

Usinage photochimique

Préparé par Dr ROUABHI Youcef

Usinage photochimique

I.1 Introduction - Définition

L'usinage photochimique (**Photochemical Machining (PCM)**), également connu sous le nom de découpe photochimique, fraisage chimique ou gravure photochimique, est un processus de fabrication rentable utilisé pour produire des pièces métalliques aux géométries complexes avec une haute précision (voir la figure N° 1). L'usinage photochimique est né dans les années 1950 avec **la photolithographie** pour les circuits imprimés, combinant l'application d'une résine photosensible et une gravure chimique pour créer des pièces métalliques.

La photolithographie est un processus utilisé pour transférer un motif géométrique sur un substrat en projetant de la lumière à travers un masque, à l'aide d'une résine photosensible (voir la figure N° 1).

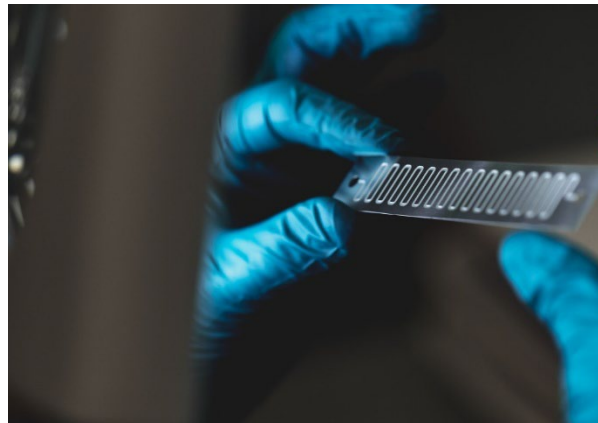
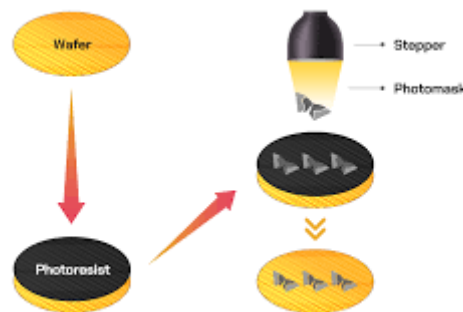


FIG. 1 Usinage photochimique

L'usinage photochimique combine la découpe chimique et les techniques photographiques pour produire des pièces précises qu'il serait difficile, impossible, de fabriquer à l'aide des méthodes mécaniques traditionnelles. Dans ce travail, nous explorerons aussi les avantages et les limites de l'usinage photochimique, ainsi que ses applications dans diverses industries.

I.2 Les étapes du procédé

La première étape et certainement l'une des plus importantes est la **préparation de la matière**. Les plaques passent successivement dans plusieurs bains de **préparation de surface** (dégraissage, désoxydation du substrat de base) afin d'optimiser l'adhérence et de préparer correctement le matériel pour l'étape d'attaque chimique.

Usinage photochimique

Préparé par Dr ROUABHI Youcef

L'étape suivante est l'application du **revêtement photosensible**. Pour cela il existe deux techniques principales qui sont :

- Le *deep-coating* qui permet la pose de résine liquide pour des applications qui demandent généralement une plus grande précision.
- La lamination à chaud de résine solide.

Une fois la matière revêtue, la plaque est **exposée à la lumière UV** à travers un outil photo comprenant le négatif de la pièce à découper.

Les UV vont avoir comme effet de polymériser la résine photosensible. On se retrouve donc avec une partie dure, appelée à résister à l'agent d'attaque qui sera utilisé par la suite pour découper les pièces, et une partie non polymérisée de la résine qu'il va falloir retirer.

Ensuite, les plaques sont **plongées dans une solution de développement**, qui élimine les parties non durcies du revêtement photosensible, révélant ainsi les zones de métal qui seront gravées.

