**Usinage abrasif par ultrasons**

**Introduction :**

Il s’appuie sur trois phénomènes physiques pour enlever la matière : le cisaillement, l’érosion, l’abrasion. Ainsi cette méthode consiste à projeter des particules abrasives très dures sur la pièce à usiner, à l’aide d’une sonotrode (l’outil), vibrant à fréquence ultrasonore. L’abrasif est volontairement injecté a l’aide d’un fluide entre l’outil et la pièce.

Il consiste à utiliser un outil composé d’un matériau relativement tendre, dont l’extrémité, animée d’un mouvement vibratoire à fréquence ultrasonique, transfère une certaine quantité d’énergie à des particules abrasives. Ces particules sont en suspension dans un liquide interposé par arrosage entre l’outil et la pièce ; elles agissent à leur tour sur cette dernière pour en arracher de petits morceaux et l’user progressivement.

Par analogie avec une électrode, l’outil est souvent appelé « sonotrode ».

Ces convertisseurs piézoélectriques ont recours à l’effet piézoélectrique inverse : sous l’action d’un champ électrique, une contrainte proportionnelle est produite, dont le signe dépend du sens du champ. Il s’ensuit une déformation mécanique. Sous l’action d’un champ alternatif, une vibration mécanique est créée.

Pour pouvoir obtenir une amplitude de vibration suffisante (Quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres), on utilise des transducteurs.

On à donc trois actions:

* Une action mécanique : due à la projection et au martèlement des grains abrasifs contre la surface de la Pièce matériaux fragiles.
* Une érosion de cavitation: due aux variations de pression au sein du liquide, engendrées par les variations de la sonotrode.
* Une action chimique: due au fluide porteur, cette action est le plus souvent inutilisée.

**Utilisations**

* Usinage de matières très dures ou très fragiles (silice, carbures, quartz, saphir, diamant, etc)
* perçage de trous de très petits diamètres de l’ordre de 0,4mm,
* usinage de formes complexe (trou carré et hexagonal),
* perçage de trou de petit diamètre très profond,
* Accéléromètres et gyromètres de haute précision entrant dans la conception des systèmes inertiels pour le guidage en aéronautique.
* Cadrans, lunettes et pièces de mouvements pour l’horlogerie.
* Micro valves, transducteurs piézoélectriques et implants pour le domaine médical.
* Résonateurs, capteurs de pression et de température (microélectronique),
* Verre de lunette (gavage et perçage).
* Wafers silicium, pyrex, quartz…

Gravure sur matériaux métallique

La fréquence des ondes ultrasonores est supérieureà20 kHz.

Ces ondes peuvent être générées par des sources mécaniques, électromagnétiques ou thermiques. Elles peuvent être produites dans des gaz, des liquides ou des solides.

Les transducteurs magnétostrictifs utilisent l’effet magnétostrictif inverse pour convertir une énergie magnétique en énergie ultrasonore. Elle peut être produite par application d’un fort champ magnétique alternatif à certains métaux.

Les ultrasons sont des vibrations, réalisées à haute fréquence, **utilisés dans de nombreux domaines** allant de la chirurgie (liposuccion, par exemple) au nettoyage des pièces, en passant les échographies et le soudage de métaux et de matières plastiques. Et, parmi ces champs d’applications industrielles figure notamment l’usinage.

Les transducteurs piézoélectriques utilisent l’effet piézoélectrique inverse de monocristaux naturel ou synthétique (comme le quartz) ou de céramiques (titanate de baryum, PZT)qui sont fortement piézoélectriques

1. **Principe de cette technique et ses utilisations:**

La technique d’usinage par ultrasons consiste à utiliser des grains abrasifs libres et de les mettre en mouvement, en transformant un courant électrique en vibration mécanique, qui sera ensuite transmis via un outil (sonotrode).

Transportés par un fluide – traditionnellement, l’eau est généralement utilisée – ces grains seront alors projetés sur la pièce et grâce aux vibrations, la matière sera retirée par frottement.

L’efficacité de cette technique et son niveau de qualité dépendent de plusieurs facteurs : la nature de l’outil utilisé, les vitesses d’avance, la qualité et la composition de l’abrasif, sans négliger l’amplitude de la vibration.

A noter que les ultrasons servent également aux techniques d’assistance à l’enlèvement de matière, tels que le polissage, la coupe, l’électroérosion ou encore, l’usinage par rectification. Sur la base d’un fonctionnement physique identique (cisaillement, érosion et abrasion), cette approche vise à améliorer la qualité de la pièce, afin de réduire les forces de frottements.

**Les principaux avantages de l’usinage par ultrasons :**

Comme elle se fait sans contact, la technique d’usinage pas ultrasons est particulièrement préconisée pour travailler :

• des matériaux durs, habituellement réputés difficiles à travailler de manière classique, comme les carbures, le diamant ou encore le quartz.

