

Avec les Nuls, tout devient facile !™

Édition internationale de Proto Labs®

Fabrication numérique

POUR

LES NULS®

Apprenez :

- Comment fabriquer de meilleures pièces grâce à un prototypage efficace
- Comment concevoir des modèles pour l'impression 3D, l'usinage CNC et le moulage par injection
- Comment améliorer la moulabilité des pièces

Proposé par

proto labs®

Brian Underdahl



À propos de Proto Labs

Proto Labs est le fabricant le plus rapide au monde de prototypes et de petites et moyennes séries personnalisées. Son logiciel propriétaire et ses procédés de fabrication automatisés lui permettent de fabriquer rapidement des pièces grâce au moulage par injection, à l'usinage CNC, et à d'autres procédés de fabrication additive, dans une gamme de matières plastiques, de métaux et de caoutchoucs silicones liquides. De nombreux procédés de fabrication avancée sont disponibles au sein des trois services de la société. Chaque procédé remplit un objectif distinct, du modèle conceptuel aux validation de forme, tests de montage et de fonctionnement pour une production de petits volumes qui comble le fossé avec la fabrication grande série.

En seulement quelques heures, les développeurs peuvent télécharger en ligne leur modèle CAO 3D et recevoir un devis interactif accompagné d'une analyse de conception gratuite et des tarifs en temps réel. L'étude de faisabilité permet aux clients d'éliminer les problèmes, comme les retassures ou les contre-dépouilles internes, pendant le prototypage. Ainsi, les modifications peuvent être apportées très tôt. Grâce à ce procédé itératif, les concepteurs et les ingénieurs évitent de freiner le développement afin de pouvoir commercialiser leurs produits le plus rapidement possible.

www.protolabs.fr

***Fabrication
numérique***

POUR

LES NULS[®]

Édition Internationale de Proto Labs[®]

par Brian Underdahl

WILEY

La fabrication numérique pour les Nuls®, édition internationale de Proto Labs

Édité par

John Wiley & Sons, Inc.

111 River St.

Hoboken, NJ 07030-5774

www.wiley.com

Copyright © 2015 de John Wiley & Sons, Inc.

Aucune partie de cet ouvrage ne peut être reproduite, conservée dans un système d'extraction, ni transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, par voie électronique ou mécanique, photocopie, enregistrement, numérisation ou autre, sans l'accord écrit préalable de l'éditeur, sauf si les articles 107 et 108 de la loi des États-Unis de 1976 relative au droit d'auteur l'autorisent. Les demandes d'autorisation auprès de l'éditeur doivent être adressées à Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, (201) 7486011, fax (201) 7486008, ou en ligne à l'adresse <http://www.wiley.com/go/permissions>.

Marques de commerce : Wiley, For Dummies, Pour les Nuls, le logo de l'Homme Nul, The Dummies Way, Dummies.com, Making Everything Easier et les habillages commerciaux associés sont des marques de commerce ou des marques déposées de John Wiley & Sons, Inc. et/ou de ses sociétés affiliées aux États-Unis et dans d'autres pays et ne peuvent pas être utilisés sans autorisation écrite. Proto Labs est une marque déposée de Proto Labs, Inc., qui ne peut être utilisée sans l'autorisation de Proto Labs, Inc. Toutes les autres marques de commerce appartiennent à leurs propriétaires respectifs. John Wiley & Sons, Inc. n'est associé à aucun produit ou distributeur mentionné dans cet ouvrage.

LIMITE DE RESPONSABILITÉ / CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ : L'ÉDITEUR ET L'AUTEUR NE FONT AUCUNE DÉCLARATION NI N'ACCORDENT AUCUNE GARANTIE QUANT À L'EXACTITUDE OU À L'EXHAUSTIVITÉ DU CONTENU DE L'OUVRAGE PRÉSENT ; EN PARTICULIER, ILS REJETTENT SPÉCIFIQUEMENT TOUTES LES GARANTIES, Y COMPRIS SANS AUCUNE LIMITE, LES GARANTIES D'ADÉQUATION À UN USAGE PARTICULIER. AUCUNE GARANTIE NE PEUT ÊTRE CRÉÉE OU PROROGÉE PAR DES DOCUMENTS DE VENTE OU DE PROMOTION. LES CONSEILS ET STRATÉGIES CONTENUS DANS LE PRÉSENT LIVRE PEUVENT NE PAS ÊTRE ADAPTÉS À TOUTES LES SITUATIONS. LE PRÉSENT OUVRAGE EST VENDU ÉTANT ENTENDU QUE L'ÉDITEUR N'OFFRE PAS DE SERVICES JURIDIQUES, COMPTABLES OU AUTRES SERVICES PROFESSIONNELS. LES LECTEURS QUI VEULENT OBTENIR UNE ASSISTANCE PROFESSIONNELLE DOIVENT S'ADRESSER À UN PROFESSIONNEL COMPÉTENT. NI L'ÉDITEUR, NI L'AUTEUR NE SERONT TENUS RESPONSABLES DES DOMMAGES DÉCOULANT DU CONTENU DU PRÉSENT OUVRAGE. LA MENTION D'UNE ORGANISATION OU D'UN SITE INTERNET DANS LE PRÉSENT OUVRAGE, EN CITATION ET/OU COMME SOURCE POTENTIELLE DE RENSEIGNEMENTS SUPPLÉMENTAIRES, NE SIGNIFIE PAS QUE L'AUTEUR OU L'ÉDITEUR ENTÉRINE LES RENSEIGNEMENTS OU LES RECOMMANDATIONS QUE PEUT FOURNIR L'ORGANISATION OU LE SITE INTERNET. EN OUTRE, LES LECTEURS DOIVENT SAVOIR QUE LES SITES INTERNET MENTIONNÉS DANS LE PRÉSENT OUVRAGE PEUVENT AVOIR CHANGÉ OU DISPARU ENTRE LA DATE DE RÉDACTION DU LIVRE ET LE MOMENT OÙ IL EST LU.

Pour obtenir des informations générales sur les autres produits et services, ou sur la publication d'un livre Pour les Nuls adapté à votre entreprise ou organisation, veuillez contacter notre service de développement commercial aux États-Unis par téléphone 8774094177, par e-mail info@dummies.biz, ou par le biais du site www.wiley.com/go/custompub. Pour obtenir des informations sur la licence de la marque Pour les Nuls, veuillez contacter BrandedRights&Licenses@Wiley.com.

ISBN: 978-1-119-11668-4 (pbk), 978-1-119-16814-0 (pbk)

Imprimé aux États-Unis d'Amérique

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Remerciements de l'éditeur

Cet ouvrage a été réalisé avec la participation de certaines personnes dont les suivantes :

Rédacteur projet : Carrie A. Johnson

Rédacteur chargé des acquisitions :

Katie Mohr

Rédacteur en chef : Rev Mengle

Représentant du développement commercial : Kimberley Schumacker

Éditeur de la production :

Suresh Srinivasan

Table des matières

.....

Introduction	1
À propos de cet ouvrage	1
Hypothèses de départ.....	1
Icônes employées dans cet ouvrage.....	2
Chapitre 1 : Comprendre l'importance de la fabrication numérique	3
Premières étapes du cycle de vie d'un produit	4
Utilisation d'un développement itératif et changement d'orientation	6
Changement de procédés	6
Commercialisation rapide.....	7
Du prototype à la production.....	8
Après le lancement sur le marché.....	8
Chapitre 2 : Comparaison des méthodes additive et soustractive	11
Différences fondamentales.....	11
Avantages et inconvénients de chaque méthode.....	13
Utilisation de ces méthodes en complément l'une de l'autre	15
Chapitre 3 : Différents matériaux de fabrication	17
Différencier les matières thermo-plastiques, thermodurcissables et photopolymères	17
Comparaison des plastiques et des matières similaires	20
Métaux durs et alliages légers	21
Choisir le bon procédé.....	23
Chapitre 4 : Impression 3D.....	25
Comprendre l'impression 3D.....	25
Principaux procédés	27
Considérations relatives à la conception.....	31
Finition après l'impression 3D.....	33

Chapitre 5 : Fabrication soustractive associée à l'usinage CNC	35
Usinage CNC	35
Principaux procédés d'usinage	37
Considérations relatives à la conception pour la fabrication numérique	39
Finition après l'usinage	41
Chapitre 6 : Fabrication de pièces moulées par injection .	43
Présentation de l'injection	43
Principaux procédés de moulage par injection	45
Surmoulage et surmoulage d'inserts	50
Règles de conception	51
Gestion du moulage par injection en fonction de l'évolution de la demande	54
Chapitre 7 : Dix raisons de faire appel à Proto Labs	55
Fabrication rapide	55
Technologie avancée	56
Devis interactif automatisé	57
Gamme de matériaux	57
Expertise technique en direct	58
Suite de services de fabrication	58
Envergure mondiale	59
Échelle de production	59
Pièces de qualité	59
Vastes ressources	60

Introduction

La fabrication numérique englobe plusieurs procédés différents qui répondent à des besoins variés pendant le cycle de vie du produit. Un prototype rapide peut s'avérer nécessaire pour montrer l'apparence générale d'un produit afin de le présenter à des investisseurs. Il vous faut peut-être un prototype qui fonctionne pour le mettre à l'essai ou encore une pièce entièrement adaptée à une production de petites séries qui vous permette de commercialiser votre produit rapidement pour juger de la demande du marché. Quels que soient vos impératifs, la fabrication numérique peut souvent vous permettre d'accélérer le processus de développement mais elle peut aussi servir tout au long de la vie du produit.

À propos de cet ouvrage

Voulez-vous savoir à quel rythme vous pouvez obtenir les pièces dont vous avez besoin pour tester un prototype ou produire de petites séries ? Dans ce cas, ce livre peut vous aider. *La fabrication numérique pour les Nuls*, édition internationale de Proto Labs, explore les différentes technologies utilisées dans ce domaine (impression 3D, usinage CNC et moulage par injection) et vous explique comment exploiter chaque procédé pour accélérer la commercialisation de vos produits. Vous obtiendrez également les informations nécessaires pour évaluer les fournisseurs et les procédés afin de satisfaire vos besoins de délais rapides de développement et de fabrication de produits. Ce faisant, vous pourrez comparer les avantages de chacune de ces technologies.

Hypothèses de départ

Les services d'ingénierie et même les particuliers ont désormais accès à des outils de conception qui sont à des années-lumière des outils disponibles il y a dix ans. Grâce à un logiciel CAO, vous pouvez développer un modèle 3D qui vous permet de mieux visualiser l'objet et de déterminer ses caractéristiques. En écri-

vant cet ouvrage, je suppose que vous avez accès à des outils de conception tels que ceux-là, que vous avez un modèle que vous souhaitez produire et que vous n'avez pas la capacité de le fabriquer vous-même.

Icônes employées dans cet ouvrage

Ce livre a recours aux icônes suivantes pour attirer votre attention sur des informations utiles à différents niveaux.



Les informations accompagnées de cette icône sont importantes et sont donc répétées pour être mises en avant. Ainsi, vous pouvez facilement repérer les informations essentielles quand vous feuillerez à nouveau ce livre.



Cette icône souligne les données particulièrement utiles.



Cette icône indique les questions techniques abordées, comme le jargon. Impossible de les éviter, mais elles vous seront utiles.



Les paragraphes accompagnés de cette icône attire l'attention sur les pièges courants.

Chapitre 1

Comprendre l'importance de la fabrication numérique

Dans ce chapitre

- ▶ Début du cycle de vie du produit
 - ▶ Comprendre le procédé de développement
 - ▶ Employer le procédé approprié
 - ▶ Commercialisation rapide
 - ▶ Du prototype au produit
 - ▶ Suite du cycle de vie du produit
-

La fabrication numérique est une fabrication technologique, qui fait appel à la puissance de l'informatique pour transformer des méthodes de fabrication traditionnelles et modernes en procédés plus efficaces. La fabrication numérique permet d'augmenter la productivité, d'accélérer les temps de cycle, de réduire les déchets et de réaliser des économies substantielles. Ce chapitre vous présente la fabrication numérique en vous expliquant les différentes étapes impliquées et les informations à connaître pour démarrer. Vous comprendrez également les raisons pour lesquelles plusieurs procédés entrent en oeuvre au fur et à mesure où votre projet passe du prototype à la commercialisation.

Premières étapes du cycle de vie d'un produit

Les perspectives de développement et de commercialisation d'un nouveau produit peuvent être très exaltantes. Bien que des possibilités s'ouvrent à vous, plusieurs étapes sont incontournables, en particulier quand des capacités de fabrication numérique sont à votre portée.

Tout d'abord, vous devez évidemment avoir une idée de produit à lancer. À ce stade, peu importe que vous soyez un inventeur individuel ou un employé d'une grande société. Ce qui compte, c'est de pouvoir visualiser le produit qui vaudra tous les efforts et le temps que lui vous consacrez pour le commercialiser. Fort de votre idée de produit, vous pouvez maintenant passer à l'étape suivante.

Modèles conceptuels

Le plus souvent, le développement d'un produit débute par un dessin ou un modèle informatique représentant le produit. Les modèles informatiques sont généralement rapides à élaborer et peuvent permettre de réaliser certaines analyses. Après avoir posé l'idée de base, il est temps de créer un modèle physique qui validera le concept du produit. Dans la plupart des cas, ce modèle ne fonctionne pas, mais il permet d'avoir une idée générale du produit fini.



Les modèles conceptuels vous permettent d'évaluer les réactions au sein de votre société, tout en réalisant une étude de marché préliminaire pour déterminer l'attrait du produit auprès du consommateur. Ces modèles sont utiles car il est beaucoup plus aisé de comprendre un objet physique réel qu'une idée abstraite. Si la réaction au sein de votre société et les résultats de l'étude de marché sont favorables, vous passerez certainement à l'étape suivante du procédé de production.

Validation de forme, tests de montage et de fonctionnement

Bien qu'un modèle conceptuel puisse donner une idée générale du produit fini, il ne constituera pas pour autant un produit commercialisable. Pour se rapprocher de cet objectif, vous devez encore

travailler afin de créer quelque chose ayant la forme, l'ajustement et le fonctionnement d'un produit fini.

Pour commencer, vous devez élaborer un modèle CAO (conception assistée par ordinateur) en 3D du produit et de ses composants. Ce modèle numérique est ensuite utilisé par le fabricant pour produire les pièces qui composent votre produit.



Vous voulez un fabricant capable de réaliser une analyse technique de votre modèle informatique pour vérifier la faisabilité de vos pièces telles qu'elles sont conçues et proposer les meilleures solutions de fabrication en fonction de vos besoins. Par exemple, faut-il fabriquer le produit couche après couche ou en enlevant de la matière d'un bloc ? Pour trouver le procédé de fabrication approprié, il faut tenir compte de la géométrie, du volume, du matériau utilisé, du coût, de l'urgence de la production, et de plusieurs autres facteurs majeurs.

Deux ou trois évolutions et essais successifs peuvent s'avérer nécessaires avant que chaque pièce de votre produit fini vous convienne, mais c'est bien là l'objectif global de cette étape du cycle de vie du produit. Vous ne voulez pas lancer la production d'un produit pour découvrir par la suite un défaut de conception majeur.

