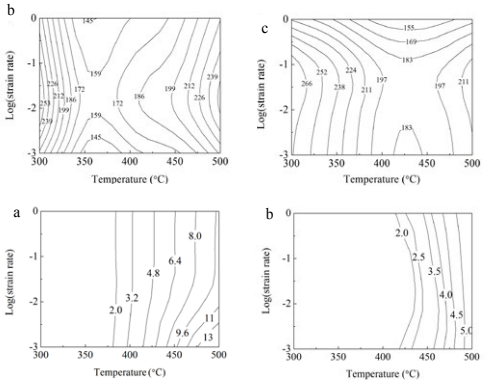


Fig. 4. Evolution of precipitates diameter (nm) as a function of deformation temperature and strain rate, (a) S40 and (b) SZ40 composites.

Material state can affect activation energy base on dislocation movement:

- Precipitation hardening state.
  - Dislocation repelled by precipitates (climb and Orowan bypass).
- Solid solution state.
  - Dislocation drag by solute atoms atmosphere (weaken by precipitation level).

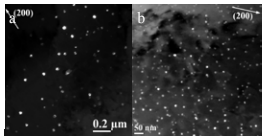


Fig. 5. TEM dark-field images showing precipitates of (a) S40 and (b) SZ40 composites deformed at 500 °C with 10^{-3} s^{-1}

Les comportements de la déformation à chaud des composites Al-B_4C incluant du Al-15 vol.% B4C (1100-B_4C), du wt.%Sc-15 vol.% B_4C (S40) et du Al-0.4 wt.%Sc-0.24 wt.%Zr-15 vol.% B_4C (SZ40) ont été étudiés en réalisant des tests de compression à des températures variant de 300 °C à 500 °C et des taux de déformation variant de 0.001 s^{-1} à 1 s^{-1}. Dans le présent travail, l'énergie d'activation de la déformation à chaud Q a été traitée comme étant une variable et non pas une constante comme dans d'autres travaux de recherche. D'après des analyses constitutives, les énergies d'activation des composites sous différentes conditions de déformation à chaud ont été calculées et des cartes de l'énergie d'activation ont été présentées. Durant la déformation à chaud, une précipitation dynamique (DPN) est survenue dans les composites S40 et SZ40. Les comportements du DPN ont été étudiés et l'évolution du diamètre des précipités sous différentes conditions de déformation à chaud a été décrite. L'effet du DPN sur la déformation à chaud Q des composites S40 et SZ40 a été analysé et comparé à la base composite. L'énergie d'activation augmente avec l'augmentation de la quantité et de la grosseur des précipités.

The hot deformation behaviour of Al-B_4C composites including Al-15 vol.% B4C (1100-B_4C), Al-0.4 wt.%Sc-15 vol.% B_4C (S40), and Al-0.4 wt.%Sc-0.24 wt.%Zr-15 vol.% B_4C (SZ40) was investigated by compression tests at temperatures between 300 °C and 500°C and strain rates from 0.001 s^{-1} to 1 s^{-1}. In the present work, the activation energy of hot deformation, Q, was treated as a variable and not as a constant like it has been done in other work. Through constitutive analysis, activation energies of the composites under various hot deformation conditions were calculated and activation energy maps were presented. During hot deformation, dynamic precipitation (DPN) in the S40 and SZ40 composites occurred. DPN behaviors were studied and the evolution of precipitate diameters under various hot deformation conditions was described. The effect of DPN on Q of S40 and SZ40 composites was analyzed and compared to the base composite. The activation energy increases with increasing amounts of precipitate and increased coarsening.

Fabrication additive de composantes d'aluminium 5052-H38 par soudage ultrasons

Ultrasonic additive manufacturing of components made of aluminium 5052-H38

Introduction [1-5]

Procédé
- Superposition de feuillards
- Soudure à l'état solide
- Opération d'usinage possible durant la construction

Avantages
- < 50% température de fusion du matériau
  - Peu de distorsion et de contraintes résiduelles
  - Limite la formation d'intermétalliques
- Soudage de matériaux dissimilaires
- Renforts localisés
- Incorporation de sondes

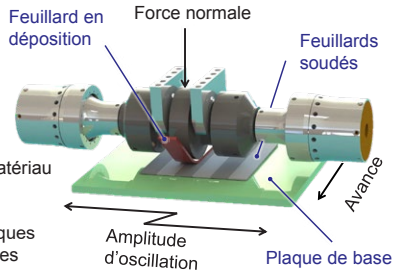


Fig. 1: Schéma de fabrication additive par soudage ultrasons, modifié depuis [1]

Mécanismes de formation des joints
- Friction importante à l'interface causée par l'oscillation latérale et la force normale (Fig.2a) ;
  - Forte déformation plastique localisée
  - Bris et dispersion de la couche d'oxyde
  - Exposition de métal sain et contact entre les feuillards
- Ancrage mécanique et diffusion formant un joint (Fig.2b)

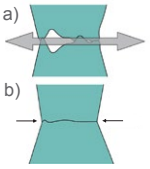


Fig. 2: Formation des joints, modifié depuis [1]

Objectifs

- Fabrication et caractérisation de pièces d'aluminium à propriétés mécaniques élevées par FASU sans traitement thermique

Matériaux et méthodes

- Fabrisonic SonicLayer 4000
- Feuillard 5052-H38
  - 25,4mm large et 150µm d'épais
- Soudage d'un bloc de 25 × 25 × 1,27cm haut
- Tractions 100mm directions X et Y (ASTM E8)
- Tractions 16mm en Z (non-standard) [6]

Paramètres de soudage
- Température : 110 ˚C
- Force normale : 5 kN
- Amplitude d'oscillation : 32,8 à 35µm
- Fréquence : 20 kHz
- Vitesse de soudage : 47 à 51 mm/s

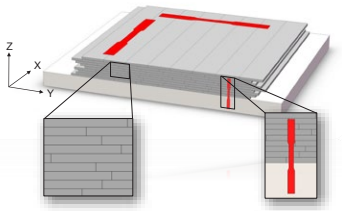


Fig. 3: Schéma de construction et disposition des spécimens prélevés

Résultats

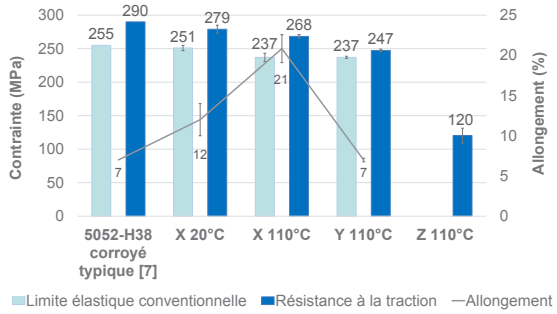


Fig. 4: Propriétés mécaniques en tension selon les différentes directions de déposition pour l'aluminium 5052-H38

Résultats (suite)

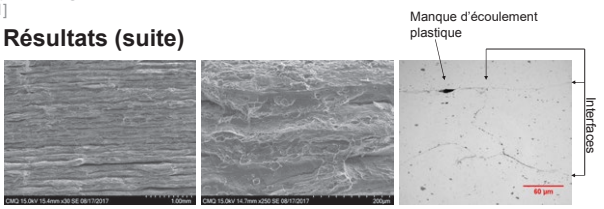


Fig. 5: Fractographies traction direction Y et métallographie plan YZ à 500x

Discussion

- Choix de paramètres important pour bâtir une structure comportant peu de défauts
- Déformation plastique aux interfaces bonifiée par la préchauffe
- Bloc créé fortement dense; >99,95%
- Limite élastique et résistance à la traction:
  - Pratiquement idem au matériau initial à température ambiante (X)
  - Diminution de 7 à 15% lorsque soudé à 110 ˚C (X et Y)
  - Baisse plus importante en Z de la résistance à la traction
- Allongement après rupture:
  - Même allongement en Y que le matériau de base
  - Croît et surpasse celle du feuillard en fonction de la température de préchauffe pour la direction X; ≈1,7X@ 20 ˚C et ≈3X@ 110 ˚C
- Les tractions non-standards en Z permettent seulement d'obtenir la résistance à la traction
  - Résultats probablement plus bas que normal due à la très faible section analysée
  - Ruptures survenues aux zones surfacées
  - Présence de cupules

Conclusion

- Soudage de l'aluminium 5052-H38 favorisé par la préchauffe ainsi que des paramètres hautement énergétiques
- Propriétés mécaniques influencées par la température de soudage
- Artéfacts de l'anisotropie initiale des feuillards
- Allongement identique au matériau initial en Y et jusqu'au triple en X
- Résistance à la traction en Z plus faible, résultats probablement aggravés par la méthode employée
- Comportement mécanique se rapprochant d'un matériau composite

Références
[1] www.fabrisonic.com (Consulté en 2017)
[2] I. Gibson, et al., *Additive Manufacturing Technologies*, 2010
[3] C.Y. Kong, et al., *Journal of Materials Processing Technology*, 2004
[4] P.J. Wolcott, et al., *Journal of Materials and Processing Technology*, 2016
[5] D. Li, et al., *Materials Science and Engineering*, 2008
[6] Sridharan, et al., *Acta Materiala*, 2016
[7] ASM International, ASM Handbook Vol.2, Properties and Selection, 1990

Prix Award
Alcoa

Jean Nicolas Rousseau
Université Laval

C. Blais - UL
A. Bois-Brochu - CMQ

La fabrication additive par soudage ultrasons (FASU) combine la soudure par ultrasons de métaux et l'usinage à l'intérieur d'un même appareil. Des feuillards sont superposés tour à tour et usinés au fil des étapes de fabrication additive, ce qui permet d'obtenir des pièces aux géométries difficilement atteignables par méthodes conventionnelles, voire impossible. La création des joints est possible via la forte déformation plastique localisée qui brise l'oxyde en surface et expose du métal sain de part et d'autre de l'interface formant une soudure à l'état solide. Le but de nos travaux est de tirer avantage du procédé par l'utilisation du potentiel d'écrouissage des aluminiums de la série 5XXX. L'objectif est de produire des pièces d'aluminium aux propriétés mécaniques élevées par FASU, sans traitement thermique et de les caractériser. De façon plus spécifique, la nuance ciblée est le 5052 sous l'état H38. L'affiche présente les résultats préliminaires d'une pièce soudée selon des paramètres choisis depuis un plan d'expérience préalablement effectué. Ce dernier a été réalisé avec l'amplitude d'oscillation, la force normale ainsi que la vitesse de soudage comme paramètres d'étude. Les propriétés mécaniques du bloc soudé ont ensuite été caractérisées par le biais d'essais de traction dans les différentes directions de fabrication (X, Y&Z) pour finalement les comparer au matériau de base. Quelques clichés par microscopie optique et électronique à balayage viennent étayer les résultats.

Ultrasonic additive manufacturing (UAM) combines metallic ultrasonic welding and machining within the same apparatus. Thin metallic foils are stacked by welding and can be machined throughout the build if desired. It allows fabrication of unconventional components in terms of geometry and chemical composition that could not be produced with conventional processes. Bonds are created between layers due to important plastic deformation brought about by high friction at the interface. This behaviour promotes fragmentation and dispersion of the oxide layer exposing clean metal on both sides of the interface, required for solid state welding. The objective of this work is to take advantage of this high plastic flow welding process and the work-hardening ability of aluminium from the 5XXX series to produce parts with high mechanical properties without heat treatment. More precisely, aluminium 5052-H38 was selected for this project. The poster presents preliminary results of a UAM part for which welding parameters were optimized from an earlier design of experiment. Tensile mechanical properties were characterized along different building directions (X, Y&Z) and compared with those typical of the base material. Optical and scanning electron micrographs are also presented to justify the results.

Caractérisation de la microstructure et du comportement en fatigue mégacyclique de l'alliage d'aluminium A357 moulé à la cire perdue

Microstructural characterization and high cycle fatigue behavior of investment cast A357 aluminum alloy

Prix
Award

Chaire CIMTAL
UQAC
Université du Québec à Chicoutimi

Marina Pushkareva
École Polytechnique de Montréal

S. Dezecot - École Polytechnique de Montréal
M. Brochu - École Polytechnique de Montréal



INTRODUCTION

Microstructure has a strong effect on fatigue life. Higher fatigue strengths are associated to round and small phases [2]. Heat treatment and addition of eutectic modifier, such as strontium (Sr), are strategies used to refine and/or spheroidized eutectic silicon particles [2]. Nevertheless, Sr addition increases the number of pores [3] that can be responsible for crack initiation. To counteract the detrimental effect of pores, a hot isostatic pressing (HIP) treatment that closes the foundry defects is often used [4].

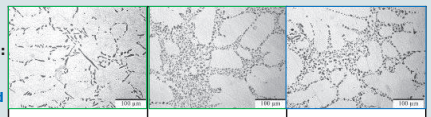
OBJECTIVE:

This poster presents results of material characterization and fatigue tests performed on Al–Mg–Si alloy A357 produced by a proprietary investment casting process. The objective of this study is to understand the role of the microstructure on the alloy fatigue strength.

1. EXPERIMENTAL PROCEDURE

1.1. Materials

The material studied was ASTM B179 cast aluminum alloy A357-T6:
- **unmodified (UM),**
- **Sr-modified (Sr) and**
- **Sr-modified and HIP-ed (Sr-HIP)**



	UM		Sr		Sr-HIP	
Grain size, µm	721 µm		691 µm		771 µm	
Primary alpha phase surface fraction, %	63		67		65	
Secondary dendrite arm spacing, µm	47		51		49	
Length and width of the eutectic silicon particles, µm	11.1	8.7	3.5	1.7	3.4	1.9
Porosity, %, and maximum length of pores, µm	17	8.9	32	9.6	-	-

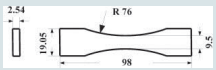
Addition of strontium enhanced the hardness, yield strength, ultimate strength and elongation.

HIP increased strength.

Tensile properties and hardness	UM	Sr	Sr-HIP
Re_{02} (MPa)	272	299	327
R_m (MPa)	331	353	361
A (%)	5.9	7.6	6.5
HRB	65	68	70

1.2. Fatigue tests

- **hourglass specimen,**
- **rectangular cross section,**
- **9.5 mm × 2.54 mm,**
- **polished down to 1 µm,**



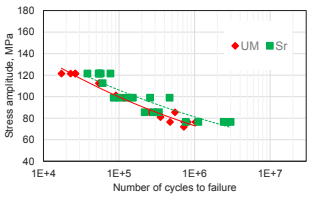
- **axial fatigue,**
- ***R* = 0.1,**
- ***f* = 25 Hz,**
- **10^4 and 10^7 cycles.**

2. RESULTS

2.1. Effect of eutectic modification

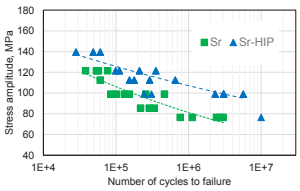
Strontium modification had two beneficial effects on fatigue:

- **it increased the yield strength which made the material more resistant to plastic deformation and thus to the formation of persistent slip bands,**
- **it refined and spheroidized silicon particles which postponed plastic deformation incompatibility between the phases to higher strain values.**



On the other hand, it increased the density of pores which explains that fatigue strength increased by only 9%.

2.2. Effect of hot isostatic pressing (HIP)



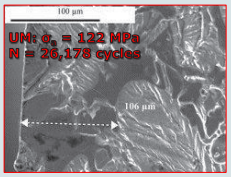
Applying a HIP treatment to the modified alloy showed the full potential of the material and the process as it increased the material fatigue strength by 27 MPa (34%) compared to Sr.

This is in accordance with the microstructural analysis in which no pores could be observed for the Sr-HIP material.

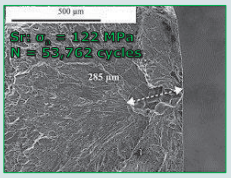
HIP plays an important role as it closes the defects from which fatigue cracks initiate prematurely.

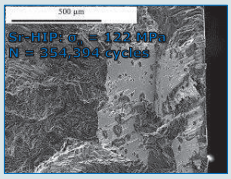
3. DISCUSSION

3.1. Crack initiation mechanisms



The majority of the UM fatigue test specimens showed the presence of silicon particles at the crack initiation sites. This crack initiation mechanism is due to a strain incompatibility between the aluminum matrix and the silicon particle.





The most frequent initiation sites (80%) observed in Sr were pores. The size of these defects observed at crack initiation sites ranged between 100 µm and 290 µm. Pores became the limiting microstructural discontinuity for two reasons. Firstly because the addition of strontium refined the size of the silicon eutectic particles down to 11 µm. Secondly because the density of pores doubled with the addition of strontium.

The most frequent crack initiation mechanism for Sr-HIP material was the formation of persistent slip bands in the primary alpha phase. A second crack initiation mechanism was the cleavage of iron rich intermetallic particles.

CONCLUSION

- **Strontium addition reduced the size of the silicon particles but doubled the number of pores.**
- **Application of HIP on the strontium modified material closed the defects which significantly improved (34%) the material fatigue strength.**
- **45 µm should be the target size for silicon particles, pores and intermetallics if one wishes to optimize the fatigue life of this alloy. Below this value, it appears that crack initiation from persistent slip bands will limit the fatigue resistance.**

[1] Dezecot, S.; Brochu, M. Source: International Journal of Fatigue, v 77, p 154-159, August 1, 2015; [2] Barlas Bruno. Etude du comportement et de l'endommagement en fatigue d'alliages d'aluminium de fonderie. MAT – Centre des Matériaux: École Nationale Supérieure des Mines de Paris; 2004; [3] Closset B, Fay D. Strontium modification of aluminum investment casting alloys. Trans Am Foundrymen's Soc 1990:505–9; [4] Wang QG, Apelian D, Lados DA. Fatigue behavior of A356/357 aluminum cast alloys. Part II - Effect ofmicrostructural constituents. J LightMet 2001;1(1):85–97.

Afin d'observer l'influence de la modification d'eutectique au strontium (Sr) et du pressage isostatique à chaud (HIP) sur un alliage d'aluminium A357 (AlSi7Mg0.6), la microstructure et le comportement en fatigue mégacyclique de trois lots de matériaux moulés à la cire perdue ont été étudiés. Les pièces ont été produites par un processus breveté novateur. La principale innovation est l'accroissement du taux de solidification et de refroidissement par immersion du moule dans un liquide froid. Cela a pour avantage de produire des microstructures plus fines. Les essais de fatigue ont été effectués sur des éprouvettes en sabliers à la suite d'un durcissement structural T6, sous un rapport de contrainte R = 0,1 et une fréquence de 25 Hz. Un lot de matériau n'a pas été modifié mais deux lots ont été modifiés avec l'ajout de Sr, dont un lot a été soumis à un HIP. Les diagrammes S-N montrent que l'ajout de Sr et le HIP amélioreront la résistance en fatigue à 106 cycles de 9 % et 34 % respectivement. Les observations fractographiques ont montré une variété de mécanismes d'amorçage des fissures. Dans l'alliage non modifié, la décohésion entre les particules grossières de Si et la matrice d'aluminium a surtout été observée. Dans l'alliage modifié, mais sans HIP, des fissures se sont amorcées des pores. Lorsque le même alliage a été soumis à un HIP, une compétition entre l'amorçage cristallographique des fissures (à des bandes de glissement persistantes) et la décohésion / défaillance des phases intermétalliques a été observée.

In order to investigate the influence of strontium (Sr) modifications and hot isostatic pressing (HIP) on an aluminum cast alloy A357 (AlSi7Mg0.6), the microstructure and high cycle fatigue behavior of three batches of materials produced by investment casting (IC) were studied. The parts were produced by an advanced IC proprietary process. The main process innovation is to increase the solidification and cooling rate by immersing the mold in cool liquid. Its advantage is to produce finer microstructures. Fatigue tests were conducted on hourglass specimens heat treated to T6, under a stress ratio of R = 0.1 and a frequency of 25 Hz. One batch of material was unmodified but two batches were modified with Sr addition, from which one batch was submitted to HIP after casting. Results reported in S–N diagrams show that Sr addition and the HIP process improve the 106 cycled fatigue strength by 9% and 34% respectively. Scanning electron microscopy (SEM) observation of the fracture surfaces showed a variety of crack initiation mechanisms. In the unmodified alloy, decohesion between the coarse Si particles and the aluminum matrix was observed. On the other hand, in the modified but non-HIP alloy, cracks initiated from pores. When the same alloy was subjected to HIP, a competition between crystallographic crack initiations (at persistent slip bands) and decohesion/failure of intermetallic phases was observed.

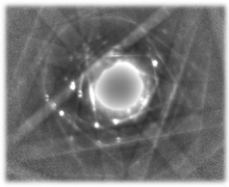
Modélisation de diffraction d'électrons à travers un film mince d'Al avec diffusion diffuse thermique

Al thin film electron diffraction time – dependent modelling with thermal diffuse scattering

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).
- Thermal diffuse scattering (TDS) will affect diffraction patterns causing difficulty in analysis.

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



Thermal diffuse scattering (TDS) results from atomic vibrations. At non-zero temperatures, atoms act similarly to simple harmonic oscillators.



TDS can affect the diffraction pattern and over all image.
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 TDS.
- Apply the frozen phonon model to a time dependent method capable of simulating diffraction patterns in conditions similar to those in an SEM.

THE MODEL

Al thin film is modeled using a pair-wise sum and a parametrization of scattering factors.

$$V(r) = \sum_i \varphi(r - r_i)$$

TDS is incorporated using the frozen phonon model. Each atom is displaced about its mean position, r_0, following a Gaussian distribution with vibration amplitude u.

$$P(r_i) = e^{-(r-r_0)^2/2\langle u\rangle^2}$$

An average is taken over 50 simulations.

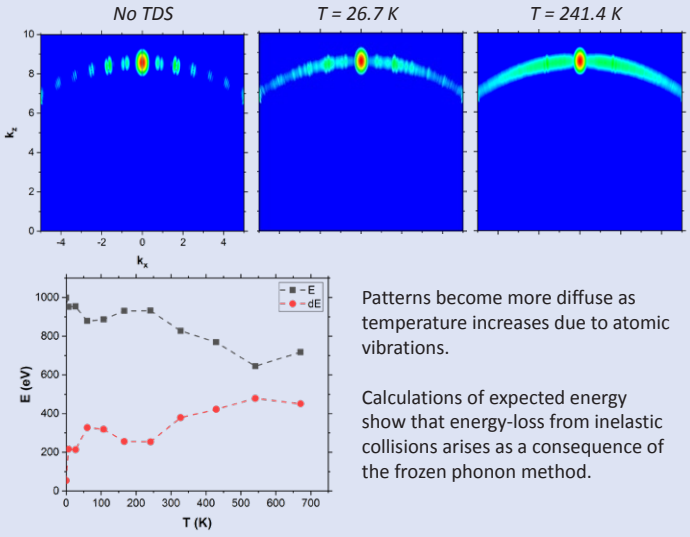
The electron beam is simulated by solving the time-dependent Schrödinger equation using the split-operator method.

$$i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + V\Psi$$

$$\Rightarrow \Psi(x, t+\Delta t) = \Psi(x,t)e^{i\Delta t/4m\nabla^2}e^{-i\Delta tV}e^{i\Delta t/4m\nabla^2}$$

RESULTS AND DISCUSSIONS

2D simulations with E_0 = 1 keV and a film thickness of 8 nm.



Patterns become more diffuse as temperature increases due to atomic vibrations.

Calculations of expected energy show that energy-loss from inelastic collisions arises as a consequence of the frozen phonon method.

CONCLUSIONS

- TDS must be considered in diffraction simulations to compare to experiment.
- Current methods only apply the frozen phonon model at high energy but it can also be applied to low energy time dependent simulation methods.
- Energy-loss from inelastic collisions arises naturally from the method.

ACKNOWLEDGEMENTS AND REFERENCES

Bruker NANO: Daniel Goran
Hitachi High-Tech Japan: Kazutoshi Kaji, Dr. Eng. Takeshi Sunaoshi
Kirkland, J. Advanced Computing in Electron Microscopy Springer US, 2010
Rudinsky *et al.* Journal of Chemical Physics, 2017, 146, 104702

Prix
Award

Samantha Rudinsky
McGill University

A. Sanz - Universidad de Complutense
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 meilleurs propriétés mécaniques. L'imagerie de patrons de diffraction a la capacité de déterminer des traits tels que la structure cristalline, le paramètre de maille 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 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* et le *Bloch wave* appliquent l'approximation paraxiale, ce qui est seulement valable à ~100 keV. À des basses énergies, la solution de l'équation de Schrödinger par une méthode spectrale est un moyen de reproduire des patrons de diffraction. Dans les deux cas, les vibrations d'atomes ont un effet sur les patrons expérimentaux prises à température pièce. Ici, des simulations en 2D incluant les vibrations d'atomes sont performées en utilisant la méthode mentionnée ci-dessus. De plus, des calculs d'énergie du système démontrent que des pertes d'énergie dues aux collisions inélastiques sont une conséquence de cette méthode.

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. Diffraction pattern imaging has the capacity to determine features such as crystal structure, lattice parameters, and the locations of defects and precipitates. This method of characterization is a crucial step in the development of alloys for any application. However, diffraction patterns are difficult to analyze and require simulations to compare to. At high energies, simulation methods, such as multislice or Bloch wave, which rely on the paraxial approximation are typically used, however low energy simulations require a different approach. Few studies have been done on low energy electron diffraction simulations, one such is solving the time dependent Schrodinger equation using a spectral method. In either case, the inclusion of atomic vibrations is important in order to compare to the imaging of materials at room temperature. This is done by the incorporation of thermal diffuse scattering (TDS). Here, a 2D analysis is done of electron diffraction simulations performed at 1 keV using the above-mentioned time-dependent approach. The frozen phonon model is used to incorporate TDS into the diffraction simulation model and it is shown that the resulting diffraction patterns are diffuse compared to those with no TDS. Also, calculations of the expected energy show that energy-loss from inelastic scattering results from the use of this method.

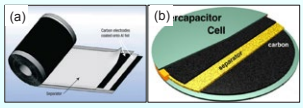
Étude métallurgique d'un moulage structural en AlSi7Mg0,3-T6 coulé en coquille basculée

Metallurgical study of an AlSi7Mg0,3-T6 tilt poured casting

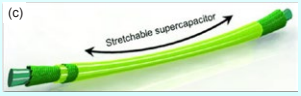
Xingli Chen
Université du Québec
à Chicoutimi

D. K. Sarkar - UQAC
X. –Grant Chen - UQAC

1. Introduction



Supercapacitors



Applications: consumer electronics, medical treatment, transport……

Advantages:

- Very high rates of charge and discharge;
- Good reversibility;
- High cycle efficiency;
- Environment-friendly, etc.



2. Background - electrode materials (Ni-M LDH)

The theoretical maximum specific capacitance for one-electron reaction of $Ni(OH)_2$ supercapacitor electrodes:

$$C_s = \frac{n \cdot F}{M \cdot E} = \frac{96485[C/mol]}{92.7\,[mol/g] \times 0.6[V]} = 1735\,\left[\frac{F}{g}\right]$$

Problems: unstable in alkaline.

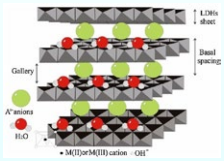


Fig. 2 Schematic representation of the structure of layered double hydroxide (LDH)

3. Objective

Prepare and characterize electrode materials—— NiAl LDH and NiZn LDH.

4. Experimental

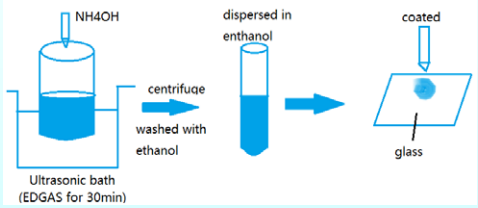


Fig.3 Scheme of experimental process

7. Future work

- Design LDHs with different initial amounts of ammonia, reaction temperature as well as try hydrothermal approach;
- Fabricate Ni-base superhydrophobic thin films on Al substrate by one-step electrochemical deposition;
- Use TEM & EIS for materials characterization.

