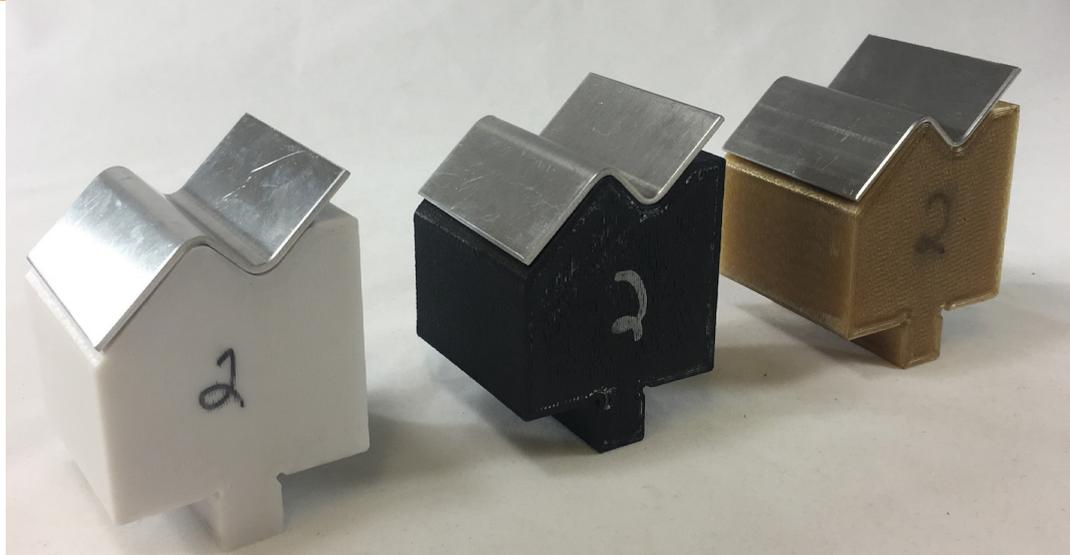


La fabrication additive au service des outils personnalisés de formage des métaux



La fabrication additive au service des outils personnalisés de formage des métaux

Ce document technique présente les résultats d'une étude de cas sur l'utilisation de la fabrication additive FDM® dans la création d'outillages personnalisés pour le formage des tôles. La conception et les techniques de traitement sont spécifiques à ce cas d'utilisation, mais peuvent être employées dans la plupart des applications d'outillage de formage des métaux.

Section 1 - Présentation de l'application

L'outillage traditionnel utilisé dans les presses plieuses est usiné à partir d'aciers à outil courants du type A2, D2 ou 4140. Cet outillage peut être acheté dans le commerce auprès de plusieurs fabricants (Wilson, Wila, Mate) fournissant des géométries standard. Toutefois, lorsqu'un outil personnalisé est nécessaire, le coût et les délais augmentent considérablement. Souvent, pendant la phase de conception, des modifications doivent être effectuées après la mise en œuvre des tests d'ajustement et de fonctionnement. Et ces modifications augmentent plus encore les coûts et les délais d'obtention de l'outil personnalisé.

Une façon de minimiser les coûts de l'outillage pendant cette phase de développement consiste à utiliser la fabrication additive pour produire des outils à géométrie personnalisée. La fabrication additive permet d'imprimer plusieurs itérations de géométries personnalisées, complexes, sans l'inconvénient des coûts ou des délais associés aux modifications d'un outil métallique. La technologie FDM de Stratasys permet d'imprimer des thermoplastiques à haute résistance capables de supporter la pression de formage de métaux à parois fines. Les outils réalisés par fabrication additive peuvent être utilisés pour produire des séries de 500 à 1 000 pièces, selon le matériau et la géométrie des pièces, ainsi que le propre matériau de l'outil. Pour des séries de plus de 1 000 pièces, il est recommandé d'utiliser un outillage métallique standard.

La fabrication additive au service des outils personnalisés de formage des métaux

Section 2 – Pliages à géométrie personnalisée ou standard

Les outils personnalisés sont généralement utilisés pour des géométries complexes qu'il est impossible d'obtenir avec les outillages traditionnels de presses plieuses en V tels que ceux montrés à l'illustration 2-1. Parmi ces géométries se trouvent les évasements, les plis en Z et les rainures, dont la fonction principale est de renforcer la rigidité et la résistance d'une pièce sans ajouter de matériau supplémentaire.