Production de petites séries

Quand les essais initiaux sont terminés, vous pouvez commencer une production de petites séries. Même les produits susceptibles de devenir des articles de grande consommation commencent souvent par de petites séries afin de commercialiser plus rapidement le produit.



Une société spécialisée dans la fabrication numérique sera certainement le meilleur partenaire pour une production de petits volumes car elle peut vous garantir la rapidité d'exécution nécessaire pour que votre produit soit sur le marché avant celui de vos concurrents. En fait, en fonction de ses capacités, une société de fabrication numérique peut produire le volume demandé, en particulier pour les produits de niche.

Utilisation d'un développement itératif et changement d'orientation

Rares sont les produits qui sont parfaits dès leur première version. Il est plus probable que vous réalisiez plusieurs modèles en éliminant les défauts ou en améliorant certaines caractéristiques. Étant donné que la fabrication commence par des quantités de produits relativement faibles, il est bien plus facile de s'engager dans ce procédé de développement itératif.



Rapide, la fabrication numérique est moins coûteuse et plus souple que la fabrication traditionnelle. Grâce à sa puissance, on peut rapidement réaliser de multiples modifications et évolutions du produit. Arrive-t-il jamais qu'une version soit correcte dès le premier essai ?

Lors du procédé de développement d'un produit, il est courant de découvrir qu'un produit peut être utilisé de manières inattendues. Ces nouvelles utilisations peuvent réorienter la réflexion sur la manière de fabriquer et de commercialiser le produit. Vous pouvez notamment découvrir une demande inattendue pour votre produit sur un marché ayant des exigences légèrement différentes, vous incitant à modifier les matériaux ou la conception.

Changement de procédés

La fabrication numérique n'est pas un procédé unique qui a recours à un seul type de matériau. En fait, plusieurs procédés et matériaux peuvent convenir aux différentes étapes du développement et de la production. Par exemple, les premières versions qui permettent de visualiser la forme et l'apparence générales du produit peuvent être élaborées à l'aide d'un procédé et d'un matériau qui ne conviendraient pas au produit fini. Mais, étant donné que ces premières versions sont peu coûteuses et rapides à produire, il est plus facile de passer par plusieurs itérations jusqu'à ce que vous soyez satisfait de la forme, de l'assemblage et de l'aspect.

Dans des chapitres suivants de ce livre, nous examinons plus en détail les procédés et matériaux utilisés en fabrication numérique. Cependant, en résumé, certaines pièces sont adaptées au procédé additif dans lequel la pièce est fabriquée par couches de matière successives et d'autres pièces conviennent mieux au procédé soustractif, qui débute par un bloc de matière massif usiné pour obtenir la forme finale. Néanmoins, d'autres pièces n'utiliseront qu'un seul et unique procédé, comme le moulage par injection. En fonction des

besoins, les matériaux vont des plastiques à faible résistance aux métaux extrêmement résistants.



Votre fabricant numérique vous parlera des meilleurs procédés et matériaux à utiliser à chaque étape du développement et de la production. Mais, à titre de référence, consultez la Figure 1-1 pour connaître toutes les caractéristiques des procédés de fabrication numérique.

	FABRICATION ADDITIVE						
Caractéristiques	BJET	SL	FDM	PJET	SLS	DLP	DMLS
Quantité	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS
Complexité	BON	BON	BON	BON	BON	BON	BON
État de surface	MAUVAIS	ASSEZ BON	MAUVAIS	ASSEZ BON	MAUVAIS	ASSEZ BON	MAUVAIS
Sélection des matériaux	MAUVAIS	ASSEZ BON	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	ASSEZ BON
Stabilité des matériaux	ASSEZ BON	MAUVAIS	BON	MAUVAIS	ASSEZ BON	MAUVAIS	BON
Couleur	BON	MAUVAIS	ASSEZ BON	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS
Tolérance	MAUVAIS	BON	MAUVAIS	MAUVAIS	ASSEZ BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON
Rapidité	BON	BON	ASSEZ BON	BON	BON	BON	ASSEZ BON
Prix (petits volumes)	BON	BON	BON	BON	BON	BON	BON
Prix (grands volumes)	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS
	USINAGE		MOULAGE PAR INJECTION				
Caractéristiques	CNC	IM	LSR	MIM	MOULAGE SOUS PRESSION	THIXO	
Quantité	ASSEZ BON	BON	BON	BON	BON	BON	BON
Complexité	ASSEZ BON	BON	BON	BON	BON	BON	BON
État de surface	BON	BON	BON	BON	BON	BON	BON
Sélection des matériaux	BON	BON	BON	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	
Stabilité des matériaux	BON	BON	BON	BON	BON	BON	BON
Couleur	MAUVAIS	BON	BON	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS
Tolérance	BON	BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON	BON
Rapidité	BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON
Prix (petits volumes)	ASSEZ BON	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS	MAUVAIS
Prix (grands volumes)	BON	BON	BON	BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON	ASSEZ BON

Figure 1-1 : Les différentes caractéristiques des procédés de fabrication numérique.

Commercialisation rapide

La fabrication numérique présente comme principal avantage d'accélérer la commercialisation d'un nouveau produit. Dans une production traditionnelle, des semaines, voire des mois, peuvent être nécessaires pour qu'un atelier d'usinage ou autre fabricant produise les pièces, même les plus simples, de votre produit. Étant donné la compétitivité du marché actuel, ces délais peuvent vous empêcher de commercialiser suffisamment vite un produit, entraînant une réduction de votre part de marché ou une occasion totalement manquée.

Contrairement à la fabrication traditionnelle, le procédé numérique se traduit par une production très rapide. Au lieu de plusieurs semaines, une seule journée peut suffire à un fabricant numérique compétent pour expédier quelques pièces usinées. Dans la plupart des cas, le premier produit commercialisé est celui qui rencontre le plus grand succès et les produits commercialisés tardivement n'ont jamais aucune chance.

Du prototype à la production

À un certain stade, vous serez peut-être prêt à passer du prototype à la production réelle. En fonction de vos besoins, cette transition peut impliquer de commander simplement auprès de votre fabricant numérique les composants supplémentaires dont vous avez besoin ou de passer à un procédé de fabrication plus traditionnel. En outre, cette transition implique également de déterminer la méthode de fabrication appropriée, qu'il s'agisse du moulage par injection, de l'usinage, de l'impression 3D ou d'un autre type de fabrication.

La demande prévisionnelle pour le produit joue un rôle essentiel pour prendre vos décisions à ce stade. Un produit qui se vendra à des millions d'exemplaires exige clairement un procédé différent par rapport à un produit qui se limitera à quelques centaines d'unités.



Même si votre analyse semble indiquer que votre produit profitera d'un marché considérable, la fabrication numérique peut jouer un rôle majeur en vous permettant de passer plus rapidement à une production expérimentale. Dans ce cas, un fabricant numérique rapide peut fournir un outillage de pré-série en quelques semaines pendant que vous attendez que le moule de production série soit prêt. Ce qui prend des mois en général.

Après le lancement sur le marché

Les produits restent souvent en phase de développement constant tout au long de leur cycle de vie. Bien que les changements puissent s'avérer difficiles et coûteux par le biais des procédés de fabrication traditionnels, l'actualisation d'une production de petits volumes peut être bien plus simple pour un produit fabriqué à l'aide des procédés de fabrication numérique.

Prenez, par exemple, une pièce plastique injectée. Dans la fabrication traditionnelle, cette pièce serait réalisée à l'aide d'un moule en acier très coûteux. Une société de fabrication numérique de petits volumes et de prototypes peut réaliser la même pièce à l'aide

d'outils en aluminium pour un prix dérisoire. Bien que l'outillage en aluminium ne soit pas suffisamment résistant pour produire des millions de pièces identiques, les économies peuvent être colossales pour des lots de production de quelques milliers, voire quelques dizaines de milliers d'unités.

Pour les produits fabriqués en petites séries tout au long de leur cycle de vie, vous devez envisager les procédés de fabrication numérique pour toutes les phases du cycle de vie. J'aborde ces questions dans la section suivante.

Croissance et maturité

Les gains de croissance d'un produit peuvent être imprévisibles. Si vous êtes absolument persuadé de pouvoir augmenter votre production, vous pourriez finir avec un stock excessif et coûteux dans l'attente d'un redémarrage de la croissance. Répondre à la demande par de petits volumes au fur et à mesure de votre croissance vous permet de mieux contrôler les coûts. La fabrication numérique de petites séries vous permet d'ajuster exactement le nombre de produits nécessaires à votre croissance.

Quand vous avez atteint le sommet du cycle de votre produit, l'idée de profiter de cette situation aussi longtemps que possible peut devenir hypnotique au point d'être dangereuse. Un nouvel examen de la situation actuelle du marché, de la concurrence, des intérêts des consommateurs et évidemment, de la demande sont essentiels pour identifier le moment d'entamer une réduction de la production.

Identifier la période à laquelle le développement d'un produit successeur doit commencer fait partie de la gestion du cycle de vie d'un produit. Si un produit est véritablement en développement perpétuel tout au long de sa durée de vie, il est alors possible que la nouvelle version dispose déjà d'une structure sur laquelle s'appuyer. Le début du cycle de vie d'une nouvelle version n'est pas associé à une version particulière du produit existant, mais, en tenant compte des conditions de marché pendant les phases de croissance et de maturité, les productions des deux produits peuvent se croiser alors que l'un grimpe et l'autre descend.

Déclin

La descente d'un produit depuis son apogée peut être tout aussi difficile à gérer que son ascension. L'excitation initiale liée au lancement du produit diminue en général lorsqu'il commence à décliner.

Il s'agit donc de gérer l'éventuelle obsolescence du produit de manière rationnelle. Peut-être que l'injection de petites séries a été utilisée très tôt pendant les phases de développement et de croissance. Peut-être n'a-t-elle jamais été utilisée et que le prototypage est passé directement au moule série en acier. Toutefois, la fabrication juste-à-temps (JAT) est de plus en plus souvent intégrée dans les plans de production.

Les sociétés qui réduisent la production peuvent recréer, ou révisiter, l'outillage de production de petits volumes, permettant aux clients de placer des commandes JAT. La fabrication JAT élimine la nécessité de stocker ou potentiellement, de détruire des pièces inutilisées car les commandes portent sur de petits lots en fonction des besoins. L'atténuation du risque pendant le déclin du produit fait partie intégrante d'une bonne planification de son cycle de vie car elle a un impact direct sur le compte de résultat.



Pour tous les produits, la définition d'un plan directeur solide sur l'ensemble du cycle de vie et l'utilisation des bons procédés de fabrication tout au long de ce cycle peuvent assurer la réussite de tout projet.

Chapitre 2

Comparaison des méthodes additive et soustractive

.....

Dans ce chapitre

- ▶ Connaître les deux méthodes
 - ▶ Leurs avantages et inconvénients
 - ▶ Exploiter au mieux ces deux méthodes
-

Bien que la fabrication numérique ait recours à différentes technologies pour produire rapidement différents composants, l'usinage et l'impression 3D peuvent être divisés assez facilement en méthodes de fabrication additive et soustractive. Ce chapitre explique les différences qui existent entre ces deux méthodes, ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs et détermine la manière dont elles se complètent.

Différences fondamentales

Les méthodes additive et soustractive sont toutes deux utilisées en fabrication numérique, mais certaines caractéristiques fondamentales les dissocient. Il est essentiel de bien comprendre ces différences afin de mieux saisir l'utilisation appropriée à chacune de ces méthodes.

Fabrication additive

La *fabrication additive* consiste à construire des pièces par superposition de fines couches individuelles de matériau. Au fil de son ajout, chaque couche sert de base aux couches de matière suivantes.



L'impression 3D est un terme synonyme de la fabrication numérique. En réalité, plusieurs procédés entrent dans la catégorie de la fabrication additive. Bien que les imprimantes 3D couramment disponibles construisent en général des pièces à l'aide de plastique fondu ou d'un matériau similaire, d'autres procédés de fabrication additive offrent une polyvalence bien plus élevée en termes de qualité de construction et de sélection du matériau. Par exemple, une méthode de *frittage de métal* fusionne en réalité des couches de poudre pour créer des pièces métalliques.

Fabrication soustractive

La *fabrication soustractive* est une méthode d'usinage à partir d'un bloc, par enlèvement de matière aux endroits où elle n'est pas nécessaire dans la pièce finie. L'excédent de matériau peut être retiré à l'aide de différents outils, mais les procédés de fabrication comme le fraisage et le tournage sont assez courants.

Afin de mieux visualiser la fabrication soustractive, pensez au sculpteur qui commence à travailler avec un grand bloc de pierre. À l'aide de marteaux et de ciseaux, le sculpteur retire de la pierre pour faire apparaître la statue désirée. La statue est plus petite que le bloc d'origine, car le sculpteur va enlever des morceaux de pierre qui n'entrent pas dans la sculpture finale.

De nos jours, la fabrication soustractive intègre souvent des machines CNC (*computer numeric control* ou commande numérique par ordinateur), telles que des tours et des fraiseuses, pour fabriquer des pièces précises. Les machines CNC sont en général plus rapides et plus précises que celles commandées par des opérateurs. Les machines CNC offrent également un niveau de répétabilité que des opérateurs auraient beaucoup de difficultés à atteindre.



Sur le plan technique, le moulage par injection est un procédé additif, mais il est souvent classé dans le camp soustractif en raison des méthodes employées pour créer les moules.

Avantages et inconvénients de chaque méthode

Aucune méthode de fabrication (ni matériau) n'est universelle. Malheureusement, personne n'a découvert comment construire le duplicateur de *Star Trek*. Il est donc important de comprendre les avantages et inconvénients inhérents aux méthodes de fabrication additive et soustractive.

Avantages de la fabrication additive

Étant donné que, dans cette méthode, les pièces sont fabriquées par ajout de milliers de couches extrêmement fines, il est possible de créer des géométries très complexes, impossibles à obtenir avec d'autres méthodes. Les pièces peuvent notamment comprendre des canaux internes et des trous à des endroits impossibles à atteindre avec une machine de fraisage moderne. Par conséquent, il est possible de fabriquer un ensemble très complexe dans une seule pièce, sans avoir besoin de différents éléments d'assemblage.

La fabrication additive offre également la possibilité unique de créer des petites séries de pièces personnalisées. Pensez par exemple aux possibilités de la fabrication additive dans les domaines des prothèses dentaires et des bijoux. Un dentier sur mesure n'a, à l'évidence, pas besoin d'être créé en grandes quantités ; en effet, il ne convient qu'à une seule personne.



Bien que les méthodes additive et soustractive permettent toutes deux d'utiliser un large éventail de matériaux, les caractéristiques nécessaires de ces matières sont souvent différentes d'une méthode à l'autre. Un fabricant numérique compétent peut vous conseiller à cet égard.

Inconvénients de la fabrication additive

Bien que la fabrication additive soit très polyvalente, elle ne répond pas à tous les cas de figure pour plusieurs raisons :

- ✔ La fabrication additive convient mieux aux productions de petits volumes. Lorsque la production grimpe à des milliers et des dizaines de milliers d'articles, la fabrication additive est trop coûteuse à employer en continu. En général, la méthode additive est rentable uniquement pour quelques centaines de pièces. Ce prix majoré peut diminuer au fur et à mesure des avancées technologiques futures, mais elle doit être prise en compte aujourd'hui si vous avez besoin d'un grand nombre de pièces.
- ✔ L'aspect des pièces est également un inconvénient de cette méthode. Contrairement aux pièces moulées ou usinées, les pièces fabriquées par la méthode additive ont une apparence plus grossière. Souvent, il est possible de les polir ou d'améliorer autrement la surface des pièces, mais cette étape de traitement supplémentaire augmente les délais et les coûts de production.

