

Micro-usinage

Technologie de fabrication par enlèvement de matière à l'aide d'un outil de coupe.

- ◆ **Dimensions caractéristiques** des pièces et des motifs **entre quelques mm et quelques μm** [1, 2, 3];
- ◆ Permet de réaliser des **formes tridimensionnelles complexes** de manière **rapide et flexible**;
- ◆ Ne requiert **pas d'équipements coûteux** (ex. : masques en lithographie);
- ◆ Peut travailler de **nombreux matériaux** : alliages métalliques, composites, polymères et céramiques \neq micro-électroérosion et micro-usinage laser [4].

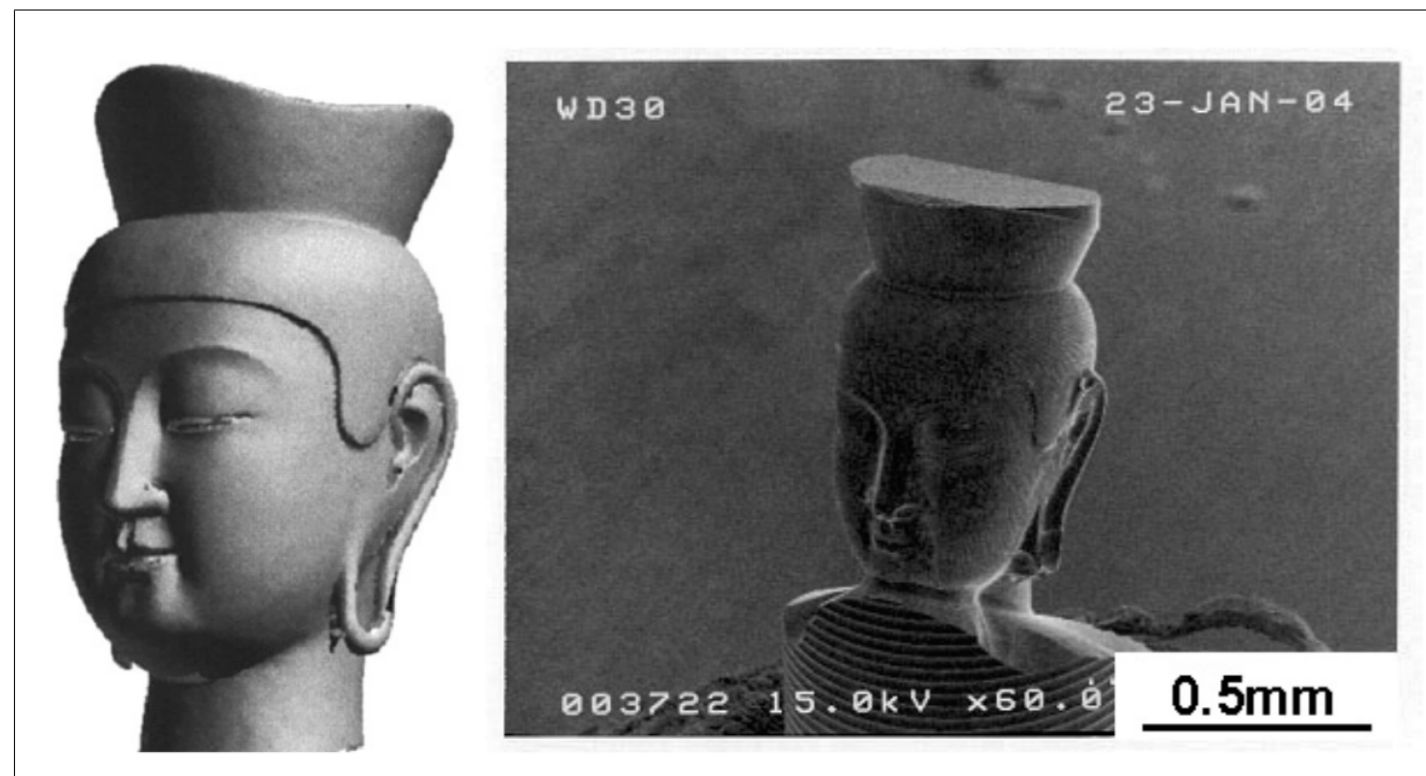


Fig. 1 - Statue miniature (Mirokubosatsu) [1]

