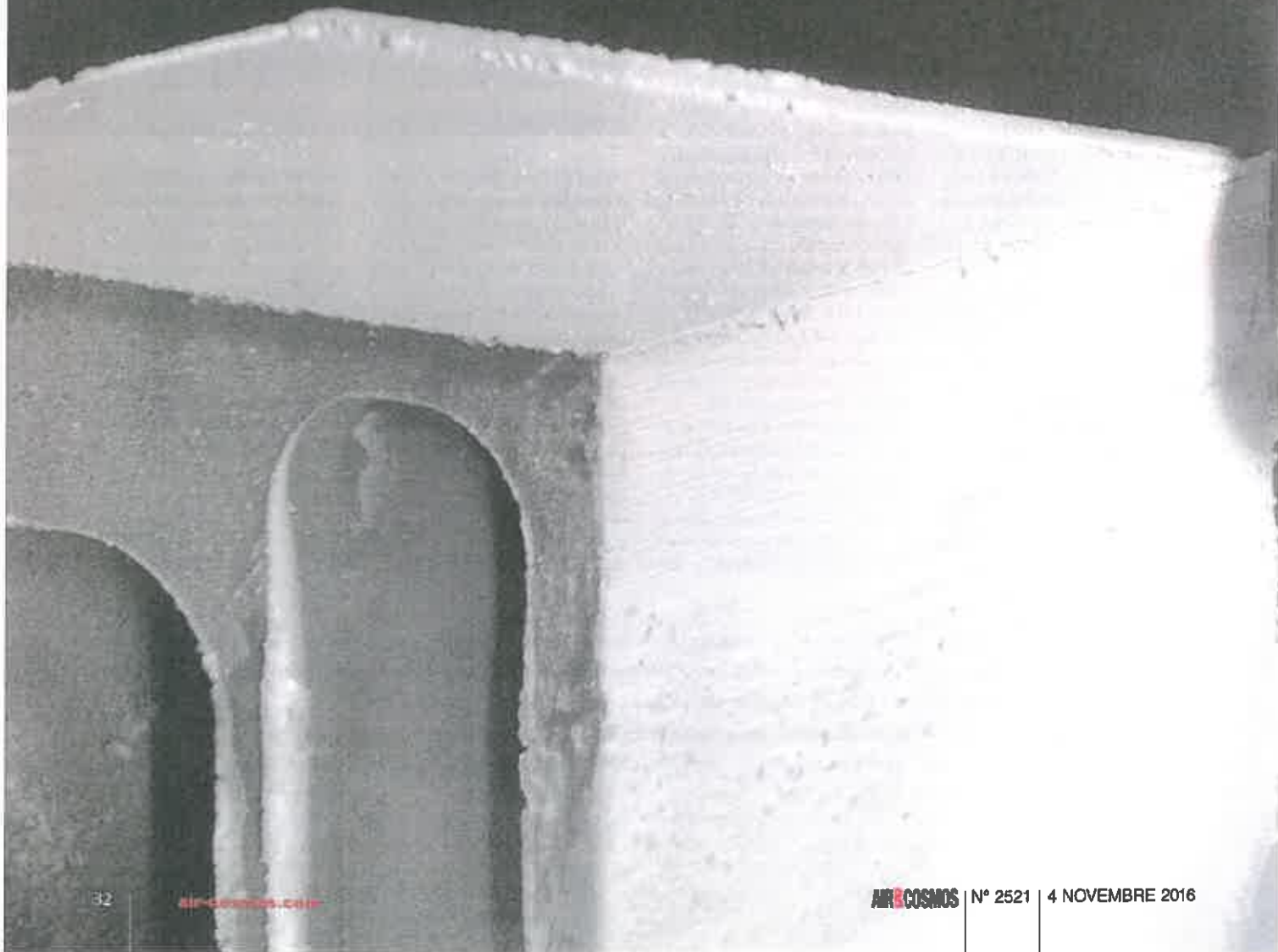


TECHNIQUES D'USINAGE INNOVANTES

# VERS PLUS D'AUTOMATISATION ET DE ROBOTISATION

BIEN QUE L'HEURE NE SOIT PAS VRAIMENT À L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DE L'USINAGE, TANT LES INDUSTRIELS SONT PRÉOCCUPÉS PAR LA PRODUCTIVITÉ FACE AUX CADENCES ÉLEVÉES, LES FABRICANTS DE MACHINES ET LES ÉQUIPEMENTIERS, AIDÉS PAR LES COMMISSIONS PROFESSIONNELLES, POURSUIVENT LEURS RECHERCHES ET DÉVELOPPEMENTS SELON TROIS AXES : OPTIMISER L'UTILISATION DES MACHINES ; AMÉLIORER LES OUTILS ; ACCROÎTRE L'AUTOMATISATION, NOTAMMENT LA ROBOTISATION.