Avantages de la fabrication soustractive

Le fraisage et le tournage sont des procédés bien connus dans le domaine de la fabrication traditionnelle. Les pièces usinées peuvent être fabriquées à partir de tous les matériaux disponibles sous forme solide. La plupart des métaux, des bois et des plastiques peuvent notamment être utilisés à l'aide des méthodes soustractives.

Avec la fabrication soustractive, on obtient un très bon état de surface des pièces, prêtes à l'emploi, qui n'ont besoin d'aucun traitement supplémentaire. De plus, étant donné que l'usinage commence par un bloc de matière massif, vous ne rencontrez pas les problèmes de porosité parfois associés aux procédés additifs. En outre, la fabrication soustractive peut être moins coûteuse que la fabrication additive en raison des coûts de matériau.

Inconvénients de la fabrication soustractive

Tout comme les méthodes additives, la fabrication soustractive présente quelques inconvénients. Afin d'usiner un passage interne ou un trou dans une pièce, les outils doivent pouvoir accéder à la zone concernée. Malheureusement, à cause de cette exigence, les pièces ne peuvent pas être aussi complexes qu'en fabrication additive. Dans certains cas, des pièces multiples devront être conçues afin de pouvoir être correctement usinées et ajustées lors de l'assemblage final.

L'usinage est également limité par les capacités des outils utilisés pour fabriquer les pièces. Selon le fabricant, les pièces usinables pourraient être soumises à des restrictions et des limites en matière de dimensions.

Utilisation de ces méthodes en complément l'une de l'autre

Vous n'êtes bien évidemment pas obligé de produire l'ensemble du produit à l'aide d'une seule méthode et d'un seul matériau. En fait, vous découvrirez que des méthodes différentes conviennent aux différents composants d'un produit.

Comme indiqué dans le chapitre 1, vous trouverez également peut-être qu'il vous faut une méthode pour créer rapidement des prototypes et une autre pour fabriquer le produit fini. Une finition grossière peut convenir pour un prototype imprimé en 3D, mais les clients pourront élever des objections face à « l'aspect » brut qu'un procédé additif peut donner à une pièce. Les solutions possibles comprennent une finition secondaire par le passage à une pièce usinée, ou même à un procédé d'injection pendant le prototypage. Votre fabricant numérique peut vous conseiller quant à la méthode de fabrication la mieux adaptée aux pièces à obtenir.



Quelle que soit la méthode de fabrication numérique la plus appropriée au final, vous devez commencer par créer un bon modèle CAO 3D. La société de fabrication doit pouvoir utiliser ce modèle, à la fois pour vous conseiller en matière de conception et pour vous aider à sélectionner la méthode de fabrication la mieux adaptée.

16 La fabrication numérique pour les Nuls _____

Chapitre 3

Différents matériaux de fabrication

Dans ce chapitre

- ▶ Matières thermoplastiques, thermodurcissables et photopolymères
- ▶ Matières plastiques et semblables au plastique
- ▶ Métaux durs et alliages légers
- ▶ Sélection du procédé correct

Les techniques de fabrication numérique englobent différents procédés qui peuvent faire appel à toute une gamme de matériaux. Afin de choisir la meilleure matière pour votre pièce, vous devez comprendre quels matériaux peuvent être utilisés en fonction des procédés, ainsi que leurs caractéristiques. Ce chapitre examine plusieurs catégories de matériaux différents pour comprendre non seulement ce qui est possible de faire, mais également quelles matières répondent le mieux à vos besoins.

Différencier les matières thermoplastiques, thermodurcissables et photopolymères

Dans *Le Lauréat* de 1967, le personnage Benjamin Braddock, que Dustin Hoffman interprète dans le film, apprend que l'avenir du plastique sera florissant. Même s'il ne suit pas ce conseil, l'industrie l'a certainement fait et elle utilise de nombreux types de plastiques et de matières semblables.

Pour le non-initié, ces nombreuses et différentes catégories peuvent dérouter pour plusieurs raisons :

- ✔ En général, on a du mal à comprendre la relation fondamentale qui existe entre la structure interne du matériau et ses propriétés.
- ✔ Le temps et l'attention consacrés à définir précisément les exigences de l'application sont en général insuffisants.
- ✔ Même quand ces deux obstacles sont surmontés, il peut s'avérer difficile de trouver des données précises sur les propriétés de ces matières.



Pour déterminer quel matériau convient le mieux à votre application, vous devez rassembler des informations provenant d'un éventail de sources incomplètes. Les fiches techniques constituent la principale source d'informations. Vous devez trouver comment extraire autant d'informations que possible de cette source. Vous pouvez parfois obtenir des informations plus détaillées dans les manuels de conception et les notes d'applications publiés par chaque fournisseur de matériaux pour remplir les blancs des fiches techniques. En général, plus une matière est technique, spéciale et performante, plus on trouve de données. Si vous voulez vraiment comprendre un matériau, vous devez être prêt à enquêter et à faire quelques tests.

Matières thermoplastiques

Les *matières thermoplastiques* constituent une catégorie de plastiques qui peuvent être moulés au-delà d'une certaine température et se solidifient quand ils refroidissent. Elles sont généralement utilisées en injection. On peut « ramollir » les thermoplastiques en les chauffant.



Le terme technique employé pour désigner le changement d'état que subit une matière thermoplastique quand elle est chauffée est un *changement de phase*. La transformation de l'eau à une température de congélation reflète parfaitement ce qui arrive à une matière en changement de phase. En dessous de cette température, l'eau est solide, mais au-dessus de cette température, elle est liquide.

Thermoplastiques les plus courants :

- ✔ Acétal, également appelé Delrin
- ✔ Acrylique
- ✔ ABS (acrylonitrile butadiène styrène)
- ✔ Nylon

- ✔ Polycarbonate
- ✔ Polyéthylène
- ✔ Acide polylactique (APL)
- ✔ Polypropylène
- ✔ Polystyrène
- ✔ Polytétrafluoroéthylène (PTFE), couramment nommé Téflon
- ✔ Chlorure de polyvinyle (PVC)

Matières thermodurcissables

Le terme *thermodurcissable* peut être quelque peu déroutant, en particulier lorsqu'on le compare au mot thermoplastique (voir la section précédente). Une matière thermodurcissable durcit de manière irréversible, sans pouvoir être ramollie. Pour se souvenir de cette différence, rappelez-vous qu'une matière thermoplastique reste un plastique, tandis qu'une matière thermodurcissable adopte une forme permanente.

Les matières thermodurcissables peuvent être solidifiées par réaction chimique ou par irradiation, en fonction de la composition particulière du matériau. Le caoutchouc silicone liquide est un bon exemple de matière thermodurcissable injectable.

Ces matières sont en général plus solides que les thermoplastiques et sont utilisées dans différents procédés de moulage. Voici quelques exemples de matières thermodurcissables :

- ✔ Bakélite
- ✔ Époxy
- ✔ Mélamine
- ✔ Polyuréthanes (également dans les thermoplastiques, mais moins souvent)
- ✔ RTV
- ✔ Caoutchouc silicone

Photopolymères

Les *photopolymères* sont des plastiques qui changent de propriétés quand ils sont exposés à la lumière. En général, ces plastiques durcissent assez rapidement sous une lumière UV. Les photo-

polymères sont souvent utilisés en impression 3D (et procédés similaires).



Les photopolymères sont en général plus fragiles que les autres types de plastiques et ils sont souvent instables quand ils sont exposés aux rayons du soleil ou à un taux élevé d'humidité.

Comme les matières thermodurcissables, les photopolymères changent de manière permanente pendant le traitement et ne peuvent être ramollis une fois durcis. Lorsqu'ils sont employés dans des procédés comme l'impression 3D, les photopolymères durcissent couche par couche. En général, on utilise un laser UV pour solidifier une couche de la pièce avant de faire descendre la table pour obtenir une nouvelle couche de matière à solidifier sur toute la surface. Ensuite, la couche suivante est durcie et le procédé se poursuit jusqu'à la formation de la pièce entière.

Différentes résines polymères photosensibles sont utilisées comme photopolymères dans le procédé de fabrication numérique.

Comparaison des plastiques et des matières similaires

Sur le plan technique, ce n'est pas parce que cela ressemble à un plastique que c'en est un. Les matières thermodurcissables et les photopolymères ne se comportent pas comme de vrais plastiques, mais on vous pardonnera si vous ne savez pas les différencier contrairement aux experts de cette industrie. Cependant, la comparaison des plastiques et des matières semblables peut s'avérer intéressante.

Les matières utilisées en *stéréolithographie* (un procédé couramment utilisé en fabrication additive et abrégé *SLA*) sont des polymères et non des thermoplastiques du fait qu'elles se démarquent à plusieurs égards des résines techniques courantes. Cependant, ces matières peuvent toujours être utiles pour valider des formes, tester un ajustement et un fonctionnement limité si elles correspondent, dans une certaine mesure, au matériau de production recherché. En général, la rigidité (ou module d'élasticité en traction, techniquement parlant) compte parmi les principales propriétés à imiter pour les concepteurs. Ainsi, quand un fabricant propose une matière *semblable à l'ABS*, sa ressemblance avec l'ABS est une rigidité similaire.

Les propriétés des matériaux SLA qui les différencient essentiellement des thermoplastiques techniques sont l'*allongement à la rupture* (capacité d'un matériau à s'allonger avant de rompre, mesurée en pourcentage) et la tenue en température (le niveau de chauffe avant qu'il ne ramollisse).



Tous les polymères ont une sensibilité à l'oxygène à long terme, qui augmente avec la température. La dégradation associée au vieillissement est représentée par une propriété dénommée l'*indice thermique relatif* (ITR). Cette valeur provient d'un essai mandaté et administré par Underwriters Laboratories. Il s'agit du meilleur indicateur disponible pour mesurer les effets du vieillissement à long terme sur les propriétés mécaniques et électriques des polymères. Les essais ITR commencent par mesurer les propriétés de base essentielles. Des échantillons d'analyse sont ensuite vieillis sous l'effet de multiples températures et les propriétés de base sont contrôlées jusqu'à ce qu'elles chutent de 50 % par rapport aux valeurs d'origine. Le temps nécessaire pour atteindre une performance de 50 % est dénommé *durée de fonctionnement avant défaillance*.

Métaux durs et alliages légers

Évidemment, les plastiques ne conviennent pas pour toutes les pièces. Souvent, le métal est plus approprié. Vous pouvez choisir des métaux durs ou des alliages légers, en fonction de la pièce spécifique à fabriquer.

Alliages légers: aluminium, magnésium, laiton et cuivre

L'aluminium est le métal le plus abondant sur la planète et le troisième élément le plus courant après l'oxygène et le silicium. En fait, vous serez peut-être surpris d'apprendre que l'aluminium compose 8 % de la masse totale de la croûte terrestre !

L'aluminium est un alliage léger extrêmement malléable. Il se prête donc mal aux applications mécaniques. En général, l'aluminium est mélangé avec d'autres éléments, comme le silicium, le cuivre, le magnésium et le zinc, puis il est chauffé pour obtenir les alliages légers et résistants utilisés à l'heure actuelle dans les fuselages d'avion, les automobiles et différents produits de consommation.

Le magnésium est également un matériau léger populaire. Son poids est égal aux deux-tiers du poids des alliages d'aluminium

classiques. Tout en étant presque aussi solide, il est le plus léger de tous les métaux structurels. Le magnésium est un matériau privilégié dès que l'on recherche une bonne résistance et un poids léger. Il présente d'excellentes propriétés d'amortissement, il est facile à usiner et il peut être moulé ou coulé immédiatement.

Le laiton et le cuivre sont également des alliages légers. Sur les deux, le laiton est clairement le plus polyvalent. À l'exception des environnements à haute teneur en ammoniac et certains acides, il résiste très bien aux intempéries et à la corrosion. Si vous avez déjà remplacé un radiateur de voiture, soudé un robinet de cuisine ou joué du cor, vous avez manipulé des pièces fabriquées en laiton.

Métaux durs : acier, acier inoxydable, titane, cobalt-chrome et Inconel

Certaines pièces doivent être fabriquées dans des métaux durs. L'acier est principalement composé de fer, le deuxième élément le plus abondant après l'aluminium. La fonte du fer et la fabrication limitée de l'acier existent depuis des milliers d'années, mais ce n'est qu'au milieu des années 1800 qu'une production de masse d'acier de haute qualité est devenue possible.

Tout comme les alliages légers, l'ajout d'une petite quantité d'éléments d'alliage peut avoir des répercussions considérables sur les propriétés de l'acier : l'ajout de moins de 1 % de carbone et de manganèse permet de transformer un fer cassant en un acier 1018 dur. Et l'acier allié 4140, qui convient aux avions, est composé d'un volume tout aussi réduit de chrome, saupoudré de molybdène.



Les aciers au carbone comme ceux-ci peuvent être durcis dans une certaine mesure et sont faciles à souder. Un seul problème : ils rouillent et requièrent donc un plaquage ou une peinture pour la plupart des applications.

Pour combattre la rouille, vous pouvez utiliser un acier inoxydable. En augmentant la quantité de chrome à 10,5 % au moins, la résistance à la corrosion est largement améliorée. L'acier inoxydable est largement utilisé dans l'industrie chimique, le traitement des textiles et les applications marines. La plupart des aciers inoxydables peuvent supporter des températures extrêmes jusqu'à 1480 °C, suffisamment élevées pour faire fondre l'aluminium, le laiton et le cuivre.



Les aciers inoxydables de la série 300 comprennent au moins 20 % de chrome, ainsi qu'une bonne quantité de nickel, ce qui les rend très difficiles à usiner.



L'acier inoxydable 17-4 PH est un matériau très polyvalent, mais très dur, qui contient du nickel, du chrome et du cuivre. Bien qu'il soit intégré dans la famille des aciers inoxydables, son usinabilité à l'état recuit le rapproche de l'état de super-alliage : après traitement thermique, il atteint facilement une dureté de 45 HRc et une résistance à la traction de 1 034 100 kPa (150 000 PSI) ou plus, soit trois fois celle de l'acier au carbone. Il est couramment utilisé quand une bonne résistance à la traction et à la corrosion sont simultanément nécessaires.

Et enfin, le titane. Cet élément léger est souvent allié à l'aluminium et au vanadium, permettant d'obtenir un matériau solide et résistant à la corrosion. Comme le chrome-cobalt, le titane est biocompatible. Il est donc utilisé de manière très importante pour les vis, broches et plaques pour les os. L'industrie de l'aérospatial et les fabricants de véhicules hautes performances sont aussi intéressés par le titane.

Dans la catégorie des alliages vraiment robustes, on trouve le chrome-cobalt ou l'Inconel. L'Inconel contient 50 % de nickel ou plus, lui conférant une excellente résistance à différentes températures. Il est employé pour les conditions extrêmes, comme les aubes des turbines à gaz, les disques des compresseurs des turboréacteurs et même les réacteurs nucléaires et les chambres de combustion des turboréacteurs. Juste à côté du nickel dans le tableau périodique des éléments, on trouve le principal ingrédient de l'alliage cobalt-chrome.