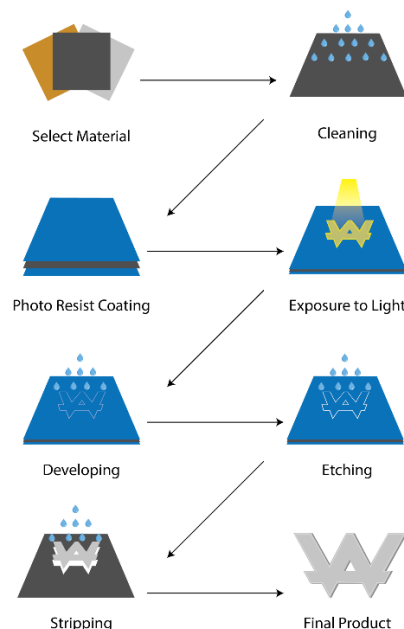
Ces trois opérations de laminage, exposition et développement se font en salle blanche afin de protéger la production des particules et poussières qui pourraient laisser des artéfacts sur les plaques lors de l'exposition à la lumière UV.

Il s'agit également de protéger les plaques de la lumière UV naturelle émanant du soleil.

I.3 Processus d'usinage photochimique

Le processus d'usinage photochimique commence par l'application d'une résine photosensible sur une feuille de métal. La résine photosensible est ensuite exposée à la lumière ultraviolette par l'intermédiaire d'un masque à motifs appelé masque photographique. Les zones non exposées de la résine photosensible sont ensuite développées et enlevées avant que la tôle ne soit vaporisée d'un agent d'attaque - généralement du chlorure ferrique - qui dissout chimiquement les zones métalliques exposées.

I.3.1 Qu'est-ce que l'usinage photochimique ?



Usinage photochimique

Préparé par Dr ROUABHI Youcef

Ce procédé consiste à utiliser une résine photosensible et des agents de gravure pour éliminer sélectivement la matière d'une feuille métallique :

- Préparation de la feuille de métal : une fine feuille de métal (généralement en acier inoxydable, en laiton ou en cuivre) est soigneusement nettoyée et recouverte d'un matériau photosensible.
- Exposition à la lumière : La tôle revêtue est ensuite exposée à la lumière à travers un outil photographique ou un masque. Les zones non exposées à la lumière restent recouvertes de résine photosensible.
- Développement : Après exposition, la feuille métallique est développée, ce qui permet d'éliminer la résine photosensible non exposée. La surface métallique est ainsi exposée selon le motif souhaité.
- Gravure : la tôle est ensuite pulvérisée avec un agent de gravure qui réagit chimiquement avec les zones métalliques exposées, les dissolvant ou les gravant de manière sélective. La résine photosensible restante protège les zones qui doivent rester intactes.
- Décapage : Après la gravure, la résine photosensible restante est retirée, laissant la pièce métallique finale, gravée avec précision.

L'usinage photochimique permet la fabrication de pièces dans quasiment tous les métaux, mais également dans certains matériaux, comme par exemple le verre ou le polyimide. Mais ce sont les aciers inoxydables, les métaux ferreux et les métaux cuivreux qui représentent la majorité des productions en usinage photochimique. On utilise, principalement dans l'industrie, des panneaux de quelques microns à 2 mm d'épaisseur. Appliquée à des matériaux de faibles épaisseurs (inférieures à 0.1mm) et combinée à la précision de la photolithographie, cette méthode assure la production de pièces avec des formes géométriques très complexes et aux tolérances serrées. Généralement, les tolérances données pour des pièces en usinage photochimique sont de +/- 10% de l'épaisseur du matériel usiné. Détails techniques : Epaisseur de la matière (t) : 0.005 mm - 2 mm Tolérance : dépendante de l'épaisseur de la matière, en général: +/- 10 à 20% de l'épaisseur de la matière Plus petite ouverture: $t \geq 0.1 \text{ mm} \Rightarrow \varnothing \text{ minimum} = 0,8 \text{ à } 1 \times t$ $t \leq 0.1 \text{ mm} \Rightarrow \varnothing \text{ minimum} = 1 \text{ à } 1,2 \times t$ Rayon intérieur minimum = $0,5 \times t$

I.4 Avantages de l'usinage photochimique

Contrairement aux méthodes mécaniques traditionnelles, qui peuvent créer des bavures ou des déformations sur les bords des pièces, la découpe photochimique utilise un processus chimique pour retirer avec précision le métal de la surface du matériau. Il en résulte des bords nets, sans bavure ni contraintes mécaniques susceptibles d'affaiblir la pièce. Le processus de découpe photochimique permet également de créer des caractéristiques et des motifs très fins à partir d'une large gamme de métaux et d'alliages. En effet, le processus est entièrement chimique et la résine photosensible agit comme un masque, ce qui permet un contrôle très précis de la taille, de la forme et des tolérances de la pièce finale.