Si les nouvelles techniques de fabrication additive et d'impression 3D occupent souvent aujourd'hui le devant de la scène, il n'en est pas moins que la plupart des pièces métalliques de production courante sont encore fabriquées avec des techniques traditionnelles d'usinage dans la masse qui constituent le quotidien de milliers de compagnons et d'ingénieurs en ateliers. De leur côté, les assemblages en composites doivent toujours être soumis à des opérations de finition et de perçage. Et la plupart des professionnels estiment actuellement que les pièces qui seront issues de la fabrication additive auront encore besoin d'usinage, en particulier en raison d'un état de surface qui ne les rendra pas directement « aptes à usage », obligeant à des opérations de parachèvement.

Toutefois, l'heure n'est certes pas au développement, ni à l'expérimentation : « On n'a plus le temps ; on est en pleine production et ce, avec des processus en œuvre qui sont figés et parfaitement qualifiés... » assurent les maîtres d'œuvre et les sous-traitants. Et c'est un fait que la problématique majeure de l'Aéronautique est bel et bien désormais de suivre l'augmentation des cadences, avec le double objectif d'améliorer la productivité et, si possible, de diminuer les coûts.

#### L'USINAGE INTELLIGENT.

Et, face à une possible dispersion de la sous-traitance pour la fabrication d'une même catégorie de pièces, précisément dans le but d'assurer la cadence de production demandée, une première

Un exemple d'usinage cryogénique.

action novatrice, proposée par le Cetim et baptisée « usinage intelligent », vise à mieux garantir la fiabilité de la supply-chain. Il s'agit de procéder au contrôle de chaque opération d'usinage, à chaque instant et pour chaque process, afin d'enregistrer un certain nombre de données qualifiant cette opération (température, efforts de coupe, usure de l'outil, etc.). Cette traçabilité permettra, en effet, de garantir que deux ou plusieurs pièces de même nature, mais d'origine différente, seront parfaitement identiques et ce, quel que soit l'opérateur ayant

assuré leur fabrication. Le Cetim travaille notamment sur l'instrumentation qui permettra la mesure et la transmission des données. Ce thème fait l'objet de plusieurs projets dont le « Dry to Fly », lancé au printemps 2015, et qui consiste à collecter l'information au plus près de l'outil.

### DES CHALLENGES PERMANENTS.

Aux côtés de cet objectif prioritaire qu'est aujourd'hui l'augmentation de la productivité, dont un des corollaires est la diminution des temps d'usinage,

les autres challenges que l'on pourrait qualifier de permanents sont la réduction des coûts et des risques, et l'amélioration de la qualité. La réduction des coûts est très liée à la gestion du ratio « Buy to Fly », c'est-à-dire le rapport entre la quantité de matière que l'on achète et celle qui vole in fine, allié au principe du « Near to Shape », et qui doit être le plus faible possible. Ces deux paramètres dépendent essentiellement de la précision des opérations d'usinage.

Ils justifient un autre axe de travail du Cetim dans le domaine

de « l'intégration produit-procédé ». Il s'agit ici de permettre aux bureaux d'études de prendre en compte la façon dont une pièce sera fabriquée dès le stade de sa conception et ce, afin de prévoir les perturbations, notamment les déformations qu'elle va subir et qui risquent de modifier sa résistance. En d'autres termes, il s'agit de réduire au maximum les marges de sécurité qui étaient jusqu'à présent systématiquement appliquées aux dimensions d'une pièce afin de se préserver de tout risque, et permettre ainsi désormais de véritablement optimiser celle-ci. Outre le fait de diminuer la quantité de matière achetée, ce principe permettra également d'alléger la pièce, un autre challenge permanent de l'Aéronautique.