5. Results

5.1 Ni-Al LDH (30℃, RT)

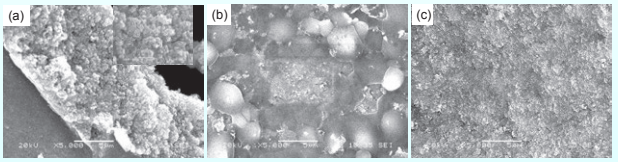


Fig 5.1 SEM of (a) pure $Ni(OH)_2$; (b) $Al^{3+}:Ni^{2+}=0.1$; (c) $Al^{3+}:Ni^{2+}=1$

Initial Al:Ni	O (%)	Al (%)	Ni (%)	Experiment al Al/Ni
Al:Ni=0	36.40	-	63.60	0
Al:Ni=0.1	77.80	2.93	19.27	0.15
Al:Ni=1	76.83	14.07	9.10	1.54

Table 5.1 Chemical composition changes from EDS results of NiAl LDH with different $Al^{3+}:Ni^{2+}$ molar ratios at RT (at.%)

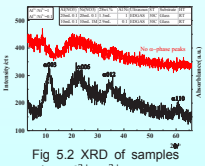


Fig 5.2 XRD of samples when $Al^{3+}:Ni^{2+}=1, 0.1$

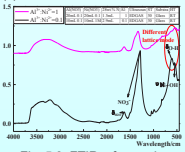


Fig 5.3 FTIR of samples when $Al^{3+}:Ni^{2+}=1, 0.1$

Results

5.2 Ni-Zn (30℃, RT)

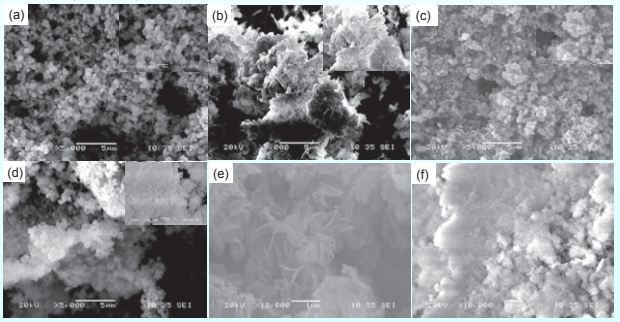


Fig 5.4 SEM (a) pure $Ni(OH)_2$; (b) pure $Zn(OH)_2$; (c) $Zn^{2+}:Ni^{2+}=0.33$; (d) $Zn^{2+}:Ni^{2+}=1$ (Zn complex form first) $Zn^{2+}:Ni^{2+}=1$ (2mL ammonia) @ (e) RT & (f) 250℃

Initial Zn:Ni	O (%)	Zn (%)	Ni (%)	Experimental Zn/Ni
(a)100% Ni	31.19	-	68.81	0
(b)100% Zn	73.70	26.30	-	-
(c) Zn:Ni=0.33	69.05	10.25	19.08	0.53
(d) Zn:Ni=1	55.06	18.73	26.22	0.71

Table 5.2 Chemical composition changes from EDS results of NiAl LDH with different $Zn^{2+}:Ni^{2+}$ molar ratios at RT (at.%) (a-d)

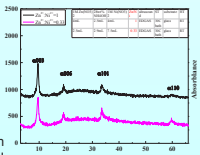


Fig 5.5 XRD of samples when $Zn^{2+}:Ni^{2+}=0.33, 1$

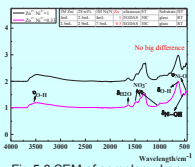


Fig 5.6 SEM of samples when $Zn^{2+}:Ni^{2+}=0.33, 1$

6. Conclusion

- Al or Zn content has an effect on morphologies and structures on Ni-Zn LDH.
- High temperature can damage the original structure and nanosheets.
- Nanostructured morphologies can achieve high specific capacitance, superior cycling stability, and high-rate capability in supercapacitor devices

Le supercondensateur est un appareil capable de fournir à la fois une énergie et une puissance électrique élevées. Les matériaux actifs qui rentrent dans la fabrication de supercondensateur doivent posséder une très grande surface pour obtenir des propriétés de stockage d'énergie optimale.

Les hydroxides doubles lamellaires (LDH) forment normalement une structure bidimensionnelle (2D). L'un des matériaux actifs dans ce domaine est *Ni(OH)*$_2$ qui possède une capacité spécifique théorique élevée et est caractérisé par son faible coût. Dans ce projet, Al est utilisé pour affiner la morphologie de *Ni(OH)*$_2$, afin de synthétiser des NiAl-LDH, ce qui permet d'obtenir des matériaux ayant une surface active élevée. De même, Zn est aussi employé pour affiner la morphologie de *Ni(OH)*$_2$. La stabilité thermique des LDHs est effectuée pour comprendre la morphologie et les propriétés structurales. La diffraction des rayons X (DRX), le microscope électronique à balayage (MEB) et la spectroscopie infrarouge (IR), sont utilisés pour étudier la structure, la morphologie et les propriétés chimiques des LDHs.

Supercapacitors are devices that can provide both high electrical energy and power. The active materials that are used in the fabrication of supercapacitors must possess very high surface area to obtain such high energy storage properties. Layered double hydroxides (LDH) normally form two-dimensional structures (2D). One of the common materials in this field is $Ni(OH)_2$ which possesses a high theoretical specific capacitance and low cost. In this project, Al has been used to tune the morphology of $Ni(OH)_2$ in order to synthesize NiAl-LDH to obtain high surface area materials. Similarly, Zn also has been used to tune the morphology of $Ni(OH)_2$. The thermal stability of these LDHs were carried out to understand their morphological and structural properties. X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), and Infra-Red spectroscopy (IR) have been used to studies the structural, morphological and chemical properties of these LDHs.

Conception et optimisation de composants structuraux en aluminium
Design and Optimisation of Structural Aluminium Components

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

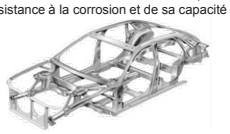


Figure 1 : Exemple de châssis en aluminium - Audi A8 D2



Figure 2 : Exemple de produit récréatifs – Ski-Doo

Objectifs

- Concevoir des pièces structurales optimales en tôles minces à base d'aluminium
- Sélection et caractérisation mécanique des alliages, des procédés de mise en forme et des méthodes d'assemblage pour les structures de produits récréatifs
- Développer une approche de conception multicritère traitant des tôles minces en alliages d'aluminium
- Appliquer l'approche de conception multicritère à des composants et réaliser les validations nécessaires afin de vérifier si les pièces nouvellement conçues rencontrent tous les requis de conception ainsi que les contraintes reliées à la formabilité des alliages
- Développer et fabriquer un prototype pour valider expérimentalement la conception des composants

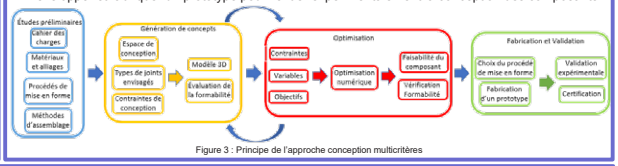


Figure 3 : Principe de l'approche conception multicritères

Méthodologie globale du projet

1. Création d'un cahier des charges

- Normes et requis des composants en question
- Définitions des états de chargements et des états limites
- Caractérisation de composants similaires disponibles sur le marché



Figure 4 : Caractérisation de composants similaires – Joint riveté

2. Choix des technologies et sélection des alliages

- Élaboration d'un répertoire technologique : Méthodes d'assemblage et caractéristiques de la mise en forme
- Identification des procédés de mise en forme et d'assemblage pertinents en fonction des composants choisis
- Caractérisation des performances mécaniques de certaines méthodes d'assemblage

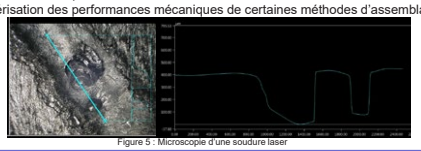


Figure 5 : Microscopie d'une soudure laser

3. 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
- Caractérisation des paramètres sécuritaires de la formabilité des alliages retenus par la méthode des diagrammes de formabilité
- Caractérisation de certains alliages à la suite d'une opération de formage à chaud d'une composante structurale

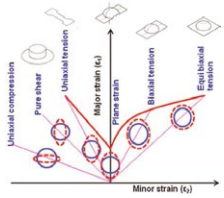


Figure 7 : Diagramme de formabilité

4. Dimensionnement et optimisation

- Analyses structurelles sur le composant
- Optimisation numérique de la forme et de l'épaisseur des composants en tôles minces
- Validation du cahier des charges et des contraintes de fabrication expérimentalement à l'aide d'un prototype

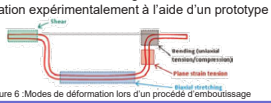


Figure 6 :Modes de déformation lors d'un procédé d'emboutissage

Matériaux et procédures expérimentales

- Analyses des propriétés mécaniques des alliages 5052 et 5083 selon divers niveaux d'écrouissage
- Comportement du matériau en déformation plane sous compression
- Essais de traction avec corrélation d'image (courbe contraintes–déformations vraies)
- Évaluation de l'anisotropie des tôles minces pour certains alliages
- Élaboration des diagrammes de formabilité des alliages
- Identification de l'influence des déformations induites à chaud sur les propriétés d'un alliage
- Validation expérimentale des composants à l'aide d'un prototype



Figure 8 : Caractérisation des alliages à la suite d'une opération de formage à chaud

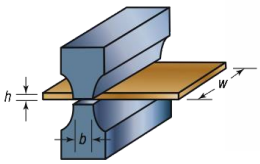


Figure 9 : Essais de compression plane



Figure 10 : Essais de traction

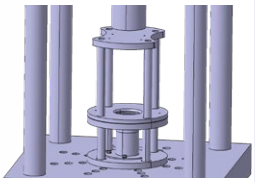


Figure 11 : Outillage pour les essais de formabilité

Résultats

- Établissement d'une procédure de choix des matériaux et de sélection des alliages
- Calculs des contraintes vraies et des déformations vraies en compression
- Caractérisation de la microstructure de certains alliages
- État des déformations en traction par la technique de corrélation d'image
- Mise au point d'un montage expérimental pour la réalisation d'essais de formabilité selon la méthode de Nakajima avec suivi par corrélation d'image
- Simulations numériques de la formabilité dans le logiciel Hypermesh d'Altair

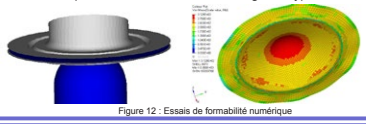


Figure 12 : Essais de formabilité numérique

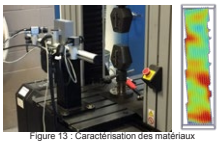


Figure 13 : Caractérisation des matériaux

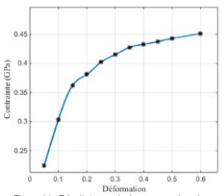


Figure 14 : Résultats essais de compression plane Al 5083 – O

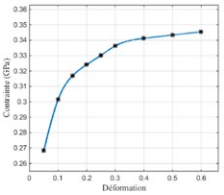


Figure 15 : Résultats essais de compression plane Al 5052 – H36

Conclusion

Sur les travaux effectués:

- Identifications des procédés d'assemblage et de mise en forme pertinents
- Caractérisation des matériaux potentiels du composant
- Identification des zones critiques en termes de contraintes du composant

Travaux à venir:

- Optimisation de certaines caractéristiques des composants
- Fabrication des prototypes
- Validation expérimentale des composants

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 ouvrage 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 recherches 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. De plus, les propriétés mécaniques des alliages, à la suite d'une élongation réalisée en température, seront quantifiées afin de caractériser les propriétés mécaniques d'une pièce ayant été formée en température.

Ces données serviront ensuite à l'établissement d'une nouvelle approche de conception multicritère pour des composants fabriqués en utilisant des procédés de mise en forme de tôlerie. Celles-ci seront également utilisées pour effectuer la conception d'un prototype d'un composant à titre de preuve de concept. Ces résultats pourront par la suite être utilisés afin de réaliser la conception de plusieurs autres pièces du châssis du véhicule récréatif.

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, the number of parts and cost while providing good performance and reliability on the road. The subject of this work is thus part of this large-scale project and consists of creating the design and optimization of functional, structural and aesthetic aluminum components.

To achieve this goal, the research will focus on the formability of certain aluminum alloys. Moreover, the mechanical properties of the chosen alloys, following an elongation carried out at high temperatures, 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 establish a new design approach with multiple criteria for components manufactured using sheet metal forming processes. The data will also be used to design a prototype of a component as a proof of concept. These results will later be used to design several other parts of the recreational vehicle chassis.

Contrôle qualité et conception en fatigue des joints soudés par friction malaxage sur des tabliers de ponts en aluminium

Quality control and fatigue design of friction stir welded joints in aluminum bridge decks

Anthony Fleury
Université du Québec à Chicoutimi

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

Mise en contexte

En Amérique du Nord, l'entretien des ponts existants nécessite en permanence des investissements majeurs. Aux États-Unis par exemple, quelques rapports démontrent qu'il y a bien une tendance vers l'amélioration, mais que de plus en plus de structures surpassent leur durée de vie en service. Il reste donc encore du travail à effectuer. Les données des rapports sont présentés au tableau 1.

Tableau 1 – Conditions du parc de ponts aux États-Unis

Année	Pourcentage de ponts cotés :		Pourcentage de ponts de 50 ans et plus
	Déficients	Non fonctionnels	
2016	9,1%	13,6%	39,0%
2012	11,0%	13,9%	30,0%
2007	12,1%	14,8%	-

(source : *American Society of Civil Engineering Report Card for America's Infrastructure* 2008, 2013 et 2017)

Un moyen permettant de procéder à une réhabilitation rapide et efficace d'un pont est le réaménagement du tablier existant par un en aluminium, tel que présenté sur les figures 1 et 2. Un tablier en aluminium permettrait de faire face à une demande grandissante du trafic en plus d'augmenter la durée de vie en service du pont grâce à sa légèreté et à sa bonne résistance à la corrosion.

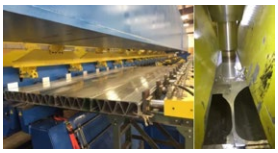


Figure 1 – Fabrication d'un tablier par procédé SFM



Figure 2 – Installation d'un tablier de pont en aluminium avec pièces soudées par friction malaxage

(source : Rapport Mission Floride, *Aluminium Association of Canada*, 2015)

Ce type de tablier est composé de profilés extrudés en aluminium qui sont assemblés par le procédé de soudage par friction malaxage (SFM), représenté à la figure 3. Ce dernier permet l'assemblage de métaux comme l'aluminium en demeurant à l'état solide, ce qui crée une soudure de meilleure qualité en comparaison avec d'autres procédés par fusion. Cette singularité lui permet d'atteindre un profil de température moins élevé pour ainsi diminuer l'impact de certains problèmes.

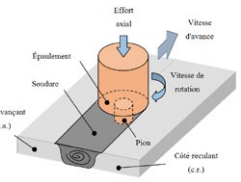


Figure 3 – Représentation du procédé SFM

Or, pour des applications de l'aluminium en structure de pont, l'utilisation du SFM comme assemblage est peu réglementée dans les critères d'acceptation de ces soudures et dans leurs normes de conception en fatigue et en conditions dynamiques. Ceci éloigne alors les concepteurs à envisager l'aluminium comme élément de structure d'un pont.

Objectifs

En collaboration avec l'Université de Waterloo, cette recherche a pour but de développer des critères de performances pour le contrôle qualité et pour la conception en fatigue des joints SFM afin de rendre plus accessible l'usage des tabliers en aluminium dans la construction ou la réhabilitation de ponts.

- Étudier le degré de sévérité et caractériser les propriétés mécaniques d'échantillons de soudure composés de défauts de fabrication selon des paramètres variables
- Modéliser le comportement mécanique des joints soumis à des efforts dynamiques selon des données réelles prises sur un tablier en aluminium d'un pont en service
- Effectuer des essais en fatigue sous amplitudes variables de ces mêmes éprouvettes sous les conditions de chargement mesurées
- Utiliser les résultats des essais en fatigue dans le développement d'un modèle de prédiction et des critères de performance

Méthodologie

Étape 1 : Fabrication et caractérisation

Préparer les éprouvettes composées de défauts intensionnels et effectuer l'analyse métallographique et la caractérisation mécanique par des moyens destructifs et non destructifs.

- Degré de sévérité des défauts selon des paramètres de soudage variables
- Effet de la rigidité en passant d'une machine de soudage à une autre sur le profil de surface
- Efficacité des méthodes non destructives d'analyse de la qualité d'une soudure et de détections des défauts

Étape 2 : Prise de données en service

Mesurer le comportement en service du tablier en aluminium du pont de St-Ambroise, présenté à la figure 2.

- Quantification du comportement d'un joint dans des conditions de chargement dynamique
- Effet de la distribution des efforts transversaux et des actions composites non anticipées sur les joints
- Modélisation du comportement dynamique et vibratoire du pont et effets anticipés sur la durée de vie en fatigue des joints

Étape 3 : Comportement en fatigue

Utiliser les données en service mesurées sur le pont afin de simuler ces conditions de chargement dans des essais de fatigue sous des amplitudes variables.

- Effet des différents défauts sur les performances en fatigue des soudures sous ces conditions
- Création d'une banque de résultats servant à développer un modèle mécaniste de prédiction de la durée de vie en fatigue

Étape 4 : Analyse statistique et modèle de fracture

Utiliser les résultats des propriétés de l'étape 1 pour réaliser une analyse statistique de la fatigue et de développer un modèle non linéaire de fracture mécanique.

- Détermination de la distribution de contrainte appliquée localement par la méthode des éléments finis
- Validation du modèle avec les résultats des essais en fatigue
- Utilisation du modèle dans la prédiction des performances en fatigue sur une soudure faite avec des paramètres non testés

Étape 5 : Critères de performance

Regrouper les résultats obtenus dans le développement des critères de performance pour le contrôle qualité et pour la conception en fatigue des joints SFM.

Bénéfices de la recherche

- Établir une ligne directrice et des règles de calculs dans les codes pour l'utilisation d'une technologie innovatrice et avantageuse
- Encourager l'utilisation de l'aluminium dans la construction ou la réhabilitation de ponts et, par le fait même, stimuler le marché de ce matériau
- Approfondir les connaissances des joints SFM au niveau du comportement en fatigue à cycle élevé sous amplitudes variables
- Utiliser les connaissances acquises lors de ce projet dans d'autres industries et applications

Actuellement en Amérique du Nord, les structures de ponts en service font face à une tendance au vieillissement. De plus, un pourcentage considérable de ces infrastructures présente des déficiences « structurales » ou « fonctionnelles ». Les autorités canadiennes et américaines en matière de transports procèdent donc à la réhabilitation de nombreux ponts afin de les remettre en bon état. Pour ce faire, la modernisation ou le remplacement du tablier existant par un en aluminium s'offre comme une technologie rapide et efficace à adopter et ceci pour les nombreux avantages qu'elle comporte. Ce type de tablier est composé de profilés extrudés en aluminium qui sont assemblés par le procédé de soudage par friction malaxage (SFM). Or, pour ces applications, l'utilisation du SFM en tant que méthode d'assemblage est peu réglementée dans les critères d'acceptation des joints et dans leurs normes de conception en fatigue et en conditions dynamiques. Ceci freine l'adoption de l'aluminium et son intégration par les concepteurs comme élément structural dans l'infrastructure d'un pont. Pour inverser cette situation, l'objectif de ce projet est donc de développer des critères de performance pour le contrôle qualité et la conception en fatigue des joints SFM. Il comprend en résumé la fabrication et la caractérisation de joints, la modélisation du comportement mécanique des joints selon des mesures prises sur un pont en service, des essais en fatigue des joints sous amplitudes variables ainsi que le développement d'un modèle de prédiction de fracture mécanique en fatigue.

Today in North America, bridge infrastructures are getting older and a considerable amount of them are either ''structurally deficient'', ''functionally obsolete'' or both. Transport authorities across Canada and the United States are actually holding a rehabilitation campaign of these old infrastructures to fix this issue. To do so, the retrofit or the replacement of an existing bridge deck by one in aluminum is, in some cases, a technology used by designers. It has been proved as an effective, quick and profitable technology to perform such repair. This kind of deck is made of extruded aluminum profiles joined together by friction stir welding (FSW) processes. However, for these applications, the use of FSW is barely regulated in terms of acceptability of a joint and in fatigue and dynamic behaviour design codes. This lack of regulations keeps designers away from using aluminum as a bridge structure element. In order to reverse this situation, the main goal of this project is to develop improved, ''performance-based'' code provisions for the quality control and fatigue design of FSW joints in aluminum bridge decks. In short, it includes specimen preparation and characterisation, modeling of mechanical behaviour by using measures on an aluminum bridge deck under normal service loading conditions, fatigue testing of FSW joints under simulated in-service loading conditions and a fracture mechanism analysis using FSW tests results.

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

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

1) Problématique et objectifs

Les pièces structurelles d'aéronefs en aluminium sont majoritairement fabriquées par usinage. Ce procédé de fabrication peut générer jusqu'à quatre-vingt-dix pour cent de matière perdue sous forme de copeaux. Afin d'économiser de la matière, des procédés de fabrication alternatifs sont envisagés. Modifier les procédés de fabrication implique des géométries, des matériaux et des masses différentes. Ainsi, les pièces doivent être reconçues en fonction des procédés de fabrication avant d'évaluer les impacts économiques et environnementaux de la fabrication des pièces structurelles d'aéronefs. L'objectif de cette étude est de reconcevoir une pièce structurelle d'aéronef en aluminium pour le moulage et l'usinage. Les impacts environnementaux de la fabrication de ces pièces sont calculés par analyse de cycle de vie afin de déterminer le procédé le plus vert.

2) Méthodologie

Conception par optimisation topologique

Générer une distribution optimale de la matière dans un espace de conception [1]:
✓Pour un chargement et des conditions aux limites donnés.
✓Pour satisfaire des objectifs et des contraintes définies.

Logiciel: Inspire
Espace de conception: occupation maximale admissible
Espace de non conception: surfaces fonctionnelles

Analyse de cycle de vie

Méthode normalisée d'analyse des impacts environnementaux des procédés du berceau à la tombe [2], [3].

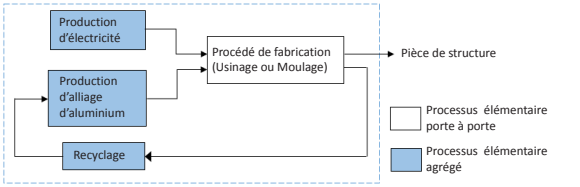


Figure 1: Système étudié

Inventaire partiel:
- Quantités d'énergie et de matière: base de données CES EduPack [4] .
- Émissions associées: base de données Ecoinvent *3.2*.

Évaluation des impacts:
- Réchauffement climatique (IPCC, 100 ans en kg CO_2éq).
- Modèle implémenté dans *OpenLCA 1.6.3*.

3) Résultats: étude de cas

Cahier des charges

Supporter les charges sur les trous **A**
Encastrement des trous **B**
Surfaces fonctionnelles: les trous
Facteur de sécurité minimal: 1,1

Pièce actuelle

✓ Al 7075-T6
✓ Von Mises Maximale: 472±1 MPa
✓ Facteur de sécurité: 1,12
✓ Poids: 11,5 kg

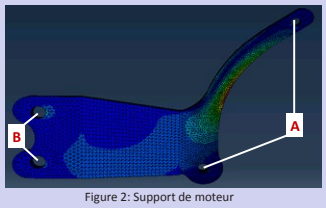


Figure 2: Support de moteur

Optimisation topologique

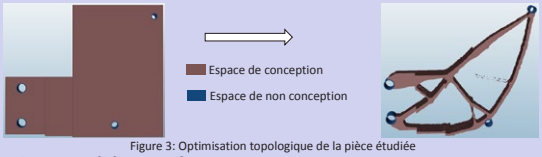
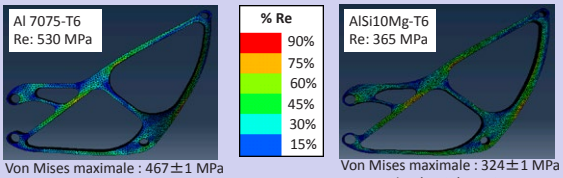


Figure 3: Optimisation topologique de la pièce étudiée

Analyse par éléments finis



Von Mises maximale : 467±1 MPa
Facteur de sécurité: 1,13
Masse de la pièce: 3,75 kg

Von Mises maximale : 324±1 MPa
Facteur de sécurité : 1,13
Masse de la pièce: 4,20 kg

Figure 4: Résultats d'analyse par éléments finis

Analyse de cycle de vie

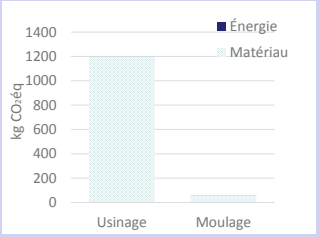


Figure 5: Émissions de CO_2éq pour réaliser les pièces

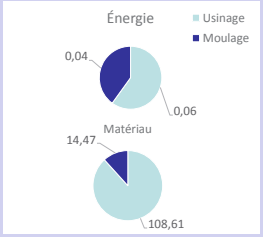


Figure 6: Émissions de CO_2éq pour produire 1kg

4) Analyse et discussion

L'augmentation de poids nécessaire pour concevoir une pièce moulée aussi performante que la pièce usinée peut augmenter les impacts environnementaux de la phase d'utilisation.

La prise en compte des contraintes de fabrication pourrait résulter en une augmentation de la masse de la pièce usinée plus importante que celle de la pièce moulée: les pièces pourraient alors être plus compétitives en terme de masse.

5) Conclusions et travaux futurs

Conclusions

En ne considérant que la consommation de matière et d'énergie, le moulage est plus écologique que l'usinage.

Les émissions dues à la consommation d'énergie sont négligeables devant celles dues à la consommation de matière ce qui justifie le besoin d'économiser la matière.

Limites

Reconception manuelle après optimisation topologique:
➢ Perte possible de performances.

Données globales et approximatives des bases de données pour l'ACV.

Travaux futurs

Analyse des contraintes de fabrication.

Conception pour la fabrication par ajout:
➢ Puisque les impacts dus à la consommation d'énergie sont faibles, la fabrication par ajout pourrait être une meilleure solution que le moulage.

Références

[1] M. P. Bendsoe and O. Sigmund, Topology optimization: theory, methods, and applications: Springer Science & Business Media, 2013.
[2] I. AFNOR, "14044: 2006 Management environnemental–Analyse du cycle de vie–Exigences et lignes directrices," vol. 14044, ed, 2006.
[3] I. AFNOR, "14040: 2006 Management environnemental–Analyse du cycle de vie–Principes et cadres," vol. 14040, ed, 2006, pp. 33-46.
[4] M. Ashby, "The CES EduPack database of natural and man-made materials," Cambridge, UK: Cambridge University and Granta Design, 2008.

Prix
Award

MACE³
MODÉLISATION AVANCÉE DES CUVES D'ÉLECTROLYSE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Claudia Hodonou
École Polytechnique de Montréal

M. Balazinski - École Polytechnique de Montréal
M. Brochu - École Polytechnique de Montréal
C. Mascle - École Polytechnique de Montréal

L'usinage des pièces de structure d'aéronefs entraîne soixante-dix à quatre-vingt-dix pourcents de pertes de matière, ce qui pose des problèmes environnementaux. Pour une production plus respectueuse de l'environnement, des procédés permettant de réaliser des formes semi-finies sont envisagés comme alternatives à l'usinage. Il est alors nécessaire de déterminer les étapes de fabrication ainsi que les facteurs influençant les impacts environnementaux de la fabrication d'une pièce afin de sélectionner des procédés plus verts. Le matériau, la forme et le poids d'une pièce varient selon qu'elle soit usinée, moulée, forgée ou fabriquée par ajout. Par conséquent, la pièce étudiée doit être reconçue pour la fabrication avant l'évaluation comparative des performances environnementales des procédés de fabrication. Cette affiche présente la reconception d'une pièce structurelle d'aéronef en aluminium pour l'usinage et le moulage. Les émissions de dioxyde de carbone dues à la fabrication des pièces obtenues sont calculées par analyse de cycle de vie, permettant ainsi la sélection de procédés verts.

Seventy to ninety percent of material waste is generated while machining aluminum aircraft structural parts, causing environmental concerns. Due to their material saving potential, manufacturing processes allowing near-net shapes are considered as alternatives to machining for producing more environmentally friendly products. Determining the manufacturing steps and factors influencing the environmental impact of producing a part is still needed and will allow the selection of greener manufacturing processes for producing aluminum aircraft structural parts. Using machining, casting, forging or additive manufacturing leads to different structural part shapes, material and weight. Therefore, the part has to be redesigned for each primary manufacturing process in order to obtain an accurate environmental impact evaluation. In this poster, an aluminum aircraft structural part will be redesigned for machining and casting. Using a life cycle analysis approach, carbon emissions caused by these manufacturing processes will be calculated. Then, based on this environmental criteria, manufacturing processes will be compared to select the greenest one.

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

Martin Cormier
Université Laval

C.-D. Annan - UL
M. Fafard - UL
F. A. Tchitembo Goma - UL

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'extrusion multicellulaires soudées entre elles. Le dispositif de retenue sélectionné sera un standardisé et accrédité par un organisme de certification reconnu (i.e. déjà crash-testé).
- Développer une extrusion de rive afin de permettre l'assemblage du dispositif.
- Les extrusions doivent être conçues de façon à ne subir aucune déformation permanente sous l'effet de l'impact d'un véhicule.

3 - Méthodologie/Résultats

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 2.)

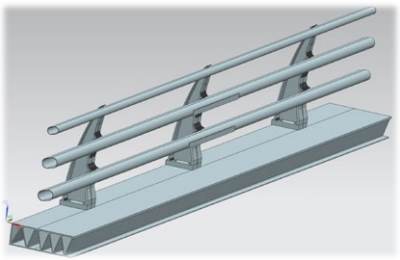


Figure 1. Modélisation sur Siemens NX du dispositif VGAN 300 de Varley and Gulliver Ltd.