2.1 Plis en Z

Un pli en Z tel que celui montré à l'illustration 2-2 est un type de processus de pliage couramment utilisé dans la fabrication de tôles dans lequel il est possible de former deux plis opposés plus près l'un de l'autre que ce que permettrait un outillage de presse plieuse standard en V.

Les plis en Z sont principalement utilisés pour améliorer la rigidité d'une pièce ou créer un décalage formant un joint de recouvrement destiné à accoupler deux pièces. Les plis en Z offrent deux avantages principaux. Tout d'abord, ils sont plus précis (le décalage, à savoir la distance entre les plis, et l'angle sont davantage définis par la géométrie de l'outil que par la butée arrière et le vérin de la presse plieuse). D'autre part, ils diminuent les coûts en réduisant la durée du cycle. Plutôt que d'effectuer le formage de deux pliages séparés, ceux-ci sont réalisés simultanément en un seul cycle du vérin.

Il est recommandé de concevoir des outils de pliage en Z dont le rayon est le double de l'épaisseur du matériau de la pièce à former. Des rayons plus petits sont possibles, mais l'outil se détériorera plus rapidement en raison d'une réduction de la surface subissant des conditions de charges élevées.

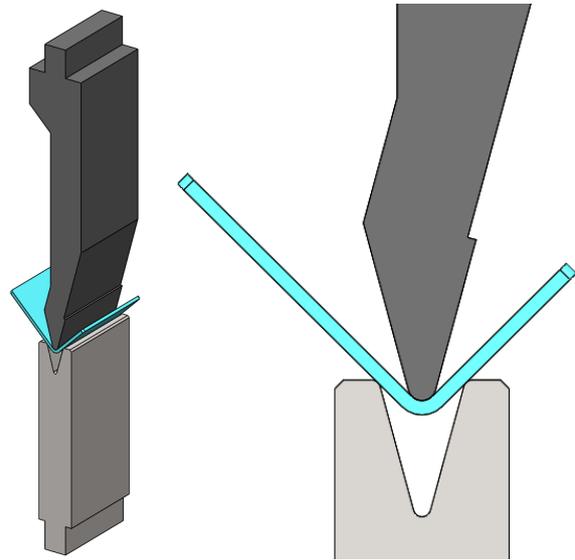


Illustration 2-1 : Outillage standard de presse plieuse en V.

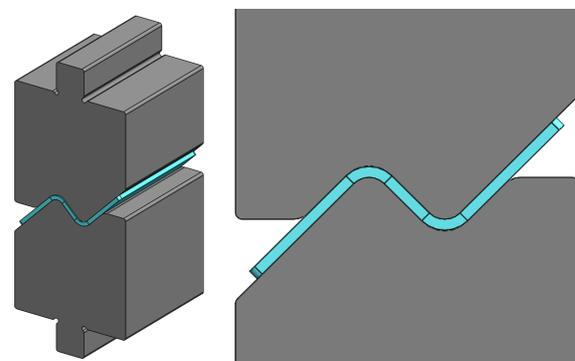


Illustration 2-2 : Outillage de pliage en Z.

La fabrication additive au service des outils personnalisés de formage des métaux

2.2 Nervures

Les nervures, tout comme les plis en Z, sont utilisées pour renforcer les pièces de tôle. Les formes les plus courantes sont le V, le chapeau et l'arrondi (voir l'illustration 2-3). Ces profils uniques ne peuvent pas être obtenus à partir d'un outillage traditionnel de presse plieuse en V.

2.3 Embrèvements/Évasements

Dans les secteurs de l'aérospatiale et de l'automobile, les pièces en tôle contiennent souvent des parties où du matériau a été éliminé pour en réduire le poids. À ces endroits, des outils de formage correspondant à la forme évidée sont utilisés pour ajouter un embrèvement ou évasement destiné à maintenir la rigidité de l'ensemble. Ces outils peuvent être achetés auprès de fabricants externes, mais ils sont alors limités à des géométries et des dimensions standard, et peuvent être très coûteux. À titre de comparaison, l'outil d'évasement circulaire de 2,5 pouces montré à l'illustration 2-4 peut être imprimé en polycarbonate en seulement 3 heures et quart, pour un coût en matériau d'environ 51 €. L'achat d'un outil du commerce auprès d'un fournisseur externe aurait coûté 115 €. Grâce à la fabrication additive, il est possible de réaliser rapidement et rentablement des outils de formage à géométrie standard, mais aussi des profils personnalisés tels que des évasements triangulaires ou rectangulaires comme ceux des illustrations 2-4 et 2-5.

