



PROJET QUICKMOLD

LA FABRICATION ADDITIVE MÉTALLIQUE AU SERVICE DE LA PRODUCTIVITÉ EN PLASTURGIE

Dans le cadre du projet QuickMold, la fabrication additive métallique a permis de concevoir des canaux de régulation au plus proche de la surface moulante dans les outillages d'injection, d'augmenter ainsi la productivité des presses, mais également de réduire le temps de cycle d'injection de 20 %. Présentation et explications !

Par **Marjorie Hulin**, doctorante à l'université de Reims Champagne-Ardenne, et **Hervé Bonnefoy**, chercheur URCA/LISM et responsable scientifique Platinum 3D.

Les entreprises doivent faire face à une concurrence de plus en plus vive. L'augmentation de la productivité devient une nécessité pour assurer leur pérennité. Dans ce contexte, différentes entreprises de plasturgie et plusieurs laboratoires de recherche se sont regroupés pour répondre à un appel à projets de la région Grand Est. Le projet QuickMold, dont l'objectif est d'optimiser le triptyque délais-coût-fonctionnalité pour la réalisation d'outillage d'injection par fabrication additive, a été sélectionné. Se sont engagés dans ce projet trois entreprises – Carbody, Ceva technologies et Amphe-nol Air LB – ainsi que deux laboratoires – le CRITT-MDTS et le LISM de Charleville-Mézières – en collaboration avec la plate-forme de fabrication additive Platinum 3D.

Repenser le fourreau du moule d'injection de Carbody

Fabricant de pièces injectées pour l'automobile, l'entreprise Carbody utilise un moule d'injection en acier X38CrMoV5 comprenant une partie moulante appelée « fourreau » (figure 1). Celle-ci est réalisée en alliage de cuivre-béryllium (AMPCOLOY 83®) pour faciliter les échanges thermiques. Les pièces injectées en polypropylène (PP) chargé à 40 % de fibres de verre provoquent une usure rapide de ce fourreau, réduisant ainsi la productivité du moule suite à des opérations répétitives de maintenance. Pour éviter cette usure prématurée du fourreau, si le recours à de l'acier H11 est une solution efficace pour résoudre le problème d'usure, il ne résout pas celui de la rentabilité, puisque le temps du cycle d'injection est multiplié par deux. Le coefficient de conductivité thermique de l'acier H11 est de 25.5W/m° C contre 62 W/m° C pour l'AMPCOLOY 83®. Le fourreau a donc finalement été réalisé en acier maraging, par fabrication additive, avec des canaux de régulation situés au plus près de la forme moulante (*conformal cooling*). Cette étude présente la démarche employée pour produire ce fourreau au moyen du procédé SLM (*selective laser melting*).



Pour conduire cette étude, les partenaires impliqués ont choisi de s'appuyer sur la chaîne de valeur spécifique à la fabrication additive et de mettre en place une organisation apprenante afin de partager les connaissances et de faire monter le groupe en compétence.

Conception et simulation

Le fourreau du moule d'injection assure la forme moulante de la pièce par ses surfaces extérieures. Il permet le passage de la buse d'injection à l'intérieur, d'injecter le polypropylène par le système d'alimentation situé à son extrémité et de réguler la température par ses canaux de refroidissement. Pour faciliter la maintenance du fourreau, celui-ci a été réalisé en deux parties : la première partie, le « chapeau », intègre le système d'alimentation ; la seconde partie, la « partie basse du fourreau », assure les autres fonctions. Les canaux du fourreau sont au plus proche des surfaces moulantes et des surfaces latérales, afin de faciliter les échanges thermiques tout en évitant la création de support lors de la phase de fabrication. Différentes configurations des circuits de refroidissement (figure 2) ont été simulées numériquement au niveau thermique.

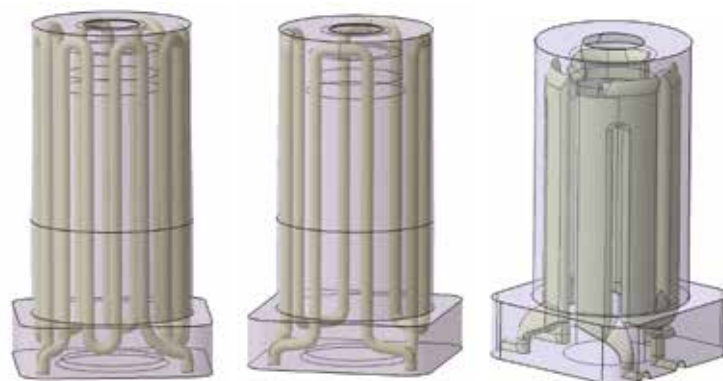
Avec le fourreau en alliage de cuivre-béryllium utilisé en production, la température en fin de cycle d'injection est de 126 °C : l'objectif a donc été de diminuer cette température. La simulation numérique au niveau de la thermique réalisée par le GRESPI a permis d'étudier les différentes configurations du conformal cooling. Elle a également permis de retenir les canaux « larges » présentant la température la plus basse de 58 °C au temps de fin de cycle du fourreau en alliage de cuivre-béryllium. Cette solution entraîne également une meilleure évacuation de la poudre non fusionnée en fin de fabrication.