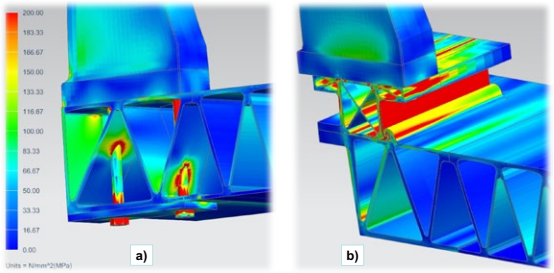


Figure 2. Contraintes Von-Mises résultantes des charges statiques pour **a)** connexion directe et **b)** connexion avec ajout d'une extrusion dissipatrice d'énergie

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 l'énergie des systèmes, 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 3.)

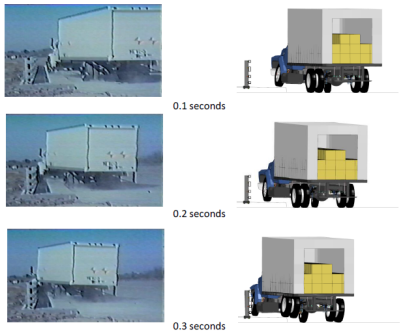


Figure 3. Vérification et validation d'un modèle dynamique à partir des données de l'essai de collision à grandeur réelle

4 - Conclusion/Travaux futurs

- Des assemblages seront conçus pour un niveau d'essais TL-2 de la norme CAN/CSA S6-14 pour deux types de dispositifs de retenues ayant fait l'objet d'essais de collision.
- L'ajout d'une extrusion d'aluminium connectée mécaniquement avec le platelage semble un concept efficace pour dissiper l'énergie de l'impact du véhicule contrairement à une connexion directe.
- Des simulations numériques dynamiques seront réalisées sur le concept le plus performant.
- Des études paramétriques seront réalisées afin de vérifier la sensibilité des paramètres géométriques des différents concepts élaborés.

5 - 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
- Le Ministère des Transports, Mobilité durable et Électrification des transports

6 - Références

1. CSA (2014). *S6-14 Canadian highway Bridge Design Code*. 940 pages.
2. 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.
3. 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

L'aluminium étant un matériau léger et résistant, plusieurs projets de recherche portent sur le développement d'un platelage en aluminium pouvant être utilisé dans la réhabilitation d'un pont avec dalle en béton. Ce projet se concentre sur la possibilité de connecter un dispositif de retenue sur le platelage. L'objectif est donc 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 (béton, bois ou acier) 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, vient la deuxième partie qui consiste à faire des vérifications dynamiques sur l'interaction entre le dispositif et le véhicule à l'aide du logiciel LS-DYNA. Le système le plus performant, c'est-à-dire celui qui comporte une bonne résistance aux charges d'impact ainsi qu'une bonne dissipation d'énergie, qui nécessite un assemblage simple et qui limite la propagation des charges peut constituer une bonne solution à ce projet de maîtrise.

Since aluminum is a lightweight and durable material, several research projects have focused on the development of an aluminum deck that can be used for rehabilitation of bridges built with a concrete slab. This project focuses on the possibility of connecting a traffic barrier to the decking. 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 assemble the traffic barrier. This extrusion and the rest of the aluminum deck must be designed so that it does not undergo any permanent deformation under the impact of a vehicle. The project, which will consist entirely of numerical simulations, is divided into two major parts. The first part consists of developing the assembly using the Siemens NX finite element 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 interactions between the traffic barrier and vehicle using the LS-DYNA software. The best performing system, which has good resistance to impact loads and good energy dissipation, requires simple assembly and must limit the propagation of loads, can be a good solution to this project.

Effets du Mn et de l'homogénéisation sur les dispersoïdes et sur la résistance à la recristallisation dans les alliages 6082 d'aluminium

Effets du Mn et de l'homogénéisation sur les Dispersoïdes et sur la résistance a la recristallisation dans des alliages AA6082

Chen Li
Université du Québec
à Chicoutimi

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

1. Introduction

1. Why choose AA6082 as the studied alloys?

- AA6082 are widely used because of their medium strength, formability, weldability, corrosion resistance and low cost, but are limited to apply at elevated temperature.

2. Why add Mn and heat treated in different homogenization temperatures?

- Addition of Mn is economic and has a large solid solubility in aluminum, is promising to form a large quantities of dispersoids.

3. What is the relationship between dispersoids and recrystallization?

- Dispersoids with fine size and uniform distribution can act as recrystallization inhibitor which retain deformed structure and prevent recrystallization.

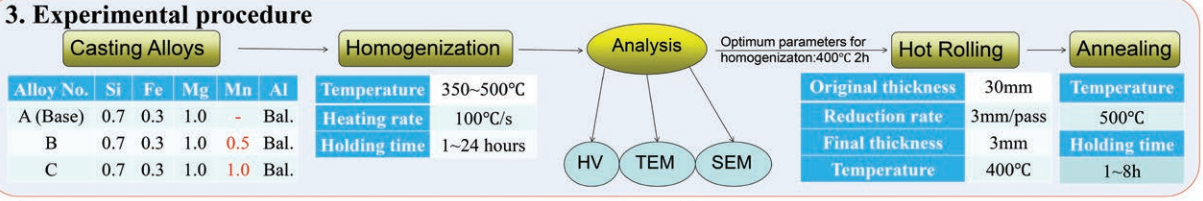
2. Objectives

1. To investigate the influence of Mn additions and homogenization temperatures on the characters of dispersoids.

2. To find out the optimum homogenization and hot rolling temperatures.

3. To study the effect of dispersoids on post-deformation recrystallization.

3. Experimental procedure



Alloy No.	Si	Fe	Mg	Mn	Al
A (Base)	0.7	0.3	1.0	-	Bal.
B	0.7	0.3	1.0	0.5	Bal.
C	0.7	0.3	1.0	1.0	Bal.

Temperature	350~500°C
Heating rate	100°C/s
Holding time	1~24 hours

Original thickness	30mm
Reduction rate	3mm/pass
Final thickness	3mm
Temperature	400°C

Temperature	500°C
Holding time	1~8h

4. Results

4.1 Precipitation behavior of α-dispersoids during homogenization

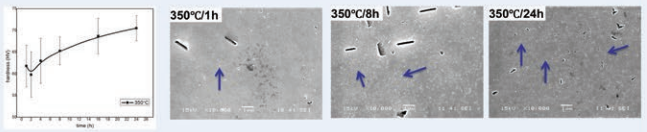


Fig.1 Vickers-hardness test and SEM images of alloy C after homogenization at 350°C.

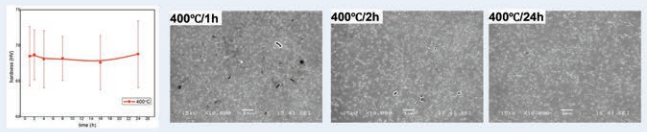


Fig.2 Vickers-hardness test and SEM images of alloy C after homogenization at 400°C.

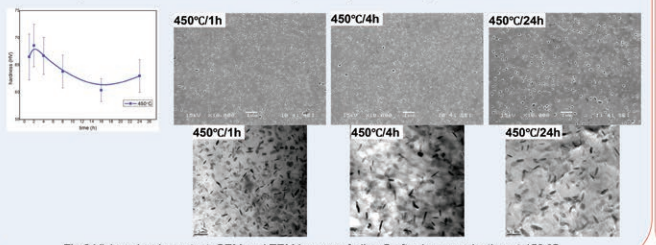


Fig.3 Vickers-hardness test, SEM and TEM images of alloy C after homogenization at 450 °C.

All samples were homogenized at 400 °C for 2 hours before rolling since dispersoids were steady at 400 °C.

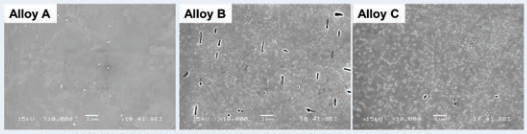


Fig.4 Dispersoids distributions after homogenization at 400°C for 2 hours.

4.2 Recrystallization process during post-deformation annealing

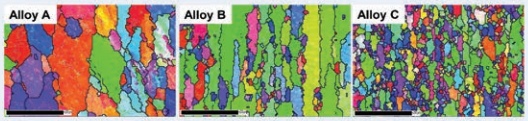


Fig.5 Orientation maps of hot rolled alloys after annealing at 500°C for 1 hour.

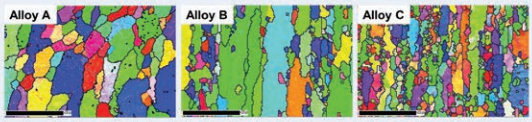


Fig.6 Orientation maps of hot rolled alloys after annealing at 500°C for 4 hours.

Alloys with Mn addition exhibited strong recrystallization resistance during annealing due to the existence of α-dispersoids.

5. Conclusions

5.1 The evolution of dispersoids was predominantly controlled by nucleation and growth at homogenization temperatures below 400 °C, while it was controlled mainly by coarsening above 450 °C.

5.2 Holding at 400 °C for 2 hours was the optimum homogenization condition.

5.3 α-dispersoids precipitated due to Mn addition can effectively inhibit the recrystallization process for AA6082.

Dans le présent travail, les effets de l'ajout et de l'homogénéisation du Mn sur le comportement à la précipitation des α-dispersoïdes et la résistance à la recristallisation dans des alliages d'aluminium 6082 ont été étudiés à l'aide du test Vickers-dureté et des observations SEM et TEM. Les alliages comportant différentes teneurs en Mn ont été homogénéisés à des températures allant de 350 °C à 500 °C pendant 24 heures. L'homogénéisation à 400 °C pendant 2 heures s'est révélée être le traitement thermique optimal pour obtenir les meilleurs caractères des dispersoïdes (taille plus fine et fraction de volume plus élevée). Pour étudier le rôle des dispersoïdes dans le comportement de résistance à la recristallisation, les alliages avec divers Mn traités à 400 °C/2h ont été laminés à chaud, suivi par le processus de recuit à 500 °C jusqu'à 8 heures. EBSD a ensuite été réalisé pour obtenir des cartes d'orientation et des fractions de volume de recristallisation. Les résultats ont montré que l'évolution des dispersoïdes était principalement contrôlée par la nucléation et la croissance de l'homogénéisation à des températures inférieures à 400 °C, tandis qu'elle était principalement contrôlée par le grossissement pour des températures supérieures à 450 °C. Pendant ce temps, en raison de l'ajout du Mn, les précipités α-dispersoïdes peuvent efficacement inhiber le processus de recristallisation.

In the present work, the effects of Mn addition and homogenization on the precipitation behavior of α-dispersoids and recrystallization resistance in the aluminum alloy 6082 were studied using Vickers-hardness testing, and SEM and TEM observations. Samples with various Mn contents were homogenized at temperatures ranging from 350 to 500°C for up to 24 hours. A homogenization at 400°C for 2 hours was found to be the optimum heat treatment to obtain better dispersoid characteristics (finer size and higher volume fraction). To study the role of dispersoids in the resistance behavior of recrystallization, samples with various Mn content treated at 400°C/2h were hot-rolled followed by annealing at 500°C for up to 8 hours. EBSD was then performed to obtain orientation maps and recrystallization volume fractions. Results showed that the evolution of dispersoids was predominantly controlled by nucleation and growth at homogenization temperatures below 400°C, while it was controlled mainly by coarsening above 450°C. Meanwhile α-dispersoids precipitates due to Mn addition can effectively inhibit the recrystallization process.

Étude de l'usinabilité par électroérosion par enfonçage des alliages d'aluminium-silicium

Study on the machinability by die-sinking EDM of aluminum-silicon alloys

Frédéric Bédard
École de technologie supérieure

M. Jahazi - ÉTS
V. Songmene - ÉTS

L'électorérosion peut-il affecter de manière irréversible la qualité des surfaces usinées?

INTRODUCTION

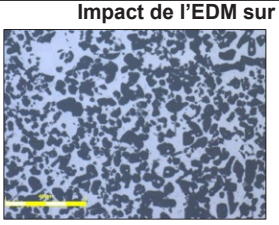
L'électroérosion est un procédé d'**usinage** non conventionnel **sans contact** très populaire dans le domaine **aéronautique,** domaine où la valeur ajoutée aux pièces usinées par ce procédé compense le coût important associé.

Au cours des dernières années, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'**optimisation** du procédé pour en termes de **taux d'enlèvement de matière** et de **fini de surface**. Dans les faits, **peu de recherche** a été faite sur l'impact du procédé sur l'**intégrité surfacique** des faces usinées.

OBJECTIF

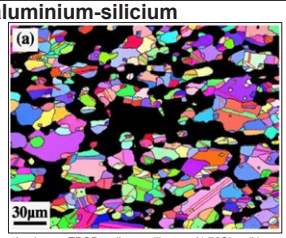
L'objectif de cette étude est de **déterminer l'impact** que peut avoir le **procédé d'usinage** sur **l'intégrité surfacique** des pièces usinées. La détermination de cet impact associée à une étude de **l'influence des paramètres** du procédé sur l'**endommagement** permettra de générer des **modèles prédictifs** qui serviront à **minimiser l'impact** de **l'apport en chaleur** du procédé sur ces surfaces.

Impact de l'EDM sur l'intégrité surfacique d'un alliage d'aluminium-silicium

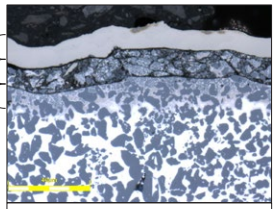


Al-50Si produit par RSP : Blocs de silicium primaire (~10µm) dans une matrice d'aluminium.

Chaque bloc de **silicium** est composé de multiples **grains nanométriques**.



Analyse EBSD d'un alliage Al-70Si. (Hogg, Lambourne, Ogilvy, & Grant, 2006)

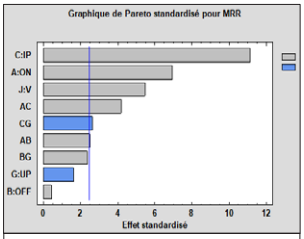


« The lightest phase is the aluminum-solid solution, the dark gray phase is the silicon, and the midgray phase is the quenched liquid.» (Hogg & Atkinson, 2005)

Surface usinée par EDM

Électroérosion
↓
Chaleur
↓
Contraintes thermiques > Limite ultime du matériau
↓
Apparition d'un réseau de fissures

Influence des paramètres d'électroérosion sur l'intégrité surfacique d'une pièce usinée



Résultats basés sur 16 essais.
Matériau : Al6061-T651

Paramètres de l'essai	
IP [A]	5 à 30
V [V]	90 ou 120
OFF [µs]	50 à 150
ON [µs]	50 à 150
Résultats après 20 min	

Cinq paramètres significatifs :

1. Courant d'une décharge électrique (IP)
2. Durée d'une décharge électrique (ON)
3. Tension de référence (V)
4. Temps de repos entre deux arcs (OFF)
5. Temps de repos entre deux séries d'arcs (UP)

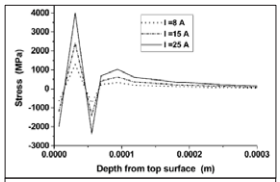
Deux phénomènes physiques :

1. Puissance contenue dans un arc électrique.

$$E = \int_0^{ON} V(t) * IP(t)dt$$

2. Renouvellement du liquide diélectrique
   - Désionisassions du liquide
   - Évacuation des débris
   - Refroidissement du duo pièce/électrode

$$f_{travail} = \frac{ON}{ON + OFF}$$



Chaleur = grandes contraintes résiduelles en tension et en compression sur les premiers 100 µm. Matériau : HSS.(Yadav, Jain, & Dixit, 2002)

Paramètres de l'essai	
IP [A]	8, 15 & 25
V [V]	40
OFF [µs]	100
ON [µs]	100
Résultat après 100 µs	

CONCLUSION L'électroérosion est un **procédé d'usinage thermique** non conventionnel contrôlé par un très grand nombre de paramètres. Parce qu'un important **apport en chaleur** se produit lors de l'usinage, un important **réseau de fissures** peut apparaître et causer une défaillance critique de la pièce. Une étude du procédé a permis de déterminer que le **contrôle de seulement cinq paramètres** (courant de décharge, durée d'un arc, tension du réseau, temps de repos entre deux arcs et entre deux séries d'arcs) permet de **limiter cet endommagement.**

Hogg, S. C., & Atkinson, H. V. (2005). Inhibited coarsening of a spray-formed and extruded hypereutectic aluminum-silicon alloy in the semisolid state. *Metallurgical and Materials Transactions A (Physical Metallurgy and Materials Science), 36A*(1), 149-159.
Hogg, S. C., Lambourne, A., Ogilvy, A., & Grant, P. S. (2006). Microstructural characterisation of spray formed Si-30Al for thermal management applications. *Scripta Materialia, 55*(1), 111-114.
Yadav, V., Jain, V. K., & Dixit, P. M. (2002). Thermal stresses due to electrical discharge machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42*(8), 877-888.

L'électroérosion par enfonçage est un procédé d'usinage non conventionnel sans contact très populaire dans le domaine de l'aéronautique. Cette méthode permet d'usiner des géométries complexes qui ne sauraient être fabriquées autrement, donnant ainsi aux pièces finies une forte valeur ajoutée qui compense le coût important qui y est associé.

Au cours des dernières décennies, l'électroérosion a été utilisée pour usiner tous les types de matériaux métalliques et a été optimisée d'un point du point de vue du taux d'enlèvement de matière ou du fini de surface. Dans les faits, peu de chercheurs se sont penchés sur l'impact de l'apport de chaleur sur la surface et la sous-surface usinée, ou en d'autres mots, sur l'endommagement général de la pièce usinée. Cette étude a pour objectif de déterminer l'impact que peut avoir la sélection de paramètres d'usinage tels que le courant et la durée de l'arc électrique, la tension du système, la durée entre deux arcs et la durée entre deux séries d'arcs sur la formation de microfissures sur la face usinée.

Electrical discharge machining is a non-conventional contact free machining process widely used in the aerospace industry. This thermal machining process makes the manufacturing of the most complex shapes possible for which the added value is worth the high expense related to it.

In the past few decades, electrical discharge machining has been used to machine every metallic material regardless of their physical properties and has been optimized either for the material removal rate or the surface finish of the machined surface. In fact, few have looked at the damage induced at the surface such as micro-cracks or voids. The purpose of this study is to look at the influence of some machine parameters such as the electrical current, the on-time, the off-time, the electrical tension and the time between two series of electrical arcs on the appearance of microcracks.

Investigation des stress d'outils durant le frittage à chaud à champs électrique pulsé d'un alliage Al-Zn-Mg-Cu

Investigation of tool stresses during isothermal SPS forging of Al-Zn-Mg-Cu alloy

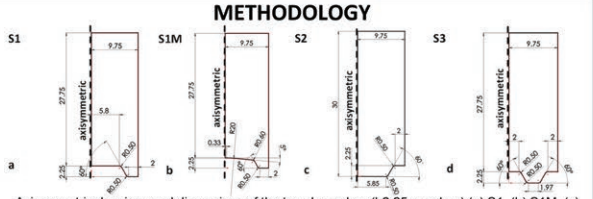
Mehmet Masum Tünçay
McGill University

J. Choi - McGill
M. Brochu - McGill

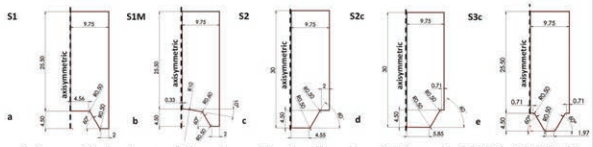
INTRODUCTION

Al-Zn-Mg-Cu alloy powders have particle bonding problem upon processing by spark plasma sintering (SPS) due to the magnesium oxide/aluminum oxide layer. Therefore, it is required to apply a second step of forging on the pre-sintered compact in order to further break the oxide layer and improve particle bonding. Since graphite is commonly used tool material in SPS and it has a low strength, the application of a second step forging becomes critical for the stresses on the tools in terms of the near-net-shape punches. This study aims to investigate tool stresses in graphite during isothermal hydraulic press forging of sintered Al-Zn-Mg-Cu (Alumix 431D: P/M equivalent of AA7075) alloy compact into near-net-shapes by SPS. Finite element analysis simulations were used to achieve this by ABAQUS software.

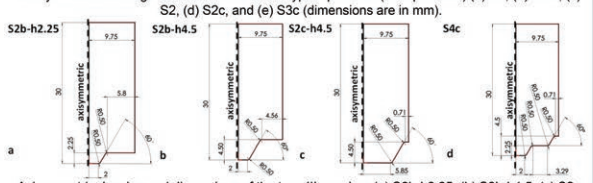
METHODOLOGY



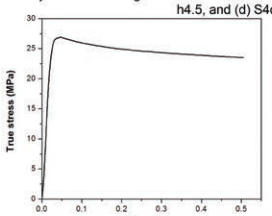
Axisymmetric drawings and dimensions of the type I punches (h2.25 punches) (a) S1, (b) S1M, (c) S2, and (d) S3 (dimensions are in mm).



Axisymmetric drawings and dimensions of the type II punches (h4.5 punches) (a) S1, (b) S1M, (c) S2, (d) S2c, and (e) S3c (dimensions are in mm).

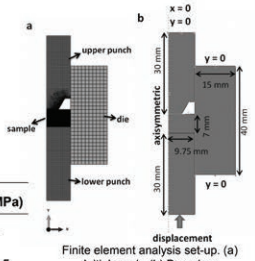


Axisymmetric drawing and dimensions of the type III punches (a) S2b-h2.25, (b) S2b-h4.5, (c) S2c-h4.5, and (d) S4c (dimensions are in mm).



Stress-strain curve of the sintered Alumix 431D sample at 400 ° C (0.001 s^{-1}) under hot compression.

In terms of the final forged samples:
S1…refers to a disc shape with a unilateral hub,
S2…refers to a disc shape with a unilateral rim,
S3c…refers to a disc shape with a unilateral rim and hub,
S4…refers to a disc shape with unilateral rim that has two steps.

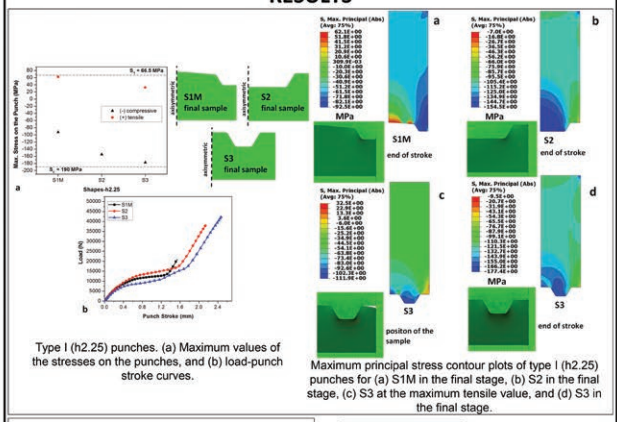


Finite element analysis set-up. (a) Initial mesh. (b) Boundary conditions.

The material constants used as input for FEA simulations.

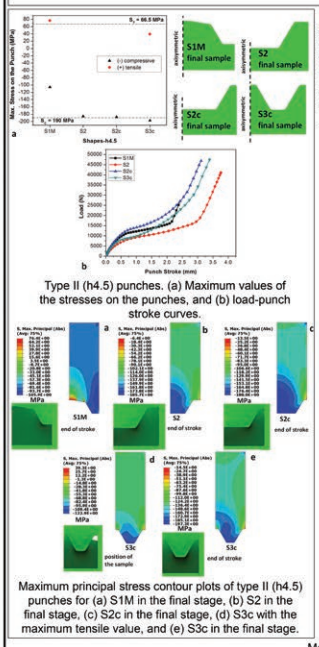
Material	E (GPa)	ν	ρ (g/cm³)	σ_y (MPa)
Graphite	13.5	0.16	1.77	-
Alumix 431D	1.5	0.358	2.79	22.5

RESULTS



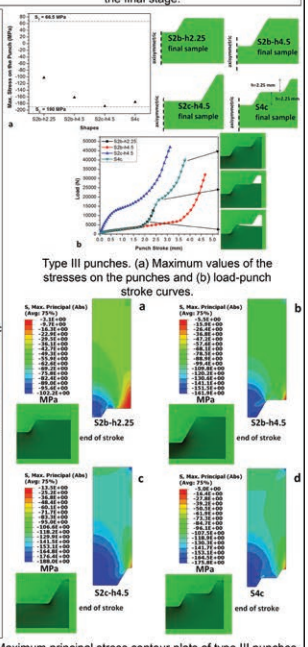
Type I (h2.25) punches. (a) Maximum values of the stresses on the punches, and (b) load-punch stroke curves.

Maximum principal stress contour plots of type I (h2.25) punches for (a) S1M in the final stage, (b) S2 in the final stage, (c) S3 at the maximum tensile value, and (d) S3 in the final stage.



Type II (h4.5) punches. (a) Maximum values of the stresses on the punches, and (b) load-punch stroke curves.

Maximum principal stress contour plots of type II (h4.5) punches for (a) S1M in the final stage, (b) S2 in the final stage, (c) S2c in the final stage, (d) S3c with the maximum tensile value, and (e) S3c in the final stage.



Type III punches. (a) Maximum values of the stresses on the punches and (b) load-punch stroke curves.

Maximum principal stress contour plots of type III punches for (a) S2b-h2.25, (b) S2b-h4.5, (c) S2c-h4.5, and (d) S4c in the final stage.

CONCLUSION

- Maximum stresses on the punches increase with an increase in the restriction to the material movement.
- Disc shapes with unilateral hub are unsuitable for graphite tools due to the formation of large tensile stresses (tensile strength, S_T: 66.5 MPa).
- 4.5 mm protrusion height in a 30 mm length punch reflected the critical limit for all other shapes in terms of the maximum compression stresses (comp. strength, S_C: 190 MPa).

Le frittage à chaud à champ électrique pulsé (SPS) de l'alliage Alumix 431D nécessite une deuxième étape de forgeage qui disloque l'épaisseur d'oxyde de magnésium/aluminium. Ceci réduit le problème de manque d'adhésion entre les particules. Puisque le graphite est typiquement utilisé comme outil pour l'SPS et que sa dureté est faible, la pression pouvant être appliquée peut être un facteur limitant pour la production de pièces ayant une forme proche du net. Ce projet étudie les stress sur les outils de graphite durant le forgeage SPS de l'Alumix 431D fritté à 400 oC en utilisant des simulations d'analyse par éléments finis. Trois différentes géométries d'outils sont analysées avec des tailles de ressort de 2,25 et 4,5 mm : la forme en disque avec un centre unilatéral, un rebord unilatéral et ensemble un centre et un rebord unilatéral. De plus, une forme en disque avec deux étapes et un rebord unilatéral a été investiguée. Des limitations sur la géométrie ont été identifiées et la taille de ressort de 4,5 mm a démontré être le seuil critique pour un forgeage réussi.

Spark plasma sintering (SPS) of the Alumix 431D alloy requires a second forging step, which disrupts the magnesium oxide/aluminum oxide layer, in order to reduce problems of powder particle bonding encountered in this alloy. Since graphite is commonly used as tool material in SPS and has low strength, the applicable load can become a key-limiting factor for near-net-shape punches. This study investigates the stresses on near-net-shape graphite punches during isothermal SPS forging of an Alumix 431D sintered compact at 400 °C using finite element analysis (FEA) simulations. Three different punch geometries with two different punch protrusion heights, 2.25 and 4.5 mm, were analyzed: disc shape with unilateral hub, with unilateral rim, and with unilateral rim and hub. Additionally, a two-step disc shape with a unilateral rim was investigated. Geometrical limitations were identified and 4.5 mm of punch protrusion height proved to be a critical threshold for successful forging.

Synthèse de la céramique nanostructure de type La1.8Sr0.2NiO4 par broyage à haute énergie pour les diélectriques LSNO-Al / époxy

Synthesis of nanostructured La1.8Sr0.2NiO4 ceramics via High-Energy Ball Milling for LSNO-Al/epoxy dielectrics

Mohammad Yaghoobi
Université Laval

M. Frechette - Hydro-Québec
J. Mashreghi - UL
H. Alamdari - UL

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 and metal particles are dispersed as the filler phase, take advantage of both materials and provide an excellent choice for dielectric devices. [3]

❖ 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. [4]

❖ $La_{1.8}Sr_{0.2}NiO_4$ ceramic with crystallized tetragonal K_2NiF_4-type structure and a large dielectric permittivity of 10^5 F/m has a suitable potential of being a filler material.

Objectives

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

Methodology & Analysis

Experimental Procedure

1- To synthesize LSNO, according to the following stoichiometry, the incorporator powders were synthesized in an attrition ball mill by adding some water for 10 minutes**(fig. 1)** and then the dilution was dried at 200° C over night **(fig. 2)**.

$$0.9(La_2O_3) + 0.2(SrO) + (NiO) \longrightarrow La_{1.8}Sr_{0.2}NiO_4$$

2- The obtained material was heat treated for 4 hours at three different temperatures of 1100 ° C , 1200 ° C and 1300 ° C in an electrical furnace . The structural changes during heat treatment were followed **(fig.3)**. [5]



fig. 1



fig. 2



fig. 3

3- The sample, heat treated at 1300 ° C, was selected for high energy milling. It was milled for different intervals of time and finally, the 3 hours milled sample was chosen for further studies.