Cela revient donc à intégrer dans les logiciels de CAO les données qui permettront de prendre en compte les bons paramètres pour le calcul de ladite pièce. Les études menées par le Cetim donnent actuellement lieu à deux thèses développées avec deux partenaires industriels et capables de générer des briques logicielles, l'une portant sur la prédiction des contraintes résiduelles à la suite d'une opération d'usinage, et l'autre sur la simulation de l'usure de l'outil de coupe.

De son côté, le souci de qualité est encore renforcé par la complexité croissante de certaines pièces à fabriquer et la généralisation des matériaux nouveaux, difficiles à usiner. On inclut dans ces matériaux les sandwichs pour les éléments d'aérostructure, les composites à matrice métallique pour les éléments de moteurs et les matériaux durs (Inconel, nickel, titane, alliages monocristallins...) promus par les motoristes précisément pour leurs qualités en termes de résistance mécanique et de tenue thermique. En fait, le souci de la qualité rejoint ici directement la question de savoir comment améliorer la productivité, compte tenu de l'augmentation du nombre de pièces



Au Crêneau Industriel, robot en action de découpe en ultrasons de pièces en nid-d'abeilles.

faites de ces matériaux et qui sont à usiner. Et pour les matériaux durs, un autre problème est de réduire à la fois l'effort exercé par l'outil et la température qui en résulte au contact de la pièce, afin de préserver les qualités intrinsèques du matériau, en particulier en surface.

**MIEUX UTILISER LES MACHINES.**

D'une façon générale, les machines-outils ont atteint aujourd'hui un niveau technologique tel qu'il est difficile de prévoir des évolutions notables à court terme. Les perspectives d'amélioration se situent plus dans le domaine de leur utilisation, en agissant sur le paramétrage, la programmation et le pilotage, afin d'optimiser celle-ci. En résumé, l'innovation se fait davantage aujourd'hui dans la façon d'utiliser les machines que dans leur technologie proprement dite.

Concernant le paramétrage, il semble possible d'augmenter les vitesses de coupe et/ou de rotation des outils, permettant de diminuer de façon substantielle les temps de cycles. On est déjà passé aujourd'hui de 40 à 250 m/s de vitesse d'avance, ce qui correspond à une vitesse de rotation de l'ordre de 13 000 tr/min (pour des diamètres d'outils classiques).



En revanche, si les broches sont limitées à présent à quelque 18 000 tr/min, ce qui représente un bon compromis, les machines sont capables de monter jusqu'à 40 000 tr/min, ce qui correspondrait à une vitesse d'avance de quelque 800 m/s ! A cette vitesse, c'est la programmation de coupe qui risque de devenir compliquée, et si elle est envisageable pour des formes droites, elle devient impossible pour des formes courbes, constituées du point de vue du travail de la matière d'une succession de points obliquant à réduire cette vitesse.

**DEUX EXEMPLES.**

Le premier exemple d'évolution d'une technologie est celui du perçage assisté par vibrations pour les composites et les panneaux en sandwich. Outre l'association, lors d'un perçage, du foret dédié de Mitsubishi Materials avec le porte-outil de Mitis créant une oscillation modulée et répétitive (cf. « Air & Cosmos » n° 2502, pp. 43-44), le Cetim a participé au projet FUI « Avibus » utilisant cette fois un porte-outil capable de vibrations grâce à un actionneur piézo-électrique. Ce dernier, également modulable et pro-

grammable, est aussi commercialisé aujourd'hui.

Un autre exemple concerne les centres d'usinage multifonctions, dont il permet une meilleure maîtrise d'utilisation. Il s'agit ici de l'exploitation, sur la base de travaux d'optimisation de la programmation -- et toujours réalisés par le Cetim --, d'un système d'attache unique de pièce, par exemple pour le tournage et le fraisage. Cela évitera les opérations successives consistant à détacher, puis attacher de nouveau la même pièce, et pouvant générer des différences de calage susceptibles d'entraîner des défauts au plan dimensionnel.

