

L'ABC DU PROTOTYPAGE

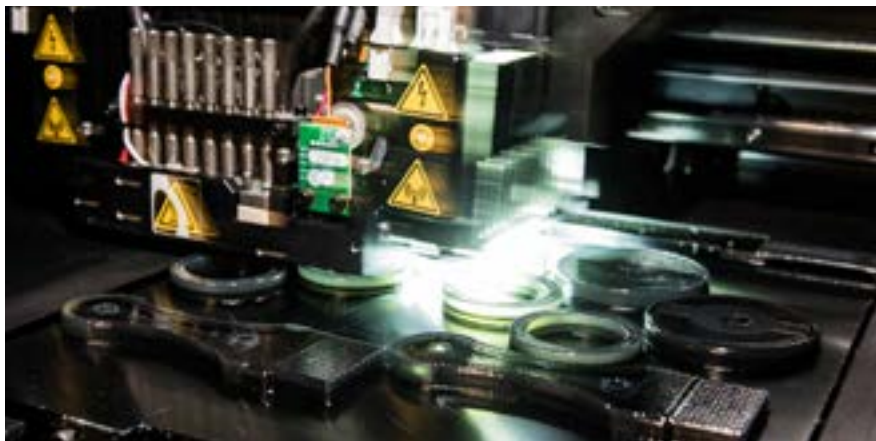


PROTOLABS
Manufacturing. Accelerated.



Sommaire

- 02 Guide de comparaison des procédés de prototypage
- 03 Présentation des procédés pour les options de prototypage
- 08 Comparaison des attributs du prototype
- 09 Glossaire



Introduction

Un nouveau fabricant se doit de fournir un premier produit de qualité pour assurer sa réputation et ses ventes futures. La première impression compte vraiment lorsque vous développez votre entreprise et votre image de marque.

Le temps est un autre facteur critique lorsque vous décidez de mettre un produit sur le marché pour générer vos premiers revenus. En effet, il faut faire vite, mais sans pour autant se précipiter et négliger la phase de prototypage car faire l'impasse sur un programme de prototypage et d'essai complet peut entraîner la découverte d'une erreur en cours de fabrication, ce qui conduit à des coûts de correction bien plus élevés en termes de financement, de temps et de réputation.

Il est de loin préférable de procéder à des ajustements de conception, de matières, de dimension, de forme, de couleur, de fabricabilité et de résistance à la suite d'essais et d'analyses. Pour trouver cet équilibre fragile entre durée et coût des tests, il est utile de connaître toutes les technologies de prototypage rapide qui sont à votre disposition.

Il existe de nombreuses façons de fabriquer des prototypes. Certains procédés de prototypage utilisent des méthodes traditionnelles de fabrication. D'autres technologies ont émergé et ont été améliorées en un laps de temps relativement court. Avec des procédés de prototypage qui évoluent constamment, le concepteur de produits essaie en permanence de déterminer le procédé ou la technologie les mieux adaptés à son projet unique.

Ce livre blanc explore les avantages et les inconvénients des principaux procédés de prototypage dont disposent les concepteurs. Il décrit également les procédés et examine les propriétés des matières qui leur sont associées. En fin de compte, le but de ce document est de mettre en évidence les questions clés que les concepteurs doivent prendre en compte et ainsi vous aider à sélectionner le meilleur procédé de prototypage pour votre processus de développement produit.

