Renishaw S.A.S.
15 rue Albert Einstein,
Champs sur Marne, 77447,
Marne la Vallée, Cedex 2
France

T +33 1 64 61 84 84
F +33 1 64 61 65 26
E france@renishaw.com

www.renishaw.fr

RENISHAW
apply innovation™

Fondamentaux de la Conception pour la fabrication additive (DfAM) - imprimer des pièces de manière efficace et efficiente



La fabrication additive (AM) nous donne une marge de liberté considérable pour créer des composants dotés de formes libres et de caractéristiques complexes, des conceptions qui seraient non pratiques - voire impossibles - à produire de manière conventionnelle.

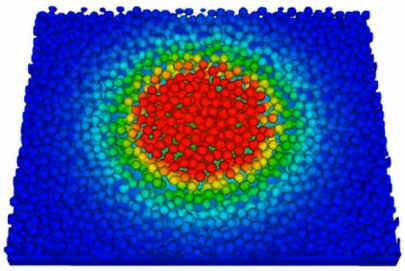
L'AM nous donnerait-elle une liberté sans limites pour concevoir tout ce que nous voulons ? Et bien, pas tout à fait.

Comme tout processus de fabrication, les diverses technologies AM ont des possibilités et des limites qui leur sont propres. Dans cet article, nous verrons certains des principaux facteurs de la conception pour la fabrication additive (DfAM) de pièces métalliques fondues par laser. Nous tiendrons compte de la taille des éléments, de la finition de surface, des éléments de porte-à-faux, de la minimisation des supports et de la déformation des composants, qu'il faut veiller à éviter.

Taille des éléments

Dans les processus d'usinage, la taille des éléments de détail que vous pouvez produire est limitée par le choix de l'outil de coupe. La taille de l'outil de coupe détermine la taille minimale des trous et des fentes dans la pièce.

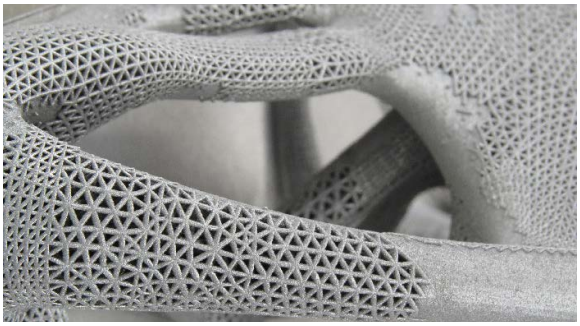
En AM, une règle similaire s'applique, à l'exception près que nous tendons à nous focaliser sur la taille des éléments pleins qui sont imprimés plutôt que sur les espaces vides, a taille de l'outil étant la taille du spot laser.



L'image ci-dessus montre comment l'énergie laser chauffe les grains de poudre sous le spot, et comment cette chaleur se diffuse dans la poudre voisine. Une énergie suffisante doit être transférée dans la matière pour faire fondre la poudre dans la zone centrale afin de créer une pièce totalement dense, mais en obtenant en conséquence un certain transfert de chaleur au-delà des limites du périmètre du spot laser. Cet effet chauffant se produit également plus en profondeur dans le lit de poudre.

Ce spot chauffe la poudre pour créer un bain de fusion qui refroidit en une structure solide après le retrait de l'énergie laser. La taille du spot ainsi que la puissance et la modulation du laser déterminent la taille du bain de fusion et donc la taille de la structure qui est fabriquée.

Et par conséquent, il est possible de produire des éléments d'une taille minimale généralement un peu plus grande que celle du spot. Le frittage au-delà des limites du spot laser dépend de la conductivité thermique de la poudre et de l'énergie qui est appliquée.

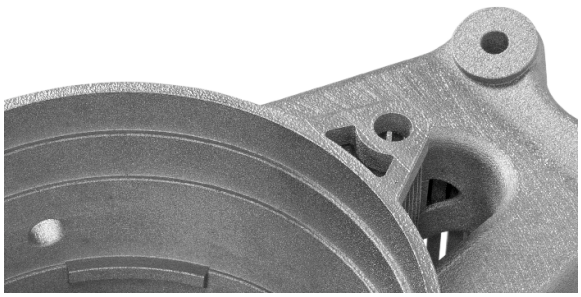


Pour des structures détaillées telles que des treillis, des entretoises d'à peine 140 microns peuvent être fabriquées avec un spot laser de 70 µm. Une épaisseur de paroi d'à peine 200 µm peut également être obtenue.