Malheureusement, les professionnels considèrent que le cobalt-chrome et l'Inconel sont trop difficiles à usiner. Ces alliages sont donc souvent utilisés en fabrication additive par le biais d'un procédé de frittage laser de métal (DMLS).

Choisir le bon procédé

Parfois, le même matériau peut être employé dans plusieurs procédés de fabrication numérique. Certaines matières plastiques comme le nylon conviennent par exemple à l'impression 3D et à l'injection. De même, certains métaux comme l'aluminium et l'acier inoxydable peuvent être employés dans l'impression 3D, l'usinage et le moulage.

Trois facteurs doivent être pris en compte afin de choisir le procédé adapté aux matières plastiques et aux métaux utilisés dans de multiples technologies :

- ✔ L'utilisation à laquelle sera soumise la pièce
- ✔ La complexité de conception de la pièce
- ✔ La quantité du lot de production

Consultez les chapitres 4, 5 et 6 pour obtenir de plus amples informations sur les principaux procédés de fabrication numérique.

Choix d'une matière plastique

Il n'est pas vraiment possible de recommander parfaitement un matériau sans comprendre les exigences auxquelles la pièce sera soumise lors de son utilisation. Cependant, la réalisation complète de la pièce pour obtenir une sélection de matières n'est parfois pas un processus rentable. Voici quelques règles générales rapides :

- ✔ Essayez l'ABS. L'ABS convient à de très, très nombreuses applications. Son prix est raisonnable, il est solide, relativement résistant, plutôt esthétique et tolère assez bien les déviations par rapport aux règles de conception habituelles qui s'appliquent aux pièces en plastique. Son point de fusion est relativement bas.
- ✔ Si la matière doit être peu coûteuse, et que la rigidité et l'esthétique ont peu d'importance, essayez le polypropylène (PP).
- ✔ Si vous avez besoin d'un matériau un peu plus dur que l'ABS ou capable de supporter une température un peu plus élevée, essayez le

polycarbonate (PC). Le PC est moins tolérant que l'ABS si vous vous écartez des règles de conception courantes qui s'appliquent aux objets en plastique.

- ✔ Si l'esthétique et la transparence sont essentielles, l'acrylique (PMMA) pourrait vous séduire. Le PMMA peut être un peu cassant. Un PC transparent sera plus dur que le PMMA, mais un peu moins joli.
- ✔ Si ces règles ne vous permettent pas de faire votre choix, vous devez alors passer aux calculs et aux analyses.

Si vous comptez utiliser le moulage par injection, vous pouvez tenter d'usiner quelques pièces de test, conçues dans la matière cible, avant de créer un moule. Les moules sont conçus en tenant compte du taux de retrait d'une matière donnée lors de sa solidification. Il pourrait donc être impossible d'utiliser le même moule pour différentes matières sans remettre en cause la taille, les tolérances et les dimensions de la pièce finale.

Chapitre 4

Impression 3D

Dans ce chapitre

- ▶ Connaître la fabrication additive
- ▶ Différentes technologies
- ▶ Prendre en compte la conception
- ▶ Finition

L'*impression 3D* est un terme générique qui est souvent utilisé pour décrire tous les procédés de fabrication additive. De nos jours, la plupart des gens associent sans doute ce terme à un appareil proche d'une imprimante à jet d'encre. Il ne s'agit que de l'arbre qui cache la forêt car une telle vision ne permet pas de comprendre la multitude d'options disponibles aujourd'hui. Ce chapitre présente brièvement l'impression 3D ; il s'intéresse aux procédés importants que recouvre ce terme, aborde certaines considérations à prendre en compte pour la conception et envisage la suite.

Comprendre l'impression 3D

Les différents procédés de fabrication additive satisfont différents besoins de conception. Bien que ces procédés présentent des différences majeures, il faut en comprendre les caractéristiques communes avant de passer aux spécificités de chaque procédé.

Procédé

En fabrication additive, les pièces sont fabriquées en ajoutant de très fines couches de matière. Plusieurs méthodes permettent cette superposition de couches de matériau pour réaliser

des objets solides, notamment l'extrusion, l'impression par jet, la fusion ou la polymérisation. Quelle que soit la méthode employée, chaque couche de matière est déposée individuellement, puis le matériau adhère aux couches inférieures pour former la pièce.

Équipement

En matière de fabrication numérique, la haute qualité de l'équipement compte énormément. Alors qu'une simple imprimante 3D de bureau peut s'avérer suffisante pour le bricoleur du dimanche qui cherche à réaliser un petit soldat ou un prototype très rudimentaire, l'équipement nécessaire à la fabrication de prototypes de grande qualité ou d'objets destinés à des projets commerciaux est bien plus complexe et plus cher.

L'équipement utilisé pour la fabrication additive dépend du procédé utilisé. Cependant, il doit pouvoir placer le matériau avec une précision extrême.



En plus de l'utilisation d'un matériau et d'un équipement fiables, la fabrication additive de prototypes de haute qualité dépend d'une puissance de calcul sophistiquée et très élevée pour fabriquer des pièces de précision. Une société de fabrication numérique présente souvent ces trois avantages.

Objectif

Fabriquer une pièce en superposant des milliers de fines couches permet de créer des géométries extrêmement complexes qui seraient impossibles à usiner ou à mouler. L'intérêt de la fabrication additive repose en particulier sur la création rapide de prototypes. Cependant, dans certains cas, elle convient également pour la production de petites séries. En résumé, ce procédé s'affranchit des limites des procédés de fabrications traditionnels et permet de valider rapidement certaines données de votre projet.

Principaux procédés

Dans cette section, je vous explique les spécificités de l'impression 3D pour vous permettre de déterminer si un procédé particulier peut répondre à vos besoins pendant les différentes étapes du prototypage et de la production de pièces.

Projection de liant

La *projection de liant* (BJET pour *Binder Jetting*) est l'une des méthodes de prototypage additif les plus simples et les plus basiques. Une tête d'impression jet d'encre se déplace sur un lit de poudre, en déposant sélectivement un liant liquide. Une nouvelle couche de poudre libre est ajoutée sur la couche partiellement adhérente et le procédé se répète jusqu'à l'obtention de la pièce finale. À la fin, la poudre libre est retirée pour libérer l'objet fini.



La projection de liant présente les avantages suivants :

- ✓ Production rapide
- ✓ Faible coût
- ✓ Production aisée dans différentes couleurs
- ✓ Duplication aisée de géométries complexes



La projection de liant a également quelques inconvénients :

- ✓ Surface rugueuse
- ✓ Faible résistance de la pièce
- ✓ Ne convient pas aux tests de fonctionnement

Stéréolithographie

La *stéréolithographie* (SLA) fait appel à un laser UV contrôlé par ordinateur pour polymériser des pièces dans un bassin de photopolymère. Au fur et à mesure de la fabrication, la pièce descend dans le bassin de matière liquide, permettant la solidification des couches successives. La qualité de la pièce finie dépend en grande partie de la qualité de l'équipement utilisé dans le procédé SLA, illustré à la Figure 4-1.

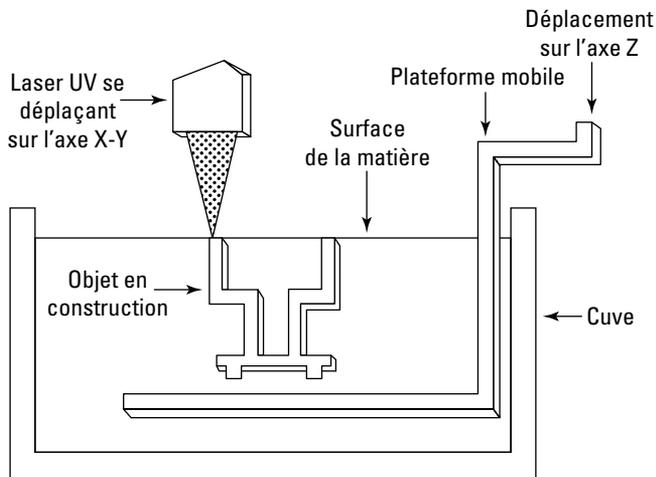


Figure 4-1 : Le procédé SLA.

L'utilisation du procédé SLA se traduit par trois avantages essentiels :

- ✓ Prix modéré
- ✓ Duplication aisée de géométries complexes
- ✓ Un des meilleurs états de surface pour un procédé additif



Le procédé SLA présente également quelques inconvénients, notamment une résistance limitée, une matière polymérisée qui devient fragile au fil du temps et une création d'objets pas ou peu fonctionnels.

Dépôt de fil

Le *dépôt de fil* (FDM pour *Fused Deposition Modeling*) fait fondre et solidifier une matière thermoplastique (souvent de l'ABS, du polycarbonate ou un mélange des deux) sous forme de couches pour obtenir le prototype final. Étant donné qu'elle utilise des matières thermoplastiques, les pièces sont plus résistantes que celles obtenues avec d'autres procédés, mais leur usage pour les tests fonctionnels reste limité.



Le FDM présente les avantages suivants :

- ✓ Prix modéré
- ✓ Résistance modeste
- ✓ Réplique en partie les caractéristiques physiques des pièces en ABS ou en polycarbonate
- ✓ Duplication aisée de géométries complexes



Le FDM présente également certains inconvénients :

- ✓ Surface ondulée de la pièce
- ✓ Pièce très poreuse
- ✓ Adéquation limitée pour les tests fonctionnels
- ✓ Production lente : plusieurs jours peuvent être nécessaires pour les grands objets
- ✓ Mauvaise résistance sur l'axe Z

PolyJet

Le procédé *PolyJet* (PJET) fait appel à une tête d'impression pour pulvériser des couches de photopolymère qui sont solidifiées, l'une après l'autre, par une lumière UV. Les couches sont très fines, ce qui permet d'obtenir une résolution supérieure. Le matériau est soutenu par une matrice en gel qui est retirée quand la pièce est terminée.

Parmi les avantages du procédé PJET, on trouve un bon état de surface et la duplication aisée de géométries complexes. Parmi les inconvénients, on compte une sélection de matières limitée, une mauvaise résistance et des matériaux coûteux.

Frittage sélectif laser

Le *frittage sélectif laser* (SLS pour *selective laser sintering*) fait appel à un laser CO₂ (dioxyde de carbone) contrôlé par ordinateur pour fusionner des couches de matière plastique en poudre, comme le nylon, du bas vers le haut. La résistance est plus élevée qu'avec le procédé SLA, mais inférieure aux processus tels que le moulage par injection ou l'usinage CNC. Le SLS peut être utile comme méthode de production.



Le SLS présente différents avantages :

- ✓ Prix modéré
- ✓ Offre une très bonne précision
- ✓ Plus durable que certains autres procédés, comme la SLA
- ✓ Convient pour quelques tests fonctionnels
- ✓ Duplication aisée de géométries complexes



Les inconvénients du SLS englobent un choix de matières limité et un état de surface souvent rugueux.

Traitement numérique de la lumière

Dans le *traitement numérique de la lumière* (DLP pour *digital light processing*), un solide est découpé numériquement en tranches, qu'une puce DLP de Texas Instruments projette, l'une après l'autre, sur la surface d'un bain photopolymère liquide. La lumière projetée fait durcir une couche de polymère liquide qui repose sur une plateforme mobile. Cette dernière s'abaisse progressivement au fil de la projection des nouvelles images sur le liquide, durcissant chaque couche consécutive pour produire l'objet fini. Le polymère liquide restant est ensuite évacué de la cuve pour libérer l'objet solide. Ce processus peut s'avérer utile pour produire un nombre limité de petits objets extrêmement détaillés, mais il convient moins bien aux objets plus grands, en particulier si la finition doit être lisse.



Les avantages du DLP sont les suivants :

- ✓ Procédé relativement rapide.
- ✓ Prix des objets compétitifs.
- ✓ Haute résolution possible.
- ✓ Production possible de formes très complexes.



Le DLP présente également certains inconvénients :

- ✓ Sélection de matières limitée
- ✓ Peut ne pas convenir aux tests fonctionnels
- ✓ Surfaces éventuellement rugueuses

Frittage laser de métal

Le *frittage laser de métal* (DMLS pour *direct metal laser sintering*) est la principale méthode additive utilisée pour fabriquer des prototypes en métal. Elle est similaire au frittage laser sélectif des matières plastiques. Cependant, elle utilise en lieu et place des métaux, notamment l'aluminium, l'acier inoxydable, le titane, le cobalt-chrome et l'Inconel. Elle offre une bonne précision et un bon niveau de détails, ainsi que d'excellentes propriétés mécaniques. Le DMLS peut servir à fabriquer de très petits objets. Étant donné que ce procédé est additif, il peut reproduire des géométries potentiellement impossibles à usiner, comme des espaces partiellement fermés.

Il est presque toujours nécessaire d'effectuer des opérations secondaires sur les objets créés par DMLS, notamment perçage, rainurage, fraisage, alésage et des traitements de surface telles que l'anodisation, le polissage électrolytique, le polissage à la main et le poudrage ou la peinture.



Le DMLS comporte quelques avantages importants :

- ✓ Peut utiliser presque tous les alliages métalliques
- ✓ Les propriétés mécaniques correspondent essentiellement à celles des pièces formées de manière conventionnelle.
- ✓ Peut façonner des géométries impossibles à usiner ou à mouler



Le DMLS présente également certains inconvénients :

- ✓ Procédé relativement lent.
- ✓ Prix éventuellement élevé des objets.
- ✓ Nécessite une expertise considérable pour fabriquer des objets de qualité.
- ✓ Traitement postérieur des pièces coûteux et indispensable.

Considérations relatives à la conception

Quelques rares considérations de conception affectent la méthode de fabrication de votre pièce. Par exemple, le type de procédé utilisé se répercute directement sur certains facteurs comme la résolution que l'on peut obtenir. Dans certains cas, ce facteur peut limiter les détails pointus qu'il est possible de réaliser.



Dans certains cas, il peut être nécessaire de modifier votre conception en vue d'intégrer des supports internes. Le besoin de supports dépend de facteurs tels que la géométrie et la composition de la pièce. Votre fabricant numérique doit être en mesure de vous conseiller en matière de supports si le procédé choisi en nécessite.



Vous pourriez également être confronté à des questions de coût, par rapport au choix du matériau et au volume physique de la pièce. En fonction du procédé utilisé, les matières plastiques appropriées regroupent :

- ✓ ABS
- ✓ Nylon
- ✓ Polycarbonate
- ✓ Polyétheréthercétone (PEEK)
- ✓ Polyétherimide (PEI)
- ✓ Polypropylène

Les métaux adaptés comprennent :

- ✓ Aluminium
- ✓ Cobalt-chrome
- ✓ Inconel
- ✓ Acier inoxydable
- ✓ Titane

Le Chapitre 3 aborde en détail la question des matériaux, mais le tableau 4-1 résume les matières adaptées à certains procédés.

Il vous faudra prendre en compte des facteurs tels que la résistance de la pièce et sa finition quand vous choisirez le procédé et le matériau.