PROCÉDÉ	DESCRIPTION	RÉSISTANCE	FINITION	EXEMPLES DE MATIÈRES
Impression 3D : SL Stéréolithographie	Photopolymère durci par laser	2 500 - 10 000 (psi) 17,2 - 68,9 (mPa)	Couches additives 0,025 - 0,100 (mm) en général	Les thermodurcissables avec des caractéristiques similaires aux thermoplastiques comme les photopolymères, véritable silicone
Impression 3D : SLS Frittage sélectif par laser	Poudre frittée au laser	5 300 - 11 300 (psi) 36,5 - 77,9 (mPa)	Couches additives 0,102 (mm) en général	Thermoplastiques (Nylon, PP, TPU)
Impression 3D : DMLS frittage laser direct de métal	Poudre métallique frittée au laser	37 700 - 190 000 (psi)	Couches additives 0,020 - 0,060 (mm) en général	Métaux : Acier inoxydable, titane, cobalt chrome, aluminium, Inconel, cuivre
Impression 3D : FDM Modélisation par dépôt de fil fondu	Extrusions fusionnées	5 200 - 9 800 (psi) 35,9 - 67,6 (mPa)	Couches additives 0,127 - 0,330 (mm) en général	Thermoplastiques : ABS, ABS/PC, PC, PPSU, nylon, ASA, PLA
Impression 3D : PJET Poly-Jet	Photopolymère projeté durci aux UV	7 200 - 8 750 (psi) 49,6 - 60,3 (mPa)	Couches additives 0,015 - 0,030 (mm) en général	Photopolymères à base d'acrylique, photopolymères élastomères
Impression 3D : MJF Multi Jet Fusion	Poudre frittée par lampe IR avec agents liquides	6 200 - 12 000 (psi) 43 - 83 (mPa)	Couches additives 0,08 mm	TPU, Nylon12 GF
3DP Impression tridimensionnelle	Liant liquide imprimé par jet d'encre sur une poudre	médiocre	Couches additives 0 Poudre base plastique/liant liquide	Poudre base plastique/liant liquide
CNC usinage par commande numérique	Usiné à l'aide de fraises CNC	3 000 - 20 000 (psi) 20,7 - 137,9 (mPa)	Usinage soustractif (lisse)	La plupart des thermoplastiques et des métaux de base et de qualité technique
IM Moulage par injection	Moulage par injection dans des moules en aluminium	3 100 - 20 000 (psi) 21,4 - 137,9 (mPa)	Moulé lisse (ou avec une texture choisie)	La plupart des thermoplastiques de base et de qualité technique, les métaux et le caoutchouc de silicone liquide
VCV Coulée sous vide	Une pièce maîtresse (fabriquée par 3DP ou CNC) est utilisée pour créer un moule en silicone	2 900 - 8 700 (psi) 20 - 60 (mPa)	Lisse, brillant ou mat	Les thermodurcissables avec des caractéristiques similaires aux thermoplastiques comme le caoutchouc

Impression 3D : SL Stéréolithographie

La Stéréolithographie est un procédé de fabrication additive qui consiste à fabriquer des pièces dans un bac de résine photopolymère durcissant aux UV à l'aide d'un laser contrôlé par ordinateur. Le laser est utilisé pour tracer et durcir une section du plan de la pièce à la surface de la résine liquide. La couche solidifiée est ensuite abaissée juste sous la surface de la résine liquide et le processus est répété. Chaque couche nouvellement durcie adhère à la couche inférieure. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que la pièce soit terminée. La SL a été la première technologie de «prototypage rapide».



Avantages

Pour les modèles conceptuels ou les modèles à utiliser comme pièces maîtresses pour d'autres méthodes de prototypage, le procédé SL peut produire des pièces avec des formes complexes et d'excellents états de surface lorsqu'on la compare à d'autres procédés additifs. Si vous avez besoin de détails en micro-résolution, il existe des matières telles que le MicroFine™ Green et le MicroFine™ Grey, qui permettent d'obtenir des éléments jusqu'à 0,07 mm (dans la direction X-Y) en utilisant la SL. Le coût est très compétitif et la technologie est disponible auprès de plusieurs fournisseurs.

Désavantages

Les pièces prototypes fabriquées à l'aide de la SL ne sont pas aussi solides que celles fabriquées à partir de résines de qualité technique, de sorte qu'elles sont normalement impropres aux essais fonctionnels. De plus, comme la résine est sensible aux UV, l'exposition à la lumière du soleil continue de la durcir et les pièces peuvent devenir fragiles avec le temps.