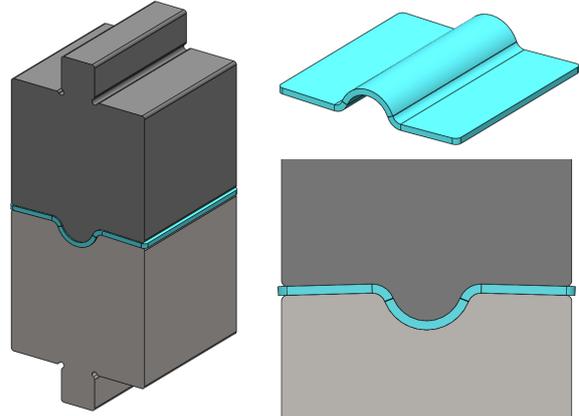


Illustration 2-3 : Nervure de renfort arrondie.



Illustration 2-4 : Outil d'évasement personnalisé imprimé en polycarbonate.



Illustration 2-5 : Exemples de pièces réalisées à l'aide de l'outil d'évasement montré à la illustration 2-4.

La fabrication additive au service des outils personnalisés de formage des métaux

Section 3 – Recommandations en matière de matériaux et techniques de traitement

3.1 Matériaux

La technologie FDM permet d'imprimer un large éventail de thermoplastiques aux propriétés mécaniques les plus variées. Pour les outils de formage FDM, une importante propriété à prendre en considération dans le choix d'un matériau est la résistance maximale à la compression. L'orientation d'impression est de toute première importance, car elle détermine la résistance à la compression du matériau. N'importe quel matériau FDM peut être utilisé pour les applications de formage de métal, mais Stratasys recommande le FDM Nylon 12CF, le polycarbonate (PC), la résine ULTEM™ 1010 ou la résine ULTEM™ 9085, qui offrent une haute résistance à la compression.

3.2 Traitement

Les matrices de décalage ont été traitées par un remplissage solide et quatre contours destinés à renforcer la rigidité. L'angle de trame et le contour sont parallèles à certaines pièces de la trajectoire extérieure de l'outil, ce qui crée un espace vide, car la trajectoire de l'outil de trame ne correspond pas parfaitement au bord du contour. Pour corriger cela, l'angle de trame a été modifié à 70° (voir Illustration 3-1). Avec certaines géométries d'outil, l'angle et la largeur de trame peuvent avoir besoin d'un ajustement pour éliminer les espaces vides au niveau de l'outil.

Tableau 3-1 : Résistance à la compression des matériaux FDM suivant les orientations XZ et ZX.

Matériau	Résistance à la compression (PSI)	
	XZ	ZX
PC	10.000	9.200
Résine ULTEM™ 1010	19.500	15.100
Résine ULTEM™ 9085	26.200	13.100
FDM® Nylon 12CF	9.670	13.310

XZ = X or "on edge"

XY = Y or "flat"

ZX = or "upright"

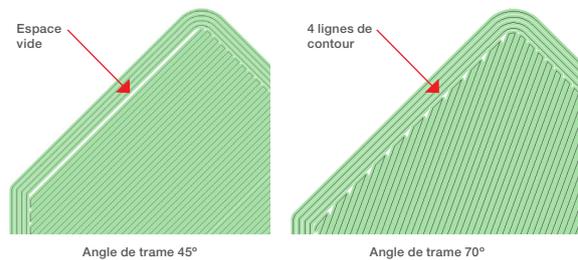
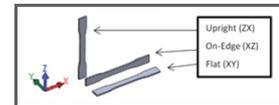


Illustration 3-1 : Espace vide entre trame et contour.