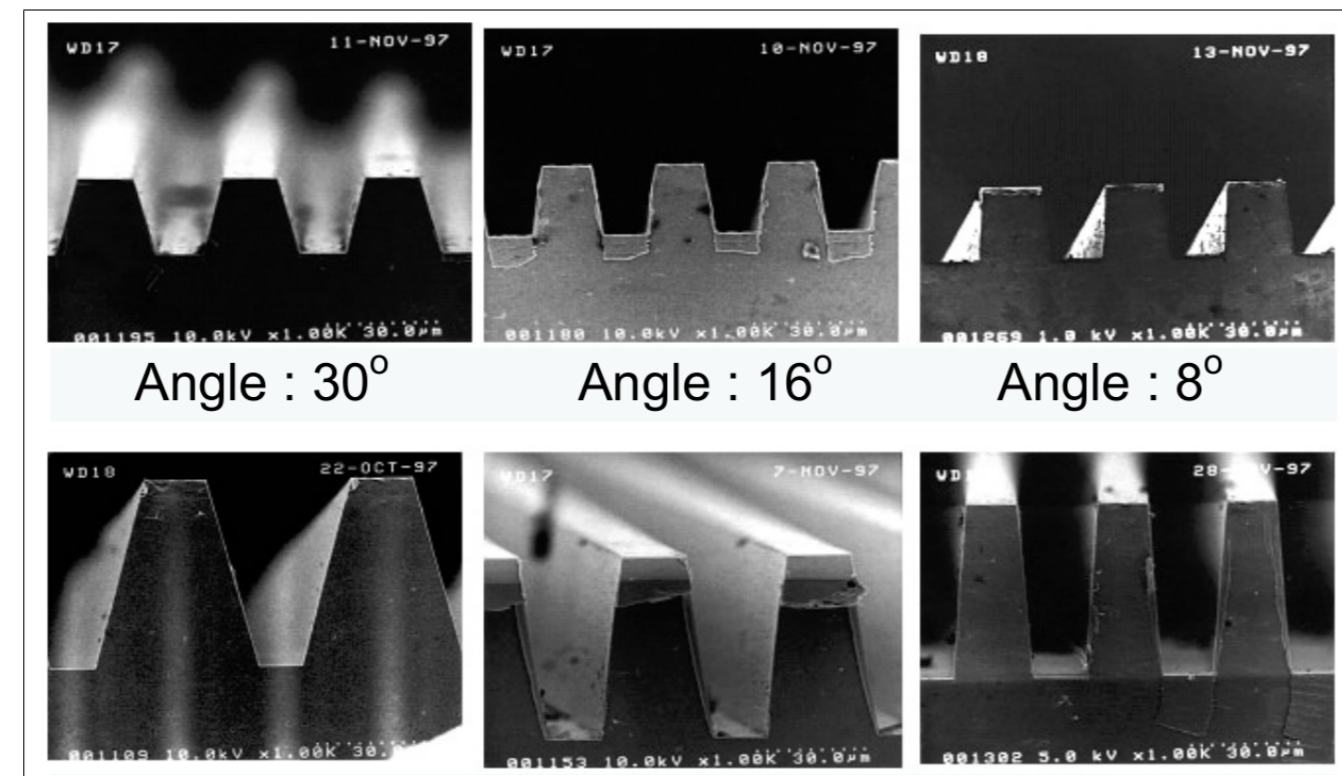


Fig. 2 - Micro-gorges trapézoïdales
(1^{re} ligne : 20 μm de profondeur, 2^e ligne : 50 μm) [1]

Les outils

Micro-fraises disponibles commercialement (Fig. 3) = généralement en **carbure de tungstène** + diamètre à partir de **50 μm** \approx un **cheveu**.