« D'une façon générale, l'amélioration de l'utilisation des machines pose le problème grandissant dit du "smart data", c'est-à-dire de savoir comment exploiter intelligemment les quantités extrêmement importantes d'informations (températures, efforts de coupe, etc.) qui sont fournies par les différents capteurs (jusqu'à 80) placés dans de multiples endroits, dans la machine, dans le porte-outil, la broche, etc. La question est de déterminer comment les sélectionner, puis comment les traiter. Si on en ressent le besoin, on ne travaille pas encore assez dessus », explique Dominique Ghiglione, respon-

Dans le patrimoine culturel du Japon

Le développement des technologies d'automatisation et de robotisation entre tout à fait dans le patrimoine culturel du Japon et revêt de ce fait un caractère assez naturel », explique Eric Teisseire, directeur général de Mazak France, pour justifier que cette société familiale de troisième génération – la maison mère japonaise Mazak – et fabricant majeur mondial de machines-outils soit réellement novatrice en ces domaines. Et de développer : « Le Japon occupe un territoire équivalent à la moitié de celui de la France, avec une population deux fois plus élevée et cela dans un climat compli-

qué et avec une géophysique laissant prévoir des tremblements de terre. De plus, le premier marché extérieur (les Etats-Unis) se situe à quelque 8 000 km. Cela explique que les coûts de production, en particulier la main-d'œuvre, soient particulièrement chers là-bas. Il est donc naturel pour les Japonais de développer des technologies sophistiquées et peu chères comme le sont l'automatisation et la robotisation. » Précisons que 12 000 machines sont vendues par an pour 8 000 salariés dans le monde. Le parc français Mazak se monte, lui, à 9 000 machines.

sable R&D pour les matériaux métalliques et les procédés de fabrication au Cetim.

## PLUS D'AUTOMATISATION.

Une autre voie pour optimiser l'utilisation des machines est une automatisation étendue, passant par des programmations plus poussées, non seulement des tâches simples et répétitives, mais également de celles de précision et des fonctions de contrôle. Du fait de programmations pouvant être effectuées sur de longues périodes et d'une surveillance des opérations ne nécessitant qu'une présence humaine réduite, c'est évidemment là une source de gains, en temps et en productivité. Mais, sachant que tout défaut de fonctionnement peut être immédiatement signalé, c'est également une source d'amélioration de la traçabilité et de la qualité.

Dans une démarche « vers l'atelier 4.0 » ou visant plus simplement à créer une liaison intelligente avec l'atelier d'aujourd'hui, la société Mazak a développé une commande numérique capable de gérer et d'observer plusieurs machines du même type connectées, par exemple sur des ensembles de type Pallettech. « Le système comprend notamment un logiciel baptisé "Smooth" et une tablette



La fraise Hirisson de Mitsubishi en action pour l'usinage de longerons en titane chez Figeac Aero.

tactile par laquelle on entre les informations et on les pilote. Ce logiciel permet également de connaître l'état de la pièce. Ces nouvelles fonctionnalités révolutionnaires offrent un gain de temps essentiel aux opérateurs », souligne Eric Teisseire, directeur général de Mazak France.

De son côté, la société Mikroma, grande utilisatrice des centres

d'usinage Pallettech, a développé elle-même une programmation de ces machines-outils lui ayant permis de véritablement optimiser leur emploi et ce, à la fois en temps, en qualité et en fiabilité.

## PERFECTIONNER LES OUTILS.

« Si les machines restent aujourd'hui au même niveau, les

outils, eux, évoluent constamment ! La problématique de l'outil, placé au contact direct de la pièce à usiner, est probablement l'une des plus cruciales : il doit être efficace, rapide, tout en préservant les caractéristiques de la matière – notamment en limitant son échauffement grâce à un effort de coupe réduit –, et, enfin, interchangeable. On comprend donc l'importance de perfectionner ces outils afin de les rendre plus performants et capables de réduire les temps d'usinage », détaille Eric Crosland, responsable technique de MMC Metal France (filiale française du groupe Mitsubishi Materials).

L'outil d'usinage se caractérise à la fois par le matériau dans lequel il est fait et par ses différentes formes géométriques devant assurer à la fois la coupe proprement dite, l'évacuation des copeaux et la circulation d'un éventuel fluide de coupe. Le challenge est donc élevé pour le carburier, fournisseur d'outils, qui en assure à la fois la conception et la fabrication en partant du matériau qu'il élabore lui-même, ainsi que l'accompagnement de l'utilisateur final, auprès

