Document de support de la présentation :

**Le procédé d’extrusion de l’aluminium**

Contenu développé par :

**Yves Archambault**

AluQuébec

# Introduction

Ce document est un complément d’information à la présentation : « Le procédé d’extrusion de l’aluminium » d’Alu-Compétences. Des informations seront ainsi fournies pour chaque diapositive de la présentation.

Ce module de formation est fourni dans le cadre du projet Alu-Compétences d’AluQuébec, la grappe aluminium du Québec, et ses partenaires. Le projet Alu-Compétences vise à produire et à diffuser des contenus techniques et scientifiques pour l’enseignement de l’aluminium aux niveaux collégial et universitaire, notamment pour les programmes de design industriel, d’architecture et de métallurgie ainsi que pour les facultés de génie civil, mécanique et aérospatial. Alu-Compétences souhaite enrichir la formation des futurs professionnels sur les notions entourant l’aluminium. Il vise également à encourager les institutions d’enseignement à utiliser leur capacité d’adaptation des programmes de formation pour mieux répondre aux besoins des entreprises de l’industrie de l’aluminium en assurant un bassin de main-d’œuvre qualifiée.

Les partenaires du projet Alu-Compétences vous souhaitent bonne lecture.

# **PREMIÈRE PARTIE**

# Diapositive 4

* L’extrusion est un procédé de mise en forme par lequel un matériau pâteux est forcé de passer dans une filière dont il conserve ensuite la forme.
* Le produit obtenu de l’extrusion est une forme longue et, selon la matrice, avec une section solide ou creuse.
* Plusieurs matières peuvent être extrudés : pensons aux pâtes alimentaires, aux plastiques ainsi que certains métaux qui, selon leurs propriétés, permettent d’obtenir des formes plus ou moins complexes.
* Dans le cas de l’aluminium, l’extrusion est un procédé de mise en forme à chaud.

# Diapositive 5

* La température est un des paramètres importants dans l’extrusion de l’aluminium qui a un point de fusion à environ 650°C, valeur qui varie en fonction de la quantité d’éléments d’alliage qui sont présents.
* Lorsque sa température atteint entre 450 et 500°C, l’aluminium devient pâteux, ou semi-solide, ce qui lui confère des propriétés qu’on peut comparer à la pâte à modeler et qui peut alors être poussé à travers une matrice pour produire une forme allongée.
* La similarité du procédé d’extrusion appliqué aux pâtes alimentaires et à l’aluminium se limite aux noms des équipements : extrudeuse, matrices, sections solides et creuses. L’équipement nécessaire pour extruder l’aluminium nécessite un investissement de plusieurs dizaines de millions de dollars.

# Diapositive 6

* On voit ici l’arrangement général d’une presse d’extrusion pour l’aluminium.
* Il faut exercer une grande poussée sur la billette pour forcer le passage de l’aluminium au travers la matrice.
* Une presse d’extrusion utilise la poussée hydraulique pour y parvenir.
* Les presses d’extrusion sont identifiées, en partie, par la poussée qu’elles peuvent générer. On trouvera des presses de 750 tonnes pour les petites, et de 8000 tonnes pour les grosses.
* Les presses d’extrusion disponibles au Québec ont des capacités variant entre 1600 et environ 2800 tonnes.
* On retiendra que la température de l’aluminium augmente en passant dans la matrice : La température initiale de la billette est de 450°C, celle de la chambre est de 420°C, et celle du profilé sortant de 510°C. Cette augmentation de température est due aux énormes forces de friction qui sont générées par le passage de l’aluminium dans la matrice.

# Diapositive 7

* On voit ici le principe de la billette cylindrique qui, après son passage forcé au travers de la matrice, ressort sous la forme d’un profilé creux rectangulaire.
* La matrice est illustrée coupée afin de montrer l’arrangement et la construction interne de ses différents composants.
* On y reviendra plus loin mais on notera que la matrice servant à former un profilé creux comporte deux parties. On retiendra que la partie de gauche forme l’intérieur du profilé, soit la cavité, et la partie de droite forme l’extérieur du profilé. Dans le cas d’une section solide, la matrice ne comporte qu’une seule partie.

# Diapositive 8

* Cette photo montre le résultat d’une défaillance d’une matrice en cours d’extrusion.
* On distingue que la matrice comportait huit ouvertures produisant autant de profilés.