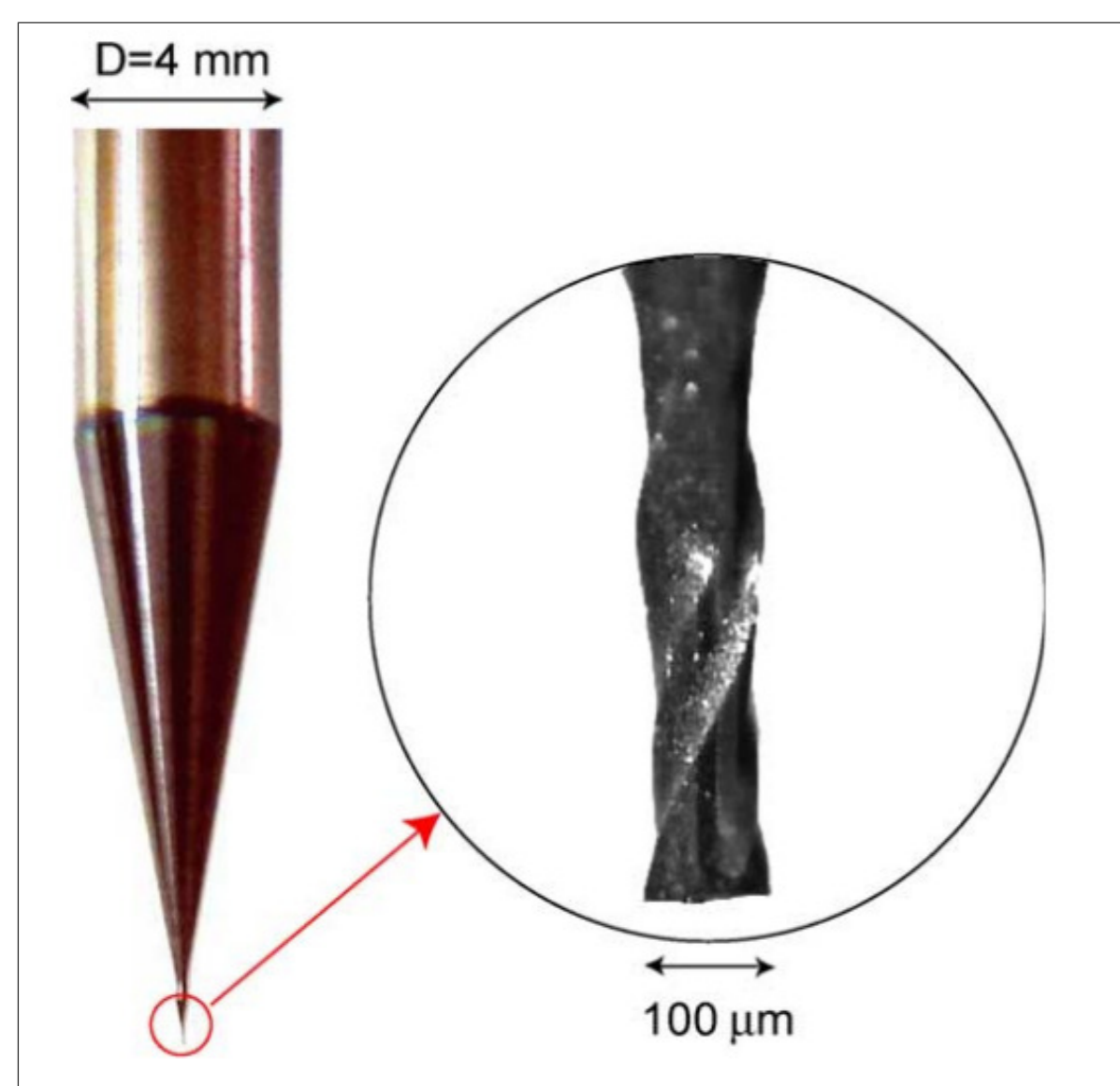


Fig. 3 - Micro-fraise en carbure de tungstène à deux lèvres [3]