Impression 3D : SLS Frittage sélectif par laser

Le procédé SLS utilise un laser pour construire des pièces par frittage (fusion) de matières en poudre, couche par couche, du bas vers le haut. Les pièces SLS peuvent être précises et plus durables que les pièces SL, mais la finition est relativement médiocre avec un aspect granuleux ou sableux. Bien que les pièces SLS soient assez solides, la résistance entre les particules fusionnées est réduite, de sorte qu'elles auront tendance à être plus fragiles que des pièces usinées ou moulées faites à partir de la même résine. Les matières à base de nylon sont actuellement les principales résines disponibles.



Avantages

Les pièces SLS ont tendance à être plus précises et plus durables que les pièces SL. Ce procédé permet de fabriquer des pièces durables de formes complexes.

Désavantages

Les pièces ont une texture granuleuse ou sableuse et ne sont généralement pas adaptées aux essais fonctionnels en raison de leurs propriétés mécaniques réduites.

Impression 3D : MJF Multi Jet Fusion

Le procédé Multi Jet Fusion utilise une matrice à jet d'encre pour appliquer sélectivement des agents de fusion et des agents détaillants sur un lit de poudre de nylon. Celle-ci est ensuite fusionnée par des éléments chauffants pour former une couche solide. Après chaque couche, de la poudre est rajoutée sur le lit précédent et le processus se répète jusqu'à ce que la pièce soit terminée.



Avantages

La MJF emploie des matières de qualité technique avec des caractéristiques générales excellentes. En outre, elle offre des finitions de surface améliorées, des détails fins, des propriétés mécaniques cohérentes, et de courtes durées de fabrication.

Désavantages

Si la qualité de la surface est bonne, elle est plus rugueuse que celle produite par les technologies basées sur les photopolymères (stéréolithographie). Les pièces brutes sont grises, mais peuvent être teintées lors d'une étape supplémentaire.

Impression 3D : DMLS frittage laser direct de métal

Le frittage laser direct du métal est une technologie de fabrication additive qui permet de produire des prototypes métalliques et des pièces de qualité industrielle. Le DMLS utilise un système laser qui dessine sur une surface de poudre métallique atomisée. Là où il passe, il soude la poudre pour la transformer en un matériau solide. Après chaque couche, une lame ajoute une nouvelle couche de poudre et le processus est répété. Le DMLS peut utiliser la plupart des alliages, ce qui permet à un prototype d'être fonctionnel avec une résistance maximale, fabriquée dans la même matière que les composants de production. Il a également le potentiel, s'il est conçu en tenant compte de la fabricabilité, de passer au moulage par injection de métal pour les cas où il faut augmenter la production..



Avantages

Le DMLS produit à partir de divers métaux des prototypes solides (généralement denses à 97 %) qui peuvent être utilisés pour des essais fonctionnels. Comme les composants sont construits couche par couche, il est possible de concevoir des caractéristiques et des passages internes qui ne pourraient pas être moulés ou usinés.

Désavantages

Si l'on produit plus que quelques pièces DMLS, les coûts peuvent augmenter. En raison de la poudre métallique à l'origine du procédé de métallisation directe, le fini de surface de ces pièces est légèrement rugueux.

Impression 3D : FDM Modélisation par dépôt de fil fondu

Le procédé FDM permet de construire des pièces de bas en haut grâce à l'utilisation d'une tête d'impression contrôlée par ordinateur. La matière première du procédé est un filament de résine extrudé, que la machine refond et dépose sélectivement sur la couche précédente pour chaque section transversale de la pièce souhaitée. Le FDM produit principalement des pièces en ABS ou en PC, qui ont donc tendance à être plus résistantes que les pièces issues d'autres procédés additifs. Cependant, les pièces sont parfois poreuses et présentent une texture prononcée en escalier ou ondulée sur la finition extérieure, en particulier aux jonctions des couches. Il peut également être difficile d'obtenir des tolérances strictes avec ce procédé.



