Quelle rentabilité pour les pièces de fonderie produites par impression 3D au sable ?

07 octobre 2016, 02:00

Kurt Beghyn

Désormais l'impression 3D au sable fait partie des méthodes envisageables pour la production des pièces de fonderie. Mais à partir de quand la mise en oeuvre de cette technique devient-elle une option pertinente ? Il ressort clairement d'une étude réalisée mi-2015 par Sirris, dans le cadre du projet 'Foundry-of-the-Future', que cette technologie présente un avantage significatif, au double plan technique et économique, lorsqu'il s'agit de produire des pièces complexes. Et même pour les pièces plus simples, en nombre limité, l'avantage reste indéniable. Les conclusions d'une étude publiée début 2016 par des chercheurs américains vont dans le même sens. Les deux études sont mises en parallèle ci-après.

Les deux études ont été réalisées dans un même but : mettre à la disposition des fonderies et de leurs clients un outil servant d'aide à la décision, c'est-à-dire un instrument d'analyse permettant de voir quelles sont les conditions qui doivent être réunies pour que l'impression 3D au sable devienne une solution pertinente.

Contrairement à la méthode traditionnelle, la technique de l'impression 3D au sable consiste à réaliser la forme du moule couche après couche, selon le principe de la plupart des procédés de fabrication additive. Le sable prétraité est déposé par couches minces, typiquement 0,3 mm; le liant est ajouté ensuite de manière sélective, comme défini par le modèle CAO, et selon un procédé identique à celui de l'imprimante à jet d'encre. A la fin des années 1990, il s'agissait encore d'un système expérimental, mais entretemps, cette méthode de travail a évolué pour devenir une technologie qui progresse de manière exponentielle. Les plus grandes imprimantes permettent déjà maintenant l'impression de blocs de sable au format 4 x 2 x 1 m. Le principal avantage est la suppression du temps requis pour fabriquer le moule, il faut donc moins de temps également pour produire et commercialiser la pièce coulée, un avantage très appréciable.

A part la rapidité du procédé, quels sont les facteurs déterminants pris en compte pendant le processus de décision ? Sans surprise, quelques facteurs sont très importants, en particulier les dimensions et la complexité de la pièce coulée, ainsi que le nombre des pièces demandées. Ces facteurs ont été analysés dans l'une et l'autre étude, et même si les accents ne sont pas exactement les mêmes, les conclusions vont dans le même sens.

Dimensions de la pièce moulée

En raison de l'épaisseur de couche qui peut être liée par passage, la technique de l'impression 3D est un procédé qui demande du temps, avec les coûts qui en résultent. A l'heure actuelle, les imprimantes les plus rapides peuvent imprimer 400 L/h, ce qui correspond à quelque 600 kg/h. A

titre de comparaison : les plus petits mélangeurs pour sable de fonderie disponibles sur le marché peuvent débiter 3 tonnes/h, et si la plupart des modèles ont une capacité dépassant 10 tonnes/h, les plus grands ont une capacité de 100 tonnes/h. A cela s'ajoute que les coûts d'investissement pour un mélangeur à sable de fonderie ne représentent qu'une fraction du prix d'achat d'une imprimante 3D au sable.

Dans notre étude, nous avons mis en évidence sous forme de graphique les coûts en fonction du volume imprimé. Voici le profil de la courbe obtenue pour une pièce complexe.



L'étude américaine se base sur un coût 'fixe' par volume; les valeurs utilisées dans cette étude ont été intégrées également dans notre graphique. Toutefois, selon nous, la courbe dans notre graphique reflète davantage la réalité, parce que la production d'une pièce de petites dimensions exige plus de travail, en termes de manutention et d'organisation, par rapport à son volume.

Nombres demandés

Dans l'une et l'autre des deux études, l'incidence des nombres de pièces demandées est analysée. L'étude Sirris constate une "réduction sur gros volumes" lorsque les nombres de pièces imprimées augmentent. Ce qui s'explique par le fait que les opérations de manutention, dans le cas de commandes portant sur des gros volumes, reviennent finalement moins chères, dans la mesure où l'on divise les coûts par le nombre de pièces. D'autre part, les grands nombres pour une même pièce ont également une incidence, en termes d'ingénierie, d'efficience de l'imprimante, etc. Un exemple tiré de l'étude Sirris :



Notre graphique montre un aplatissement de la courbe à partir de dix pièces. L'étude américaine focalise sur des nombres un peu plus élevés. Cette étude ne contient aucune information sur l'incidence du nombre pour ce qui concerne l'impression 3D, alors que c'est pourtant un point faible, en tout état de cause pour les nombres très limités.