## Quand économie rime avec préservation de l'environnement

L'usinage est producteur de copeaux et d'huile de coupe, plus ou moins mélangée à des résidus de matière (d'où la désignation de « boue d'usinage ») et ce, en très grande quantité. Cela pose évidemment le double problème du tri et du recyclage de ces produits. Dans ce domaine d'activité, la société SFH a récemment présenté deux innovations qui consistent, d'une part, en un système propre et rapide de recueil et de transport des copeaux au sein même de l'usine ; d'autre part, en deux unités autonomes de tri et de traitement (nettoyage et, éventuellement, compactage des copeaux) qui peuvent trouver leur

place à l'intérieur ou à l'extérieur des ateliers (cf. « Air & Cosmos » n° 2520 p. 24). Ces facilités de traitement ont un double bénéfice, au niveau économique d'abord, en permettant une revente valorisée des copeaux traités aux refondeurs, ainsi qu'une réutilisation directe des fluides d'usinage ; ensuite, au niveau de l'environnement, en réduisant les transports. SFH propose dorénavant une formule clé en main permettant à l'utilisateur de bénéficier des moyens techniques loués auprès de l'entreprise, donc d'un ensemble de services complets, sans aucune intervention de sa part et moyennant une formule d'abonnement mensuel.

duquel il doit de plus en plus se positionner comme un partenaire compte tenu des multiples et complexes solutions proposées.

Face à la problématique posée par les métaux durs, difficiles à usiner, Mitsubishi Materials a opté pour des outils en céramique, qui présentent un niveau de performance 7 à 10 fois supérieur à celui d'un outil carbure en ébauche. Pour des opérations de tournage, il utilise du nitruure de bore cubique (ou CBN), notamment pour la finition de base au nickel. Et pour le perçage de CFRP allié à un système vibratoire, c'est le revêtement diamant qui a été retenu.

Quant aux différentes formes, le catalogue de solutions aujourd'hui proposées par MMC Metal France, chacune adaptée à une problématique donnée, est impressionnant...

« En Aéronautique, le "juge de paix", c'est le débit matière, paramètre essentiel en ébauche. Son évaluation représente une grosse difficulté pour les soustraitants, qui ont du mal à chiffrer des pièces de façon réaliste », précise Eric Crosland. D'où la fraise « Hérisson » VFX, qui permet un très haut débit pour le fraisage de pièces de grande dimension en métaux durs. Celle-ci a, par exemple, été retenue et largement plébiscitée

par Figeac Aéro pour l'usinage de longerons en titane de 3,5 m de long et sur lesquels 60 % de matière sont à retirer.

Parmi le catalogue Mitsubishi Materials, on citera encore la fraise ARP à plaquettes rondes, pour l'usinage des aciers inoxydables, des alliages en titane et des réfractaires, avec un haut niveau de précision et de productivité. « Les essais ont démontré que cette nouvelle fraise bénéficie d'une durée de vie supérieure de 40 %, permet des débits augmentés jusqu'à 20 % et des efforts de coupe réduits de 26 %, en comparaison avec des produits classiques », confirme Eric Crosland.

#### VERS LA ROBOTISATION.

La robotisation est certainement aujourd'hui la voie de progrès la plus innovante, la plus prometteuse et celle qui mobilise à peu près tous les acteurs, des bénéficiaires extrêmement nombreux et variés à la clé. Elle consiste en un transfert d'un certain nombre d'opérations d'usinage sur un robot équipé des ressources nécessaires. Pour toutes les tâches simples, c'est-à-dire manuelles, répétitives et fatigantes, sans grosse valeur ajoutée, les bénéfices s'expriment, ici encore, en gain de temps (grâce à des opérations programmables possibles 24/7) et en réduction de coûts (diminution de la main-d'œuvre nécessaire).

« Mais le robot présente de nombreux autres avantages, assure Laurent Combaz, président du Créneau Industriel. Sa surface au sol est très réduite – à peu près la moitié de celle d'une machine 5 axes équivalente en capacité ; il constitue un bien d'équipement fabriqué en grande série, donc à faibles coûts – permettant un objectif de prix de 30 % de moins qu'une solution à commande numérique traditionnelle pour le même périmètre ; il représente de ce fait un équipement très polyvalent et flexible dont la mise en œuvre est facile ; enfin, sa vitesse est plus rapide et il est utilisable pour des



## UNE GÉOMÉTRIE DE PRÉCISION POUR UN USINAGE PERFORMANT

Une géométrie de précision pour une durée de vie augmentée.

Flux de matière optimisé pour une faible résistance de coupe.

Un système de fixation puissant assuré par un large appui plat et 2 faces plates latérales. Des nuances de plaquettes dédiées aux aciers inoxydables et aux matières difficiles à usiner.

