



Novembre 2016

ALUMINIUM, DESIGN ET FABRICATION

3EME PARTIE : OEUVRES - PROCEDES

Bonjour à tous, toujours dans une logique de promouvoir l'importance de la métallurgie, en soulignant les connexions existantes entre les matériaux métalliques et d'autres secteurs d'activités, Métallo Corner clôture cette trilogie « Matériaux – Produits – Procédés » en présentant plusieurs œuvres en aluminium tout en s'intéressant aux différents procédés de fabrications utilisés.

Après avoir parcouru les principaux alliages d'aluminium potentiellement utilisés dans le monde du design pour leurs aptitudes à la mise en forme, à l'assemblage, à la tenue à la corrosion, pour leurs caractéristiques mécaniques et leurs réflectivités, il est temps maintenant de consacrer un espace aux œuvres et aux procédés de fabrication associés. Pour cela, nous vous proposons d'étudier des produits de designers confirmés comme Michael Young, mais également de promouvoir le travail de « jeunes espoirs prometteurs », lauréats du concours « aluminium pour l'éco-design » en 2015 ou 2016.

Les procédés de fabrication au cœur du design.

Nous vous proposons de découvrir ou de redécouvrir le designer britannique Michael Young basé à Bruxelles et à Hong Kong, non pas pour son patronyme qui peut nous évoquer une caractéristique bien connue des mécaniciens ($E_{Al} = 69 - 74$ GPa pour rappel), mais plutôt pour son exposition « al (I) » présentée il y a peu au Centre d'Innovation et du Design (CID), en Belgique, où ses œuvres côtoient une série de projets iconiques réalisés par des pionniers ou des contemporains de l'aluminium tels que Jean Prouvé, Charles et Ray Eames ou encore Marcel Breuer ou Barber & Osgerby. Nous nous sommes intéressés à Michael Young car il porte une part importante au processus industriel dans ses œuvres réalisées en moyenne série.

- **La mise en forme à froid.**

Prenons comme exemple la « chaise 4A » (Cf figure 3), qui permet assez rapidement d'entrer dans le vif du sujet puisque l'on trouve à la fois :

- de l'emboutissage (mise en forme d'une tôle entre un poinçon et une matrice),
- du cintrage de tube (opération de formage de tube),
- du cambrage de l'assise et du dossier,
- du soudage et redressage (on utilise très souvent le MIG),
- du roulage (opération consistant à transformer une tôle en un cylindre ou un cône),
- des opérations de finition de surface (anodisation, thermolaquage, polissage).



Novembre 2016



Figure 3 : Eléments emboutis : « Chaise 4A » (Michael Young). [2]

Pour toutes les opérations de mise en forme à froid, on sélectionnera des nuances avec un coefficient d'écroissage (n) et un coefficient d'anisotropie (r) les plus grands possible. Ces grandeurs sont caractéristiques de la capacité d'un matériau à répartir la déformation de façon homogène dans le volume du semi-produit.

Pour l'emboutissage, le procédé est identique à celui utilisé pour les aciers. En revanche, les alliages d'aluminium ayant une emboutissabilité moins bonne que les alliages fer / carbone, il est nécessaire d'adapter la forme de la pièce et les gammes d'emboutissage.

Pour toutes les opérations de pliage et cintrage (réalisé sur une machine à galets de forme), il est préférable de faire un pli perpendiculaire au sens du laminage dans le cas des faibles rayons et de respecter les rayons de pliage fournis par la norme qui dépendent des états métallurgiques des semi-produits livrés.

- **Autres techniques de mise en forme.**

- **Extrusion / filage :**

Dans les techniques de mise en œuvre de l'aluminium, il est important de ne pas oublier les pièces extrudées / filées qui à elles seules sont des œuvres d'art (Cf. figure 4). Ce procédé de mise en forme s'effectue à chaud (450 – 500°C) par écoulement d'une billette que l'on presse à travers l'orifice d'une filière en acier qui reproduit la section du profil à obtenir. Cette opération peut, avec certaines nuances, se réaliser à froid.



Novembre 2016



Figure 4 : Exemple d'une pièce extrudée. [3]

Tous les alliages peuvent être extrudés, mais certains plus difficilement que d'autres. Les alliages de la famille 6000 représentent 90 % de l'aluminium extrudé. On retrouve également sur le marché des profilés en alliages de la famille 3000 et 1000.