• des matériaux fragiles, a contrario plus faciles à modeler mais plus fragiles, comme la silice, les céramiques ou les verres.

Et par rapport aux usinages classiques, elle permet de réaliser des formes particulières (trous hexagonaux ou carrés), avec des dimensions inférieures au millimètre : un atout considérable !

Enfin, cette technique est intéressante et d’une grande efficacité, pour effectuer des perçages très précis, de l’ordre de 0,4 mm de diamètre, tout en proposant un excellent rapport diamètre / profondeur.

L’usinage par ultrasons est un procédéde reproduction de forme par abrasion particulièrement adaptéàl’usinage des matériaux durs, fragiles et cassants (verres, céramiques, quartz, pierre précieuse, semi-conducteur…). Il s’appuie sur trois phénomènes physiques pour enlever la matière : **le cisaillement, l’érosion, l’abrasion**. Ainsi cette méthode consiste àprojeter des particules abrasives très dures sur la pièce àusiner, àl’aide d’une sonotrode, vibrant àfréquence ultrasonore.



Particules abrasives

et liquide porteur

Evacuation des copaux

Les particules sont amenées dans la zone de travail par un fluide porteur (par ex. l’eau). Un flot constant assure l’évacuation des copeaux et le renouvellement des grains abrasifs.

On a donc ainsi trois phénomènes **:**

•**Une action mécanique** due à la projection et au martèlement des grains abrasifs contre la surface de la pièce **matériaux fragiles**

•**Une érosion de cavitation** due aux variations de pression au sein du liquide, engendrées par les variations de la sonotrode **matériaux poreux**

•**Une action chimique** due au fluide porteur : cette action est le plus souvent inutilisée.

**MATERIAUX USINABLES**

**NON CONDUCTEURS**

•Carbures métalliques

•Ferrite

•Céramiques

•Matériaux frités

•***QUARTZ –SAPHIR …***

•Céramiques

•Verres

•Graphites

NB : ne sont pas concernés les matériaux cuivreux. La structure de la matière sur laquelle les grains d’abrasif rebondissent en chocs élastiques entraîne une usure non négligeable de l’outil.

A titre d’exemple une machine d’usinage à Ultrason (USM) est composée des principaux éléments :



**Déplacement en**μ

**Sonotrode**

**Pompe Péristaltique**

**Y**

**X**

**Rotation**

**Contrôle Décente**

**Transducteurs**

**Piézoélectrique**

La machine à usinage par ultrasons est constituée d’une partie électrique, le générateur et d’un ensemble acoustique (transducteur, amplificateur et sonotrode).

La Sontrode est de forme cylindre ou plus complexe, elle sert à amener l’énergie acoustique dans la zone de travail. La sonotrode est fixée à l’amplificateur par vissage à l’aide de goujons. Ces fixations constituent un point faible du dispositif, elles ne permettent pas en effet de positionner avec précision, ce qui nécessite ensuite des opérations de réglages sur la machine.



**Facteurs influant sur USM :**

**L’usure et le travail d’enlèvement de la matière dépendent de nombreux paramètres :**

**Vibration :**fréquence et amplitude

**Pression statique**

**Grain d’abrasif**: dimension, nature, concentration au sein du liquide porteur

**Profondeur de pénétration**

**Fluide porteur**: nature, conditions de circulation

**Outil**: nature du matériau, forme et dimensions

**Pièce**: nature du matériau, forme àréaliser

C’est ainsi que les performances de ce type d’usinage sont difficiles à analyser. Nous pouvons néanmoins les exprimer par trois critères :

\*la quantité de matière enlevée,

\* l’usure relative de la sonotrode

\*l’état de surface des flans et du fond de perçage (si non débouchant).

Les particules abrasives sont les véritables outils de coupe.Leur nature et la taille des grains doivent être adaptées au matériau àusiner (dureté) et àla qualitédes surfaces désirées. Ainsi, on choisira de préférence un matériau de duretésupérieure ou aumoins égale àcelle de la pièce àusiner.L’usure seule de la sonotrode sera responsable des variations dimensionnelles en cours d’usinage.

Les abrasifs couramment employés sont: le diamant, le carbure de bore ou encore le carbure de silicium, qui sont des matériaux très durs.

**La concentration** d’abrasif est optimale pour une valeur volumique de 30%.

**La dimension** influe sur la vitesse d’avance et surtout sur l’état de surface de la pièce usinée. Les diamètres des grains couramment employés sont:

Pour l’ébauche: **50 à120** μ**m**

Pour la finition: **20 à40** μ**m**

Pour la super finition: **moins de 12** μ**m**