4- The attrition milling was employed one more time to increase the surface area.

5- Grain size and surface area of LSNO powder were measured using Scanning Electron Microscopy(SEM), X-ray diffraction(XRD), and N_2-physisorption (BET: Micromeritics TriStar II) analyzer.

Results & Discussion

The peaks correspond to the free oxides La_2O_3, SrO and NiO were observed at 1100 ° C and 1200 ° C heat treatments. Nevertheless, the LSNO ceramic was well prepared at 1300 ° C **(fig. 4) .**

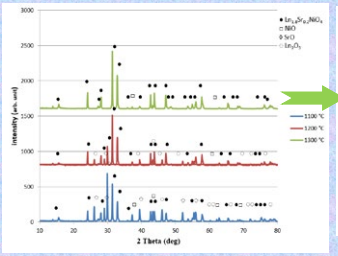


fig. 4) XRD pattern of LSNO mixture prepared at 1100° C, 1200 ° C , 1300 ° C for 4 hours.

The heat treated powder at 1300 ° C was pure, so selected for further studies. It was milled in several intervals to decrease the particle size. After 3 hours we reached an optimum size **(fig. 5).**

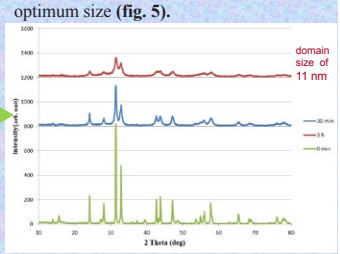


fig. 5) XRD pattern of Ball Milling of LSNO for 0, 30 minutes and 3h. It was already prepared at 1300 ° C for 4 hours.

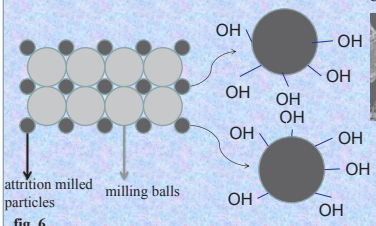


fig. 6

The attrition milling separates the agglomerated particles and the polar OH molecules go between the particles and prevent the re-agglomeration, thus increasing the specific surface area [1] **(fig. 6)**.

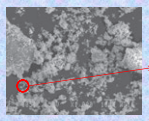


fig. 7



fig. 8

The BET exposed that the surface area has reached to 33 m^2/gr. Also, the XRD showed that the particle size was reduced after 3 hours of milling. The average ordered domain size, as calculated by Scherrer equation **(fig. 5)**, of 11 nm was obtained. It is visible in the **(fig. 7)** and **(fig. 8)**. Quartz was used as the reference material.

Conclusion

❑ $La_{1.8}Sr_{0.2}NiO_4$ was successfully synthesized by using the attrition ball mill for 10 minutes and heat treatment at 1300 ° C for 4 h. The final production was identified as a single-phase $La_{1.8}Sr_{0.2}NiO_4$ with 11 nm average domain size and 33 m^2/gr of specific surface area.

Future work:

❑ Fine produced LSNO powders with small amount of pure aluminum will be added into epoxy resin to achieve a high dielectric permittivity, which will open a highway for aluminum in the vast field of dielectric applications.

[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.
[3] Barber, Peter, Shiva Balasubramanian, Yogesh Anguchamy, Shushan Gong, Arief Wibowo, Hongsheng Gao, Harry J. Ploehn, and Hans-Conrad Zur Loye. "Polymer composite and nanocomposite dielectric materials for pulse power energy storage." *Materials* 2, no. 4 (2009): 1697-1733.
[4] Barber, Peter, Shiva Balasubramanian, Yogesh Anguchamy, Shushan Gong, Arief Wibowo, Hongsheng Gao, Harry J. Ploehn, and Hans-Conrad Zur Loye. "Polymer composite and nanocomposite dielectric materials for pulse power energy storage." Materials 2, no. 4 (2009): 1697-1733.
[5] Chouket, A., W. Cheikhrouhou-Koubaa, A. Cheikhrouhou, V. Optasanu, O. Bidault, and M. Khitouni. "Structural, microstructural and dielectric studies in multiferroic LaSrNiO 4-δ prepared by mechanical milling method." *Journal of Alloys and Compounds* 662 (2016): 467-474.

Acknowledgement

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

Les matériaux composites ayant une phase de matrice polymère, dans laquelle les particules à haute permittivité de céramique et d'aluminium sont dispersées pour permettre la phase de remplissage. Tenant compte de leurs avantages, ces deux matériaux peuvent fournir un excellent choix pour des dispositifs diélectriques. $La_{1.8}Sr_{02}Ni_{04}$ est un oxyde mixte, présentant une constante diélectrique extraordinaire de 10^5 et habituellement synthétisé en mélangeant les oxydes simples, suivie 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 micros-copie 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 high-permittivity ceramic and aluminum particles 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, $La_{1.8}Sr_{02}Ni_{0}$ is a mixed oxide, exhibiting a wonderful dielectric constant of 10^5. This compound is typically synthesized by mixing 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 increases the permittivity of the dielectric extraordinarily. High-Energy Ball Milling (HEBM) is a suitable technique to synthesize LSNO and mixing with aluminum. In this work, the synthesis parameters were optimized, aiming to synthesize single-phase La1.8Sr0.2NiO4 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 increase the specific surface area of the fillers. The structural evolution and 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 have a high dielectric permittivity due to many free electrons in the aluminum.

Empreinte digitale de la DSC sous différents traitements thermiques d'alliage moulé à haute pression de sous vide

DSC fingerprint under various heat treatments in high pressure vacuum die casting alloy

Zhixing Chen
Université du Québec
à Chicoutimi

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

INTRODUCTION

Aluminum high pressure die casting technology has now reached a stage of development that it can be used to produce components that are both heat treatable and wieldable. In recent years, aluminum castings are being used to an ever-increasing extent for structural parts in the autobody and suspension.

Each alloy and temper will produce a unique differential scanning calorimetry (DSC) curve. Therefore, it's useful to have a database of DSC curves to identify alloys and tempers for further problem diagnostics and solving.



OBJECTIVES

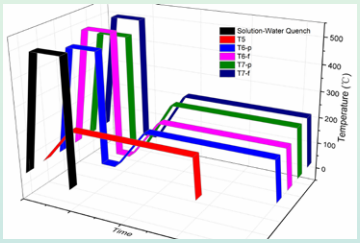
- Perform DSC tests on different tempers (solution- and age-treated) to determine their fingerprints.
- Study the evolution of microstructure to connect with the changes of DSC curves.

EXPERIMENTAL

Material composition:

Alloy	Si	Mn	Mg	Fe	Ti	Sr	V	Ga	Al
Aural-2	10.63	0.53	0.315	0.17	0.05	0.014	0.0121	0.011	Bal.

Heat treatment:





Solution treatment (SHT):
Partial: 460℃/1h
Full: 500℃/1h

Aging treatment:
T5: 185℃/4h without SHT
T6: 185℃/4h after SHT
T7: 220℃/4h after SHT

The microstructure observation is performed through optical microscope (OM) to study the formation of phase in the material and the relationship between morphology and heat treatment.

DSC tests are taken by PerkinElmer DSC-8000 from 50℃ to 500℃ with a heating rate of 10℃/min..

RESULTS

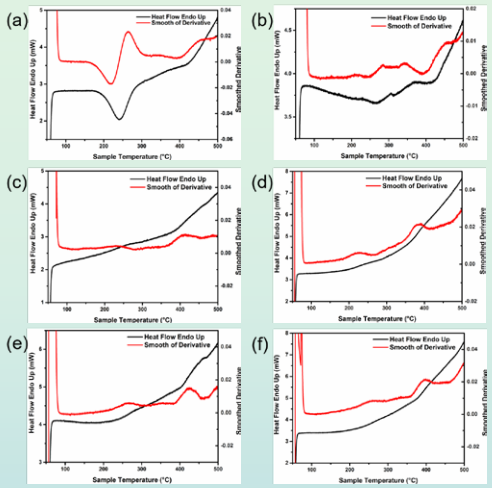


Figure 1 DSC curves under various tempers:
(a) F state; (b) T5 state;
(c)-(d) : T6 state with partial /full solution;
(e)-(f) : T7state with partial/full solution.

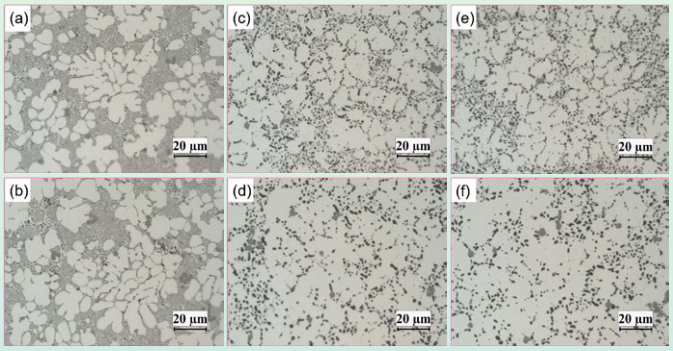


Figure 2 Microstructure of Aural-2 alloy under various tempers:
(a) F state;
(b) T5 state;
(c) T6 state with partial solution;
(d) T6 state with full solution;
(e) T7 state with partial solution;
(f) T7 state with full solution.

CONCLUSIONS

- Different peaks on DSC curves can be determined under various tempers, proving the possibility of establishing the DSC fingerprint for different aluminum alloys under various heat treatments.
- The evolution of microstructure under different tempers is preliminary studied to find the relationship between DSC and temper.

FUTURE WORK

- Detailed characterizing the DSC curves under various heat treatments;
- Further observation on microstructure using SEM/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;
- Establishing the DSC database of high pressure vacuum die casting alloys.

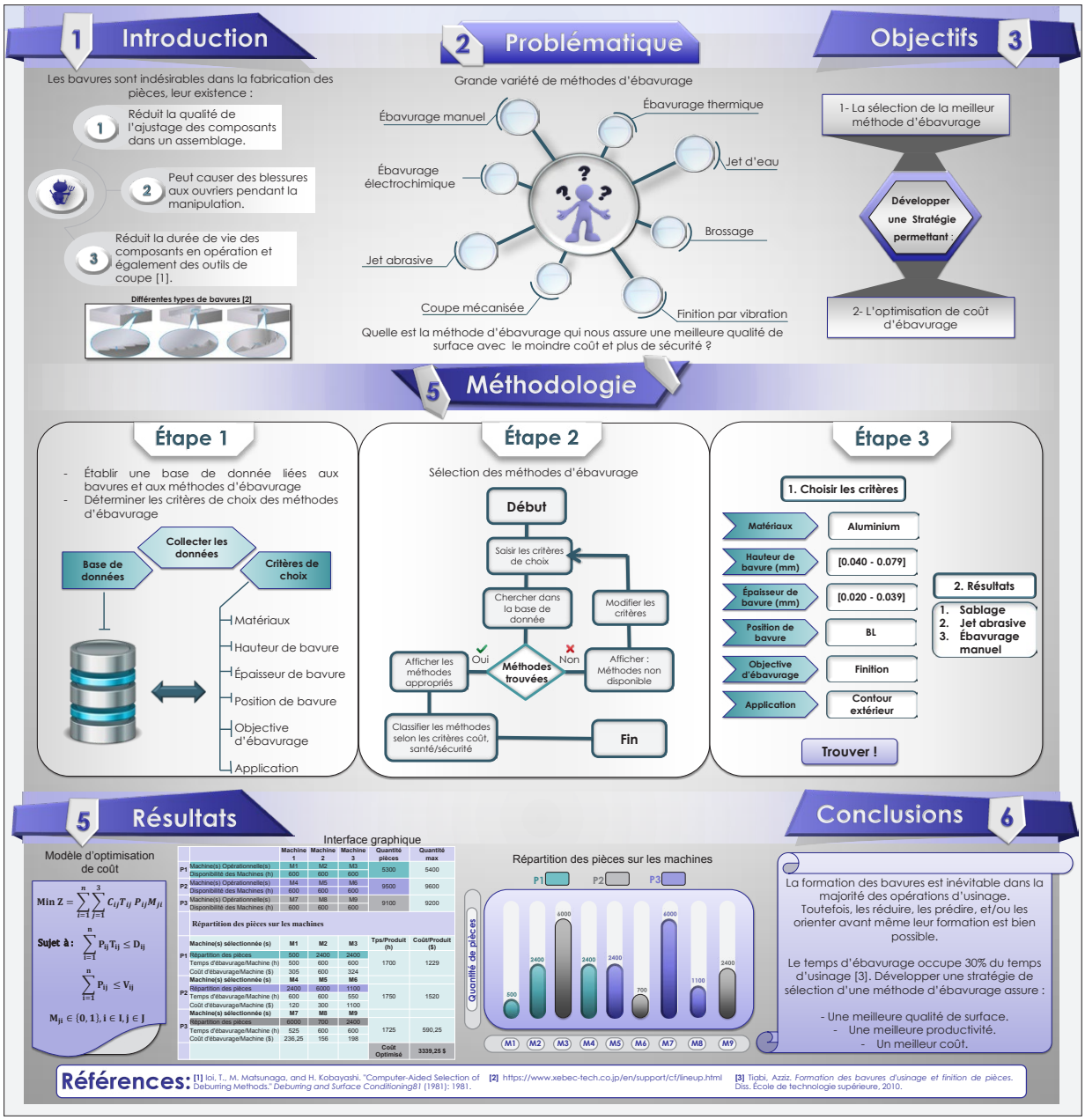
Depuis que la capacité de la production moulée à haute pression sous vide est devenue massive et que l'obtention de propriétés élevées est devenue réalisable pour l'application structurelle, cette technique de production est de plus en plus utilisée dans l'industrie automobile. Pour pouvoir faire un diagnostic et une résolution rapide du problème, il est nécessaire de connaître les différentes conditions de traitement thermique des alliages. Chaque alliage et chaque traitement peuvent produire des pics uniques dans la courbe de la calorimétrie différentielle à balayage (DSC). Il est utile d'avoir une base de données DSC pour plusieurs alliages d'aluminium sous différents traitements. Dans cette étude, les courbes DSC de l'alliage Aural-2 sous différents traitements thermiques, comme l'empreinte digitale, sont obtenues et caractérisées pour identifier la phase de transformation permettant de former une base de données. La microstructure se connectant aux changements sur les courbes DSC est également étudiée. Les résultats montrent que différents pics sont détectés lors des tests DSC, ce qui prouve la possibilité d'établir la base de données d'empreintes digitales DSC pour différents alliages d'aluminium sous plusieurs traitements thermiques. Un travail systématique plus important sera effectué pour identifier les caractéristiques de la microstructure sous différents traitements à l'aide du SEM / TEM et aussi pour quantifier le pic de la DSC avec la phase de la fraction volumique dans les alliages moulés à haute pression de sous vide.

High pressure vacuum die casting production is increasingly used in the automobile industry because of its massive production ability and high achievable properties for structural applications. To make quick problem diagnostics and solving, it is necessary to know the different heat treatment conditions of alloys. Each alloy and temper can produce unique peaks in differential scanning calorimetry (DSC) curves. It is useful to have a DSC database for various aluminum alloys under different tempers. In this study, DSC curves of Aural-2 alloys under various heat treatments are obtained and characterized to identify phase transformations to form a database. The microstructure related with the changes in the DSC curves are also studied. Results show that different peaks are detected during DSC tests, proving the possibility of establishing a DSC fingerprint database for different aluminum alloys under various heat treatments. More systematic work will be performed to identify the characteristics of microstructure under different tempers using SEM/TEM and to quantify the DSC peaks with phase volume fractions in high pressure vacuum die casting alloys.

Bavure et ébavurage d'aluminium : Sélection de méthode d'ébavurage
Burr and deburring of aluminium: Selection of deburring method

Abdellatif Bouzid
École de technologie supérieure

V. Songmene - ÉTS
J.-P. Kenne - ÉTS



Les fabricants dans le domaine aéronautique, comme dans beaucoup d'autres domaines, rencontrent d'importants obstacles à réaliser des pièces d'excellente finition : la formation des bavures, la non-consistance de l'ébavurage, les grattures de copeaux et l'usure des outils. Éliminer les bavures ou limiter leur génération est par conséquent d'une importance capitale.

Il est très problématique dans l'industrie de déterminer, parmi plusieurs procédés d'ébavurage et de finition de surface existants, lequel est le mieux adapté pour satisfaire les standards de qualité, tout en restant concurrentiel par la livraison des pièces dans les délais et à des prix abordables. L'objectif de cette étude est de développer une stratégie permettant la sélection de la meilleure méthode d'ébavurage et l'optimisation du coût, afin de répondre aux exigences industrielles et de contribuer à leur évolution.

Enfin, choisir le bon processus d'ébavurage et de finition de surfaces génère non seulement une meilleure qualité de pièces, mais réduit aussi le coût total de fabrication des pièces.

Manufacturers in the aeronautical field, as in many other fields, encounter important obstacles in making parts with an excellent finish: the formation of burrs, the lack of data on deburring, and the use of inappropriate deburring methods. Burrs are undesirable in the manufacture of parts, their existences reduce the quality of the fitting of components in an assembly, the dimensional and surface quality of the part, can cause injuries to workers during handling, reduce the life of the components in operation, and also reduce tool life, which significantly reduces productivity. Eliminating burrs or limiting their generation is therefore of paramount importance.

There are a wide variety of deburring and surface finishing processes which make it difficult to determine among them which process is best suited to meet quality standards while remaining competitive at affordable prices. For this purpose, the aim of this study is to develop a strategy for a selection of the best deburring methods and an optimisation of the cost, while meeting industrial requirements and contribute to their evolution.
Finally, choosing a suitable deburring and surface finishing process not only results in better part quality but also reduces the total cost of manufacturing parts.

Analyse par éléments finis de composants en alliage d'aluminium A356 fabriqués par fusion sélective par laser sur lit de poudre

Evaluation of Laser Powder Bed Fusion (LPBF) fabricated A356 Aluminum Ally Component through Finite Element Analysis

Shih-Cheng Chou
McGill University

M. Trask - McGill
M. Brochu - McGill

Introduction

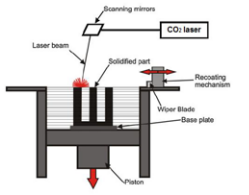


Figure 1 – LPBF operating principle [1]

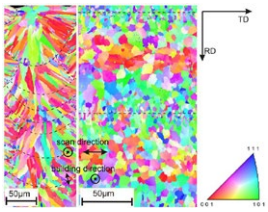


Figure 1 – Directional grain growth in LPBF fabricated aluminum component[2]

Laser Power Bed Fusion (LPBF) is an Additive Manufacturing (AM) process which fabricates parts by fully melting the metallic powder through a focused laser beam. By utilizing the layer-by-layer fabrication technique, SLM is capable in producing parts with intrinsic geometrically complex shapes while maintaining design flexibility. However, due to directional heat transfer giving rise to directional rapid solidification, LPBF fabricated components exhibit directional mechanical properties.

Methodology

Occurrence of directional mechanical properties in LPBF fabricated Al7SiMg components.

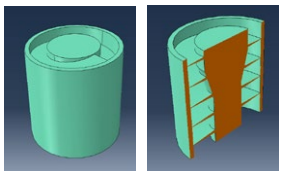
- Investigate directional grain growth and possible defects
- Perform tensile test to evaluate anisotropic mechanical properties (low and high pre-heat temperature environment)
- Perform finite element analysis (FEA) on a designed component

Evaluate anisotropic mechanical properties



Figure 3 – LBPF fabricated tensile specimens and fabrication orientation

FEA: Designed component and simulation conditions



Simulated Fluid
Mil-Prf-87257
AS1241 Type V(Phosphate Ester)

Service Condition	Simulated Velocity (m/s)
Hydraulic tubes routed to pump inlet (maximum)	2.1336 (7ft/s)
Hydraulic tubes routed to pump inlet	1.8288 (6ft/s)
Pump inlet	1

A356 T6B casted specimen	
YS	152 MPa
UTS	221 MPa

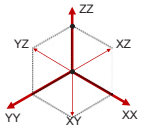
Figure 4 – Simulated component and simulation conditions

FEA: Anisotropic Yield Hill's potential function

$$R_{11} = \frac{\sigma_{11}}{\sigma_0} \; R_{22} = \frac{\sigma_{22}}{\sigma_0} \; R_{33} = \frac{\sigma_{33}}{\sigma_0}$$

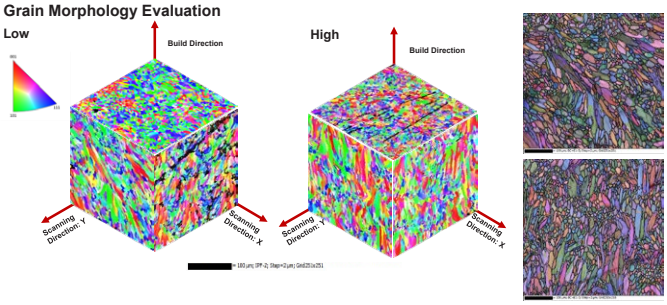
$$R_{12} = \frac{\tau_{12}}{\tau_0} \; R_{13} = \frac{\tau_{13}}{\tau_0} \; R_{23} = \frac{\tau_{23}}{\tau_0}$$

$$\tau_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{3}}$$

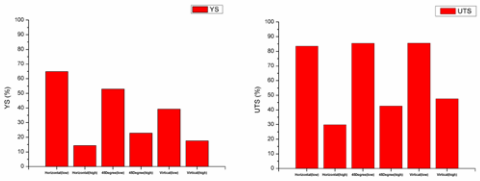


Results and Discussion

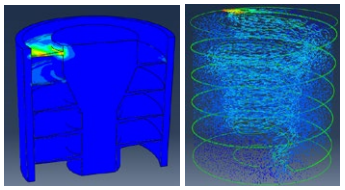
Grain Morphology Evaluation

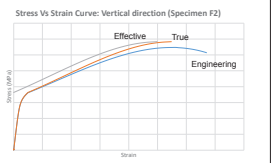


Mechanical properties Evaluation



Finite Element Analysis





Simulated model	Fluid	Maximum velocity	Structural integrity	plastic deformation
Horizontal direction (35C)	Mil-Prf-87257	1 m/s	Pass	Non
45degree direction (35C)	Mil-Prf-87257	1 m/s	Pass	Non
Vertical direction (35C)	Mil-Prf-87257	1 m/s	Pass	Non
Horizontal direction (200C)	Mil-Prf-87257	1 m/s	Pass	Non
45degree direction (200C)	Mil-Prf-87257	1 m/s	Pass	Non
Vertical direction (200C)	Mil-Prf-87257	1 m/s	Pass	Non
Horizontal direction (35C)	AS1241	1 m/s	Pass	Non
45degree direction (35C)	AS1241	1 m/s	Pass	Non
Vertical direction (35C)	AS1241	1 m/s	Pass	Non
Horizontal direction (200C)	AS1241	1 m/s	Pass	Non
45degree direction (200C)	AS1241	1 m/s	Pass	Non
Vertical direction (200C)	AS1241	1 m/s	Pass	Non

Simulated model	Fluid	Maximum velocity	Structural integrity	plastic deformation
Horizontal direction (35C)	Mil-Prf-87257	2.1336 m/s	Pass	Non
45degree direction (35C)	Mil-Prf-87257	2.1336 m/s	Pass	Non
Vertical direction (35C)	Mil-Prf-87257	2.1336 m/s	Pass	Non
Horizontal direction (200C)	Mil-Prf-87257	2.1336 m/s	Failed	Presented
45degree direction (200C)	Mil-Prf-87257	2.1336 m/s	Failed	Presented
Vertical direction (200C)	Mil-Prf-87257	2.1336 m/s	Failed	Presented
Horizontal direction (35C)	AS1241	2.1336 m/s	Failed	Presented
45degree direction (35C)	AS1241	2.1336 m/s	Failed	Presented
Vertical direction (35C)	AS1241	2.1336 m/s	Failed	Presented
Horizontal direction (200C)	AS1241	2.1336 m/s	Failed	Presented
45degree direction (200C)	AS1241	2.1336 m/s	Failed	Presented
Vertical direction (200C)	AS1241	2.1336 m/s	Failed	Presented

Simulated model	Fluid	Simulated velocity m/s	Maximum von Mises equivalent stress MPa	Equivalent Plastic Strain %
Horizontal direction (35C)	Mil-Prf-87257	1	Pass	0
Horizontal direction (35C)	Mil-Prf-87257	2.1336 (7 ft/s)	Pass	0
Horizontal direction (35C)	Mil-Prf-87257	4.572 (15 ft/s)	Failed	1.62
Horizontal direction (35C)	AS1241	1	Pass	0
Horizontal direction (35C)	AS1241	2.1336 (7 ft/s)	Failed	0.168
Horizontal direction (35C)	AS1241	4.572 (15 ft/s)	Failed	2.99

Simulated model	Fluid	Simulated velocity m/s	Maximum von Mises equivalent stress MPa	Equivalent Plastic Strain %
Horizontal direction (35C)	AS1241	1	Pass	0
Horizontal direction (35C)	AS1241	1.8288 (6 ft/s)	Failed	0.017
Horizontal direction (35C)	AS1241	2.1336 (7 ft/s)	Failed	0.168
Horizontal direction (35C)	AS1241	4.572 (15 ft/s)	Failed	2.99
Non-Anisotropic	AS1241	1	Pass	0
Non-Anisotropic	AS1241	1.8288 (6 ft/s)	Pass	0
Non-Anisotropic	AS1241	2.1336 (7 ft/s)	Failed	0.18
Non-Anisotropic	AS1241	4.572 (15 ft/s)	Failed	2.33

References

[1] Louvis, E., Fox, P., & Sutcliffe, C. J. (2011). Selective laser melting of aluminium components. *Journal of Materials Processing Technology*, *211*(2), 275-284.

Acknowledgements

Association de l'aluminium du Canada
Pratt & Whitney A United Technologies Company
Bell Helicopter A Textron Company
RENISHAW apply innovation™
FusiA

La Fusion Sélective par Laser sur lit de Poudre (FSLP) est un procédé de fabrication additive principalement utilisé pour fabriquer des composants métalliques. En adoptant une méthode couche par couche, la FSLP permet de fabriquer des composants complexes grâce à la fusion et soudure de poudres métalliques avec une source laser haute puissance. Pour de nombreuses entreprises, les systèmes de FSLP sont devenus les candidats idéaux pour fabriquer des composants métalliques complexes. La FSLP offre certains avantages, comme un haut rendement d'utilisation de matière, une grande flexibilité de production, un excellent buy-to-fly ratio et un haut degré de complexité de conception. Cependant, puisque la FSLP est sensible aux paramètres appliqués, ceux-ci doivent être définis soigneusement pour obtenir les microstructures et les propriétés mécaniques désirées et satisfaire les standards industriels. Ce projet considère qu'avec la FSLP, les variations de géométrie et les directions de fabrication auraient un impact significatif sur la solidification des pièces, entraînant des modifications de la microstructure et des propriétés mécaniques. De plus, le transfert de chaleur directionnel induit la solidification et la croissance de grains directionnels résultant en l'anisotropie du composant entier. L'alliage d'aluminium A356 (Al7SiMg), un nouvel alliage pour les procédés de FLSP, est le matériau d'intérêt dont la microstructure et la morphologie des grains sont étudiées en détails. L'objectif de ce projet est d'évaluer les différences de comportement mécanique et de comparer un composant en A356 homogène et un composant A356 fabriqué par FSLP avec des propriétés hétérogènes sous des conditions de chargement spécifique par analyse par éléments finis.

Laser Powder Bed Fusion (LPBF) is a type of additive manufacturing (AM) process that is used primarily to fabricate metallic components. By adopting a layer-by-layer fabrication method, LPBF possesses the ability to fabricate complex components through melting and fusing metallic powders with a high-power laser source. For many companies, LPBF systems have become one of the ideal candidates for fabricating complex metallic components. Advantages that LPBF offer include high efficiency in material usage, high production flexibility, a high material buy-to-fly ratio, and a high degree of design complexity without added cost. However, as the LPBF process is parameter sensitive, the process parameters need to be well defined for the processed material in order to achieve specific microstructures and mechanical properties and meet industrial standards. This project considers that in LPBF, differences in component geometrical designs and fabrication directions would have a notifiable effect on the solidification of the component, resulting in changes of microstructure and subsequently, mechanical properties. In addition, directional heat transfer also gives rise to directional solidification and directional grain growth resulting in anisotropic mechanical properties of overall LPBF fabricated components. A356 (Al7SiMg), a novel Al alloy for LPBF systems, is selected to be the focus material in which the microstructure morphology and grain morphology are investigated in detail. The goal of this project is to evaluate the differences in mechanical behavior and provide comparisons between a homogenous A356 component and a LPBF fabricated A356 component with inhomogeneous properties under specified loading conditions through finite element analysis (FEA).