Figure 5 : Pièces extrudées « Orsted Desk » (Michael Young). [2]

Ce bureau Orsted Desk d'une grande simplicité et très fonctionnel de Michael Young est formé de 3 éléments extrudés anodisés, assemblés astucieusement (Cf Figure 5).

- **L'hydroformage :**

L'hydroformage de tôles ou de tubes, de plus en plus utilisé dans l'industrie automobile en dépit de temps de cycles peu adaptés aux grandes séries, est utilisé pour la réalisation d'emboutis profonds comme des réservoirs de carburant. Michael Young s'est également servi de ce procédé pour la réalisation des pièces de structures pour son vélo « City speed » (Cf. figure 6). Des éléments hydroformés sont ensuite assemblés par soudage et le tout est thermolaqué.



Novembre 2016



Figure 6 : Elements hydroformés : « Vélo City Speed » (Michael Young). [2]

Il existe également d'autres techniques de mise en forme, que nous ne développerons pas dans cet article, comme le procédé d'emboutissage hydrodynamique assisté par une pression radiale ou encore le formage électromagnétique de tôles ou de tubes destinés à la fabrication industrielle d'éléments de carrosserie.

- L'élaboration par fusion : moulage cire perdue, fonderie sous pression, fabrication 3D
 - **Moulage à cire perdue : prototype du tabouret kaléidoscope :**

Très utilisé dans la fonderie d'art, ce procédé d'une grande précision dimensionnelle est classé dans la catégorie des moulages de précision ; la qualité de la « peau » des pièces réalisées est remarquable (absence de plan de joint et d'opération de dénoyautage). Il est possible de réaliser des pièces très ajourées avec des parois minces comme le prouve le tabouret kaléidoscope de Michael Young (Cf. figure 7).



Figure 7 : Moulage à cire perdue : prototype du tabouret kaléidoscope (Michael Young). [2]



Novembre 2016

Le procédé « cire perdue » comprend une série d'opérations : l'obtention d'un modèle en cire, l'enrobage céramique de celui-ci, une opération de décirage par chauffage. A ce moment, on se retrouve avec un moule en céramique qui peut être rempli par le métal en fusion, vient ensuite le décochage (opération qui vise à éliminer la céramique de la carapace par vibration) et les opérations de parachèvement (sciage, meulage) pour éliminer le système d'alimentation et divers appendices.

On coule une cire spéciale qui, en se solidifiant, prend la forme exacte de la pièce à produire. Ensuite, le modèle ainsi réalisé en cire, après avoir été éventuellement monté en grappe, est trempé à plusieurs reprises dans un bain pâteux (barbotine) de matériaux réfractaires et de liants qui, en séchant, forme la « carapace » autour du modèle en cire. L'ensemble est porté à une température supérieure à 100 °C : la cire fond et laisse alors une cavité dans laquelle sera coulé le métal en fusion. Après refroidissement, le moule est détruit laissant apparaître une pièce métallique identique, dans les moindres détails, au modèle initial.

○ **Fonderie sous pression :**



Figure 8 : Œuvres obtenues par injection sous pression : collection EMECO et Otto Stool. [2]

Les assises des objets élaborées par injection sous pression que l'on retrouve dans les images de la figure 8 sont pensées et réalisées par Michael Young. Cette technologie de fonderie dédiée aux alliages non ferreux (aluminium, zinc, magnésium, cuivreux) consiste à injecter l'alliage à grande vitesse (40 à 50 m/s) dans un moule en acier (en X38 CrMoV5) et à appliquer une pression importante (70 à 100 MPa) pendant toute la durée de la solidification.

On pousse par le biais d'une buse d'injection le métal liquide à s'introduire dans un moule métallique sous une forte pression afin d'obtenir des pièces en très grande série de quelques grammes à plus de 50 kg épousant l'empreinte gravée dans le moule. On distingue les machines à « chambre chaude » avec dispositif d'injection immergé et les machines à « chambre froide », où le métal liquide est versé



Novembre 2016

dans un conteneur métallique, puis injecté dans l’empreinte sous des pressions atteignant couramment 1 000 bars, pour compenser le retrait de solidification. Les premières sont utilisées pour les alliages de plomb, de zinc et de magnésium, les secondes pour les alliages d’aluminium, de magnésium, de zinc et de cuivre. Ce procédé de moulage est très utilisé pour la fabrication de pièces en construction automobile: carters de boîte de vitesses, carters de moteur, corps de carburateur sont des pièces coulées sous pression.