Pour la comparaison des coûts, les deux études tiennent compte toutefois des coûts de production relatifs au moulage conventionnel.

L'étude américaine simplifie dans une mesure importante la comparaison des coûts, en se basant sur des coûts d'impression 3D constants. Et pourtant, à la fois les coûts de la fabrication additive et les coûts de la méthode conventionnelle sont déterminés par le volume de la commande : il faut donc que l'on ait la possibilité d'en tenir compte si l'on veut pouvoir faire un bon choix en termes de rentabilité économique.

Complexité de la pièce

Il est évident que l’impression 3D au sable révèle toute sa supériorité lorsqu’il s’agit de produire des pièces complexes. La méthode de travail sur laquelle les deux études ont analysé cet effet n’est pas la même, néanmoins, dans l’ensemble, les résultats sont comparables.

Sirris a utilisé les quatre catégories sur lesquelles s’est basé également, entre autres, le fournisseur du système Voxeljet. L’avantage de cette approche est sa rapidité, avec toutefois l’inconvénient qu’elle permet une certaine 'interprétation'. On trouve une description sur le site web de Voxeljet. Le degré de difficulté fait l’objet d’une distinction entre les moules et les noyaux.





(Cliquez pour agrandir)

Il est recommandé d’examiner individuellement chaque moitié de moule et chaque noyau, de manière à refléter la situation aussi correctement que possible.

Les chercheurs **américains** se sont basés sur une étude réalisée en 2010, dans laquelle la complexité est déterminée par les données CAO des pièces de fonderie en question. Cela permet d’analyser un nombre beaucoup plus élevé de nuances, et d’en inférer un nombre reproductible. Pour réaliser leur étude comparative, les chercheurs américains ont décomposé totalement les pièces de fonderie, la géométrie a été complexifiée ensuite progressivement, noyau par noyau, pour calculer le facteur de complexité (CF : complexity factor). Mais pour l’utilisateur “final”, qu’il se rassure, ce n’est pas nécessaire : il peut inférer son facteur CF directement à partir du système de CAO. Néanmoins, des connaissances préalables en techniques conventionnelles de moulage sont quand même nécessaires, parce que l’un des paramètres est le nombre de noyaux.

La méthode utilisée par les chercheurs américains permet de quantifier les modifications de géométrie selon la valeur CF et également selon les coûts qui en résultent.

Les ratios inférés sur base de la géométrie sont désignés comme suit :

Part Volume Ratio	**C**pr
Area Ratio	**C**ar
Number of Cores	**C**nc
Cores volume ratio	**C**cr

Tickness Ratio **C**tr

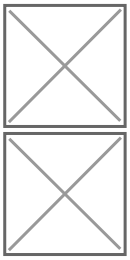
Depth ratio **C**dr

Les chercheurs américains ont répété cet exercice en l'appliquant à 40 pièces de fonderie pertinentes pour le secteur industriel. Via une analyse par régression, ils ont élaboré la formule suivante. Il convient de souligner qu'ici également ils ont utilisé le mot 'estimated', en raison du degré d'incertitude lié à toute analyse par régression :



Les principales incidences : nombre et volume des noyaux, rapports de surface de la pièce moulée.

Dans leur étude, pour déterminer le coût du modèle conventionnel correspondant, les chercheurs américains ont utilisé un web tool. De son côté, Sirris a pris contact avec les fabricants pour s'informer des prix. On peut considérer que la différence de résultat n'est pas très grande entre les deux méthodes. Voici les courbes pour l'une des pièces considérées par les chercheurs américain : la courbe CF–Toolkost (coût de l'outil) et la courbe CF–coûts de production.



A noter que la forme de ces courbes est très semblable à ce que l'on trouve dans la littérature concernant les coûts en relation avec la complexité.

Ce facteur de complexité est ensuite considéré – de même que dans l'étude Sirris – en relation avec le coût du moulage traditionnel, à l'inclusion du coulage de la pièce, et en relation avec le coût de la technique d'impression 3D au sable.

Dans les deux cas, on part du principe que le coût après le coulage reste le même pour les deux technologies (fusion, coulage, démoulage,…). Dans un souci d'objectivité, nous tenons à préciser que, surtout dans le cas de l'intégration de plusieurs noyaux dans un seul et même ensemble complexe, la technique de l'impression 3D au sable présente un avantage. Positionner les noyaux, supprimer les traits de partage, et réaliser des contrôles supplémentaires sont une conséquence inhérente à la méthode conventionnelle, que le procédé d'impression 3D au sable permet en partie d'éviter.