Avantages

Les pièces FDM sont relativement solides et peuvent être adaptées à certains tests fonctionnels. Ce procédé permet de fabriquer des pièces de formes complexes.

Désavantages

Les pièces présentent un état de surface médiocre, avec un effet strié prononcé. Il s'agit également d'un processus additif plus lent que le SL ou le SLS pour la durée de construction.

Impression 3D : PJET Poly-Jet

Le procédé PJET utilise des têtes à jet d'encre pour projeter une matière durcissable par UV en couches très fines à haute résolution. Les matières sont projetées en couches ultra-minces sur un plateau de construction, couche par couche, jusqu'à ce que la pièce soit terminée. Chaque couche de photopolymère est durcie par la lumière UV immédiatement après avoir été projetée. Le matériau de support, semblable à un gel et spécialement conçu pour supporter des formes complexes, s'enlève facilement à la main et au jet d'eau.



Avantages

Ce procédé permet d'obtenir un bon état de surface et c'est l'un des meilleurs parmi les procédés additifs. C'est un bon choix additif pour les pièces complexes présentant des contre-dépouilles. Ce procédé permet de fabriquer des pièces de formes complexes.

Désavantages

Les pièces PJET ont une faible résistance (comparable à la SL). Bien que le procédé PJET puisse réaliser des pièces de formes complexes, il ne donne aucune indication sur l'éventuelle fabricabilité de la conception.

3DP Impression tridimensionnelle

Dans la 3DP, une tête d'impression à jet d'encre se déplace sur un lit de poudre, déposant sélectivement un liant liquide, et le processus est répété jusqu'à ce que la pièce complète soit formée. Une fois l'opération terminée, la poudre non liée est éliminée pour faire apparaître l'objet fini.



Avantages

La 3DP offre une des constructions les plus rapides de tous les procédés additifs, et est également l'une des options les moins coûteuses pour des prototypes en quantité. Des modèles colorés peuvent communiquer davantage d'informations et présenter un attrait esthétique. La matière plastique est non toxique, peu coûteuse et facilement disponible. Ce procédé permet de fabriquer des pièces à géométrie complexe.

Désavantages

Les pièces sont rugueuses et fragiles, et le choix de matières est très limité. Bien que la 3DP puisse réaliser des pièces de formes complexes, elle ne donne aucune indication sur la fabricabilité du modèle.

IM Moulage par injection

Le moulage rapide par injection consiste à injecter une résine thermoplastique dans un moule, exactement comme pour le processus de production. Ce qui rend ce processus « rapide », c'est la technologie de fabrication du moule, souvent en aluminium plutôt qu'en acier comme les moules de production. Les pièces moulées sont résistantes, avec une finition excellente. C'est d'ailleurs le procédé de production standard des pièces plastiques dans l'industrie. Il y a donc des avantages inhérents à fabriquer le prototype avec le même processus si la situation le permet. Pratiquement toute résine de qualité technique peut être utilisée, de telle sorte que le concepteur n'est pas soumis aux limitations de matières du procédé de prototypage. De plus, le moulage par injection de métal (MIM) (acier inoxydable par exemple) et le moulage de caoutchouc de silicone liquide (LSR) permettent une fabrication rapide. Le moulage par injection rapide entraîne un coût initial d'outillage qui n'existe avec aucun des procédés additifs ou avec l'usinage CNC. Dans la plupart des cas, il est donc logique de faire une ou deux séries de prototypes rapides (soustractifs ou additifs) pour vérifier l'ajustement et le fonctionnement avant de passer au moulage par injection.



Avantages

Les pièces moulées sont fabriquées à partir d'un ensemble de matières de qualité technique, présentent un excellent état de surface et sont un excellent indicateur de la fabricabilité pendant la phase de production

Désavantages

Les coûts initiaux peuvent être plus élevés en raison des frais de moule.