### MMC Metal France S.A.R.L.

A Group Company of MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION

6 rue Jacques Monod - 91400 Orsay

Tel +33 (0) 1 69 35 53 53

mmfsales@mmc-metal-france.fr

www.mmc-hardmetal.com

#### LES ACTEURS DU PROJET « ACROBOT »

##### Partenaires industriels :

- Précise France (broches et effecteurs)
- Carbilly (outils coupants)
- Stäubli (robots)
- Duquenois (utilisateur final - pilote)

##### Partenaires académiques :

- Ecole nationale supérieure d'arts et métiers
- ENSAM Campus de Lille
- Laboratoire UCL

##### Centres techniques :

- Cetim
- CITEC

grandes séries. A tel point qu'on peut vraiment se demander pourquoi les robots ne sont pas plus présents aujourd'hui dans le monde de l'usinage... ! »

En fait, il y a deux raisons à cela. La première est que la précision d'un robot « standard » est aujourd'hui insuffisante pour la plupart des besoins en usinage dans l'Aéronautique. La seconde est que le mode de fonctionnement et la programmation des robots sont très éloignés des habitudes des « usineurs ». Ces difficultés, qui représentent deux axes majeurs de travail chez Le Créneau Industriel, ont fait l'objet notamment d'un projet FUI porté par le pôle de compétences Mont-Blanc Industries, baptisé « Acrobat » et dont le financement a été accordé à hauteur de 1,16 M€ pour une durée de trois années.

## LE PLAN D'ACTION « ACROBOT ».

Le plan d'action pour acquérir la précision requise est conçu en deux volets complémentaires. Le premier consiste à améliorer la précision absolue du robot, en particulier par des solutions de correction numérique qui s'effectuent en trois étapes : en statique, en dynamique, puis en s'attachant aux déviations pré-

cisément dues aux efforts d'usinage. Le deuxième volet consiste, lui, à développer des solutions réduisant les sollicitations mécaniques du robot, d'une part avec des process à faible effort d'usinage engendrant moins de déviations, d'autre part, en limitant au maximum les déplacements du robot par une conception adaptée de la cellule d'usinage et par le développement d'outillages répondant à cette contrainte.

Une première application (démonstrateur industriel en cours d'installation sur le site du Créneau Industriel, à Annecy-le-Vieux) consiste en un procédé mixte d'usinage traditionnel et de découpe en ultrasons de pièces en nid-d'abeilles. Une deuxième application réside dans le perçage de très grande précision sur des panneaux de satellite, utilisant un effecteur orbital, sorte de tête d'usinage intégrant les mouvements permettant le perçage, que le robot vient positionner avant de rester strictement immobile pendant la durée de l'opération.

La prochaine étape du projet « Acrobat » est l'obtention d'une précision absolue

SMOOTHX

SMOOTHG

SMOOTHL



« Déclinaison de différents environnements graphiques pour la tablette tactile de commande numérique « Smooth » développée par Mazak. »

du robot permettant l'usinage de pièces en composites ; les applications sur des métaux durs passeront, quant à elles, par des outillages spécifiques, dont le développement est en cours, en partenariat avec Precise France, une demande de brevet ayant été déposée cet été.

Quant au mode de fonctionnement, le robot est piloté au moyen de commandes numériques, selon des programmations qui permettent d'utiliser les paramètres usuels, avec toutes les fonctions classiques d'usinage et avec une interface de commande familière pour l'utilisateur. Bref, « on reste dans le monde des usineurs », prévient Laurent Combaz.

## D'AUTRES PROJETS.

L'usinage de pièces de très grande dimension, réalisé aujourd'hui au moyen de centres d'usinage à portique, lourds et chers, fait également l'objet d'un projet de robotisation. L'idée est ici d'utiliser des robots mobiles, dotés de bras d'usinage et placés sur des véhicules. Le projet collaboratif « MaiQua », dont le Cetim est partenaire, avec la participation du laboratoire IRCCyN, à Nantes, s'est fixé notamment deux objectifs : prendre en compte dans le pilotage des robots les efforts d'usinage qui risquent de les faire dévier de leur trajectoire, et assurer le même niveau de qualité qu'avec un portique fixe, en particulier éviter que l'outil n'atteigne le point de fusion de l'alliage d'aluminium, ce qui entraînerait la perte de la pièce.