# Diapositive 9

* L’intrant du procédé d’extrusion est de l’aluminium sous forme de billette.
* Le diamètre de la billette correspond à la capacité de la presse d’extrusion.
* En 2022, au Québec, les plus grosses presses d’extrusion utilisent des billettes dont le diamètre varie de 178 mm (7’’) à 225 mm (9’’).
* L’extrudeur dispose normalement d’un inventaire de billettes des alliages courants, ceci dans le but de pouvoir répondre rapidement aux demandes de ses clients.

# Diapositive 10

* L’extrudeur prend charge de faire usiner les matrices qui sont utilisées sur ses presses, il en fait l’entretien et les entrepose entre les commandes.
* La matrice d’extrusion est généralement accompagnée de plaques de support permettant de résister à la poussée, le tout assemblé dans un bloc formant un assemblage solide qui est installé sur la presse.

# Diapositive 11

On considère qu’il y a 3 types de profilés, ceux à section solide, ceux à section creuse et ceux à section semi-creuse.

* Les sections solides sont les plus faciles à produire.
* Les sections creuses sont plus complexes à produire que les solides.
* Les sections semi-creuses présentent un défi et sont les plus complexes à produire.

# Diapositive 12

Quelques exemples courants où les profilés extrudés sont utilisés :

* Un boîtier de moteur électrique, notons la présence de canaux longitudinaux disposés sur la circonférence, sans avoir le détail complet, on peut déduire qu’il s’agit d’un système d’extraction de chaleur, soit par circulation d’air ou d’un liquide.
* Le platelage GUARDeck, fabriqué par Maadi Group, une entreprise de Montréal, allie rigidité, légèreté et durabilité sur des passerelles.
* La barrière médiane d’autoroute est un bel exemple combinant des fonctions d’assemblage et de résistance structurale.
* L’aluminium est doté d’une bonne conductivité thermique, ce qui en fait un matériau de choix pour la dissipation de chaleur. Les différents dissipateurs sur la photo de droite montrent le niveau de détail atteignable avec l’extrusion. Les pièces sur la photo proviennent de profilés extrudés qui ont ensuite été usinés.
* Les roues de vélo qui sont fabriquées en aluminium le sont à partir de profilés extrudés.
* Les profilés « Alumabridge » sont utilisés comme platelage pour des ponts routiers. La photo montre ici trois profilés assemblés par soudure friction-malaxage, recouvertes d’un revêtement s’apparentant à l’asphalte.

# Diapositive 13

Autres exemples d’extrusions d’aluminium qui se retrouvent dans le secteur de l’architecture et les échangeurs de chaleur. Il faut noter que l’extrusion produit des profilés rectilignes et que ceux apparaissant sur la photo de gauche ont été cintrés.

# **DEUXIÈME PARTIE**

# Diapositive 3

Les avantages apportés par l’extrusion sont multiples. Le profilé montré ici est un exemple contenant plusieurs fonctions intégrées qui illustrent la versatilité du procédé. Sur ce profilé on retrouve des fonctions liées à l’esthétique, à l’assemblage et au transfert thermique.

1. Languette avec éperons pour insertion dans le bois ou le plastique;
2. Le canal de vissage permet d’introduire une vis auto taraudeuse qui, par exemple, retiendrait en place une plaque de fermeture du bout du profilé. Différentes configurations existent : dans un coin ou sur un support;
3. Rainures pour insertion de circuits électroniques ;
4. Rainure pour vis ou rivet ;
5. Rainures pour insertions de plastiques ou autres matériaux ;
6. Une micro rainure en « V » est souvent utilisée comme guide de perçage en étant localisé à l’endroit du profilé où un trou doit être fait. Le « V » en question apparaît évidemment sur toute la longueur du profilé mais cet accessoire réduit l’effort de mesure nécessaire : il ne reste qu’à mesurer la distance par rapport au bout du profilé;
7. Glissières pour écrou ou tête de boulons;
8. Surfaces texturées ;
9. Assemblage à queue d’aronde;
10. Le clip d’assemblage est ici associé à la rotule (#12), formant un couvercle refermable par simple pression, libre de toute attache mécanique visible;
11. Les ailettes de refroidissement sont généralement utilisées sur des profilés dont une des fonctions sera de dissiper la chaleur;
12. Rotule d’assemblage.

# Diapositive 4

L’extrusion de l’aluminium offre la capacité de produire des formes complexes et permet de positionner la matière là où elle est nécessaire.

