Usinage des céramiques conductrices d’électricité, via le procédé EDM (électro-érosion)

27 mai 2016, 02:00

Olivier Malek

En raison de leur extrême dureté, les céramiques et leurs composites sont des matériaux très appréciés pour la fabrication d’objets soumis à des contraintes d’usure. Le revers de la médaille : il s’agit de matériaux très difficiles à usiner avec les techniques conventionnelles. Certains sont même quasi impossibles à meuler parce que les oxydes encrassent les disques à chaque fois. Dans le cas des céramiques conductrices de l’électricité, une possibilité de solution est l’usinage par électro-érosion (EDM - Electrical Discharge Machining). Toutefois, pour obtenir une qualité optimale, il est indispensable d’avoir une bonne connaissance des matériaux, et du procédé. Tous simplement parce que qu’il existe une étroite relation entre les propriétés du matériau à usiner et les caractéristiques de l’étincelage.

Les matériaux céramiques et leurs composites sont réputés pour leurs propriétés : extrême dureté (1400-4000 kg/mm^2), rigidité élevée (200-600 GPa), température de fusion élevée (1600-3600 °C) et résistance chimique élevée contre la corrosion. De plus, certaines céramiques (SiC, ZrB_2, TiB_2, Al_2O_3 …) présentent un autre avantage : leur faible densité spécifique.

Matériau idéal dans un grand nombre de domaines d’application

En raison de leur dureté élevée, les céramiques sont très intéressantes pour la fabrication d’objets soumis à des lourdes contraintes, c’est-à-dire les pièces exposées à une usure prématurée (outils de coupe, roulements à billes, disques de frein; et autres pièces mobiles de contact).

Egalement dans la fabrication des électrodes pour l’usinage des métaux ou pour les bords d’attaque (l*eading edges*) des navettes spatiales, les céramiques techniques ont fait leurs preuves. En raison de sa grande stabilité dimensionnelle et de son faible coefficient de dilatation, le SiC peut servir de matériau de construction pour les composants intégrés dans les instruments utilisés dans l’aérospatiale.



Figure 1 : Relation dureté et résistance contre l’abrasion

Les technologies d’usinage conventionnelles… ne conviennent pas

Mais la dureté des matériaux céramiques est à la fois un avantage et un inconvénient : ces matériaux sont tellement durs qu’ils sont difficiles à usiner avec les techniques conventionnelles. Seuls les outils diamantés ou cBN peuvent entrer en ligne de compte. En conséquence, le concepteur n’est pas vraiment libre dans la définition des formes géométriques.

Certains types de céramiques sont même impossibles à rectifier ou polir à la meule, par exemple, les borures (UHTC : Ultra High Temperature Ceramics), qui sont actuellement très en vogue. Les oxydes de ces matériaux ont la propriété d’encrasser les disques instantanément, ce qui complique beaucoup les opérations d’usinage. Pour cette classe de matériaux, il est nécessaire de faire appel à d’autres technologies d’usinage, par exemple, l’électroérosion (EDM : Electrical Discharge Machining).

La solution : EDM

Les céramiques techniques les plus populaires - Al_2O_3, ZrO_2 et Si_3N_4 - ne sont pas, ou sont peu, conductrices de l’électricité (B_4C, SiC). Mais l’ajout d’une seconde phase conductrice, par exemple, WC, TiB_2 ou TiN, entre autres, permet de les rendre malgré tout conductrices de l’électricité (> 100 S/cm). De plus, leur solidité et leur dureté s’en trouvent renforcées, avec des microstructures plus fines comme résultat. Cela résulte du fait que la seconde phase a pour effet de ralentir la vitesse de formation des grains pendant le frittage.



Figure 2 : Composite conducteur B_4C-TiB_2

L’électro-érosion est un procédé d’usinage qui peut entrer en ligne de compte pour les matériaux conducteurs de l’électricité. Avec ce procédé, il est possible d’usiner les céramiques (et leurs composites) de manière rapide et efficiente, quel que soit leur degré de dureté. La seule contrainte au niveau de la pièce est une contrainte thermique. Le principe de fonctionnement ? La matière est enlevée par application d’une série de décharges électriques contrôlées produisant des étincelles entre la pièce à usiner (la céramique) et l’outil (fil conducteur, poinçon ou électrode de fraisage). Pendant le procédé, la pièce à usiner et l’outil sont immergés dans un diélectrique (eau distillée ou huile).