Fabrication, post-traitement et contrôle

Ce fourreau est fabriqué sur une machine SLM 280 HL de SLM Solutions, qui possède un volume de production de 280 mm x 280 mm x 250 mm sous atmosphère inerte d'argon. La puissance maximale du laser est de 400 W et la vitesse de balayage laser de 760 mm/s. L'épaisseur des couches utilisée durant le procédé de fabrication est de 50 µm. Plusieurs problématiques, notamment celles générées par le procédé SLM, ont dû être résolues pour atteindre les objectifs souhaités :



1 FOURREAU D'INJECTION CARBODY



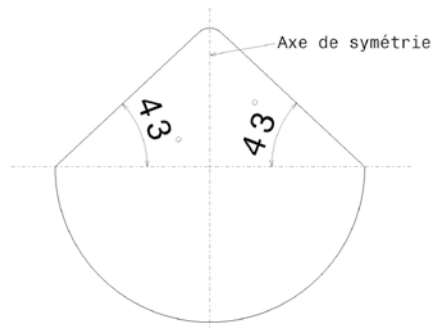
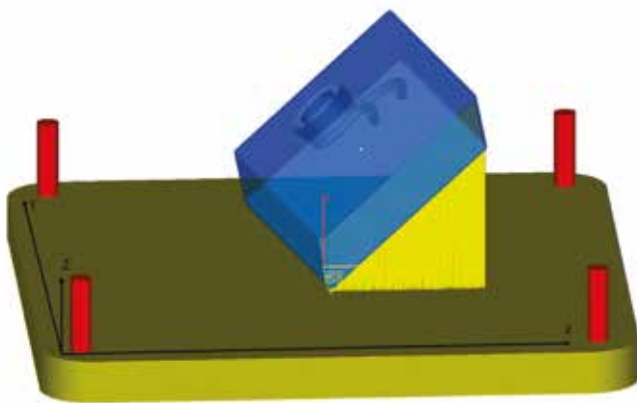
2

DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS DE CIRCUIT DE RÉGULATION

- une surépaisseur de 2 mm a été intégrée dans le but d'assurer une finition par usinage des surfaces fonctionnelles ;
- l'utilisation de canaux avec des sections en forme de goutte d'eau (figure 3) a permis d'éviter les supports, qui nécessitaient que les géométries des canaux de régulation soient auto-portantes ;
- des ouvertures ont été créées dans les supports entre le plateau de construction et la base du fourreau pour assurer une bonne évacuation de la poudre non fusionnée avant le traitement thermique de l'ensemble plateau-fourreau ;
- afin d'éviter une pollution par les fumées et scories générées par la fusion du matériau par le laser, les fourreaux ont été positionnés en quinconce sur le plateau de construction et orientés d'un angle de 10° par rapport au racleur, pour permettre un engagement progressif de celui-ci.

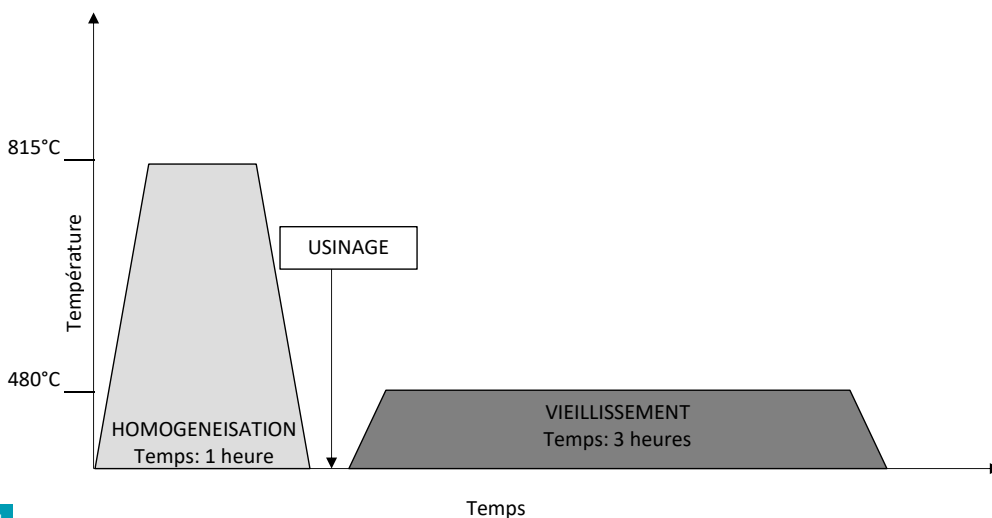
Le procédé SLM générant des contraintes résiduelles préjudiciables à la bonne tenue mécanique des produits fabriqués [1], un traitement thermique de l'acier maraging est nécessaire en sortie de machine afin d'éviter des déformations de la pièce, lorsque celle-ci est encore sur le plateau de fabrication. Ce traitement comprend deux phases (figure 4) : une première phase d'homogénéisation à 815 °C pendant une heure, qui permet la relaxation des contraintes, et une seconde phase de vieillissement à 480 °C pendant trois heures, qui permet d'accroître la dureté de l'acier jusque 56 HRC. Après ce traitement, les pièces peuvent être détachées du plateau par électroérosion à fil. Les surfaces fonctionnelles du fourreau sont reprises par usinage sur un tour à CN afin d'assurer une qualité dimensionnelle et un état de surface corrects.