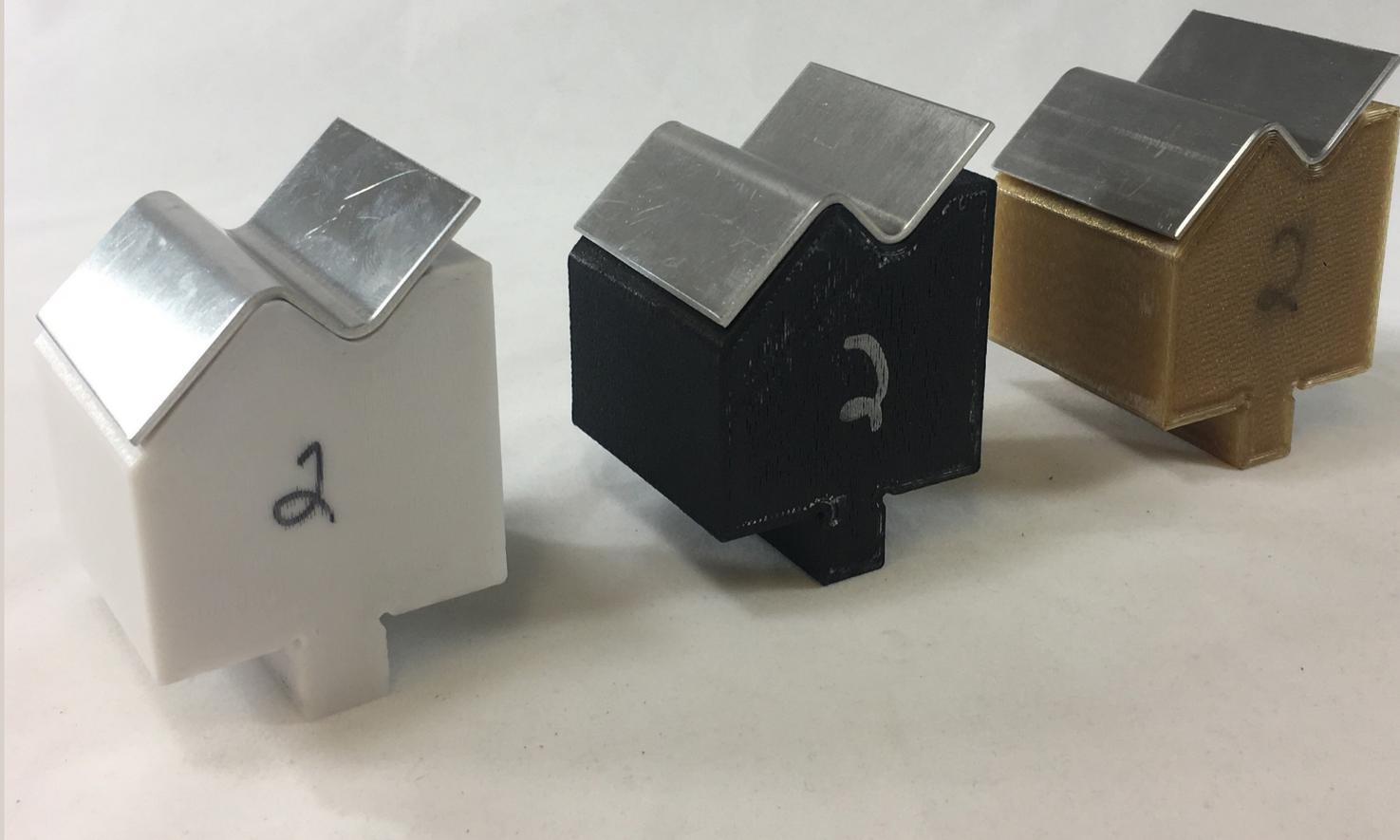


Illustration 4-1 : Outils de pliage en Z en PC, Nylon 12CF et résine ULTEM™ 1010.

Section 4 – Résultats des essais

4.1 Outillage de pliage en Z - Aluminium

Les outils de pliage en Z montrés à l'illustration 2-2 ont été imprimés en résine ULTEM™ 1010, en Nylon12 CF et en PC à des fins de test. Sur une presse plieuse Accurpress de 60 tonnes, chaque outil a été soumis à un cycle de 100 pliages de tôles d'aluminium 5052 d'épaisseur 16 (1,62 mm [0,064 po]) à une pression de formage de 6 tonnes. La distance et l'angle de décalage des pièces 1, 50 et 100 ont été mesurés à l'aide d'un microscope Keyence VHX 6000. L'angle et le décalage étaient constants sur les différents échantillons, avec une très faible variation sur l'ensemble des trois matériaux. L'illustration 4-2 représente la 100e pièce formée à partir d'un outil en FDM Nylon 12CF, et le Tableau 4-1 montre à quel point les dimensions souhaitées étaient proches de leur valeur nominale. Les tolérances habituelles sur les tôles sont de $\pm 1^\circ$ pour les dimensions angulaires et ± 1 mm (0,039 po) pour les dimensions linéaires. Les pièces formées à partir d'un outillage FDM respectent parfaitement ces tolérances, ce qui prouve la viabilité de cette application.