La méthode de travail appliquée chez Sirris est la suivante : dans une feuille Excel, on saisit les paramètres pour le coulage conventionnel (furane) et pour l'impression au sable. Pour les deux systèmes, un coût est généré, tenant compte des coûts du modèle et de l'amortissement, les coûts du moulage, coûts de l'impression 3D, etc. Pour obtenir des résultats aussi corrects que possible,

une expérience dans le domaine de la production de moulage au sable est, certes, souhaitable. Mais on peut également se baser sur les coûts de pièces de référence.



(Cliquez pour agrandir)

Cette méthode a déjà été testée par un nombre d'entreprises belges. Le degré de précision semble suffisamment élevé pour identifier de manière simple le 'fruit sur la branche à portée de main'. Ci-dessous un exemple de courbes en fonction de la complexité et des nombres provenant de l'étude Sirris.



Nos collègues américains ont également publié un certain nombre de graphiques. Le coût pour produire le moule et les noyaux ont également été mis en relation avec le facteur de complexité CF.



(Cliquez pour agrandir)

De toute évidence, le seuil de rentabilité, à partir duquel il est plus judicieux d'opter pour la technique de l'impression au sable (AM : fabrication additive) plutôt que pour la méthode conventionnelle (CM) est tributaire de de la complexité de la pièce, des dimensions de la pièce moulée et du nombre de pièces demandées. Le mode de présentation n'est pas le même dans l'étude Sirris et dans l'étude américaine, mais la conclusion va dans le même sens.

Autres thèmes dans les études

Les deux études ont également chiffré l'incidence des diminutions du prix de revient auxquelles on peut s'attendre. Alors que nous avons pris l'hypothèse d'une division par deux des prix de l'impression 3D sur 5 ans, l'étude américaine s'est basée sur un traditionnel 20 pour cent. Dans notre exemple, on peut imprimer plus de deux fois autant de pièces avant d'atteindre le seuil de rentabilité. Cela signifie que le nombre de fois que l'on peut justifier l'utilisation de l'impression 3D va être multiplié par deux.

L'étude Sirris va déjà plus loin que l'étude américaine en considérant qu'il est plus pertinent de se limiter à imprimer les pièces complexes – les noyaux, la plupart du temps – et d'utiliser la méthode conventionnelle pour le reste. Aux Etats-Unis, cet aspect figure encore parmi les points repris dans la liste 'to-do'.

L'avantage de rapidité inhérent à l'impression 3D (additive manufaturing AM) est un point qui a été considéré dans les deux études. Les résultats de l'étude Sirris sont présentés dans le graphique ci-dessous. Nous avons pris comme hypothèse de travail que chacun se met 'immédiatement' au travail (lors des phases impression, coulage…), sans tenir compte des temps d'attente. De leur

côté, nos collègues américains sont partis de l'hypothèse qu'il faut toujours attendre quelque peu avant de pouvoir passer à l'étape suivante (par exemple, nécessité d'acheter les matériaux, attente du feu vert du client, …). Par conséquent, notre résultat est sans doute trop optimiste; dans l'étude américaine, on trouve deux semaines supplémentaires, ce qui est parfaitement explicable.



Conclusions

Malgré que les paramètres ne sont pas les mêmes dans les deux études, notamment en raison de la différence de contexte économique, les conclusions sont semblables :

1. la méthode d'impression 3D au sable est toujours pertinente lorsqu'il s'agit de produire :
   - des pièces de très grande complexité
   - des petits nombres
2. s'agissant des facteurs complexité et nombres de pièces demandées, il existe une zone de transition dans laquelle les techniques conventionnelles constituent la solution optimale. Les outils élaborés par les deux équipes de chercheurs donnent un bon aperçu.
3. pour les grands nombres de pièces à produire, les méthodes conventionnelles sont toujours plus avantageuses en termes de coûts de production.

Sources

- Etude Sirris: '3D Zandprinting, studie in het kader van Foundry-of-the-future' (2015)
- Etude américaine : International Journal of Metalcasting Vol 10, Issue3, 201 pag 240-253 – Creative commons: s40962-016-0027-5
- http://www.voxeljet.com
- http://www.exone.com

Auteurs



Kurt Beghyn