Dans la mesure où la présence de porosité dans les fourreaux peut générer des fuites préjudiciables à la tenue du moule et à la qualité des pièces injectées, des éprouvettes cylindriques d'un diamètre et d'une hauteur de 10 mm ont été réalisées afin de contrôler la porosité des pièces fabriquées, de mesurer la dureté et d'étudier la structure par micrographie lors de la fabrication des deux fourreaux [3]. Les résultats obtenus montrent une structure martensitique avec une dureté de 56 HRC et un taux de porosité inférieur à 0,5 %.



3

CANAL EN FORME DE GOUTTE D'EAU



4

TRAITEMENT THERMIQUE DE L'ACIER MARAGING [2]

Différentes solutions de production

Une étude technico-économique étant nécessaire pour identifier la meilleure solution en fonction du coût de l'outillage et du nombre de pièces à produire [4], différentes possibilités ont été proposées pour fabriquer le fourreau.

- Le fourreau est usiné dans un alliage de cuivre-béryllium avec une régulation située dans sa base prismatique. Cette solution est très efficace au niveau de la dissipation thermique et de la réduction du temps de cycle, mais elle entraîne une usure rapide compte tenu du matériau injecté en polypropylène chargé à 40 %.
- La seconde solution testée est un fourreau entièrement usiné en acier avec des canaux de régulation situés dans la base du fourreau. Cette solution présente un faible coût de fabrication, mais elle nécessite un temps de cycle d'injection important.
- La troisième solution est la fabrication d'un fourreau en deux parties avec la partie haute (le chapeau) usinée dans de l'acier résistant à l'usure et la partie basse usinée dans un alliage de cuivre-béryllium pour garantir une bonne conductivité thermique. Cette solution évite l'usure du chapeau, mais elle accroît le temps de cycle de 25 %.

AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ EN INJECTION PLASTIQUE

Le sujet proposé est l'utilisation de la fabrication additive métallique afin d'améliorer la productivité en injection plastique. Pour l'entreprise Carbody, qui produit des pièces à hautes valeurs ajoutées pour l'automobile, la réduction des temps de cycle de production constitue un réel enjeu. L'impression 3D métal permet de concevoir des canaux de régulation au plus proche de la surface moulante dans les outillages d'injection et ainsi d'augmenter la productivité des presses. Cet article, qui propose d'exposer les résultats de ces travaux, se décompose en trois grandes parties : une première partie présentant le contexte de l'étude, une deuxième partie montrant le déploiement de la chaîne de valeur en fabrication additive sur un cas industriel et une troisième partie exposant une étude technico-économique des différentes possibilités de fabrication d'un fourreau.

La productivité multi-laser sans compromis sur la qualité...

RENISHAW
apply innovation™

Que pouvez-vous réaliser avec la fabrication additive Renishaw?

Les systèmes de fabrication additive multi-laser de Renishaw ouvrent de nouveaux horizons, amenant davantage d'applications à la portée de la technologie AM.