Tableau 4-1 Comparaison des procédés additifs

<i>Procédé</i>	<i>Résistance en psi</i>	<i>Finition (type)</i>	<i>Matériaux</i>
SLA, DLP	2 500-10 000	0,002-0,006 po. 0,051-0,152 mm	Photopolymères de type thermoplastique
FDM	5 200-9 800	0,005-0,013 po. 0,127-0,330 mm	ABS, PC, PC/ABS, PPSU, PEI
PJET	7 200-8 750	0,0006-0,0012 po. 0,015-0,030 mm	Photopolymères acryliques, photopolymères élastomères
SLS	5 300-11 300	0,004 po. 0,102 mm	Nylon, métaux
DMLS	37 700-190 000	0,0008-0,0012 po. 0,020-0,030 mm	Acier inoxydable, titane, chrome, aluminiums, Inconel

Finition après l'impression 3D

L'utilisation prévue et le procédé sélectionné peuvent constituer tous deux des facteurs importants en vue de déterminer l'adéquation d'un objet après le procédé de fabrication. Une pièce, qui reflète simplement un modèle conceptuel et qui vise à donner une idée de la taille et de la forme du produit fini, n'a besoin d'aucun traitement supplémentaire. À l'exact opposé, on peut trouver un composant métallique final, fabriqué à l'aide du procédé DMLS et qui est utilisé en aéronautique par exemple. Dans ce cas, un traitement supplémentaire comme l'anodisation peut s'avérer nécessaire afin de protéger la pièce ou un traitement thermique pour la renforcer.

Chapitre 5

Fabrication soustractive associée à l'usinage CNC

Dans ce chapitre

- ▶ Présentation de l'usinage CNC
- ▶ Procédés d'usinage
- ▶ Considérations relatives à la conception pour l'usinage
- ▶ Finition des pièces

L'usinage à commande numérique assisté par ordinateur (CNC) est un procédé soustractif employé en fabrication numérique. Au lieu de créer des pièces couche par couche, comme dans les procédés additifs, l'usinage CNC commence avec un bloc de matière massif et retire tous les copeaux inutiles.

Ce chapitre présente brièvement l'usinage CNC ; il s'intéresse aux procédés qui entrent dans cette catégorie, aborde certaines considérations à connaître en matière de conception et envisage les éventuelles opérations à appliquer lorsque l'objet est terminé.

Usinage CNC

L'usinage CNC utilise la programmation informatique pour contrôler le fonctionnement des machines-outils. Ces outils retirent du bloc d'origine, l'excédent de matière pour obtenir la pièce souhaitée.



Bien que l'usinage CNC soit souvent employé dans la fabrication traditionnelle, l'industrie de la fabrication numérique a transformé radicalement le modèle existant. Par le passé, étant donné le niveau des frais d'ingénierie exceptionnels associés à la programmation des machines CNC, ainsi que la construction

des montages d'usinage nécessaires, l'usinage CNC impliquait un retour sur investissement très long et donc des volumes de production élevés pour être rentable sur le plan économique. Les sociétés de fabrication numérique ont imaginé des mécanismes d'automatisation à la fois de la programmation et des montages d'usinage pour la plupart des pièces. Grâce à cette automatisation, les fabricants peuvent produire, dans la plupart des cas, de petites quantités de pièces usinées CNC à des prix bien plus raisonnables que par le passé.

Procédé

L'usinage CNC commence par un jeu d'instructions informatiques qui dirige le fonctionnement d'une machine. Dans l'univers de la fabrication numérique, ces instructions sont générées par des ordinateurs puissants qui analysent le modèle CAO 3D de votre pièce. Les ordinateurs spécialisés qui exécutent cette analyse recherchent également les problèmes susceptibles d'empêcher la formation correcte de la pièce. Par exemple, les conceptions sont analysées pour s'assurer qu'elles ne comprennent aucune contre-dépouille impossible à usiner. Évidemment, l'analyse tient également compte d'autres problèmes. En fonction de la géométrie de la pièce désirée, le bloc de matière peut être fixé pour l'usinage ou il peut tourner par rapport à l'outil.

Équipement

L'équipement effectivement utilisé en usinage CNC diffère en fonction de la pièce à fabriquer. Cependant, dans chaque cas, l'outillage et la pièce se déplacent l'un par rapport à l'autre. Si l'on prend un tour, la pièce tourne contre l'outil. Avec les centres de fraisage, la pièce est en général en position fixe et l'outil se déplace. Dans certains cas, ces deux types d'opérations sont nécessaires pour usiner complètement la pièce. Un tour peut notamment servir à créer une pièce cylindrique, dans laquelle un orifice fileté est ensuite percé sur le plan transversal une fois la pièce tournée.

L'installation des montages d'usinage est un élément important du procédé d'usinage CNC. Grâce à cette étape, la pièce a toujours un contact physique approprié avec les outils.



L'installation des montages d'usinage peut s'avérer coûteuse. Il vous faudra donc calculer les coûts à l'avance. Certaines sociétés de fabrication numérique comme Proto Labs n'imputent pas ces frais, ce qui peut engendrer des économies importantes.

Objectif

L'usinage CNC remplit plusieurs objectifs. En plus de la création de prototypes, ce procédé peut s'avérer très utile pour créer rapidement des pièces de production, des posages et des pièces unitaires.

Principaux procédés d'usinage

L'usinage CNC n'est pas un procédé unique ; en fait, il est possible d'utiliser différents types d'usinage en fonction des pièces à fabriquer. Dans chaque cas, les machines sont cependant contrôlées par un ordinateur afin de fabriquer avec précision la pièce nécessaire à votre conception.

C'était assez simple par le passé. Les pièces cylindriques tournaient sur des tours ; les pièces non cylindriques étaient usinées sur des centres de fraisage. Avec l'arrivée des centres d'usinage CNC, qui interpolent facilement les caractéristiques de la pièce cylindrique, la différence entre les deux procédés d'usinage s'estompe. Les choses sont devenues encore plus floues quand les tours CNC ont atteint les capacités des outils rotatifs. Les opérations réservées auparavant au service de fraisage pouvaient maintenant être réalisées entièrement sur le tour. Par conséquent, choisir la machine la mieux adaptée à la fabrication d'une pièce donnée est devenu beaucoup plus compliqué qu'auparavant.

Certaines pièces sont à l'évidence faites pour le tour. Prenez le piston d'un moteur à essence. En plus de la géométrie externe complexe et des caractéristiques internes difficiles, le rapport entre la longueur et le diamètre de la pièce implique qu'elle sera en permanence présente dans l'atelier du tourneur. En revanche, le bloc moteur accouplé au piston (avec ses grandes surfaces fraisées, ses poches détaillées et ses alésages) ne tournera jamais sur un tour, quelles que soient les capacités rotatives de l'outil.

Fraisage trois-axes

Le *fraisage trois-axes* est le premier procédé d'usinage CNC à envisager. Une machine de fraisage à trois axes déplace l'outil sur les axes X, Y et Z. Elle est facile à visualiser pour les habitués du 3D, étant donné qu'elle est décrite en termes d'axes X, Y et Z.

Le déplacement simultané de l'outil sur deux ou plusieurs axes permet de créer des formes et des découpes complexes. L'outil est maintenu perpendiculairement à une table sur laquelle la pièce est maintenue par un appareil de serrage ou un montage d'usinage.

Pour exécuter différentes activités, l'opérateur ou la machine elle-même peuvent changer les outils en fonction des différentes formes à réaliser. En plus du fraisage, ces machines peuvent percer et tarauder, tant que l'axe du trou est aligné avec l'axe Z de la machine et que le trou est accessible.

Fraisage cinq-axes

Le fraisage cinq-axes est une autre solution d'usinage. Alors que dans le fraisage 3-axes, l'outil se déplace sur les axes X, Y et Z, le fraisage 5-axes ajoute deux autres axes à cette opération.

Avec ces machines, l'outil, la pièce usinée ou les deux peuvent tourner sur des axes supplémentaires tout en se déplaçant sur l'un ou les trois des autres axes. Ainsi, l'outil ou la pièce usinée peuvent être maintenus en position ou déplacés dans des directions permettant des géométries plus complexes qu'avec une machine 3-axes.

Les pièces présentant une géométrie extrêmement complexe comme les aubes de turbine, les contre-dépouilles ou une géométrie interne complexe, sont les principaux candidats pour le fraisage cinq-axes. La nécessité d'avoir un outil rotatif sous des contre-dépouilles ou de placer des trous dans un sens donné impose d'ajouter des capacités plus complexes qu'une machine à 3 axes ne le permettrait, ou d'ajouter des opérations supplémentaires pour augmenter le travail que la machine trois axes a effectué.

Tournage

On utilise traditionnellement une machine dénommée *tour* pour faire tourner des pièces cylindriques. La pièce est fixée entre la poupée fixe et la contre-poupée du tour, puis elle tourne contre un outil fixe. L'industrie de la fabrication numérique a largement redéfini le processus de tournage. Aujourd'hui, le tournage est toujours employé pour créer des pièces cylindriques, en particulier lorsqu'elles sont longues par rapport à leur diamètre. Mais sur certaines machines plus récentes, les capacités d'un tour sont associées à celles d'une fraiseuse 3 axes avec un outil rotatif.

Si vous ne savez toujours pas quelles pièces vont sur un tour, pensez à quelques objets domestiques. Un verre de bière, par exemple, qui présente une forme lisse et régulière et une longueur qui correspond à plusieurs fois son diamètre extérieur est facile à réaliser sur un tour. Pas aussi facile sur un centre d'usinage. D'autre part, une tasse de café, avec sa poignée en relief percée d'un orifice pour le doigt, est impossible à réaliser par tournage. Dans ce cas, seule une fraiseuse peut y parvenir.

Ces haltères de 1,5 kg qui prennent la poussière dans le placard pourraient facilement être réalisés sur un tour. La zone creuse relativement large et profonde permettant d'agripper la barre avec les mains peut être réalisée sur un tour par simple rainure, une fonction difficile à obtenir avec une fraiseuse.

Une soucoupe de tasse à thé peut être réalisée sur les deux. L'interpolation des anneaux concentriques et des surfaces incurvées peut être réalisée aussi bien sur une fraiseuse que sur un tour. Cependant, il sera très certainement plus rapide de faire tourner la soucoupe, et bien plus efficace en termes d'utilisation de la matière.



Vous trouverez peut-être que les surfaces tournées sont plus lisses et donc plus rondes que leurs homologues fraisés. Les pièces fraisées peuvent présenter des marques d'outil visibles, que vous pouvez microbillier pour obtenir une finition mate et éliminer toutes les petites bavures résiduelles après le procédé d'usinage.

Considérations relatives à la conception pour la fabrication numérique

L'usinage CNC est une solution de fabrication numérique fiable, mais, comme tous les procédés de fabrication, vous devez penser à certaines considérations lors de la conception. En gardant ces considérations à l'esprit, vous pouvez réaliser les meilleures pièces possibles.



Ne négligez pas les détails. Il est facile de se concentrer sur les formes et les caractéristiques principales d'une pièce lorsque l'on réfléchit à une méthode de fabrication de type numérique. Certains détails doivent également être pris en compte quand vous cherchez à utiliser un usinage CNC pour un procédé de fabrication numérique.

Trous filetés

Les trous filetés sont souvent utilisés pour fixer des objets à d'autres composants. Ce type d'orifice exige en général une opération secondaire et implique parfois de retirer la pièce de son posage pour la changer de position. En conséquence, un grand nombre de trous peut allonger les délais d'exécution ou nécessiter l'utilisation d'un procédé de fabrication différent.



Les tout nouveaux tours utilisés par les fabricants numériques présentent souvent des capacités de fraisage. Percer un trou latéral ou fraiser une facette est tout à fait dans leurs cordes, tant que cette caractéristique est parallèle ou perpendiculaire à l'axe de la pièce. Si un trou peut être percé, le filetage approprié de l'orifice entre également dans les capacités de la machine.

Texte sur les objets

Il est courant d'ajouter le nom ou le logo d'une société, ou un numéro sur des pièces. En fonction de vos besoins, ces caractères peuvent être en relief ou gravés sur la surface de l'objet. L'ajout de texte, de logos ou de caractères spéciaux sur les pièces peut nécessiter un changement de montage ou d'outil, ce qui peut fortement allonger les temps de production. Plus important, il existe des limites concernant la largeur, la profondeur et les détails qu'il est possible de créer dans des délais raisonnables. Un petit texte pose souvent des problèmes dans le domaine de la fabrication numérique. Consultez la Figure 5-1 pour voir un exemple de texte dans un moule.

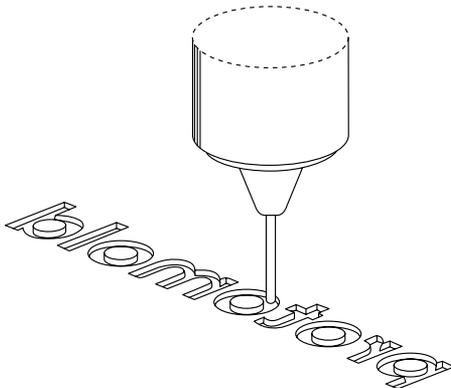


Figure 5-1 : Texte d'usinage.

Matériaux

Une gamme de matériaux convient à la fabrication numérique. En général, cette sélection couvre la gamme des différents types de plastiques jusqu'aux métaux. Lorsqu'il s'agit de métaux, ils sont classés par dureté, en fonction du métal ou de l'alliage précis choisi. L'acier, l'acier inoxydable et les super-alliages sont d'un côté, et le laiton, le cuivre, le magnésium et l'aluminium sont de l'autre.

Les métaux durs utilisés en fabrication numérique comprennent :

- ✓ Cobalt-chrome
- ✓ Inconel
- ✓ Acier inoxydable
- ✓ Acier
- ✓ Titane

Les alliages légers englobent :

- ✓ Aluminium
- ✓ Laiton
- ✓ Cuivre
- ✓ Magnésium

Les plastiques utilisés comprennent :

- ✓ Acétal
- ✓ Acrylique
- ✓ ABS (acrylonitrile butadiène styrène)
- ✓ Nylon
- ✓ Polycarbonate
- ✓ Polypropylène
- ✓ Chlorure de polyvinyle (PVC)
- ✓ Polyétheréthercétone (PEEK)
- ✓ Polyétherimide (PEI)

Finition après l'usinage

Il est courant de réaliser des opérations secondaires, en particulier avec les pièces métalliques. Un traitement thermique améliore la résistance et élimine les contraintes internes générées pendant le traitement de la matière brute et par un usinage important. Les aciers au carbone tels que le 1018 peuvent être cémentés par le biais d'une nitruration ou d'une carburation, et

la version 4140 peut facilement atteindre 50 HRC ou plus grâce à des méthodes de trempe et de revenu. L'acier 17-4 PH peut devenir très dur, comme certains aciers inoxydables de la série 400. L'inox de la série 300 ne peut être durci que par un travail à froid ou un étirage à travers une filière. Les alliages légers comme l'aluminium et le magnésium ne sont jamais durcis, bien que les contraintes puissent être libérées par cryogénéisation ou qu'ils puissent être vieillis par une légère chauffe à des températures de cuisson des gâteaux.