Les profilés extrudés ont une surface lisse qui peut être peinte ou anodisée.

L’aluminium s’usine facilement.

La photo de gauche montre une structure automobile formée d’un assemblage composants extrudés et de tôles embouties.

La photo de droite montre des supports de lames de patins de vitesse, après usinage et finition d’un profilé extrudé. Il faut noter que la lame en contact avec la glace est fabriquée en acier très dur.

# Diapositive 5

Les profilés extrudés sont aussi disponibles en formes structurales standards telles que des tubes creux et barres solides de formes rondes, carrées, rectangulaires, ainsi que les membrures structurales en forme de « C », « T » et « I ». Ces formes standards sont généralement disponibles chez les distributeurs de métaux qui en gardent en inventaire, ce qui permet un approvisionnement à court terme et en petite quantité si nécessaire.

L’approvisionnement est différent lorsqu’il est question de profilés spéciaux. Prenons l’exemple des lames de patins de vitesse de la diapositive précédente, à moins d’entente commerciale spéciale, rien n’est produit à l’avance et l’entreprise doit alors commander un lot minimal d’environ 500 kg qui est normalement produit dans un délai relativement court par rapport à d’autres procédés de mise en forme.

Les délais de production normalement attendus de différents procédés sont illustrés dans le graphique. On retiendra que le délai relié à l’extrusion d’aluminium est parmi les plus courts. Cependant, bien qu’un délai de livraison de 2 semaines soit possible, il s’agit d’un extrême et il faudra confirmer avec l’extrudeur avant de s’engager contractuellement. En 2021, la situation mondiale sur l’approvisionnement en aluminium a vu ces délais normaux de 4 semaines passer à plus de 6 mois.

# Diapositive 6

Les désavantages reliés à l’extrusion consistent en la nécessité pour l’utilisateur d’acheter un outillage spécial et dédié à son usage exclusif. Cet outillage est une matrice d’extrusion, aussi appelée filière, qui est usinée dans de l’acier à outil de façon à produire la forme désirée. Selon la complexité de la section, le prix d’une matrice peut varier de 1500$ pour une forme solide et simple à plus de 20 000$ pour une forme complexe de grande dimension. Cette matrice est achetée auprès de l’extrudeur qui la fera fabriquer en fonction des exigences imposées par sa presse d’extrusion. En conséquence, la matrice en question n’est généralement pas utilisable sur une autre presse et donc, le recours à deux extrudeurs pour une même section impliquera d’acheter deux matrices. On retiendra que cette pratique est utilisée par les entreprises désirant réduire les risques de rupture dans leur chaîne d’approvisionnement. Compte tenu de l’ensemble des étapes liées au procédé, des quantités minimales de production sont imposées; allant généralement de 500 kg à 1000 kg selon la taille du profilé à produire. On comprend alors qu’il faille s’attendre à prévoir l’entreposage adéquat de cette quantité d’aluminium.

# Diapositive 7

Voyons maintenant, dans les cinq prochaines diapositives, comment sont produites les formes lorsque l’aluminium passe au travers de la matrice d’extrusion. L’exemple porte sur un profilé creux de forme rectangulaire. On a ici une matrice formée de deux composants, le mandrin et la plaque.

* Le mandrin définit la forme interne du profilé;
* La plaque en définit la forme externe.

Ces filières sont usinées dans de l’acier à outil afin de pouvoir résister à la poussée de la presse. Les surfaces sur lesquelles l’aluminium glisse sont durcies par des traitements de surface, tel que la nitruration, afin de réduire les effets d’usure par abrasion et d’allonger la durée de vie.

# Diapositive 8

L’espacement des pièces montre la conception du mandrin dont la partie formant l’intérieur du tube s’insère dans la plaque.

# Diapositive 9

Les composants sont coupés pour laisser voir comment est tenue la partie qui forme l’intérieur du tube, sur le mandrin. On peut y voir que le mandrin est muni de canaux et de ponts solides qui tiennent en place l’élément central qui donne la forme intérieure.

# Diapositive 10

La billette d’aluminium pâteux arrive ici de la gauche et s’appuie sur le mandrin.

# Diapositive 11

Après quoi, une force suffisante est appliquée sur la billette d’aluminium qui traverse alors la matrice pour produire le profilé désiré. L’aluminium contourne les ponts qui maintiennent en place la forme intérieure du profilé et se refusionne ensuite.