Développement de poudres d'aluminure de fer armé avec des particules de TiC en par synthèse de combustion

Development of iron aluminide powders reinforced with TiC particles by combustion synthesis

Prix
Award

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

AXE 2 (ex aequo)

Hadi Ghazanfari
Université Laval

C. Blais - UL
R. Schulz - Hydro-Québec
M. Gariépy - Weir Canada Inc.
H. Alamdari - UL

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

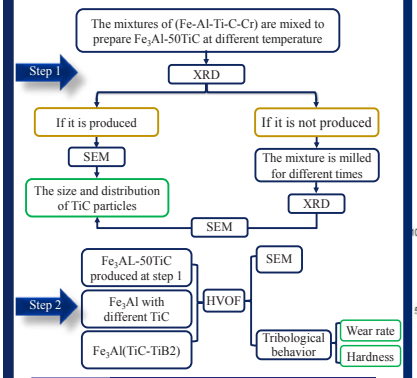
- Poor ductility at room temperature
- Low wear resistance at room temperature
- Low production rate of recently used methods

✓ Addition of 2 at.% Cr
✓ Addition of TiC particles
✓ Using Combustion synthesis

Goals

- ❑ Development of Fe_3Al 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

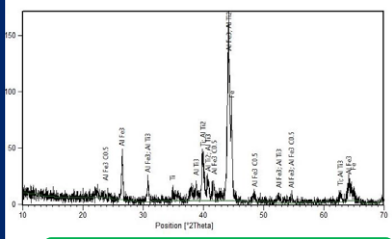
Methodology



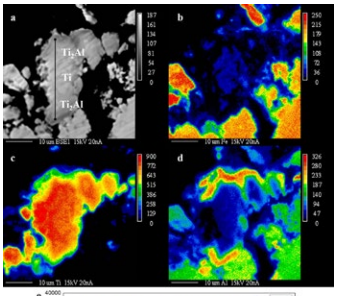
	Milling time	Pressure	Temperature	Time at furnace
Fe_3Al-50TiC	No milling	200 MPa	900 °C	5 min
	15 min	300 MPa	1000 °C	10 min
	30 min		1100 °C	

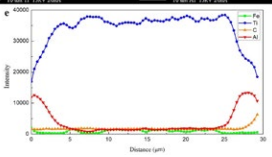
Results & Discussion

SHS 1200 ° C Using coarse Iron and titanium powders (>80µ)

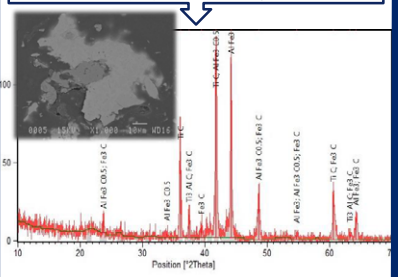


1. Intermediate Ti_3Al, Ti_2Al phase produced at first stage
2. No TiC in products





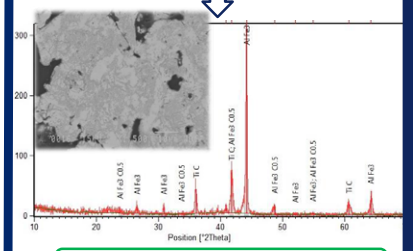
SHS 1200 Using coarse Iron (>80µ) and titanium powders (>60µ) – 30 min. milling



1. Fe_3Al and TiC were produced
2. Large amount of unwanted phases: Fe_3C and Ti_3AlC

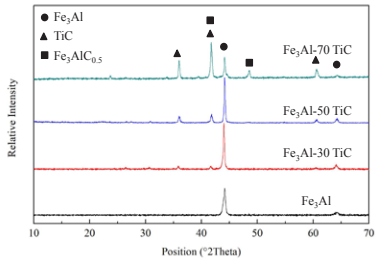
Results of Optimization

SHS 1100 Using fine Iron (>10µ) and titanium powders (>20µ) – 10 min. milling



1. Fe_3Al and TiC were produced
2. Small amount of unwanted phase: $Fe_3AlC_{0.5}$

30-50-70 mol.% TiC



Conclusion

- ❑ The final products contained Fe_3Al and TiC without any residual raw materials or non-stoichiometric phases indicating that the reactions took place completely.
- ❑ The best results achieved when 30 min of milling time and 1100 ° C of temperature were used.
- ❑ The dissolution-precipitation mechanism was proposed for the formation of Fe_3Al /TiC composite. The released energy melted Fe, Fe_3Al, and Ti followed by reaction of Ti and C inside Fe_3Al matrix. The presence of Al melt decreased the ignition temperature of TiC to 1100 ° C.

Future works

- ❑ Producing Fe_3Al-TiB2/TiC using B_4C powders
- ❑ Studying the tribological properties of HVOF sprayed coatings
- ❑ Deposition of produced powders using HVOF

References

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

La synthèse de la combustion en mode d'explosion thermique a été utilisée pour la synthèse de la poudre composite matricielle Fe3Al renforcée avec 30-50-70 moles. % TiC. Les matières premières étaient des poudres de Fe, Al, Ti et C. Les effets de la taille des particules, de la durée de fraisage des précurseurs et de la température sur les produits résultants ont été étudiés. Les produits finaux ont été caractérisés par une diffraction des rayons X (XRD) et une microscopie électronique à balayage (SEM) avec une spectroscopie à rayons X à énergie dispersive (EDX). Le résultat optimal a été obtenu lors de la durée de broyage de 30 minutes et de la température du four de 1100 °C. Les produits finaux de l'échantillon synthétisé à cette condition ne comportaient que des phases Fe_3Al, TiC sans phases intermédiaires ou non stœchiométriques. En raison de la dureté élevée des composés synthétisés et de la formation de renforts nano magnétiques, les poudres composites synthétisées peuvent être considérées comme un bon précurseur pour les applications de pulvérisation thermique.

A combustion synthesis in thermal explosion mode was used for the synthesis of a Fe3Al matrix composite powder reinforced with 30-50-70 mol. % TiC. The starting materials were Fe, Al, Ti and C powders. The effects of particle size, milling duration of precursors and temperature on resulting products were studied. The final products were characterized by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) with energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The optimum result was obtained when a milling duration of 30 min. and a 1100 °C furnace temperature was used. The final samples synthesized at these conditions contained only Fe_3Al, TiC phases without any intermediate or non-stoichiometric phases. Due to the high hardness of synthesized compounds and formation of nanosized reinforcements, the synthesized composite powders can be considered as a good precursor for thermal spray applications.

Sensibilité à la trempe des alliages Al-Si-Mg (Aural-3/-5) moulés à haute pression de sous vide

Quench sensitivity of Al-Si-Mg (Aural-3/-5) high pressure vacuum die casting alloys

Mengyun Liu
Université du Québec
à Chicoutimi

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

Introduction

Aural alloys as Al-Si-Mg high pressure vacuum die casting alloys have been specifically designed to achieve high mechanical properties and widely used in car body as well as chassis and suspension.

Insufficient quenching often leads to decrease in performance after aging, which is called the quench sensitivity. At present, the temperature-time-property (TTP) curves are generally used to assess the quench sensitivity.

OBJECTIVES

1. Constructing time-temperature-property (TTP) curves of Aural-3/-5 high pressure vacuum die casting (HPVDC) alloys
2. Calculating the quench factor and predicting mechanical property under different cooling rates
3. Investigating the effects of alloy chemical composition on TTP curves, quench factor and mechanical property

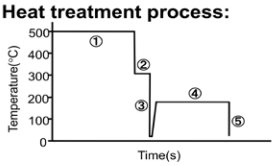
EXPERIMENTAL

Alloys	Process	Al	Si	Fe	Mn	Mg	Ti	Sr
Aural-3	HPVDC	bal.	10.1	0.18	0.49	0.55	0.06	0.012
Aural-5	HPVDC	bal.	7.4	0.17	0.49	0.2	0.08	0.018

Table 1 Alloy chemical compositions in this work

Sample preparation: High pressure vacuum die casting 2.5 mm plates

Heat treatment process:



① Solution heat treatment under 500℃ for 3h
② Soaking steps at different temperatures (250℃-450℃) and different time(10s-2100s)
③ Water quench to room temperature
④ Aging at 170℃ for 2.5h
⑤ Water quench to room temperature

Microhardness tests: a load of 100g and dwelling time of 15s

TTP curves calculation:

$$t_c(T) = -k_1 k_2 \exp\left[\frac{k_3 k_4^2}{RT(k_4 - T)^2}\right] \exp\left(\frac{k_5}{RT}\right)$$

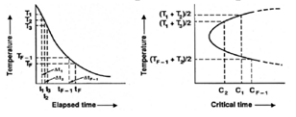


Fig 2 (a). Cooling curves (b). TTP curve

Quench factors calculation: $\tau = \frac{\Delta t_1}{c_1} + \frac{\Delta t_2}{c_2} + \cdots + \frac{\Delta t_{F-1}}{c_{F-1}}$ Δt=0.1s

Prediction of mechanical properties: $\sigma = \sigma_{max}\exp(k_1\tau)$

Hardness drop: $\Delta\% = (\sigma_{max} - \sigma)/\sigma_{max} = 1 - \exp(k_1\tau)$

RESULTS

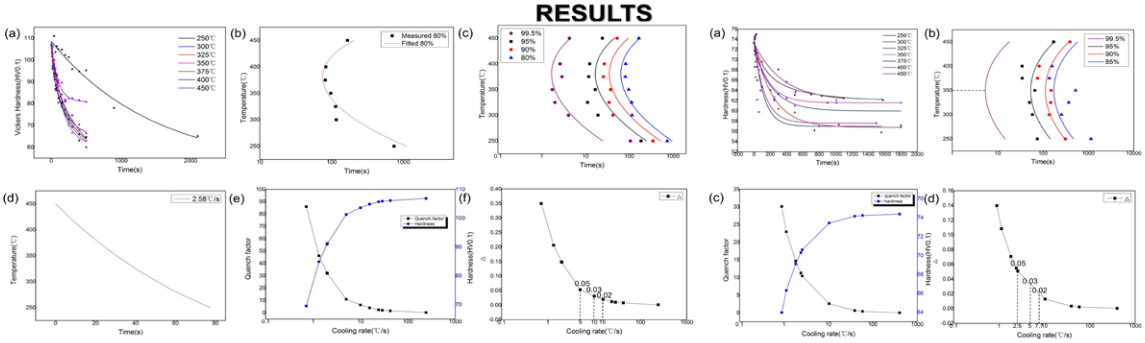


Fig 2 (a) Effect of isothermal treatment on the hardness of Aural-3 HPVDC, (b) TTP curve of Aural-3 HPVDC by measurement and fitting, (c) Overall TTP curve of Aural-3 HPVDC by measurement and fitting, (d) cooling curve of Aural-3 HPVDC under 2.58℃/s, (e) effect of average cooling rate on quench factor and predicted hardness of Aural-3 HPVDC, (f) Effect of average cooling rate on hardness drop.

k2	k3	k4	k5
2.41E-12	8374.459	1066.532	121109.3

Table 2 Coefficients of TTP curve equation for Aural-3 HPVDC by fitting

Fig 3 (a) Effect of isothermal treatment on the hardness of Aural-5 HPVDC, (b) TTP curve of Aural-5 HPVDC by measurement and fitting, (c) effect of average cooling rate on quench factor and predicted hardness of Aural-5 HPVDC, (d) effect of average cooling rate on hardness drop.

k2	k3	k4	k5
1.02E-07	10713.67	1152.1	68743.23

Table 3 Coefficients of TTP curve equation for Aural-5 HPVDC by fitting

CONCLUSIONS

1. The TTP curves of Aural-3 and Aural-5 high pressure vacuum die casting alloys have been constructed.
2. In the TTP curves, the nose temperature of Aural-3 alloy is 375°C and the critical temperature of range is 300-450°C. The nose temperature of Aural-5 alloy is 350°C and the critical temperature of range is 250-450°C.
3. Quench factor and the relationship between hardness and cooling rates have been determined.
4. To obtain more than 95%, 97%, 98% of the hardness, the cooling rate of Aural-3 alloy should be more than 5°C/s, 10 °C/s, 15 °C/s, respectively. In Aural-5 alloy, the cooling rate should be more than 2.5 °C/s, 5 °C/s, 7.7 °C/s, respectively.
5. Aural-3 alloy is more quench sensitive than Aural-5 alloy.

Les alliages Aural comme les alliages Al-Si-Mg moulés à haute pression sous vide ont été spécifiquement conçus pour obtenir des propriétés mécaniques élevées. Ils sont largement utilisés dans la carrosserie automobile ainsi que le châssis et la suspension. Un trempage insuffisant conduit souvent à une diminution des performances après le vieillissement, qui est appelée sensibilité à la trempe. Dans le présent travail, les courbes de température-temps-propriété (TTP) sont généralement utilisées pour évaluer la sensibilité à la trempe. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la sensibilité à la trempe des alliages Aural-3/-5 moulés à haute pression de sous vide. En utilisant la technique de trempe interrompue, les courbes TTP des alliages Aural-3/-5 ont été construites. Le facteur de trempage et la relation entre la dureté et les taux de refroidissement ont été déterminés. Dans les courbes TTP, la température à la pointe de l'alliage Aural-3 est de 375 oC et la température critique se situe dans l'intervalle de 300 à 450 oC. La température à la pointe pour l'alliage Aural 5 est de 350 oC et la température critique se situe dans l'intervalle de 250 à 450 oC. Afin d'obtenir obtenir plus que 95 %, 97 % et 98 % de la dureté, le taux de refroidissement de l'alliage Aural 3 doit être respectivement supérieur à 5 °C/s, 10 °C/s et 15 °C/s. Dans l'alliage Aural-5, le taux de refroidissement devrait être supérieur respectivement à 2,5 °C/s, 5 °C/s et 7,7 °C/s. Dans l'ensemble, l'alliage Aural 3 est plus sensible au trempage que l'alliage Aural 5.

Aural alloys such as Al-Si-Mg high pressure vacuum die casting alloys have been specifically designed to achieve high mechanical properties and are widely used in car bodies as well as chassis' and suspensions. Insufficient quenching often leads to a decrease in performance after aging, which is called quench sensitivity. Currently, temperature-time-property (TTP) curves are generally used to assess quench sensitivity. The main objective of the present work is to evaluate the quench sensitivity of Aural-3/-5 high pressure vacuum die casting alloys. By utilizing interrupted quench techniques, TTP curves of Aural-3/-5 alloys have been constructed. Quench factors and the relationship between hardness and cooling rate have been determined. In the TTP curves, the nose temperature of Aural-3 alloy is 375 oC and the critical temperature range is 300-450 oC. The nose temperature of the Aural-5 alloy is 350 oC and the critical temperature range is 250-450 oC. To obtain more than 95%, 97%, 98% of the hardness, the cooling rate of Aural-3 alloy should be more than 5°C/s, 10 °C/s, and 15 °C/s, respectively. In Aural-5 alloy, the cooling rate should be more than 2.5 °C/s, 5 °C/s, and 7.7 °C/s, respectively. Overall, the Aural-3 alloy is more quench sensitive than the Aural-5 alloy.

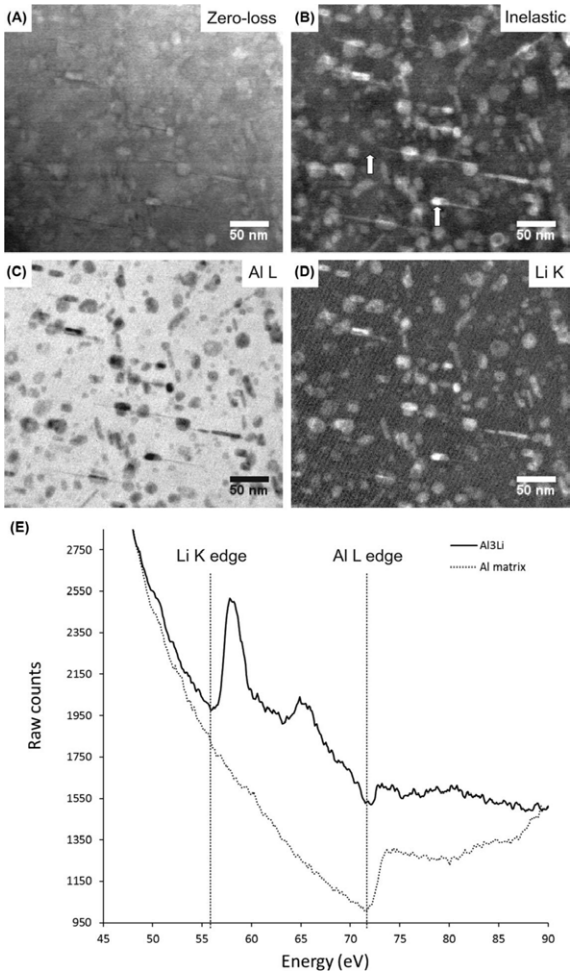
Analyse de précipités dans un alliage Al-Li-Cu, par spectroscopie des pertes d'énergie d'électrons

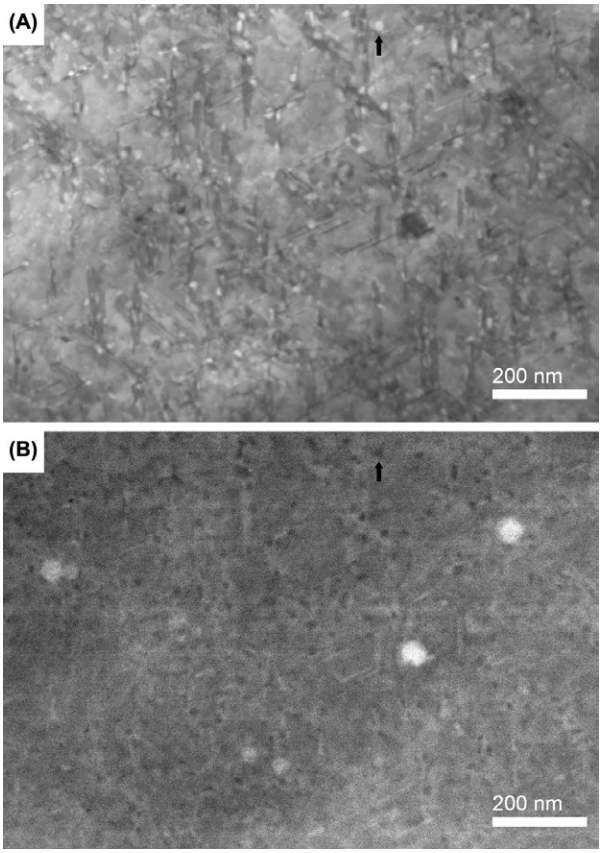
EELS Analysis of Precipitates in an Al-Li-Cu Alloy

Frédéric Voisard
McGill University

N. Brodusch - UQAC
R. Gauvin - Hydro-Quebec
M. L. Trudeau - Hydro-Quebec

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. En outre, pour identifier positivement le type de précipité, il faut examiner la nature chimique dudit précipité. La spectroscopie dispersive d'énergie de rayons X est la méthode standard pour l'analyse élémentaire en microscopes électroniques. Cette méthode n'est malheureusement généralement pas capable de détecter le lithium, car les rayons X généré par le lithium ont une énergie de 55 eV[2]. Ces rayons X à faible énergie sont absorbés par la fenêtre de protection du détecteur avant qu'ils ne puissent être mesurés. Une autre méthode d'analyse élémentaire est la spectroscopie de perte d'énergie électronique (EELS), qui mesure l'énergie des électrons après les interactions entre le faisceau incident et l'échantillon. Comme les processus d'ionisation nécessitent de l'énergie, les pics du spectre EELS correspondent aux seuils d'ionisation des éléments présents dans l'échantillon. La spectroscopie EELS permet la détection d'éléments légers, tels que le lithium[2]. La spectroscopie EELS permet donc l'observation directe des précipités δ' (Al3Li). Ayant confirmé l'apparition de ces précipités par des observations directes d'EELS dans un TEM, et en corrélant ces résultats à des images prises en utilisant des SEM plus simples et plus disponibles, il a été constaté que, après une préparation d'échantillon appropriée, l'imagerie SEM peut être utilisée pour étudier les microstructures des précipités complexes à l'échelle nanométrique des alliages Al-Li-Cu traités thermiquement[3].





En haut: images de l'alliage AA2099-T83, prisent a l'aide d'un microscope électronique a balayage (Hitachi Su-8230, 30 keV). A) image en transmission en champ claire et B) images par électrons rétrodiffusés [3].

À gauche: images de l'alliage AA2099-T83, prisent à l'aide d'un microscope électronique a transmission (Hitachi HF-3300, 300keV), en mode STEM-EELS (spectromètre GIF Quantum ER). A) intensité du pic de pertes nulles, B) intensité de l'intégrale des pertes d'énergies (signal inélastique) C) seuil d'ionisation de l'aluminium D) seuil d'ionisation du lithium, E) spectre EELS extrait d'un précipité (noir) et de la matrice (pointillé)[3].

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.*

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. En outre, pour identifier positivement le type de précipité, il faut examiner la nature chimique dudit précipité. La spectroscopie dispersive d'énergie de rayons X est la méthode standard pour l'analyse élémentaire en microscopes électroniques. Cette méthode n'est malheureusement généralement pas capable de détecter le lithium, car les rayons X générés par le lithium ont une énergie de 55 eV[2]. Ces rayons X à faible énergie sont absorbés par la fenêtre de protection du détecteur avant qu'ils ne puissent être mesurés. Une autre méthode d'analyse élémentaire est la spectroscopie de perte d'énergie électronique (EELS), qui mesure l'énergie des électrons après les interactions entre le faisceau incident et l'échantillon. Comme les processus d'ionisation nécessitent de l'énergie, les pics du spectre EELS correspondent aux seuils d'ionisation des éléments présents dans l'échantillon. La spectroscopie EELS permet la détection d'éléments légers, tels que le lithium[2]. La spectroscopie EELS permet donc l'observation directe des précipités δ' (Al3Li). Ayant confirmé l'apparition de ces précipités par des observations directes d'EELS dans un TEM, et en corrélant ces résultats à des images prises en utilisant des SEM plus simples et plus disponibles, il a été constaté que, après une préparation d'échantillon appropriée, l'imagerie SEM peut être utilisée pour étudier les microstructures des précipités complexes à l'échelle nanométrique des alliages Al-Li-Cu traités thermiquement[3].

Al-Li-Cu alloys have excellent mechanical properties due in large part to the complex network of precipitates that form during heat treatment processes[1]. It is therefore of utmost importance to be able to measure the size and distribution of the various precipitates within the aluminium matrix. Furthermore, to positively identify the type of precipitate, the chemical nature of the said precipitate must be examined. X-Ray energy dispersive spectroscopy is the standard method for elemental analysis in electron microscopes. This method is unfortunately not generally able to detect lithium, as the X-Ray generated by lithium have energy of 55 eV[2]. These low energy X-Ray are absorbed by the protective window of the detector before they can be measured. A different method for elemental analysis is electron energy loss spectroscopy (EELS), which measure the energy of electrons after specimen interactions. Since ionization processes require energy, peaks on the EELS spectrum correspond to the ionization edges of the elements present in the sample. EELS allow the detection of light elements, such as lithium. EELS therefore enables the direct observation of δ' (Al3Li) precipitates. Having confirmed the appearance of these precipitates by direct EELS observations in a TEM, and correlating these findings to images taken using simpler and more available cold field SEM, it was found that, after suitable sample preparation, SEM imaging can be used to study the microstructures of the complex nanoscale precipitates of heat-treated Al-Li-Cu alloys[3].

[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*

Développement d'une méthode de prédiction de l'usure des outils utilisés dans le SFM
Method development of tool wear prediction in FSW

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi

Canada
CNRC-NRC

INTRODUCTION

Prédire l'usure des outils utilisés dans la soudure par friction-malaxage est un élément indispensable pour connaître les coûts reliés à cette technologie. Par conséquent, le but général de cette recherche est de développer une méthode de prédiction de l'usure des outils utilisés dans la SFM. Cette méthode d'assemblage est en évaluation d'intégration dans le domaine automobile et de transport de surface où les constructeurs essaient de développer des structures multi-matériaux plus légères en combinant les alliages d'acier et d'aluminium. La soudure par friction-malaxage permet d'assembler ces matériaux de manière rapide et performante. En contrepartie, il n'existe pas actuellement de méthode prédictive de cette forme d'usure ce qui nuit au développement industriel.

Cette recherche a pour objectif de :

- Déterminer des fenêtre opératoires
- Comprendre l'influence des paramètres sur les mécanismes d'usure
- Développer une méthode de prédiction de l'usure des outils utilisés dans la SFM

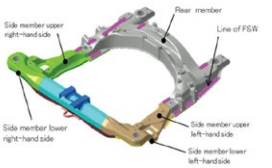


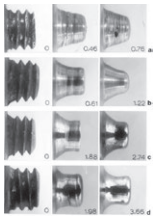
Figure 15. Hybrid subframe components (after FSW) [1]





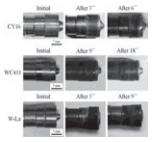
USURE TYPIQUE DES OUTILS

L'usure des outils utilisés dans la soudure par friction-malaxage est différente dépendant des matériaux utilisés et de la configuration de joint. Plusieurs études essaies de trouver une géométrie ou un matériau pouvant donner une bonne résistance à l'usure.[2,3]



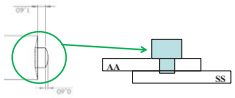
La première figure montre des outils ayant produit une série d'essais dans un joint bout-à-bout de plaques d'aluminium contenant une certaine quantité d'alumine (Al2O3). L'outil étant moins solide que les particules d'alumine contenu dans les plaques, il est clair que l'usure par abrasion domine la perte de matériel.

La deuxième figure montre des outils ayant soudés de l'acier dans un joint bout-à-bout. La haute température change significativement les propriétés du matériau ce qui mène à une dégradation géométrique sévère comme le fluage.



La dernière figure est un outil nettoyé ayant soudé des plaques d'aluminium et d'acier ensemble dans un joint à recouvrement . Une combinaison de mécanismes d'usure entre l'abrasion et les effets de la haute température à l'interface produit la dégradation observée à l'extrémité de l'outil.





Remerciements: Les auteurs de l'UQAC désirent remercier chaleureusement l'équipe du CTA-CNR

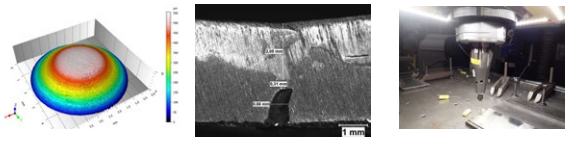
MÉTHODE ET RÉSULTATS

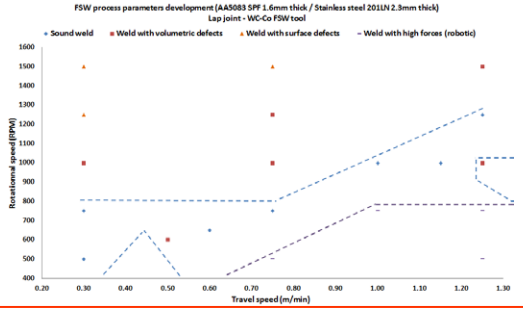
L'objectif principal de cette recherche est d'identifier une loi d'usure applicable à l'assemblage SFM Al-acier en fonction des paramètres et du grade d'acier.

L'usure produit un changement géométrique de l'outil et ce changement sera mesuré au profilomètre. Plusieurs paramètres peuvent être ajustés lors de la profilométrie dont la plage d'analyse du diamètre du pion. En effectuant une mesure du profil de l'outil, on peut déterminer s'il y a du fluage (ce qui produit une augmentation du diamètre), le taux d'usure et l'endroit ou s'effectue cet usure.

La température est un facteur clé de l'usure. La température à l'interface Al-acier est mesurée grâce à l'insertion d'un thermocouple de 0,02" (0,508 mm), car elle est requise pour déterminer un mécanisme d'usure ce qui mène à associer un taux d'usure à ce mécanisme. La corrélation entre la température d'interface et celle mesurée dans l'outil permettra une implémentation d'un système de contrôle par la température simple en production.[4] Ce dernier peut fournir en temps réel des informations sur l'usure.

Une optimisation des paramètres opératoires est nécessaire pour reproduire les conditions dans lesquelles l'outil sera soumis dans sa vie utile. L'alliage et l'épaisseur des matériaux proviennent de partenaires qui utilisent ceux-ci dans le domaine de l'automobile.





CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS

Considérant les buts énumérés à l'introduction, cette recherche a produit des fenêtres opératoires optimisées pour diverses combinaisons de matériaux reliées à l'industrie automobile et du transport. Elle s'aligne dans l'optique de fournir une méthode adaptée de prédiction d'usure des outils utilisés en SFM utilisant notamment la température comme paramètre d'entrée. Les essais d'usure seront produit sur trois (3) combinaisons de matériaux suivant les paramètres opératoires critiques d'usure possiblement rencontrés dans l'industrie. Ces données demeurent la propriétés du CNRC et de ses partenaires ALTec impliqués dans le projet.