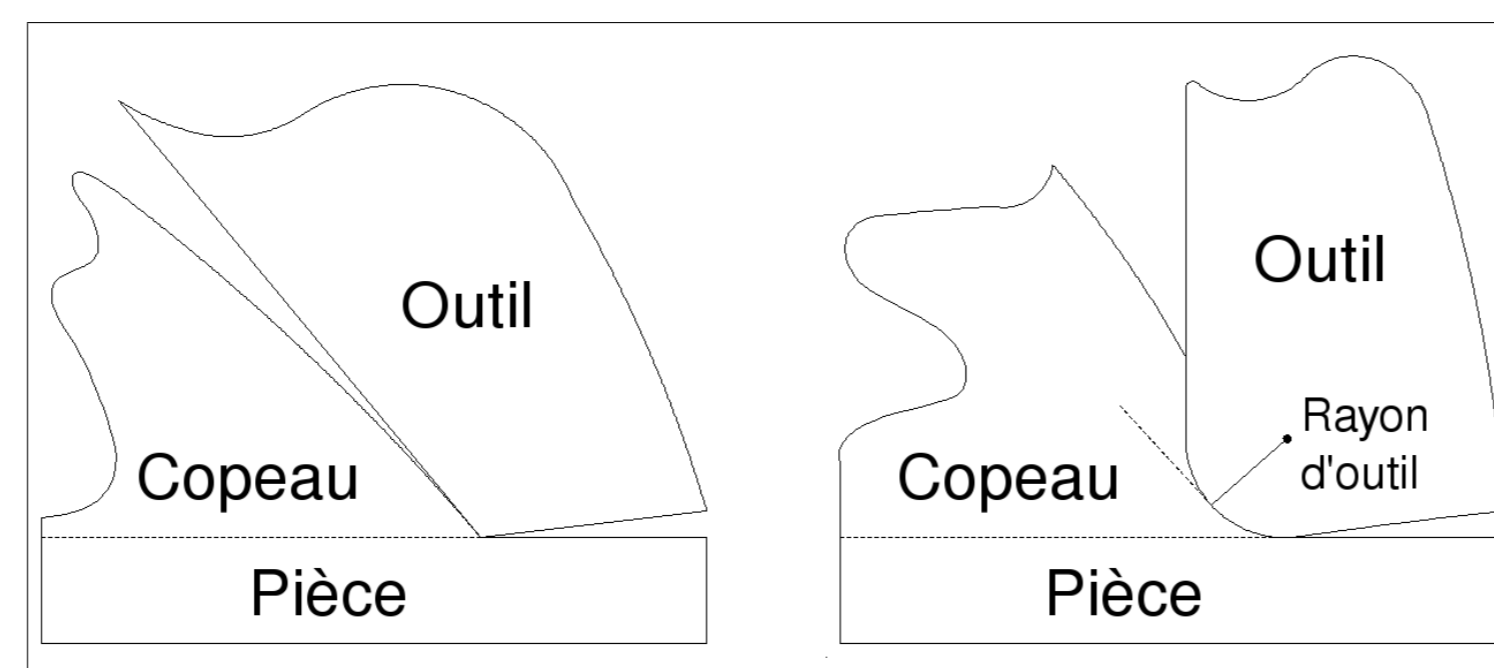


Fig. 5 - Formation du copeau

Maintenir une productivité acceptable \Rightarrow vitesse de rotation de la broche élevée : entre **60 000 tr/min** et **200 000 tr/min** actuellement.