Le plaquage est un autre traitement couramment utilisé après l'usinage. L'aluminium est souvent anodisé, lui conférant une surface résistant aux rayures dans presque toutes les couleurs possibles. Pour une protection non décorative, un film chimique ou un chromage est une bonne solution. Ces méthodes fonctionnent également sur le magnésium, bien que différents produits chimiques soient nécessaires. Le cuivre et le laiton se décolorent lorsqu'ils sont exposés à l'oxygène. Ainsi, le dépôt autocatalytique de nickel ou de chrome peut être appliqué si une protection est nécessaire. L'acier inoxydable et les super-alliages n'ont besoin d'aucune protection, mais on applique couramment une couche d'oxyde noire à la surface de l'acier ou un dépôt de nickel, de cadmium, de zinc ou d'autres matières. La peinture est également appréciée, mais le microbillage, ou d'autres formes de préparation abrasive, est recommandé afin d'obtenir une surface propre antirouille avant l'application de la peinture.



Un traitement peut également être nécessaire pour les objets usinés en plastique, mais les options disponibles après la fabrication sont plus limitées que pour les pièces métalliques.



Le microbillage, comme son nom l'indique, utilise un jet de particules à haute pression, comme des billes de verre, pour lisser les arêtes vives et éliminer les bavures. Le polissage au tonneau fait appel à un petit média en céramique ou en plastique dans un bol vibreur pour obtenir le même effet. Ces procédés peuvent nécessiter quelques heures à une semaine de travail ou plus, allongeant les délais de livraison, en fonction de la quantité commandée et de la configuration de l'objet. Dans la plupart des cas, les clients peuvent obtenir tout de suite après une pièce plaquée, peinte ou anodisée.



La plupart de ces procédés de post-production peuvent également être appliqués aux pièces produites par le biais des techniques de fabrication additive abordées dans le chapitre 4.

Chapitre 6

Fabrication de pièces moulées par injection

Dans ce chapitre

- ▶ Moulage par injection
 - ▶ Procédés de moulage
 - ▶ Surmoulage et surmoulage d'inserts
 - ▶ Règle de conception
 - ▶ Variations du volume de production demandé
-

La plupart des objets en plastique sont créés par le biais d'un procédé dénommé *moulage par injection ou plus simplement injection*, qui consiste à injecter un plastique fondu dans l'empreinte d'un outil dénommé moule. Toutefois, les objets en plastique ne sont pas les seuls à pouvoir être fabriqués à l'aide du moulage par injection. En fait, la plupart des objets injectés sont fabriqués en caoutchouc silicone liquide ou en métal. Si vous savez comment fonctionne le moulage par injection, la conception de vos pièces sera plus facile. Ce chapitre vous aide à comprendre ce procédé.

Présentation de l'injection

L'injection est facile à décrire, mais, comme toutes les méthodes de fabrication, les apparences peuvent être trompeuses. Une science considérable se cache derrière ce procédé car vous devez connaître certains facteurs : comme la façon dont la matière s'écoule dans le moule, les changements de dimensions et de formes quand la matière se solidifie dans le moule et les règles de conception qui permettent d'améliorer la moulabilité d'une pièce.

Procédé du moulage par injection

L'injection peut être divisée en quelques étapes basiques :

1. **Faire fondre (liquéfier) le matériau.**
2. **Injecter le matériau fondu dans le moule.**
3. **Laisser refroidir la pièce moulée.**
4. **Éjecter la pièce du moule.**
5. **En fonction du matériau utilisé, réaliser des opérations de traitement supplémentaires pour créer une pièce finie (voir « Moulage par injection de métal » plus loin dans ce chapitre).**

Équipement utilisé pour le moulage par injection

Bien que l'équipement diffère en fonction du procédé d'injection utilisé, les presses sont similaires, quel que soit ce procédé. Dans la presse, vous avez un réservoir de matière, un moyen de chauffer ce matériau pour le ramollir afin qu'il coule, un système à haute pression pour transférer la matière dans le moule, et le moule lui-même.



En injection, les termes *moule* et *outil* sont souvent utilisés comme synonymes car le moule crée la forme finale du produit fini. Le type de matériau utilisé pour le moule est l'une des différences qui existe entre l'injection traditionnelle et l'injection souvent employée en fabrication numérique rapide. Par tradition, les moules sont fabriqués en acier, conçus pour une production grande série et chers à produire. Les sociétés de fabrication numérique comme Proto Labs fabriquent en général des moules en aluminium plutôt qu'en acier. En raison de ce changement, les moules sont en général conçus pour de petites séries de production, ils peuvent parfois être modifiés pour intégrer des modifications mineures et sont moins chers à produire. De plus, ces fabricants numériques peuvent confectionner des moules bien plus rapidement, ce qui réduit très fortement les délais de production de pièces sur mesure injectées.

Objectif de l'injection

L'injection permet de produire un volume accru de pièces identiques, par opposition aux autres procédés de fabrication comme l'impression 3D ou le fraisage qui sont utilisés pour des petites quantités. Dans la plupart des cas (mais pas toujours), des prototypes sont tout d'abord fabriqués à l'aide de l'un de ces autres procédés. L'injection permet à la pièce approuvée d'être fabriquée à grande échelle et à des coûts moins élevés.

Principaux procédés de moulage par injection

Le moulage par injection englobe en réalité plusieurs procédés différents, conçus pour accepter différents types de matériaux.

Moulage par injection de matières thermoplastiques

En tant que procédé de base, l'injection des matières thermoplastiques offre une sélection incroyable de matériaux. Les pièces fabriquées à l'aide de ce procédé sont si courantes qu'il est impossible de ne pas les voir au quotidien.

Les granulés de résine (et parfois un colorant ou d'autres additifs) sont envoyés depuis une trémie vers un cylindre où ils fondent pour être injectés dans le moule. Lorsque ce mélange a totalement fondu et que les additifs sont mélangés à la résine, une vanne est ouverte et le plastique est injecté dans l'empreinte du moule. De multiples pièces peuvent être fabriquées en même temps dans un seul moule comprenant de multiples empreintes (dénommés *moules multi-empreinte* si toutes les pièces du moule sont identiques et *moules familles* si les pièces sont différentes).

Pour de plus amples informations sur l'injection de matières thermoplastiques, vous pouvez consulter le livre *La conception des pièces moulées par injection pour les Nuls* (John Wiley & Sons, Inc.).

Moulage de caoutchouc silicone liquide

Les pièces en caoutchouc silicone liquide (CSL ou LSR pour Liquid Silicon Rubber) sont moulées en mélangeant une matière à base de silicone avec un catalyseur et en injectant ce mélange

dans un moule chauffé. Dans le moule, la chaleur accélère la réaction chimique qui solidifie la pièce. Avant la mise en oeuvre, le matériau présente une viscosité très basse, similaire à celle de l'eau. Après la mise en oeuvre, la matière présente une dureté qui va en général de 20 à 80 environ sur l'échelle Shore A.

Le CSL peut supporter des températures constantes allant jusqu'à 316°C et des températures intermittentes de 371°C. Pour les personnes habituées aux thermoplastiques ordinaires, il peut sembler absurde qu'une matière aussi caoutchouteuse puisse être utilisée dans des applications à hautes températures, mais le CSL est en fait conçu pour la chaleur. Contrairement aux thermoplastiques, qui ramollissent sous l'effet de la chaleur, les matières thermodurcissables comme le CSL sont créées sous une forte chaleur et, sous leurs différentes formes, peuvent facilement supporter des températures qui feraient fondre les thermoplastiques. Ils conviennent donc à un éventail d'applications industrielles et automobiles à haute température et d'opérations de stérilisation à température élevée de produits médicaux.

En plus des températures élevées, le CSL peut en général supporter des températures basses, bien en-dessous de 0°C, tout en conservant sa souplesse. Le degré de souplesse exact varie en fonction du composé, mais il peut être très élevé. Différents types de CSL sont disponibles, dans une large palette de couleurs, ainsi que dans des qualités adaptées aux applications optique et médical.



Le CSL profite d'excellentes propriétés thermiques, électriques et de résistance chimique, mais il peut être compromis par certains solvants, comme l'essence automobile ou les essences minérales. Cependant, il existe des matières CSL spéciales, comme les fluoro-silicones qui résistent aux carburants.

Le CSL est également approuvé pour le contact avec la peau dans les applications médicales. Sa stabilité l'empêche d'affecter la peau ou d'être affecté, en retour, par la peau. Certaines qualités de CSL, lorsqu'elles sont associées à l'environnement de fabrication approprié, peuvent servir dans des applications implantables. Ses propriétés hydrofuges (résistant à l'eau) en font la matière parfaite pour les applications de traitement de l'eau. Et le fait qu'il soit ignifuge et qu'il n'émette aucune toxine ou halogène lors de sa combustion permet de l'utiliser dans un éventail d'applications de sécurité.

Les pièces moulées en CSL continuent à se contracter après l'éjection du moule lorsqu'elles refroidissent. En raison de la

souplesse de ce matériau, différentes parties d'une pièce finie peuvent adhérer à chaque moitié du moule et rester accrochées à l'intérieur après son ouverture. Ainsi, les pièces en CSL sont en général éjectées des moules à la main.

Moulage par injection de métal

Le *moulage par injection de métal* (MIM) est un procédé de fabrication capable de produire en grandes quantités des géométries complexes en métal. Les pièces MIM ont une bonne résistance, d'excellents états de surface avec des propriétés mécaniques similaires aux matériaux corroyés et elles peuvent avoir des formes complexes.

Une gamme de métaux en poudre est utilisée pour le procédé de MIM. L'acier inoxydable, le matériau le plus courant, est employé dans un peu moins de la moitié des applications MIM. L'acier inoxydable 316L est fréquemment utilisé en raison de sa solidité et de sa résistance à la corrosion. L'acier inoxydable 17-4 PH est très résistant grâce au nickel, au chrome et au cuivre utilisés pour obtenir différents degrés de solidité et de résistance à la corrosion. Les aciers à basse teneur en alliages sont le deuxième groupe le plus utilisé dans le MIM, améliorés par des alliages fer-nickel et des métaux spéciaux, comme le titane et le tungstène. Bien qu'il soit disponible, l'aluminium est rarement utilisé. En effet, l'aluminium étant un alliage léger, d'autres procédés métallurgiques, comme l'usinage ou la fonderie, sont plus souvent utilisés. Pour les métaux durs tels que l'acier inoxydable ou les aciers au carbone à faible teneur en alliages, l'usinage et la fonderie posent davantage de problèmes. Le MIM est donc mieux adapté.



Les pièces du moulage par injection de métal imposent d'utiliser des points d'injection relativement plus grands par rapport au procédé d'injection de plastique. En effet, la matière injectée contient davantage de métal. Les moules destinés au procédé MIM sont quelque peu polis pour éviter que les pièces n'adhèrent au moule au moment de l'éjection.

Après le moulage, des étapes supplémentaires s'imposent pour le procédé MIM, notamment le déliantage et le frittage qui doivent être prévus lors de la conception. La pièce sort du moule à l'état *vert*, ce qui signifie qu'elle est assez fragile et qu'elle contient toujours un agent liant. Les pièces vertes doivent être traitées afin d'éliminer la majeure partie du liant et de créer une pièce à l'état *brun*. La pièce brune doit ensuite être chauffée (frittée) dans un four afin d'éliminer le liant résiduel et de former une pièce métallique à pleine densité.

Une pièce MIM se contracte d'environ 20 pour-cent pendant le frittage. Par conséquent, les moules MIM doivent être surdimensionnés. De plus, la pièce MIM réagit à la gravité pendant le procédé de frittage. La majeure partie du liant polymère est éliminé pendant le frittage, laissant juste assez de résidu pour maintenir l'adhérence entre les particules métalliques très fines pour le four de frittage. Pendant l'étape de frittage, la pièce ramollit quand les poudres métalliques fondent partiellement et se lient. Lors du retrait de la pièce, une partie glisse sur la surface de soutien pour atteindre sa position finale. Une pièce présentant une symétrie radiale parfaite va se contracter de manière uniforme vers le centre. Les bords extérieurs enregistreront donc le déplacement le plus important, mais le centre de la masse ne bougera absolument pas, restant au même endroit pendant le procédé. Les pièces doivent être conçues avec un support approprié pendant le frittage afin de conserver la forme souhaitée. Les pièces les plus faciles à fritter présentent une surface coplanaire commune, qui peut reposer à plat sur un substrat en céramique ou un support d'enfournement. Lorsque des éléments non supportés sont présents, il est nécessaire d'ajouter un support par le biais de gabarits de montage spéciaux pour minimiser ou éviter une déformation de la pièce.

Moulage sous pression

Le *moulage sous pression* est un procédé de fabrication de pièces métalliques à la géométrie complexe, qui consiste à injecter à haute pression de l'aluminium ou du zinc fondu dans des moules réutilisables (dénommés coquilles) fabriqués en acier à outils de haute qualité. Des lingots d'aluminium sont par exemple fondus et maintenus dans cet état dans un four, avant d'être déversés dans une chambre de remplissage et injectés sous pression dans un moule pour fabriquer une pièce de fonderie. Les machines de moulage sous haute pression génèrent des pressions d'injection élevées lorsqu'elles maintiennent les deux moitiés du moule ensemble pour résister à la pression de la matière injectée, permettant la production de pièces denses.



Contrairement au moulage par injection de métal, le moulage sous pression n'utilise aucun liant. Il s'agit juste d'un matériau fondu, comme le zinc ou l'aluminium, qui est introduit sous pression dans l'empreinte. Les pièces résultantes ne sont pas aussi résistantes que celles fabriquées par usinage CNC avec des blocs du même matériau, mais elles ont toujours de nombreuses

utilisations et des traitements supplémentaires peuvent leur être appliqués.

Thixomoulage de magnésium

Le *thixomoulage de magnésium* permet de mouler des pièces en magnésium à pleine densité, similaires à celles produites en moulage sous pression, grâce à une presse de moulage par injection. En thixomoulage, le magnésium en granulés est chauffé dans le cylindre de la presse. Une vis sans fin cisaille le matériau jusqu'à un état *thixotrope*, et ce matériau est injecté sous pression dans un moule en acier, à une vitesse et une pression élevées, pour former la pièce. Dans l'état thixotrope, la viscosité du matériau diminue lorsqu'il est soumis aux forces de cisaillement découlant du procédé d'injection. La matière à basse viscosité peut remplir des moules plus complexes, avec des parois plus fines, par rapport au procédé de moulage sous pression. Le thixomoulage de magnésium permet d'obtenir des pièces résistantes et légères, et peuvent avoir des parois fines.

Contrairement à l'outillage en aluminium utilisé dans le moulage par injection rapide du plastique, un outil de thixomoulage est fabriqué en acier en combinant le fraisage CNC et l'électro-érosion CNC (EDM pour *electrical-discharge machining*).



La conception des points d'injection et des événements est vraiment critique pour la formation correcte de la pièce. La pièce doit être formée uniformément et sans turbulence excessive, et une bonne partie du bord d'attaque du matériau est poussée entièrement à travers la pièce jusqu'au système d'évent. Les pièces remplissent rapidement le moule et se solidifient vite. Après solidification, les pièces sont éjectées de la presse et le cycle se répète.

Après éjection, les pièces sont chargées individuellement dans un système de décarottage. Pour accélérer le thixomoulage, ce système de décarottage est composé d'un ou plusieurs montages destinés à maintenir la pièce dans une machine de fraisage CNC. Le système de décarottage élimine les traces du point d'injection et des événements, et applique toutes les opérations d'usinage secondaires qui ne peuvent pas être intégrées dans le procédé de moulage (par exemple, des filetages internes).