CNC Usinage par commande numérique

Un bloc solide de plastique ou de métal est fixé dans une fraiseuse à commande numérique et usiné par procédé soustractif pour obtenir la pièce finale. Cette méthode fournit une résistance et un fini de surface supérieurs à ceux de tout procédé additif. Les pièces jouissent de manière complète et homogène des propriétés de la matière plastique employée, car elles sont fabriquées à partir de blocs solides de résine thermoplastique extrudés ou moulés par compression, contrairement à la plupart des procédés additifs, qui utilisent des matières similaires au plastique et construisent des pièces couche par couche. L'éventail du choix de matières permet de réaliser des pièces avec les propriétés matérielles souhaitées, telles que : résistance à la traction, résistance aux chocs, températures de déflexion élevées, résistance chimique et biocompatibilité. De bonnes tolérances permettent d'obtenir des pièces adaptées aux essais d'ajustement et de fonctionnement. Les prototypes peuvent être livrés en quelques jours, tout comme pour les procédés additifs. Comme le processus implique un enlèvement de la matière au lieu d'un ajout, le fraisage des contre-dépouilles peut parfois être difficile. L'usinage a également tendance à être un peu plus coûteux que les procédés additifs.



Avantages

Les pièces usinées ont un bon état de surface et sont très résistantes car elles utilisent de véritables thermoplastiques et métaux de qualité technique.

Désavantages

L'usinage CNC présente certaines limites géométriques, et il est beaucoup plus coûteux de le faire en interne que les processus additifs en raison du coût des programmeurs et des machinistes nécessaires pour créer les parcours d'outils CNC et le montage des pièces.

CV Coulée sous vide

Le processus commence par la fabrication d'un moule en encapsulant un modèle maître dans du caoutchouc de silicone liquide en deux parties. Un vide est ensuite appliqué pour éliminer l'air emprisonné et aspirer une résine liquide dans la cavité, puis le produit est durci dans un four. Les modèles maîtres peuvent provenir d'un certain nombre de technologies d'impression 3D, dont la stéréolithographie. La coulée sous vide permet la production de petits lots de pièces moulées de haute qualité dans une gamme de résines de polyuréthane qui reproduisent les performances des plastiques techniques sans les coûts élevés de l'outillage associé au moulage par injection.



Avantages

La coulée sous vide peut être utilisée pour de petits lots de prototypes de haute qualité ou pour des pièces d'utilisation finale en petites séries. Une large gamme de résines est disponible et les modèles maîtres peuvent provenir de diverses sources, les plus courantes étant les modèles de stéréolithographie. Bonne stabilité dimensionnelle.