Usinage photochimique

Préparé par Dr ROUABHI Youcef

I.5 Inconvénients de l'usinage photochimique

Bien que la découpe photochimique offre de nombreux avantages, comme tout processus d'usinage des métaux, elle présente également certaines limites. Le PCM convient mieux aux matériaux relativement minces, dont l'épaisseur est généralement inférieure à 2,5 mm. Ce processus n'est donc pas forcément adapté à la production de pièces plus épaisses.

La taille des pièces pouvant être produites à l'aide du PCM est également limitée. En effet, la taille de la tôle est limitée par la largeur de la machine de découpe chimique utilisée.

Bien que l'usinage photochimique (PCM) soit un procédé rentable et efficace pour produire rapidement et à moindre coût des pièces de haute précision à géométrie complexe, il n'est pas forcément adapté à la production de pièces tridimensionnelles ou plus simples à très grande échelle. En effet, les procédés traditionnels d'usinage de la tôle offrent généralement des délais de production et des coûts unitaires plus favorables.

I.6 Types de métaux couramment utilisés

Bien qu'une variété de métaux puissent être usinés photochimiquement, certains métaux courants comprennent :

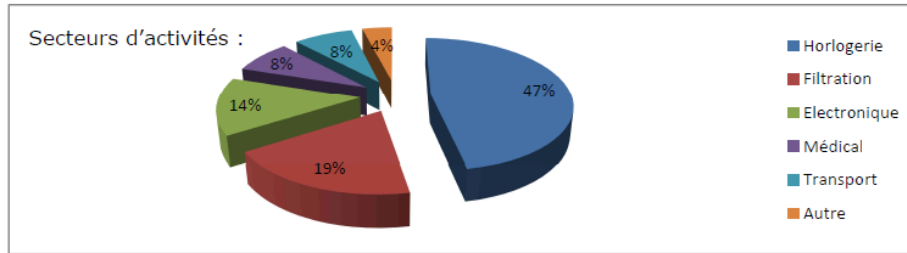
- **Acier inoxydable** : L'usinage photochimique est souvent utilisé pour l'usinage de précision de composants en acier inoxydable, tels que les composants de dispositifs médicaux.
- **Cuivre** : Le cuivre est un autre métal couramment usiné selon ce procédé. Il est largement utilisé dans les applications électroniques et électriques.
- **Le laiton**, un alliage de cuivre et de zinc, convient également à l'usinage photochimique.

Ces métaux sont choisis en fonction de leur compatibilité avec la résine photosensible et les produits chimiques de gravure utilisés dans le processus. Les exigences spécifiques peuvent varier en fonction de l'application et des caractéristiques souhaitées des composants gravés.

Usinage photochimique

Préparé par Dr ROUABHI Youcef

I.7 Application de l'usinage photochimique



L'usinage photochimique offre un large éventail d'applications de haute précision pour les composants métalliques :

- Cales métalliques de précision
- Ressorts plats
- Grilles de connexion
- Connecteurs électriques
- Blindage EMI
- Filtres, plaques d'écoulement fluide
- Dispositifs implantables

Ces composants peuvent être produits avec une précision et une cohérence exceptionnelles, sans nécessiter d'outillage coûteux.

L'usinage photochimique est avantageux pour produire des pièces complexes et détaillées avec une grande précision, ce qui le rend adapté à des applications telles que **des dispositifs médicaux**, des **composants électroniques**, et des pièces de précision pour le **aérospatial** et **automobile** les industries. Il s'agit d'une méthode rentable et flexible pour créer des composants métalliques complexes en grandes ou petites séries de production.

I.8 Conclusion

L'usinage photochimique est un procédé efficace et économique qui permet de produire rapidement et rentablement des pièces de haute précision aux géométries complexes. Il présente plusieurs avantages, tels que la précision, la polyvalence des matériaux et des applications, les faibles coûts, les délais courts et la propreté des résultats de l'usinage. Néanmoins, le processus présente certaines limites, notamment en ce qui concerne l'épaisseur des matériaux, la taille et l'évolutivité pour les conceptions plus simples. Il n'en reste pas moins une excellente option pour de nombreuses industries qui souhaitent fabriquer des composants métalliques précis d'une grande complexité géométrique.