Le magnésium est souvent employé pour réduire le poids des pièces dans les applications aérospatiales et automobiles.

Surmoulage et surmoulage d'inserts

Parfois, les pièces injectées peuvent être surmoulées ou comporter des inserts, élargissant ainsi leurs domaines d'utilisation.

Surmoulage

Dans le *surmoulage*, une pièce injectée est placée dans un second moule et un deuxième matériau est ajouté. Si vous avez déjà utilisé une brosse à dent dont le manche en plastique était doté d'une prise caoutchoutée, vous avez déjà vu une pièce surmoulée. Dans une production de grandes séries, le surmoulage peut être réalisé à l'aide d'une presse spéciale (une presse bi-injection) capable d'injecter deux types de matériaux dans le moule.

Le surmoulage est employé dans de nombreuses applications (souvent pour les objets à prise manuelle), y compris des appareils médicaux, des pièces avec des manches à prise souple comme les pinceaux et différents types de boutons. En fonction des besoins, le surmoulage peut être réalisé avec des plastiques durs ou mous. En général, une matière molle est utilisée pour améliorer la prise d'un objet, tandis qu'une matière dure peut servir à renforcer ou à protéger une pièce. Le surmoulage est également utilisé pour créer un joint intégré sur une pièce qui sera utilisée dans un ensemble d'autres composants en plastique.



Étant donné que le surmoulage élimine l'étape de liaison, autrement nécessaire pour fixer ensemble des pièces individuelles, ce procédé réduit souvent le coût de fabrication global de la pièce. En outre, les pièces surmoulées sont en général plus résistantes que les pièces composites fabriquées par la liaison de plusieurs pièces avec un adhésif. Le surmoulage assure également un alignement correct du second matériau.

Surmoulage d'inserts

Au lieu d'ajouter un autre élément sur la partie externe d'une pièce moulée, le surmoulage d'insert permet d'intégrer un élément à l'intérieur de la pièce moulée. Un bouton de poignée en plastique est la meilleure illustration de surmoulage d'insert métallique qui se fixe sur un arbre. Un insert métallique fileté illustre également ce procédé, permettant à la pièce d'être vissée sur un support.



En plus d'une résistance souvent supérieure aux autres types de pièces, les pièces comportant des inserts peuvent être moins chères à fabriquer en raison de l'absence totale d'adhésifs ou d'autres fixations.

Règles de conception

Le moulage par injection implique des règles de conception qui lui sont propres et que vous devez connaître. J'aborde ces questions ci-après.

Dépouille

Les pièces injectées doivent être retirées du moule lorsque le procédé de moulage est terminé. Mais l'éjection de la pièce peut s'avérer difficile sans une conception appropriée. Une pièce possédant par exemple des parois droites et profondes a tendance à adhérer au moule au lieu de s'en éjecter facilement. Voilà pourquoi les glaçons ne sont pas vraiment des cubes ; s'ils l'étaient, ils ne sortiraient pas du bac à glaçons.

Pour faciliter l'éjection des pièces moulées, on peut notamment les concevoir en intégrant une *dépouille* sur les côtés. La dépouille facilite l'éjection de la pièce du moule et est particulièrement importante. La Figure 6-1 illustre une dépouille en moulage par injection.

Dépouille

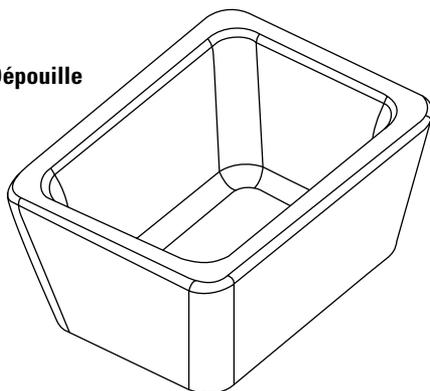


Figure 6-1 : Exemple de dépouille en moulage par injection.

L'angle d'inclinaison nécessaire pour permettre d'éjecter facilement les pièces du moule varie en fonction du matériau utilisé, du grainage de la surface du moule et de la profondeur de la pièce. Les pièces plus lisses ont besoin par exemple d'un angle moins important que celles ayant un grainage élevé.

Épaisseur de paroi

Alors que, dans la plupart des procédés d'injection, les pièces produites sont plus ou moins creuses, les parois doivent être fabriquées afin que les faces extérieures et intérieures servent de supports. Certaines limites existent concernant la finesse de ces parois, qui dépend du matériau et de la hauteur de la paroi. Si la finesse est trop importante, la matière pourrait commencer à se solidifier avant que la paroi ne soit correctement remplie. Des trous peuvent ainsi apparaître et des parties du moule pourraient même ne pas être remplies du tout. Si les parois sont trop épaisses, elles peuvent déformer la pièce ou des faces qui sont situées à des endroits critiques.

Donc, si vous voulez modifier l'épaisseur des parois, assurez-vous que les transitions sont douces pour limiter les contraintes sur les parois et minimiser les différences de retrait lors du refroidissement du matériau. Consultez la Figure 6-2. Les coins à bords vifs provoquent également des zones de concentration des contraintes, qui peuvent devenir des points de défaillance de la pièce.

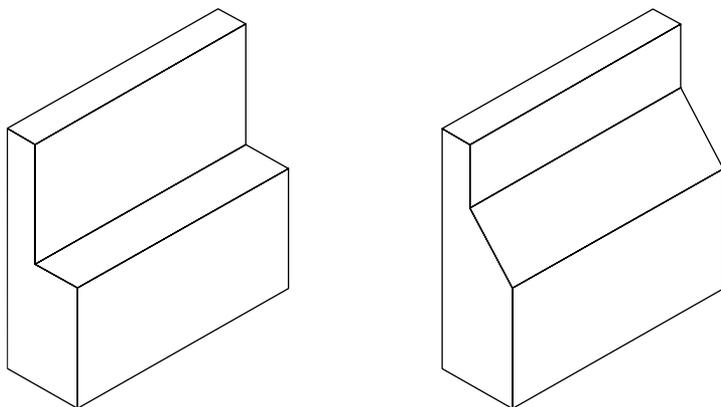


Figure 6-2 : Le changement d'épaisseur d'une face doit être réalisé avec une transition.



Tous les matériaux utilisés en injection se contractent en refroidissant. Étant donné que les pièces refroidissent de l'extérieur vers l'intérieur, si une partie de votre pièce contient un volume de matériau particulièrement important, le processus de refroidissement pourrait entraîner une déformation de la surface extérieure qui s'enfoncerait, donnant l'impression qu'une partie de la pièce est affaissée ou retassée. Une épaisseur de parois constante peut améliorer la qualité et réduire les problèmes de retassures.

Rayons d'angles

Dans une pièce en plastique, les coins intérieurs à bords vifs entraînent une concentration des contraintes, susceptible de provoquer des défaillances. Une pièce moulée par injection et correctement conçue possède un rayon d'angle à chaque coin intérieur. Le fraisage CNC peut également laisser un rayon d'angle au niveau des coins extérieurs de la pièce. La Figure 6-3 illustre les rayons d'angles.



La longueur du rayon d'angle est importante. Un rayon intérieur équivalent à l'épaisseur de la paroi à laquelle il est rattaché peut s'avérer utile. Une épaisseur de paroi uniforme facilite l'application de cette règle élémentaire.

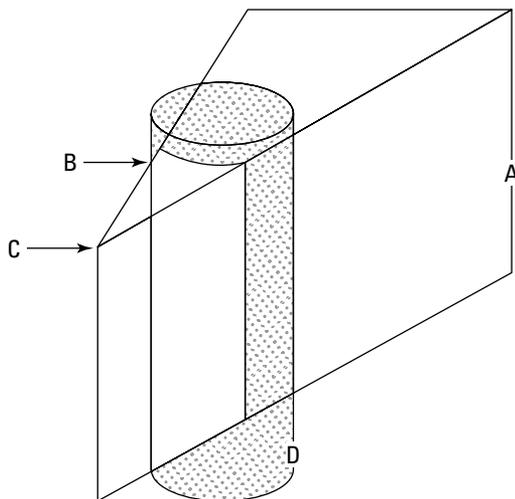


Figure 6-3 : Les rayons d'angles sur une pièce moulée par injection.

Consultez le document

<http://www.protolabs.fr/injection-molding/fundamentals-of-molding> pour obtenir des informations supplémentaires sur la conception des pièces pour le moulage par injection.

Gestion du moulage par injection en fonction de l'évolution de la demande

En théorie, les bons produits progressent en termes de développement, de part de marché et, dans la plupart des cas, de volumes de fabrication. Pour certaines sociétés, la production de petites et moyennes séries (quelques dizaines de milliers) suffit tout au long du cycle de vie de leurs produits. D'autres auront besoin d'un fabricant de produits grande série (et également de moules acier) afin d'atteindre les capacités de production nécessaires à satisfaire la demande du marché. Lorsqu'un produit finit par atteindre le pic de son cycle de vie, la descente du sommet peut être tout aussi difficile à gérer. Au lieu d'investir aveuglément dans une fabrication à grande échelle, entraînant des dépenses de stocks élevées, on a souvent recours à une fabrication à la demande ou juste-à-temps (JAT) lors du retour à une production de petites séries pendant la période de transition jusqu'à l'obsolescence.

La trajectoire d'un produit ne se traduit pas nécessairement par une courbe qui grimpe régulièrement pour finir par redescendre. Qu'elle soit imprévisible ou clairement envisagée, cette évolution comprend des pics, des vallées et des plateaux qu'il faut négocier. Une collaboration avec des fabricants fiables et une utilisation appropriée de leurs capacités d'injection peuvent vous permettre de rencontrer le succès.

Chapitre 7

Dix raisons de faire appel à Proto Labs

Dans ce chapitre

- ▶ Vos besoins satisfaits rapidement
- ▶ Une meilleure technologie
- ▶ Coûts et difficultés de conception
- ▶ Large sélection de matériaux
- ▶ Collaboration avec de véritables ingénieurs
- ▶ Obtenir les services de fabrication nécessaires
- ▶ Accès global d'un seul clic
- ▶ Mise à l'échelle en fonction de vos besoins
- ▶ Des ressources à explorer
- ▶ Production de qualité supérieure

Ce chapitre vous donne dix bonnes raisons de travailler avec le bon fabricant numérique.

Fabrication rapide

De nos jours, la concurrence vous oblige à réagir très rapidement. Les semaines, voire les mois, passés à attendre la production de vos pièces peuvent vous empêcher de commercialiser rapidement votre produit et de récolter la part de marché qui vous revient.

Proto Labs peut fabriquer rapidement les pièces dont vous avez besoin pour commercialiser votre produit bien plus vite, par rapport aux procédés de fabrication traditionnels. Dans la plupart des cas, grâce à votre modèle CAO 3D, Proto Labs peut donner corps à votre idée en quelques jours seulement. Ce procédé est illustré à la Figure 7-1. Par la suite, après avoir inspecté, vérifié et éventuellement modifié votre concept, vous pouvez passer à une production de petites séries grâce à un procédé comme le moulage par injection.



Figure 7-1 : Développement classique d'un prototype vers la production.

Ce passage rapide du prototype à la production pourrait vous permettre de commercialiser votre produit avant la concurrence.



Atouts de Proto Labs :

- ✓ Expédition de vos pièces moulées par injection dans un délai de 1 à 15 jours
- ✓ Expédition de vos pièces usinées CNC le jour même du placement de la commande
- ✓ Expédition de vos pièces imprimées en 3D dans un délai de 1 à 3 jours

Technologie avancée

La fabrication numérique a considérablement évolué au cours des dix dernières années, en grande partie grâce à la technologie informatique. Quand un modèle CAO 3D est téléchargé chez Proto Labs, des devis interactifs vous sont envoyés presque immédiatement. Quand votre pièce est prête pour la fabrication, des instructions numériques sont envoyées à des machines automatisées qui commencent à la fabriquer.

Cette interaction informatique repose sur un logiciel complexe qui tourne sur de grosses puissances de calcul, permettant d'alimenter à la fois le système de création des devis et la fabrication. En faisant appel à une société qui adopte les avancées technologiques dans les domaines de l'automatisation et de la fabrication, vous obtiendrez de meilleurs produits, plus rapidement.



Les systèmes informatiques puissants, dédiés et sophistiqués, qui permettent d'analyser rapidement vos modèles CAO 3D, représentent l'un des grands atouts de Proto Labs. Ces systèmes sont spécifiquement conçus pour générer rapidement des résultats.

Devis interactif automatisé

Lorsque vous téléchargez votre modèle CAO 3D chez Proto Labs, nos systèmes déterminent rapidement le coût de production des pièces et effectuent une étude de faisabilité. Non seulement vous connaîtrez le prix de fabrication de vos pièces en fonction des différents procédés, matériaux et volumes de production, mais cette analyse mettra en évidence les problèmes potentiels de votre conception avant même que la fabrication réelle ne commence.



Étant donné que Proto Labs peut faire appel à différents procédés pour produire des pièces, vous pouvez déterminer celui le mieux adapté à vos besoins. En général, vous recevez un devis automatisé, accompagné des informations tarifaires et de l'étude de faisabilité dans les 24 heures qui suivent le téléchargement de votre modèle CAO 3D. Dans certains cas, Proto Labs vous propose même une révision de votre modèle CAO, en intégrant les changements de conception, que vous pouvez choisir d'utiliser ou non.

Gamme de matériaux

Les matériaux utilisés dépendent des pièces. En fait, une même pièce peut nécessiter l'utilisation de matières différentes entre le prototype et la pièce de production. Vous avez besoin d'un partenaire qui possède une gamme de matières et des capacités de conseil afin d'utiliser le matériau le mieux adapté à un procédé de fabrication donné.

Comme précisé dans le chapitre 3, les matériaux employés en fabrication numérique vont des plastiques et silicones liquides aux métaux. Certains de ces matériaux s'accordent spécifiquement à un procédé de fabrication donné. D'autres peuvent cependant être utilisés dans plusieurs procédés (bien que sous des formes légèrement différentes).

Expertise technique en direct

Aucun livre ou document explicatif ne peut remplacer l'expérience d'un expert ou d'un professionnel. Vous pouvez suivre des lignes directrices, mais si vous n'avez aucune expérience en fabrication numérique, vous pourriez appliquer les mauvaises consignes à votre conception.

Vous devez travailler avec des personnes capables de vous aider à analyser votre conception et vos besoins. Les experts peuvent vous communiquer des informations qui vous ouvriront de nouveaux horizons concernant les règles qui conviennent à votre situation spécifique. Alors que le logiciel propriétaire de Proto Labs conçoit la majeure partie de l'analyse initiale de la conception, nos experts peuvent accompagner votre conception jusqu'à la phase de fabrication.



Même si vous avez de l'expérience dans ce domaine, les professionnels de Proto Labs peuvent vous donner une nouvelle perspective sur votre situation et vous aider à jeter un regard nouveau sur votre projet. Les procédés de conception associés à la fabrication numérique et la disponibilité des matériaux évoluent constamment. Les personnes qui sont plongées en permanence dans ce domaine vous seront indispensables.