Finition de surface

La chaleur intense du faisceau laser focalisé fait fondre la poudre en un liquide qui refroidit ensuite en un solide dense. Au fur et à mesure de l'éloignement du centre du bain de fusion, la température chute, jusqu'à atteindre un point où les grains de poudre se ramollissent sans se liquéfier.

Certains de ces grains partiellement frittés seront piégés par le métal en fusion et se fixeront fermement à la surface du composant. D'autres plus éloignés de la source de chaleur ne se fixeront pas à leurs voisins en refroidissant. Ce soudage grain par grain, avec des grains qui adhèrent à la pièce et d'autres non, crée la surface texturée si caractéristique des pièces AM.



© 2017 Renishaw plc. Tous droits réservés.

Cet effet est quelque peu réduit par la refusion partielle qui peut se produire lors du traitement de la couche suivante, la chaleur pouvant parfois atteindre la couche située au-dessous. Cette fusion et ce refroidissement progressifs de couches créent les bandes familières en surface des composants, là où les couches se rejoignent.

La finition de surface qui est obtenue dépend donc en grande partie de la puissance et de la modulation du laser, de la granulométrie type des poudres et de l'épaisseur des couches. Des couches plus fines tendent à améliorer la finition de surface, mais les temps de fabrication sont en contrepartie plus longs. Dans un processus de fusion laser, la finition de surface (Ra) qui peut être produite sur la machine (sans aucun post-traitement postérieur) avec des compositions type de poudre, est généralement de l'ordre de 5 à 10 µm.

Porte-à-faux

Dans les processus sur lit de poudre, où les formes sont fabriquées couche par couche, la relation entre les couches est importante. Chaque fois qu'une couche est fondue, elle s'appuie sur la couche de dessous qui sert de support physique et de voie d'évacuation de la chaleur.

Quand le laser fait fondre la poudre dans une région où la couche de dessous est un métal solide, la chaleur circule du bain de fusion vers la structure située au-dessous, en la faisant refondre partiellement et en créant une soudure résistante. Après le retrait de la source laser, l'évacuation efficace de la chaleur permet aussi une solidification plus rapide du bain de fusion.

Quand des éléments de composant sont en porte-à-faux par rapport à ceux de dessous, au moins une partie de la zone sous le bain de fusion consiste en une poudre non fondue. La poudre est moins dense que le métal solide, si bien que les couches fines non supportées de métal récemment fondu peuvent s'affaisser. De plus, comme la poudre non fondue est également beaucoup moins conductrice thermique que le métal solide, la chaleur du bain de fusion est conservée plus longtemps, d'où un frittage accru de la poudre tout autour. De cette façon, les porte-à-faux sont plus enclins à présenter une finition de surface rugueuse.

Dans l'exemple ci-dessus, des couches de métal sont accumulées pour créer un canal interne profilé. Les couches vertes seront fabriquées de manière satisfaisante, les couches jaunes seront fabriquées mais auront une mauvaise finition de surface et les couches rouges se déformeront. Au fur et à mesure que le bord gauche incurvé du canal est déplacé vers le haut et que l'angle de porte-à-faux augmente, les couches sont de moins en moins supportées, jusqu'à atteindre une position de porte-à-faux horizontal où les couches s'affaissent et peuvent faillir.

En règle générale, il faut éviter les angles de porte-à-faux supérieurs à 45 degrés par rapport à la verticale, et privilégier des angles de 30 degrés. Les angles de porte-à-faux supérieurs nécessitent des supports.

Trous latéraux

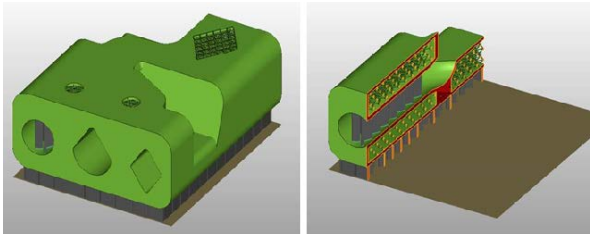
Les trous formés dans les faces latérales de composants AM créent des porte-à-faux. L'échelle de déformation dans des trous circulaires dépend principalement de leur diamètre et varie également selon les matériaux utilisés.
À titre d'indication, les cercles d'un diamètre inférieur à 10 mm peuvent être auto-portants sans provoquer de déformation visuellement perceptible.