Désavantages

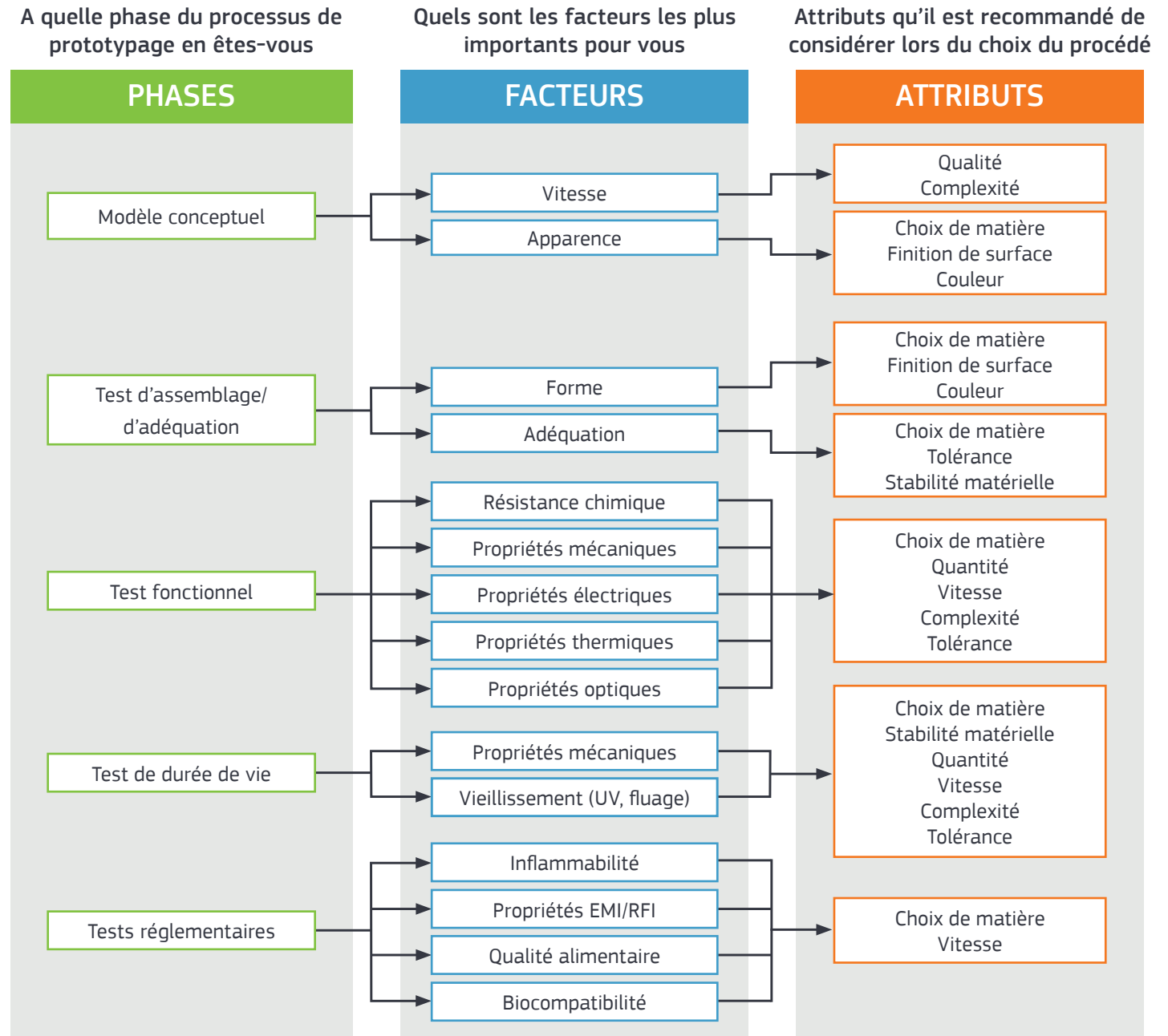
Usure rapide du moule, utilisé seulement pour quelques dizaines de pièces.

Comparaison des attributs du prototype

Choisir un procédé
Déterminez le meilleur procédé pour votre projet en utilisant les outils présentés ici

Première étape :
Commencez par utiliser l'arbre de décision ci-après pour sélectionner les facteurs qui ont la plus grande importance suivant la phase d'avancement dans le processus de prototypage, en vous référant si nécessaire aux définitions de la page 8.

Deuxième étape :
Sur la base des attributs recommandés pour les facteurs les plus importants de la première étape, comparez les procédés grâce à la matrice de la page 8 pour déterminer le meilleur procédé



ATTRIBUT	SL	SLS	MJF	DMLS	FDM	3DP	PJET	IM	CNC	VC
Quantité	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊕	○	⊖
Complexité	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	○	○
Finition de surface	○	⊖	○	⊖	⊖	⊖	○	⊕	⊕	⊕
Choix de matière	○	⊖	⊖	○	⊖	⊖	⊖	⊕	⊕	○
Stabilité matérielle	⊖	○	⊕	⊕	⊕	⊖	⊖	⊕	⊕	○
Couleur	○	⊖	⊖	⊖	○	⊕	⊖	⊕	⊖	○
Tolérance	⊕	○	○	○	⊖	⊖	⊕	⊕	⊕	⊖
Vitesse	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	○	⊕	⊖
Prix – petite série	○	⊕	⊕	○	○	○	○	⊖	○	○
Prix – grande série	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊕	⊖	⊖