# Diapositive 12

Ici une autre série d’images illustrant comment l’aluminium passe par plusieurs canaux autour de la partie formant la cavité interne et se ressoude ensuite.

# Diapositive 13

Quelques exemples d’ensembles de matrices formant des profilés creux, certaines assorties du profilé qui est produit.

# Diapositive 14

En plus de classifier les profilés selon qu’ils soient solide, creux ou semi-creux, on utilise un autre critère qui est le diamètre du cercle circonscrit (DCC). Il s’agit du diamètre du cercle dans lequel la section peut s’insérer. La section montrée en exemple serait considérée comme ayant un DCC de 4 pouces (environ 100 mm). La photo de droite montre une section dont le DCC est d’environ 800 mm. On retiendra que les DCC déterminent en partie la taille de la presse qui aura la poussé suffisante pour les extruder.

# Diapositive 15

On introduit ici un autre critère qui doit être considéré lorsqu’il est question d’extruder une section : l’alliage d’aluminium. Notons d’emblée que tous les alliages d’aluminium s’extrudent mais certains plus facilement que d’autres. En fait, certains alliages sont très difficiles à extruder, ce qui les rend dispendieux à produire. On peut penser aux alliages de la série 7000 qui ont d’excellentes propriétés mécaniques et qui se retrouvent largement utilisés dans le secteur aéronautique, dans l’automobile, ainsi que dans les articles de sport. Un rappel avant d’aller plus loin : une matrice d’extrusion est aussi appelée une filière et la filabilité d’un matériau décrit ou quantifie sa capacité à être filé. Le tableau de la diapositive montre la filabilité relative de différents alliages. On note qu’une note de 100% est attribuée au 6063, qui est un alliage très courant dans le domaine de l’architecture, et la note de 60% attribuée au 6061, qui est un alliage structural aussi couramment employé. Le 6061 est donc plus difficile à extruder que le 6063. On retiendra que les alliages plus faciles à extruder permettent des formes plus complexes.

# Diapositive 16

Les valeurs du tableau de la diapositive précédente sont ici organisées dans un histogramme qui permet d’apprécier la variation de filabilité de différents alliages d’aluminium. On remarque que certains alliages sont plus faciles à extruder, prenons par exemple le 1150, alors que le 7075 est à l’autre bout du spectre et représente donc un défi différent pour l’extrudeur.

# Diapositive 17

Un des avantages du procédé d’extrusion est la possibilité d’avoir plus de matière dans les endroits critiques, et moins dans les zones du profilé qui sont moins sollicitées. Il arrive que l’épaisseur idéale pour le concepteur soit trop mince pour être extrudée et qu’il faille alors l’augmenter. Cette épaisseur minimale extrudable dépend encore de plusieurs paramètres qui sont maîtrisés par l’extrudeur à qui il faudra se référer lors de la conception. La filabilité des différents alliages, vus à la diapositive précédente (diapositive 26), se traduit ici par les épaisseurs minimales atteignables en fonction du diamètre du cercle circonscrit. Prenons l’exemple avec un diamètre de 200 mm, l’épaisseur minimale réalisable avec du 6063 est d’environ 2 mm alors qu’elle est de 3.5 mm avec le 6082, qui est un alliage structural. Notons que d’autres facteurs affectent l’épaisseur minimale possible : la capacité de la presse, la vitesse d’extrusion, la géométrie du profilé ainsi que les tolérances dimensionnelles admises sur le produit.

# Diapositive 18

La résistance mécanique des alliages de la série 6000 est obtenue par des traitements thermiques qui sont des cycles de chauffage et de refroidissements. Ces traitements sont spécifiques aux alliages et doivent être rigoureusement respectés pour obtenir les propriétés mécaniques voulues. L’extrusion étant un procédé « à chaud », il constitue une première étape du traitement thermique, celle de la mise en solution, qui doit être suivie d’un refroidissement contrôlé. Simplement dit, plus il y a d’éléments d’alliage, plus le refroidissement doit être rapide. L’alliage 6061 contient plus d’éléments d’alliages que le 6063 et la figure montrée ici illustre que les méthodes de refroidissement diffèrent. Selon l’épaisseur, le 6063 peut être refroidi à l’air forcé alors que le 6061 doit généralement l’être avec une brume ou des jets d’eau.