RÉFÉRENCES

1. S., O., *Application of an FSW continuous welding technology for steel and aluminum to an automotive subframe.* 2013.

2. Wang, J., et al., *Tool wear mechanisms in friction stir welding of Ti–6Al–4V alloy.* Wear, 2014. **321**: p. 25-32.

3. Prado, R.A., et al., *Self-optimization in tool wear for friction-stir welding of Al 6061+20% Al2O3 MMC.* Materials Science and Engineering: A, 2003. **349**(1): p. 156-165.

4. Upadhyay, P., *Joining Dissimilar Material Using Friction Stir Scribe Technique.* TMS 2017, 2017.

Prix
Award

HATCH™

Francis Tremblay
Université du Québec
à Chicoutimi

L. St-Georges - UQAC
F. Nadeau - CNRC-NRC

Le soudage par friction-malaxage (SFM) représente un avantage certain lorsque des constructeurs envisagent de créer des structures alliant aluminium et acier. Cette situation se retrouve aujourd'hui dans l'industrie automobile et des transports de surface, où certaines compagnies visent à alléger la structure de leurs véhicules dans le but de réduire la consommation de ceux-ci. Toutefois, pour implanter cette technologie dans une chaîne de montage de voiture, par exemple, il faut posséder certains paramètres comme l'usure de composantes qui peuvent faire échouer le projet au niveau financier dans l'avenir.

L'usure des outils de soudage peut facilement devenir un consommable peu négligeable lorsque les matériaux en jeu ont d'excellentes propriétés mécaniques. Prédire l'usure de ces outils serait un avantage précieux pour cette technologie qui demande qu'à prendre de l'ampleur dans l'industrie. Dans le domaine, une méthode prédictive de l'usure des outils de SFM, considérant les grades des aciers utilisés, est unique et peut certainement être utile aux compagnies envisageant de souder l'aluminium à l'acier.

Cette recherche livre des résultats d'optimisation de paramètres et explique la méthodologie utilisée pour arriver à produire une méthode unique et simple d'application dans le milieu industriel pour la prédiction de l'usure des outils utilisés dans le SFM, considérant plusieurs paramètres d'entrées comme la température et les grades d'acier.

Friction stir welding shows plenty of advantages when considering the creation of structures combining aluminum and steel. This situation arises commonly in the automotive industry and ground transportation for companies that target light weight products to achieve the goal of reducing fuel consumption. However, to implement this technology in an assembly line of cars for example, it's a must to know certain parameters like component wear that can lead to a financial failure in the future.

Welding tool wear can easily become a consumable to consider when materials have excellent mechanical properties. Predicting tool wear can be a precious advantage for this technology whose demand is taking more space in the industry. In this sector, a predictable method for tool wear for FSW by considering steel grades is unique and can certainly be useful for companies to consider in welding aluminum to steel.

This research leads to results of parameter optimisation and explains the methodology used to achieve a unique and simple method for industrial applications for the prediction of tool wear used in FSW considering a lot of entering parameters like temperature and steel grades.

Analyse du coût du cycle de vie d'un pont routier à platelage en aluminium
Life-cycle cost analysis of a bridge with an aluminum deck

Cassandra Bayan
Université Laval

L. Sorelli - UL
M. Fafard - UL

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 répartis en deux scénarios couvrant une même réalité fonctionnelle (débit, action composite ou non, portée 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
sans action composite



BOIS
poutres d'acier



ALUMINIUM
poutres d'acier

MILIEU URBAIN
avec action composite



BETON
poutres d'acier



ALUMINIUM
poutres d'acier

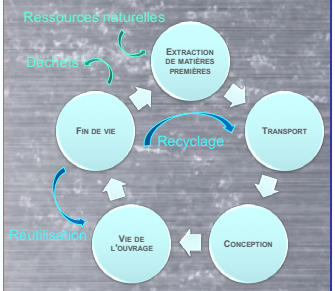


Figure 1

Méthodologie

I. Conception des quatre ponts selon les exigences des scénarios.
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 scenarios de maintenance avec le MTMDET

- ✓ 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.

$$\text{Valeur actualisée nette (VAN)} = \sum_{t=1}^{n} \frac{Cn}{(1+a)^n}$$

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.

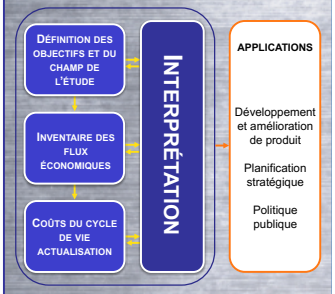
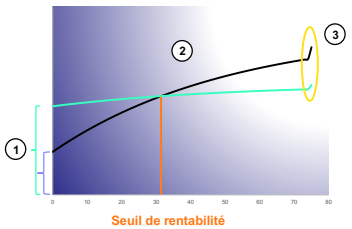


Figure 2

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 phase de démolition où le recyclage de l'aluminium lui conférera 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.

Travaux parallèles

L'ACCV réalisée dans ce projet sera complémentaire à l'analyse du cycle de vie (ACV), déterminant les avantages environnementaux, réalisée à l'École Polytechnique de Montréal.

Remerciements

Monsieur Dominic Fortin, ing. M.Sc., Ministère des Transports du Québec

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 actuellement trop souvent sur une analyse incomplète et biaisée, ne considérant que les coûts de construction. En effet, un matériau s'inscrivant dans une logique de développement durable, dont les bénéfices seront visibles dans la durée, est défavorisé au profit de projets utilisant des matériaux à bas coût. 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, avec action composite, la conception en aluminium sera comparée à celle déjà existante d'un pont à dalle de béton sur poutres d'acier. En milieu rural, sans action composite, 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 des matériaux, le transport, la construction, l'entretien, l'exploitation et enfin la gestion en fin de vie (démolition, recyclage). Les premières études de conception sont en cours et les résultats 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. Indeed, a material used for sustainable development, the benefits of which will be essentially visible over time, is disadvantaged in favor of projects using low-cost materials. 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, with composite action, the aluminum design will be compared with the existing one of a bridge with concrete slab on steel beams. In rural areas, without composite action, it will be a matter of opposing aluminum to a steel-wood bridge.

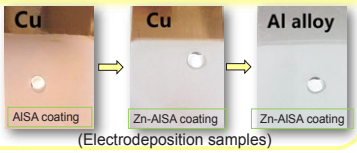
The method we propose analyzes the entire costs of the structure over its entire life cycle: "from cradle to grave". In this holistic approach, all cost-related steps will be covered: material extraction, transport, construction, maintenance, operation and end-of-life management (demolition, recycling). The first design studies are in progress and the results expected for July 2018.

Synthèse et caractérisation des revêtements superhydrophobes de stéarate d'aluminium incorporés à Zn pour la protection active contre la corrosion des substrats de cuivre et d'aluminium

Synthesis and characterization of Zn-incorporated aluminium stearate superhydrophobic coatings for active corrosion protection of copper and aluminium substrates

Introduction

Electrodeposition of Zn-incorporated coating as a traditional technology has been widely used for protecting the metals from corrosion. Synthesis and characterization of Zn-incorporated aluminium stearate coating have been investigated for the superior anticorrosion properties. Electrochemical impedance spectroscope (EIS) and polarization analysis have been used to study the anticorrosion performance of the Zn-incorporated aluminium stearate (Zn-AlSA) coatings on copper and etched aluminium alloy substrates, higher polarization resistance (Rp) and higher charge transfer resistance (Rct) of the coatings indicate better protection.



(Electrodeposition samples)

Objectives

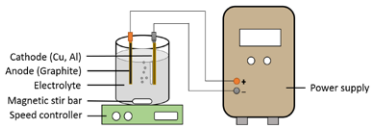
1. Optimization and characterization of the preparation condition of the Zn-incorporated aluminium stearate coatings on copper substrates by analyzing a series of samples with various coating time.
2. Corrosion analysis (EIS, polarization study) of the Zn-incorporated aluminium stearate coatings on copper and etched aluminium alloy substrates prepared at the optimum condition.

Experimental

¤ Sample fabrication

Substrates preparation: copper substrates were ultrasonically cleaned in soap solution, aluminium alloy substrates were chemically etched using 1M alkaline NaOH in ultrasonic bath, then dried in a closed oven.

Electrodeposition process: ethanolic solution of zinc nitrate, aluminium isopropoxide and stearic acid with the Zn content of 15.7% was used as electrolyte, samples with various coating times were made on copper substrates applied with 30V DC voltage. Same Zn-AlSA coting was fabricated on aluminum alloy substrate with the optimum coating time.

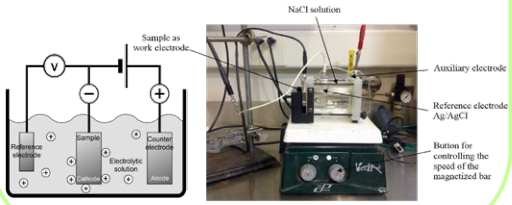


(Schema of electrodeposition process)

¤ Sample analysis

Coating characterization: contact angle was measured by Contact angle goniometer; phase identification was carried out by X-ray diffraction; surface morphology was analyzed by Scanning electron microscope and Energy dispersive X-ray spectroscopy; surface functional groups were studied by Fourier transform infrared spectroscopy; roughness was also measured.

Corrosion study: Polarization curves and electrochemical impedance spectroscopy of the coatings on copper and aluminium substrates were carried out in 3.5% NaCl solution.



(Schema and photograph of three electrodes system)

Results

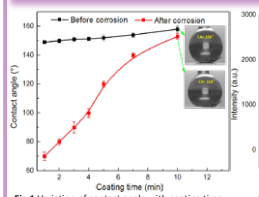


Fig.1 Variation of contact angle with coating time, inserts depict water drops on the modified Cu surfaces.

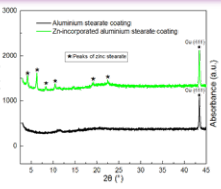


Fig.2 XRD spectrum of Zn-AlSA coating and non-zinc AlSA coating on Cu substrates.

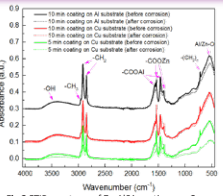


Fig.3 FTIR spectrum of Zn-AlSA coatings on Cu and Al substrates before and after corrosion test.

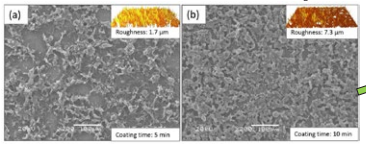
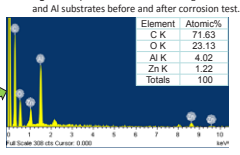


Fig.4 SEM images of Zn-AlSA coatings on copper substrates with the coating time of (a) 5min and (b) 10 min. Inserts depict surface roughness morphology.



Element	Atomic%
C K	71.63
O K	23.13
Al K	4.02
Zn K	1.22
Totals	100

Fig.5 EDS spectra of the Zn-AlSA coating on Cu substrate. Insert table depicts the atomic percentage of the atoms observed.

Corrosion study of Zn-AlSA coatings on copper substrates

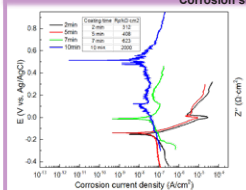


Fig.6 Polarization curves of Zn-AlSA coatings on Cu substrates with various coating time.

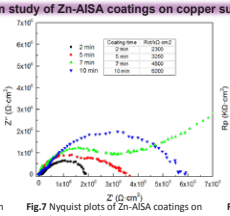


Fig.7 Nyquist plots of Zn-AlSA coatings on Cu substrates with various coating time.

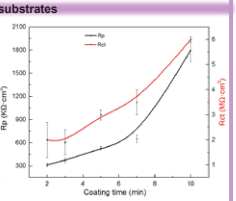


Fig.8 Evolution of Rp and Rct of Zn-AlSA coatings on Cu substrates with various coating time.

Corrosion study of Zn-AlSA coatings on etched aluminium substrates

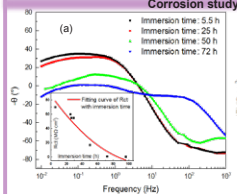
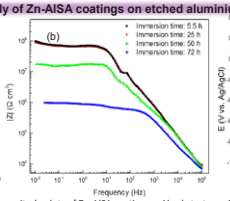


Fig.9 Evolution of Bode phase plots (a) and Bode magnitude plots of Zn-AlSA coating on Al substrate with various immersion time. Insert graph shows the evolution of Rct with the immersion time.



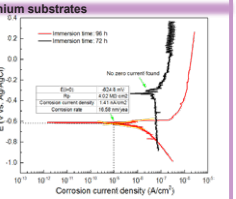


Fig.10 Evolution of Tafel curves of Zn-AlSA coating on Al substrate with various immersion time.

Conclusions

1. Zn-incorporated aluminium stearate superhydrophobic coatings with excellent hydrophobicity and anticorrosion properties were successfully fabricated on copper substrates and etched aluminium alloy substrates via electrodeposition process. The optimum coating time of 10 min was found when zinc content was 15.7%, showing a maximum contact angle of 158° .
2. The optimum Zn-AlSA coating shows extremely high protection for etched aluminium substrate, corrosion test results indicate the polarization resistance and the charge transfer resistance of the coating are 4 MΩ·cm² and 66 MΩ·cm², respectively.

Prix
Award

ALCOA : innovation

Wei Xu
Université du Québec
à Chicoutimi

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

Des couches minces superhydrophobes, à base de stéarate d'aluminium incorporées à Zn (Zn-AlSA), avec d'excellentes propriétés de superhydrophobicité et anticorrosion ont été fabriquées avec succès sur des substrats en cuivre et en alliage d'aluminium gravé par procédé d'électrodéposition en utilisant la solution éthanolique de nitrate de zinc, d'isopropoxyde d'aluminium et d'acide stéarique. Les caractéristiques morphologiques observées par microscopie électronique à balayage (SEM) démontrent que la rugosité de surface augmente avec le temps de dépôt. La microanalyse par rayons X à dispersion énergétique (EDX) confirme la présence d'atome Al et Zn dans le revêtement sur des substrats de cuivre. La composition chimique du revêtement analysé par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) montre les groupes fonctionnels distinctifs de COOAl et COOZn ainsi que les groupes radicalaires méthyle, éthyle et polyéthyle dans le revêtement. La condition de préparation optimale sur les substrats de cuivre avec un temps de revêtement de 10 minutes a été trouvée, offrant un angle de contact maximal de 158°. Les résistances de polarisation et les résistances de transfert de charge déterminées à partir des courbes de Tafel et des parcelles Nyquist des revêtements sur des substrats de cuivre augmentent avec le temps de revêtement. Le revêtement Zn-AlSA optimal présente une protection extrêmement élevée pour le substrat en aluminium gravé, l'analyse EIS et les courbes de polarisation montrent que la résistance au transfert de charge et la résistance à la polarisation du coting sont respectivement de 66 MΩ·cm² et 4 MΩ·cm².

Zn-incorporated aluminium stearate (Zn-AlSA) superhydrophobic coatings with excellent superhydrophobicity and anticorrosion properties were successfully fabricated on copper and etched aluminum alloy substrates by electrodeposition using an ethanolic solution of zinc nitrate, aluminium isopropoxide and stearic acid. The morphological features observed by scanning electron microscopy (SEM) demonstrate that the coating surface roughness increases with the deposition time. Energy dispersive X-ray (EDX) microanalysis confirms the presence of Al and Zn in the coating on the copper substrates. The chemical composition of the coating analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) shows the distinguishable functional groups of -COOAl and -COOZn as well as the methyl, ethyl and polyethyl radical groups in the coating. The optimum preparation condition on copper substrates with the coating time of 10 min was found when the zinc content in the electrolyte is 15.7%, such coatings show superior water roll off properties, providing the maximum contact angle of 158°. It is also observed that the polarization resistances and charge transfer resistances determined from Tafel curves and the Nyquist plots of the coatings on copper substrates increase with coating time. The optimum Zn-AlSA coating shows extremely high protection for etched aluminium substrates, Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis and polarization curves show the charge transfer resistance and polarization resistance of the cotings are 66 MΩ·cm2 and 4 MΩ·cm2, respectively.

Caractéristiques d'usinabilité et propriétés mécaniques du composite in situ d'Al-Mg2Si avec du bismuth

Machinability characteristics and mechanical properties of Al-Mg2Si in-situ composite with bismuth

Le génie pour l'industrie

Mohsen Marani Barzani
École de technologie supérieure

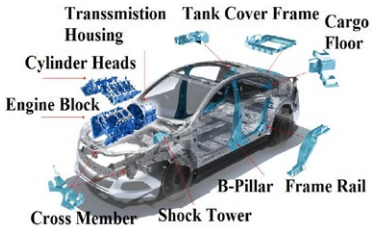
V. Songmene - ÉTS
Y. Zedan - ÉTS

Introduction

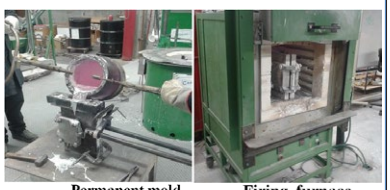
Aluminum Metal Matrix Composite

- Application
  - Automotive
  - Aerospace
- Properties
  - Low specific weight
  - High wear resistance

Application



Casting process



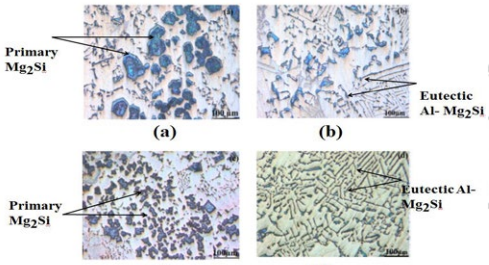
Permanent mold (Chicoutimi university) — Firing furnace (Chicoutimi university)

Methodology

factors	level		
A: cutting speed (m/min)	300	700	1100
B:cutting feed rate (mm/z)	0.1	0.15	0.2
C:cutting depth (mm)	1	2	2
workpiece	Al20Mg_2Si Al20Mg_2Si 0.4% Bi	Al20Mg_2Si Al20Mg_2Si 0.4% Bi	Al20Mg_2Si Al20Mg_2Si 0.4% Bi

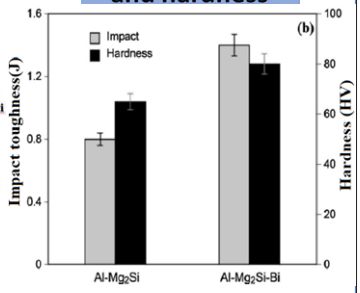
		Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Cr
Chemical composition	As received	Bal.	7.07	0.64	2.034	0.217	12.710	0.614	0.049	0.032	0.036

Microstructure

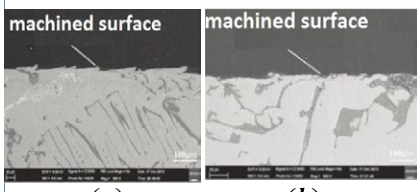


(a,b) without Bi and (c,d) with 0.4 Bi wt%Bi

Impact toughness and hardness

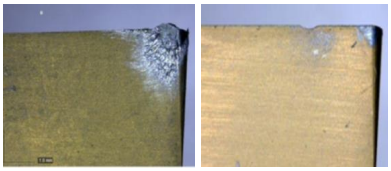


Machined surface



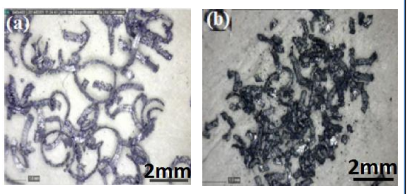
(a)$Al-20Mg_2Si$ (b) $Al-20Mg_2Si$ -.4Bi

Built-up edge



(a)$Al-20Mg_2Si$ (b) $Al-20Mg_2Si$ -.4Bi

Chip morphology



(a) (b)
(a)$Al-20Mg_2Si$ (b) $Al-20Mg_2Si$ -.4Bi

Conclusion

- With addition of Bi, the structure of primary Mg2Si changed from coarse to fine, the average particle size decreased from 24 mm to 10 mm. Moreover, the flake-like morphology of eutectic Al- Mg2Si altered to rod-like. Formation temperature of primary and eutectic Mg2Si decreased with addition of Bi. UTS, El%, impact toughness and hardness value have been improved by 12%, 75% and 23% respectively after addition of Bi. In addition, the fracture exhibits more ductile behaviour, which is attributed to the higher elongation of the MMC with addition of 0.4 wt% Bi
- Cutting force decreased for Bi- containing workpiece by decreasing Mg2Si particle size due to reduced coefficient of friction between tool and the material. The surface roughness was improved in the modified workpiece due to decrease in Mg2Si particle size. Also, Bi-addition particles improve chip breakability by acting as lubricant, penetrating into micro-cracks to improve machinability of composite.

Dans le présent travail, l'effet de la présence de l'élément Bi sur l'usinabilité et sur les propriétés thermique, microstructurale et mécaniques du composé Al-20Mg$_2$Si est étudié. La structure de la particule primaire Mg$_2$Si est passée de grande à fine polygonale, accompagnée d'une diminution de taille et d'une augmentation de la densité. L'addition de Bi résulte en diminution de la température de nucléation du composé primaire Mg$_2$Si et de l'intervalle de solidification du composite Al-20Mg$_2$Si. De plus, une amélioration de la contrainte ultime (UTS), de l'allongement (El%), de la résistance au choc et de la dureté a été observée. La surface de fracture du composite avec addition de Bi a montré plus de fractures que les particules décochées qui sont liées à un taux d'EL supérieur et une résistance au choc. Les essais de tournage à sec aux différentes vitesses de coupe et vitesses d'avance ont été effectués avec un outil en carbure cémenté. Les résultats obtenus ont montré que l'addition de 0,4 % de Bi résulte en diminution de la rugosité et de l'effort de coupe, à cause de la variation de la granulométrie Mg$_2$Si de 24 µm à environ 10 µm avec une diminution des arrêts de coupe rapportés. La rupture de copeaux de l'alliage de base a été élevée en raison des particules de Mg$_2$Si. On a également trouvé que le Bi a joué un rôle de lubrifiant lors du processus d'usinage et donc une diminution du frottement entre l'outil de coupe et les particules.

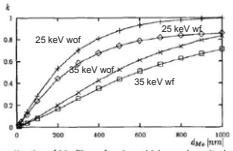
In the present work, the effects of Bi addition on machinability, thermal, microstructure and mechanical properties of an Al-20Mg$_2$Si metal matrix composite are investigated. The structure of primary Mg$_2$Si reinforcement particles changed from coarse to fine polygons accompanied with a decrease in size and increase in density. Nucleation temperatures of primary Mg$_2$Si and solidification temperature ranges of the Al-20Mg$_2$Si composite decreased after addition of Bi. In addition, Bi additions improved ultimate tensile strength (UTS), elongation (El%), impact toughness and hardness values. The fracture surface of the composites with Bi addition showed more fracturing than decohered particles which are related to higher El% and impact toughness. Dry turning tests for various cutting speeds and feed rates were carried out with a cemented carbide tool. The result indicated that surface roughness and cutting force decrease with addition of 0.4 wt.% Bi due to changes in the Mg$_2$Si particle size from 24 µm to near 10 µm with less built-up edge. Chip breakability of the base alloy was superior because of the Mg$_2$Si particles. It was also observed that Bi acted as a lubricant during the machining process and therefore decreased friction between the cutting tool and particles.

La correction de fluorescence des matériaux multicouches pour la microanalyse quantitative des rayons X

The fluorescence correction of multilayer materials for quantitative x-ray microanalysis

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 like thin film on substrate, it could be large. A new method for fluorescence correction is developed based on MCx-rays.



K ratios of Mo films of various thickness deposited on Si bulk for Mo Ka with(wf) and without(wof) continuous fluorescence [2]

Methodology

MCx-ray is used to simulate the primary x-ray intensity and depth distribution curve as shown in the following figure.

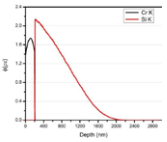
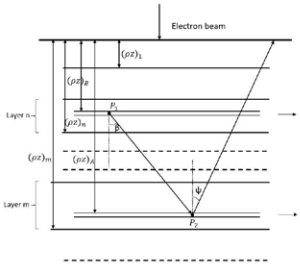

Simulated φ(ρz) of Si substrate with 200 nm Cr coating at 15 kV using MC Xray [3]

Figure in the bottom shows the scheme for the derivation of the secondary fluorescence correction. With the known of depth distribution curve, the fluorescence x-ray intensity from one thin layer to the other is calculated first. Then the numerical integral is applied over the depth of thin slice 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.

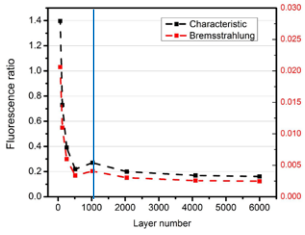


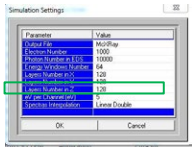
Schema for the derivation of the secondary fluorescence correction

Result

The effect of parameters – layer number

Si substrate with 10nm Al film, 30kV



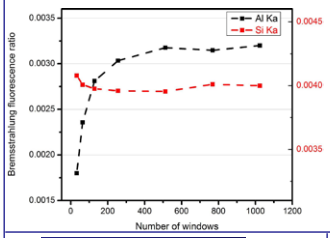


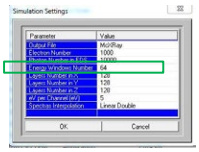
Al
Si

- Increase layer number, thinner slice is obtained, the depth distribution curve is more accurate, so the fluorescence computation. However it is much more time consuming.

The number of energy window

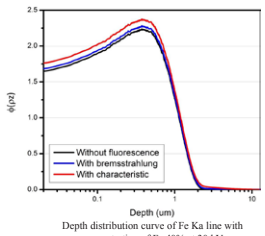
Si substrate with 138nm Al film, 20kV



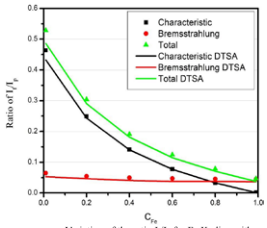


- The number of energy window only influences the bremsstrahlung fluorescence correction. It is especially important for high accelerating voltage by changing the energy value near absorption edge.

Bulk materials- Fe-Ni alloy

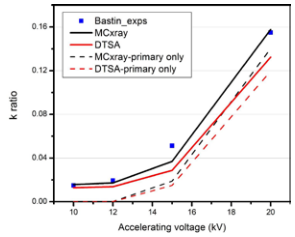


Depth distribution curve of Fe Ka line with concentration of Fe 40% at 30 kV



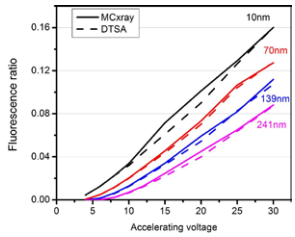
Variation of the ratio I_i/I_0 for Fe Ka line with different concentration at 30 kV.

Thin film on a substrate



Pd
Ti

Ti Ka line
Bremsstrahlung fluorescence only



Al
Si

Al Ka line
Characteristic fluorescence only

Conclusion

A program is developed to calculate the fluorescence x-ray intensities for multilayer materials. It can be used for both characteristic and bremsstrahlung fluorescence correction.

References

[1] J. Goldstein, D. Newbury, and D. Joy, "SEM and X-Ray microanalysis," ed: New York: Springer Science, 2003.
[2] Pfeiffer, Arnold, Christian Schiebl, and Johann Wernisch. X-Ray Spectrometry 25.3 (1996): 131-137
[3] R. Gauvin and P. Michaud, Microscopy and Microanalysis, 15 (2009) 488-489.
[4] Ritchie, N. W. Spectrum Simulation in DTSA-II, Microscopy and Microanalysis, 15 (2009) 454-468
[5] Bastin, G. F., and H. J. M. Heijligers. X-Ray Spectrometry29.5 (2000): 373-397.

Yu Yuan
McGill University

H. Demers - McGill
R. Gauvin - McGill

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 qui doit être pris en considération lors du calcul est le facteur de fluorescence. L'effet de fluorescence est l'augmentation de l'intensité caractéristique des rayons X, détectée en raison des émissions secondaires induites par les rayons X au lieu des électrons. Il est normalement ignoré lors de la simulation en raison de sa faible amplitude. Cependant, lorsqu'il s'agit d'une géométrie compliquée comme le film mince sur le substrat, il pourrait être important. Une nouvelle méthode de correction de fluorescence est développée pour des matériaux multicouches. Une équation composée est développée pour la correction de fluorescence caractéristique et de *bremsstrahlung*. La correction précise repose sur des courbes de distribution de profondeur précises, qui sont obtenues à l'aide de MCx-ray. Plusieurs exemples sont présentés pour le film en vrac et mince sur le substrat. Les données de simulation corrigées correspondent bien aux données expérimentales.

In quantitative x-ray microanalysis, energy dispersive spectroscopy (EDS) is used together with scanning electron microscopy (SEM) to detect characteristic x-ray intensities, which is related to the chemical composition of certain elements. One of the most important factors that need to be considered during this calculation is the fluorescence factor. The fluorescence effect is the increase of detected characteristic X-ray intensities because of secondary emission induced from X-rays instead of electrons. It is normally ignored during simulations because of its small magnitude. However, when dealing with complicated geometries like thin films on substrates, it could be large. A new method for fluorescence correction is developed and applied for multilayer materials. An equation is developed for both characteristic and bremsstrahlung fluorescence correction. Accurate correction relies on accurate depth distribution curves, which is obtained using MCx-ray. Several examples are shown for both bulk and thin film on a substrate. The corrected simulation data matches well with experimental data.