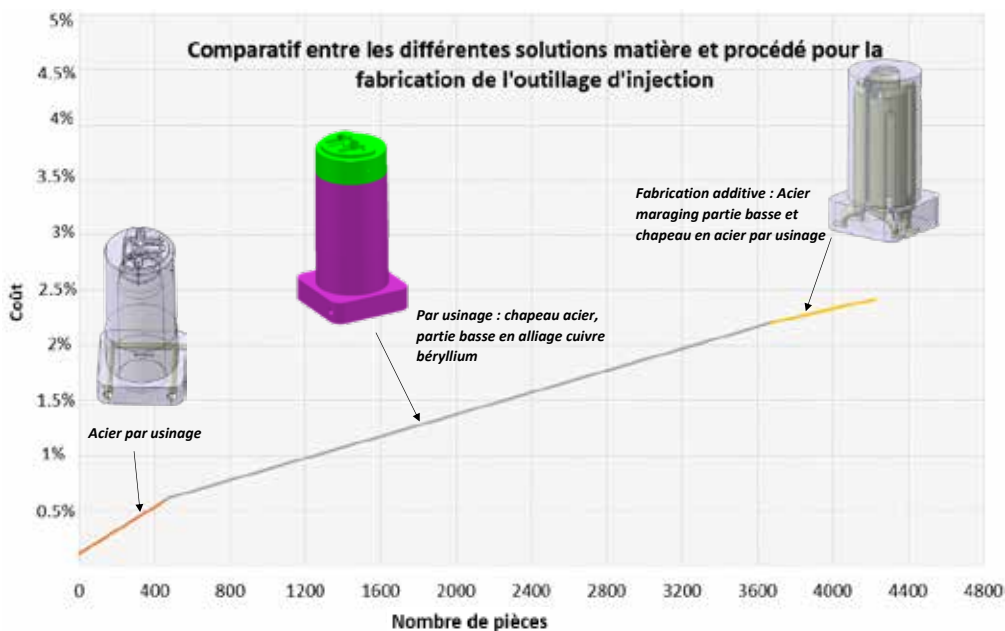
Le système RenAM 500Q dispose de quatre lasers de forte puissance utilisés de manière optimale pour réduire le coût par pièce, pendant que des systèmes et capteurs avancés garantissent des conditions de travail sans précédent pour fournir des performances constantes de classe supérieure, fabrication après fabrication.

Libérez votre potentiel et explorez les possibilités de la fabrication additive multi-laser avancée de Renishaw.

Pour plus d'informations, rendez-vous sur www.renishaw.fr/multi-laser

- La dernière solution est celle étudiée dans cet article : la partie basse est réalisée par fabrication additive avec des canaux de régulation et le chapeau est usiné dans de l'acier. L'outillage en fabrication additive a un coût de conception et de fabrication plus élevé que dans les autres solutions, mais il permet une réduction du temps de cycle d'injection de 20 %.

L'expertise acquise sur le procédé SLM a permis de réaliser de nombreux outillages de plasturgie en service ou en cours de test. L'outillage produit pour l'entreprise Carbody a contribué à réduire le temps de cycle de 20 % et d'obtenir une qualité constante des pièces injectées. La collaboration entre les entreprises et les académies a permis de faire monter en compétences les académies au niveau de la plasturgie et les industriels au niveau de la fabrication additive. La chaîne de valeur au niveau de la fabrication additive a bien été assimilée par les entreprises de par les compétences et les moyens techniques disponibles des centres de recherche ainsi que le déploiement complet de cette chaîne de valeur sur différents cas industriels. Certains industriels se sont appropriés d'autres technologies de fabrication disponibles sur la plate-forme Platinum 3D, comme l'impression 3D au sable pour réaliser des outillages de plasturgie avec du conformal cooling pour un coût inférieur à celui du procédé SLM.



LE CHOIX DES MATÉRIAUX

Afin de faciliter les échanges thermiques et donc de réduire le temps du cycle d'injection, le matériau utilisé dans la production de ce fourreau doit avoir un coefficient de conductivité thermique le plus grand possible. Il doit également posséder une bonne résistance à l'usure, donc une dureté maximale. Compte tenu des matériaux disponibles et de notre expertise dans ce domaine, l'acier maraging M300 est celui qui répond le mieux au cahier des charges en termes de dureté, tout en l'associant à du conformal cooling pour faciliter les échanges thermiques. Dans le procédé SLM, le matériau, sous forme de poudre, est fusionné par laser. Cette poudre possède une morphologie sphérique avec une granulométrie moyenne de 32 µm et une composition chimique précisée dans le tableau suivant.

Composition chimique de l'acier maraging M300/1.2709

Eléments	C	Si	Mn	Ni	Mc	Ti	Co	Fe
% Volume	0,01	0,1	0,06	17,9	5,3	0,9	9,6	Balance

Références

- [1] Laurent Van Belle, « Analyse, modélisation et simulation de l'apparition de contraintes en fusion laser métallique », Mécanique des solides [physics.class-ph], INSA de Lyon, 2013.
- [2] Franjo Cajner, Darko Landek et Vojteh Leskov, « Surface Modifications of Maraging Steels Used in the Manufacture of Moulds and Dies », 44.2 (2010), 85-91.
- [3] J. Sander et al., « Microstructure and properties of FeCrMoVC tool steel produced by selective laser melting », Materials and Design, 89 (2016), 335-41.
- [4] M. Jacques (Hulin), V. Marquet, H. Bonnefoy, D. Auzène, « Technical economic study of injection mould in plastics processing manufactured by SLM », ICWAM, 2017

Remerciements

Nous remercions les financeurs du projet QuickMold, dont le conseil régional du Grand Est, ainsi que le FEDER.