- **Mousses d’aluminium :**



Figure 9 : Œuvre utilisant de l’aluminium expansé : « Oxygène Chair ». (Michael Young)
- Echantillon de mousse d’aluminium – [2]

Elaborée à partir d’aluminium expansé, cette assise à l’aspect « volcanique » de Michael Young (Cf. figure 9] est ensuite finie main, puis anodisée. L’obtention de ce matériau à faible densité est le résultat de l’injection d’un gaz inerte dans l’aluminium en fusion. D’un point de vue plus industriel, on les retrouve dans des applications du type acoustique, vibratoire, isolation thermique ou absorption d’énergie (sécurité passive face à un choc).

Nous en profitons pour souligner que cette technique d’élaboration n’est pas la seule pour obtenir des mousses, on trouve également des techniques d’infiltration de précurseurs (Moulage à modèle perdu) ou des techniques par condensation de vapeur métallique (procédé PVD ou CVD) sur une mousse polymère, qui sera désagrégée par la suite par un passage au four.

- **La fabrication additive ou fabrication 3D :**

Il ne paraîtra pas surprenant de voir travailler quelques designers ou artistes plasticiens avec des technologies associées à l’impression 3D pour la réalisation des produits « arborescents » en aluminium. C’est le cas de la batterie rechargeable fonctionnant à l’énergie cinétique « Gyz » (Cf. figure 10), constitué d’un aimant et d’un bobinage pour générer un courant induit qui sera stocké dans un accumulateur. Cet objet n’est pas l’œuvre de Michael Young mais d’une jeune designer lauréate du concours « l’aluminium pour l’éco-design 2016 », Anne Sophie de Lafaye Carivan, étudiante à la Faculté des Arts de Strasbourg, que nous félicitons au passage.



Novembre 2016



Figure 10 : Œuvre obtenue par fabrication additive d'Anne Sophie de Layae Carivan : batterie « Gyz ».[5]

Anne Sophie a utilisé un procédé de frittage sélectif par laser (FSL) pour réaliser les 2 demi-sphères en aluminium qui protègent les composants de la batterie. L'objet qui s'adapte parfaitement à la main, a été créé strate par strate, à partir de poudres qui sont frittées grâce à l'énergie d'un laser. Compte tenu de la technique de fabrication utilisée qui s'adapte bien au cas par cas, on peut imaginer appairer la morphologie de l'objet à la main du client. Nous savons que cette technologie est correctement maîtrisée pour des alliages du type AlSi10Mg (A13600) ou AlMg3 (5754). Des travaux sont en cours sur d'autres nuances : AlSi5Cu3Mg, 2017A, 7050 et 7075.

Nous aborderons dans la 4^{ème} partie, l'importance de l'aluminium dans l'architecture... cependant on peut d'ores et déjà dire qu'en matière d'art, si chaque époque marque son temps, alors chaque nouveau procédé de fabrication et nouveau matériau marquera le design.

Nous remercions Michael Young (photo de gauche du bandeau), ainsi que la galerie Seguin pour l'autorisation qu'ils nous ont procurée à utiliser les photos de leurs objets. Nous tenons également à remercier l'ensemble de l'équipe organisatrice du concours « l'Aluminium pour l'Eco-design » pour l'ensemble des informations communiquées et libre de droit.

*Nous en profitons également pour féliciter les lauréats du concours 2016 : Anne-Sophie de Lafaye Cariven (Projet **GYS**), Jonathan Omar (projet **Marmaros**, photo de droite du bandeau), Marie-Marie Dutour et Antoine Defour (projet **L'Équilibriste**), et également ceux de 2015 : Jérémy Richard, Jordan Cieski et Jade Renaut (Projet **Façade Piézoélectrique**), Maureen Barbette (projet **Kali**).*

Bibliographie :

- [1] : Robe Paco Rabanne, cliché Keystone Features (N° 91656070), collection Hulton Archive.
- [2] : Exposition « al(l) » de Michael Young au Centre de l'Innovation et du Design (Belgique - 2016).
- [3] : Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium.
- [4] : Dossier de presse des Pays de la Loire : Technocampus Nantes.
- [5] : Dossiers de presse 2015 / 2106 du concours « Aluminium pour l'éco-design ».
- [6] : Tugdual Loyer, Robert Eroy « Etude de l'effet piézoélectrique : un matériau intelligent », Division Matériaux pour l'écoconception, séminaire de recherche 2015-2016.