Minimisation des supports

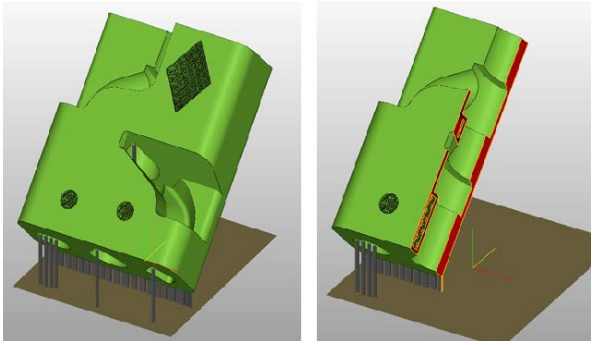
Les supports sont une réponse au problème des porte-à-faux. Mais ils génèrent beaucoup de déchets et doivent être retirés une fois la fabrication terminée : ils garantissent la réussite du processus AM mais augmentent la complexité et les coûts en aval de la chaîne de production.

Dans le cadre du processus DfAM, il est donc essentiel d'évaluer le mode de fabrication de la pièce avec le minimum de supports. Il convient pour cela d'éliminer les porte-à-faux en inclinant la pièce et en modifiant la conception des éléments en porte-à-faux, comme les trous, les fentes et les canaux.

Nous concevons habituellement des trous ronds car ce sont les plus faciles à produire par soustraction. Quand la sphéricité est cruciale, il est préférable d'orienter un trou de sorte que son axe soit vertical, sans porte-à-faux. Si le trou doit être sur le côté de la pièce, il faut alors déterminer s'il doit être rond ou s'il peut être modifié pour faciliter sa fabrication, par exemple en forme de goutte ou de losange. Dans l'exemple ci-dessous, le trou latéral rond exige des supports internes, alors que les trous en forme de goutte ou de losange n'en ont pas besoin.

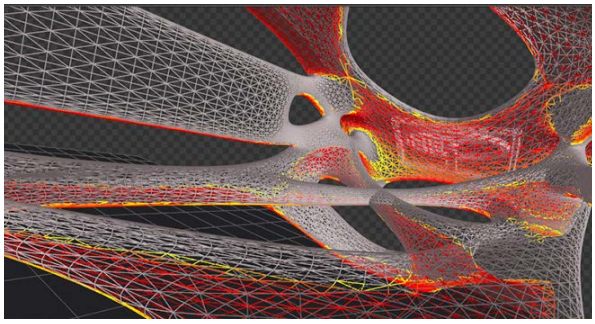


L'orientation est un autre moyen d'éviter les supports, mais parfois au détriment de couches supplémentaires et du temps de fabrication. Sur la figure ci-dessous, le composant a été incliné de sorte que l'intérieur du trou cylindrique n'ait besoin d'aucun support, sauf dans les régions où il débouche à l'extrémité de la pièce.



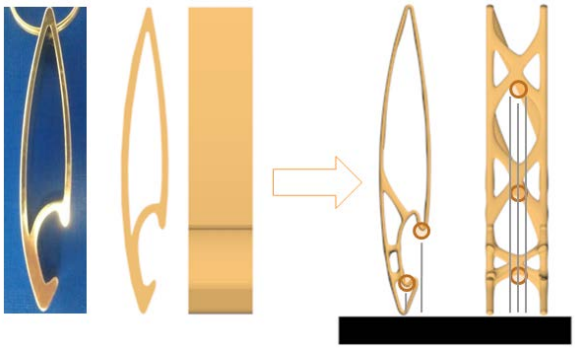
© 2017 Renishaw plc. Tous droits réservés.

Cette optimisation de la conception du composant et de l'orientation de fabrication peut être délicate, car l'élimination de supports dans une région de la pièce par réorientation peut provoquer l'ajout nécessaire d'autres supports ailleurs. Le nouveau logiciel de préparation de fichiers de fabrication QuantAM de Renishaw permet une visualisation instantanée des régions de la pièce qui ne sont pas supportées, et facilite le déploiement de supports.

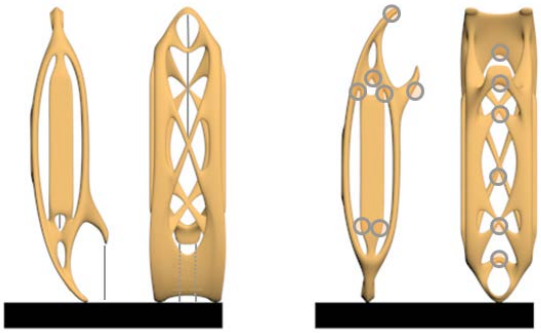


Étude de cas - élimination de supports

Voyons un exemple de gestion des porte-à-faux. Nous avons initialement conçu l'ouvre-bouteille AM de Renishaw en lui conférant un design élégant, que l'on peut apprécier sur la figure ci-dessous à gauche. Dans l'AM, nous avons d'abord tenté d'optimiser cette pièce en l'allégeant, en créant une structure plus complexe illustrée ci-dessous à droite. Cela s'est traduit par plusieurs porte-à-faux (entourés en orange), exigeant un apport de matière de support supplémentaire (en gris).