Tableau 4-1 : Dimensions des pièces.

	Valeur nominale	Valeur réelle	Différence
Angle 1	90°	89,88°	-0,12°
Angle 2	90°	89,57°	-0,43°
Décalage	15,88 mm (0,625 po)	15,88 mm (0,625 po)	-0,3 mm (-0,012 po)

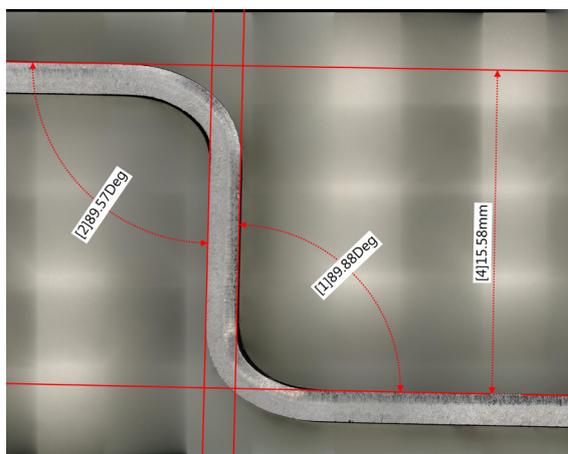


Illustration 4-2 : Dimensions de la centième pièce formée.

La fabrication additive au service des outils personnalisés de formage des métaux

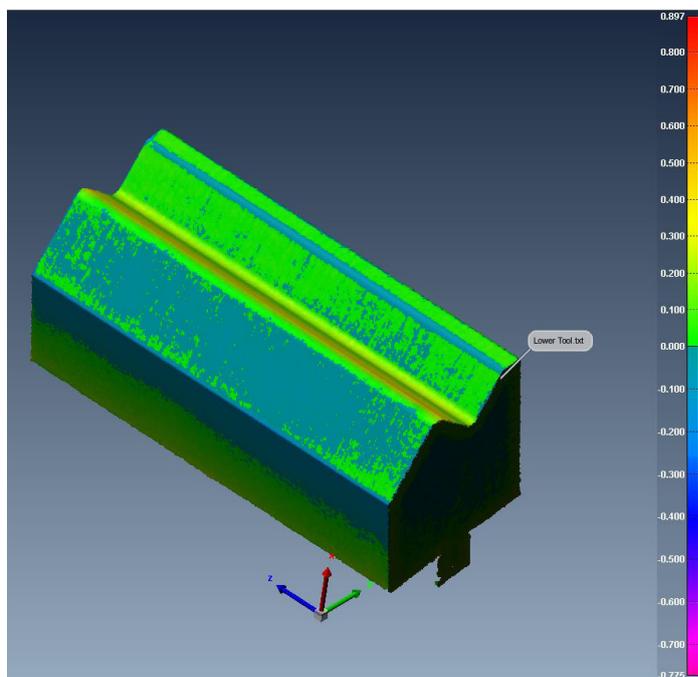


Illustration 4-3 : scan 3D de l'outil imprimé.



Illustration 4-4 : Outil imprimé sur la presse plieuse.

4.2 Outillage de pliage en Z - Acier

Une seconde expérimentation a été menée sur une géométrie de décalage similaire avec un outil en FDM Nylon 12CF, mais pour un acier laminé à froid d'épaisseur 16 (1,52 mm [0,60 po]). L'outil a été soumis à un cycle de 250 pliages à une pression de formage de 90 kN (9 tonnes) et des mesures ont été effectuées toutes les 50 pièces à l'aide d'une CMM (coordinate measuring machine). Une fois de plus, l'outil n'a montré aucune usure significative. Le seul paramètre principal qui a montré une modification dimensionnelle était le rayon de l'outil. Au début du test, celui-ci était de 3,2 mm (0,126 po), mais il s'est légèrement aplati jusqu'à 3,6 mm (0,142 po), soit une diminution de 12 %. Il continuait cependant à former des pièces aux dimensions précises. Un scan 3D de l'outil réalisé après 250 cycles, comparé aux données nominales de CAO, confirmait la différence de dimension de 0,4 mm (0,016 po) qui avait été observée par la CMM.