Efforts et conditions de coupe

Les efforts de coupe, en relation directe avec la formation des copeaux, déterminent la flexion de l'outil qui limite l'avance.

Si profondeur de coupe $<$ **épaisseur minimale de copeau** \Rightarrow aucun copeau n'est produit (Fig. 4).

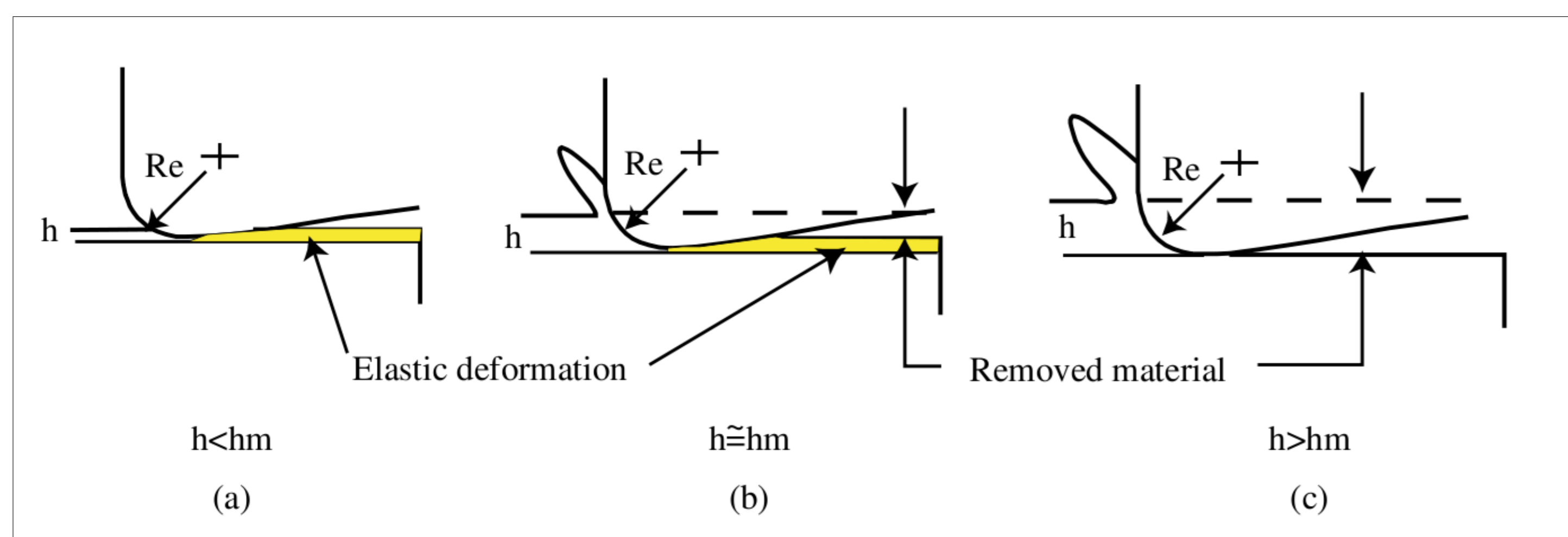


Fig. 4 - Représentation schématique du concept de l'épaisseur minimale de copeau
(Re , rayon de l'outil; h , profondeur de coupe; hm , épaisseur minimale de copeau) [3]

En micro-fraisage :

- ◆ Faible avance + petit rayon d'outil = faible profondeur de coupe \Rightarrow **angle de coupe fortement négatif** (Fig.5) \Rightarrow surface brute + retour élastique;
- ◆ Les théories classiques utilisées en macro-usinage considérant l'outil comme une arête vive ne sont donc plus applicables;
- ◆ **Couplage** entre les efforts de coupe et la flexion de l'outil;
- ◆ L'avance influence les efforts de coupe;
- ◆ **Comportement fragile** des micro-outils à prendre en compte;
- ◆ Les **déformations élastoplastiques** de la pièce ne peuvent plus être négligées;
- ◆ La précision du **positionnement de l'outil** est **critique**.