Paramètres de conception et de remplissage du moule de coulée pour la fabrication d'un bras de suspension automobile fiable en alliages d'aluminium semi-solide

Mold Design and Filling Parameters on Fabrication of Reliable Automotive Suspension Control-Arm Made of Semi-Solid Aluminum Alloys

Khaled Ragab
Université du Québec à Chicoutimi

A. Bouaicha - UQAC
M. Bouazara - UQAC
Z. Zhang - UQAC



Le procédé de coulée semi-solide présente l'avantage de fournir des pièces en aluminium ayant des propriétés mécaniques fiables qui fonctionnent continuellement en dynamique tel le bras de suspension dans les véhicules automobiles. La qualité de performance dynamique du bras de suspension est liée au moule de coulée et aux conceptions du système de coulée qui affectent la fluidité du métal semi-solide lors du remplissage du moule. Par conséquent, cette étude met l'accent sur l'amélioration des performances mécaniques, en fonction de la caractérisation du matériau et de l'optimisation de la conception de la coulée du bras de suspension en alliages d'aluminium A357 semi-solides. Une procédure de modification de la conception est appliquée à la géométrie du bras de suspension afin d'éviter ce problème et ainsi améliorer la qualité de ses performances. La modification de la conception des pièces a été effectuée en utilisant le logiciel de conception SolidWorks, l'évaluation des contraintes a été faite avec ABAQUS et la simulation du flux avec le logiciel Pro-Cast. La conception proposée a montré que le bras de suspension modifié, sans les bords et avec une toile centrale conçue comme un Z, est considéré comme étant la parfaite conception de coulée montrant une augmentation de la résistance structurelle du composant. Dans ce cas d'étude, la contrainte maximale de Von Mises obtenue est de 193 MPa, qui est inférieure à la limite d'élasticité du matériau. La conception modifiée du moule de coulée présente une uniformité élevée et une turbulence minimale du flux de métal fondu lors du processus de coulée semi-solide.

Semi-solid casting has the advantage of providing reliable mechanical aluminum parts that work continuously in dynamic processes such as the control arm of the suspension system in automotive vehicles. The quality performance of dynamic control arms is related to casting mould and gating system designs that affect the fluidity of semi-solid metal during filling of the mould. Therefore, this study focuses on improvement of their mechanical performance, depending on material characterization, and casting design optimization, of suspension control arms made of A357 aluminum semi solid alloys. Mechanical and design analyses, applied on the suspension arm, showed the occurrence of mechanical failures at unexpected weak points. Metallurgical analysis showed that the main reason lies in the difficult flow of semi-slid pastes through the thin thicknesses of a complex geometry. A design modification procedure is applied to the geometry of the suspension arm to avoid this problem and to improve its quality performance. The design modification of parts was carried out by using Solid-Works design software, an evaluation of constraints with ABAQUS, and simulations of flow with the Pro-Cast software. The proposed designs showed that the modified suspension arm, without ribs and with a central canvas designed as Z, is considered as a perfect casting design showing an increase in the structural strength of the component. In this case, the maximum von-misses stress is 193 MPa that is below the yield strength of the material. The modified casting mold design shows a high uniformity and minimum turbulence of the molten metal flow during the semi-solid casting process.

Utilisation innovatrice de tablier en aluminium dans les ponts: développement et essais de connecteurs en cisaillement

Innovative use of an aluminium deck in bridges : development and tests of shear connectors

Daniel Charron-Drolet
Université Laval

C.-D. Annan - UL
M. Fafard - UL
F. Armel - UL
F. A. Tchitembo Goma - UL

Introduction

Aluminium's high strength to weight ratio, coupled with its extrudability and high corrosion resistance makes it very promising in a durable and efficient bridge concept, where an aluminium honeycombed-deck rests on steel girders (figure 1). Such a deck can also be used for the rehabilitation of slab-on-girders type bridges. In order to maximise rigidity and structural strength, the steel girders and the aluminium deck must be stiffly connected together by shear connectors to develop a composite action. The bolted slip-critical connection has been chosen to fill this role. Designing a bridge that conjointly uses aluminium and steel comes with many challenges, listed below. The broad goal of this project is to characterize the connection and to establish design principles, since steel and aluminium have never been structurally united in this manner before.

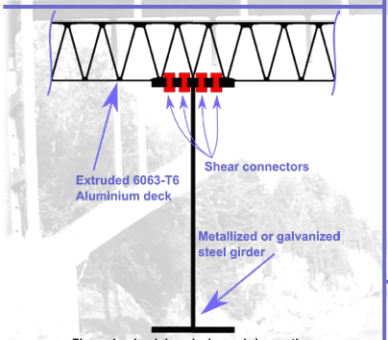


Figure 1 : aluminium deck-on-girder section

Challenges

- Galvanic corrosion can occur when steel and aluminium are in contact. To prevent this type of degradation, direct contact between these two metals must be avoided. In other words, the cathode (steel) must be protected from corrosion to avoid anode (aluminium) sacrifice.
- The aluminium thermal expansion coefficient is twice that of steel, which may induce high internal stresses under thermal loads, especially shear loads between the two structural components, and interfere with the behaviour of the shear connectors.
- Structural aluminium alloys used in bridge construction have a relatively low yield strength, which might be problematic under high bearing stresses generated by the bolt preload, which is required in slip-critical connections.

Objectives

- Identify the most practical shear connector that can effectively connect the closed aluminium multi-cellular deck to the steel girders.
- Characterize the slip-critical type connection.
- Understand the behaviour of the shear connector and assembly under ambient and low temperature, and at the design temperature variation cycles in Quebec.
- Elaborate design principles and recommendations.

Methodology

1. Identify available shear connectors that can practically be used to develop the composite action.
2. Verify that the preload (A_b*F_u) required by the S6-2014 standard [1] for slip-critical connections can be achieved with the identified shear connectors (figure 2). Also, the variation of the preload intensity will be recorded in order to verify the bolt relaxation and the effect of thermal loading.
3. Standardized *RCSC* tests [3] will be done to obtain values for the slip coefficient at short (figure 3) and long term loading.
4. Pull-out tests will be done to verify the slip resistance of the connectors at ambient and low temperature (figure 5).

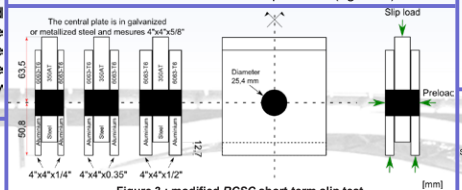


Figure 3 : modified *RCSC* short-term slip test

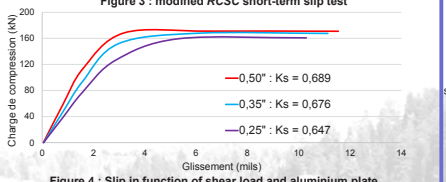


Figure 4 : Slip in function of shear load and aluminium plate thickness (numerical friction coefficient = 0,5)

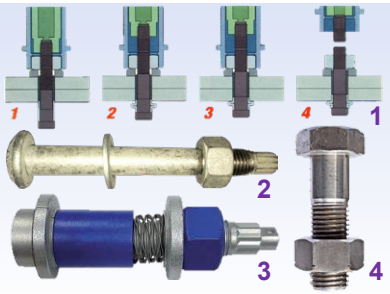


Figure 2 : Chosen shear connectors : Huck Ultra-Twist (1), F1852 TC bolt (2), Ajax Oneside (3) and A325 Hex (4)

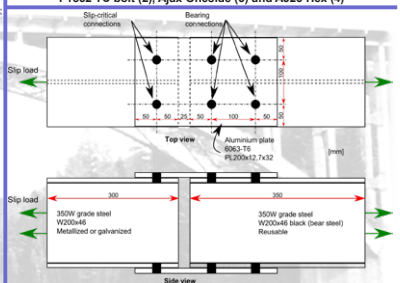


Figure 5 : pull-out test assembly drawing

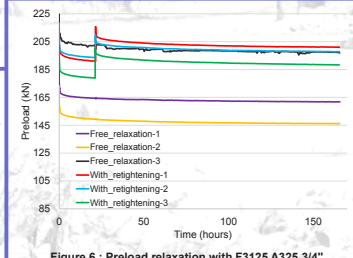


Figure 6 : Preload relaxation with F3125 A325 3/4" diameter galvanized bolts

- Freely relaxed bolts lost **14%** of preload seven days after first tightening.
- Retighted bolts 24 hours after initial tightening lost **7%** from initial preload after 7 days.

Results

- Joints composed of 0,35" and 0,5" thick aluminium and galvanized steel plates both yielded a slip factor of **0,465** (refer to figure 3).
- Load cell controlled tightening permitted the verification of the fraction of turn from the Turn-of-nut tightening method.
  - The required turning for the bolt length used is 180° [1]
  - On average, the nut was turned **109°**

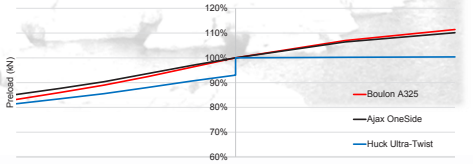


Figure 7 : Effect of temperature on the bolt preload predicted by a finite element analysis done on ABAQUS

Conclusion

As part of a wider research program on the technical and economic feasibility of a new bridge system made of an aluminium deck on steel girders, this research project aims to demonstrate that effective composite behavior can be developed between the aluminium deck and the steel girders through mechanical shear connectors, without inducing excessive stresses in the aluminium. Due consideration is given to the mitigation of galvanic corrosion and to the stresses induced by the thermal loads.

Bibliographic references:

[1] CSA (2014). *S6-14 Canadian highway Bridge Design Code*. 940 pages.
[2] Fortin, Dominic (2001) *Étude expérimentale du comportement des assemblages boulonnés antiglissement en aluminium dans le context canadien*. 201 pages.
[3] Research Council on Structural Connections, (2014). *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*. Pages 66-75.
[4] CSA (2014). *Résistance au glissement à l'état limite d'utilisation*, article 17.22.2.4.2.

Acknowledgements

►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), through the Aluminium Research Center (REGAL) financing.
►Le Ministère des Transports, Mobilité durable et Électrification des transports.

Le haut rapport résistance/poids de l'aluminium, son extrudabilité et sa grande résistance à la corrosion rendent ce matériau prometteur dans un système de pont durable et performant, où un platelage alvéolé en aluminium repose sur des poutres en acier. L'usage d'un tel platelage est aussi une bonne option pour la réhabilitation de ponts de type dalle-sur-poutre. Il est néanmoins nécessaire de développer une action composite entre le platelage et les poutres afin d'obtenir une rigidité et une résistance en flexion comparable à celle offerte par les ponts de type dalle de béton armé sur poutres en acier et pour optimiser la contribution structurelle du platelage. Plusieurs défis entravent l'atteinte de l'action composite, qui est assuré par un système de connecteurs en cisaillement. En effet, leur conception doit tenir compte : de la corrosion galvanique, du coefficient de frottement de l'interface acier-aluminium, du coefficient de dilatation thermique double de l'aluminium en comparaison avec celui de l'acier et des défis liés à leur installation. Des connecteurs en cisaillement mécaniques ponctuels ont été identifiés et un programme expérimental a été monté pour évaluer leur performance dans un assemblage antiglissement, compte tenu des défis à surmonter. Suite aux essais, des recommandations et des principes de conception seront présentés pour démontrer qu'une action composite efficace peut être développée, ou non, avec les connecteurs en cisaillement identifiés sans toutefois induire des contraintes excessives dans l'aluminium.

Aluminium's high strength to weight ratio, coupled with its extrudability and high corrosion resistance makes it very promising in a durable and efficient bridge concept, where an aluminium honeycombed-deck rests on steel girders. Such a deck can also be used for the rehabilitation of slab on girders type bridges. However, it is necessary to develop a composite behavior between the multicellular aluminium deck and the steel girders in order to obtain a bending resistance and rigidity equivalent to the traditional concrete deck-on-girder type bridge and to optimise the structural contribution of the aluminium deck. Many challenges hinder the composite behavior, which is developed by shear connectors. Indeed, the design of such connectors need to take into account: galvanic corrosion, the slip factor at the faying surface between the steel and aluminium, the thermal expansion factor that is twice that of steel compared to aluminium and the challenges hindering the installation. Punctual mechanical shear connectors in a slip-critical connection have been identified and an experimental program has been put together to evaluate their performance while taking into account the challenges. Following the tests, recommendations and design principles will be presented to demonstrate that an effective composite action can be developed or not with the identified shear connectors without inducing excessive stresses in the aluminium.

Effet de l'ajout du Mo sur la microstructure et le comportement en fatigue à faible cycle de l'alliage de fonderie A356

Effect of Mo addition on microstructure and low-cycle fatigue behavior of A356 foundry alloy

UQAC
Université du Québec à Chicoutimi

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

CRSNG
NSERC

1. INTRODUCTION

High operation temperatures of Diesel engine causes the precipitate coarsening which leads to severe loss of elevated-temperature mechanical properties. One way to overcome this problem is to design thermally stable dispersoids by adding Mo.



2.OBJECTIVES

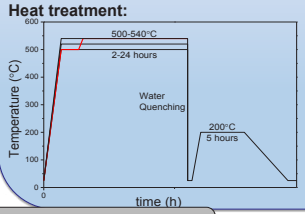
1. To study the effect of Mo on the formation of dispersoids.
2. To optimize heat treatment for finer and larger amount of dispersoids.
3. To evaluate effect of dispersoids on high temperature low-cycle fatigue behavior.

3. EXPERIMENTAL PROCEDURE

Materials composition:

Alloy	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Ti	Sr	Mo	Al
356	7.27	0.60	0.34	0.206	0.109	0.21	0.0113	-	Bal.
356Mo	6.99	0.61	0.38	0.219	0.111	0.23	0.0111	0.30	Bal.

Heat treatment:



Tests:

Sample preparation:
Standard metallographic preparation techniques were applied. Etchant of 0.5% HF was used when needed.

Image analysis:
OM, SEM and TEM equipped with EDS were used.

Micro-hardness test:
Vicker hardness test at room temperature with 25g F and 20s.

Low-cycle fatigue test:
Tests were performed under strain rate 10^{-3}/s at 300°C.

4. RESULTS

Part I

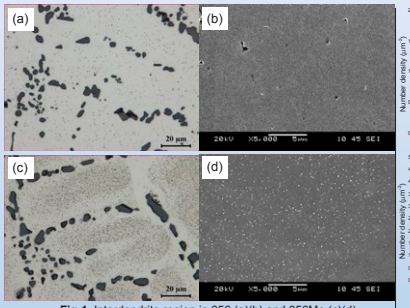


Fig 1. Interdendrite region in 356 (a)(b) and 356Mo (c)(d) treated at 540°C for 12 hours

Al matrix

Element	Weight%	Atomic%
Al K	92.67	95.75
Si K	1.70	1.69
Fe K	1.40	0.70
Cu K	4.23	1.86
Totals	100.00	

Dispersoid particle

Element	Weight%	Atomic%
Al K	91.34	95.09
Si K	2.16	2.16
Mn K	0.43	0.22
Fe K	1.07	0.54
Cu K	3.54	1.56
Mo K	1.45	0.43
Totals	100.00	

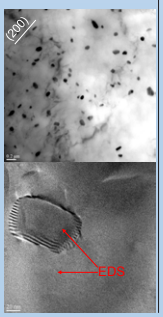


Fig 2. TEM images and EDS results of Mo-containing dispersoid particle and Al matrix

Part II

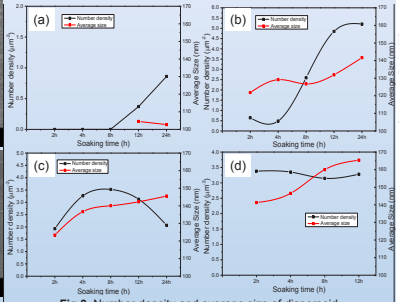


Fig 3. Number density and average size of dispersoid particles in 356Mo under different heat treatment (a) 500°C, (b) 520°C, (c) 540°C and (d) 2-steps solution

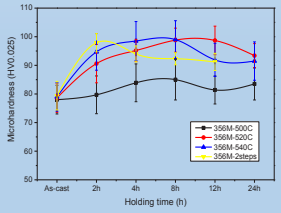


Fig 4. Micro-hardness of 356Mo under different heat treatment

Part III

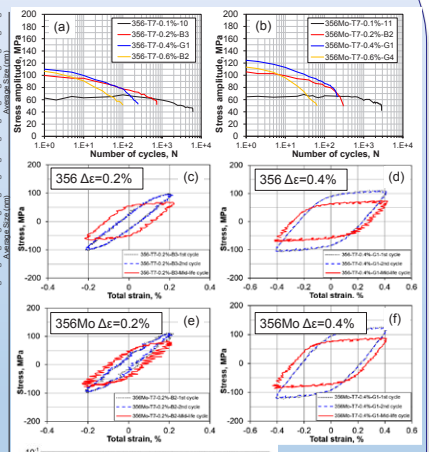


Fig 5. LCF behavior of 356 and 356Mo
(a)(b) cyclic softening at different strain amplitude;
(c)(d) hysteresis loop of 356;
(e)(f) hysteresis loop of 356Mo;
(g) ε-N curve and fatigue life prediction of 356 and 356Mo

5. CONCLUSIONS

1. With Mo addition, a large amount of dispersoids precipitated in the interdendritic region during proper solution heat treatment.
2. The optimized condition for the formation of dispersoids is soaking at 520°C for 12 hours.
3. In the low cycle fatigue test at 300°C, both 356 and 356Mo alloys show cyclic softening but 356Mo has higher strength. 356Mo alloy shows slightly lower cycle numbers to failure.

6. FUTURE WORKS

1. To study the thermal stability of dispersoid via TEM with 356Mo alloy after long-time holding at high temperature.
2. To perform thermo-mechanical fatigue test and compared with low cycle fatigue.

Prix
Award
RioTinto

Sinan Chen
Université du Québec à Chicoutimi

M. F. Ahmed - UQAC
K. Liu - UQAC
X.-G. Chen - UQAC

Les alliages Al-Si ont été de plus en plus utilisés dans les moteurs diesel dus à leur grande résistance au ratio poids. Cependant, à des températures d'opération élevées, le grossissement de précipité conduit à de grandes pertes des propriétés mécaniques à haute température. Une façon possible de remédier à ce problème est de concevoir des dispersoïdes thermiquement stables qui conservent leur efficacité à hautes températures. Le Mo peut former potentiellement une grande quantité de dispersoïdes dans les alliages Al-Si mais aucune investigation systématique portant sur les propriétés en fatigue des alliages Al-Si avec l'ajout du Mo. Dans ce travail, l'effet de l'ajout du Mo sur l'évolution des dispersoïdes sous différents traitements thermiques et le comportement de l'alliage de coulée Al-Si en fatigue à faible cycle ont été étudiés. Il est possible d'observer que les dispersoïdes se forment facilement sur la matrice de l'alliage 356 avec l'ajout du Mo, comparé à l'alliage de base exemptée du Mo. Les résultats montrent que les dispersoïdes se précipitent rapidement lorsque la température de la solution est plus élevée tandis que la quantité baisse après une longue durée de traitement dû au mûrissement d'Ostwald, ce qui a été confirmé par l'évolution de micro-dureté. Durant le test de fatigue pour un cycle faible à 300 °C, la base 356 et l'alliage 356Mo montrent un ramollissement cyclique mais le 356Mo présente une résistance plus élevée. L'alliage 356Mo montre un nombre de cycles à la rupture inférieur comparé à l'alliage de base en fatigue à faible cycle.

Al-Si alloys have been increasingly used in diesel engines due to their high strength-to-weight ratio. However, at high operation temperatures, the precipitate coarsening leads to a severe loss in elevated-temperature mechanical properties. One possible way to overcome this problem is to design thermally stable dispersoids, which retain their effectiveness at high temperatures. It is reported that Mo can potentially form a large amount of dispersoids in Al-Si alloys but no systematic investigation has been focused on the fatigue properties of Al-Si alloys with Mo addition. In this work, the effect of Mo addition on the evolution of dispersoids under various heat treatments and low-cycle fatigue behavior of the Al-Si 356 casting alloy were studied. It can be seen that dispersoids easily formed on the matrix of the 356 alloy with Mo addition compared to the base alloy free of Mo. Results show that it is faster for dispersoids to precipitate when the solution temperature is higher while this amount drops down after long-time solutionizing due to Ostwald ripening, which is confirmed by the microhardness evolution. During low cycle fatigue tests at 300 °C, both 356 base and 356Mo alloys show cyclic softening but 356Mo has a higher strength. Compared with the base alloy, 356Mo alloy shows slightly lower cycle numbers to failure in low cycle fatigue testing.

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

C. Teng
McGill University

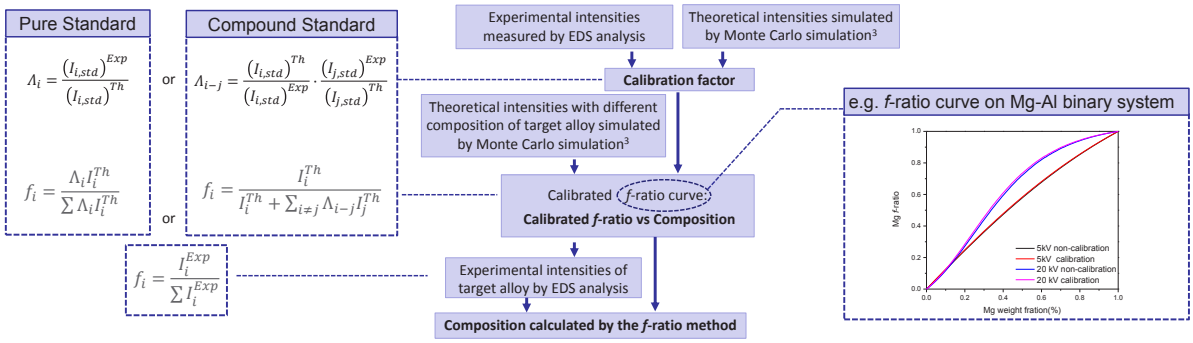
H. Demers - McGill
N. Brodusch - McGill
R. Gauvin - McGill

Introduction

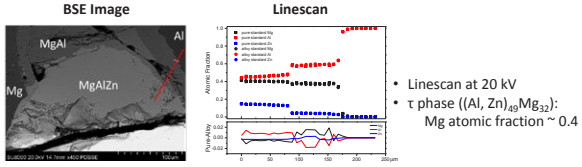
Quantitative X-ray microanalysis is always performed by a scanning electron microscope/ energy dispersive spectroscopy (SEM/EDS) system. Because of the advantages of quick analysis and easy operability, the SEM/EDS system has become a general-purpose instrument for element analysis and chemical characterization. However, the uncertainties in the physical parameters result in large errors[1]. Thus, it is in demand that a quantification method, which is as simple and efficient as EDS standardless analysis, but has higher accuracy.

The *f*-ratio method based on SEM/EDS system rises in response to the proper conditions and requirements[2]. It combines traditional EDS experiments and Monte Carlo simulations. Standards samples are required to calculate the calibration factors, aiming to eliminate differences between experiments and simulations. Even though the *f*-ratio method is a standard-based analysis, a real standard sample is not required if the calibration factor is already obtained for the same instrument and at a certain accelerating voltage. Thus, the *f*-ratio method can own the satisfying accuracy and easy-operated simplicity at the same time.

Calculation Method

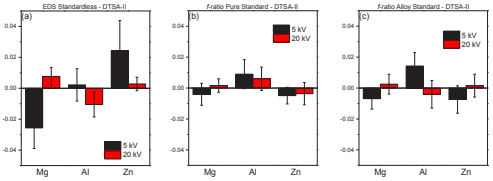


f-ratio Analysis on Diffusion Mg-Al-Zn Alloy



- Linescan at 20 kV
- τ phase ($(Al, Zn)_{49}Mg_{32}$): Mg atomic fraction ~ 0.4

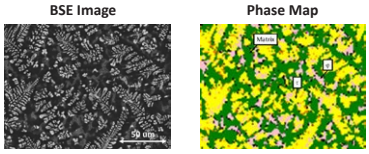
- Comparison between the f-ratio method, EDS standardless analysis and DTSA-II software.
- DTSA-II standard-based analysis: improve the accuracy of routine SEM/EDS standardless analysis[4].



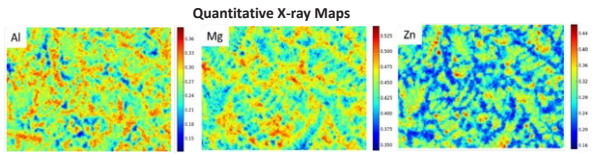
References

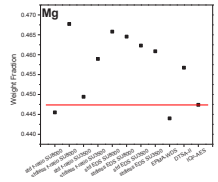
1. Newbury, D.E., C.R. Swyt, and R.L. Myklebust, *"Standardless" Quantitative Electron Probe Microanalysis with Energy-Dispersive X-ray Spectrometry: Is It Worth the Risk?* Analytical Chemistry, 1995. **67**(11): p. 1866-1871.
2. . "Development of a new quantitative X-ray microanalysis method for electron microscopy." *Microscopy and Microanalysis, 2010.* **16**(06): p. 821-830.
3. *MC X-Ray, a New Monte Carlo Program for Quantitative X-Ray Microanalysis of Real Materials.* Microscopy and Microanalysis, 2009. **15**(SupplementS2): p. 488-489.
4. Ritchie, N.W., *Getting Started with NIST DTSA-II.* Microscopy Today, 2011. **19**(01): p. 26-31.

f-ratio Analysis on Mg_{45}-Al_{28}-Zn_{27} Alloy



- X-ray maps at 20 kV
- ϕ phase ($(Al, Zn)_{17}Mg_{21}$); τ phase ($(Al, Zn)_{49}Mg_{32}$)





- Mg reference values obtained by **ICE-AES** at 44.74%
- **Standard** vs **Standardless *f*-ratio**
  Calibration factor calculated with pure metals
- **Field emission SEM** (Hitachi SU8000) vs **Tungsten emission SEM** (Hitachi SU3500)
  Impact of beam current
- **EDS** vs **WDS**

Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support from NSERC and Avalon through the Collaborative Research and Development Grant program (Grant # CRDPJ-445372-12).

Un système de microscope électronique à balayage / spectroscopie dispersive d'énergie (SEM/EDS) est un instrument général pour la microanalyse quantitative de rayons X en raison de ses avantages d'une analyse rapide et d'une opérabilité facile. Une nouvelle méthode de quantification pour la microanalyse aux rayons X, la méthode du *f* rapport, a été développée sur la base de ce système. Cette méthode combine les expériences EDS traditionnelles et les simulations Monte Carlo. Les facteurs d'étalonnage calculés avec des échantillons standards visent à éliminer les différences entre les expériences et les simulations. Ainsi, la méthode du *f* rapport est une microanalyse quantitative de rayons X standard, mais un échantillon standard réel n'est pas nécessaire si une base de données de facteurs d'étalonnage a été accumulée. L'application du procédé f rapport sur l'alliage de diffusion Mg Al Zn montre que les éléments purs et les composés peuvent être utilisés comme standards. Il est beaucoup plus commode de trouver un élément pur standard qu'un composé approprié. En ce qui concerne l'analyse du f rapport sur l'alliage Mg_{45} Al_{28} Zn_{27}, la comparaison d'une SEM à émission de tungstène avec un courant stable et une SEM à émission de champ avec un courant instable indique que la méthode du f rapport peut être appliquée à toute acquisition avec un courant de faisceau fluctuant et un temps d'acquisition long. Ainsi, la carte de rayons X quantitatifs standard peut être facilement réalisée. Grâce aux comparaisons avec d'autres techniques analytiques quantitatives, la méthode du *f*-rapport est prouvée comme une méthode de microanalyse quantitative à rayons X quantitative efficace et précise.

A scanning electron microscope /energy dispersive spectroscopy (SEM/EDS) system is a general-purpose instrument for quantitative X-ray microanalysis due to its advantages of quick analysis and easy operability. A new quantification method for X-ray microanalysis, the *f*-ratio method, was developed based on this system. This method combines traditional EDS experiments and Monte Carlo simulations. Calibration factors calculated with standard samples aim to eliminate differences between experiments and simulations. Thus, the *f*-ratio method is a standard-based quantitative X-ray microanalysis method, but a real standard sample is not required if a database of calibration factors has been build up. The application of the f-ratio method on the Mg-Al-Zn diffusion alloy shows that both pure elements and compounds can be used as standards. It is much more convenient to find a pure element standard than a proper compound. In respect of the f-ratio analysis on the Mg_{45} Al_{28} Zn_{27} alloy, the comparison between a tungsten emission SEM with a stable current and a field emission SEM with an unstable current indicates that the *f*-ratio method can be applied to any acquisition with a fluctuant beam current and a long acquisition time. Thus, the standard quantitative X-ray map can be easily achieved. Through comparisons with other quantitative analytical techniques, the f-ratio method is proven to be an efficient and accurate quantitative X-ray microanalysis method.