⊖ Médiocre ○ Correct ⊕ Bon

Glossaire utile de définitions et de termes

Vous rencontrerez un certain nombre de termes dans les domaines du prototypage, des essais et de la fabrication. Malheureusement, les définitions de ces termes ou propriétés de matière peuvent varier selon les organisations, mais nous pensons que la liste ci-dessous est un bon point de départ.

Modèle conceptuel - Modèle physique réalisé pour démontrer une idée. Les modèles conceptuels permettent de montrer l'idée à des personnes de différentes fonctions, de stimuler la réflexion et la discussion, et de susciter l'acceptation ou le rejet.

ATTRIBUTS IMPORTANTS DES PROTOTYPES :

Rapidité - délai pour passer d'un fichier informatique à un prototype physique.

Apparence - tout attribut visuel : couleur, texture, dimension, forme, etc.

Assemblage/essai d'ajustement - fabrication de certaines ou de toutes les pièces d'un assemblage, montage et vérification de l'ajustement. À un niveau grossier, cela permet de vérifier les erreurs de conception, telles que le placement de deux languettes à un espacement de 2 cm et les fentes d'accouplement à un espacement de 1 cm. À un niveau fin, il s'agit de vérifier des différences et des tolérances dimensionnelles mineures. Il est évident que tout test impliquant des tolérances doit utiliser le processus de fabrication réel ou un processus qui présente des tolérances similaires.

Forme - la forme de la pièce : caractéristiques et dimension

Ajustement - comment la pièce s'accorde avec les autres pièces.

Essais fonctionnels - fonctionnement d'une pièce ou d'un assemblage lorsqu'il sera soumis à des contraintes équivalentes à celle de son application réelle.

Résistance chimique - résistance aux substances chimiques, notamment aux acides, aux bases, aux hydrocarbures, aux carburants, etc.

Propriétés mécaniques - résistance de la pièce mesurée par la résistance à la traction, à la compression, à la flexion, à l'impact, à la déchirure, etc.

Propriétés électriques - interaction des champs électriques et de la pièce. Cela peut inclure la constante diélectrique, la rigidité diélectrique, le facteur de dissipation, la résistivité de surface et de volume, la dissipation statique, etc.

Propriétés thermiques - modifications des propriétés mécaniques qui se produisent avec les changements de température. Il peut s'agir du coefficient de dilatation thermique, de la température de déflexion à la chaleur, du point de ramollissement Vicat, etc.

Optique - capacité à transmettre la lumière. Peut inclure l'indice de réfraction, la transmission et le trouble.

Essai de durée de vie - test des propriétés qui peuvent changer avec le temps et qui sont importantes pour qu'un produit reste fonctionnel tout au long de sa durée de vie prévue. Les tests de durée de vie impliquent souvent de soumettre le produit à des conditions extrêmes (par exemple, température, humidité, tension, UV, etc.) pour estimer, dans un délai plus court, la façon dont le produit réagira au cours de sa durée de vie prévue.

Propriétés mécaniques - résistance à la fatigue : capacité à supporter un grand nombre de cycles de charge à différents niveaux de contrainte.

Propriétés de vieillissement (UV, fluage) - capacité à résister à l'exposition aux rayons ultraviolets avec une dégradation acceptable; capacité à résister à l'exercice prolongé de forces sur la pièce avec des niveaux acceptables de déflexion permanente.