Tableau 4-2 : Dimensions des pièces.

	Valeur nominale	Valeur réelle (250 cycles)	Différence
Angle 1	104,84°	105°	0,16°
Angle 2	104,84°	105,5°	0,66°
Décalage	19,05 mm (0,75 po)	18,59 mm (0,732 po)	0,46 mm (0,018 po)

Section 5 – Considérations

5.1 Valeurs de tonnage

Les outils suivants ont subi des pressions de formage maximales comprises entre 50 et 100 kN (5 - 10 tonnes) sans aucun problème dû à l'effet de la charge. Il convient de souligner que la valeur maximale d'un outil de presse plieuse dépend de sa longueur et de la surface de formage. En reprenant les deux exemples précédents, la valeur par unité de longueur de ces outils était de l'ordre de 0,8 – 1,2 kN/mm (2 - 3 tonnes/pouce) pour des conditions de charge maximale. Cette règle générale peut être utilisée pour des outils de type similaire imprimés en PC, en FDM Nylon 12CF ou en résine ULTEM™ 1010.

5.2 Épaisseur maximale des matériaux et cycles

L'aluminium et l'acier ont été les seuls matériaux testés dans cette étude de cas. Il est possible de former de nombreux autres types de métaux à partir d'outillages réalisés par fabrication additive. Le tableau suivant est une simple indication des épaisseurs maximales susceptibles d'être formées de façon satisfaisante en grandes quantités. Il est possible de repousser ces limites avec de plus grandes épaisseurs, mais cela dépend du type de matériau formé et de la géométrie de l'outil.

Le nombre maximal de cycles que les outils sont capables de supporter dépend du matériau formé et de la géométrie de l'outil. Les exemples ci-dessus allaient de 100 à 250 cycles, ce qui est une bonne référence de base. Des cycles de 500 pliages peuvent être atteints. Dans des circonstances spécifiques, la durée de vie d'un outil peut atteindre de l'ordre de 750 cycles. Au-delà, il est recommandé d'utiliser un outillage métallique.

5.3 Redressement

Le redressement doit être traité de la même façon que pour le formage de tôles à partir d'outils métalliques. Les outils doivent être conçus de telle sorte que les pièces soient pliées en excès par l'outil imprimé, puis redressées jusqu'à obtenir la valeur angulaire souhaitée. Cela dépend du type de matériau et de l'angle de pliage, mais un certain nombre de recommandations générales sont reportées au Tableau 5-1.

Tableau 5-1 : Épaisseur maximale du matériau.

Matériau	Intervalle d'épaisseur
Acier	Jusqu'à env. 2 mm (0,090 po)
Acier inoxydable	Jusqu'à env. 2 mm (0,090 po)
Aluminium	Jusqu'à env. 3 mm (0,125 po)

Tableau 5-2 : valeurs de redressement.

Matériau	Redressement (degrés)
Acier inoxydable 304	2 - 3
Aluminium doux	1,5 - 2
Acier laminé à froid	0,75 - 1
Acier laminé à chaud	0,5 - 1
Cuivre et laiton	0 - 0,5

Conclusion

Les outillages de formage de métaux réalisés par fabrication additive constituent une option viable pour former des géométries uniques et personnalisées sur des cycles de 100 à 500 pliages. L'outillage FDM est parfaitement adapté aux outils de pliage en Z et d'évasement pour des épaisseurs de tôles plus fines. Il permet des gains de temps et des réductions de coût significatives par rapport aux outillages de formage de métaux achetés dans le commerce.

Sièges de Stratasys

7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344 États-Unis
+1 952 937 3000 (international)
+1 952 937 0070 (Fax)

1 Holtzman St., Science Park, PO Box 2496
Rehovot 76124, Israël
+972 74 745 4000
+972 74 745 5000 (Fax)

stratasys.com
Certification ISO 9001:2015

Stratasys GmbH
Airport Boulevard B120
77836 Rheinfelden, Allemagne
+49 7229 7772-0
+49 7229 7772-990 (Fax)