Figure 3 : Principe de l’électro-érosion

Différents mécanismes d’enlèvement de matières

Contrairement à une idée reçue, très courante au sujet de l’électro-érosion des métaux, les mécanismes d’enlèvement de matière ne se limitent pas à l’**évaporation et la fusion** : plusieurs autres mécanismes entrent en jeu. Par exemple, le ‘choc thermique’ qui provoque pendant

l'électro-érosion la dislocation des grains de matériau entre les deux phases. Le renforcement de la dureté et de la solidité du matériau peut donc avoir une incidence négative sur la vitesse de l'étincelage. Bien plus encore, cela peut provoquer une transition vers la fusion/évaporation comme mécanisme d'enlèvement dominant. D'une manière générale, les matériaux dans lesquels l'enlèvement de matière résulte du choc thermique (par exemple, TiCN, TiB_2, TiN-ZrO_2) ont une rugosité de surface plus élevée.

Parmi les autres possibilités : l'enlèvement de matière peut tout aussi bien résulter d'une **réaction chimique**. L'étincelage peut produire des températures relativement élevées. Le matériau Si_3N_4 ne fond pas, mais à partir de 1800 °C il se décompose en azote et silicium (oxyde). Dans les carbures de tungstène (WC, WC-ZrO_2), l'enlèvement de matière résulte principalement de l'oxydation. La taille du grain détermine également la rapidité de l'étincelage et la rugosité. Dans beaucoup de cas, les surfaces sont très rugueuses.

Un exemple tiré de la pratique est la rugosité de surface des composites TiB_2-B_4C (figure 5), il s'agit de matériaux qui fondent et s'évaporent dans les conditions normales. Mais un échantillon d'essai avec une quantité de carbone aux joints de grain (TiB_2 BT 60/40) présente toujours une rugosité beaucoup plus élevée pendant les passes de finition. Pour quelle raison ? Les autres nuances ont des joints de grain plus solides, et la fusion/évaporation est le mécanisme primaire de l'enlèvement de matière. En présence de carbone - utilisé comme additif pour le frittage - la résistance au joint du grain s'affaiblit et le choc thermique devient le mécanisme primaire de l'enlèvement de matière. Ce qui a une incidence sur la rugosité de surface qu'il est possible d'obtenir.



Figure 4 : Rugosité de surface après électro-érosion de Si_3N_4-TiN, la structure spongieuse est typique d'une réaction chimique



Figure 5 : Exemples de rugosité après dégrossissage par électro-érosion (E501) et les différentes passes de finition (E502 à E506). TiB_2 BT 60/40 est un matériau ayant des joints de grain plus faibles



Figure 6 : à gauche surface d'électro-érosion B_4C-TiB_2 normale après finition et à droite le matériau avec des joints de grain plus faibles par ajout de carbone. Les grains sont bien visibles, ce qui implique qu'un choc thermique s'est produit

En résumé, pour obtenir une qualité optimale avec le procédé d'usinage par électro-érosion, il est indispensable d'avoir une bonne connaissance des matériaux et du procédé. En fait, les propriétés du matériau et les caractéristiques de l'étincelage sont en étroite relation. La figure 7 montre un aperçu de quelques matériaux céramiques, leur conductibilité électrique (et donc leur aptitude à l'étincelage) et leur dureté (qui est souvent le paramètre pris en considération pour l'usinage des pièces exposées à une forte usure).



Figure 7: Aperçu des composites céramiques ultra durs et leur conductibilité électrique

Le département Precision Manufacturing de Sirris publie **6 livres blancs sur les défis et les opportunités de la fabrication de précision**. La *cinquième* partie de cette série vient de paraître et est *dédiée à l'usinage des matériaux durs et friables*. Vous ne voulez rater aucune de ces publications ? Enregistrez-vous via ce lien et recevez les white papers gratuitement par mail !



Auteurs



Olivier Malek