Tests réglementaires - tests spécifiés par un organisme ou une agence de réglementation ou de normalisation pour s'assurer que les pièces conviennent à un usage particulier tel que les applications médicales, alimentaires ou de consommation. En voici quelques exemples; l'Organisation internationale de normalisation (ISO), la

Commission européenne (CE), l'Underwriters Laboratory (UL), l'Association canadienne de normalisation (CSA), l'Agence américaine des aliments et des médicaments (FDA) et la Commission fédérale des communications (FCC) des États-Unis.

Note "Regulatory Testing" above is very US focused – any other European agency examples?

Propriétés d'inflammabilité - la résistance d'une résine ou d'une pièce à l'inflammation en présence d'une flamme.

Propriétés EMI/RFI - capacité d'une résine, d'une pièce ou d'un assemblage à protéger ou à bloquer les interférences électromagnétiques ou les interférences de radiofréquence.

Contact alimentaire - approbation d'une résine ou d'une pièce à utiliser dans des applications où elle entrera en contact avec des aliments pendant leur préparation, leur mise à disposition ou leur consommation.

Biocompatibilité - capacité de la résine ou de la pièce à entrer en contact avec le corps humain ou animal, à l'extérieur ou à l'intérieur du corps, sans provoquer d'effets indésirables (par exemple, irritations, interactions sanguines, toxicité, etc.). La biocompatibilité est importante pour les instruments chirurgicaux et de nombreux dispositifs médicaux.

Conclusion

Les prototypes de pièces vous aident à prendre des décisions plus éclairées en obtenant des données inestimables sur les performances. Plus vous recueillez de données à ce stade du cycle de développement d'un produit, plus vous avez de chances de prévenir les problèmes potentiels liés au produit ou à la fabrication. Si l'on suit une stratégie de prototypage bien pensée, il y a beaucoup plus de chances que le produit soit lancé sur le marché à temps, qu'il soit accepté, qu'il fonctionne de manière fiable et qu'il soit rentable. Quel est le meilleur moyen de faire fabriquer un prototype ?

La réponse dépend de l'étape à laquelle vous vous trouvez dans votre processus et de ce que vous essayez d'accomplir. Au début du processus de conception, lorsque les idées circulent librement, les modèles conceptuels sont très utiles. À mesure que la conception progresse, un prototype ayant la dimension, la finition, la couleur, la forme, la résistance, la durabilité et les caractéristiques des matières du produit final prévu devient de plus en plus important. Il est donc essentiel d'utiliser le bon

procédé de prototypage.

Afin de valider au mieux votre conception, portez une attention particulière à ces trois éléments clés de votre conception :

- fonctionnalité
- fabricabilité
- viabilité

Si votre prototype peut représenter fidèlement les attributs du produit final, il est par définition fonctionnel. Ces exigences portent souvent sur les propriétés des matières (par exemple, la résistance aux flammes), la précision dimensionnelle pour l'adaptation aux pièces correspondantes et les finitions de surface esthétiques pour l'apparence.

Si vous pouvez produire de manière répétée et économique un prototype qui répond aux exigences du produit final, alors la fabricabilité est assurée. Ces exigences comprennent la capacité à maintenir la fonctionnalité de la pièce comme décrit ci-dessus, à maintenir le coût par pièce en dessous du niveau requis et à respecter le calendrier de production. Quelle que soit la qualité d'un modèle,

il n'aboutira pas si vous ne pouvez pas le fabriquer. Veillez à ce que votre procédé de prototypage en tienne compte.

Enfin, même si votre prototype est fonctionnel et possible à fabriquer, cela ne signifie pas que quelqu'un voudra l'utiliser. Les prototypes sont le seul véritable moyen de vérifier la viabilité d'un modèle dans ce sens. Si votre modèle peut également relever les défis associés aux essais sur le marché (par exemple, présentation dans des salons professionnels, tests d'utilisation) et aux essais réglementaires (par exemple, essais FDA pour les dispositifs alimentaires), alors vous êtes en bonne voie pour un lancement de produit réussi.