Comportement structural d'un platelage en aluminium sur poutres en acier : Répartition transversale des charges

Structural behaviour of an aluminium deck on steel girder bridges: Transverse distribution of loads

Catherine St-Gelais
Université Laval

C.-D. Annan - UL
M. Fafard - UL
A. Caron - SNC-Lavalin

1 – Introduction

- Plusieurs ponts sont classés comme étant structurellement déficients au Québec
- Avantages d'un platelage en aluminium pour la réhabilitation de pont :
  - Améliore la capacité portante (légèreté)
  - Installation rapide
  - Bonne résistance à la corrosion
- Plusieurs défis sont toutefois reliés à l'utilisation de cette nouvelle technologie

2 - Problématique

Connaissances limitées sur le comportement structural du platelage en aluminium, notamment concernant la répartition transversale des charges de trafic

- Manque et surestimation concernant les platelages en aluminium dans la norme canadienne CSA-CAN-S6
  - Fraction de charge de camion (FCC) très élevées
    FCC = Fraction de charge de camion reprise par la poutre à l'étude due à la répartition transversale des charges
  - Aucune mention de largeur effective (ou aire effective) dans le cas d'action composite A_{eff} = *Aire du platelage participant au moment résistant avec la poutre dans le cas où il y a action composite (pour prendre en compte l'effet du décalage en cisaillement qui diminue la résistance d'un assemblage)*

3 - Objectifs

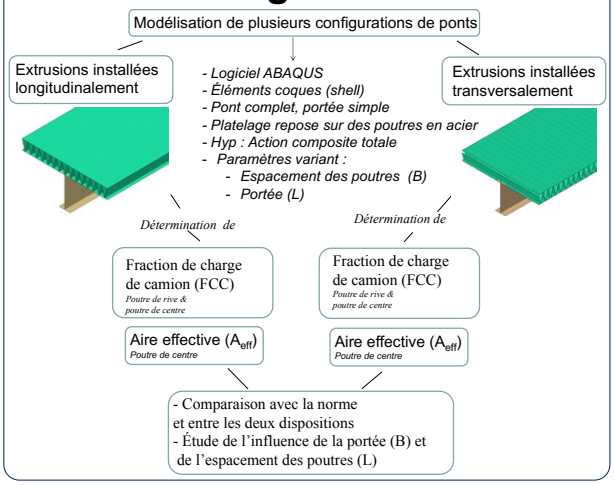
Objectif principal:

Étude de la distribution transversale des efforts dans un platelage en aluminium pour les deux dispositions possibles pour les extrusions, soit le sens de l'extrusion posé transversalement et longitudinalement par rapport aux poutres

Objectifs spécifiques:

Pour différentes configurations de ponts :
- Calcul de la fraction de charge de camion pour la poutre de rive et la poutre de centre
- Détermination de l'aire effective du platelage

4 - Méthodologie



5 - Résultats

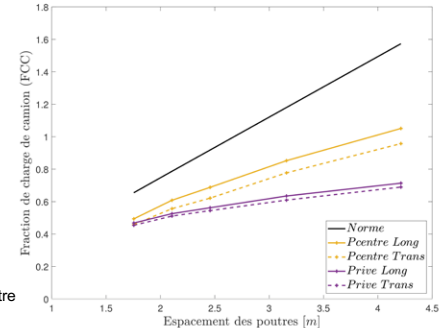
Fraction de charge de camion (FCC)

Pour L = 15 m

$$FCC = \frac{M_{poutre}}{M_{max}}$$

Où M_{poutre} ↓ Moment repris par la poutre

M_{max} ↓ Moment maximal provoqué par 1 camion repris par une seule poutre

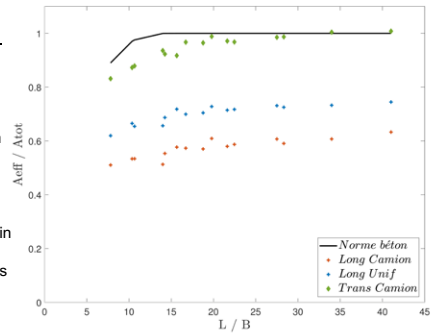


Aire effective (A_{eff})

$$A_{eff} = \frac{C_{platelage}}{\left(\frac{\sigma_{min} + \sigma_{max}}{2}\right)}$$

Où $C_{platelage}$ ↓ Force de compression dans le platelage

σ_{max} et σ_{min} ↓ Contrainte max et min de compression dans le haut et le bas du platelage respectivement



- Différence de rigidité flexionnelle entre les deux dispositions : $\frac{EI_{long}}{EI_{trans}} = 1{,}3$
- Avec les résultats de A_{eff} pour le calcul du moment résistant, le rapport de différence diminue à : $\frac{M_{résistant_long}}{M_{résistant_trans}} = 1{,}1$

6- Conclusion

- Extrusions **plus résistantes** lorsque posées dans le **sens de l'extrusion**
  - Différence de rigidité flexionnelle ~ 30%
- Disposition **transversale** mieux pour redistribuer transversalement les charges
  - **FCC** toujours plus **bas** que pour disposition longitudinale
  - **A_{eff}** toujours plus **élevée** que pour disposition longitudinale
- Toutefois, disposition **longitudinale** meilleure pour résister au moment longitudinal
  - Malgré **A_{eff}** relativement **faible**, **$M_{résistant}$** toujours plus **élevé** que pour disposition transversale

Références

- CHEN et col., *Proposed effective width criteria for composite bridge girders*, Journal of Bridge Engineering, Vol. 12, No 3, Mai 2007
- Ministère des transports, de la Mobilité durable et de l'électrification des transports, *Bilan de l'état des structures du réseau routier supérieur québécois*, Gouvernement du Québec, 2015

Présentement, plusieurs ponts routiers du Québec ont atteint leur fin de vie utile et sont définis comme étant structurellement déficients. Plusieurs travaux de réhabilitation sont donc nécessaires. Une des solutions envisageable est l'utilisation d'un platelage en l'aluminium.

Toutefois, plusieurs défis sont reliés à son utilisation dans les ponts. Notamment, il existe un manque de connaissances sur le comportement structural des platelages en aluminium, entre autres concernant la répartition transversale des charges de trafic. Dans la norme canadienne CSA-CAN S6, aucune définition de largeur effective dans le cas d'action composite avec les poutres n'est indiquée pour les platelages en aluminium. De plus, la norme est très restrictive concernant les valeurs des fractions de charge de camion reprises par la poutre. Ces deux concepts ont un impact important sur la conception des poutres du pont. Une meilleure connaissance du comportement structural des platelages en aluminium amènerait une conception plus optimisée.

Ainsi, une étude de la répartition transversale des charges de trafic pour des dispositions d'extrusions longitudinales et transversales par rapport aux poutres en acier est effectuée à l'aide de la méthode des éléments finis. Plusieurs modèles de ponts sont réalisés afin d'étudier l'influence de la portée et de l'espacement des poutres sur les fractions de charge de camion ainsi que sur l'aire effective du platelage travaillant avec la poutre. Une action composite parfaite est supposée. Une comparaison avec les valeurs préconisées par la norme ainsi qu'une comparaison entre les deux types de dispositions sont également effectuées. Ainsi, l'étude permet d'approfondir les connaissances sur les platelages en aluminium et leur utilisation avec des poutres en acier dans les ponts routiers.

Currently, several Québec road bridges have reached their end-of-life and are defined as structurally deficient. Extensive rehabilitation work is therefore necessary. One possible solution is the use of aluminum decking.

However, several challenges are related to its use in bridges. In particular, there is a lack of knowledge about the structural behavior of aluminum decks, including the transverse distribution of traffic loads. In the CSA-CAN S6 standard, no effective width definition for composite action with girder bridges is given for aluminum decking. Moreover, the standard is very restrictive concerning the values of the truck load fractions taken up by the girder. These two concepts have an important impact on the design of girder bridges. A better knowledge of the structural behavior of aluminum decks would lead to a more optimized design.

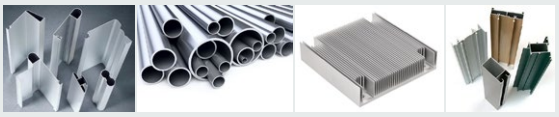
Thus, a study of the transverse distribution of traffic loads for longitudinal and transverse extrusion arrangements with respect to steel girders is carried out using the finite element method. Several models of bridges are made to study the influence of girder spacing and bridge span on the truck load fractions as well as on the effective area of the deck. A perfect composite action is assumed. A comparison with the values recommended by the standard and a comparison between the two types of dispositions are also carried out. Hence, the study allows us to deepen our knowledge of aluminum decking and its use with steel girders in road bridges.

Effet du traitement d'homogénéisation sur la malléabilité à chaud des alliages AA6060

Effect of homogenization treatment on the hot workability of AA6060 alloys

1 Introduction

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



- Homogenization of DC cast billets is critical on improving the hot workability of AA6060 alloys.
- Commercially, the good hot workability is beneficial for the high productivity, good surface quality of product and low energy consuming.

2 Experimental Methods

➢ **Homogenization regimes**

Homogenization temperature: 520℃, 550℃, 580℃, 610℃;
Soaking time: 2h, 6h, 16h;

➢ **Microstructural characteristics and property test**

Optical microscopy, scanning electron microscope (SEM) and Sigmascope electrical conductivity tester as well as Gleeble3800 thermo-mechanical testing unit are used in this study.

3 Objective

➢ Investigating the effect of homogenization treatment on the hot workability of AA6060 alloys.

4 Results

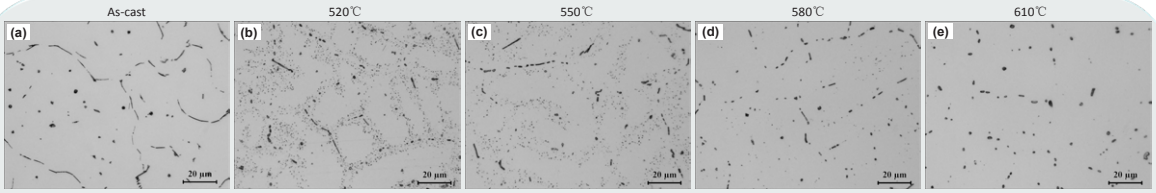


Fig. 1. Microstructure evolution after 6 hours of homogenization at different temperatures.

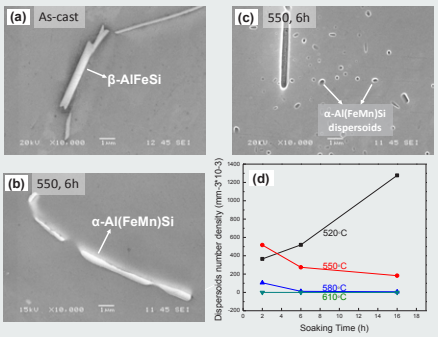


Fig. 2. Morphology of the phases in the microstructure of (a) As-cast; (b) 550℃, 6h; (c) Dispersoids of 550℃, 6h; (d) Dispersoids number density (6h soaking time).

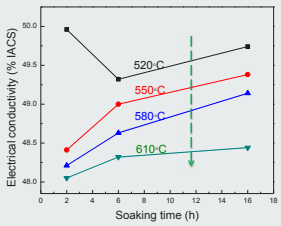


Fig. 3. Electrical conductivity as a function of homogenization temperature and soaking time.

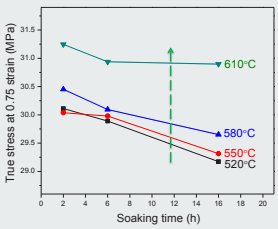
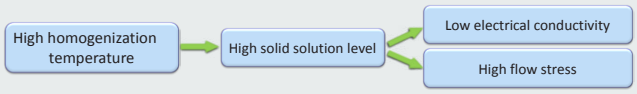


Fig. 4. Flow stress of 0.75 strain as a function of homogenization temperature and soaking time.



5 Conclusions

- For the experimental AA6060 alloy, the flow stress increased with the increasing homogenization temperature due to the increased solid solution level of Fe and Si;
- The effect of dispersoid hardening on flow stress was not significant (The dispersoids could not harden the alloy).

6 Industrial aspect

- Generally, high homogenization temperature is preferable for reducing process time.
- However, an increase in the homogenization temperature cannot further soften the AA6060 alloys, as traditionally believed.
- To reduce the flow stress, removing the alloying elements from solid solution is a practical way.

Xiaoming Qian
Université du Québec
à Chicoutimi

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

L'effet de l'homogénéisation sur la malléabilité à chaud des alliages AA6060 a été étudié. Le microscope à balayage électronique (SEM) a été utilisé pour l'observation microstructurale. L'analyse d'image a été utilisée pour quantifier le nombre de densité des dispersoïdes. La conductivité électrique a été utilisée afin d'évaluer le niveau de la solution solide. L'unité de test thermo-mécanique Gleeble3800 a été utilisée pour étudier la contrainte d'écoulement. Les résultats ont montré que les intermétalliques β AlFeSi ont été fragmentés et transformés en particules α Al (FeMn)Si arrondies pendant l'homogénéisation et le niveau de fragmentation a augmenté avec l'augmentation de la température d'homogénéisation et du temps de trempage. Les dispersoïdes de α Al (FeMn)Si ont été formés à une basse température d'homogénéisation (520 °C) et ont été dissous à une température supérieure (610 °C). Le nombre de densité dispersioïde a diminué avec l'augmentation de la température d'homogénéisation, la taille des dispersoïdes a diminuée avec l'augmentation de la température d'homogénéisation. La conductivité électrique des alliages expérimentaux a diminuée avec l'augmentation de la température d'homogénéisation. La contrainte d'écoulement a augmenté avec l'augmentation de la température d'homogénéisation à cause de l'augmentation du niveau de la solution solide. L'effet du durcissement des dispersoïdes sur la contrainte d'écoulement n'était pas significatif.

The effect of homogenization treatment on the hot workability of AA6060 alloys was investigated. Optical and scanning electron microscopy (SEM) were used for microstructural observation. Image analysis was used to quantify the number density of dispersoids. The electrical conductivity was used to evaluate the solid solution level. A Gleeble3800 thermo-mechanical testing unit was used to investigate the flow stress. Results showed that the β-AlFeSi intermetallic fragmented and transformed into round-off α-Al(FeMn)Si particles during homogenization and the fragmentation level increased with increasing homogenization temperature and soaking time. α-Al(FeMn)Si dispersoids formed at a lower homogenization temperature (520°C) and dissolved at a higher temperature (610°C). The dispersoid number density decreased with increasing homogenization temperature, the size of the dispersoids decreased with increasing homogenization temperature. The electrical conductivity of experimental alloys decreased with increasing homogenization temperature. The flow stress increased with increasing homogenization temperature due to the increased solid solution level. The effect of dispersoid hardening on flow stress was not significant.

Propriétés améliorées des alliages de coulée Al-Si-Cu 319 via l'ajout du Mo
Enhanced properties via Mo addition in Al-Si-Cu 319 casting alloy

Lanfeng JIN
Université du Québec
à Chicoutimi

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

1. INTRODUCTION

Al-Si-Cu casting alloy has been widely used in the automobile industry due to its good castablity and high strength/weight ratio. However, its application at elevated-temperatures is often compromised by coarsening of precipitates. Mo is found to be able to form Mo-bearing dispersoids with suitable heat treatment, and consequently improve the mechanical properties. In this study, the heat treatment at various temperature is conducted to promote the precipitation of dispersoids, and the effect of dispersoids on mechanical properties and creep resistance in Al-Si-Cu casting alloys is investigated.

2. OBJECTIVES

To understand the effect of Mo dispersoids on mechanical properties in Al-Si-Cu-Mg casting alloys, including:

1. Optimal heat treatment condition for maximum dispersoid precipitation.
2. The effect of Mo dispersoids on microhardness, yield strenth and creep properties.

3. EXPERIMENTAL PROCEDURE

Chemical composition of experimental alloys

Alloy	Si	Cu	Fe	Mg	Mo	Ti	Al
0.3Fe	6	3.5	0.3	0.1	0	0.12	Bal.
0.3Fe0.3Mo	6	3.5	0.3	0.1	0.3	0.12	Bal.

1. Heat treatment: From 400 ℃ to 500 ℃ from 2 hrs to 72 hrs.
2. Electrical conductivity and microhardness measurements.
3. Deep etching to present the evolution of dispersoids.
4. Compressive yield strength and creep tests at 300 ℃ to study the effect of Mo dispersoids on elevated-temperature properties.

4. RESULTS

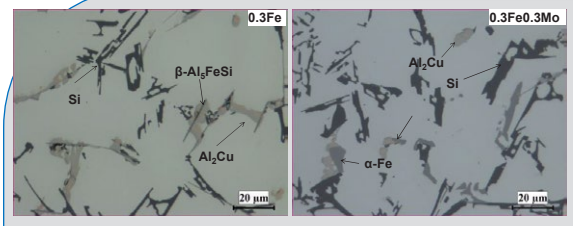


Fig.1 As-cast microstructure, Microhardness and EC of alloys

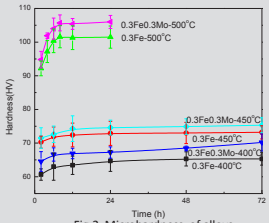


Fig.2 Microhardness of alloys during heat treatment

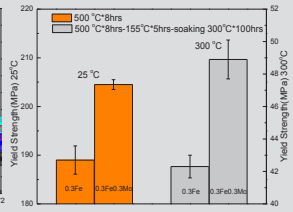


Fig.3 Yield Strength of alloys at 25 ℃ and 300 ℃.

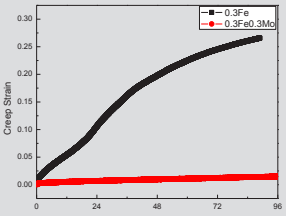
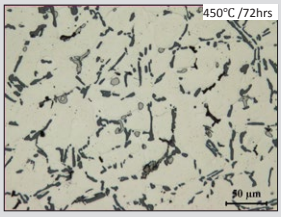


Fig.4 Typical creep Curves (300 ℃ at a load of 35MPa)



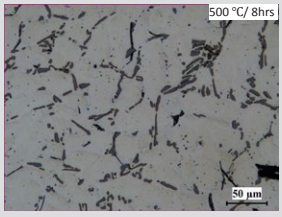


Fig. 5 Precipitation of dispersoids in 0.3Fe0.3Mo under various heat treatments

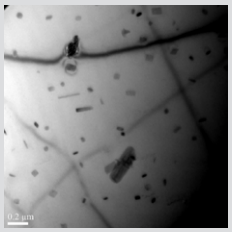


Fig.6 TEM images showing the dispersoids in the 0.3Fe0.3Mo alloy after 500℃/8hrs

5. CONCLUSION

1. Under as-cast condition, Mo addition (0.3%) leads to the higher micro hardness and lower EC due to its solid solution. Meanwhile, the platelet β-Fe is modified into Chinese script α-Fe with Mo addition.
2. Compared with the base alloy, the microhardness of the alloy with 0.3%Mo addition is higher during heat treatment due to the formation of dispersoids. 500 ℃ for 8hrs is found to be the optimum heat treatment condition with higher volume and finer dispersoids.
3. Under a proper heat treatment (500 ℃/8h) , the elevated-temperature properties (strength and creep resistance) are greatly improved via dispersoids-strengthening with Mo addition.

6. FUTURE WORK

1. Detailed discover the formation and distribution of dispersoids under various heat treatments with TEM.
2. Systematically investigate the creep resistance and role of dispersoids in AL-Si-Mg-Cu alloy with Mo addition.

L'alliage de coulée Al-Si-Cu 319 durcissable par précipitation a été largement utilisé dans l'industrie automobile en raison de sa bonne coulabilité et de sa grande résistance/ratio poids. Cependant, son application à des températures élevées est souvent compromise par le grossissement des précipités. Le renforcement des dispersoïdes a permis d'améliorer les propriétés dans le cas de température élevée par la formation de dispersoïdes thermiquement stables. Dans le présent travail, les évolutions des dispersoïdes et des propriétés de l'alliage Al-Si-Cu 319 avec l'ajout du Mo sous divers traitements thermiques ont été étudiées au moyen de la micro-dureté, de la conductivité électrique, de la limite d'élasticité à haute température et de la résistance au fluage. En comparaison à l'alliage 319 de base, la formation de dispersoïdes est favorisée par l'addition du Mo sous un traitement thermique approprié et atteint l'état optimisé après un traitement à 500 °C/8h. Ce résultat est confirmé par les tests de microstructure et de micro-dureté. Pendant ce temps, la résistance au fluage et la limite d'élastique à haute température ont été considérablement améliorées grâce à la formation de dispersoïdes avec l'ajout du Mo.

The precipitation-hardened Al-Si-Cu 319 casting alloy has been widely used in the automobile industry due to its good castablity and high strength/weight ratio. However, its application at elevated-temperatures is often compromised by coarsening of precipitates. Dispersoid strengthening is reported to improve elevated-temperature properties via the formation of thermally stable dispersoids. In the present work, the evolution of dispersoids and alloy properties with Mo addition under various heat treatments of the Al-Si-Cu 319 alloy have been investigated by means of microhardness, electrical conductivity, and elevated-temperature yield stength and creep resistance. Compared with the 319 base alloy, the formation of dispersoids is promoted by Mo addition under proper heat treatment and reaches the optimized condition after treated at 500 °C/8h, confirmed by microstructure and microhardness. Meanwhile, the elevated-temperature yield strength and creep resistance have been greatly improved due to the formation of dispersoids with Mo addition.

Remerciements
Acknowledgements

Remerciements
Acknowledgements

La mise en œuvre de l'ensemble des projets présentés dans cette encyclopédie nécessite des investissements majeurs, et ce, tant au niveau des milieux universitaires et gouvernementaux que de la part des secteurs industriels concernés. C'est en parcourant cet ouvrage que vous réaliserez le dynamisme et l'ingéniosité de ces étudiants et professeurs, chercheurs passionnés, visant non seulement l'excellence, mais le développement d'un pôle québécois de recherche sur l'aluminium reconnu au niveau international.

Le Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL tient à remercier les participants de la Journée des étudiants du REGAL qui, en acceptant la reproduction de leurs affiches, ont permis la création de cette encyclopédie.

The realization of the projects presented in this synopsis required major funding from key players working in the aluminium industry, including university, governments and various industrial sectors. When reading through this work, you will realise how dynamic and ingenious these passionate students, professors, and researchers are. They not only aim to excel, they wish to develop an internationally-recognised aluminium research hub in Quebec.

Aluminium Research Centre – REGAL would like to thank the participants of the REGAL Students'Day who, by accepting to have their posters reproduced, made the creation of this synopsis possible.

Commanditaires Aluminium
Aluminium sponsors

Économie, Science et innovation Québec

Association de l'aluminium du Canada
Aluminium Association of Canada

alu Québec Grappe de l'aluminium

Commanditaires Alumine
Alumine sponsors

Rio Tinto

CQRDA Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium
DES IDÉES EN TRANSFORMATION

Alcoa

Alouette

Université Laval
H. Alamdari, C.-D. Annan, M. Baiteche, C. Bayan, C. Blais, H. Chaouki, D. Charron-Drolet, B. Chen, M. Cormier, C. Duchesne, M. Fafard, M. Fréchette, A. Gateau-Bégin, L. Gosselin, H. Ghazanfari, P. Heugue, A. Hussein, Z. Kansoun, M. Kavand, O. Lacroix, G. Laroche, D. Larouche, T. Li, Y. Lu, H. Maali, P. Manolescu, J. Mashreghi, T. Naseri, D. Picard, S. Petitclerc, S. Poursaman, G. Rouget, J. N. Rousseau, C. St-Gelais, L. Simoneau, L. Sorelli, M. A. Sow, S. M. Taghavi, F. A. Tchitembo Goma, M. Yaghoobi, S. Zaglafi

École Polytechnique de Montréal
M. Balazinsky, C. Bianchetti, M. Brochu, S. Dezecot, C. Hodonou, M. Lévesque, C. Mascle, M. Pushkareva

McGill University
N. Brodush, M. Brochu, J. Choi, S.-C. Chou, H. Demers, A. Foul, R. Gauvin, J. A. Muniz Lerma, S. Rudinsky, C. Teng, M. Trask, M. M. Tünçay, F. Voisard, X. Wang, F. P. Weinstein Silva, Y. Yuan

École de technologie supérieure
F. Bédard, A. Bouzid, F. Gonzalez Pantoja, M. Jahazi, M. Marani Barzani, O. Chaieb, M. Jahazi, J.-P. Kenné, H. Manajati, V. Songmene, Y. Zedan, M. Zoghlami

Université de Sherbrooke
F. Corriveau, A. Desrochers, A. Maslouhi

Cégep de Trois-Rivières / CMQ
A.Bois-Brochu, B. Duchesne, T. Gélinas, B. Tougas

Universidad de Complutense
A.Sanz

Université du Québec à Chicoutimi
M. F. Ahmed, J. Alarie, B. Amara, A. Arici, A. Bouaicha, M. Bouazara, B. Bhattacharyay, J. Bureau, S. Chen, X. Chen, X.-G. Chen, Z. Chen, P. Coulombe, A. Fleury, R. Gauvin, L. Jin, W. Kallel, C. Kaszas, L. Kiss, D. Kocaefe, Y. Kocaefe, C. Li, Z. Li, K. Liu, M. Liu, D. Marceau, B. Morais, S. Poncsak, X. Qian, J. Qin, D. Racine, K. Ragab, A. Rahem, T. Roger, D. Sarkar, L. St-Georges, F. Tremblay, S.-O. Tremblay, W. Xu, Z. Zhang

China Northeastern University
J. Hou, W. Tao, Z. Wang

UCCS – Université de Lille
J.-F. Lamonier

Rio Tinto
J.-F. Bilodeau, F. Breton, S. Guérard, N. Parson

Alcoa
J. Tessier, D. Ziegler

Montupet
R. Martinez

Aluminerie Alouette Inc.
P. Coulombe

Motion Composites
L. Héneault

Hydro-Québec
R. Schulz, M. L. Trudeau

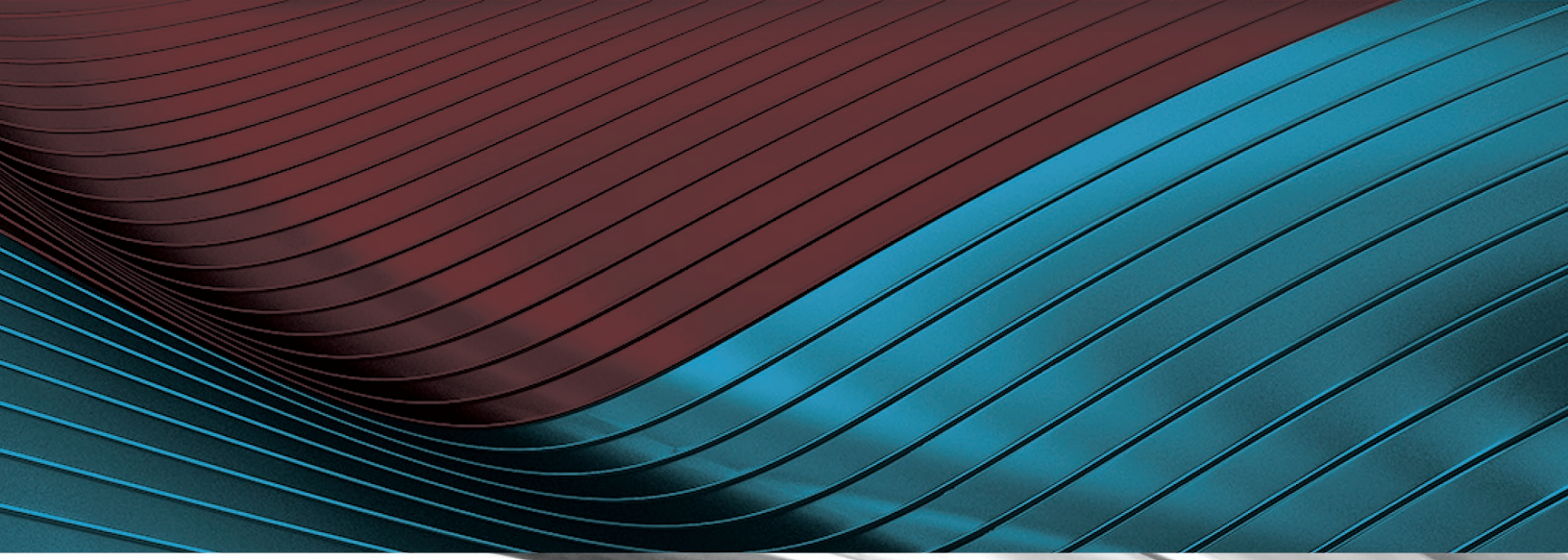
Wair Canada Inc.
M. Gariépy

CNRC-NRC
F. Nadeau

SNC-Lavalin
A.Caron

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





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

Le Centre de recherche sur l'aluminium - REGAL est financé par le FRQNT

Fonds de recherche
Nature et
technologies
Québec