Le développement de MaiQua se fait aujourd'hui sur plusieurs plateformes : deux avec un robot fixe au Cetim, pour étudier la programmation de la trajectoire en fonction de l'effort d'usinage et la problématique du refroidissement ; une avec un robot mobile à Nantes.

La société Mazak, de son côté, semble déjà utiliser couramment



Plaquettes en nitrure de bore cubique (CBN) de Mitsubishi.

des solutions robotiques, depuis de « petits bras » jusqu'à de grosses machines.

## À PLUS LONG TERME, CRYOGÉNIE ET ULTRASONS

D'autres solutions, plus novatrices, pourraient apporter à moyen-long terme leurs bénéfices en matière de productivité. Parmi celles-ci, la plus avancée – mais certes pas la plus récente – est peut-être l'usinage cryogénique. « Il représente certainement un moyen de baisser le temps d'opération en augmentant la vitesse de coupe », annonce Eric Teisseire (Mazak France).

« On est plus ici dans l'environnement, précise Eric Crossland (MMC Metal France), puisqu'on remplace le lubrifiant par de l'azote ou du CO<sub>2</sub> liquide. Et dans ce cas, notre rôle est plus que jamais de permettre au liquide réfrigérant de traverser l'outil. » « Outre une vitesse de coupe plus élevée, cette technique permettrait également un meilleur enlèvement de matière, ainsi que, grâce à des échauffements désormais limités, d'accroître la durabilité des outils coupants », ajoute encore Dominique Ghiglione (Cetim).

Enfin, dernier avantage, également dans le domaine de l'environnement : la suppression du lubrifiant entraîne la disparition de tout graissage et, par la suite, les obligations de tri et de nettoyage des copeaux en vue de les recycler. Elle conviendrait donc particulièrement aux alliages et métaux durs.

L'usinage cryogénique fait l'objet d'un projet collaboratif, mené par le Cetim avec l'Ensam, qui a démarré fin 2015 pour une durée prévue de quatre ans. Un centre d'usinage équipé est d'ores et déjà en expérimentation.

De son côté, la société Meca-chrome a commencé à utiliser l'usinage cryogénique, illustrant les premiers passages de l'étude à la fonction. Enfin, la technique de découpe par ultrasons permettrait également de réduire l'effort de coupe de façon substantielle. Le Créneau Industriel est un des premiers acteurs à avoir développé cette technologie, en y ajoutant un moyen d'éliminer les poussières générées.

## UNE ASSISTANCE ACCRUE.

D'une façon générale, les gros usineurs, qu'ils soient donneurs



Collecte de paramètres d'usinage au plus près de l'outil, selon le programme « Dry to Fly » du Cetim.

d'ordre ou sous-traitants, n'ont actuellement pas le temps, nous l'avons vu, de procéder eux-mêmes à un quelconque développement, ni même de se livrer à quelque évaluation que ce soit, même si celle-ci ne porte que sur des modifications légères de process, et ce, pour éviter de prendre tout risque potentiel. Restant toutefois ouverts – et même demandeurs – d'améliorations en termes de productivité et de coûts, ils se tournent de plus en plus vers les centres techniques, les fabricants de machines et les équipementiers. On assiste donc inévitablement à des rapprochements entre les fournisseurs et leurs

clients-utilisateurs dépassant largement le cadre d'un simple contrat d'approvisionnement. Ceux-ci s'étendent en effet depuis une réflexion commune en amont sur une problématique donnée, jusqu'à une assistance à la mise en service d'une machine ou d'un outil, en passant par des prises de conseil, des tests pratiqués chez les premiers (qui mettent à disposition des moyens d'essai), avec retours d'expérience analysés, etc. Et ce, afin d'avoir la meilleure garantie d'une solution vraiment optimisée. C'est un facteur devenu fondamental de la satisfaction du client.

■ Régis Noyé



**DEFONTAINE RINGS**

**EXPERT**  
In complex circular parts  
for aerospace and energy

[www.defontaine.com](http://www.defontaine.com)

Tel : +33 (0)2 51 45 94 94 Mail : [info@defontaine.com](mailto:info@defontaine.com) - 85530 La Buzinière - FRANCE

Flash Butt Welded Rings

Machined rings

Precision machining

Fabricated parts

OVER 40 YEARS OF EXPERIENCE  
IN FLASH BUTT WELDING AND MACHINING