Il existe donc **deux effets opposés** en micro-fraisage :

- ◆ La profondeur de coupe doit être faible pour diminuer les efforts de coupe;
- ◆ La profondeur de coupe doit être supérieure à l'épaisseur minimale de copeau.

Usure d'outil et bavures

Faible profondeur de coupe \Rightarrow frottements très importants \Rightarrow hausse de la température et de l'usure \Rightarrow augmentation du rayon de l'outil + diminution de la précision et de la qualité de la pièce.

De plus, il n'est pas toujours possible d'ébavurer les pièces.

Influence du matériau de la pièce

Profondeur de coupe souvent inférieure à la taille des grains de la pièce \Rightarrow impossible d'utiliser des coefficients de coupe moyennés \Rightarrow le **matériau** ne peut donc **plus** être considéré comme étant **homogène** (\neq macro-usinage).

Instabilité (Chatter)

Chatter = **vibration auto-excitée** qui est le résultat de l'interaction entre la dynamique de l'outil et celle de la pièce.

Son existence dépend :

- ◆ des conditions de coupe;
- ◆ des propriétés de la pièce;
- ◆ de la dynamique de la broche de la machine et de l'outil;
- ◆ de l'élasticité de la pièce, surtout lorsque l'avance est faible;
- ◆ du changement dynamique de l'épaisseur du copeau.



De plus : **manque d'homogénéité de la structure granulaire de la pièce** \Rightarrow variation des conditions de coupe (dureté notamment) \Rightarrow variations des efforts de coupe \Rightarrow vibrations.

Enfin : dimensions et vitesses considérées \Rightarrow actuellement très difficile de modéliser et de mesurer la dynamique de l'outil et celle de la broche.

Faux-rond et déséquilibre

Outil déséquilibré ou présentant un faux-rond :

- \Rightarrow problème important car diamètre faible et vitesse de rotation élevée;
- \Rightarrow importantes **forces centrifuges** \Rightarrow bruit non négligeable lors des mesures + participation au chatter.



Méthodes de détection et monitoring

- ◆ Taille des motifs et des outils \Rightarrow difficilement observables sans instruments tels un **microscope à balayage électronique** \Rightarrow très difficile de détecter les dommages subis par les arêtes \Rightarrow impossible d'arrêter une opération ou de changer de conditions de coupe;
- \Rightarrow presque impossible de reprendre une opération interrompue en alignant la pièce et l'outil;

- ◆ Méthode de **monitoring** : **mesure des efforts de coupe**.

Conclusions

Bien que les principes généraux du micro-usinage soient identiques à ceux du macro-usinage conventionnel, des **différences importantes** existent. Elles proviennent du changement d'échelle lors du passage macro \Rightarrow micro.

Cette thèse vise à :

- ◆ **Etudier** la technique du micro-fraisage par enlèvement de copeaux;
- ◆ **Analyser**, en vue de le **modéliser**, le mécanisme de formation du copeau;
- ◆ **Prédire** les efforts de coupe;
- ◆ **Evaluer** la qualité des surfaces engendrées par l'outil.

Références

- [1] D. DORNFIELD, S. MIN et Y. TAKEUCHI : Recent advances in mechanical micromachining. *Annals of the CIRP*, 55 :745-768, 2006.
- [2] X. LIU, R.E. DEVOR, S.G. KAPOOR et K.F. EHMAN : The mechanics of machining at the microscale : assesment of the current state of the science. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 126 :666-678, 2004.
- [3] J. CHAE, S.S. PARK et T. FREIHEIT : Investigation of micro-cutting operations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 :313-332, 2006.
- [4] E. BUSSI : Etude du procédé de micro-injection de pièces polymères. Travail de Fin d'études, FPMs, 2005-2006.