Nous avons alors essayé d'utiliser d'autres structures pour minimiser les supports nécessaires (ci-dessous à gauche). Mais en retournant la pièce (ci-dessous à droite), nous avons pu concevoir une fabrication avec des porte-à-faux autoportants (entourés en gris), avec juste un minuscule support pour relier l'ouvre-bouteille au plateau de fabrication.





Et voilà le résultat sur le plateau de fabrication. Hourra !

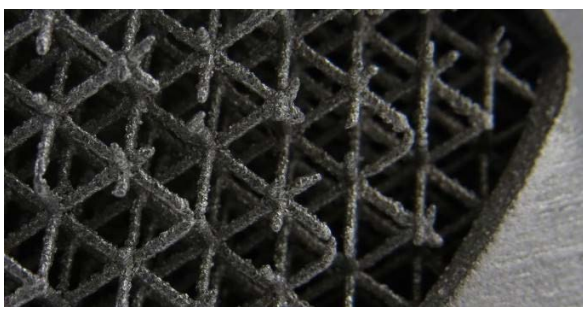
Contrainte résiduelle et déformation

L'AM est essentiellement un processus de soudage, bien que le diamètre du spot du faisceau soit plus petit qu'une soudure classique et donc que la densité énergétique soit élevée. Cela peut engendrer des contraintes dans les sections transversales de grandes dimensions ou dans des pièces ayant des sections transversales variables. Ces contraintes essaient de percer le bord de la pièce, comme illustré ci-dessus.

Elles peuvent par ailleurs provoquer un gauchissement et, dans des cas extrêmes, le retrait de la pièce de son support, voire sa rupture. Pour fabriquer des sections épaisses, il convient de choisir un plateau de fabrication plus épais pour que celui-ci puisse résister à ces forces de flexion.

En général, il vaut mieux éviter les sections très épaisses dans les pièces AM, en particulier avec des matériaux comme le titane, où les températures de fusion et les contraintes résiduelles peuvent être élevées. Si possible, les sections doivent être minces et uniformes, de sorte que des contraintes dans une partie de la pièce ne déforment pas le reste. Lorsqu'il est indispensable d'utiliser des blocs de matériau, l'utilisation d'un treillis de remplissage doit être envisagée pour réduire les contraintes, le poids, le coût matériel et le temps de fabrication.

Les treillis peuvent aussi être utilisés pour renforcer les structures à parois fines qui pourraient, sans ces renforts, se gauchir en raison des contraintes induites par le refroidissement.



© 2017 Renishaw plc. Tous droits réservés.

Résumé

L'AM nous donne une marge de liberté considérable pour concevoir des pièces différemment, sans forcément connaître toutes les caractéristiques et les limitations du processus, dans le but de réussir la fabrication des pièces que nous créons.

Les règles DfAM décrites ci-dessus ne sont pas trop onéreuses à mettre en pratique et nous incitent à envisager des méthodes qui nous permettent d'obtenir des pièces plus légères, plus rapides à fabriquer et plus rentables.

Les logiciels de conception moderne et de préparation de la fabrication aident énormément à trouver une stratégie de conception, d'orientation et d'assistance optimale afin que nous puissions produire de façon économique des pièces adéquates.



À propos de l'auteur

Marc Saunders, Directeur des Applications AM

Marc Saunders affiche une expérience de plus de 25 ans dans la fabrication high tech. Lors de ses postes précédents chez Renishaw, il a joué un rôle clé dans le développement de la plate-forme primée d'usinage automatisé RAMTIC de l'entreprise et a apporté des solutions de métrologie clé en main aux clients dans le secteur de l'aérospatiale.

Marc gère le réseau mondial Renishaw de Centres de solutions de fabrication additive, permettant aux clients qui envisagent de déployer la fabrication additive comme processus de production d'acquérir une expérience pratique avec la technologie avant de s'engager dans une nouvelle installation.

www.renishaw.fr/additive

© 2017 Renishaw plc. Tous droits réservés.