Suite de services de fabrication

Au fil du développement, les résultats de la production sont souvent plus satisfaisants lorsque la majeure partie de la fabrication peut être gérée au même endroit : une seule société qui vous permet de concrétiser une idée, du concept jusqu'à la fabrication de milliers de pièces en quelques semaines.



Cherchez un fabricant qui possède en interne des procédés de fabrication multiples comme l'injection, l'usinage et l'impression 3D, car chaque procédé a des objectifs bien distincts. Un fabricant vous simplifie grandement la tâche quand vous passez du premier prototype à la production de petites séries qui comble le fossé vers la fabrication grande série.

Chez Proto Labs, la polyvalence des procédés de fabrication vous permet de fabriquer numériquement la majorité, voire la totalité, de vos modèles au même endroit. Et si, par la suite, vous passez à un autre fabricant pour la production série de centaines de milliers de pièces, les conceptions nécessaires pour vos pièces seront prêtes.

Envergure mondiale

Concernant les personnes en quête de capacités de fabrication numérique en dehors des États-Unis, il est important de choisir une société fiable qui possède une envergure mondiale. Proto Labs expédie non seulement des pièces vers la plupart des pays du monde, mais possède également des installations de production en Angleterre et au Japon pour satisfaire sa clientèle internationale.

Échelle de production

Un fabricant doté de centaines de machines et de presses qui fonctionnent en permanence, de jour comme de nuit, vous permet d'éviter des retards découlant des problèmes de capacités. Cet avantage permet à des sociétés telles que Proto Labs de livrer vos pièces en quelques jours, si nécessaire. Si votre projet implique la fabrication simultanée de pièces multiples, des installations plus grandes peuvent également concevoir ces pièces en parallèle pour accélérer le processus de production.



Proto Labs peut fabriquer les pièces en fonction de vos besoins. Au cours du cycle de vie d'un produit, il peut s'avérer insensé d'entasser de grands stocks de pièces qui pourraient simplement devenir inutiles. Grâce à une production de petites séries à la demande, vous pouvez éviter les ruptures de production sans avoir à bloquer un capital considérable dans un stock excessif.

Pièces de qualité

Rien n'est plus dommageable pour un produit que les défauts de fabrication. Vous n'auriez pas une très haute opinion d'un smartphone moderne dont le boîtier arrière ne cesserait de tomber ou d'une voiture de luxe dont les sièges seraient conçus avec des matériaux bas de gamme.

Vous avez besoin d'un partenaire de fabrication numérique comme Proto Labs qui fabrique non seulement des prototypes de haute qualité, mais également des pièces de production de qualité. La première impression est essentielle. Votre produit ne peut pas faire mauvaise impression auprès du client à cause de problèmes de qualité.

Vastes ressources



Trouvez un fabricant numérique désireux d'investir dans la création d'une bibliothèque de documents éducatifs à l'intention de ses clients. Proto Labs a établi une longue liste de contenus et de documents gratuits à l'intention des concepteurs et ingénieurs afin qu'ils conçoivent les meilleurs produits possibles. Ces ressources comprennent les suivantes :

- ✓ Aides à la conception physique, qui expliquent le moulage par injection et les matières thermoplastiques
- ✓ Exposés techniques détaillés, qui abordent des sujets tels que l'impression 3D, le moulage du silicone (CSL), le MIM et autres procédés complexes
- ✓ Conseils de conception, qui abordent les différents éléments de conception concernant la fabrication additive, l'usinage et le moulage
- ✓ Numéros de journaux publiés régulièrement, qui couvrent les tendances de l'industrie, les avancées en matière de fabrication, et bien d'autres sujets
- ✓ Études de cas, qui suivent le développement des produits au sein de chaque industrie
- ✓ Livres *Pour les Nuls* complets, qui peuvent servir de plans directeurs pour la fabrication numérique

Glossaire

Voici une courte liste des termes industriels qui peuvent s'avérer utiles pour votre projet.

adhérence : problème de moulage se produisant au stade de l'éjection lorsqu'une pièce reste coincée dans une des moitiés du moule et qu'elle est difficile à extraire. Ce problème se produit souvent quand la pièce n'est pas conçue avec une dépouille suffisante.

Arrondi/rayon : bord ou arête qui a été arrondi.

biseau : arête plate et tronquée (aussi appelée *chanfrein*).

buse presse : accessoire conique placé à l'extrémité du cylindre d'une presse d'injection où la matière entre dans le moule.

CAO : conception assistée par ordinateur.

chanfrein : arête plate et tronquée (aussi appelée *biseau*).

Congé : surface incurvée au point de raccordement d'une nervure et d'une paroi, destinée à faciliter l'écoulement de la matière et à éliminer la concentration des contraintes mécaniques dans la pièce finie.

contre-dépouille : partie de la pièce qui crée une interférence entre la pièce et une partie du moule. Il pourra s'agir par exemple d'un trou perpendiculaire au sens d'éjection, percé dans le côté d'une pièce. Une contre-dépouille rend impossible l'éjection de la pièce ou l'ouverture du moule, ou les deux.

CSL : caoutchouc silicone liquide.

déformation : courbure ou déformation d'une pièce qui se produit pendant son refroidissement du fait que toutes les parties de la pièce ne refroidissent pas et ne se contractent pas à la même vitesse. Les pièces produites en matières renforcées sont aussi sujettes au gauchissement en raison de l'orientation des fibres.

La matière de charge et la matière de base se contractent à des vitesses différentes, et l'alignement des fibres peut introduire des contraintes anisotropes.

déliantage catalytique : procédé d'élimination du liant présent dans une pièce verte (moulée) en utilisant un catalyseur vaporisé, ce qui permet d'obtenir une pièce brune.

dépouille : inclinaison appliquée aux faces d'une pièce injectée pour éviter qu'elles ne soient parallèles au sens d'ouverture du moule. Elle permet d'empêcher que la pièce ne soit endommagée en frottant contre le moule lors de son éjection.

duromètre : mesure de la dureté d'une matière plastique. Elle est mesurée sur une échelle numérique allant de la valeur la plus basse (c.-à-d. la moins dure) à la plus élevée (c.-à-d. la plus dure). L'une de ces échelles est Shore A.

éjection : dernier stade du procédé d'injection pendant lequel la pièce terminée est démoulée à l'aide des éjecteurs ou d'autres mécanismes d'éjection.

épaisseur de couche : l'épaisseur précise d'une seule couche additive, qui peut ne mesurer que quelques microns. Souvent, les pièces imprimées en 3D comprennent des milliers de couches.

évent : très petite ouverture aménagée dans l'empreinte d'un moule (ex. 2/100 à 1/10 mm), généralement au niveau de la surface de fermeture ou via un éjecteur, utilisée pour permettre à l'air de s'échapper du moule pendant l'injection de la matière.

fabrication additive / impression 3D : termes couramment employés comme synonymes, la fabrication additive ou l'impression 3D implique un modèle CAO ou le scannage d'un objet qui est reproduit, couche par couche, sous forme d'objet tridimensionnel physique. La stéréolithographie, le frittage laser sélectif, la modélisation par dépôt de fil (FDM) et le frittage laser de métal sont quelques-uns des procédés additifs employés.

feedstock ou charge d'alimentation : la matière première utilisée pour le moulage par injection de métal, qui est composée de poudre métallique combinée à un liant. Le feedstock du moulage par injection de métal correspond à la matière du moulage par injection.

finition immédiate : la forme finale désirée d'une pièce ; ou une forme qui ne nécessite aucune opération supplémentaire avant l'utilisation.

finition : traitement de surface particulier appliqué à certaines ou à toutes les faces de la pièce. Ce traitement peut aller d'une finition lisse et polie à une finition fortement grainée qui pourra masquer des imperfections de la surface et créer une pièce plus agréable à regarder ou à manipuler.

fraise : outil de coupe utilisé en usinage CNC et autres procédés de fraisage.

frittage laser de métal ou DMLS : le DMLS (*direct metal laser sintering*) fait appel à un système de laser pour fondre un métal sous forme de poudre, qui se solidifie ensuite en refroidissant. Après chaque tranche, un rouleau dépose une nouvelle couche de poudre sur le lit, et l'étape se répète jusqu'à l'obtention de la pièce finale.

frittage sélectif laser : pendant le procédé SLS (*selective laser sintering*), un laser CO₂ chauffe un lit de matière thermoplastique sous forme de poudre et fusionne la poudre pour créer un solide. Après chaque couche, un rouleau dépose une nouvelle couche de poudre sur le lit et l'étape est répétée.

frittage : le chauffage et la contraction d'une pièce MIM dans un four spécial. Les pièces MIM sont frittées à des températures presque assez élevées pour faire fondre immédiatement la pièce métallique complète. À ces températures, les surfaces des particules métalliques adhèrent les unes aux autres, permettant d'obtenir une pièce finale ayant une pleine densité de 96 à 99 pour-cent.

grade médical ou qualité médicale : matière pouvant convenir à certaines applications médicales.

grainage : traitement de surface particulier appliqué à certaines ou à toutes les faces de la pièce. Ce traitement peut aller d'une finition lisse et polie à une finition fortement grainée qui pourra masquer des imperfections de la surface et créer une pièce plus agréable à regarder ou à manipuler.

IGES : signifie *Initial Graphics Exchange Specification*. Format de fichier couramment utilisé pour échanger des données CAO.

injection : processus consistant à introduire de la matière fondue sous pression dans un moule pour former une pièce.

matière : nom générique des composés chimiques que l'on injecte pour former une pièce en plastique. Parfois simplement appelée « plastique ».

microbillage : utilisation de billes de verre ou autres abrasifs dans un jet d'air sous pression pour créer un grainage sur la pièce.

MIM : moulage par injection de métal.

modélisation par dépôt de fil : avec la FDM (*fused deposition modeling*), la matière se présente sous forme d'une bobine de filament. Une tête d'impression dépose des couches transversales successives qui se solidifient pour former des objets en trois dimensions.

moule à éjection directe : moule n'utilisant que deux moitiés pour former une empreinte dans laquelle on injecte la matière. Ce terme désigne généralement un moule sans tiroir ni aucun autre dispositif spécial destiné à résoudre un problème de contre-dépouille.

moule de présérie : moule temporaire ou provisoire réalisé pour fabriquer des pièces de production en attendant que le moule série soit prêt.

moule famille : moule comportant plusieurs empreintes pour former plusieurs pièces dans le même matériau au cours d'un même cycle. Normalement, les pièces formées par chaque empreinte ont des références différentes.

outillage rotatif : méthodes d'usinage similaires au fraisage, exécuté dans un tour où un outil tournant retire des copeaux de la matière usinée. Ce procédé permet de créer dans le tour des géométries telles que des facettes, gorges, encoches, trous axiaux ou trous radiaux.

paroi : terme couramment employé pour désigner les faces d'une pièce creuse. Il est très important d'avoir une épaisseur de paroi uniforme.

pièce brune : l'état intermédiaire d'une pièce MIM après le moulage et le déliantage, mais avant le frittage. Une pièce à l'état brun est poreuse et fragile, contenant juste assez de liant pour éviter qu'elle ne retombe en poudre.

pièce verte : l'état intermédiaire d'une pièce MIM après le moulage et avant le déliantage et le frittage. Une pièce à l'état vert est molle et fragile par rapport à une pièce typique moulée par injection, mais elle est nettement plus solide qu'une pièce brune.

plan de joint : bord d'une pièce à l'endroit où le moule s'ouvre.

plateforme de fabrication : Plateau d'une machine de fabrication additive, sur lequel les pièces sont fabriquées. La taille maximale d'une pièce dépend de la taille de la plateforme de fabrication de la machine.

pleine densité : en moulage par injection de métal, la pleine densité correspond en général à une densité de 96 à 99 pour-cent pour une pièce d'alliage forgée sans espace vide.

porosité : espaces vides indésirables dans une pièce. De nombreuses causes peuvent entraîner des poches de toutes tailles et de toutes formes. En général, une pièce poreuse est moins solide qu'une pièce pleine densité.

presse : machine de moulage par injection.

résolution : le niveau de détail imprimé que l'on obtient sur les pièces conçues par fabrication additive. Des procédés tels que la stéréolithographie et le frittage laser de métal permettent d'obtenir des résolutions très élevées avec beaucoup de détails.

retassure : dépressions ou autres déformations se produisant à la surface d'une pièce lorsque cette pièce ne refroidit pas partout à la même vitesse. Elles sont le plus souvent dues à une épaisseur de matière excessive.

retrait : une pièce en plastique se contracte en refroidissant. Lorsqu'on connaît le coefficient de retrait d'un plastique, on peut réaliser une empreinte de plus grande taille que la pièce finie, afin que cette pièce soit de la taille requise après retrait.

STEP : signifie *Standard for the Exchange of Product Model Data*. Ce format de fichier est couramment utilisé pour échanger des données CAO.

stéréolithographie : la SLA fait appel à un laser UV concentré sur un petit point afin de solidifier un photopolymère liquide. Lorsqu'il tire, le liquide devient solide. Ce procédé est répété pour créer de fines sections transversales en 2D, qui sont disposées en couches pour former des pièces tridimensionnelles complexes.

STL : signifiait à l'origine « STéréoLithographie ». Ce format est courant pour la transmission des données de CAO aux machines de fabrication additive et il ne convient pas au moulage par injection rapide.

temps de cycle : en moulage par injection, le temps nécessaire pour fabriquer une pièce. Il comprend la fermeture du moule, l'injection de la matière, la solidification de la pièce, l'ouverture du moule et l'éjection de la pièce.

tournage : la matière en barre tourne dans un tour d'usinage pendant qu'un outil enlève des copeaux afin de créer une pièce radialement symétrique.

trou axial : trou parallèle à l'axe de révolution d'une pièce, mais pas nécessairement concentrique avec cet axe.

trou dans l'axe : trou concentrique avec l'axe de révolution de la pièce tournée. C'est tout simplement un trou situé à l'extrémité et au centre d'une pièce.

trou radial : trou formé par des outils rotatifs et qui est perpendiculaire à l'axe de révolution d'une pièce tournée. On peut le considérer comme un trou latéral. L'intersection de l'axe médian de ces trous avec l'axe de révolution n'est pas nécessaire.

Des vrais objets, très rapidement !

Si vous avez déjà dû développer un produit dans des délais absurdes, vous pouvez comprendre l'intérêt d'une conception et d'une fabrication rapides. *La fabrication numérique pour les Nuls*, édition internationale de Proto Labs, vous permet de sélectionner les différents matériaux et procédés employés pour le prototypage personnalisé et la production de petites séries afin de commercialiser rapidement des produits de qualité.

- **Entrez dans le monde de la fabrication numérique** — *comprenez le concept et les avantages*
- **Explorez la gamme de matériaux** — *apprenez à connaître les matériaux utilisés pour chaque procédé*
- **Envisagez les différentes méthodes de fabrication** — *comparez-les en fonction de vos besoins*
- **Trouvez le bon fabricant** — *apprenez quels sont les critères à prendre en compte pour choisir un fabricant numérique*



Dans ce livre, vous comprendrez :

- **Pourquoi la fabrication numérique est fiable et rapide**
- **Quels sont les différents matériaux de fabrication**
- **Comment choisir le procédé le mieux adapté à la fabrication de vos pièces**
- **Dix raisons de faire appel à Proto Labs®**

WILEY END USER LICENSE AGREEMENT

Go to www.wiley.com/go/eula to access Wiley's ebook EULA.